Basisafvoer van de Baakse beek

Onderzoek naar perspectieven voor aquatische natuur in een laaglandbeek

P.C. Jansen, H.Th.L. Massop, G.J. van den Houten, W.A.J. Klutman en W. Bakx

ALTERRA WAGENINGEN UR

Waterschap Rijn en IJssel
WATERBEHEER: VEILIG EN OP MAAT

ARCADIS
Infrastructuur · Water · Milieu · Gebouwen

Basisafvoer van de Baakse beek

Onderzoek naar perspectieven voor aquatische natuur in een laaglandbeek

P.C. Jansen[1], H.Th.L. Massop[1], G.J. van den Houten[2], W.A.J. Klutman[3] en W. Bakx[3]

1 Alterra
2 Waterschap Rijn en IJssel
3 Arcadis

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Waterschap Rijn en IJssel
Projectcode 5238229.

Alterra Wageningen UR
Wageningen, september 2013

Alterra-rapport 2383
ISSN 1566-7197

Jansen, P.C., H.Th.L. Massop, G.J. van den Houten, W.A.J. Klutman en W. Bakx, 2013. *Basisafvoer van de Baakse beek; Onderzoek naar perspectieven voor aquatische natuur in een laaglandbeek.* Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2383. 102 blz.; 40 fig.; 12 tab.; 21 ref.

Bij het toekennen van het predicaat laaglandbeek wordt ervan uitgegaan dat de beek ook in droge perioden water afvoert waardoor bepaalde vormen van aquatische natuur kunnen gedijen. Binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel komen dergelijke beken voor. Binnen de Kader Richtlijn Water hebben die de typering langzaam stromende midden- en benedenloop op zand gekregen. De verwachting is dat de basisafvoer door menselijke ingrepen in de waterhuishouding is afgenomen en dat deze zich, door het ongedaan maken van ingrepen, weer kan herstellen. Zowel een inventarisatie van oude meetgegevens van het stroomgebied van de Baakse beek als berekeningen met de modellen SWAP en AMIGO laten zien dat er weinig verschil is tussen de toenmalige en huidige basisafvoer. Ook vroeger kwamen er, weliswaar wat kortere, perioden zonder afvoer voor. Het stoppen van grondwateronttrekkingen en juist het verdiepen van de ontwateringsbasis van hoofdwatergangen zijn discutabele maatregelen die bijdragen aan een grotere basisafvoer.

Trefwoorden: Baakse beek, basisafvoer, laaglandbeek, historische waterhuishouding, SWAP, AMIGO

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar ‘Alterra-rapporten’). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2383| ISSN 1566-7197

Inhoud

Samenvatting **5**

1 Inleiding **7**

1.1 Aanleiding onderzoek 7
1.2 Doel onderzoek 7
1.3 Gebiedskeuze 7
1.4 Werkwijze 8
1.5 Leeswijzer 10

2 Gebiedsbeschrijving **11**

2.1 Bodemhydrologie 11
2.2 Waterlopen 12
2.3 Landgebruik 14

3 Historische bronnen **15**

3.1 Basisafvoer in historische beschrijvingen 15
3.2 Geringe afvoeren in periode 1894-1896 15
3.3 Afvoeren in periode 1950-1969 18
3.4 Conclusie historische bronnen 19

4 Werkwijze modellering SWAP en HYDROMAP **20**

4.1 Het model SWAP 20
4.1.1 Schematisatie 20
4.1.2 Parameterisatie van SWAP 21
4.2 Het model Hydromap 25
4.2.1 Opzet van het model 25
4.2.2 Interpolatie 27
4.3 Scenario's SWAP 27

5 Resultaten berekeningen SWAP/HYDROMAP **28**

5.1 Inleiding 28
5.2 Resultaten 28
5.2.1 Neerslag en verdamping 28
5.2.2 Specifieke basisafvoeren 29
5.2.3 Aantal dagen zonder afvoer 34
5.2.4 GHG, GLG en kwel 35
5.2.5 Veen 37
5.3 Discussie 38
5.4 Conclusies modellering Swap/Hydromap 39

6 Werkwijze modellering Modflow **41**

6.1 Aanpak modellering AMIGO 41
6.2 Voorbereiding modellering AMIGO 41
6.2.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden modellering 41
6.2.2 Relatie gemeten en berekende afvoeren 43
6.2.3 Gevoeligheidsanalyse 46
6.2.4 Grondwateraanvulling 47
6.3 Scenario's AMIGO 47

7 Resultaten berekeningen AMIGO 50

7.1 Resultaten in basisafvoeren en afvoerloosheid 50
7.1.1 Scenario C Uitzetten grondwaterwinningen 50
7.1.2 Scenario D Historische watergangen zonder drainage 50
7.1.3 Scenario F Historisch landgebruik 51
7.1.4 Scenario I Historische situatie 1850-1900 51
7.2 Resultaten grondwaterstanden 51
7.2.1 Scenario C Uitzetting drinkwaterwinningen 51
7.2.2 Scenario D Historische watergangen zonder drainage 52
7.2.3 Scenario F Historisch landgebruik 54
7.2.4 Scenario I Historische situatie 1850-1900 55
7.3 Resultaten kwel 56
7.4 Discussie 57
7.5 Conclusies modellering AMIGO 57

8 Synthese 59

8.1 Vergelijking van resultaten bronnenonderzoek, Swap en AMIGO 59
8.2 Algemene conclusies 60
8.3 Aanbevelingen 61

Literatuur 62

Bijlage 1 Historische gegevens over de waterhuishouding 63

Bijlage 2 Beschrijving van het model SWAP 74

Bijlage 3 De onderrand van het model SWAP voor HIS met een veendek 77

Bijlage 4 Gewaseigenschappen 78

Bijlage 5 Memo vergelijking grondwateraanvulling SWAP en AMIGO/CAPSIM 79

Bijlage 6 Gevoeligheidsanalyse afvoeren AMIGO 86

Bijlage 7 Resultaten AMIGO in duurlijngrafieken van de afvoer 93

Bijlage 8 Resultaten AMIGO in tabellen van de afvoer 96

Bijlage 9 Resultaten AMIGO in grondwater- en kwelkaarten 99

Samenvatting

Een groot aantal van de oppervlaktewateren binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel heeft binnen de Kader Richtlijn Water de typering langzaam stromende midden- en benedenloop op zand (R5) gekregen. Vanuit ecologisch oogpunt houdt dat in dat er ook in droge perioden stroming in de waterloop moet plaatsvinden. Het waterschap wil weten hoe groot deze zogenaamde basisafvoer vroeger was en wat de invloed van latere antropogene ingrepen op de basisafvoer is geweest. Het moet antwoord geven op de vraag of een herstel van de basisafvoer een reële optie is. Het stroomgebied van de Baakse beek is door het waterschap aangewezen om daar onderzoek naar te doen.

Het onderzoek naar de basisafvoer is enerzijds gebaseerd op een inventarisatie van afvoeren, slootdimensies, ed. die in het verleden zijn vastgelegd en anderzijds op modelonderzoek. Voor het modelonderzoek zijn twee modellen gebruikt: SWAP en AMIGO. De inventarisatie en de berekeningen met SWAP zijn door Alterra uitgevoerd, terwijl Arcadis AMIGO heeft toegepast.

De inventarisatie van meetgegevens heeft geen concreet overzicht opgeleverd van de overschrijdingsduur van afvoeren op verschillende plekken in het bekenstelsel. Daarvoor waren de gegevens te fragmentarisch. Wel werd duidelijk dat de waterstand bij onder andere De Wiersse in 1895 ruim twee maanden dusdanig laag was, dat er normaliter geen afvoer heeft plaatsvonden. De dimensies van de Baakse beek en de later gegraven Veengoot zijn in de tweede helft van de negentiende eeuw voor het eerst goed vastgelegd. Beide waterlopen waren minder diep en breed dan tegenwoordig. De detailontwatering is vooral in de jaren zestig van de vorige eeuw sterk verbeterd. Deze gegevens zijn in beide modelstudies gebruikt om de drainage-eigenschappen te beschrijven.

Voor het modelonderzoek met SWAP zijn drie referentieperioden doorgerekend;
1. HIS. Een historische situatie in de tweede helft van de negentiende eeuw. Om wateroverlast tegen te gaan was de afwatering al enigszins verbeterd.
2. R50. Een situatie in de jaren vijftig van de vorige eeuw. De af- en ontwatering waren verder verbeterd, maar de ruilverkavelingen met grootschalige ingrepen in de waterhuishouding moesten nog plaatsvinden
3. ACT. De huidige situatie.

Het model SWAP is een ééndimensionaal model dat gezien kan worden als een grondkolom. In het stroomgebied van de Baakse beek zijn voor zeven deelgebieden dergelijke kolommen (strata) onderscheiden met aparte bodemfysische eigenschappen. Via de bovenrand krijgen de modellen invoer van neerslag en verdamping en via de onderrand met kwel of wegzijging. Het oppervlaktewatersysteem is aan de zijrand gekoppeld. De strata zijn doorgerekend met verschillende begroeiingstypen, zoals gras, bos en heide. Voor elke combinatie van strata en landgebuik is dat gedaan voor vier vochtsituaties, variërend van erg nat tot erg droog. Daarmee zijn met het model HYDROMAP metarelaties afgeleid tussen de GLG en de afvoer onder droge omstandigheden. Aan de hand van de GLG-kaart zijn vervolgens verschillende van dergelijk specifieke afvoeren in kaart gebracht.

Het model AMIGO simuleert een semi-3-dimensionale grondwaterstroming. Dit model heeft als voordeel dat maatregelen die ruimtelijk doorwerken, zoals het aanpassen van het ontwateringstelsel, gesimuleerd kan worden en dat er eenvoudig kaarten gemaakt kunnen worden van grondwaterstanden, kwelfluxen en afvoeren. Voor de berekening van de onverzadigde stroming (vertaling van neerslag en verdamping naar grondwateraanvulling) is gebruik gemaakt van de module CAPSIM die geïntegreerd is in het AMIGO instrumentarium.

Er is geen definitie van het begrip ‘basisafvoer’. De omschrijving, die uitgaat van afvoer in een droge periode, laat in het midden hoe groot die afvoer is en of en hoe lang een periode zonder afvoer of

droogval mag zijn. Daarom is gekeken naar verschillende kleine specifieke afvoeren en het aantal dagen zonder afvoer.

Uit de resultaten bleek dat in de huidige situatie er, gemiddelde over een langjarige periode, 60 dagen/jaar (Swap) tot 170 dagen/jaar (AMIGO) geen afvoer optreedt. In de referentieperioden HIS en R50 was dat iets minder, maar afvoerloosheid kwam toen ook frequent voor. Dat de afvoer in historische tijden wat hoger was dan nu, komt vooral doordat het toenmalige landgebruik (heide) minder water verdampt dan het huidige landgebruik (overwegend gras). Hierdoor was het neerslagoverschot dat afgevoerd moest worden groter. Daarnaast speelt specifiek voor grondwater-wingebieden dat onttrekkingen lokaal hebben geleid tot een afname van de basisafvoer. Ook verandering van het afwateringsysteem heeft invloed gehad op het afvoerregiem (afvoer-duurlijn). In deze studie is echter niet precies duidelijk geworden wat het effect is geweest van de intensivering van het ontwateringsysteem en de bouw van stuwen. De klimaatverandering van de afgelopen eeuw (1911-2000) bleek vrijwel geen invloed te hebben gehad op de basisafvoeren doordat de netto neerslag in de zomer weinig is veranderd. Het veen dat vroeger aanwezig was had wel een zekere sponswerking waardoor de afvoer langer doorging, maar dat was onvoldoende om te stagnatie van de afvoer te voorkomen. Daarvoor was het veenpakket te dun.

Op basis van deze studie wordt aanbevolen het KRW-streefbeeld ‘laaglandbeek’ aan te passen in bijvoorbeeld ‘droogvallende laaglandbeek’, om recht te doen aan het feit dat deze beken in vroegere tijden ook al frequent afvoerloos raakten. Een goede manier om om te gaan met afvoerloosheid en droogval is het creëren van diepere delen in de watergang (wijkplaatsen). Als men toch de basisafvoer wil vergroten is het introduceren van minder verdampende gewassen een effectieve maatregel. Overige maatregelen zijn: stoppen met grondwateronttrekkingen, verdiepen ontwateringsbasis van hoofdwatergangen en verhogen ontwateringsbasis van detailontwateringsysteem dragen bij aan een grotere basisafvoer maar zijn (maatschappelijk) kostbare maatregelen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is erop gericht dat de kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater in Europa in 2015 een 'goede ecologische toestand' heeft bereikt en dat er binnen heel Europa duurzaam wordt omgegaan met water. Deze termijn kan worden verlengd met maximaal twee periodes van zes jaar.

In de Kaderrichtlijn Water is een indeling gemaakt in verschillende typen oppervlaktewater. Deze zijn ingedeeld naar stroming, grootte of breedte en diepte, de zogenaamde hydromorfologische eigenschappen, en naar type bodem en het zoutgehalte van het water (zoet, brak, zout). Een belangrijk onderscheid is er in stilstaand of stromend water. De bodem is belangrijk voor het onderscheid naar een veenbodem (met veel organisch materiaal), kiezels, klei, zand of kalk. Aan deze indeling zijn de doelen van de KRW gekoppeld.

De afgelopen jaren hebben alle waterbeheerders in de Europese Unie gewerkt aan het opstellen van specifieke doelen per waterlichaam, het vaststellen van maatregelen en het berekenen van de kosten daarvan. Ook het waterschap Rijn en IJssel heeft de doelen per waterlichaam vastgesteld. Een groot aantal van de oppervlaktewateren binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel heeft als typering langzaam stromende midden- en benedenloop op zand (R5) gekregen.

Het typeren van waterlopen als langzaam stromende midden- en benedenloop houdt vanuit ecologisch oogpunt in dat er ook in droge perioden stroming in de waterloop moet plaatsvinden. Deze stroming kan alleen worden gerealiseerd als de afvoer van een beek in droge perioden, de zogenaamde basisafvoer, nog voldoende groot is. Vaak is de basisafvoer onvoldoende groot en zijn er maatregelen nodig om deze te herstellen. Hierbij komt de vraag naar voren of een waterloop in een vroegere situatie ook een, voor de huidige doelstellingen, voldoende grote basisafvoer had. Als dat niet het geval is kunnen de doelstellingen als te ambitieus worden bestempeld en als dat wel het geval is zijn de doelstellingen realistisch.

1.2 Doel onderzoek

Het stroomgebied van de Baakse beek is een pilotgebied waarvoor waterschap Rijn en IJssel antwoord wil krijgen op de vraag hoe groot de basisafvoer in vroeger tijd was en wat daar na antropogene ingrepen nog van over is gebleven. Dat geeft dan ook inzicht in maatregelen die tot vergroting van de basisafvoer en vermindering van afvoerloosheid leiden.

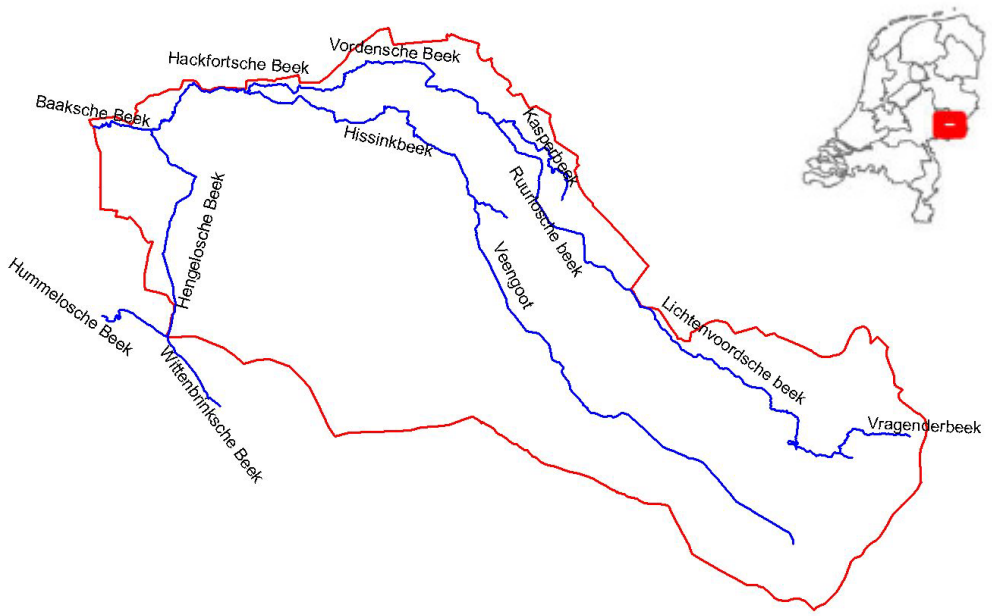
De drie hoofdvragen die zijn gesteld in dit onderzoek zijn:
1. Hoe groot was de basisafvoer vroeger?
2. Welke invloed hebben antropogene (menselijke) ingrepen op de basisafvoer gehad?
3. Welke maatregelen leiden tot vergroting van de basisafvoer en vermindering van afvoerloosheid?

1.3 Gebiedskeuze

De Baakse beekgebied is kenmerkend voor veel beeksystemen in de Achterhoek. Het is centraal gelegen in het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel. Door Van der Gaast en Massop (2007) is dit stroomgebied gekozen voor een pilotstudie naar de historische hydrologie omdat de waterhuishouding sinds 1850 goed is beschreven (o.a. Staring, 1845) en er de afgelopen decennia de nodige meetgegevens zijn verzameld. Naast een uitvoerige analyse van oude kaartbeelden en meetgegevens

hebben Van der Gaast en Massop ook gebruik gemaakt van hydrologische modellen. Die modellen zijn ook ingezet voor deze studie.

Om het gebied te begrenzen zijn Van der Gaast en Massop uitgegaan van de Waterstaatskaart van 1880. Stroomgebieden waren rond 1880 niet altijd duidelijk van elkaar gescheiden. Zo splitste de Wittenbrinkse Beek zich in de Hummelose en Hengelose beek (figuur 1.1). De Hengelose beek is hier tot het stroomgebied van de Baakse beek gerekend.



Figuur 1.1 *Stroomgebied van de Baakse beek.*

1.4 Werkwijze

In eerste instantie is in een historisch bronnenonderzoek geïnventariseerd welke waarnemingen van afvoeren, slootdimensies, e.d. in het verleden zijn vastgelegd. Dit onderzoek heeft veel waardevolle informatie opgeleverd, maar heeft niet geleid tot een duidelijk conclusie over de toestand van de historische basisafvoer. Als aansluiting op het bronnenonderzoek zijn twee verschillende modelstudies naar de basisafvoer uitgevoerd waarover in dit rapport wordt gerapporteerd (tabel 1.1).

Voor de studie wordt gebruik gemaakt van twee hydrologische modellen: SWAP en AMIGO. De modellen verschillen in conceptuele aanpak die elk een aantal voor- en nadelen hebben. Door de uitkomsten van beide modellen met elkaar te vergelijken wordt meer zekerheid verkregen over de betrouwbaarheid van de basisafvoer. De hoop is dat, bij gebrek aan validatiemateriaal, de uitkomsten van beide modellen in elkaars verlengde liggen, waardoor de betrouwbaarheid toeneemt.

Tabel 1.1
Aanpak op hoofdlijnen.

	Periode 1850-1900	Periode +/- 1950	Huidig
Onderzoek historische bronnen			
Modellering SWAP	Scenario HIS	Scenario R50	Scenario ACT
Modellering AMIGO	Scenario I	-	Scenario A

SWAP
Voor de modellering met SWAP (Kroes et al., 2008) wordt gebruik gemaakt van de informatie en de modellen uit de studie 'Reconstructie van de historische hydrologie' (Van der Gaast en Massop, 2007). Daarin is op basis van historische informatie onder andere onderzocht in welke mate de piekafvoeren als gevolg van de verbeteringswerken in de loop der tijd zijn veranderd. Deze studie richt zich specifiek op de basisafvoer.

SWAP is een 1-dimensionaal model waarin geschematiseerde geohydrologische eenheden 30 jaar worden doorgerekend. Voor iedere eenheid komen daarmee waterbalanstermen op dagbasis beschikbaar waaruit kengetallen voor onder andere de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), de afvoer en het aantal dagen zonder afvoer worden berekend. Met het model HYDROMAP (Van der Gaast et al., 2006) worden metarelaties tussen deze kengetallen afgeleid waarmee aansluitend gebied-dekkende kaarten worden gemaakt. De SWAP-modellen worden eerst op een aantal onderdelen geverifieerd. Er wordt vooral aandacht geschonken aan de afvoerrelaties (Q(h)-relaties).

Om na te kunnen gaan in hoeverre de basisafvoer in de historische en huidige situatie van elkaar verschillen kan in principe worden volstaan met deze twee perioden als referentie. Voor de historische referentie (HIS) is gekozen voor de situatie rond 1900, de periode waarin de afwatering al wel wat was verbeterd, maar waarin de ontwatering nog nauwelijks was aangepakt. Naast HIS en de actuele situatie (ACT) wordt een derde referentieperiode in beschouwing genomen. Die periode (R50) is representatief voor de jaren vijftig van de vorige eeuw. Toen was aan zowel de af- als ontwatering het nodige verbeterd, maar de ruilverkavelingen met grootschalige ingrepen moesten nog plaatsvinden.

AMIGO
Naast de berekeningen van de basisafvoer met SWAP en HYDROMAP worden ook berekeningen uitgevoerd met het Modflow-model AMIGO van waterschap Rijn en IJssel. Het modelconcept van AMIGO verschilt van dat van SWAP. Waar SWAP gedetailleerd de vochthuishouding voor een lange periode berekent en HYDROMAP gebruikt wordt om de resultaten te extrapoleren, is Modflow een semi-3-dimensionaal model dat het hele stroomgebied omvat. Dit model is op onderdelen minder nauwkeurig en ook is de rekenperiode korter, maar op gebiedsniveau levert het een sluitende waterbalans. In tabel 1.2 zijn de belangrijkste verschillen tussen SWAP en AMIGO samengevat.

Tabel 1.2
Belangrijke verschillen tussen SWAP en AMIGO.

	SWAP	AMIGO
Modelconcept	1-dimensionaal model dat de onverzadigde stroming en de grondwaterstand simuleert, via metamodellen vertaald in gebiedsdekkende resultaten, bijv. GxG	Ruimtelijk semi-3-dimensionaal model dat de verzadigde grondwaterstroming in en tussen watervoerende pakketten en naar het grondwatervlak berekent. Grondwateraanvulling wordt berekend door het onverzadigde zonemodel CAPSIM*.
Rekenperiode	1971-2000	1996-2004
Meteorologie	Neerslag en verdamping van meteostation Twente	Neerslag en verdamping van meteostation Twente.
Onderrand	Gekalibreerd op de GxG in de vorm van een diepe stijghoogte (sinusvorm) en weerstand	Ruimtelijk model van de hydrologische basis.
Relatie grondwater-oppervlaktewater	Drie drainagesystemen worden onderscheiden, nl. maaivelddrainage, ontwatering en afwatering. Elk systeem heeft een drempelniveau en een q(h)-relatie.	Er worden twee drainagesystemen onderscheiden, nl. maaivelddrainage en watergangen die louter drainerend, of zowel drainerend als infiltrerend kunnen zijn. Elk systeem heeft een eigen ontwateringsniveau en drainageweerstand.
Bodemschematisatie	PAWN-schematisatie[1]	PAWN-schematisatie

* De door SWAP berekende verandering in grondwateraanvulling als gevolg van landgebruikverandering en klimaatverandering zijn als correctiewaarde toegepast in AMIGO-scenario's.

[1] Wösten et al., 1988.

Om na te kunnen gaan in hoeverre de basisafvoer in de historische en huidige situatie van elkaar verschillen is een historische en de huidige situatie gesimuleerd met AMIGO. Het tussenscenario (R50) is niet meegenomen in de modellering met AMIGO.

1.5 Leeswijzer

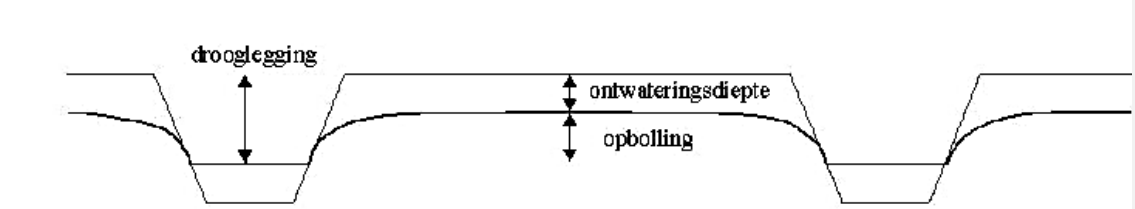
In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de vroegere en huidige bodem, de waterhuishouding en het landgebruik. Bij de vroegere bodem wordt ingegaan op de verspreiding van de veengebieden die in de afgelopen eeuwen door afgraving en oxidatie zijn verdwenen. In hoofdstuk 3 worden de beschikbare hydrologische metingen en teksten behandeld die een indicatie geven over de historische basisafvoeren.

Hoofdstuk 4 gaat over de modellen SWAP en HYDROMAP. Beide modellen worden kort toegelicht. Er wordt ingegaan op de schematisatie van de drie referentieperioden en op de belangrijkste aanpassingen van de oorspronkelijke modelinvoer van Van der Gaast en Massop (2007). In hoofdstuk 5 worden de resultaten besproken.

In hoofdstuk 6 wordt het Modflowmodel AMIGO toegelicht en hoofdstuk 7 gaat in op de resultaten van de berekeningen. Tot slot is hoofdstuk 8 gewijd aan de evaluatie van de uitkomsten die met beide modelconcepten zijn berekend en aan de conclusies die daaruit getrokken kunnen worden.

Definities

- Specifieke afvoer is de afvoer per oppervlakte-eenheid van het beschouwde gebied met een gekozen overschrijdingsfrequentie.
- De maatgevende afvoer is een specifieke afvoer die 1 á 2 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden. Deze wordt vaak gebruikt voor het ontwerp van leidingen en bijbehorende kunstwerken.
- Drainagebasis is de grondwaterstand die bereikt wordt na een droge periode en dan bij benadering overeenkomt met:
  - de waterstand in de ontwateringsmiddelen
  - de hoogteligging van de drainbuizen
  - de bodem van de waterlopen op het moment dat deze droogvallen
- Drooglegging is hoogteverschil tussen de waterspiegel in de waterloop en het grondoppervlak
- Ontwateringsdiepte is de afstand tussen het grondoppervlak en de hoogste grondwaterstand tussen de ontwateringsmiddelen



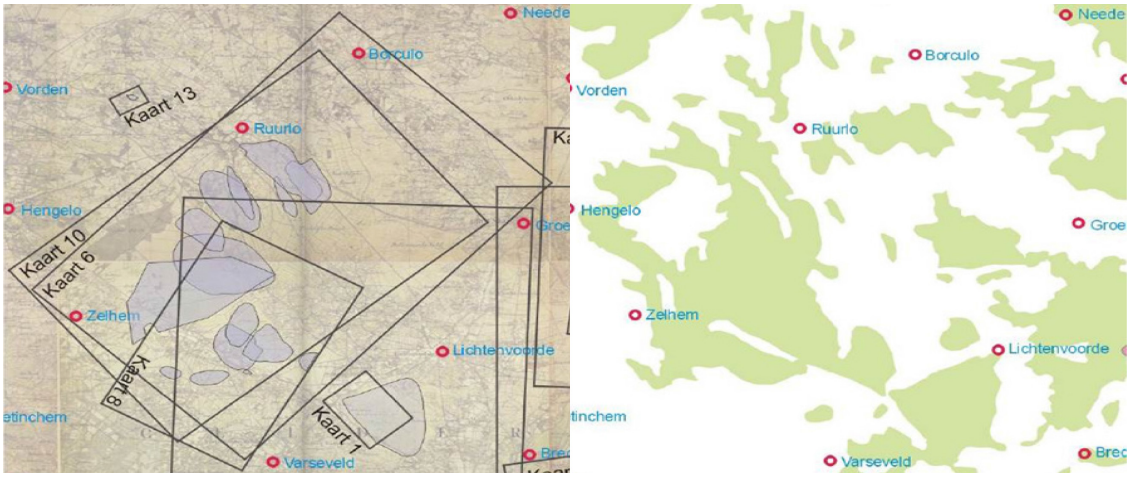
2 Gebiedsbeschrijving

De historische referentieperioden HIS en R50 zijn representatief voor de perioden rond respectievelijk 1850-1900 en 1950. In dit hoofdstuk zijn van deze perioden de voorkomende bodems, waterhuishouding en landgebruik geïnventariseerd. Voor een beschrijving van de huidige situatie wordt verwezen naar Van der Gaast en Massop (2006).

2.1 Bodemhydrologie

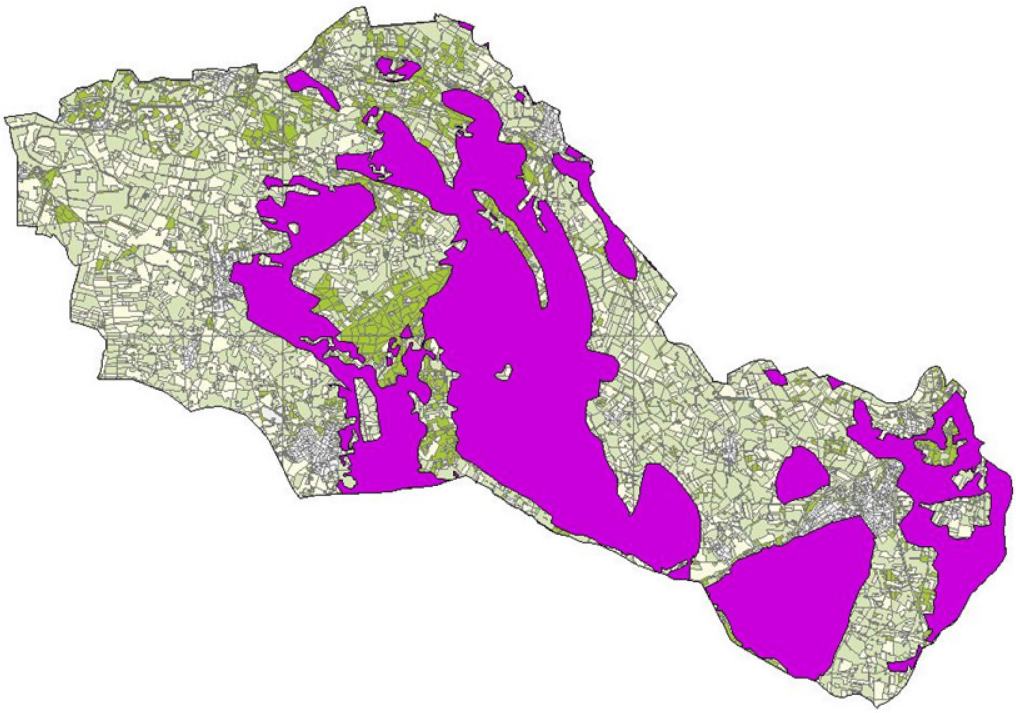
De grootste plaatsen in het stroomgebied van de Baakse beek zoals dat in figuur 1.1 is afgebeeld zijn Lichtenvoorde in het oosten, Varsseveld in het zuiden, Vorden in het westen en Ruurlo in het noorden. Het gebied, dat een oppervlakte heeft van ruim 25.000 ha, is onderdeel van het Oost-Nederlandse dekzandlandschap. Een kleine 10% van het uiterste oosten van het stroomgebied van de Baakse beek maakt in geologisch opzicht deel uit van het Oost-Gelders plateau. Hydrologisch gezien wijkt dat deel sterk af van de rest van het gebied. Omdat er op geringe diepte een slecht-doorlatende laag cq. geohydrologische basis voorkomt, reageert de afvoer snel op de neerslag. Daardoor is de aanvulling van diep grondwater in dat gebied beperkt, maar omdat het gebied helt stroomt er via de ondiepe ondergrond toch relatief lang water naar de terrasrandbeken. Metingen die in de zomer van 2010 zijn gedaan laten zien dat de terrasrandbeken nog lange tijd enig water afvoeren dat onderaan de terrasrand inzijgt in de drooggevallen watergangen (persoonlijke mededeling Gert van Houten, Waterschap Rijn en IJssel). Voor de rest van het gebied geldt dat niet. Daar vindt wel grondwateraanvulling plaats en zakt het grondwaterniveau in een droge periode langzaam uit waardoor de basisafvoer normaliter wordt gevoed.

In het verleden waren aanzienlijke delen van de Achterhoek bedekt met veen. De Rooi (2006) schat dat het om 15% van de oppervlakte ging. Hij baseert dat percentage op bodemgegevens, manuscriptenkaarten en topografische kaarten. Aan het einde van de negentiende eeuw was vrijwel al het veen verdwenen, vooral omdat de plaatselijke bevolking het voor eigen gebruik had afgegraven. Omdat het veenpakket dun was, hebben er nooit grootschalige afgravingen plaatsgevonden. Ondanks de geringe dikte zal de aanwezigheid van veen de hydrologie hebben beïnvloed. In het veenpakket was een voorraad bodemwater aanwezig dat als spons fungeerde waardoor het neerslagoverschot vertraagd tot afvoer kwam.



Figuur 2.1 *Voorkomen van veen op basis van manuscriptenkaarten (links) en op basis van aanvullende gegevens (rechts).*

De Rooi (2006) heeft twee kaartbeelden gemaakt, één op grond van manuscriptenkaarten en één op grond van gebiedskenmerken, zoals de verspreiding van fijn dekzand (figuur 2.1). De kaart die gebaseerd is op gebiedskenmerken omvat vrijwel alle veengebieden die op de manuscriptenkaarten staan. In figuur 2.2 staat een veenkaart die gebaseerd is op beide kaarten. Ruim een derde van het gebied (37%) is hierop met veen bedekt. Van deze kaart is de begrenzing van het veen in Aaltense Goor geconformeerd aan de hoogtekaart. Verder is verondersteld dat er geen veen voorkwam op de plekken waar volgens de grondwatertrappenkaart een Gt VII voorkomt. Dit zijn dekzandkoppen en -ruggen die door de veenlaag heen staken.



Figuur 2.2 *Verspreiding van veen voor afgraving in het stroomgebied van de Baakse beek.*

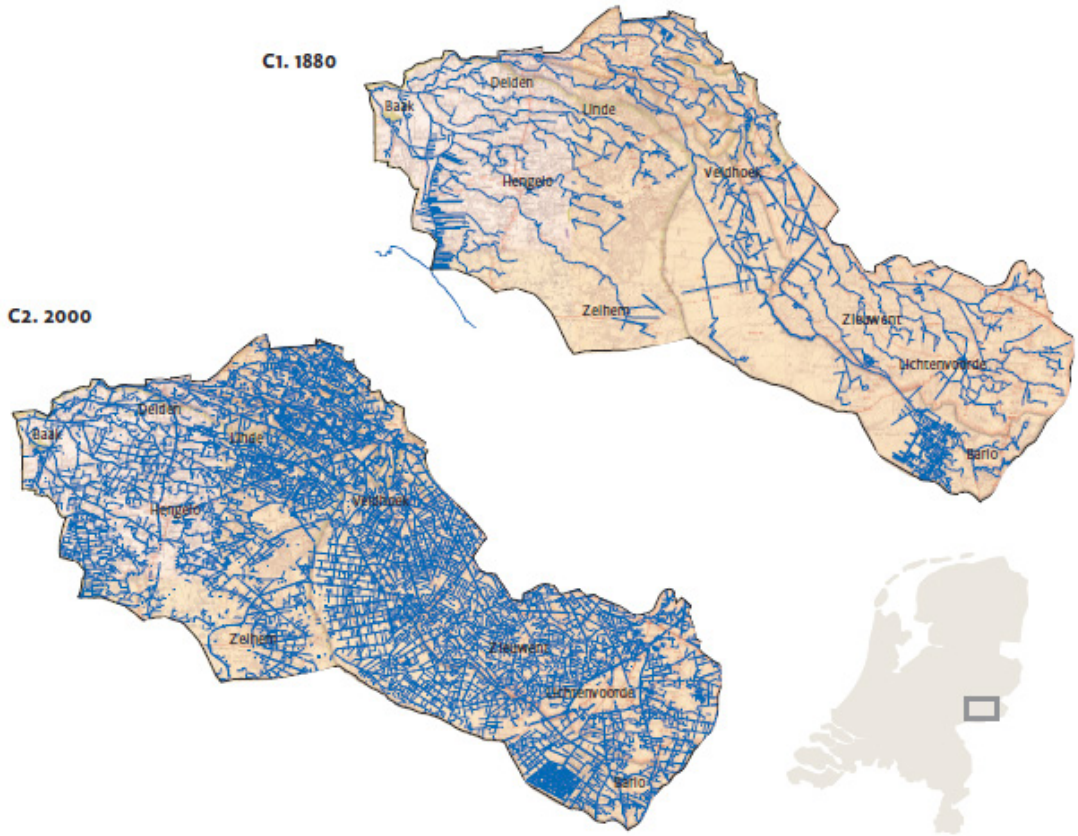
De dikte van de veenlaag zal hebben gevarieerd, maar op grond van de huidige hoogteverschillen van de plekken waar vroeger veen voorkwam wordt de dikte geschat op 80 cm. Een dergelijke veendikte wordt ook veel in nog bestaande veengebieden als het Korenburgerveen en het Haaksbergerveen aangetroffen.

2.2 Waterlopen

Dichtheid

De Baakse beek, die lange tijd de hoofdafvoer voor het gelijknamige stroomgebied vormde, mondt bij Baak uit in de Gelderse IJssel. Rond 1834 is de Veengoot gegraven om de wateroverlast in de zuidelijke helft van het stroomgebied te verminderen. In de periode 1850-1900 waren nog weinig ontwateringsmiddelen aanwezig omdat een groot areaal niet of zeer extensief landbouwkundig werd gebruikt. De eerste waterstaatskaart van dit gebied, die dateert van 1880, is gebruikt om de dichtheid van waterlopen voor de historische situatie vast te stellen. Het is een momentopname. Op deze kaart (figuur 2.3) is te zien dat er een begin is gemaakt met de ontsluiting van de veengebieden en dat in enkele gebieden de dichtheid aan waterlopen groot is, o.a. in de Aaltense Goor en nabij de Hengelose beek. Aan de zuidrand van het gebied komen nauwelijks waterlopen voor. Door de komst van de kunstmest omstreeks 1900 konden de heidenvelden in productie worden genomen. Daarvoor was het ook noodzakelijk de ontwatering te verbeteren. Voor de huidige situatie in figuur 2.3 is uitgegaan van de Top10-vector. De dichtheid aan waterlopen tussen 1880 en heden is sterk toegenomen. In de jaren zeventig van de vorige eeuw zijn verscheidene ruilverkavelingen uitgevoerd in delen van het

stroomgebied van de Baakse beek (Waterschap IJsselland Baakse beek, 1996). Uit vergelijking van de slootdichtheid voor en na de ruilverkaveling blijkt dat deze in grote lijnen overeenkomt.



Figuur 2.3 *Toename dichtheid waterlopen tussen 1880 en 2000 in het Baakse beekgebied.*

Dimensies

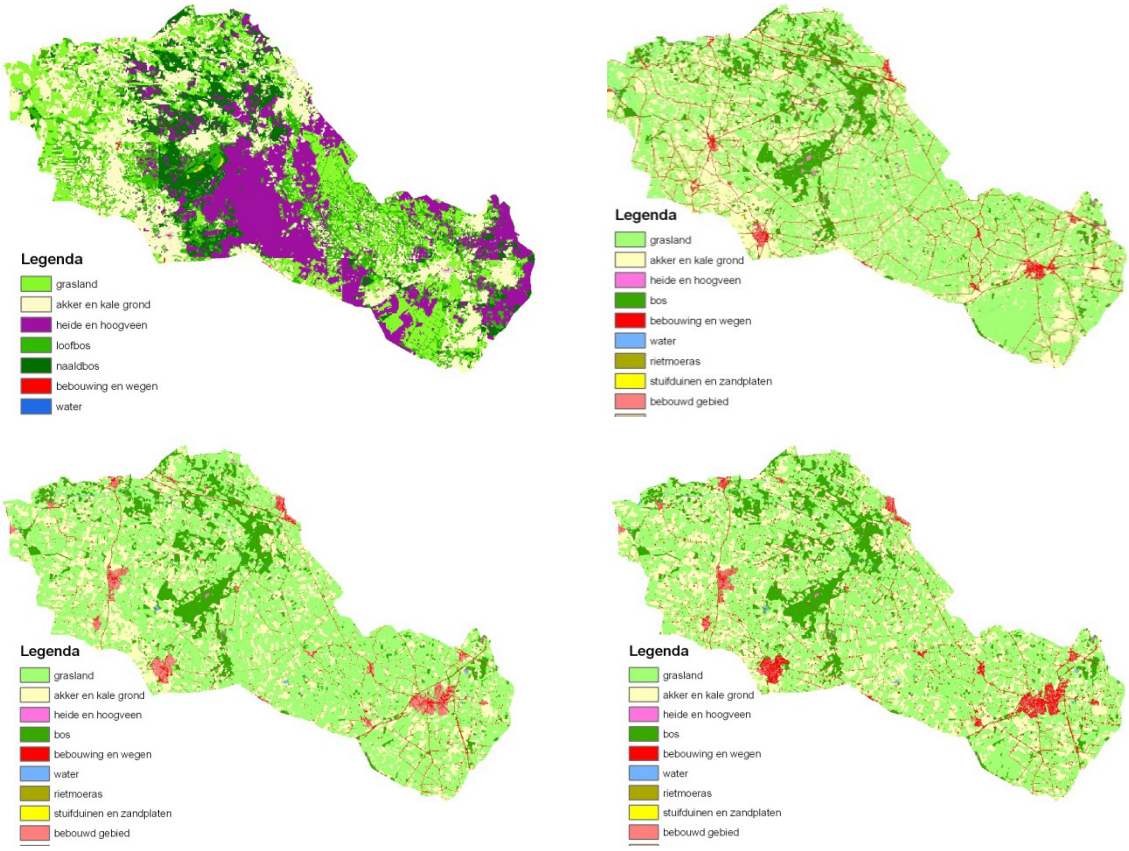
Door Staring (1845 en 1847) zijn gegevens verzameld van de Achterhoekse beken voor de situatie rond 1850. Ernst (1978) heeft een beschouwing gegeven over afmetingen van waterlopen die hij baseerde op gegevens uit het Baakse beekgebied. Meer recent zijn op basis van ruilverkaveling-inventarisaties gegevens bekend over de diepte van de waterlopen (Waterschap IJsselland-Baakse beek, 1996).

In de huidige situatie hebben de Baakse beek en de Veengoot de grootste afmetingen. Volgens de metingen die Staring rond 1845 uitvoerde was de gemiddelde bodemdiepte in het benedenstroomse deel van de Baakse beek ca. 1,75 m. Voor de Veengoot was de gemiddelde diepte 1,10 m, ongeveer overeenkomstig de overige beken. Volgens metingen uit 1930 was de Baakse beek toen nog steeds 1.75 m diep. Een groot deel van de Veengoot had een vergelijkbare diepte.

De bodemdiepte van de Baakse beek en Veengoot is in de huidige situatie toegenomen. In het grootste deel van de middenloop van de Baakse beek is de diepte ca. 2,2 m en van het benedenstroomse gedeelte 3,0 m. De Veengoot heeft ook een diepte van ca. 2,2 m. Naar het meest benedenstroomse traject neemt die toe tot 2,55 m. Uit de inventarisaties blijkt verder dat de drainagebasis tijdens de ruilverkavelingen met ongeveer 0,4 m is verlaagd, van ca. 0,8/0,9 m-mv. naar 1,2/1,3 m-mv. In bijlage 1 wordt meer in detail ingegaan op de dimensies van de waterlopen.

2.3 Landgebruik

Het Historisch Landgebruik Nederland (HGN) (Knol et al., 2004) geeft een goede indruk van het landgebruik in de referentieperiode rond 1900 (HIS). Voor de periode 1950-1960 (R50) is het HGN1960 goed bruikbaar en voor de actuele situatie (ACT) het Landelijk Grondgebruiks Bestand (LGN5) (Hazeu, 2005). Samen met het HGN1980 zijn ze afgebeeld in figuur 2.4. Het landgebruik is vereenvoudigd tot de hoofdgroepen gras, akker, mais, loofbos, naaldbos en heide. Het valt op dat het landgebruik tussen HIS en R50 aanzienlijk is veranderd. De afgegraven veengronden, die lange tijd met heide begroeid waren, zijn of ontgonnen tot landbouwgebieden of uitgegroeid tot loof- en naaldbos. Vanaf 1950 is het graslandgebruik in toenemende mate geïntensiveerd. Later heeft mais zijn intrede gedaan in de landbouwgebieden.



Figuur 2.4 *Landgebruik in 1900 (linksboven), 1960 (rechtsboven), 1980 (linksonder) en 1990 (rechtsonder).*

3 Historische bronnen

In deze studie is uitgebreid bronnenonderzoek gedaan in onder andere het archief van het voormalige waterschap Baaksche Beek. De resultaten hiervan staat beschreven in bijlage 1, evenals een lijst van de geraadpleegde bronnen. In dit hoofdstuk worden de aanwijzingen en metingen die er zijn over de historische basisafvoeren samengevat.

3.1 Basisafvoer in historische beschrijvingen

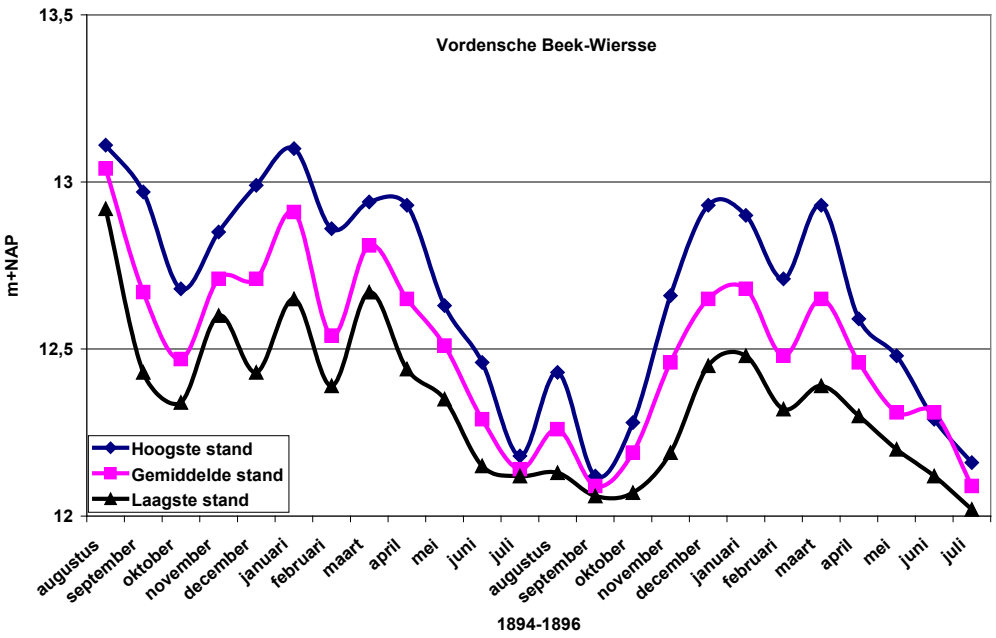
De geografische beschrijving van de provincie Gelderland (1772) geeft een beschrijving van de Vordense beek, Zellemer Heide en de venen. Hieruit valt op te maken dat er veengebieden voorkwamen en dat deze waarschijnlijk belangrijke waterbronnen waren voor de beken.

Een recenter werk is de Statistische beschrijving van Gelderland, uitgegeven door de Commissie voor de landbouw uit 1826. Dit rapport geeft een uitgebreide beschrijving van de provincie en daarnaast veel informatie over de toestand van de landbouw. Interessant is de zinsnede dat ook door het veen gevoede beken ’s zomers droog konden staan.

De Vordensche beek, ontstaat in het veen bij het buurschap Vragender, oostwaarts van Lichtenvoorde, uit de samenvloeiing van verscheidene beekjes, die ieder afzonderlijk des zomers bijna droog zijn.

3.2 Geringe afvoeren in periode 1894-1896

De meeste historische studies zijn gefocust op hoge afvoeren en overstromingen en gaan niet in op lage afvoeren. De eerste metingen die ook in drogere perioden hebben plaatsgevonden dateren van omstreeks 1895. Door de Commissie voor bevloeiingen zijn gedurende twee jaren metingen gedaan aan waterhoogte in de Baakse beek te Vorden, Wiersse, Veldhoek en Baak. Ook zijn enkele afvoermetingen gedaan met bijbehorende waterhoogte. Op basis van deze metingen is een eerste inschatting te maken van een Q(h)-relatie die de relatie weergeeft tussen de waterhoogte en de bijbehorende afvoer. In figuur 3.1, tabel 3.1 en 3.2 staan de verzamelde gegevens voor meetpunt De Wiersse.



Figuur 3.1 *Hoogste, gemiddelde en laagste waterstand in de Vordensche beek bij De Wiersse in de periode augustus 1894 - juli 1896.*

In september 1895 zijn ook afvoermetingen gedaan (tabel 3.1 en 3.2) die laten zien dat vier meetpunten in het stroomgebied van de Baakse beek afvoerloos zijn en bij twee meetpunten is een zeer kleine afvoer gemeten (gemeten op 14 of 16 september). Bij de monding van de Baakse beek in de Hackfortse beek is op 17 en 20 september wel een substantiële basisafvoer gemeten. Het is niet duidelijk of dit veroorzaakt wordt door neerslag na 16 september of door de (lage) ligging in het stroomgebied. Uit tabel 3.3 blijkt dat september 1895 en juli 1896 maanden waren met lage waterstanden.

Tabel 3.1

Lage afvoeren in het Baakse beekgebied in de periode 1894-1896.

Datum	Rivier	Plaats van waarneming	Peilschaal	Water-hoogte in NAP	Water-afvoer in l/s
17 september 1895	Baaksche Beek	Bij den mond (5870 ha)	In de Hackfortse Beek bij Baak	5,92	81
17/20 september 1895	Hackfortsche Beek	Beneden den mond der Baaksche Beek	In de Hackfortsche Beek bij Baak	5,91/5,90	248/241
16 september 1895	Hackfortsche Beek	Bij den bovenmond	In de Hackfortsche Beek bij Vorden	9,10	17
17/20 september 1895	Hackfortsche Beek	Boven den mond der Baaksche Beek	In de Hackfortsche Beek bij Baak	5,91/5,89	144/145
16 september 1895	Hissinkbeek	Bij den mond (6630 ha)	In de Hackfortsche Beek bij Vorden	9,10	0
14 september 1895	Hissinkbeek	Bij den bovenmond	In de Hissinkbeek bij Veldhoek	14,72	0
14 september 1895	Oude Hissinkbeek	Bij den mond	In de Hissinkbeek bij Veldhoek	14,72	0
14 september 1895	Veengoot	Bij den mond	In de Hissinkbeek bij Veldhoek	14,71	0
14 september 1895	Vordensche Beek	Beneden de Wiersserstuw	In de Vordensche Beek bij Wiersse	12,17	15
16 september 1895	Vordensche Beek	Bij den mond	In de Hackfortsche Beek bij Vorden	9,10	0

Tabel 3.2

Oppervlaktewaterpeilen in het stroomgebied van de Baakse Beek.

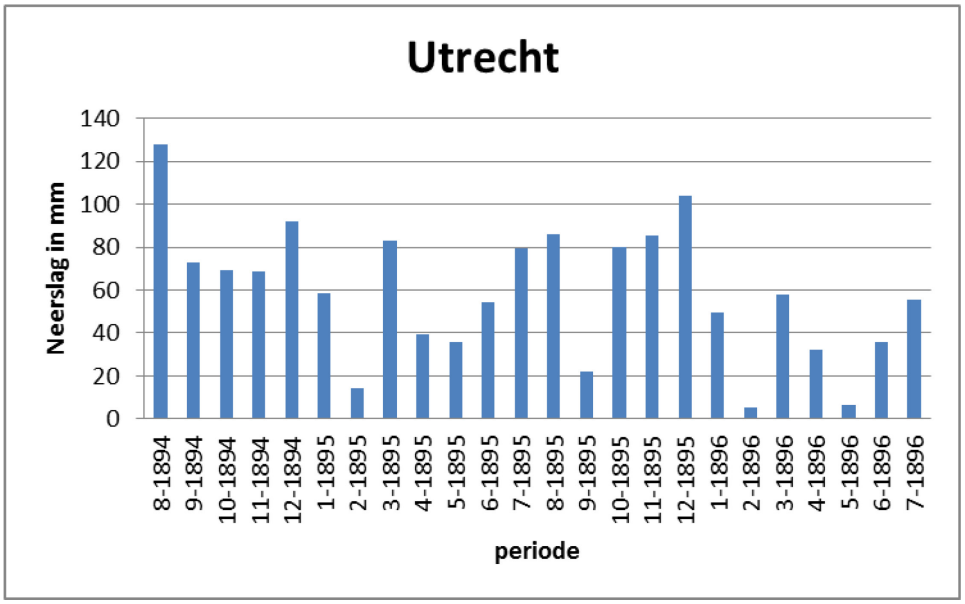
Locatie		Vordensche beek Wiersse			Hissinkbeek-Veldhoek			Hackfortsche beek-Vorden			Hackfortsche beek-Vorden		
Jaar	Maand	H[1]	G[1]	L[1]	H	G	L	H	G	L	H	G	L
								m+NAP					
1894	augustus	13,11	13,04	12,92	15,53	15,37	15,22	10,26	10,12	10,03	7,11	6,88	6,71
	september	12,97	12,67	12,43	15,38	15,17	15,07	10,20	10,07	9,92	6,86	6,51	6,26
	oktober	12,68	12,47	12,34	15,25	15,11	15,04	10,14	10,06	9,94	7,16	6,40	6,21
	november	12,85	12,71	12,60	15,50	15,34	15,23	10,19	10,08	10,00	7,51	6,83	6,42
	december	12,99	12,71	12,43	15,67	15,39	15,13	10,25	10,11	9,94	6,94	6,55	6,16
1895	januari	13,10	12,91	12,65	15,80	15,63	15,42	10,44	10,21	9,97	7,65	6,94	6,49
	februari	12,86	12,54	12,39	15,68	15,26	15,03	10,28	9,84	9,60	6,74	6,25	6,08
	maart	12,94	12,81	12,67	15,70	15,51	15,38	10,27	10,10	9,94	8,08	6,88	6,26
	april	12,93	12,65	12,44	15,69	15,44	15,24	10,16	10,04	9,81	8,24	7,04	6,21
	mei	12,63	12,51	12,35	15,26	15,15	15,04	10,14	10,03	9,86	6,53	6,33	6,10
	Juni	12,46	12,29	12,15[2]	15,05	14,93	14,82	10,01	9,51	9,29	6,39	6,22	6,05
	juli	12,18	12,14	12,12	14,84	14,81	14,79	9,32	9,26	9,21	6,06	6,04	6,01
	augustus	12,43	12,26	12,13	15,13	14,93	14,80	9,57	9,42	9,27	6,31	6,23	6,05
	september	12,12	12,09	12,06	14,80	14,77	14,72	9,25	9,16	9,10	6,03	5,9	5,8
	oktober	12,28	12,19	12,07	14,95	14,87	14,72	9,55	9,31	9,09	6.00	5,96	5,88
	november	12,66	12,46	12,19	15,22	15,12	14,88	10,12	9,90	9,53	6,60	6,26	5,95
	december	12,93	12,65	12,45	15,59	15,42	15,15	10,19	10,07	9,85	7,43	6,8	6,27
1896	januari	12,90	12,68	12,48	15,55	15,43	15,26	10,29	10,09	9,92	6,86	6,65	6,43
	februari	12,71	12,48	12,32	15,50	15,25	15,04	10,15	10,03	9,90	6,60	6,27	6,04
	maart	12,93	12,65	12,39	15,64	15,42	15,12	10,23	10,06	9,94	8,37	7,15	6,16
	april	12,59	12,46	12,30	15,30	15,17	15,06	10,07	10,05	9,94	6,65	6,33	6,12
	mei	12,48	12,31	12,20	15,08	14,94	14,83	10,05	9,57	9,29	6,16	6,07	6,00
	juni	12,29	12,31	12,12	14,87	14,82	14,77	9,30	9,24	9,19	6,18	6,09	6,00
	juli	12,16	12,09	12,02	14,83	14,76	14,7	9,22	9,13	9,05	6,19	6,03	5,89

1)H=Hoogste, G=gemiddelde en L=laagste

2)Geel: peil lager dan de laagste gemeten afvoer in tabel 3.2 en oranje enigzins hoger dan de laagste gemeten afvoer

Als we aannemen dat voor de Wiersse de afvoer stopt bij een peil van 12.17 m+NAP (volgens de meting is er dan nog slechts 15 l/s afvoer (<0,05 mm/d)[2], dan zien we dat er in de periode augustus 1894 - juli 1896 drie maanden zijn die vrijwel afvoerloos zijn; namelijk juli en september 1895 en juli 1896. Dit komt neer op gemiddeld 1,5 maand, circa 45 dagen afvoerloosheid per jaar. Uit neerslag-gegevens van Utrecht (figuur 3.2) blijkt dat 1895 niet extreem droog was met circa 740 mm neerslag. Over de periode 1881-1896 is 1895 een 56% droog jaar, dat wil zeggen acht jaren zijn droger. Er komen wel een aantal maanden voor met weinig neerslag, waaronder de afvoerloze maand september 1895.

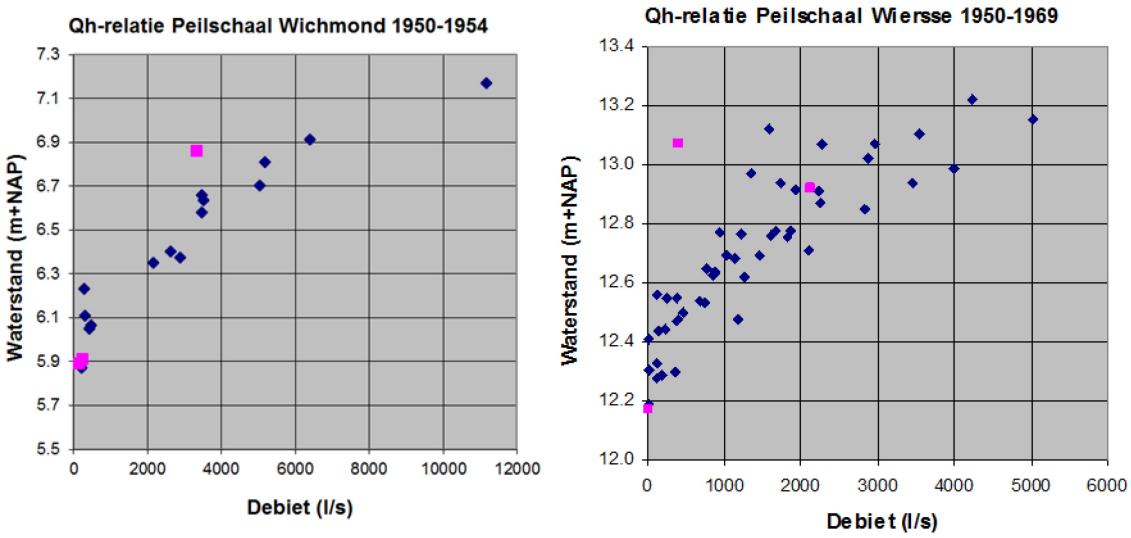
[2] Gerekend bij een stroomgebied van 6000 ha bovenstrooms van de stuw.



Figuur 3.2 *Maandelijkse neerslag voor meteostation Utrecht (155) voor de periode augustus 1894 t/m juli 1896.*

3.3 Afvoeren in periode 1950-1969

Over de periode ca. 1900 en 1950 zijn geen afvoermetingen en bijbehorende waterhoogten bekend. Na 1950 heeft Rijkswaterstaat metingen uitgevoerd. Hiervan zijn de metingen over de periode 1950-1969 in figuur 3.3 vergeleken met meetgegevens uit de periode 1894-1896 voor een plek bij Wichmond (dit is een zijbeek van wat nu als Baakse beek bekend staat) en beneden de stuw bij de Wiersse. Uit figuur 3.3 blijkt dat de lage afvoeren in hetzelfde bereik vallen. De hogere afvoeren geven bij Wichmond in de periode 1894-1896 meer opstuwing dan in de huidige situatie. Bij de Wiersse komen de waterstanden bij hoge afvoeren in de winter overeen tussen 1894-1896 en nu, maar voor augustus niet. Mogelijke oorzaak hiervoor is opstuwing als gevolg van begroeiing.



Figuur 3.3 *Afvoerschattingen op twee locaties in de Baakse beek in de periode 1894-1896 (roze punten) en 1950-1969 (blauwe punten, bron Rijkswaterstaat).*

3.4 Conclusie historische bronnen

In het verleden zijn geen betrouwbare afvoermetingen gedaan waaruit kan worden opgemaakt of de grotere beken in (droge) zomerperioden water afvoerden. Uit de gegevens die zijn verzameld blijkt wel dat de Baakse beek bij De Wiersse in de periode 1894-1896 altijd water voerde, maar dat gezien de waterstand er in 1895 meer dan twee maanden geen of een erg kleine afvoer optrad. In de statistische beschrijving van Gelderland 1826 staat vermeld dat de Vordensche beek ontstaat in het veen bij Vragender uit de samenvloeiing van verscheidene beken, die ieder afzonderlijk ’s zomers bijna droog zijn. Dit zijn sterke aanwijzingen dat afvoerloze perioden in het verleden ook geregeld voorkwamen.

De inventarisatie leverde waardevolle informatie op die ook bij andere gebiedsstudies gebruikt kunnen worden, maar ze leveren geen afdoende antwoord op de vraag of de basisafvoer in het verleden verschilt met de huidige basisafvoeren. Nader modelonderzoek is dus nodig.

4 Werkwijze modellering SWAP en HYDROMAP

Met het model SWAP worden voor de historische situaties en huidige situatie (referentieperioden) geschematiseerde geohydrologische eenheden doorgerekend. Voor iedere geohydrologische eenheid worden waterbalanstermen op dagbasis berekend waarmee met het model HYDROMAP metarelaties worden afgeleid tussen bijvoorbeeld de GLG en de afvoer bij een bepaalde onderschrijdingskans. Met deze relaties worden vervolgens gebiedsdekkende afvoerkaarten gemaakt.

4.1 Het model SWAP

Het model SWAP dat voor de berekeningen gebruikt wordt is een ééndimensionaal model dat gezien kan worden als een grondkolom. Naast de (interne) eigenschappen van de grondkolom zelf heeft de bovenrand van het model te maken met neerslag en verdamping en de onderrand met kwel of wegzijging. Het oppervlaktewatersysteem is aan de zijrand gekoppeld. Er is een bestaand Swap-model voor de Baakse beek beschikbaar waarvan hier gebruik wordt gemaakt. Een uitgebreidere beschrijving van het model is te vinden in bijlage 2 en het rapport van Van der Gaast et al. (2006).

4.1.1 Schematisatie

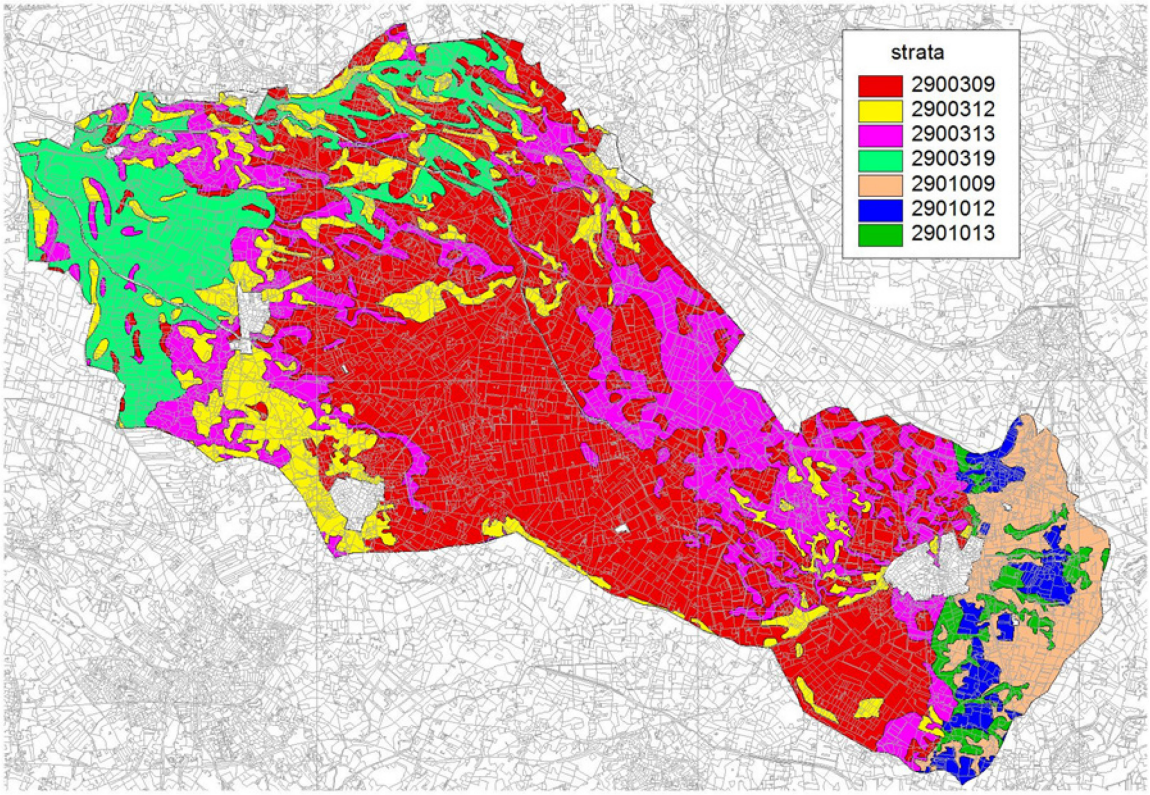
Voor de modellering van de drie referentiesituaties is de schematisatie toegepast die Van der Gaast en Massop (2007) hebben gebruikt voor de reconstructie van de historische hydrologie van het stroomgebied van de Baakse beek. Op hun beurt hebben zij gebruik gemaakt van de landsdekkende studie naar de 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' (Van der Gaast et al., 2006) waarbij op basis van weerstations, hydrotypen (Massop et al., 1997) en bodemfysische eenheden (Wösten et al., 1988) ruimtelijke eenheden cq. strata zijn onderscheiden. Voor de schematisatie van het stroomgebied van de Baakse beek is het onderscheid in hydrotype (dekzand profiel en oost-Nederland profiel) en in de belangrijkste bodemeenheden gemaakt. In totaal zijn zeven eenheden/strata onderscheiden (tabel 4.1 en figuur 4.1). Voor de meteorologie voldoet één weerstation aangezien het stroomgebied een beperkte omvang heeft.

Tabel 4.1
Kenmerken van strata die voorkomen in het stroomgebied van de Baakse beek (zie figuur 4.1).

Stratum	Weerstation	Hydrotype	Bodemeenheid
2900309	Twente [1]	Dekzand profiel	Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand
2900312	Twente	Dekzand profiel	Enkeerdgrond in zwak lemig, fijn zand
2900313	Twente	Dekzand profiel	Beekeerdgrond in zwak lemig, fijn zand
2900319	Twente	Dekzand profiel	Klei op zandgronden
2901009	Twente	Oost-Nederland profiel	Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand
2901012	Twente	Oost-Nederland profiel	Enkeerdgrond in zwak lemig, fijn zand
2901013	Twente	Oost-Nederland profiel	Beekeerdgrond in zwak lemig, fijn zand

[1]Nummer KNMI weerstation 290

Naast de referentie voor de periode rond 1850-1900 (HIS) en de referentie voor de huidige situatie (ACT) wordt een referentie voor de jaren vijftig gebruikt. Die periode wordt verder aangeduid als R50. De modelinvoer voor R50 zijn geïnterpoleerde waarden van die van HIS en ACT, waarbij de veranderingen in dichtheid en dimensies van de waterlopen en van de grondwaterstand die in de vorige eeuw hebben plaatsgevonden leidend waren.



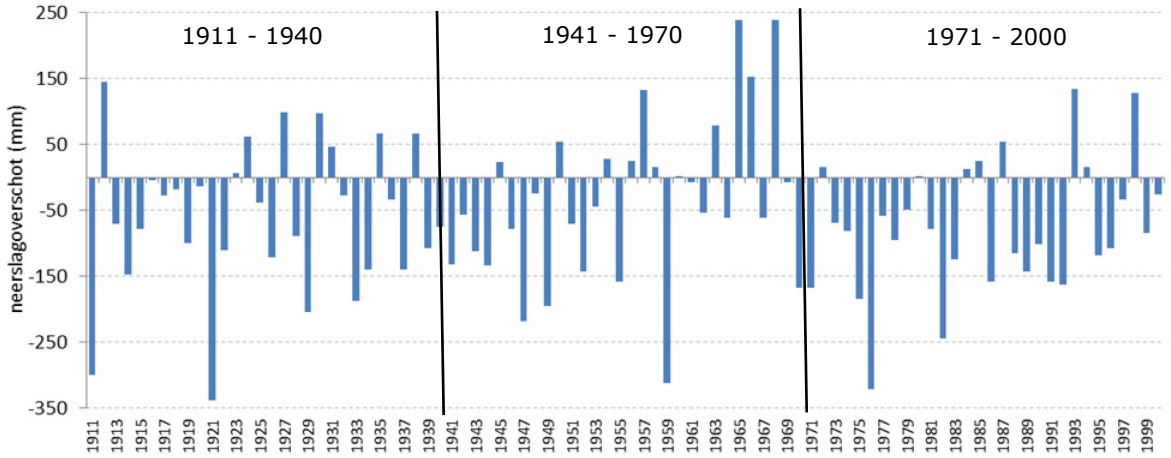
Figuur 4.1 *Ruimtelijke verdeling van de strata in het stroomgebied van de Baakse beek. Voor de codering van de strata zie tabel 4.1.*

4.1.2 Parameterisatie van SWAP

Meteorologie

Voor de neerslag (N) en verdamping (Eref) zijn gegevens gebruikt van het meteostation Twente. Van dit KNMI-meetstation zijn langjarige meetreeksen op dagbasis beschikbaar. De neerslag is van het lokale neerslagstation nr. 290 waarmee wordt voorkomen dat neerslagpieken door regionale middeling afvlakken[3]. Voor de verdamping zijn voor de periode 1971-2000 gegevens gebruikt van station Twente, voor de periode voor 1971 is gebruik gemaakt van een verdampingsreeks van De Bilt. Uit de neerslag- en verdampingsgegevens zijn drie aaneensluitende reeksen van 30 jaar samengesteld: 1911-1940, 1941-1970 en 1971-2000 (figuur 4.2).

[3] De neerslaggegevens van station Twente zijn gemiddeld genomen enkele procenten lager dan van een neerslagstation dat binnen het modelgebied ligt. Mogelijk dat de basisafvoer in het stroomgebied van de Baakse beek iets wordt onderschat als voor de achterliggende berekeningen gebruik wordt gemaakt van station Twente.



Figuur 4.2 *Het neerslagoverschot (N-Eref) in het zomerhaljaar in de jaren 1911 – 2000.*

Water

In SWAP wordt de 'grondkolom' gevoed met neerslagwater, kwelwater en water dat via beregening, bevloeiing of via de waterlopen wordt aangevoerd. De afvoer vindt plaats over het maaiveld, via sloten en greppels, en als wegzijging via de onderrand. Door Van der Gaast en Massop (2007) zijn voor vier Gt's voor ieder stratum kengetallen en weerstanden zoals slootafstanden, waterpeilen en q(h)-relaties voor HIS en ACT vastgesteld. De vier Gt-'s (IIa, IIIb, VI en VII) die het hele spectrum van nat tot droog beslaan worden in HYDROMAP gebruikt om metarelaties mee te bepalen.

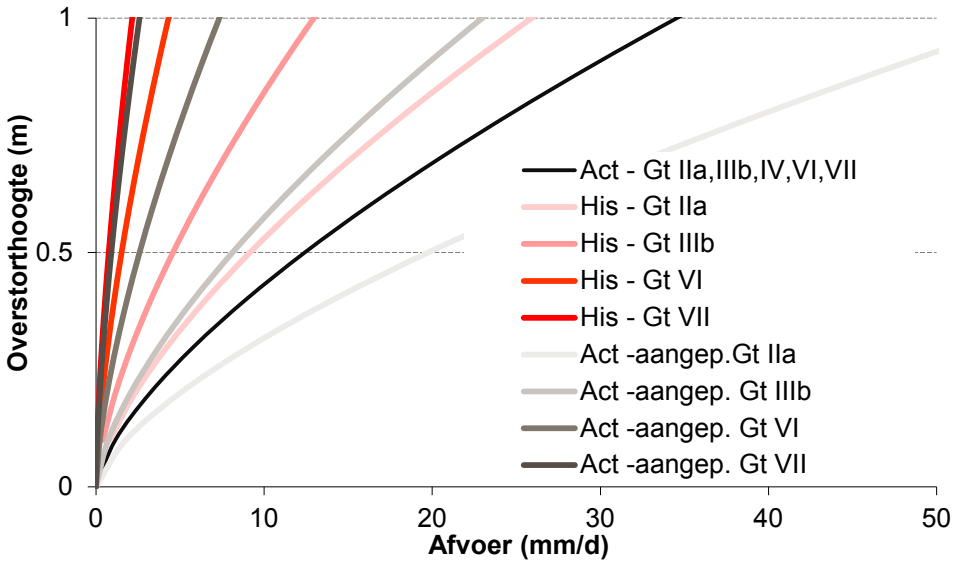
De combinatie van 7 strata met 4 Gt's leveren 28 verschillende combinaties op. Op grond van verkennende berekeningen is een aantal verbeteringen aan het model uit Van der Gaast (2006) doorgevoerd. Zo heeft de stijghoogte van het diepe grondwater aan de onderrand van het model in plaats van een vaste waarde een sinusverloop gekregen. Dat komt beter overeen met de werkelijkheid. De amplitude rond het gemiddelde, die voor ieder stratum en iedere Gt anders is, bedraagt 40 cm, waarbij de grootste stijghoogte op dag 45 (14 februari) valt.

Bij de afvoereigenschappen worden per Gt verschillende waarden gehanteerd voor de stuwpeilen en voor alpha in de zogenaamde Q(h)-relatie. Oorspronkelijk waren deze voor de afwatering (systeem 1) en de ontwatering (systeem 2) voor de vier Gt's van ACT aan elkaar gelijk. Van der Gaast had al een voorstel gedaan om die Gt-afhankelijk te laten variëren (persoonlijke mededeling). Dat voorstel is overgenomen (zie figuur 4.3). Een andere aanpassing is dat de wateraanvoer in het model is uitgeschakeld. In het stroomgebied van de Baakse beek is wateraanvoer van buiten het stroomgebied namelijk niet mogelijk. Wel is er intern wateraanvoer mogelijk tussen deelstroomgebieden. Zo wordt er water uit de bovenloop van de Veengoot naar het deelstroomgebied van de Oosterwijkse vloed ingelaten (rond drinkwaterwinning 't Klooster). Hier is in de modellering geen rekening mee gehouden. Geschat wordt dat het effect hiervan op de basisafvoer klein is omdat de waterinlaat normaliter drie maanden per jaar niet mogelijk is vanwege lage peilen in de Veengoot. Verder is de uittreeweerstand, die 0 dagen was, op 100 dagen gesteld met als gevolg dat de grondwaterstand in de buurt van een drainerende waterloop wat minder vlak is. De gevolgen voor de basisafvoer zijn evenwel beperkt.

Voor de referentieperiode R50, die qua tijdsinterval halverwege HIS en ACT ligt, zijn geen kengetallen bekend. Aan de hand van de veranderingen van de slootafstanden en -dimensies die in de leggers zijn opgetekend en van het verloop van de grondwaterstand in de vorige eeuw blijkt dat in hydrologisch opzicht R50 niet het gemiddelde is van HIS en ACT.

Uit de beschouwing over de afmetingen van de waterlopen in bijlage 1 blijkt dat de slootdichtheid en de slootdimensies rond 1950 al veel leken op de recente dimensies. 90% van de wijzigingen tussen HIS en ACT waren toen al gerealiseerd. Het slotennet was in de jaren vijftig van de vorige eeuw al

duidelijk sterk geïntensiveerd. Voor het berekenen van de slootafstanden en slootdimensies voor referentie R50 uit HIS en ACT is de verhouding 10 – 90% gebruikt.



Figuur 4.3 *Q(h)-relaties voor de afwatering en de ontwatering.*

Met name de afvoerkarakteristieken en stijghoogte van het diepe grondwater zijn pas veranderd in de periode rond de grote ruilverkavelingen die de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw hebben plaatsgevonden. Voor R50 wordt daarom voor de Q(h)-relaties en de stijghoogtes van het diepe grondwater uitgegaan van een situatie die voor 75% overeenkomt met HIS en voor 25% met ACT.

Van de berging op het maaiveld is aangenomen dat die kleiner is geworden omdat het maaiveld steeds meer is vervlakt. Voor HIS is een maximale berging aangehouden van 3 cm, voor R50 van 0,5 cm en voor Act van 0,2 cm.

Veen

Om een idee te krijgen wat het effect van de aanwezigheid van veen op de basisafvoer is geweest is een apart historisch scenario doorgerekend. Daarvoor is uitgegaan van de oorspronkelijk verspreiding van het veen (figuur 2.2). Voor de berekeningen betekent de aanwezigheid van een veenlaag dat niet alleen de bodemopbouw en bodemeigenschappen veranderen, maar ook de gewaseigenschappen, de drainage en de kwel/wegzijging. Voor de bodem is uitgegaan van een 80 cm dikke veenlaag op stratum 2900309 (dekzand) en voor de fysische eigenschappen van standaard bodemeenheden B18 op O17 (boven- en ondergrond veen) uit de Staringreeks (Wösten et al., 1988). Om het aantal variabelen te beperken zijn de drainage-eigenschappen en de gewaseigenschappen van natuurlijk gras van de historische referentie gebruikt. Natuurlijk gras kan, net als een hoogveenvegetatie dat uit een combinatie van freatofyten bestaat, ook onder erg natte omstandigheden nog potentieel verdampen.

In vergelijking met de situatie zonder veen kan een veenpakket de kwel/wegzijging op verschillende manieren hebben beïnvloed. De grondwaterstand, die tot hoog in het veenpakket reikt, is ook in absoluut opzicht hoger en zorgt zo voor een grotere neerwaartse druk. Anderzijds komt er in het grensvlak tussen veen en de minerale ondergrond vaak een (zeer) slecht doorlatende laag voor waardoor de verticale uitwisseling met het diepe grondwater minimaal is. En dat kan ook invloed hebben op de stijghoogte van het grondwater in de ondergrond. Om voor het Baakse beekgebied tot een plausibele aanname te komen zijn proefberekeningen uitgevoerd met de kengetallen voor de onderrand van het model van stratum 2900309 en van twee bestaande veengebieden. De kengetallen van deze veengebieden (Bargerveen en Griendtsveen) zijn ontleend aan hydrologische modelstudies (Van der Gaast en Massop, 2006). De resultaten van de berekeningen staan in bijlage 3. De conclusie hieruit is dat de onderrand van stratum 290309 het meest aannemelijk is. De betreffende onderrand is voor berekeningen met veen toegepast.

Landgebruik en gewaseigenschappen
De veranderingen in landgebruik (figuur 2.3) hebben ook gevolgen voor de verdamping (interceptie, transpiratie en evaporatie) en daarmee op de grondwateraanvulling. Tabel 4.2 geeft een indruk van de oppervlaktes van het landgebruik in de referentieperioden HIS, R50 en ACT. Voor HIS wordt (natte) heide als apart begroeiingstype onderscheiden omdat de verdampingseigenschappen wat afwijken van die van natuurlijk grasland. Voor akkerbouwgewassen bleek het voor de verdamping uit te maken of er wel of geen vanggewas[4] aanwezig was. Met name bij aardappels, dat een korte periode kent waarin de planten volgroeid zijn, was de verdamping klein. Omdat vanggewassen in de praktijk veelvuldig worden toegepast -en als dat niet het geval is staat er wel onkruid- is besloten de berekeningen met een vanggewas uit te voeren.

Aan het scenario waarbij gekeken is naar het effect van het veen op de basisafvoer zijn voor het veenareaal de eigenschappen van natuurlijk grasland toegekend omdat deze soorten ook aan natte omstandigheden zijn aangepast. De eigenschappen van soorten waaruit het veen heeft bestaan, zoals veenmos, zeggen en pijpestrootje, zijn niet bekend.

Tabel 4.2
Oppervlakte van begroeiingstypen in de drie referentieperioden.

Landgebruik	1900	1960	2000
gras/mais	10426	19334	18534
akker	1971	3645	2382
heide	10834		
loofbos	647	2643	1471
naaldbos	1744		1155
natuur			334
bebouwing			1746
totaal	25622	25622	25622

In bijlage 4 staat een overzicht van de voor SWAP benodigde de gewaseigenschappen. Het betreffen onder andere de drukhoogtes waarmee de actuele transpiratie uit de potentiële transpiratie wordt berekend, de interceptiecoëfficiënt en de maximale worteldiepte. Voor gewaseigenschappen zijn standaardwaarden gebruikt, met uitzondering van gras in de historische situatie. Die zijn aangepast om te voorkomen dat de verdamping te sterk wordt gereduceerd. In gebieden die langdurig nat zijn zal een vegetatie voorkomen die onder die omstandigheden water kan opnemen en verdampen (zie kader). De parameters die de wateropname limiteren zijn aangepast naar de waarden voor natuurlijk gras. Daardoor treedt de limitering pas op bij een hoge grondwaterstand. In de berekeningen komt het er op neer dat er nagenoeg geen groeivertraging is en de actuele verdamping ongeveer overeenkomt met de potentiële verdamping.

[4] Een vanggewas, bij voorbeeld een groenbemester, wordt ingezaaid na de oogst als doel de bedoeling uitspoeling van meststoffen tegen te gaan.

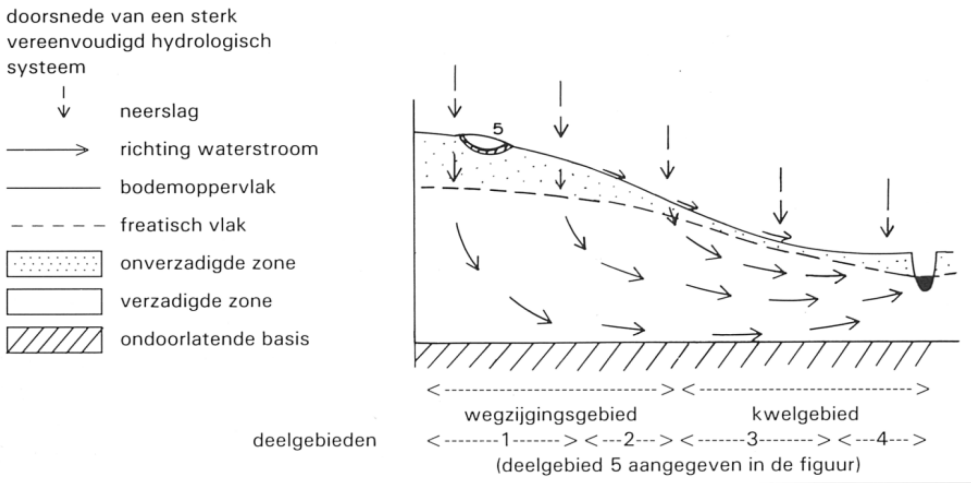
In SWAP wordt de reductie van de verdamping onder natte en droge omstandigheden geregeld via de zogenaamde 'sinkterm' (Feddes, 1978). De opname van water door het gewas is hierbij een functie van de drukhoogte van het water in de wortelzone. Indien de bodem te nat of te droog is dan wordt de factor kleiner dan 1. De actuele verdamping is vervolgens gelijk aan het product van die factor en de potentiële verdamping. De genoemde "sink" term is een empirische relatie die afhangt van de verdampingsvraag en het soort gewas. Voor gras in de referenties HIS en R50 en voor de natuurlijke grasland is ervan uitgegaan dat de soortensamenstelling van vegetaties bij een extensief beheer is aangepast aan de natte omstandigheden. Bekend is dat onder droge omstandigheden het aandeel mesofyten en xerofyten toeneemt, en onder natte omstandigheden, bij voorjaarsgrondwaterstanden rond of boven maaiveld, het aandeel hygrofyten (Runhaar, 1999). Eén van de belangrijkste eigenschappen van verschillende hygrofyten als zeggen, biezen en riet aan waterverzadigde zuurstofarme milieus is het bezit van luchtweefsels die de wortels van zuurstof kunnen voorzien. Niet alle hygrofyten hebben luchtweefsels. Andere aanpassingen zijn een intensief en oppervlakkig wortelstelsel, waarmee het mogelijk is zuurstof te halen uit de bovenste beter doorluchte bodem- of waterlaag, en een eenjarige levenscyclus waarbij de soort later in het seizoen kiemt op drooggevallen plekken (Cools et al., 2006). Door deze aanpassingen kunnen dergelijke soorten onder natte omstandigheden groeien cq. transpireren. Tegelijkertijd zal ook de evaporatie hoog zijn, of, als het grondwater tot in het maaiveld reikt, de open water verdamping een substantiële bijdrage aan de verdamping leveren. Het onderscheid tussen transpiratie en evaporatie/open waterverdamping is daardoor moeilijk vast te stellen.

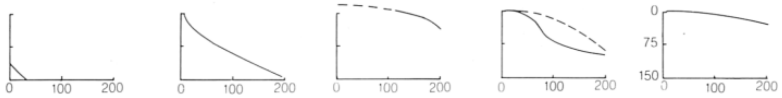
4.2.1 Opzet van het model

Voor de metamodellen wordt gebruik gemaakt van het feit dat, onder natuurlijke omstandigheden, hydrologische kenmerken als GLG[5], kwel en afvoer in hoge mate afhankelijk zijn van de ligging in het landschap (figuur 4.4). Daarom bestaat er normaliter een goede relatie tussen hydrologische parameters zoals de GLG of GHG en de afvoer of het aantal dagen dat er geen afvoer optreedt. In figuur 4.5 staat als voorbeeld het verband tussen de GHG en de afvoer. In feite is dit een metamodel waarmee aan de hand van een GHG-kaart een ruimtelijk beeld van de afvoer kan worden verkregen.

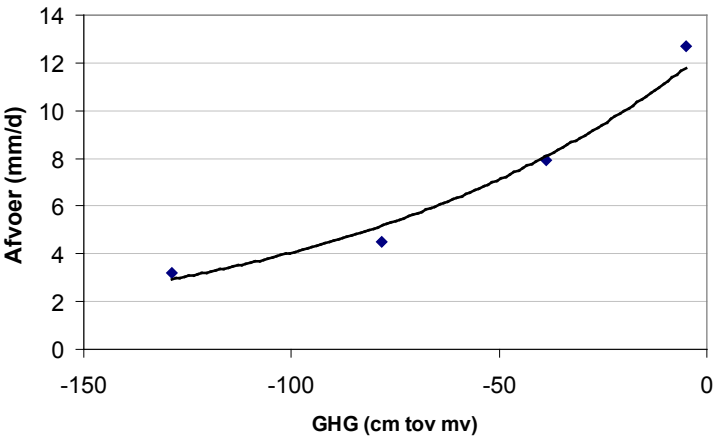
De afvoer, die bepaald wordt door kwel/wegzijging, grondwateraanvulling en de berging in de bodem, is in de loop der tijd beïnvloed door waterhuishoudkundige ingrepen. Kwel/wegzijgingsveranderingen kunnen veroorzaakt worden door onttrekkingen en veranderingen in de waterhuishoudkundige inrichting (drainage, peilveranderingen). Veranderingen in de grondwateraanvulling worden veroorzaakt door veranderingen in het grondgebruik en waterhuishoudkundige ingrepen. Beide veranderingen hebben tot gevolg dat de gewasverdamping en de bergingscoëfficiënt veranderen. Door dit soort ingrepen gaat de eenduidige relatie tussen de GLG en de gebiedsafvoer niet meer op, maar omdat hier eventuele ingrepen in de berekeningen zijn verdisconteerd levert dit metarelaties op die specifiek voor een bepaalde periode voor het stroomgebied van de Baakse beek gelden.

[5] De GHG en GLG (Gemiddeld Hoogste/Laagste Grondwaterstand) is gedefinieerd als resp. de top/ het dal van de grondwater-regimecurve, die doorgaans wordt berekend op basis van het gemiddelde van de HG3/LG3, voor een hydrologisch jaar, over een aaneengesloten periode van tenminste acht hydrologische jaren waarin geen waterhuishoudkundige ingrepen hebben plaatsgevonden. HG3 en LG3 zijn de gemiddelde van de drie hoogste respectievelijk de drie laagste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) worden gemeten, uitgaande van een halfmaandelijkse meetfrequentie.



deelgebied	1	2	3	4	5
gebiedstype	wegzijgings-gebied	wegzijgings-gebied, randzone	kwel-gebied	kwel-gebied, gedraineerd	geïsoleerd gebied
typering NTM	droog	vochtig	nat	vochtig/nat	nat
typering bodemsamen-stelling	mineraal materiaal	min of meer mineraal-organisch (humeus)	rijk aan organisch materiaal (venig)	gelaagd, mineraal/ organisch	rijk aan organisch materiaal (veen)
typering duurlijnen-verloop [1])					
grondwater-stand	diep, sterk wisselend	ondieper, minder wisselend	ondiepst, minst wisselend	ondiep en wisselend	ondiep, minst wisselend
hydrolog. prof.type	hangwater-profiel	contact-profiel	grondwater-profiel	grondw./ contact-profiel	grondwater-profiel
GT's	VII	IV-V-VI	I-II-III	(I-)IV-V-VI	I-II

Figuur 4.4 *Doorsnede door een beekdal (SWNBL, 1990).*



Figuur 4.5 *Voorbeeld van een metamodel voor de relatie tussen de GHG en de afvoer met een bepaalde herhalingstijd.*

Voor de basisafvoer zijn met name de afvoer in een droge periode en het aantal dagen zonder afvoer van belang. Voor de basisafvoer is geen eenduidige omschrijving bekend. Omdat het om de afvoer in een droge periode gaat - en dus niet de kleinste afvoer - zijn specifieke afvoeren genomen die een groot aantal dagen per jaar worden overschreden, bijvoorbeeld q300 die 300 dagen per jaar wordt

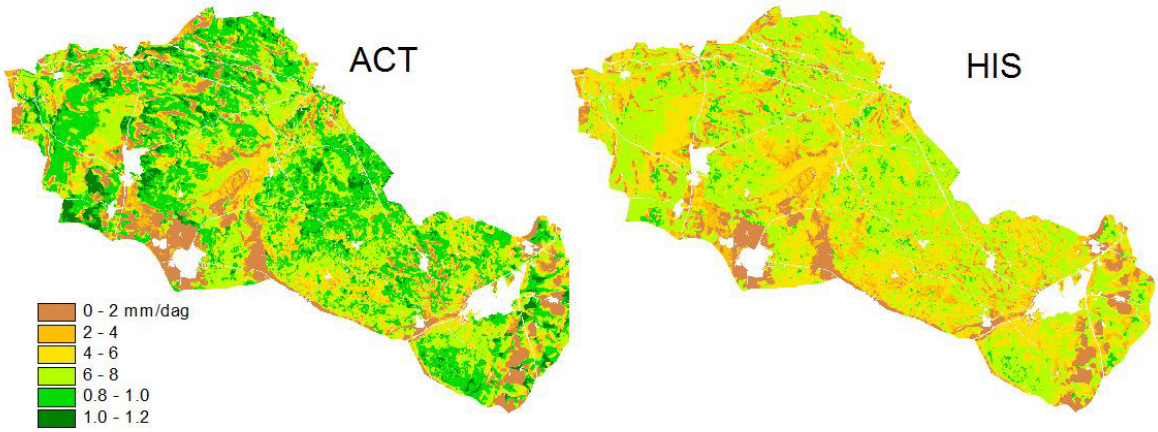
overschreden en q250 die 250 dagen per jaar wordt overschreden. In deze gevallen zijn er dus per jaar respectievelijk 65 (365-300) en 115 (365-250) dagen met een minder grote afvoer.

Het aantal dagen zonder afvoer geeft ook inzicht in de afvoerkarakteristiek van een gebied. Echter, afvoerloosheid hoeft nog geen droogval te betekenen. Als er geen afvoer optreedt blijft er vaak water achter in diepere beektrajecten of voor stuwen en duikers.

Voor dit onderzoek zijn metamodellen opgesteld met de GLG/GHG als verklarende variabele enerzijds en specifieke afvoeren en dagen zonder afvoer anderzijds. In tegenstelling tot de GHG die goed voldoet voor grote afvoeren bleek de GLG beter te voldoen voor kleine afvoeren. Voor het Baakse beekgebied zijn metamodellen voor de drie referentieperioden (HIS, R50 en ACT) voor alle voorkomende combinaties van strata en begroeiingstype opgesteld. Ieder metamodel is gebaseerd op vier berekeningen met SWAP die representatief zijn voor een natte, vochtige, droge en erg droge situatie (zie hoofdstuk 4.2.1).
Aansluitend op de specifieke afvoeren en het aantal dagen zonder afvoer worden met HYDROMAP ook de kwel en de GHG/GLG voor de drie referentieperioden in kaart gebracht om ze te kunnen toetsen aan de huidige situatie en aan de uitkomsten van het AMIGO-model. Voor de GHG-kaarten van de referentieperioden wordt een metamodel gebruikt waar de huidige GHG als verklarende variabele wordt gebruikt.

4.2.2 Interpolatie

Voor het vlakdekkend invullen van specifieke afvoeren, dagen zonder afvoer, kwel en de GHG en GLG is gebruik gemaakt van Gt-informatie die met een hoge resolutie beschikbaar is. Door het simpelweg toepassen van deze relaties per schematisatie eenheid is het mogelijk om op een eenvoudige wijze gebiedsdekkende kaarten te genereren. In figuur 4.6 staat als voorbeeld de maatgevende afvoer (q1) voor de actuele en historische situatie. De maatgevende afvoer wordt vaak gebruikt voor het ontwerp van leidingen en bijbehorende kunstwerken.



Figuur 4.6 *Voorbeeld van een kaart gebaseerd op metarelaties: maatgevende afvoer die één dag per jaar wordt bereikt of overschreden voor de actuele en historische situatie.*

4.3 Scenario's SWAP

In de modellering met Swap worden drie referentiesituaties (tabel 1.1) doorgerekend, namelijk: de periode 1850-1900 (scenario HIS), periode +/- 1950 (scenario R50) en Huidig (scenario ACT). Aanvullend is een scenario doorgerekend voor veengebieden.

5 Resultaten berekeningen SWAP/HYDROMAP

5.1 Inleiding

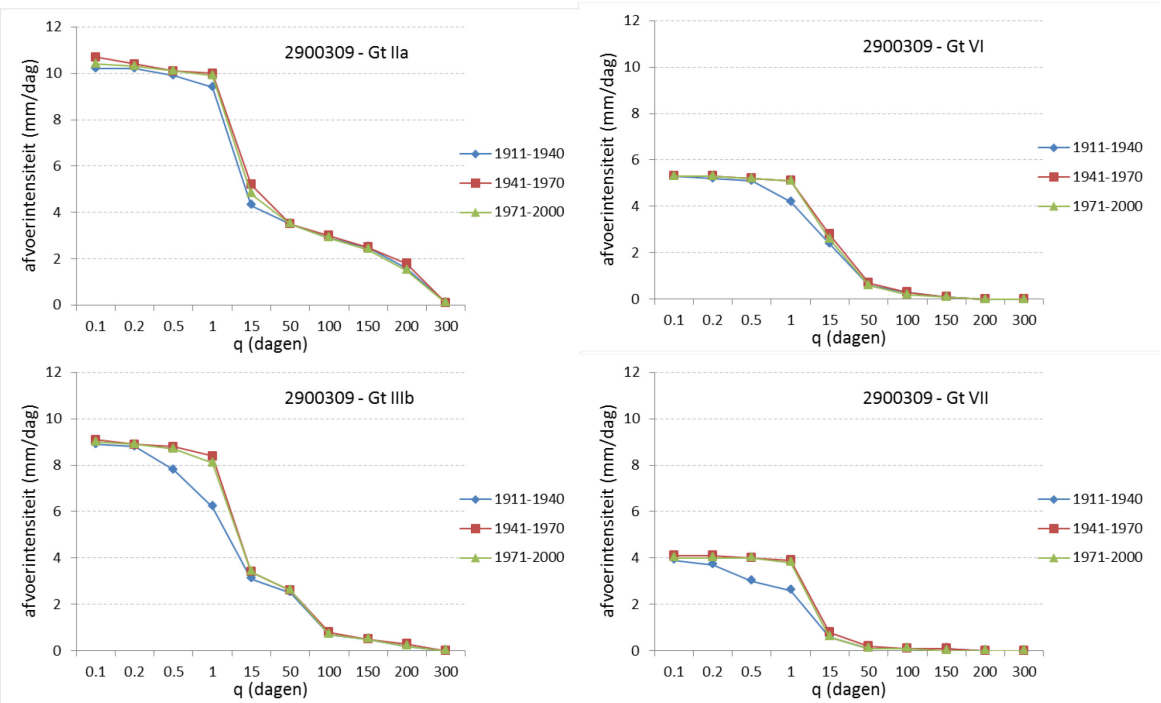
Voor elk van de drie referentieperioden zijn voor zover mogelijk metarelaties afgeleid tussen de GLG in de huidige situatie (GLG-ACT) enerzijds en de specifieke afvoeren q50, q100, q150, q200 en q300 anderzijds. Ook is een metarelatie afgeleid tussen de GLG-ACT en het aantal dagen zonder afvoer. De afvoeren q50, q100 en q150 zijn niet kenmerkend voor de afvoer in een droge periode, maar ze zijn wel medebepalend voor de afvoerkarakteristiek van het gebied. Voor q300 zijn de metarelaties voor meerdere combinaties van strata en landgebruiksvorm op minder dan vier getallenparen gebaseerd (zie voorbeeld in figuur 4.5) omdat bij één of meer van die getallenparen de afvoer gelijk aan nul was.

5.2 Resultaten

In de onderstaande paragrafen worden de resultaten besproken van de Swap-modellering t.a.v. specifieke basisafvoeren, grondwaterstanden, kwel en de invloed van veengebieden.

5.2.1 Neerslag en verdamping

In eerste instantie is nagegaan of de toename van de neerslag die de afgelopen eeuw heeft plaatsgevonden ook invloed heeft op de basisafvoer. Daarvoor is het historische referentie HIS doorgerekend met de drie meteoreeksen. In figuur 5.1 staat voor het veelvoorkomende stratum 2900309, een podzolgrond in zwak lemig fijn zand, de afvoerintensiteit uitgezet tegen de duur dat die afvoer optreedt.



Figuur 5.1 *Verschil in overschrijdingsduur van de afvoer in drie opeenvolgende dertig jarige perioden voor het historische referentie HIS voor stratum 2900309.*

De verschillen tussen de periodes 1941-1970 en 1971-2000 zijn over het algemeen klein. De periode 1911-1940 laat rond de maatgevende afvoer (q1)[6] een wat lagere afvoer zien, maar bij kleinere afvoeren zijn de verschillen klein. Bij het aantal dagen zonder afvoer (tabel 5.1) zijn er in de periode 1911-1940 weliswaar meer afvoerloze dagen dan in periode 1941-1970, maar minder dan in de periode 1971-2000. Er is geen consequente afname. Dat is ook niet het geval als de referentieperioden R50 en ACT met de drie meteoreeksen worden doorgerekend.

Tabel 5.1
Dagen zonder afvoer in drie perioden voor het historische scenario voor stratum 2900309.

	1911-1940	1941-1970	1971-2000
Gt IIa	44	32	45
Gt IIIb	117	109	124
Gt VI	137	116	153
Gt VII	118	96	169

Een nadere analyse van de meteogegevens laat zien dat de toename van de jaarlijkse neerslag, die vanaf 1906 18% bedraagt, vooral voor rekening komt van de winter (+26%), het voorjaar (+21%) en de herfst (+26%) (www.knmi.nl). In de zomer is de neerslaghoeveelheid weinig veranderd (+3%). Bovendien is ook de referentieverdamping met een vergelijkbare hoeveelheid toegenomen waardoor er geen duidelijke trend optreedt in het zomerse neerslagoverschot (figuur 4.2 en bijlage 1). Besloten is om voor alle drie de referentieperioden de meest recente meteoreeks (1971-2000) te gebruiken. Dit maakt het eenvoudiger om de resultaten van de berekeningen met elkaar te vergelijken. De lengte van de meetreeks (30 jaar) garandeert voldoende variantie in droge, gemiddelde en natte jaren.

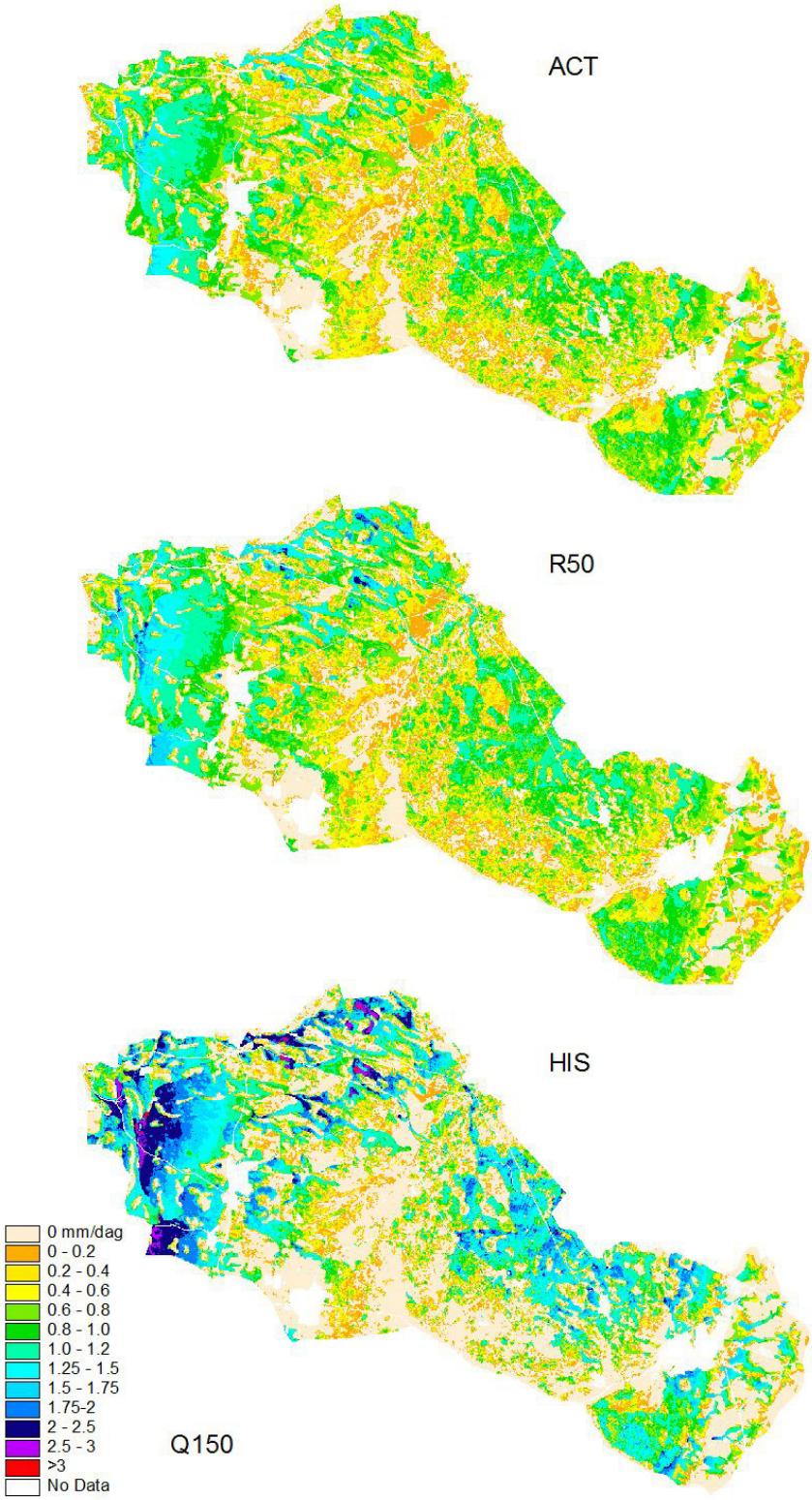
5.2.2 Specifieke basisafvoeren

In figuur 5.2 en 5.3 staan de specifieke afvoeren voor respectievelijk q150 en q200 voor HIS, R50 en ACT. Wat opvalt is dat HIS afwijkt van R50 en ACT. R50 en ACT vertonen onderling een grote gelijkenis. Bij HIS komen in het oosten en midden van het stroomgebied grotere delen voor waar geen afvoer optreedt, terwijl dat bij R50 en ACT wel het geval is. Daar staat tegenover dat de afvoer in laagste delen bij HIS aanzienlijk groter is dan van R50 en ACT. De oorzaak van de verschillen hangt waarschijnlijk samen met de ontwateringsmiddelen. Bij HIS zijn die in de hogere delen hooguit extensief -en met een geringe diepte- aanwezig waardoor de grondwaterstand daar hoog kan zijn zonder dat er drainage optreedt. Het grondwater zakt uit naar de lagere delen waar het, samen met een grote kwelflux, via de grotere beken wordt afgevoerd. De plekken in het zuidwesten waar de afvoer in HIS het grootste is lijken samen te vallen met een grote dichtheid aan waterlopen (figuur 2.3). Dat duidt erop dat het daar erg nat was. Ten tijde van R50 was het waterlopenstelsel intensiever, ook op de overgangen van droge zandruggen naar de natte beekdalen. In ACT is de diepte van het waterlopenstelsel nog wat toegenomen, maar daar staat tegenover dat de kwelflux is afgenomen (figuur 5.9).

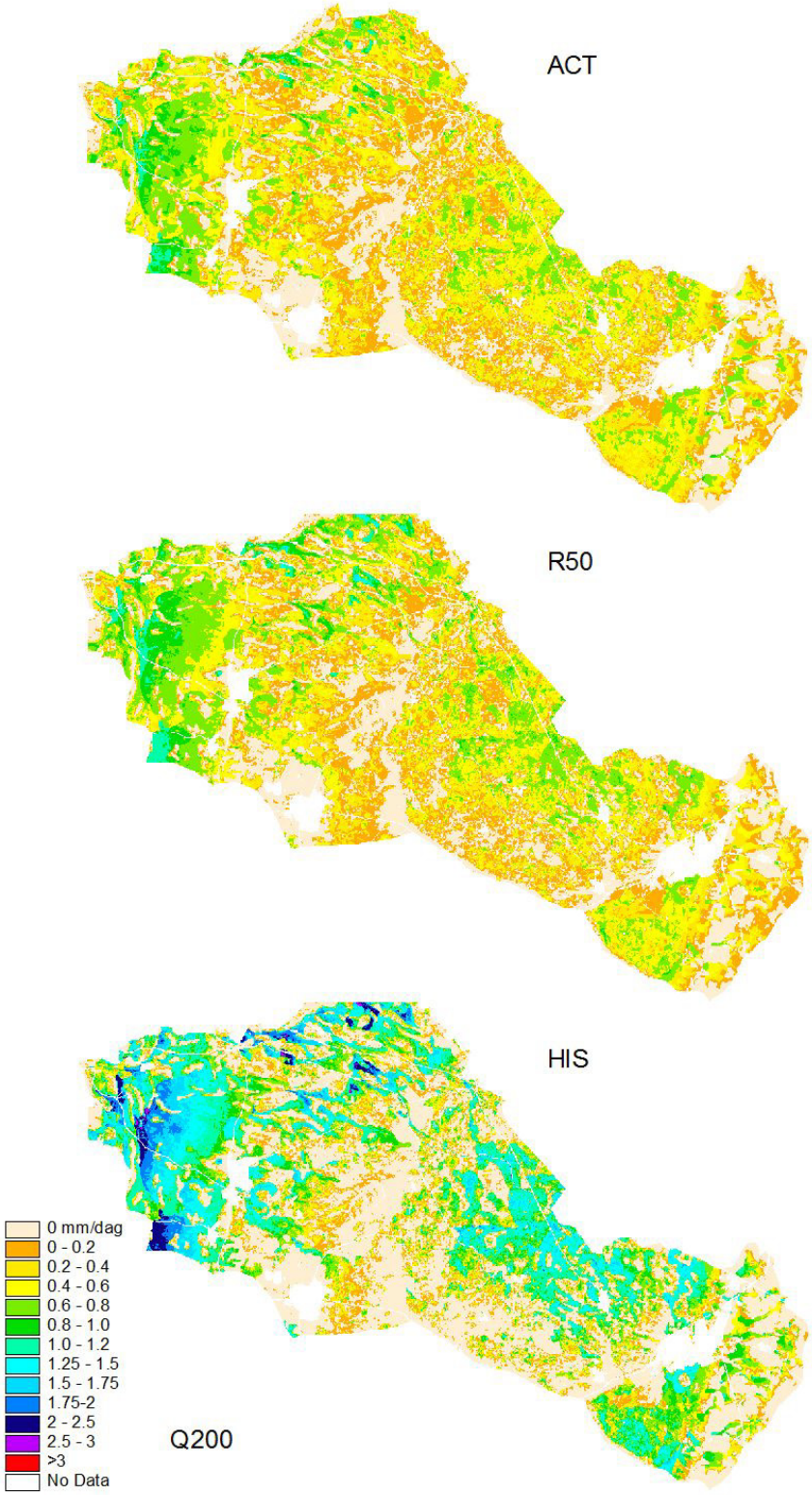
In figuur 5.4 staan de gebiedsgemiddelde specifieke afvoeren voor q50, q100, q150 en q200. Voor 250 en q300 konden geen afbeeldingen worden gemaakt omdat er voor een aantal strata onvoldoende punten waren om metarelaties op te baseren. Evenals in de figuren 5.2 en 5.3 is er in figuur 5.4 weinig verschil tussen R50 en ACT. Bij alle punten is de afvoer van R50 wat hoger dan van ACT. HIS laat een ander beeld zien. Bij q50 en q100 liggen de punten nog dicht bij elkaar, maar bij q150 en q200 is de afvoer bij HIS duidelijk groter dan van R50 en ACT[7]. Bij q300 zijn de afvoeren van

6 Zie definitie in het kader op pagina 10.
7 Dit heeft een marginale invloed op de totale (jaarlijkse) gebiedsafvoer omdat die voornamelijk bepaald wordt door grote afvoeren (kleiner dan q50).

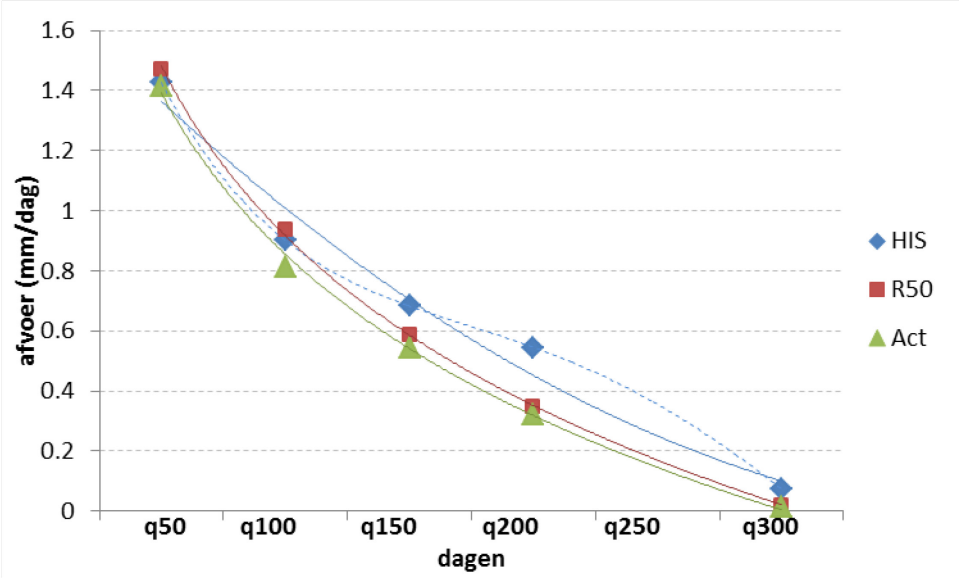
scenario's ACT en R50 bijna nul, terwijl HIS nog enige afvoer heeft. Dit duidt erop dat in de historische situatie iets meer afvoer was bij q300. Extrapolatie naar afvoeren voorbij q300 is niet mogelijk, waardoor er geen schatting gegeven kan worden van het aantal afvoerloze dagen in scenario HIS.



Figuur 5.2 *Specifieke afvoer (q150) voor de referentieperioden HIS, R50 en ACT.*

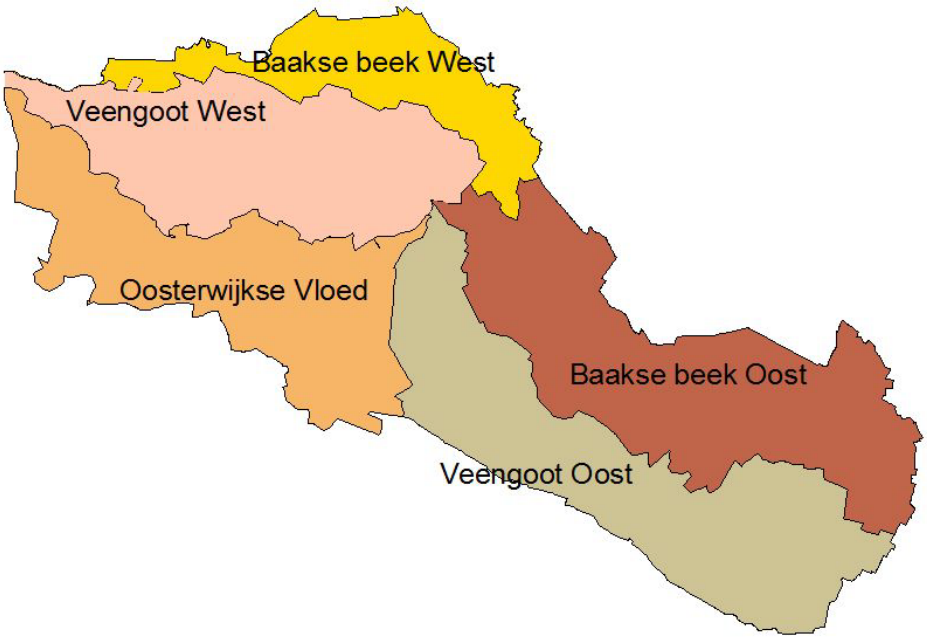


Figuur 5.3 *Specifieke afvoer (q200) voor de referentieperioden HIS, R50 en ACT.*



Figuur 5.4 *Gebiedsgemiddelde specifieke afvoeren voor het stroomgebied van de Baakse beek.*

In tabel 5.2 zijn de specifieke afvoeren voor de referentieperioden in mm/dag en in m^3/dag gegeven voor vijf deelstroomgebieden (figuur 5.5). Opvallend is dat in de bovenloop van de Veengoot (Veengoot Oost) q50, q100 en q150 toenemen van HIS naar R50. Ook in de Baakse beek Oost is dat, in bescheiden mate, bij q50, q100 het geval. Hier is de intensivering en verdieping van de ontwatering debet aan, waardoor er op meer plekken grondwater afgevoerd wordt. Bij vrijwel alle andere deelgebieden neemt de afvoer in die tijdspanne af. Tussen R50 en ACT neemt de afvoer nog wat verder af. De erg kleine afvoer bij Q300 is niet opgenomen omdat die onbetrouwbaar is.



Figuur 5.5 *Deelgebieden binnen het stroomgebied van de Baakse beek.*

Tabel 5.2

Specifieke afvoeren in deelgebieden van het stroomgebied van de Baakse beek en de verschillen tussen HIS en ACT en tussen R50 en ACT.

HIS	q50	q100	q150	q200		q50	q100	q150	q200
Veengoot Oost	0.93	0.54	0.38	0.30		58	34	24	19
Baakse beek Oost	1.41	0.89	0.68	0.53		92	58	44	35
Veengoot West	1.56	1.00	0.78	0.62		79	51	39	32
Baakse beek West	1.40	0.91	0.71	0.57		37	24	19	15
Oosterwijkse Vloed	1.34	0.85	0.65	0.52		68	43	33	26
					totaal	334	210	160	127
R50									
Veengoot Oost	1.15	0.70	0.42	0.24		72	44	27	15
Baakse beek Oost	1.43	0.90	0.55	0.33		93	59	36	21
Veengoot West	1.53	1.00	0.64	0.38		77	51	32	19
Baakse beek West	1.37	0.91	0.58	0.35		37	24	16	9
Oosterwijkse Vloed	1.32	0.85	0.54	0.32		67	43	27	16
					totaal	345	220	138	80
ACT									
Veengoot Oost	1.12	0.65	0.41	0.25		70	40	25	15
Baakse beek Oost	1.38	0.78	0.53	0.31		90	51	34	20
Veengoot West	1.45	0.84	0.57	0.33		73	42	29	17
Baakse beek West	1.29	0.74	0.51	0.29		34	20	14	8
Oosterwijkse Vloed	1.28	0.74	0.50	0.30		64	37	25	15
					totaal	332	191	128	76

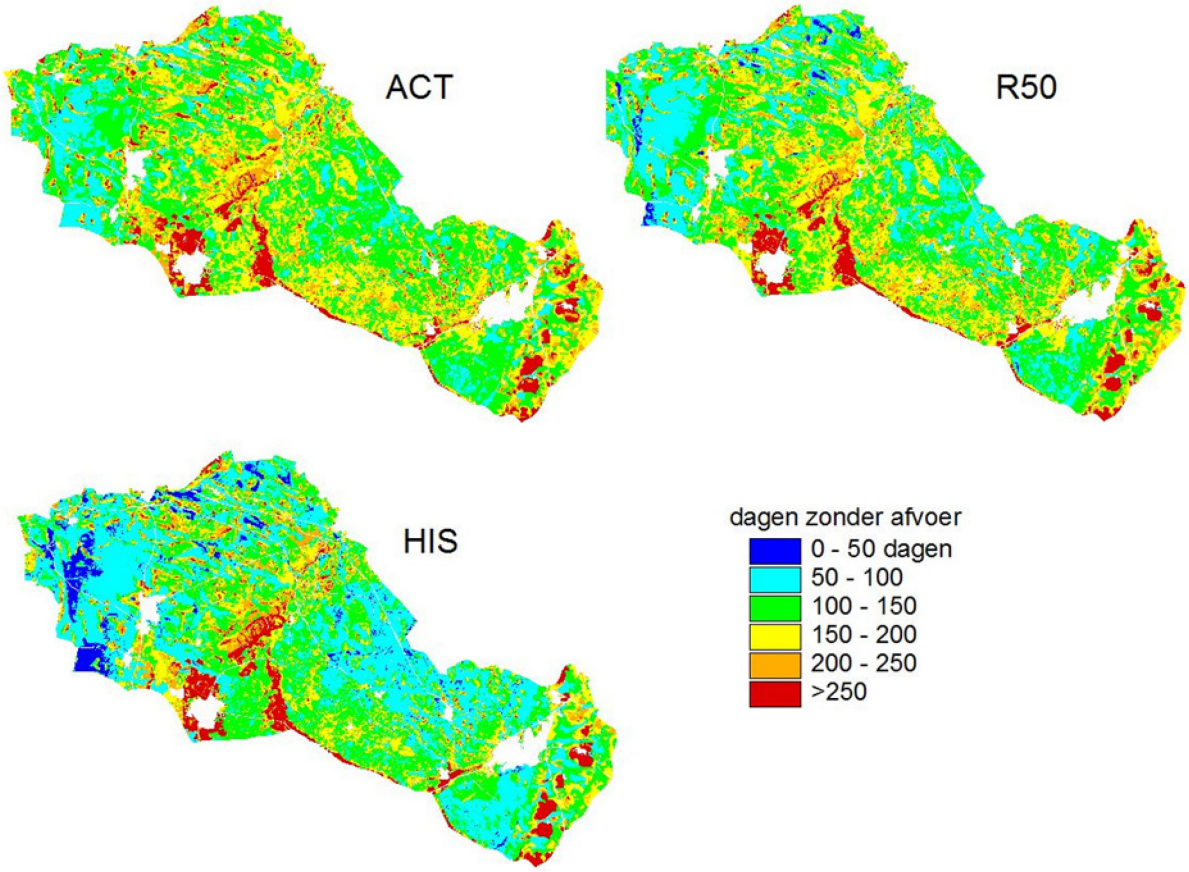
Verschillen	q50	q100	q150	q200		q50	q100	q150	q200
HIS - ACT		mm/dag					$x10^3$ m^3/dag		
Veengoot Oost	-0.19	-0.10	-0.02	0.05		-12.1	-6.5	-1.5	3.3
Baakse beek Oost	0.03	0.11	0.15	0.22		2.2	7.1	9.7	14.3
Veengoot West	0.11	0.17	0.21	0.29		5.7	8.4	10.7	14.7
Baakse beek West	0.11	0.17	0.20	0.27		2.9	4.4	5.5	7.3
Oosterwijkse Vloed	0.06	0.11	0.15	0.22		3.1	5.7	7.6	11.1
					totaal	1.7	19.1	32.0	50.8
R50 -ACT									
Veengoot Oost	0.02	0.05	0.02	-0.01		1.4	3.2	1.0	-0.6
Baakse beek Oost	0.05	0.12	0.02	0.01		3.1	7.7	1.6	0.7
Veengoot West	0.08	0.16	0.07	0.04		4.0	8.2	3.5	2.2
Baakse beek West	0.08	0.16	0.08	0.06		2.2	4.4	2.1	1.5
Oosterwijkse Vloed	0.04	0.11	0.04	0.01		2.2	5.7	2.0	0.8
					totaal	12.9	29.2	10.3	4.6

In het hele stroomgebied nemen de afvoeren van q150 en q200 in de loop der tijd af. Voor q50 en q100 laat R50 de grootste afvoer zien. De totale jaarsommen zijn niet bekend omdat de berekende metarelaties niet voor natte omstandigheden met een grote afvoer gelden.

5.2.3 Aantal dagen zonder afvoer

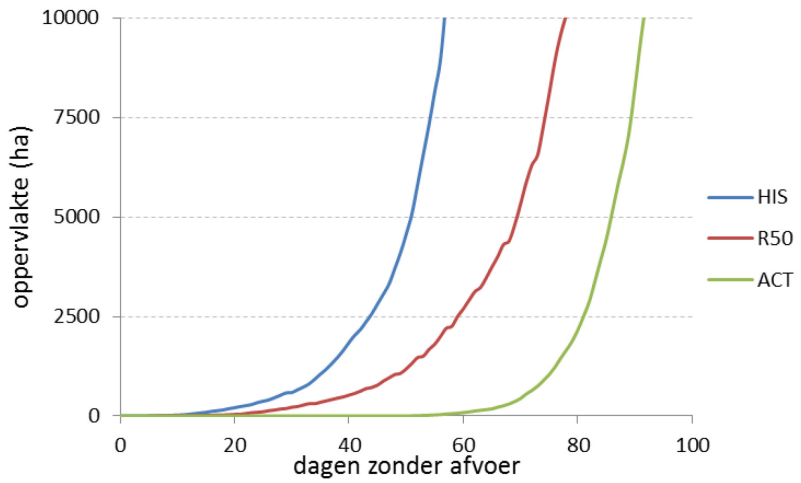
In figuur 5.6 staat het aantal dagen zonder afvoer voor de referentieperioden HIS, R50 en ACT. De rode gebieden in figuur 5.6 genereren het grootste deel van het jaar geen afvoer, terwijl de licht en donkerblauwe gebieden het langste afvoeren blijven genereren. Bij HIS komen zowel de rode (>250 dagen zonder afvoer) als donker blauwe gebieden (<50 dagen zonder afvoer) vaker voor dan bij ACT. Er komen vrijwel geen plekken voor waar het aantal dagen kleiner is dan 25 dagen. Omdat verschillende metamodellen gebruikt zijn kan het voorkomen dat op plekken waar geen of weinig afvoer optreedt (figuren 5.2 en 5.3) het aantal dagen zonder afvoer niet altijd in de klasse > 250 dagen valt (figuur 5.6).

Bij R50 is het oppervlak met minder dan 50 dagen zonder afvoer (donkerblauw in figuur 5.6) kleiner dan bij HIS. Bij ACT zijn er in feite geen plekken meer die in die klasse vallen. Volgens de trendlijnen in figuur 5.4, waarin de gebiedsgemiddelde specifieke afvoeren staan, ligt het aantal dagen zonder afvoer van R50 en ACT rond de 50. Volgens de meest waarschijnlijke trendlijn voor HIS hoort daar ook een vergelijkbaar aantal afvoerloze dagen bij. Bovendien kan op de ene plek afvoer optreden die op een andere plek voor een stuw of oplopende beekbodem stagneert.



Figuur 5.6 Het aantal dagen zonder afvoer voor de referentieperioden HIS, R50 en ACT.

In figuur 5.7 staat het aantal dagen zonder afvoer voor de referentieperioden HIS, R50 en ACT voor een selectief gedeelte van het gebied, en wel de natste 10 000 ha, cumulatief weergegeven. Hierin is te zien dat het aantal afvoerloze dagen van 60 dagen/jaar met grofweg 20 afneemt van HIS naar R50 en nogmaals 20 dagen/jaar van R50 naar ACT.

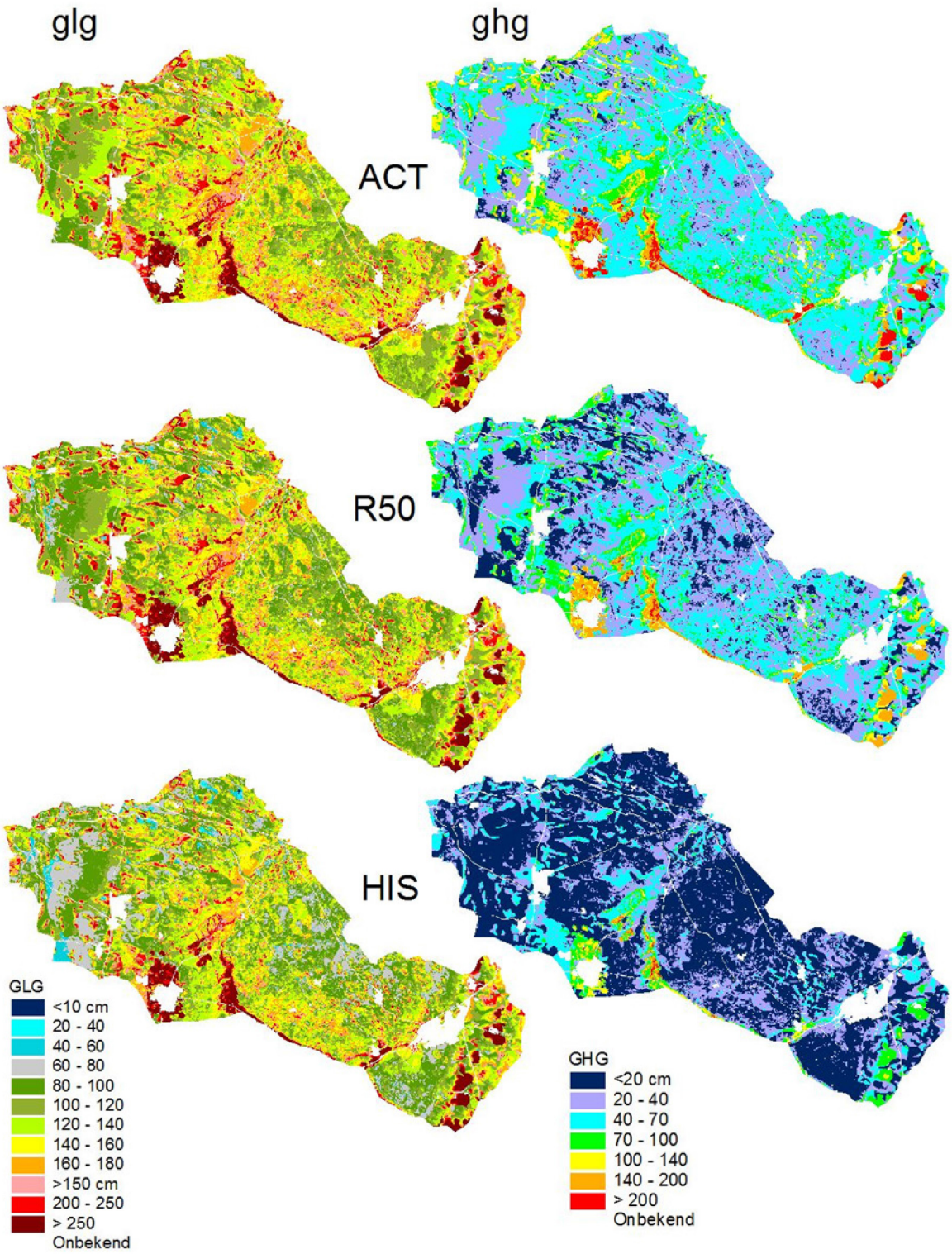


Figuur 5.7 *Het aantal dagen zonder afvoer voor de natste 10 000 ha (uitsnede uit afvoerduurlijn van het gehele studiegebied).*

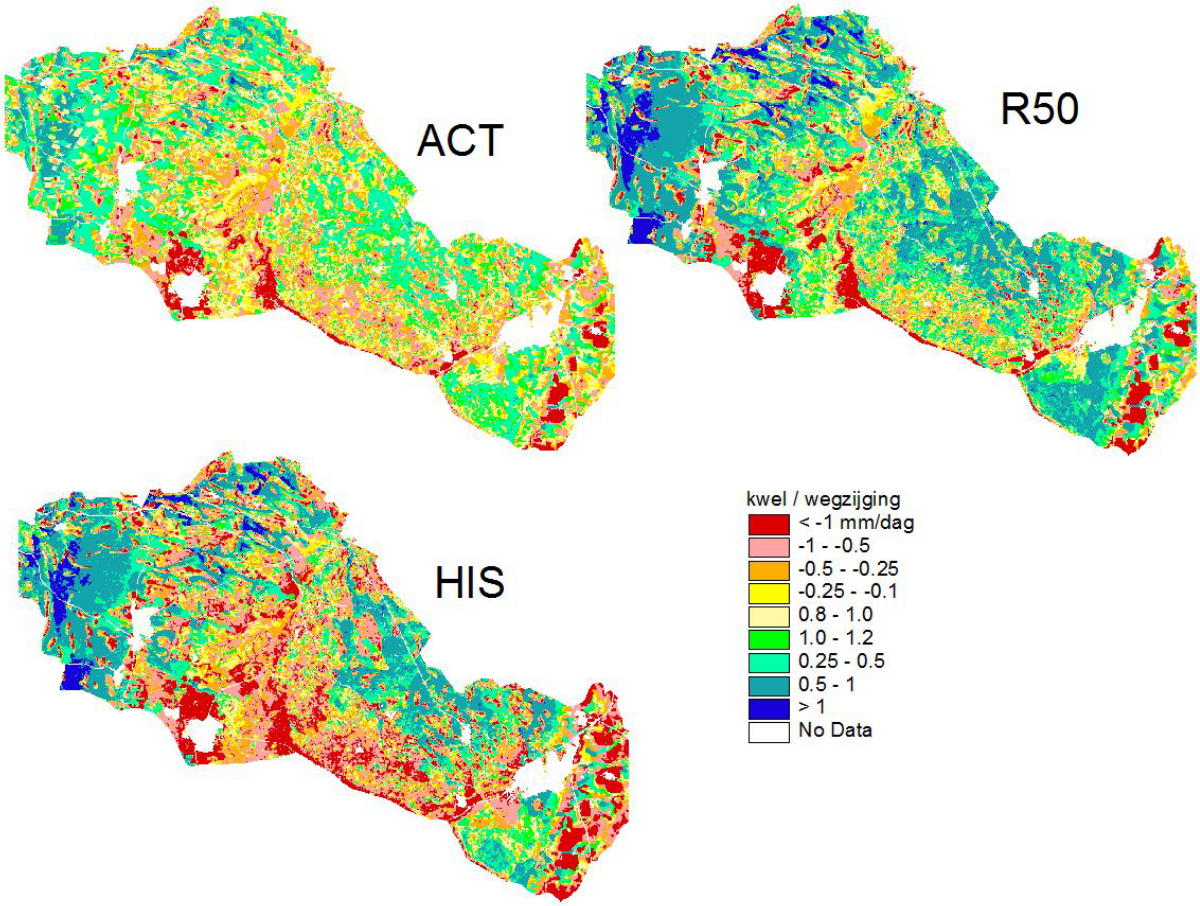
5.2.4 GHG, GLG en kwel

Om een indruk te krijgen van de GHG en GLG in de referentieperioden zijn die van HIS en R50 met HYDROMAP berekend waarbij de actuele GHG en GLG als verklarende variabelen zijn gebruikt. Figuur 5.8 laat zien dat het tussen HIS en ACT gestaag droger is geworden. Vooral de GHG is gedaald. Gemiddeld over het hele stroomgebied is berekend dat de GHG tussen HIS en R50 met 21 cm is gedaald en tussen R50 en ACT met nog eens 26 cm (totaal 47 cm). De GLG is respectievelijk 15 en 9 cm gedaald (totaal 24 cm). De daling die andere studies in het oostelijke zandgebied laten zien, geven een gemiddelde daling van 30 - 60 cm die vooral heeft plaatsgevonden in de periode waarin ruilverkavelingen zijn uitgevoerd (Knotters en Jansen, 2005; Rolf, 1989; Kremers en Van Geer, 2000). De hier berekende daling van de GLG 24 cm lijkt in vergelijking daarmee aan de kleine kant.

Met HYDROMAP is ook de jaargemiddelde kwel/wegzijging in beeld gebracht (figuur 5.9). Het is aannemelijk dat de gebiedsgemiddelde kwel in ACT, R50 en HIS ongeveer nul of licht negatief (kleine wegzijgingsflux naar de IJssel) is. Bij HIS en ACT is de wegzijging gemiddeld over het hele stroomgebied 15 mm/jr, maar bij R50 was de kwel duidelijk groter (43 mm/jr) dan de wegzijging. Hierdoor zijn de afvoeren in R50 waarschijnlijk overschat met +/- 60 mm/jr (+/-20% van de totale afvoer). Het is inherent aan de berekeningswijze, waarin bovendien geen bebouwd gebied wordt meegenomen en er geen terugkoppeling plaatsvindt, dat kwel en wegzijging hier niet aan elkaar gelijk hoeven te zijn.



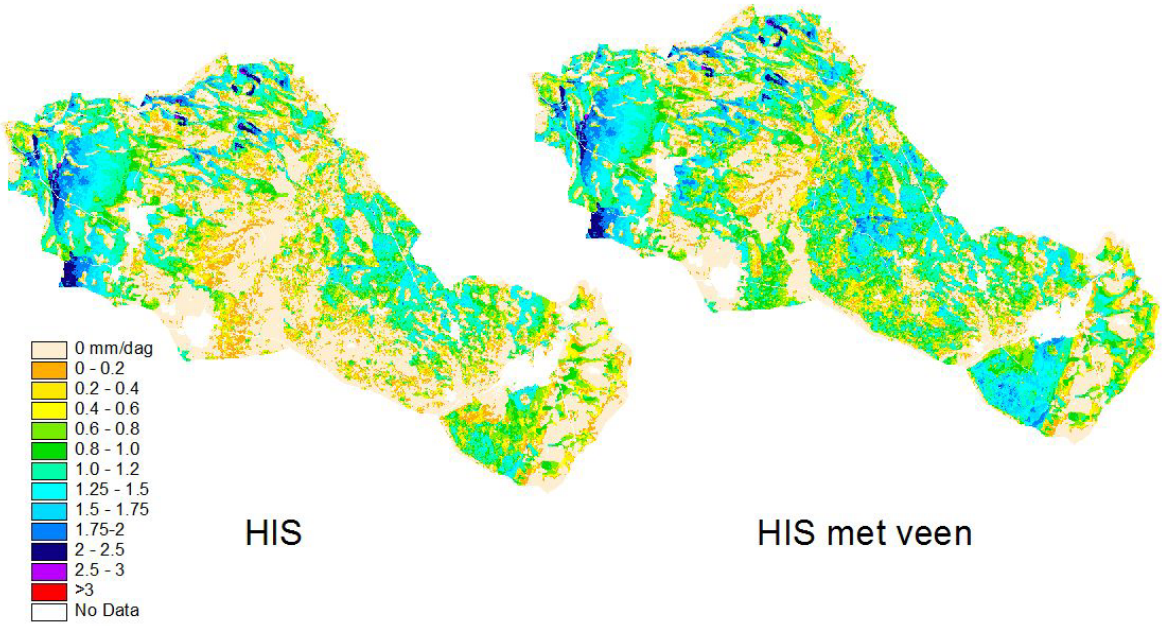
Figuur 5.8 *Berekende GHG en GLG voor HIS, R50 en ACT.*



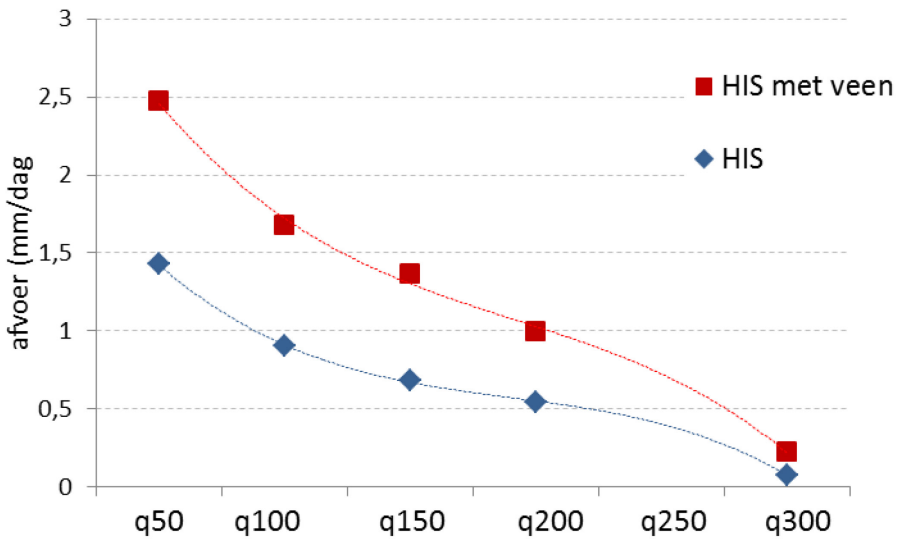
Figuur 5.9 *Berekende kwel en wegzijging voor HIS, R50 en ACT.*

5.2.5 Veen

Er is een scenario voor HIS doorgerekend met een 80 cm dikke veenlaag die 37% van het stroomgebied bedekt (figuur 2.2) om na te gaan in hoeverre de sponswerking van het veenpakket in het verleden heeft bijgedragen aan de basisafvoer. In figuur 5.10 staat de q200 van HIS en van HIS met veen afgebeeld. In figuur 5.11 staan conform figuur 5.4 de gemiddelde specifieke afvoeren. Bij de kleinere overschrijdingsduren (bijvoorbeeld q50 of q100) is de afvoer van HIS met veen duidelijk groter dan van HIS zonder veen, maar de verschillen nemen af bij grotere overschrijdingsduren. Het aantal dagen zonder afvoer bij HIS met veen is (gemiddeld) hooguit enkele dagen kleiner dan van HIS (zonder veen). In een gemiddeld jaar resteert er dan nog altijd een aantal dagen waarin geen afvoer optreedt. De verschillen zijn toe te schrijven aan de sponswerking van veen waardoor lange tijd nalevering van water optreedt. Anderzijds zal onder natte omstandigheden de afvoer bij HIS met veen kleiner zijn omdat dan meer neerslagwater gebufferd wordt.



Figuur 5.10 *Vergelijking van q200 voor HIS en HIS met veen.*



Figuur 5.11 *Gebiedsgemiddelde specifieke afvoeren voor HIS en HIS met veen.*

5.3 Discussie

Opstellen meta-modellen: Voor het onderzoek naar 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' zijn de modellen SWAP en HYDROMAP toegepast. Beide modellen bleken voor dat onderzoek goed te voldoen voor normale en grote afvoeren. Bij de toepassing voor het onderzoek naar de basisafvoer werd met SWAP voor een aantal drogere situaties geen afvoer meer berekend. Dat maakte dat met HYDROMAP, dat uit de SWAP-resultaten metarelaties afleidt, de betrouwbaarheid niet optimaal was als van de vier punten waarop de relaties gebaseerd worden er één of meer de waarde nul hadden. De keuzevrijheid in het soort relatie, lineair, exponentieel of kwadratisch bleef vaak beperkt tot lineair.

Definitie basisafvoer: De basisafvoer dient 'voldoende groot te zijn in droge perioden'. Omdat er geen definitie van de basisafvoer bestaat zijn hier afvoeren berekend met een bepaalde overschrijdings-duur, bijvoorbeeld de afvoer die gedurende 200 dagen per jaar optreedt (q200). Voor het Baakse

beekgebied was q300 niet zinvol om af te beelden. In het overgrote deel van het stroomgebied trad dan geen afvoer op, terwijl bij andere delen de afvoer tot nul naderde. Door afronding van de kleine waarden en andere artefacten zou een versnipperd beeld ontstaan[8]. Ook kwamen er dan meer delen voor waar bovenstrooms van een plek zonder afvoer nog wel wat afvoer optrad, wat een dilemma vormde om het wel of niet als basisafvoer te beschouwen.

Het stuwbeheer, dat in het onderzoek niet is meegenomen, beïnvloedt de basisafvoer. Zo geeft bijvoorbeeld conservering in het voorjaar door het verhogen van het stuwpeil op dat moment minder afvoer.

Aannamen schematisatie R50 en HIS en veen: Voor met name de historische referentieperioden HIS en R50 is in het model een aantal aanpassingen doorgevoerd omdat die beter stroken met de toenmalige situatie. Het is echter niet altijd even duidelijk welke veranderingen in welke mate in werkelijkheid al hadden plaatsgevonden. De meeste ingrepen in het landschap en in de waterhuishouding verlopen namelijk geleidelijk. Op basis van oude meetgegevens, expert judgement en proefberekeningen zijn de modelparameters zo goed mogelijk ingeschat. Zo zijn de gevoelige afvoerrelaties gedifferentieerd naar referentieperiode en vochttoestand en zijn de reductiefactoren voor de verdamping van 'natte' vegetaties herzien.

Voor het scenario HIS met een 80 cm dik veenpakket zijn berekeningen uitgevoerd met onderranden zoals die voor twee andere veengebieden elders in Oost-Nederland zijn afgeleid en met de onderrand van het stratum (290903) waar het meeste veen voorkwam. Deze laatste onderrand bleek het beste te voldoen, maar dat houdt wel in dat op de overgang van veen naar de minerale ondergrond geen weerstandbiedende laag aanwezig is geweest zoals dat bij de beide veenprofielen wel het geval was. Daar was ook de stijghoogte van het diepe grondwater groot, en dat is in het Baakse beekgebied weer niet het geval. Nader (model) onderzoek zou de twijfel kunnen wegnemen, maar waarschijnlijk worden er daarmee geen wezenlijke andere uitkomsten berekend. De veenkaart laat weliswaar verspreide veengebieden zien, maar gelet op de geringe veendikte mag worden aangenomen dat op veel plaatsen zandkoppen door het veenpakket heen staken waardoor geen grote overdruk opgebouwd kon worden.

Bij de toepassing van SWAP/HYDROMAP gelden enkele exclusieve beperkingen voor het Baakse beekgebied:

- De extrapolatie. Hierbij worden puntgegevens met hulpvariabelen geëxtrapoleerd. Dit heeft als consequentie dat de heterogeniteit van het gebied afgevlakt wordt meegenomen.
- De waterbalans. Er kunnen geen gebied dekkende waterbalansen worden berekend waardoor niet kan worden getoetst of het neerslagoverschot overeenkomt met de som van de netto wegzijging en slootafvoer. Verschillen in gebiedsgemiddelde kwel tussen ACT, R50 en HIS duiden op een overschatting van de kwel in scenario R50.

5.4 Conclusies modellering Swap/Hydromap

De werkwijze met de modellen SWAP en HYDROMAP heeft inzicht opgeleverd in de basisafvoer in de historische situatie in de tweede helft van de 19^{e} eeuw (HIS), de situatie in de jaren vijftig van de vorige eeuw (R50) en in de actuele situatie (ACT). Met de metarelaties die met HYDROMAP zijn afgeleid bleek dat in een gemiddeld jaar niet alleen in ACT, maar ook in R50 en HIS een periode zonder afvoer optrad.

Conclusie 1: In het stroomgebied van de Baakse beek treedt geen basisafvoer op in droge perioden. Ook in het verleden was dat het geval.

[8] Gesommeerd over grotere gebieden is de afvoer bij q300 wel gebruikt.

De afvoerloosheid is volgens twee methoden bepaald. Extrapolatie van de duurlijnen van specifieke afvoeren kwamen in alle drie perioden uit op een tijdsduur van ongeveer 60 dagen waarin geen afvoer optrad. Aparte metarelaties tussen GLG en het aantal dagen zonder afvoer (q = 0 mm/d) kwamen voor ACT, R50 en HIS uit op respectievelijk ca. 80, 60 en 40 dagen/jaar.

Conclusie 2: De afvoerloosheid in een gemiddeld jaar was eind 19^{e} eeuw en halverwege de 20^{e} eeuw waarschijnlijk wel wat kleiner dan tegenwoordig.

De drie referentieperioden kenmerkten zich door verschillen in de hydrologische situatie en landgebruik. Ontwikkelingen als het verbeteren van de ont- en afwatering en de omvorming van in heide in landbouwgrond en intensivering van de landbouw zijn van invloed geweest op de basisafvoer. De basisafvoer is niet toegenomen als gevolg van de toename van de hoeveelheid neerslag in de afgelopen eeuw omdat ook de verdamping is toegenomen als gevolg van klimaatverandering en van ander en intensiever landgebruik.

Conclusie 3: Menselijke ingrepen en klimaatverandering hebben niet geleid tot een scherpe verandering van de basisafvoer en het aantal dagen zonder afvoer omdat de effecten elkaar compenseerden.

6 Werkwijze modellering Modflow

Zoals in de inleiding is beschreven zijn in deze studie twee modelconcepten gebruikt om historische veranderingen in de basisafvoer van het Baaksebeek gebied te onderzoeken. Dit is gedaan omdat er onvoldoende historische metingen van waterstanden en afvoeren beschikbaar zijn om een model te valideren. Beide modellen worden dus gebruikt om elkaar te valideren. Beide modelconcepten zouden immers tot globaal dezelfde uitkomsten moeten komen. In de vorige hoofdstukken is de modellering met Swap besproken. In dit en het volgende hoofdstuk wordt de modellering met Modflow (AMIGO) besproken.

6.1 Aanpak modellering AMIGO

Waterschap Rijn en IJssel beschikt over een gebiedsdekkend Modflow-grondwatermodel dat AMIGO heet. In deze studie is een deelgebied van AMIGO gebruikt; namelijk het stroomgebied van de Baaksebeek. In de voorbereiding van deze studie is eerst de geschiktheid van het model onderzocht voor het simuleren van basisafvoeren en is de modelinvoer zoveel mogelijk gelijk gemaakt met die van Swap. Na de voorbereidende fase zijn verschillende scenario's doorgerekend:

Voorbereiding modellering
- Aanpassen en actualisatie AMIGO
- Vergelijking van berekende en gemeten afvoer
- Vergelijking grondwateraanvulling in Swap-model met die in AMIGO
- Gevoeligheidsanalyse afvoeren voor aanpassing drainageniveau

Modelscenario's
- Huidige situatie
- Drinkwaterwinningen
- Historisch watersysteem
- Historisch landgebruik
- Historische situatie

De resultaten van de modellering (hoofdstuk 7) zijn geïnterpreteerd op basis van duurlijnen van de afvoer, de duur van afvoerloosheid en veranderingen van kwel en grondwaterstanden.

6.2 Voorbereiding modellering AMIGO

6.2.1 Uitgangspunten en randvoorwaarden modellering

Modelconcept AMIGO
In tegenstelling tot het 1-dimensionale Swap simuleert AMIGO een semi-3-dimensionale grondwaterstroming. Dit heeft als voordeel dat maatregelen die ruimtelijk doorwerken, zoals het aanpassen van het ontwateringstelsel, gesimuleerd kunnen worden en dat er eenvoudig kaarten gemaakt kunnen worden van grondwaterstanden, kwelfluxen en afvoeren. Er zijn ook enkele conceptuele beperkingen:

1. In het basis AMIGO model kunnen de grotere watergangen zowel een water afvoerende (drainerende) werking hebben als een water aanvoerende (infiltrerende) werking. Omdat het grondwatermodel niet is ontworpen voor het bepalen van afvoeren, houdt het model geen waterbalansen bij van het gedraineerde en infiltrerende water. Hierdoor is het mogelijk dat infiltrerende watergangen meer water infiltreren dan er beschikbaar is. Om deze conceptuele fout te voorkomen zijn alle watergangen die kunnen infiltreren (zogenaamde 'rivers') in het model

aangepast tot watergangen die alleen water kunnen afvoeren (zogenaamde 'drains'). Daardoor berekent het model plaatselijk lagere grondwaterstanden. Dat is in deze op afvoeren gerichte studie niet bezwaarlijk. Een ander gevolg is dat de door AMIGO berekende basisafvoeren per definitie te hoog zullen zijn omdat infiltratie in werkelijkheid wel kan optreden, maar in het model niet wordt gesimuleerd. In de gevoeligheidsanalyse wordt deze overschatting van de basisafvoer nader gekwantificeerd.

In par. 6.2 wordt er gerekend met het basis model AMIGO (inclusief infiltrerende waterlopen). In par. 6.3 (scenario's voor basisafvoeren) zijn alle infiltrerende waterlopen omgezet naar drainerende waterlopen.

2. In AMIGO is water dat wordt afgevoerd naar watergangen ('drains') verdwenen uit het model. De hydraulische stroming door watergangen en over maaiveld wordt door AMIGO namelijk niet gesimuleerd. De totale afvoer die AMIGO berekent voor een deelstroomgebiedje is dus niet hetzelfde als de afvoer die op het lozingspunt van dat stroomgebiedje optreedt. Er kunnen onderweg nog allerlei vertragende processen optreden, zoals overstromingen (waterberging). Het gevolg is dat met name piekafvoeren te hoog worden berekend. Aangezien deze studie zich richt op basisafvoeren is dit niet bezwaarlijk.

Voor de berekening van de onverzadigde stroming (vertaling van neerslag en verdamping naar grondwateraanvulling) is gebruik gemaakt van de module CAPSIM die is geïntegreerd in het AMIGO instrumentarium. In paragraaf 6.2.3 wordt CAPSIM verder toegelicht en zijn de berekende grondwateraanvullingen van CAPSIM vergeleken met die van Swap.

Deelgebieden en simulatieperiode

AMIGO beslaat het hele beheergebied van waterschap Rijn en IJssel. In deze studie is alleen het studiegebied doorgerekend, waarbij een bufferzone van één kilometer is gehanteerd. Uit de modelresultaten is achteraf gebleken dat deze bufferzone te klein is om randeffecten te voorkomen (zie hoofdstuk 7). Verder zijn de berekeningen uitgevoerd in vier deelmodellen van 5 bij 5 km en met een celgrootte van 25 x 25 m. De modelresultaten van de deelmodellen zijn samengevoegd tot één geheel. Het afleiden van waterbalansen is gebeurd op basis van de deelstroomgebieden uit figuur 5.5.

Voor de randvoorwaarden binnen het modelgebied (o.a. grondwateraanvulling, oppervlaktewater) is gebruik gemaakt van versie 2.0 van AMIGO met alle modelaanpassingen t/m april 2012. Een beschrijving van AMIGO is te vinden in Deltares (2008).

De periode 1994 t/m 2004 is de periode die standaard beschikbaar is binnen het AMIGO instrumentarium. Hierbij kan de eerste twee jaar van deze periode als inloopperiode worden gezien. Dit is de periode die naar benadering nodig is om het effect van de beginsituatie te laten uitwerken. Bij de bepaling van de effecten is deze inloopperiode daarom niet meegenomen. De grondwaterkarakteristieken (GxG's) zijn berekend op basis van de hydrologische jaren in de periode 1996 t/m 2004.

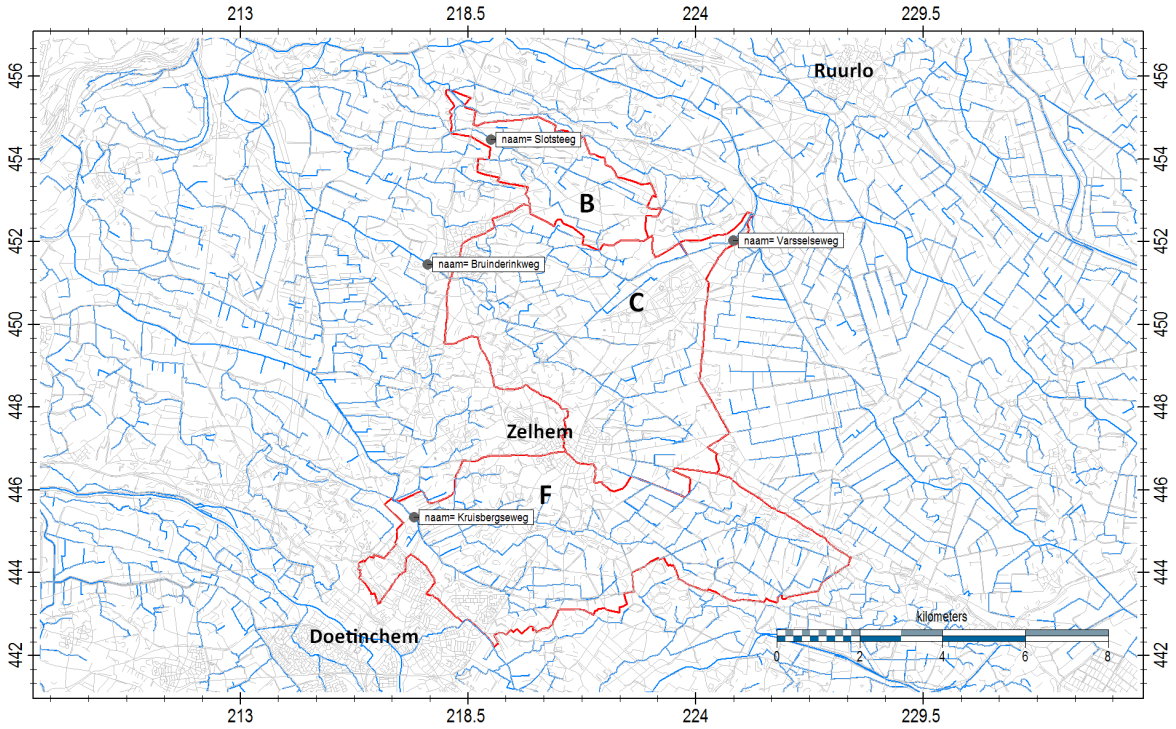
Afleiding basisafvoeren uit modelresultaten

De afvoer die AMIGO berekent beslaat uit de grondwaterstroming naar waterlopen en buisdrainage ('drainage') en oppervlakkige afvoer ('overlandflow'). De aanwezig buisdrainage is in alle scenario's verwijderd omdat 1) er geen buisdrainage voorkwam in het historische scenario en 2) omdat buisdrainage naar verwachting niet veel bijdraagt aan de basisafvoer in de huidige situatie.

De oppervlakkige afvoer is meegenomen door een maximale waterberging op maaiveld te definiëren. Bij grondwaterstanden hoger dan dit niveau wordt het water afgevoerd als oppervlakkige afvoer. Voor het scenario van de huidige situatie is een maximale berging op maaiveld gehanteerd van 2 cm. Hierbij moet vermeld worden dat in de huidige situatie zeer weinig oppervlakkige afvoer wordt gesimuleerd door het model. In de historische scenario's is een maximale berging op maaiveld gehanteerd van 10 cm. Dit is een aanname, gebaseerd op het feit dat er vroeger langdurige water op het maaiveld stond.

6.2.2 Relatie gemeten en berekende afvoeren

Doordat AMIGO een aantal fysische processen niet simuleert (zie vorige paragraaf) wijkt de berekende afvoer van een stroomgebied in enige mate af van de gemeten afvoeren. Om de verschillen te kwantificeren is onderzocht hoe deze berekende afvoeren zich verhouden tot de afvoermetingen. Onderstaande figuur geeft de stroomgebieden aan waarvan afvoermetingen beschikbaar zijn. Met name stroomgebied B en C worden beïnvloed door een drinkwaterwinning zodat de gemeten en gemodelleerde afvoerloosheid hier wat groter zijn dan elders in het stroomgebied van de Baakse beek - Veengoot.



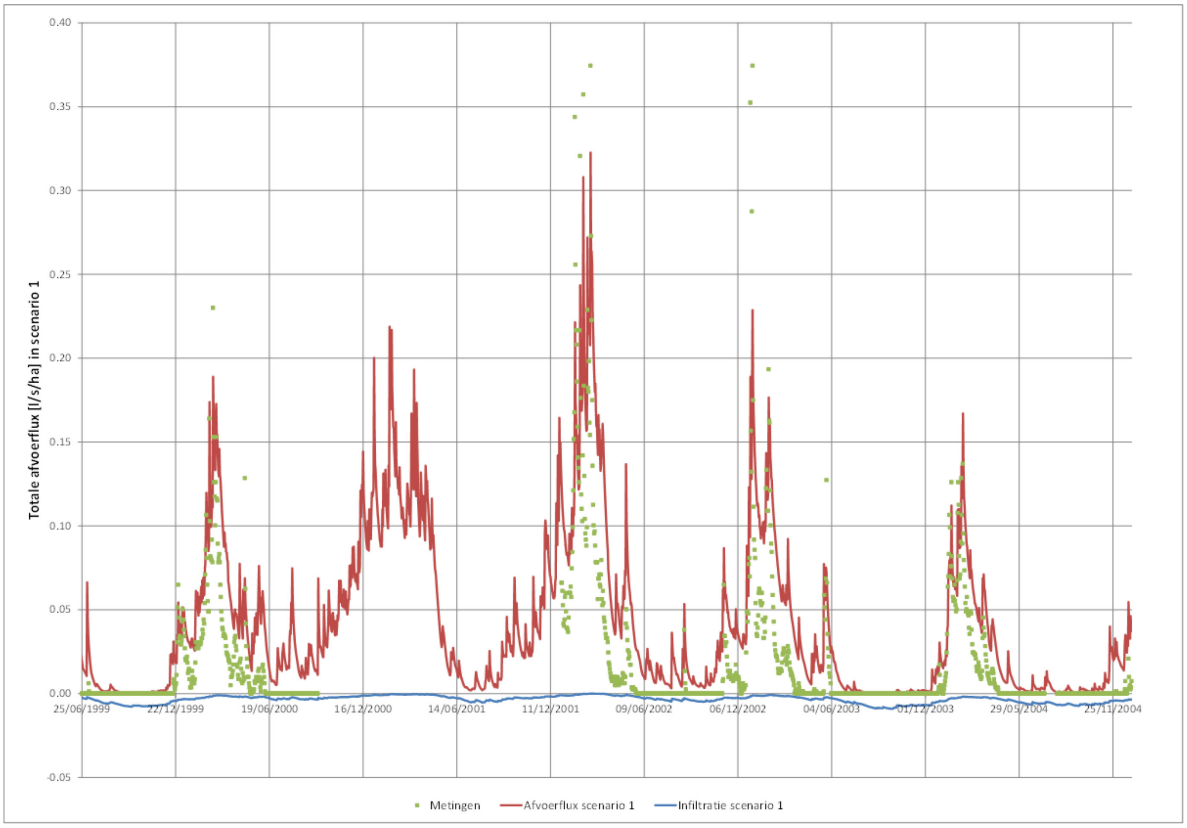
Figuur 6.1 *Overzicht stroomgebieden voor de vergelijking tussen gemeten en berekende basisafvoeren.*

Stroomgebied B (stuw Slotsteeg)

Figuur 6.2 laat de afvoerflux zien zoals deze gemeten wordt op het uitstroompunt van stroomgebied B (stuw Slotsteeg) en de afvoerflux zoals deze door het AMIGO-model wordt berekend voor stroomgebied B. In werkelijkheid vindt er enige waterinlaat plaats van gebied C naar B. Dit is in de vergelijking niet meegenomen omdat hier geen metingen van zijn. De vergelijking laat zien dat het model voor basisafvoer situaties uitzakt naar een vergelijkbare afvoer als gemeten wordt. Wel is duidelijk zichtbaar dat de afvoerflux in werkelijkheid sneller inzakt na een nattere periode dan het model berekent. Ook komt de gemeten afvoer uit op nul, waarbij er geen sprake meer is van een afvoer.

Daarnaast is het de vraag of al het water op maaiveld ook daadwerkelijk in de watergang eindigt. Tijdens hoge afvoeren zal dit zeker het geval zijn, bij lage afvoeren veel minder.

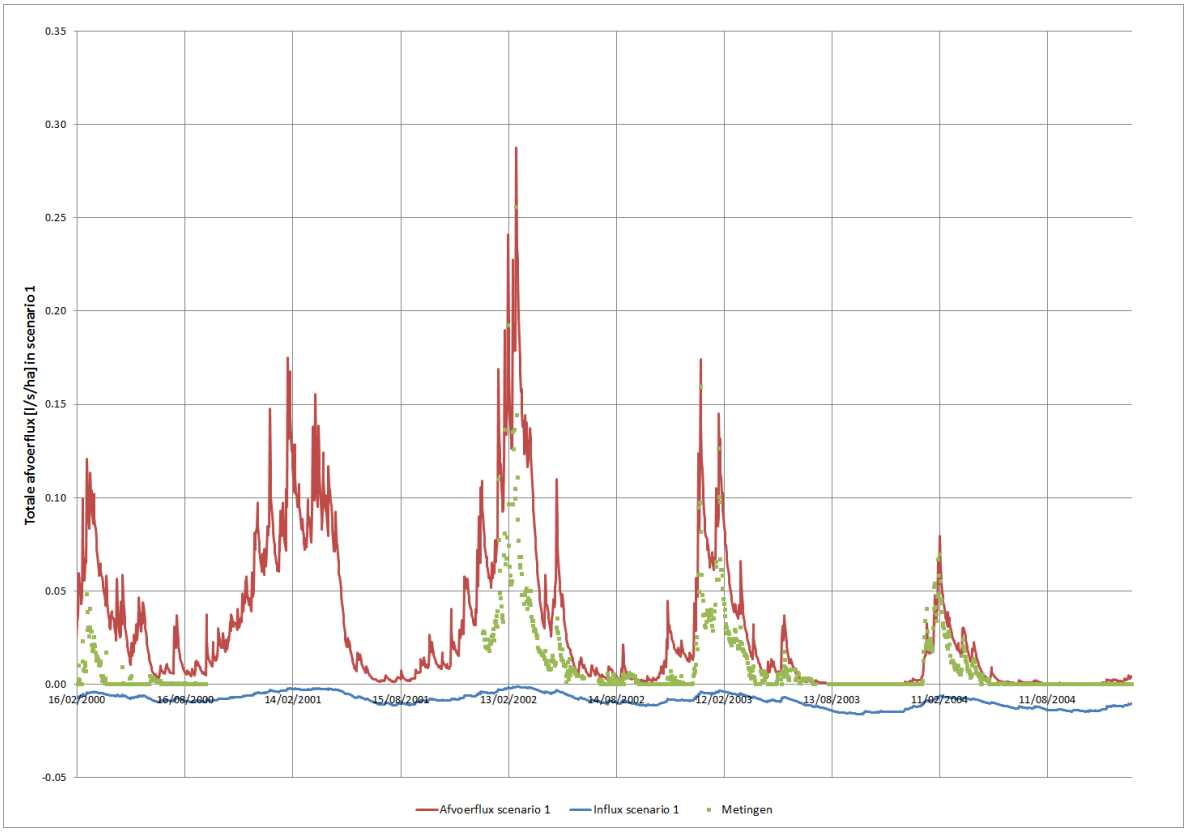
Bij een berekende afvoer van 0,02 - 0,05 l/s.ha treedt in werkelijkheid afvoerloosheid op.



Figuur 6.2 *Afvoerflux berekend en gemeten voor de huidige situatie stuw Slotsteeg.*

Stroomgebied C (stuw Bruinderinkweg)

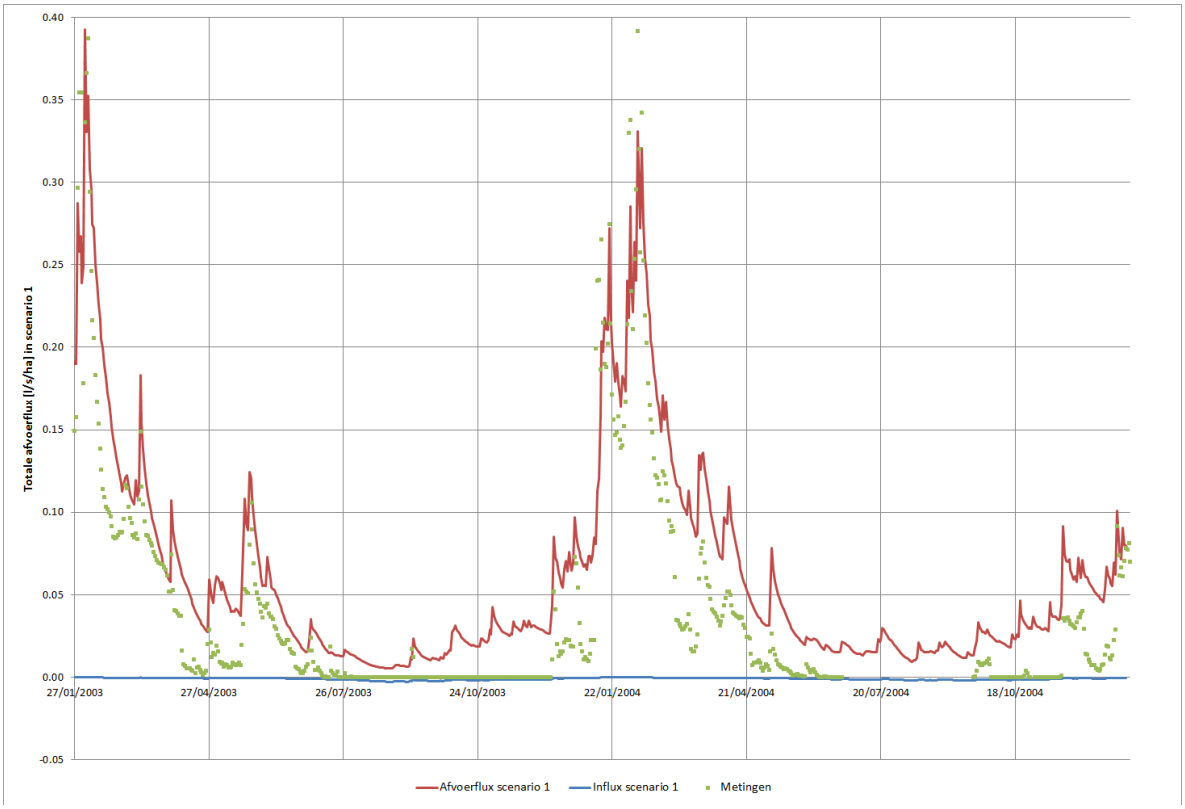
Figuur 6.3 laat de gemeten afvoer en de berekende afvoer zien voor het stroomgebied C. Uit de resultaten voor stroomgebied C blijkt hetzelfde als we zien bij stroomgebied B voor de basisafvoer. In werkelijkheid vindt er enige waterinlaat plaats van gebied C naar B. Dit is in de vergelijking niet meegenomen omdat dit niet is gemeten. Bij piekafvoeren is te zien dat het model een vergelijkbare afvoer voorspelt als de metingen laten zien, maar de veel voorkomende winterafvoeren worden door het model overschat. Bij een berekende afvoer van 0,01 - 0,05 l/s.ha treedt in werkelijkheid afvoerloosheid op.



Figuur 6.3 *Afvoerflux berekend en gemeten voor de huidige situatie stuw Bruinderinkweg.*

Stroomgebied F (stuw Kruisbergseweg)

Figuur 6.4 laat de resultaten zien voor stroomgebied F. Voor de basisafvoer zien we dat het model een hogere afvoer laat zien dan er wordt gemeten. Bij een berekende afvoer van 0,02 - 0,04 l/s.ha treedt in werkelijkheid afvoerloosheid op.



Figuur 6.4 *Afvoerflux berekend en gemeten voor de huidige situatie stuw Kruisbergseweg.*

Conclusie
De berekende afvoeren komen qua vorm goed overeen met de metingen. De basisafvoer wordt overschat. In werkelijkheid treedt afvoerloosheid op terwijl het model dan nog 0,01-0,05 l/s.ha berekent. In deze studie wordt een droogval-grens gehanteerd van 0,2 mm/d (=0,024 l/s.ha) voor het bepalen van afvoerloosheid berekent door AMIGO.

6.2.3 Gevoeligheidsanalyse

In combinatie met de vergelijking van de gemeten en berekende afvoer in paragraaf 6.2.2 is gekeken naar de gevoeligheid van het model. Hierbij is voornamelijk gekeken naar de grondwateraanvulling, infiltratie uit waterlopen en drainageniveau's in de volgende scenario's:

- *Scenario 3*: de CAPSIM module is uitgeschakeld en de grondwateraanvulling uit het scenario van de huidige situatie wordt 'hard' opgelegd als vaste tijdsafhankelijke flux-randvoorwaarde.
- *Scenario 4*: geen infiltratie vanuit watergangen. Alle 'rivers' zijn omgezet naar 'drains'.
- *Scenario 5:* Daarnaast is onderzocht hoeveel invloed 10 cm verhoging of verlaging van de ontwateringsbasis heeft op de afvoer (flux van de 'drains') heeft. De grafieken van de scenario's en 3 deelgebieden staan in bijlage 6.

Scenario 3: gebruik vaste set voor grondwateraanvulling
Bij dit scenario werd op voorhand geen verschil verwacht omdat de grondwateraanvulling in beide scenario's hetzelfde is. In het ene geval wordt de grondwateraanvulling berekend door CAPSIM, in het andere geval wordt de grondwateraanvulling 'hard' opgelegd in het model. Toch laat de grafiek verschillen zien, al zijn deze klein. Een oorzaak voor de verschillen kan zijn dat de 'hard' opgelegde CAPSIM-grondwateraanvulling nog niet is gecorrigeerd voor berging in de onverzadigde zone.

Er kan geconcludeerd worden dat het 'hard' opleggen van de grondwateraanvulling de berekende afvoeren weinig beïnvloedt en dat deze aanpak dus gehanteerd kan worden in deze studie.

Scenario 4: infiltratie vanuit watergangen uitgeschakeld
Uitschakelen van infiltratie in AMIGO beïnvloedt de berekende afvoeren nauwelijks. In de grafieken in bijlage 6 is te zien dat de afvoerpieken iets lager worden wanneer infiltratie wordt uitgeschakeld. Dit kan verklaard worden doordat het niet meenemen van infiltratie in het model leidt tot plaatselijk lagere grondwaterstanden, wat weer leidt tot kleinere piekafvoeren.

Bij basisafvoersituaties werd een verhoging van de basisafvoer verwacht omdat infiltratie juist dan optreedt, maar dit is in de grafieken niet te zien. Het niet meenemen van infiltratie in het model (om de waterbalans tussen het grond- en oppervlaktewater sluitend te krijgen) heeft dus weinig invloed op de berekende afvoeren en is daarom geoorloofd.

Scenario 5: verhoging of verlaging van de ontwateringsbasis met 10 cm
Met dit scenario is de gevoeligheid van de berekende drain-afvoeren (grondwaterflux naar watergangen, exclusief oppervlakkige afstroming) voor de ontwateringsdiepte in beeld gebracht. In beide scenario's ontstaat er een verschil in de afvoerflux die over de hele periode nagenoeg gelijk is. Bij de verlaging van de ontwateringsdiepte vindt er een toename van de afvoer plaats. Bij een verhoging is dit juist een afname. Conceptueel kan dit resultaat verklaard worden doordat bij een ondiepere ontwateringsbasis de 'afvoerbare bodemberging' (water tussen de ontwateringsbasis en maaiveld) kleiner wordt, waardoor de potentiele waterafvoer ook kleiner wordt. Andersom leidt een verlaging van de ontwateringsbasis tot een toename van de 'afvoerbare bodemberging' en daarmee tot grotere afvoeren. Hierbij moet opgemerkt worden dat oppervlakkige afstroming niet is meegenomen in de gepresenteerde afvoerflux. Een ondiepere ontwateringsbasis leidt naast lagere afvoeren waarschijnlijk ook tot hogere piekafvoeren en berging op maaiveld omdat de grondwaterstanden het maaiveld eerder bereiken.

6.2.4 Grondwateraanvulling

Om de uitkomsten van AMIGO en SWAP zo vergelijkbaar mogelijk te houden is geprobeerd de grondwateraanvulling berekend door SWAP in AMIGO toe te passen. Dit bleek onwerkbaar en daarop is gekozen om uit de SWAP-resultaten correctiefactoren af te leiden voor landgebruikverandering en deze toe te passen op de door AMIGO/CAPSIM berekende grondwateraanvullingen. In bijlage 5 is beschreven wat de gevonden verschillen waren tussen de berekende grondwateraanvullingen van CAPSIM en SWAP.

6.3 Scenario's AMIGO

De scenario's met AMIGO sluiten zoveel als mogelijk aan op de berekeningen met het SWAP-model. De aanpak is erop gericht om de afzonderlijke en totale effecten van de systeemeigenschappen in beeld te brengen. Onderstaande tabel 6.1 geeft de scenario's weer die met het AMIGO model zijn doorgerekend. De resultaten van deze scenario's worden gegeven in hoofdstuk 7.

Tabel 6.1
Overzicht van de scenario's voor de AMIGO berekeningen.

Scenario	Modelinvoer	Onderzoeksvraag
A[1]	Huidige situatie met huidig klimaat (1971-2000)	Referentiesituatie
C	Huidige situatie zonder drinkwaterwinningen	Wat is het effect van drinkwaterwinningen op de basisafvoer?
D	Huidige situatie met historische watergangen (1850-1900) en zonder drainage	Wat is het effect van historische watergangen (1850-1900) op de basisafvoer?
F	Huidige situatie met historisch landgebruik (1850-1900)	Wat is het effect van het historisch landgebruik (1850-1900) op de basisafvoer?
I[2]	Basismodel 1850-1900: zonder drainage en drinkwaterwinningen en met historische watergangen (1850-1900) en landgebruik (1850-1900) huidig klimaat (1971-2000)	Wat is het effect van de (geschatte) hydrologische situatie van 1850-1900 op de basisafvoer?

[1] komt overeen met scenario ACT in de Swap-modellering,

[2] komt overeen met scenario HIS in de Swap-modellering

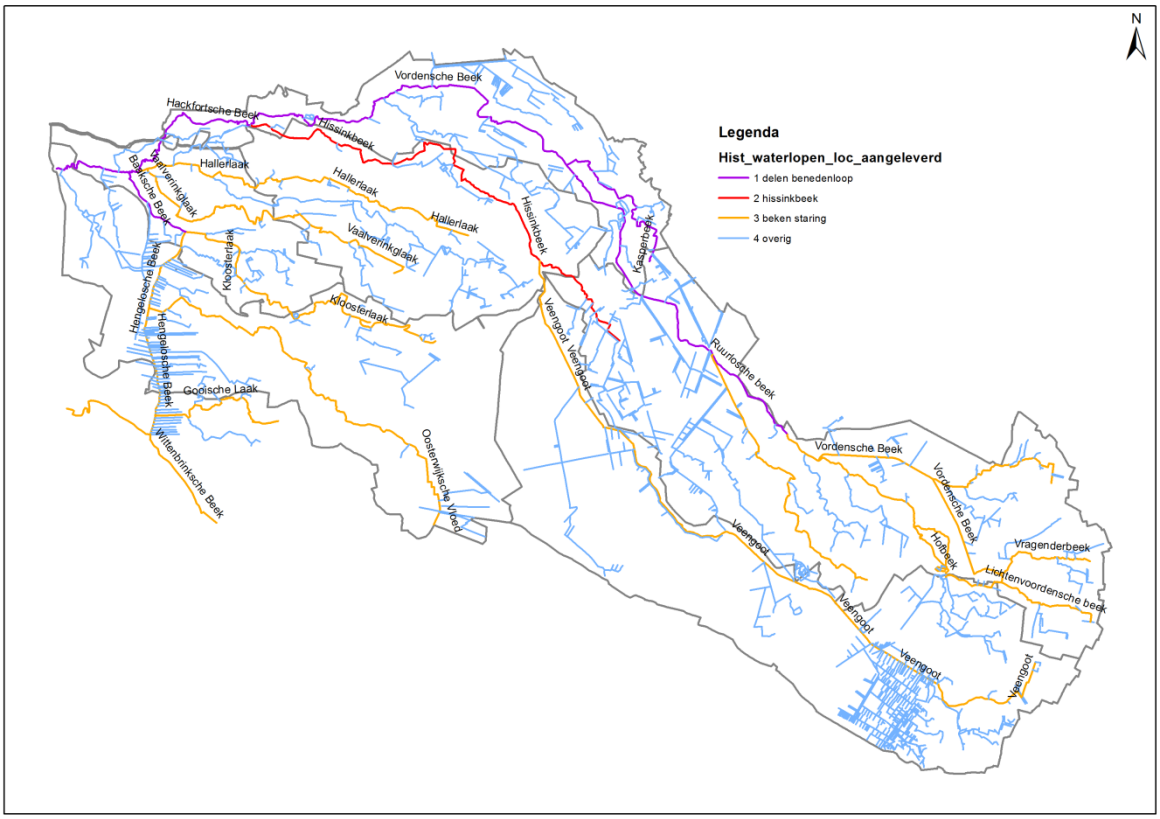
Scenario A
Scenario A vormt het referentie scenario en de weergave van de huidige situatie. De modelinvoer is zoveel mogelijk gelijk gehouden met de model-invoer van de Swap-modellering:

- De watergangen met de mogelijkheid tot infiltreren zijn omgezet naar watergangen die alleen kunnen draineren. Hierdoor is de waterbalans in AMIGO sluitend.
- In het model is de neerslag en verdamping van station Twente gebruikt voor het gehele Baakse Beek gebied (AMIGO ging uit van lokale neerslagstations). In het SWAP model is ook van deze gegevens gebruik gemaakt.
- De grondwateraanvulling is berekend met behulp van CAPSIM. De berekende grondwateraanvulling van scenario A is input voor de overige scenario's C, D, F en I.

Scenario C
Voor dit scenario geldt scenario A als basis met als uitzondering dat de drinkwaterwinningen zijn uitgezet in de modellering. Hiermee komt het effect van de drinkwaterwinningen op het grondwater en de berekende afvoerfluxen in beeld.

Scenario D Historische watergangen
In scenario D wordt het watersysteem teruggebracht naar de historische situatie (1850-1900). Hierbij geldt het scenario A als uitgangspunt. Daarnaast is de drainage verwijderd in dit scenario. De

historische situatie van het watersysteem is ingebracht volgens de beschrijving uit 'Reconstructie van de historische hydrologie' (Alterra-rapport 1466).



Figuur 6.5 *Indeling historische watergangen.*

In figuur 6.5 staat de gehanteerde indeling van de historische watergangen, waarin de volgende vier klassen worden onderscheiden:

1. Baakse beek (diepte ca. 1.75 m)
2. Hissink beek (diepte ca. 1.50 m)
3. Beken Staring
4. Overige

De gehanteerde dimensies die voor deze klassen zijn aangehouden staan in tabel 6.2.

Tabel 6.2
Dimensies historische watergangen (per klasse).*

1850/1900	Bodemdiepte [m]	Bovenbreedte [m]	Bodembreedte [m]	Waterdiepte [m]	Natte omtrek [m]	Drainage weerstand in AMIGO [d]
Baakse beek	1.75	2.50	2.00	1.00	4.00	5.00
Hissinkbeek	1.50	2.50	2.00	1.00	4.00	5.00
Beken Staring	1.00	1.25	0.50	0.70	1.90	1.00
Overige	0.50	0.75	0.10	0.30	0.70	0.50

* Bron: Reconstructie van de historische hydrologie, Alterra-rapport 1466 (Van der Gaast en Massop, 2007), bijlage 1a en huidige parametrisatie AMIGO.

Alle watergangen binnen de betreffende stroomgebieden zijn vervangen door de historische watergangen. Er is aangenomen dat er in de periode 1850-1900 geen detailontwatering (greppels en

ondiepe sloten) heeft bestaan. Buiten het stroomgebied van de Baakse Beek - Veengoot is het watersysteem aangepast om 'randeffecten' tegen te gaan. Hier is de detailontwatering (greppels e.d.) verwijderd. De waterschapswatergangen zijn in het model gehandhaafd buiten het stroomgebied van de Baakse Beek – Veengoot.

Scenario F
Scenario F schematiseert het historische landgebruik (1850-1900). Scenario A geldt voor dit scenario als uitgangspunt. De grondwateraanvulling bestaat uit de door CAPSIM berekende grondwater-aanvulling uit scenario A plus de correctiefactoren (zie tabel 6.3) zoals berekend door Swap (zie ook bijlage 5). Er zijn voor het zomer- en winterhalfjaar verschillende correctiefactoren gehanteerd, vanwege de grote verschillen in verdamping tussen de zomer en winter.

Bijvoorbeeld: was het landgebruik vroeger heide, maar staat hier nu naaldbos, dan is de grondwater-aanvulling in de winter afgenomen van 233 mm naar 155 mm. In het model wordt dan voor het winterhalfjaar 0.43 mm per dag minder grondwateraanvulling opgenomen. Aan het einde van het winterhalfjaar is de grondwateraanvulling dan precies met dit verschil (78 mm) afgenomen.

Tabel 6.3
Gehanteerde correctiewaarden (in mm/d) voor de grondwateraanvulling bij verandering van landgebruiktypen op basis van het jaar 2000.

	WINTER			ACTUEEL		
HISTORISCH		gras	mais	loof	naald	akker
	mm	193	235	169	155	243
gras	222	-0.16	0.07	-0.29	-0.37	0.11
loof	192	0.01	0.23	-0.13	-0.20	0.28
naald	175	0.10	0.33	-0.03	-0.11	0.37
akker	253	-0.33	-0.10	-0.46	-0.54	-0.05
heide	233	-0.22	0.01	-0.35	-0.43	0.05

	ZOMER			ACTUEEL		
HISTORISCH		gras	mais	loof	naald	akker
	mm	-12	44	-21	-18	32
gras	-22	0.05	0.36	0.01	0.02	0.30
loof	-28	0.09	0.39	0.04	0.05	0.33
naald	-25	0.07	0.38	0.02	0.04	0.31
akker	81	-0.51	-0.20	-0.56	-0.54	-0.27
heide	65	-0.42	-0.11	-0.47	-0.45	-0.18

Scenario I
Scenario I is een samenstelling van bovenstaande scenario's C (geen drinkwaterwinningen), D (historische watergangen) en F (historisch landgebruik). Ook voor dit scenario geldt het scenario A als basis voor de opzet. Het historisch klimaat is niet meegenomen omdat dat in de Swap-modellering ook niet is gebeurd en zo de vergelijking zuiverder blijft.

7 Resultaten berekeningen AMIGO

In dit hoofdstuk worden de specifieke basisafvoeren, grondwaterstanden en kwel en wegzijging besproken zoals die berekend zijn met AMIGO.

7.1 Resultaten in basisafvoeren en afvoerloosheid

De resultaten van de scenarioberekeningen worden per deelstroomgebied gegeven. Voor elk scenario zijn de duurlijnen van de drainageflux gegeven in mm/dag. In bijlage 7 en 8 zijn per deelgebied alle duurlijnen en tabellen weergegeven van de scenario's:

- C: uitzetten grondwaterwinningen,
- D: historisch watersysteem,
- F: historische landgebruik,
- I: historische situatie; bestaande uit historisch watersysteem en landgebruik zonder grondwaterwinningen bij huidige klimaat

7.1.1 Scenario C Uitzetten grondwaterwinningen

In dit scenario is de huidige situatie doorgerekend zonder drinkwaterwinningen. Uit de resultaten blijkt dat het effect van winningen beperkt is. In deelstroomgebieden Baaksebeek Oost en Veengoot Oost zijn de effecten nihil, terwijl in de overige deelgebieden een effect merkbaar is. Door het beëindigen van de grondwaterwinningen wordt het aantal afvoerloze dagen 2 tot 28 kleiner, t.o.v. gemiddeld 174 dagen afvoerloze dagen in de huidige situatie. De afvoer wordt 2 tot 30 mm/jaar groter door het beëindigen van de grondwaterwinningen. Dit is 1% tot 29% van de totale afvoer. De effect is het grootst in het deelstroomgebied van de Oosterwijkse Vloed, waar de drinkwaterwinning 't Klooster ligt.

7.1.2 Scenario D Historische watergangen zonder drainage

In scenario D zijn de huidige watergangen in het model vervangen door historische watergangen uit de periode 1850-1900 (figuur 6.7). Het effect hiervan is dat door een kleiner aantal watergangen en de ondiepe ontwateringsniveau's de afvoer 11% tot 37% kleiner wordt. Helaas is dit geheel een artefact van het model. Uit nadere analyse blijkt dat een deel van het grondwater onterecht wegstroomt uit het stroomgebied van de Baaksebeek - Veengoot naar de omgeving. Het opleggen van de historische watergangen in het model leidt tot flink hogere grondwaterstanden wat (in combinatie met het handhaven van de waterschapswatergangen buiten het studiegebied) leidt tot een significante grondwaterstroming uit het studiegebied naar de omgeving. Wanneer in het gehele AMIGO model de historische watergangen zouden zijn toegepast (die informatie is overigens niet beschikbaar) zou er waarschijnlijk vrijwel geen randstroming optreden. De modelresultaten van dit scenario kloppen dus in absolute zin niet, maar bevatten wel nuttig informatie over de veranderingen in de vorm van de afvoerduurlijnen.

Opvallend is dat de duurlijn van deelstroomgebied Baaksebeek West (en in mindere mate Baaksebeek Oost) een knik vertoont rond een onderschrijdingskans van 270 d/j. In dit stroomgebied was de ontwatering ook in de historische situatie relatief intensief met een vrij diep gelegen Baakse Beek en relatief veel ondiepe watergangen. Kennelijk zorgt deze combinatie voor een andere afwateringsregime dan het huidige afwateringsstelsel dat bestaat uit een hoge dichtheid aan waterlopen met een soortgelijke ontwateringsdiepte.

7.1.3 Scenario F Historisch landgebruik

In scenario F is het huidige landgebruik vervangen door het historisch landgebruik van 1850-1900 waarin meer heide en (naald)bos voorkwam dan nu (figuur 2.4). Vooral in het deelstroomgebied Veengoot Oost en Baaksebeek Oost kwam in de historische situatie heide voor. Het voorkomen van veen is in de AMIGO modellering niet meegenomen. In de Swap-modellering is het effect van veen op de basisafvoer wel onderzocht (zie 5.2.4). In paragraaf 6.3 zijn de gevolgen van de landgebruik-verandering op het neerslagoverschot toegelicht. Vooral de verandering van heide naar een ander landgebruik levert een grotere grondwateraanvulling op.

Het model berekent 13 tot 29% grotere jaargemiddelde afvoeren (15 tot 50 mm/j) voor de historische situatie. Logischerwijs treden de grootste veranderingen op in de deelstroomgebieden Veengoot Oost en Baaksebeek Oost, waar de meeste heide voorkwam. Het aantal afvoerloze dagen is 8 tot 44 dagen kleiner in de historische situatie t.o.v. gemiddeld 174 dagen in de huidige situatie. Hiermee heeft het historisch landgebruik iets meer invloed dan het uitschakelen van drinkwaterwinningen. De met Swap berekende veranderingen in grondwateraanvullingen zijn hierbij in sterke mate bepalend voor de uitkomsten.

7.1.4 Scenario I Historische situatie 1850-1900

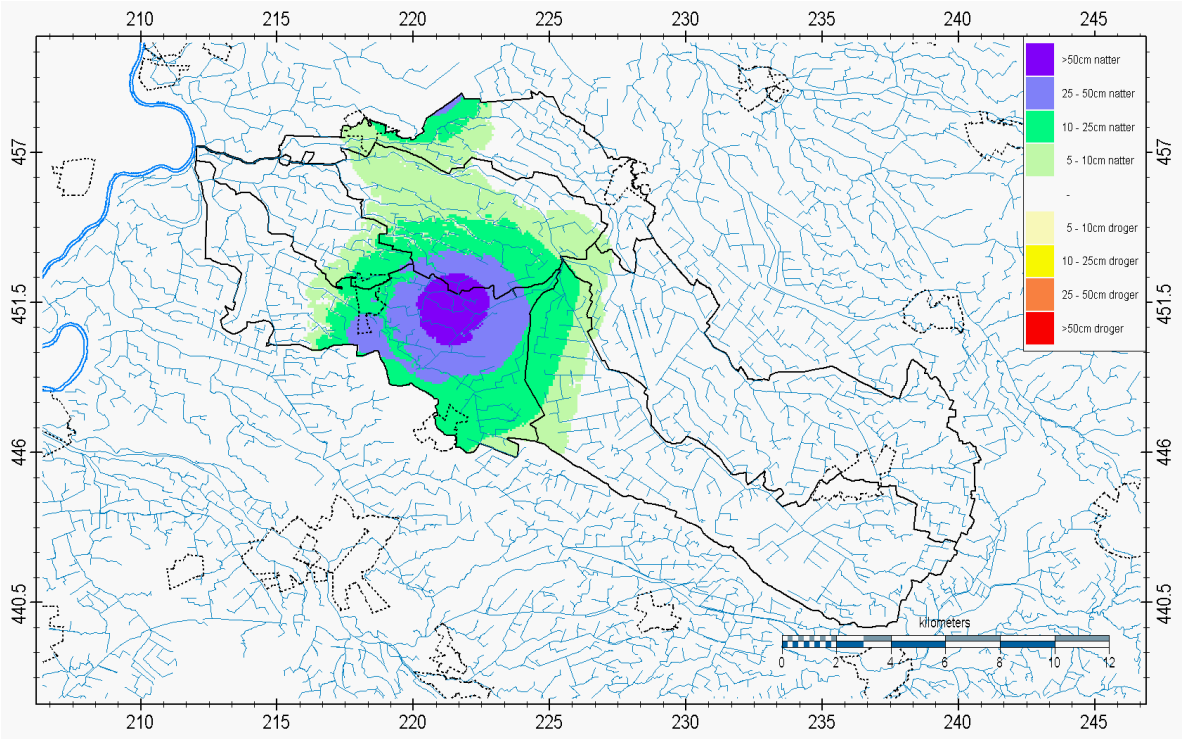
In het laatste scenario is de historische situatie van 1850-1900 nagebootst door het historisch afwateringsysteem en landgebruik toe te passen in AMIGO en de drinkwaterwinningen uit te zetten. Het huidige klimaat is in dit scenario gehanteerd om te kunnen vergelijken met scenario A (huidige situatie). Uit de resultaten blijkt dat de effecten van het historisch watersysteem (minder afvoer) en historisch landgebruik (meer afvoer) elkaar deels opheffen. Het aantal afvoerloze dagen is in drie gebieden kleiner in de historische situatie, blijft in één gebied vrijwel stabiel (Veengoot West) en neemt in één gebied (Oosterwijkse Vloed) toe. Het aantal afvoerloze dagen is in dit scenario gemiddeld vijf dagen per jaar kleiner dan in de huidige situatie, maar varieert tussen een verandering van -19 en +30 dagen per jaar. De totale effecten verschillen dus per gebied afhankelijk van de mate van verandering van het landgebruik en ontwatering in het betreffende deelgebied.

7.2 Resultaten grondwaterstanden

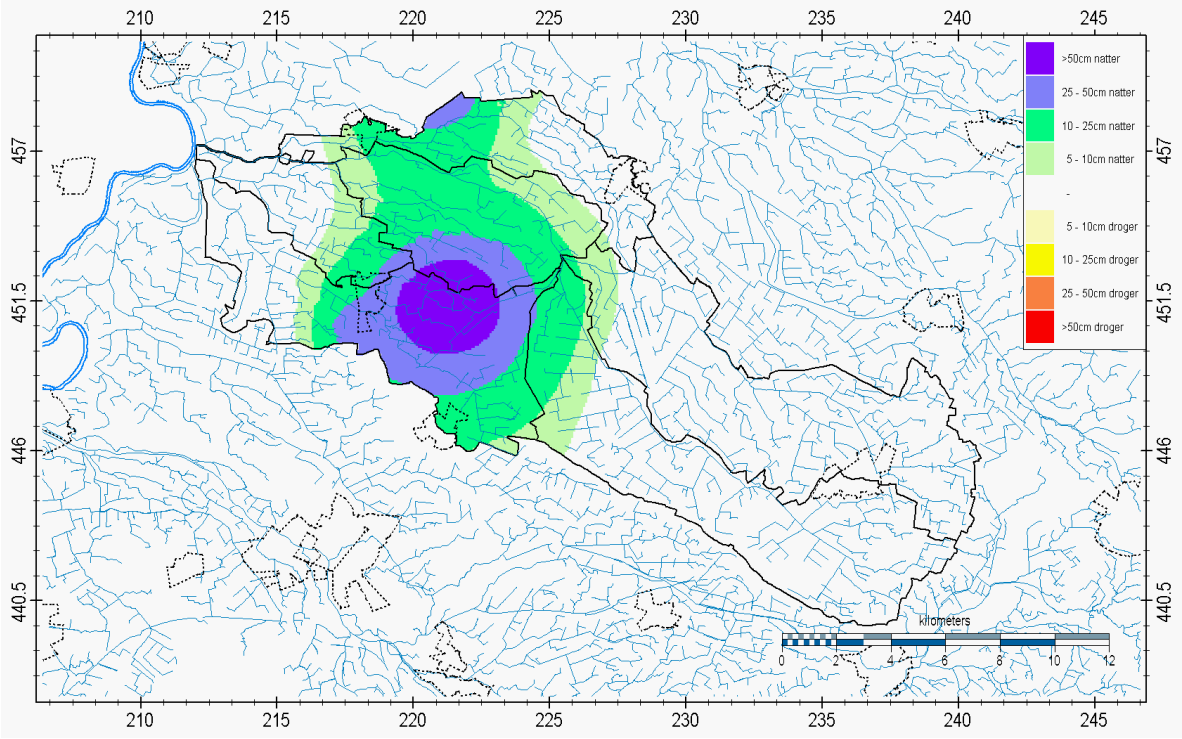
In onderstaande figuren worden voor elk scenario de effecten op het grondwater in beeld gebracht. Hierbij is het verschil ten opzichte van scenario A (huidige situatie) gebruikt. De GHG- en GLG-kaarten van huidige en historische situatie staan in bijlage 9.

7.2.1 Scenario C Uitzetting drinkwaterwinningen

De onderstaande figuren laten de verschillen in de GHG en GLG zien als gevolg van het uitzetten van de drinkwaterwinningen. Rond de aanwezige onttrekkingen is een duidelijke verhoging van de grondwaterstanden zichtbaar. De onttrekkende en daarmee verlagende werking van de winningen is immers verdwenen.



Figuur 7.1 *Verschil GHG bij uitschakelen onttrekkingen vergeleken met huidige situatie.*

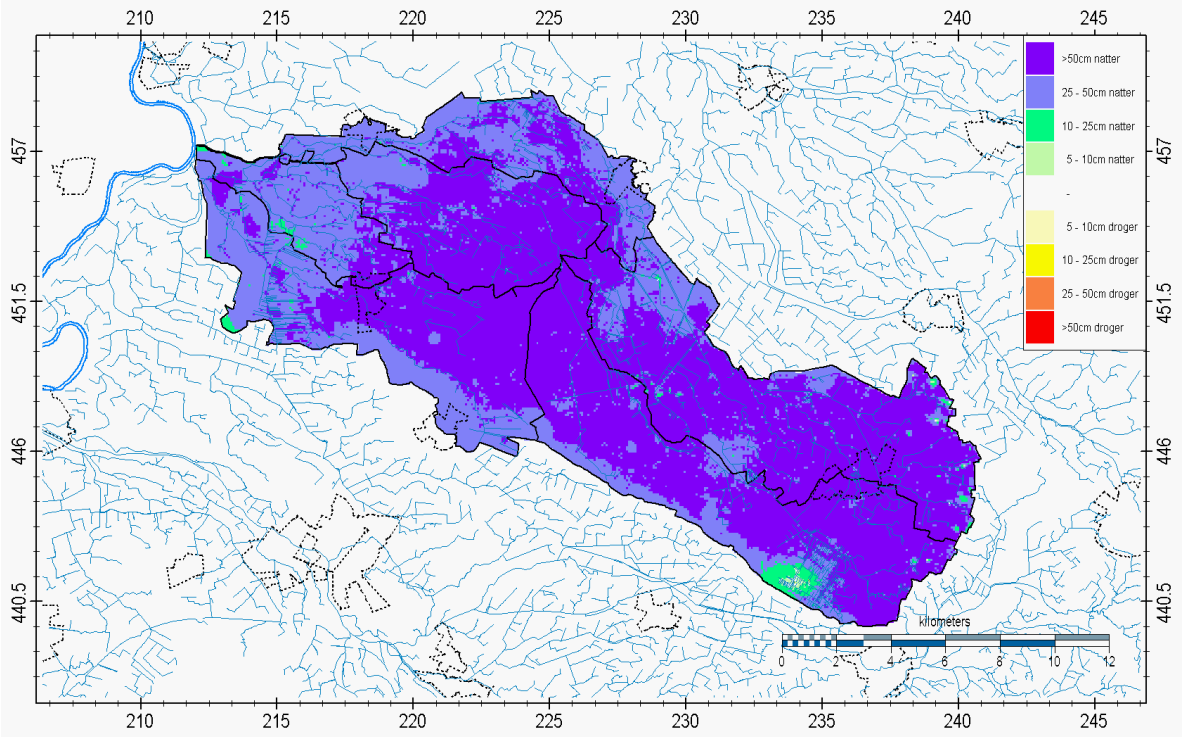


Figuur 7.2 *Verschil GLG bij uitschakelen onttrekkingen vergeleken met huidige situatie.*

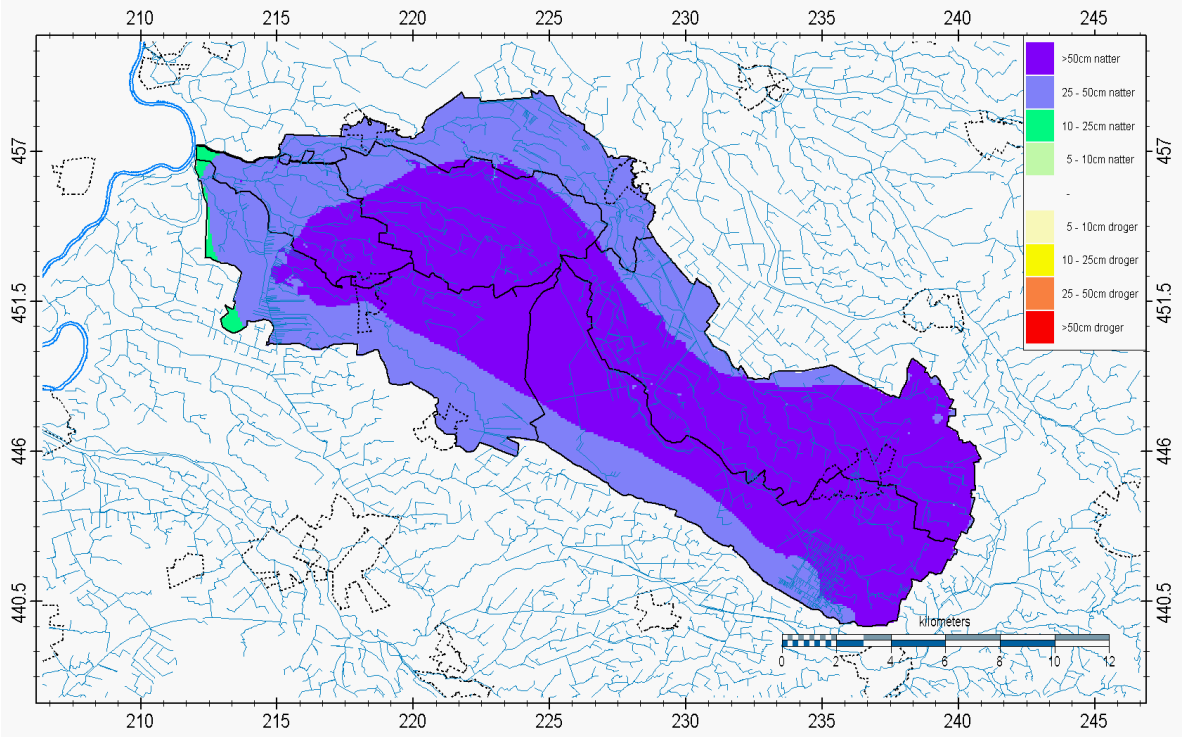
7.2.2 Scenario D Historische watergangen zonder drainage

De onderstaande figuren laten de grondwaterstand veranderingen zien voor de GHG en GLG als gevolg van een situatie uitgaande van historische watergangen. In de historische situatie was er sprake van een meer beperktere afwatering van het gebied. In de huidige situatie zijn meer en vaak ook groter gedimensioneerde watergangen met een lager drainageniveau aanwezig. Een teruggang naar de historische situatie resulteert dan ook in een grote verhoging van de grondwaterstanden voor zowel de GHG als de GLG. In het zuidoosten is een gebiedje met een relatief kleine grondwaterstandverhoging.

Dit is een natuurgebiedje dat in de huidige situatie al hoge GHG kent. Ook is te zien dat zowel bij de GHG als de GLG er bij de modelranden kleinere veranderingen optreden dan in de rest van het gebied. Dit zal in werkelijkheid niet zo geweest zijn, want het is een gevolg van het in het model handhaven van de ontwatering buiten het studiegebied



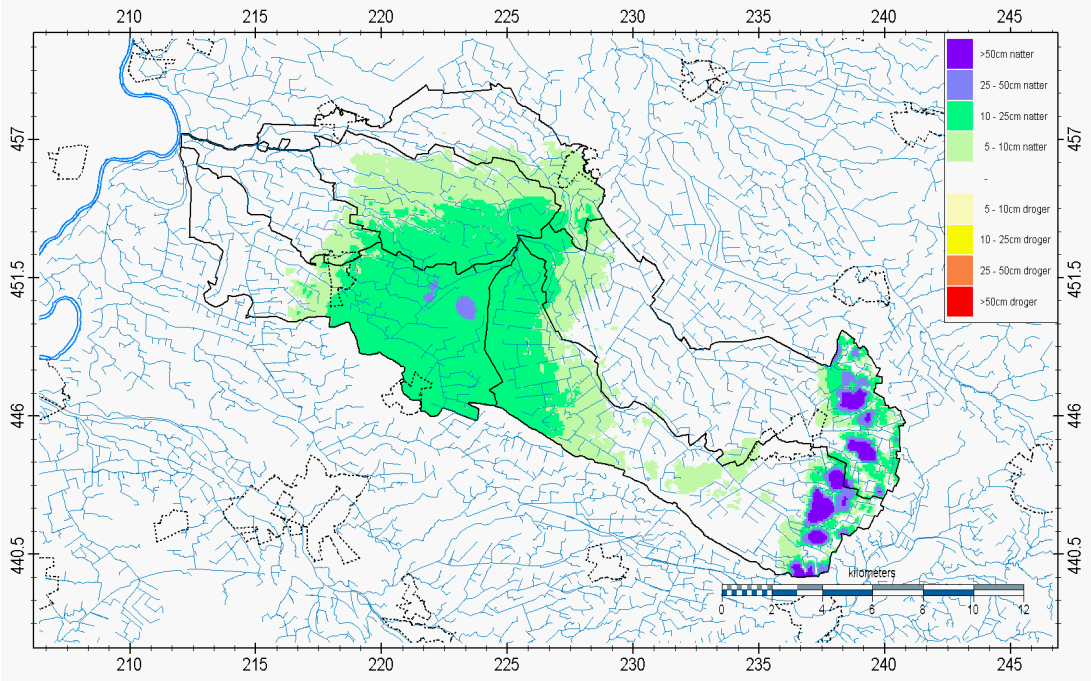
Figuur 7.3 *Verschil GHG bij historische watergangen vergeleken met huidige situatie.*



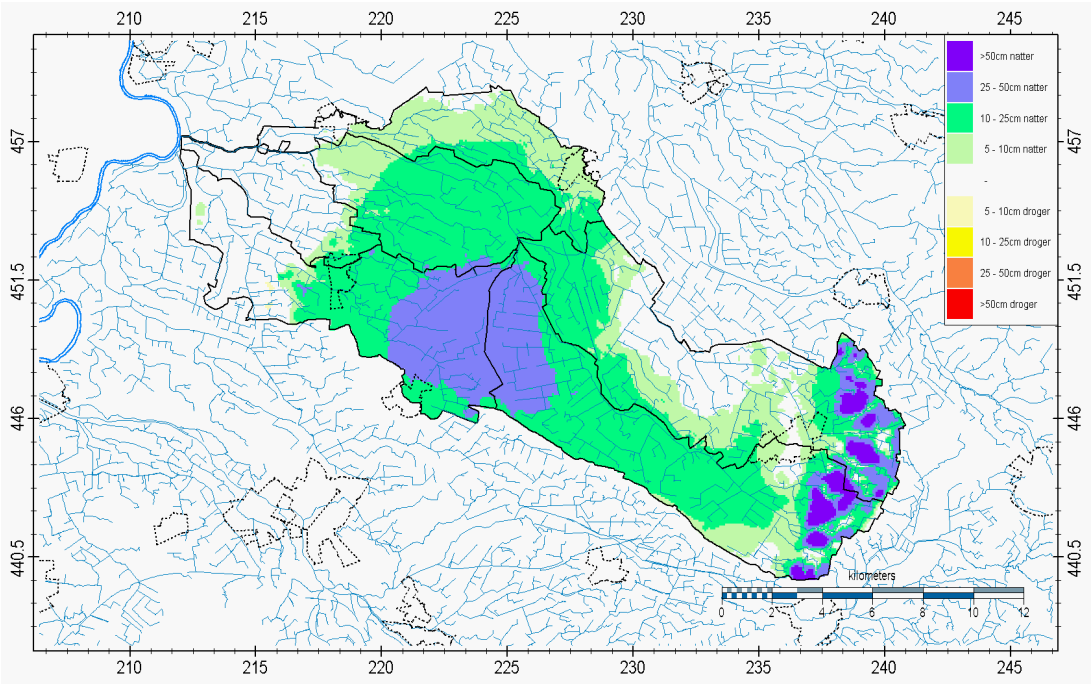
Figuur 7.4 *Verschil GLG bij historische watergangen vergeleken met huidige situatie.*

7.2.3 Scenario F Historisch landgebruik

De grondwaterstandverandering bij historisch landgebruik is gegeven in onderstaande figuren. Globaal is een lichte toename van de GHG te zien en een toename in de GLG. In het uiterste zuidoostelijke deel van het gebied zijn de GLG en GHG fors hoger dan in de huidige situatie. Dit is ter plaatse van de terrasrand. Hier is het bodempakket ondiep en ligt de geohydrologische basis slechts enkele meters onder maaiveld waardoor de waterafvoer hoofdzakelijk plaatsvindt via verdamping in de zomer. Wanneer de verdamping afneemt door een ander landgebruik heeft dit een sterk effect op de grondwaterstand.



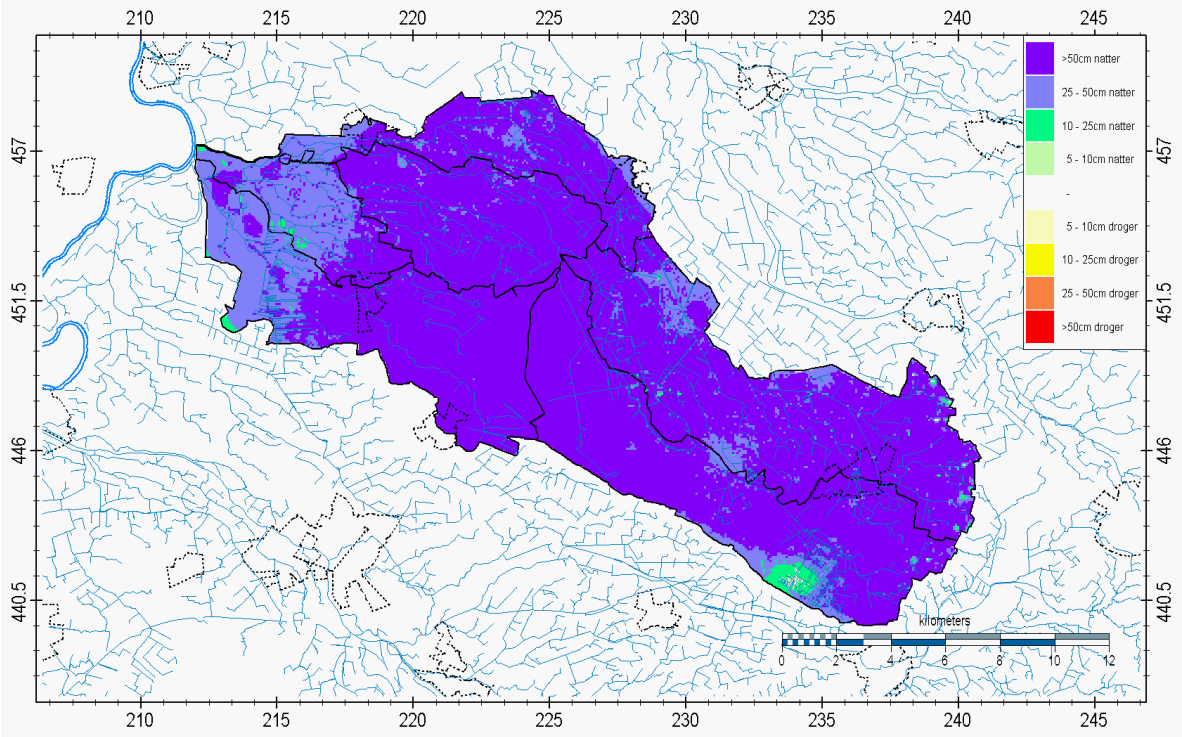
Figuur 7.5 *Verschil GHG bij historisch landgebruik vergeleken met huidige situatie.*



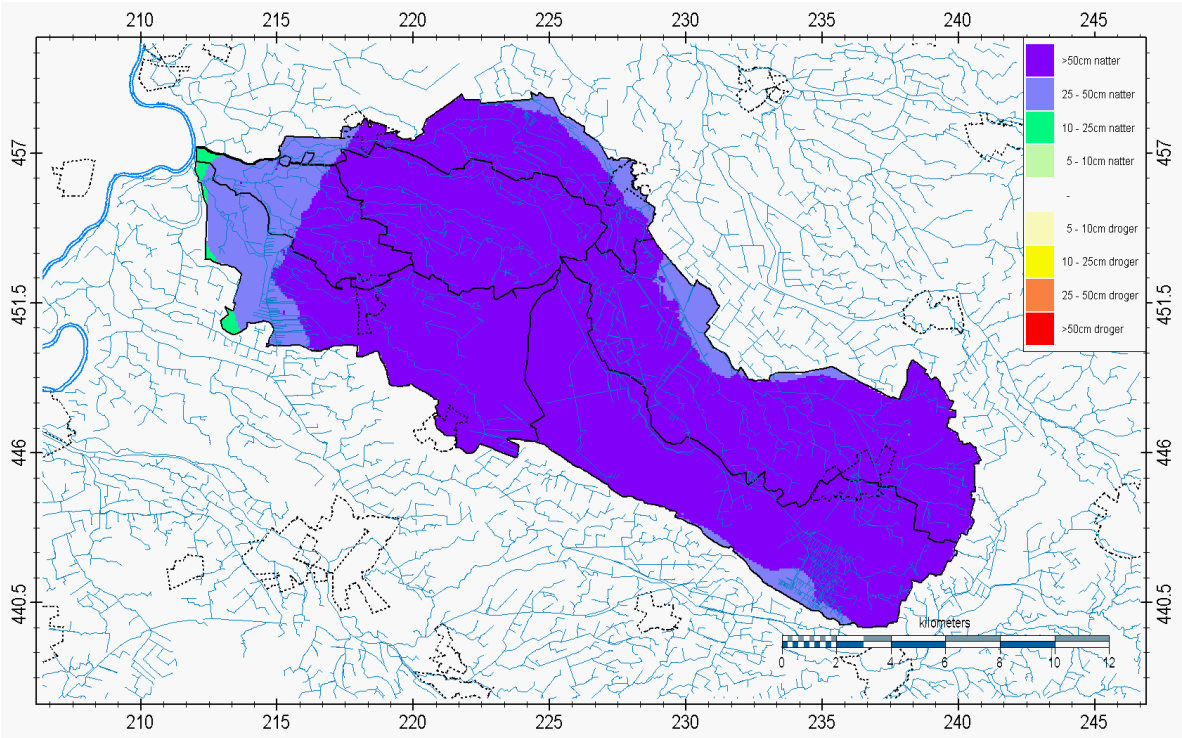
Figuur 7.6 *Verschil GLG bij historisch landgebruik vergeleken met huidige situatie.*

7.2.4 Scenario I Historische situatie 1850-1900

Onderstaande figuren laten de grondwaterstandverschillen zien tussen de historische situatie en de huidige situatie. De figuren laten zien dat in de historische situatie voor zowel de GLG als de GHG sprake was van een aanzienlijk nattere situatie.



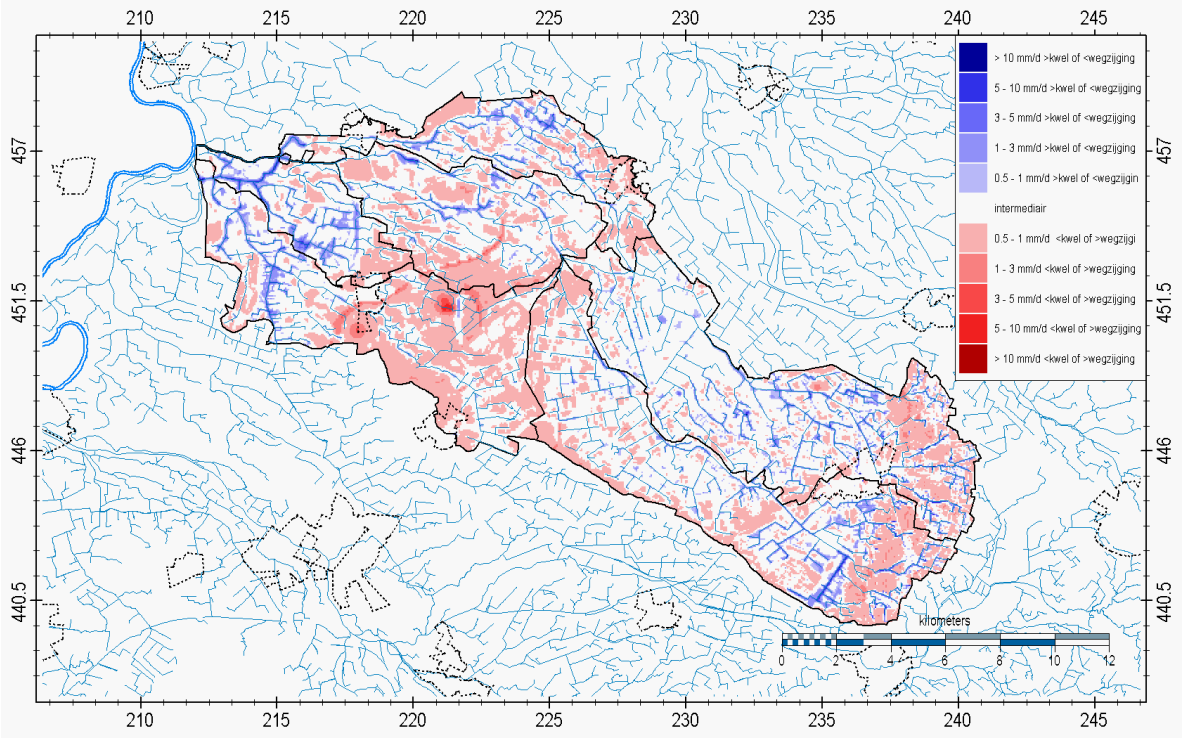
Figuur 7.7 *Verschil GHG bij historische situatie (1850-1900) vergeleken met huidige situatie.*



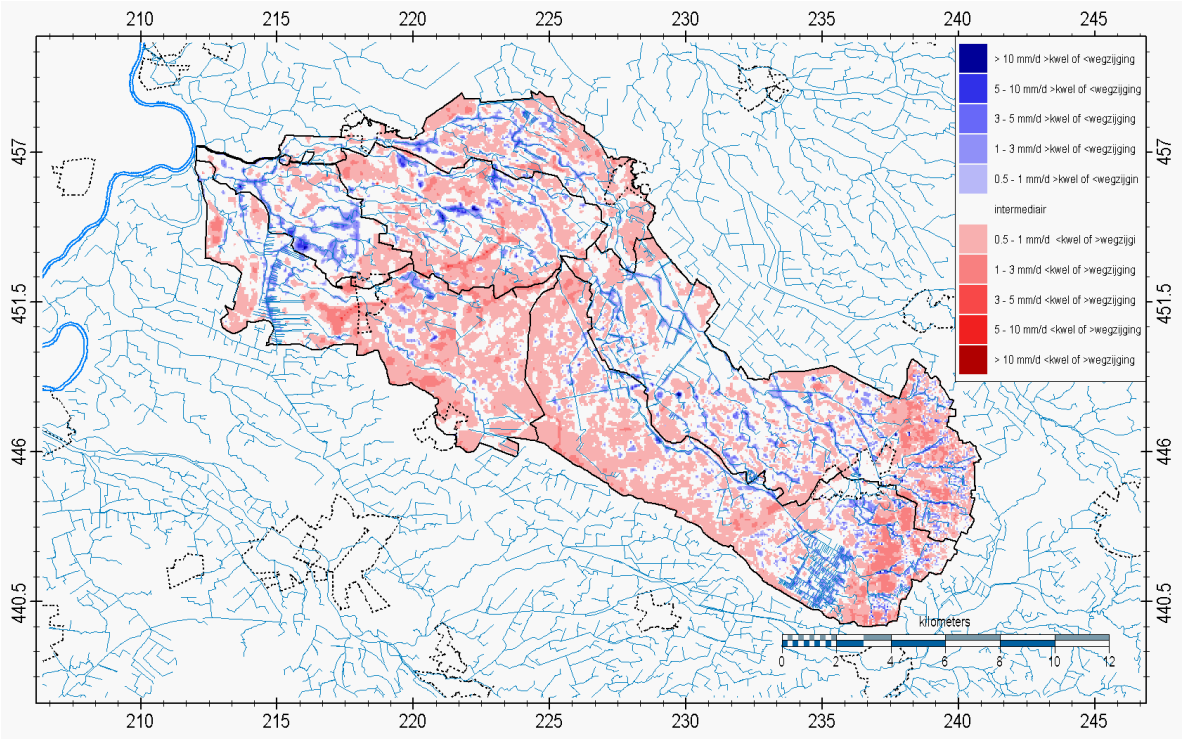
Figuur 7.8 *Verschil GLG bij historische situatie (1850-1900) vergeleken met huidige situatie.*

7.3 Resultaten kwel

Onderstaande figuren geven de kwel en wegzijging weer. Met kwel wordt bedoeld: de opwaartse flux in het bovenste (freatische) pakket. Te zien is dat in de historische situatie meer kwel en wegzijging plaats vindt. Kwel- en infiltratieplekken zijn groter in de historische situatie en de fluxen zijn ook groter. Kwel vindt in de huidige en historische situatie vooral plaats in en bij watergangen en in enkele beekdalen.



Figuur 7.9 *Kwel en wegzijging in de huidige situatie.*



Figuur 7.10 *Kwel en wegzijging in de historische situatie.*

7.4 Discussie

In de modellering zijn aannamen gedaan die invloed hebben op de uitkomsten. In deze paragraaf worden deze besproken:

- *Overschatting basisafvoer*: Doordat AMIGO geen waterbalansen bijhoudt van fluxen tussen het grondwater en oppervlaktewater (infiltratie en kwel) moet worden gekozen tussen 1) geen infiltratie meenemen, met als gevolg dat het model de basisafvoer overschat of 2) infiltratie wel meenemen, waardoor de waterbalans van het model niet meer sluitend is. In deze studie is voor het eerste gekozen. Uit een vergelijking met gemeten afvoeren blijkt dat afvoerloosheid optreedt als het model nog een afvoer simuleert van 0.01 - 0.05 l/s.ha.
- *Simulatie inundaties:* Doordat AMIGO geen hydraulische stroming en grootschalige inundaties kan simuleren worden afvoerpieken en waterberging op maaiveld niet correct gesimuleerd. Aangezien er in de historische situatie zeker wel maandenlange inundatie voorkwamen is dit een tekortkoming, temeer omdat de inundaties zorgden voor nalevering voor de basisafvoer in de vroege zomer. In deze studie is dit deels opgelost door de maaiveldinundatie voor het historische scenario te verhogen van 2 naar 10 cm.
- *Randeffecten*: Uit zowel de berekende afvoeren en grondwaterstanden bleek dat de modelranden van invloed waren op de uitkomsten. Door de extremiteit van de scenario's (GHG- en GLG veranderingen van > 0,5 m over grote delen van het studiegebied) werd de wegzijging over de modelrand omvangrijk. Hierdoor zijn de afvoeren in de historische situatie onderschat.
- *Grondwateraanvullingen*: in AMIGO zijn de grondwateraanvullingen berekend met CAPSIM. Voor de scenario's met landgebruikveranderingen zijn correctiewaarden gebruik die zijn ontleend aan Swap-resultaten. Verdamping (evapotranspiratie) is echter een ingewikkeld proces, zodat deze zeker voor de historische situatie niet goed te valideren is. Het is zeer lastig om te schatten wat de betrouwbaarheid is van deze correctiewaarden. Dit is wel relevant omdat de correctiewaarden de berekende basisafvoeren sterk beïnvloeden.
- *Historische watergangen:* In de modellering van de historische watergangen zijn eigenlijk twee maatregelen in één scenario gevat. Zowel de dichtheid van de waterlopen als de ontwateringsdiepte is aangepast om de historische watergangen in AMIGO te schematiseren. De afzonderlijke effecten zijn niet onderzocht.

7.5 Conclusies modellering AMIGO

Deze paragraaf beschrijft de conclusies die getrokken kunnen worden uit het onderzoek naar het modelleren van de basisafvoer met AMIGO. Hierbij wordt stilgestaan bij de beïnvloeding van de verschillende scenario's op de basisafvoer, maar ook wat deze betekenen voor grondwater en kwel.

- Het stopzetten van grondwateronttrekkingen heeft in de wingebieden een groot effect (tot 37% minder afvoerloosheid), maar heeft daarbuiten natuurlijk geen effect. Gemiddeld voor het stroomgebied zou de afvoerloosheid 14% (21 dagen) verminderen.
- Het effect van de historische watergangen (van 1850) is in potentie groot, maar in deze studie zijn door randeffecten en ontbrekende nalevering in de vroege zomer uit inundatieplekken in het model geen betrouwbare uitspraken te doen over het effect op de basisafvoer. Wel is duidelijk dat de ontwateringsdiepte, de dichtheid en variatie tussen diepe en ondiep ontwaterende watergangen de vorm van de afvoerduurlijn (het afvoerregiem) kan veranderen. Zo lijkt een ontwateringsysteem met veel ondiep afwaterend watergangen en enkele diep ontwaterende hoofdwatergangen gunstig voor een relatief grote basisafvoer. Dermate ingrijpende veranderingen van de ontwatering gaan echter gepaard met sterke GHG- en GLG-veranderingen. In deze studie zijn grondwaterstandveranderingen berekend die doorgaans groter waren dan 50 cm (stijging).
- Bij het scenario waar wordt uitgegaan van het historische landgebruik is sprake van een flinke grotere basisafvoer in de historische situatie vergeleken met de huidige situatie (19% toename = 33 dagen minder afvoerloosheid). In de historische situatie verdampte de begroeiing minder water waardoor er meer water ten afvoer kwam. De grootste landgebruikverandering is heide, dat in 1850-1900 nog veel voorkwam maar nu verdwenen is en vervangen door vooral gras en mais.
- Kijkend naar het totaalplaatje van de historische situatie moet er door een netto grotere grondwateraanvulling in de historische situatie sprake zijn geweest van een grotere basisafvoer dan

dat er nu is (bij een gelijk blijvend klimaat). De jaargemiddelde afvoer was door landgebruik-verandering +/-19% groter dan in de huidige situatie. Het is waarschijnlijk dat dit leidde tot grotere basisafvoeren in de zomer, in elk geval in de diepere (hoofd)watergangen. De resultaten laten zien dat deze verandering per deelgebied kan verschillen.

- Geen enkele maatregel die is onderzocht leidt tot een situatie waarin afvoerloosheid niet meer voorkomt in het stroomgebied van de Baaksebeek / Veengoot.

8 Synthese

8.1 Vergelijking van resultaten bronnenonderzoek, Swap en AMIGO

Voor het onderzoek naar de basisafvoer zijn, naast historische literatuurgegevens, twee verschillende hydrologische modellen ingezet. Om te zien in hoeverre de uitkomsten van beide modellen elkaar bevestigen zijn specifieke afvoeren, grondwaterstanden en kwelkaarten met elkaar vergeleken.

Specifieke afvoeren
De specifieke afvoeren zijn met elkaar vergeleken voor de vijf deelgebieden in het stroomgebied van de Baakse beek / Veengoot (tabel 8.1). Van de Swap-modellering is q200 de kleinst beschikbare afvoer. Q300 kon niet betrouwbaar worden bepaald voor de deelgebieden. In de vergelijking is te zien dat Swap in absolute zin een grotere q200 berekent dat AMIGO. Swap berekent voor alle deelgebieden een grotere q200 voor de historische situatie vergeleken met de huidige situatie. AMIGO berekent voor drie deelgebieden een toename en voor twee deelgebieden een afname.

Tabel 8.1
Vergelijking q200 (afvoer met overschrijdingskans van 200 dagen, komt ongeveer overeen met de voorjaars- en najaarsafvoer) in mm/d van de met SWAP en AMIGO berekende specifieke afvoeren.

Deelstroomgebied	Swap/Hydromap ACT: Huidige situatie	Swap/Hydromap HIS: Historische situatie (1850-1900)	AMIGO ACT: Huidige situatie	AMIGO HIS: Historische situatie (1850-1900)
VG-Oost	0.25	0.30 (+20%)	0.18	0.22 (+22%)
BB-Oost	0.31	0.53 (+71%)	0.19	0.24 (+26%)
VG-West	0.33	0.62 (+88%)	0.23	0.22 (-4%)
BB-West	0.29	0.57 (+97%)	0.17	0.21 (+24%)
OWvloed	0.30	0.52 (+73%)	0.13	0.09 (-31%)
Gemiddelde	0.30	0.51 (+72%)	0.18	0.20 (+9%)

Zoals uitgelegd in paragraaf 7.5 geven de afvoeren van het historische scenario, berekend door AMIGO, een onderschatting door randeffecten. Hierdoor zou de totale afvoertoename van ACT naar HIS voor AMIGO op circa 30% uitkomen en voor Swap op 72%. Beiden wijzen dus op eenzelfde trend, maar Swap berekent een extremere verandering dan AMIGO.

Afvoerloosheid
De modellering met Swap heeft geen kwantificering opgeleverd van afvoerloosheid per deelstroomgebied. Wel wordt geschat dat de natste 2.500 ha van het hele stroomgebied van 25.000 ha in ACT 80 d/jaar geen water afvoert, in R50 60 dagen/jaar en in HIS 40 dagen/jaar.
AMIGO komt langere duren van afvoerloosheid, waarbij afvoerloosheid is gedefinieerd als een gemodelleerde afvoer <0,2 mm/d. Dit blijkt uit een vergelijking met gemeten afvoeren in ACT.AMIGO berekent gemiddeld 174 dagen/jaar afvoerloosheid. Bij toepassing van het historisch landgebruik (veel heide in plaats van gras) neemt de afvoerloosheid 8 tot 44 dagen/jaar af.
AMIGO en Swap komen dus op verschillende getallen voor de duur van afvoerloosheid. Wel schatten beide modellen dat 1) in het historische scenario (HIS) minder afvoerloosheid optrad t.o.v. de huidige situatie en 2) dat afvoerloosheid nooit geheel afwezig was in de scenario's.

Grondwaterstanden
Swap berekent gemiddeld over het hele stroomgebied een 47 cm hogere GHG en 24 cm hogere GLG bij HIS in vergelijking met ACT. AMIGO berekent gemiddeld >50 cm stijging van zowel de GHG als de GLG. Dit betekent dat AMIGO extremere grondwaterstandstijgingen berekent dan Swap. De daling die andere studies in het oostelijke zandgebied laten zien geven een gemiddelde daling zien van 30 - 60 cm die vooral heeft plaatsgevonden in de periode waarin ruilverkavelingen zijn uitgevoerd (Knotters en Jansen, 2005; Rolf, 1989; Kremers en Van Geer, 2000).

Kwel en wegzijging
Swap berekent voor HIS een grotere spreiding aan voorkomende kwel- en wegzijgingsintensiteiten. Beekdalen hebben in HIS een sterkere kwel dan nu en hoge delen hebben in HIS een sterkere wegzijging dan nu. Hetzelfde is te zien in de resultaten van AMIGO. Opvallend is dat de kaarten en erg verschillend uitzien (als gevolg van de gebruikte modellen): de kaart van Swap/Hydromap bestaat uit de vlakjes van de geohydrologische eenheden die zijn gebruikt om de kaarten te maken en de kaart van AMIGO is veel gedetailleerder. Hierin is de zien dat de meeste kwel samenvalt met watergangen.

8.2 Algemene conclusies

De drie hoofdvragen die zijn gesteld in dit onderzoek zijn:
1. Hoe groot was de basisafvoer in vroeger tijd?
2. Welke invloed hebben antropogene (menselijke) ingrepen op de basisafvoer gehad?
3. Welke maatregelen leiden tot vergroting van de basisafvoer en vermindering van afvoerloosheid?

In onderstaande tekst wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen.

Hoe groot was de basisafvoer in vroeger tijd?
- In het stroomgebied van de Baakse beek komen en kwamen zowel in de huidige als in de historische situatie (1850-1900 en rond 1950) perioden zonder afvoer voor. Dit blijkt uit het historische bronnenonderzoek en uit beide modelleringen.
- De mate waarin afvoerloosheid voorkwam is niet betrouwbaar te kwantificeren. In de huidige situatie komt een afvoerloosheid van 150-200 dagen/jaar in de kleinere hoofdwaterlopen, tot een afvoerloosheid van 0-60 dagen in benedenstrooms gelegen hoofdwaterlopen voor. In de historische situatie kwam er op grote schaal heide voor dat relatief weinig water verdampt, waardoor de jaarafvoer groter moet zijn geweest dan nu, met een ordegrootte 20% (33 mm/jaar) (7.1). Daarnaast kwamen dunne veenpakketten voor die waarschijnlijk voor een grotere waterafvoer in de zomer zorgden (5.2.4). Het feit dat de *hoofd*watergangen nog weinig stuwen kenden (en dus een grote ontwateringsdiepte hadden) droeg waarschijnlijk bij aan een langdurige nalevering van water (basisafvoer) uit het omringende gebied. De vroegere afvoersituatie (1850-1900) ging gepaard met hoge grondwaterstanden (5.2.3 en 7.2) en een grotere variatie aan kwel- en wegzijgingsgebieden (5.2.3 en 7.3). Ook waren er in de historische situatie meer natte gebieden doordat er nog geen vervlakking (egalisatie van landbouwpercelen) van het landschap -waar geen rekening mee is gehouden in deze studie- had plaatsgevonden.

Welke invloed hebben antropogene (menselijke) ingrepen op de basisafvoer gehad?
- *Klimaatverandering:* De periode waarin in de actuele situatie geen afvoer optreedt is sterk afhankelijk van het neerslagoverschot (en de variatie daarin tussen jaren). De toename van de gemiddelde hoeveelheid neerslag die de afgelopen eeuw heeft plaatsgevonden heeft de basisafvoer weinig beïnvloed omdat een gedeelte van het neerslag surplus in de winter valt en in de zomer de referentieverdamping is toegenomen als gevolg van ander en intensiever landgebruik en als gevolg van klimaatverandering. De afname van zomerse neerslag en toename van referentie verdamping in de toekomst hebben potentieel echter veel invloed op de basisafvoer (Kuijper et al., 2012).
- *Ontwateringsysteem:* De kenmerken van het afwateringssysteem (dichtheid watergangen en ontwateringsdiepte) hebben een invloed op de verdeling van de afvoer over het jaar. Hoe dit exact werkt is niet onderzocht in deze studie, maar de modelresultaten wijzen erop dat het historische watersysteem een wat ander afvoerregiem (afvoer-duurlijn) had dan in de huidige situatie. Theoretisch is een ondiepe detailontwatering en een diepe hoofdontwatering gunstig voor relatief grote basisafvoer in de zomer.

- *Veenontginning:* Het veen dat vroeger aanwezig was had wel een zekere sponswerking waardoor de afvoer langer doorging, maar dat was onvoldoende om afvoerloosheid te voorkomen. Daarvoor was het veenpakket te dun.
- *Landgebruik / gewassen:* Het veranderde landgebruik (vooral het verdwijnen van bos ten gunste van heide) heeft geleid tot minder verdamping en daarmee tot een grotere totale waterafvoer (van zo'n 20%). Omdat verdamping in de zomer plaatsvindt, heeft een verdampingsreductie potentieel een aanzienlijk effect op de basisafvoer.
- *Grondwateronttrekkingen:* De effecten van het uitzetten van drinkwaterwinningen zijn (natuurlijk) beperkt tot de beïnvloedingsgebieden van de winningen, maar hebben binnen die gebieden een duidelijke invloed op de basisafvoer en op het voorkomen van afvoerloosheid (zonder winningen 1-29% minder afvoerloosheid in het studiegebied).
- *Overige beïnvloedingen:* beregening van gewassen leidt tot een toename van de verdamping en daarmee tot een kleine afname van afvoerbaar water (Arcadis, 2012). Daarnaast dragen rioolwatereffluenten juist bij aan de basisafvoer. De debieten zijn echter vrij klein en doorgaans binnen enkele kilometers in de bodem geïnfiltreerd (veldwaarneming).

Welke maatregelen leiden tot vergroting van de basisafvoer en vermindering van afvoerloosheid?
- Het stoppen van grondwaterwaterwinningen en dan met name de grote drinkwaterwinningen vermindert de afvoerloosheid in winningsgebieden aanzienlijk, zo blijkt uit deze studie.
- In het algemeen geldt dat het verlagen van de ontwateringsbasis (streefpeilen en bodemhoogten) van enkele hoofdwatergangen een grotere basisafvoer tot gevolg heeft. Het grote nadeel van deze maatregel is dat de grondwaterstanden in de zomer dieper wegzakken en tot grotere vochttekorten kunnen leiden. Andersom leiden hogere streefpeilen in hoofdwatergangen tot kleinere basisafvoeren.
- In het algemeen geldt dat het verhogen van de ontwateringsbasis in de detailwatergangen een (niet gekwantificeerde) vergroting geeft van de basisafvoer. Deze maatregel leidt echter tot een sterke verhoging van winter- en voorjaarsgrondwaterstand (GHG en GVG).
- De verdamping van gewassen / landgebruik blijkt van (relatief) grote invloed op de basisafvoer. Het telen van gewassen die minder water verdampen heeft een relatief groot effect op de basisafvoer.

8.3 Aanbevelingen

- De afvoer van de beken in het stroomgebied van de Baakse beek stagneert in droge perioden. In tegenstelling tot de verwachting gebeurde dat vroeger ook. Voor deze en vergelijkbare beken is het daarom raadzaam om het streefbeeld 'laaglandbeek' aan te passen in bijvoorbeeld 'droogvallende laaglandbeek'.
- Er bestaat behoefte aan een nadere definiëring van het begrip 'basisafvoer'. Daarin zou moeten worden aangegeven hoe groot een specifieke afvoer moet zijn, of een afvoerloze periode mag voorkomen en hoelang deze dan mag duren.
- Een beek kan nog wel water voeren zonder dat er stroming optreedt. Ecologisch gezien zijn dit waardevolle wijkplaatsen. Een inventarisatie kan kansrijke plekken in kaart brengen en de basis vormen voor aanvullende maatregelen als verdiepen van delen van beken en het verbinden van wijkplaatsen.
- De mogelijkheden om (actief) op de basisafvoer te sturen zijn erg beperkt. Wel kan ruimtelijk variatie worden aangebracht in locaties waar de grondwaterstanden kunnen stijgen. Door een minder goede ontwatering van omliggende natte gebieden zorgt de bodem voor een (geringe) vertraging van de afvoer die dan een positieve bijdrage leveren in het verkorten van de afvoerloze periode.

Literatuur

Arcadis, 2012. *Effect beregening en buisdrainage op de afvoer van beken*, Waterschap Rijn en IJssel.

Cools, J., Y. van der Velde, H. Runhaar en R. Stuurman, 2006. *Herstel- en Ontwikkelplan Schraallanden*. TNO/EAC/Alterra-rapport.

Deltares / TNO Rapport, 2008-U-R0749/A, *Actueel Model Instrument Gelderland Oost.*

Ernst, L.F., 1978. *Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio*. Journal of Hydrology 39 (1978) 1-30. Elsevier, Amsterdam.

Feddes, R.A.,P.J. Kowalik en P.J. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Pudoc, Wageningen.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H.R.J. Vroon & I.G. Staritsky, 2006. *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken*. Alterra rapport 1339, Wageningen.

Gaast, J.W.J. van der en H.Th.L. Massop, 2007. *Reconstructie van de historische hydrologie. Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland.* Alterra rapport 1466, Wageningen.

Hazeu, G.W., 2005. *Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN5). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik*. Alterra rapport 1213. Wageningen.

Knol, W.C., H. Kramer en H. Gijsbertse, 2004. *Historisch Grondgebruik Nederland: een landelijke reconstructie van het grondgebruik rond 1900.* Alterra-rapport 573. Wageningen.

Knotters, M. en P.C. Jansen, 2005. *Honderd jaar verdroging in beeld*. Stromingen 11-4, pag. 19-32.

Kremers, A.F.M. en F.C. de Geer, 2000. *Trendontwikkeling grondwater 2000*: Analyseperiode 1955-2000. TNO-NITG, rapport NITG 00-184B, Delft.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.A.F. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2008. *SWAP version 3.2. Theory description and user manual.* Alterra rapport 1649, Wageningen.

Kuijper, M.J.M., D.M.D. Hendriks, R.J.J. van Dongen, S. Hommes, J. Waaijenberg en B. Worm, 2012. *Sturen op Basisafvoer, Een analyse van zomerafvoeren in het beheergebied van waterschap Regge en Dinkel en hoe daar in de toekomst mee om te gaan*.

Massop, H.Th.L., L.C.P.M Stuyt, P.J.T van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak, 1997. *Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand.* Wageningen, SC-DLO rapport 420.1.

Rolf, H.L.M., 1989. *Verlaging van de grondwaterstand in Nederland*: Analyse van de periode 1950-9186. Rapport DGV-TNO Delft.

Runhaar, J., 1999. *Impact of hydrological changes of nature conservation areas in the Netherlands*. Thesis., Leiden University.

Staring, en Ferrand, 1845. *Verslag over den toestand der Berkel en ontwerp tot verbetering van die rivier.* Thieme, Zutphen.

Staring en Ferrand, 1847. *Verslag over den toestand der rivieren en afwateringen in het Zutphensche, en ontwerpen tot verbetering van dien toestand.* Thieme, Zutphen.

Waterschap IJsselland Baakse beek, 1996. *Het waterhuishoudkundig systeem een herbeoordeling*.

Rooi, C.J, de, 2006. *Waar de venen groeiden. De situering en transformatie van veengebieden in de Achterhoek*.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie.* Rapport 2055, Stiboka. Wageningen.

Bijlage 1 Historische gegevens over de waterhuishouding

Bij de inventarisatie van historische gegevens kan globaal een onderscheid worden gemaakt in de periode voor 1850, en de periode na 1850. Dit onderscheid heeft te maken met de beschikbaarheid van gegevens. Bij de vorming van het Koninkrijk Nederland werd Nederland een eenheidsstaat waardoor de macht bij een centrale overheid kwam te liggen. Deze nieuwe staat had behoefte aan landsdekkende gegevens onder andere als grondslag voor het heffen van belasting. Voor 1850 zijn de beschikbare gegevens vaak globaal van aard en veelal niet gebiedsdekkend beschikbaar. Na 1850, toen er steeds meer gebiedsdekkende gegevens beschikbaar kwamen, hebben ook de grootste ingrepen in de waterhuishouding plaatsgevonden. Dat wil echter niet zeggen dat er in de periode voor 1850 niets is gebeurd. Al in 1804 is bijvoorbeeld de Wildenborchse Veengoot gegraven, waardoor het bijbehorende stroomgebied, dat oorspronkelijk behoorde tot de Baakse beek, onderdeel werd van het stroomgebied van de Berkel.

Allereerst wordt een beschrijving gegeven van het stroomgebied voor 1850 aan de hand van beschikbare bronnen. Concrete afvoergegevens en dimensies van beken zijn niet vastgelegd, maar historische kaarten en beschrijvingen geven wel de nodige informatie over het functioneren van de waterhuishouding. Voor de periode na 1850 zijn wel meer meetgegevens beschikbaar.

Beschrijving van het stroomgebied van voor 1850.

Historische kaarten

Figuur B1.1 toont een detail van de kaart van Hondius uit 1606. Dit is een van de eerste kaarten waarop de Baakse beek staat afgebeeld. De beek ontspringt bij Vorden, loopt langs kasteel Hackfort en mondt uit ten zuiden van Zutphen, en dus nog niet bij Baak, in de IJssel, dit zegt iets over de nauwkeurigheid van de kaart.

Figuur B1.1 *De Baakse beek in 1600 (Hondius, 1606 Collectie Ryhimer Unibe) http://www.zb.unibe.ch/maps/ryhiner/sammlung/index.php?group=volume&dir=3113&pic=Ryh_3113_3.jpg.*

De kaart van Frederik de Wit uit 1688 (figuur B1.2) geeft al wat meer informatie over de Baakse beek en het landschap. De Baakse beek ontspringt via twee takken nabij het Halsche veen en Marpat. In de bovenloop zijn bosgebieden weergegeven. Ook uit het Lochemse veen nabij de De Wildenborch ontspringt een zijtak van de Baakse beek.

De Baakse beek komt tussen Baak en Wichmond uit in de IJssel, na nog een aantal zijstromen, zoals de Hengelosche beek opgenomen te hebben. In de Baakse beek zijn vier watermolens weergegeven, nl. Ruurlo, De Wiersse, Vorden en Hackfort. Interessant zijn ook de afgebeelde veengebieden, zoals Des Heerenveen, t Halsche veen, Wolboomsveen, Lochemse veen en 't Ruurlosche veen. Verder wordt de Zelhemer heijde genoemd. Deze venen vormen de waterscheiding met de stroomgebieden van de Oude IJssel en de Berkel/Groenlosche Slinge. In 1619 bestonden er plannen om een waterloop naar het Wolboomsveen aan te leggen en het veen af te graven. Blijkbaar was de veenlaag voldoende dik en van goede kwaliteit. Het plan is nooit tot uitvoering gekomen.

Figuur B1.2 *De Baakse beek in 1688 (Frederick de Wit, 1688) http://aleph.unibas.ch/F?func=find-c&ccl_term=SIN=ZB_Ryh_3113_61?.*

Op de kaart van Tirion (figuur B1.3) zijn drie watermolens weergegeven. Opvallend is dat de molen van Hackfort ontbreekt. Bovenstrooms van de Ruurlosche watermolen ligt de Sneppendijk. Benedenstrooms van deze dijk ligt Ruurlo en bovenstrooms ervan het Ruurlosche veen en het Ruurlosche broek. Blijkbaar was de dijk nodig om Ruurlo te beschermen tegen wateroverlast vanuit het broek. Op de kaart staan ook de veengebieden nog weergegeven.

Figuur B1.3 *De Baakse beek in 1741 (Isaak Tirion, 1741) http://www.zb.unibe.ch/adam/zoom/zoom.php?col=ryh&pic=Ryh_3113_63.*

Historische beschrijvingen

De geografische beschrijving van de provincie Gelderland (1772) geeft een beschrijving van de Vordense beek, Zellemer Heide en de venen. Hieruit valt op te maken dat er veengebieden voorkwamen en dat deze waarschijnlijk belangrijke waterbronnen waren voor de beken.

"In den IJssel, boven het Graafschap Bronkhorst, valt een Beekje, dat zijn oorsprong neemt, ten oosten van des Heerenveen, bij het buurschap Marpat, wendende zig naar 't Noorden, boven het gemelde Veen. Men noemt zulks de Vordensche beek. Het heeft nog een Armtje, dat omtrent 1/2 Mijl van den IJssel, zig daar meede vereenigd; zyn oorsprong neemende bij het Huis Kervel."

"De Zellemer-heide, gelegen in 't kwartier van Zutphen, aan de Westzijde van des Heeren Veen. Zy strekt zich van het Noorden na 't Zuiden, dat is, van omtrent Varssale, tot nabij het dorp Zelhem, tot ¾ mijl in de lengte; en van des Heeren-Veen aan de Oostzijde, tot aan 't Engelanderholt, in gelijke breedte. Dus mag men rekenen, dat deze heide, omtrent 4 mijlen in den Omtrek heeft. Voorts, hebben wij tot deeze omschreven heidelanden niets by te voegen, dan alleen dat alle de Heidelanden in 't kwartier van Zutphen, dienen voor de Schapen, welke in de tusschen leggenden Dalen, goed kort Voeder vinden. Zij worden er in groote Kudden geweid, waartoe ieder Dorp, ieder Buurschap, ja ieder Huis zijn Schapendrift heeft."

"Het vierde veen, doorgaans des Heeren Veen genoemt is in deeze vielerlei naamen onderscheiden, namelyk; Hattemer-Veen, Hals Veen en Wolbooms-Veen, en het grootste van alle, dat in het Graafschap Zutphen gevonden word, leggende in 't midden derzelve, en strekt zich boven van omtrent een Myl ten Westen van het Dorp "Ruurlo", tot beneden nabij de Buurschappen Heelweg, Berringveld, Hepenbroek, Hal en Oude Landweer; Westwaards tegen de Zellemer-Heide, en Oostwaards tegen het Ruurlosche Broek; beneden draagt dit Veen ook de naam Wolbooms-Veen. 't Geheele Veen is niet ongelyk, aan de gedaante van het onderste gedeelte van een Laars."

Een recenter werk is de Statistische beschrijving van Gelderland, uitgegeven door de Commissie voor de landbouw uit 1826. Dit rapport geeft een uitgebreide beschrijving van de provincie en daarnaast veel informatie over de toestand van de landbouw. Interessant is de zinsnede dat ook door het veen gevoede beken 's zomers droog konden staan.

"De Vordensche beek, ontstaat in het veen bij het buurschap Vragender, oostwaarts van Lichtenvoorde, uit de samenvloeiing van verscheidene beekjes, die ieder afzonderlijk des zomers bijna droog zijn; *in het buurschap Sijwent treedt zij in de gemeente Ruerlo, en loopt daar onder den naam van Molenbeek gedeeltelijk door de onbebouwde gronden van het Ruerlosche broek; vervolgens in de gemeente Vorden getreden, neemt zij de Hissinkbeek en andere beken op; eindelijk doorsnijdt zij een gedeelte van de gemeente Warnsveld en stort zich daar in den IJssel."*

Beschrijving van het stroomgebied na 1850.

Voor de volgende beschouwing over afmetingen en afvoeren van waterlopen in het stroomgebied van de Baakse beek is gebruik gemaakt van verschillende bronnen. Met de inventarisatie van de Achterhoekse beken door Staring omstreeks 1850 zijn de eerste afmetingen vastgelegd. Daarna geven de waterstaatskaarten uit verschillende perioden de nodige informatie. Het waterschap van de Baakse beek, dat in 1929 is opgericht, hanteert een indeling in A en B-watergangen. Het archief, dat na een fusie is ondergebracht bij het Waterschap Rijn en IJssel, bevat veel informatie over de waterhuishoudkundige ingrepen in het stroomgebied van de Baakse beek. In de literatuurlijst zijn de geraadpleegde archiefstukken in een apart tekstblok vermeld. In de jaren zeventig van de vorige eeuw is door Ernst (1978) een beschouwing gegeven over waterlopen die hij baseerde op gegevens uit het Baakse beekgebied. Meer recent zijn op basis van ruilverkaveling-inventarisaties gegevens bekend (Waterschap IJsselland-Baakse beek, 1996).

Afgezien van ingrepen in de waterhuishouding hebben zich na 1850 ontwikkeling voorgedaan die de afvoer van de Baakse beek hebben beïnvloed. Zo is de neerslaghoeveelheid met ruim 10% toegenomen. Ook de verdamping door ander landgebruik is gewijzigd. Op de plekken waar veen verdween zal de verdamping zijn afgenomen, maar de successie van heide naar bos of het omzetten in landbouwgrond heeft weer voor een toename gezorgd. Vanaf de jaren vijftig van de vorige eeuw is de verdamping, parallel met de gewasopbrengstontwikkeling, sterk toegenomen.

De bodemgesteldheid heeft veranderingen ondergaan die ook van invloed zijn geweest op de waterhuishouding. Voor de verdwenen veengronden is dat evident, maar voor andere veranderingen, zoals de gestage vervlakking van het maaiveld, is dat minder zichtbaar. Ook het ontginnen van bodemlagen (ijzeroer) en het doorbreken van ondiepe weerstandbiedende lagen heeft ongetwijfeld invloed op de waterhuishouding gehad.

De grootste veranderingen in de waterhuishouding hangen samen met de ontwikkelingen die zich in het waterlopenstelsel hebben voorgedaan. Figuur 2.3 in de hoofdtekst laat de toename dichtheid van waterlopen zien tussen de waterstaatskaart van 1880 en de top10-vector van 2000. Op de oudste kaarten met gegevens over waterlopen, de kadastrale kaarten van ca. 1835, komen alleen de beken voor. Kleinere greppels die ook als perceelscheidingen hebben gediend zijn hierop niet aangegeven.

Afmetingen van waterlopen

Door Van Halst (1973) worden afmetingen genoemd voor verbeterde en niet verbeterde waterlopen (tabel B1.1). Door de verbeteringswerken zijn de A- en B-waterlopen rond 1970 respectievelijk 0,40 en 0,20 m dieper geworden en is de inhoud met een factor 2,1 tot 2,7 toegenomen.

Voor de Baakse beek en de Veengoot zijn gemiddelde afmetingen gebaseerd op leggergegevens van het waterschap na verbeteringswerken 1930/1932. Voor de verbeteringswerken van de Baakse beek is een maatgevende afvoer gehanteerd van 0,070 m^3/sec/100 ha. Hoewel nadere gegevens ontbreken heeft de maatgevende afvoer waarschijnlijk betrekking op de maximale afvoercapaciteit van het afwateringsysteem. De bijbehorende droogleggingsnorm is onbekend. De afmetingen die in tabel B1.2 staan hebben betrekking op zeven trajecten van de Baakse beek (figuur B1.4).

Tabel B1.1

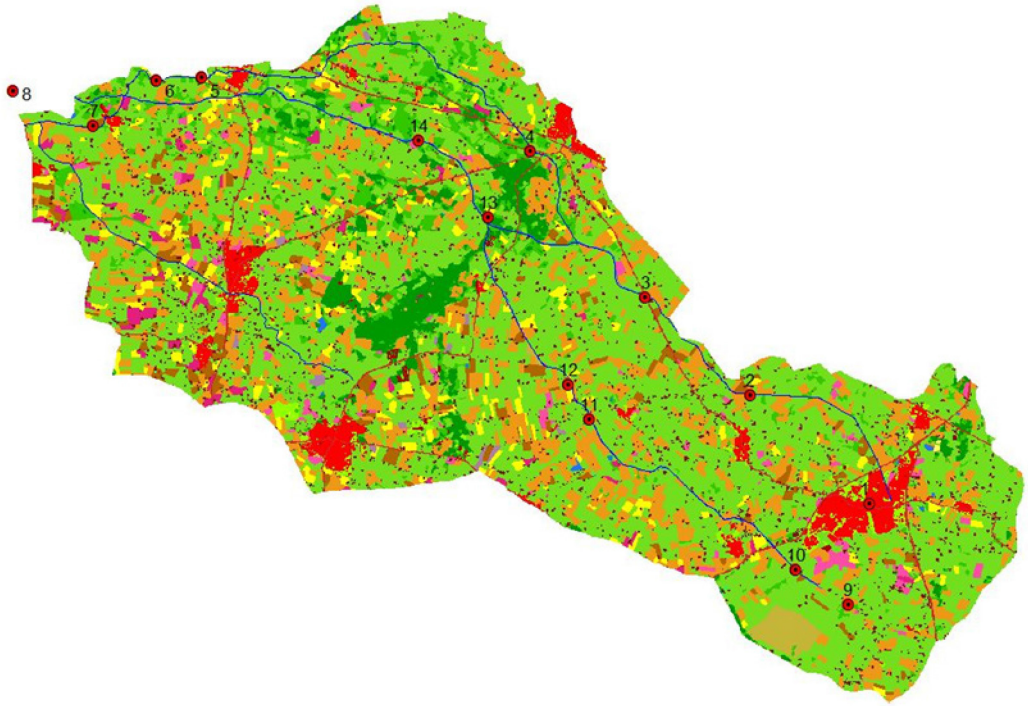
Verandering in de afmeting van de A- en B-watergangen omstreeks 1970.

Omschrijving Waterloop	Bovenbreedte m.	Bodembreedte m.	Bodemdiepte m-mv	Talud
A-niet verbeterd	2.50	0.50	1.00	1
A-verbeterd	5.00	0.70	1.40	1.50
B-niet verbeterd	1.50	0.30	0.80	0.75
B-verbeterd	2.50	0.50	1.00	1

Tabel B1.2

Afmetingen Baakse beek na verbetering 1930/1932.

Traject	Bovenbreedte m.	Bodembreedte m.	Bodemdiepte m-mv	Talud	Afstand m	Aantal
1-2	4.57	1.41	1.28	1.23	4601	20
2-3	9.77	4.73	1.66	1.53	4104	9
3-4	12.62	6.24	1.90	1.71	5341	12
4-5	9.74	4.64	1.70	1.51	9632	25
5-6	11.10	5.60	1.57	1.78	1304	3
6-7	10.65	3.76	1.77	1.94	2220	6
7-8	13.13	6.45	1.89	1.79	2508	7
Gem.	**9.31**	**4.22**	1.64	**1.54**	**29710**	



Figuur B1.4 *Begin en eindpunt van de trajecten behorende bij tabel B3 en B4.*

Voor de Veengoot is eveneens een maatgevende afvoer gehanteerd van 0,070 m^3/sec/100 ha. De bijbehorende drooglegginsnorm is eveneens onbekend. Voor de Veengoot zijn vijf trajecten gemiddeld (tabel B1.3 en figuur B1.4). Om de diepte in te schatten is het gemiddelde maaiveld (op basis van buffer van 50 m langs de trajecten) van het AHN25, bepaald, waarbij de watergangen uit het bestand zijn gefilterd.

Tabel B1.3

Afmetingen Veengoot na verbetering 1930/1932.

Traject	Bovenbreedte m.	Bodembreedte m.	Bodemdiepte m-mv	Talud	Afstand m.	Aantal
9-10	4.74	1.00	1.31	1.43	1803	6
10-11	7.43	2.28	1.73	1.50	7301	18
11-12	8.05	2.53	1.73	1.60	1166	4
12-13	8.42	3.29	1.92	1.32	5323	13
13-14	8.41	2.04	2.07	1.55	2973	7
Gemiddeld	**7.56**	**2.38**	**1.78**	**1.46**	18565	**48**

Voor de situatie in 2011 zijn door het waterschap Rijn en IJssel gegevens aangeleverd (tabel B4 en B5).

Tabel B1.4

Afmetingen van de Baakse beek in 2011.

Traject[1]	Bovenbreedte	Bodembreedte	Bodemdiepte	Maaiveldhoogte	Bodemdiepte	Talud
1-2	10.7	2.8	17.16	19.43	2.27	1.75
2-3	13.1	2.8	15.51	17.76	2.25	2.28
3-4	12.9	4.2	14.56	16.74	2.18	2
4-5	10.2	3.9	11.32	13.44	2.12	1.5
5-6	10.9	5.6	8.36	10.14	1.78	1.5
6-7	16.5	5.8	6.26	9.23	2.97	1.8
7-8	21.0	6.7	4.06	7.29	3.23	2.2

[1] Ligging traject zie figuur 15.

Tabel B1.5

Afmetingen van de Veengoot in 2011.

Traject[1]	Bovenbreedte	Bodembreedte	Bodemdiepte	Maaiveldhoogte	Bodemdiepte	Talud
9-10	10.7	2.1	17.66	19.7	2.04	2.1
10-11	16.5	3.4	16.42	19.04	2.62	2.5
11-12	13.7	3.2	15.75	17.85	2.1	2.5
12-13	13.9	2.9	15	17.21	2.21	2.5
13-14	20.9	8.0	12.82	15.39	2.57	2.5

[1] Ligging traject zie figuur 15.

Op basis van deze gegevens is een doorsnede te bepalen voor zowel de oude (1930) en nieuwe situatie (2011) (tabel B1.6 en B1.7). In de bovenloop blijkt een toename van de doorsnede met een factor 3-4. Ook zijn er in de Baakse beek enkele trajecten 3-4, 4-5 en 5-6 waar nauwelijks sprake is van toename in de doorsnede. In de trajecten 4-5 en 5-6 is de doorsnede zelfs kleiner dan meer bovenstrooms.

Tabel B1.6

Gemiddelde dwarsprofiel Baakse beek in 1930 en 2011 in m² alsmede hun verhouding.

Traject[1]	2011	1930	Verhouding
1-2	15.35	3.83	4.0
2-3	17.89	12.04	1.5
3-4	18.60	17.92	1.0
4-5	14.97	12.22	1.2
5-6	14.72	13.11	1.1
6-7	32.98	12.75	2.6
7-8	44.72	18.50	2.4

[1] Ligging traject zie figuur 15.

Ivonne

Tabel B1.7

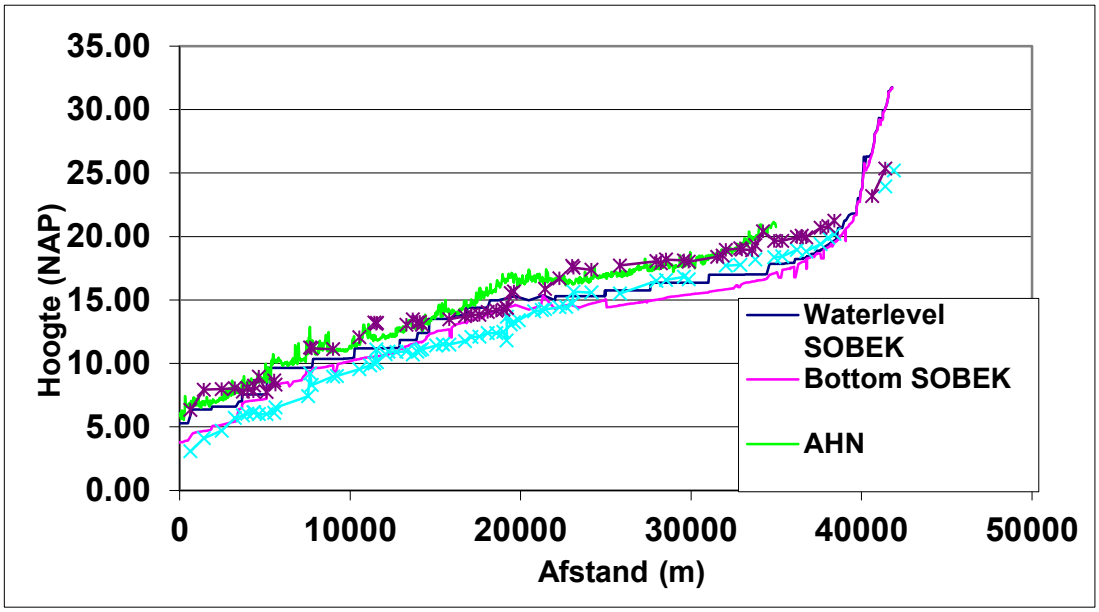
Gemiddelde dwarsprofiel Veengoot in 1930 en 2011 in m² alsmede hun verhouding.

Traject[1]	2011	1930	Verhouding
9-10	13.02	3.76	3.5
10-11	26.10	8.40	3.1
11-12	17.70	9.15	1.9
12-13	18.53	11.24	1.6
13-14	37.12	10.82	3.4

[1] Ligging traject zie figuur 15.

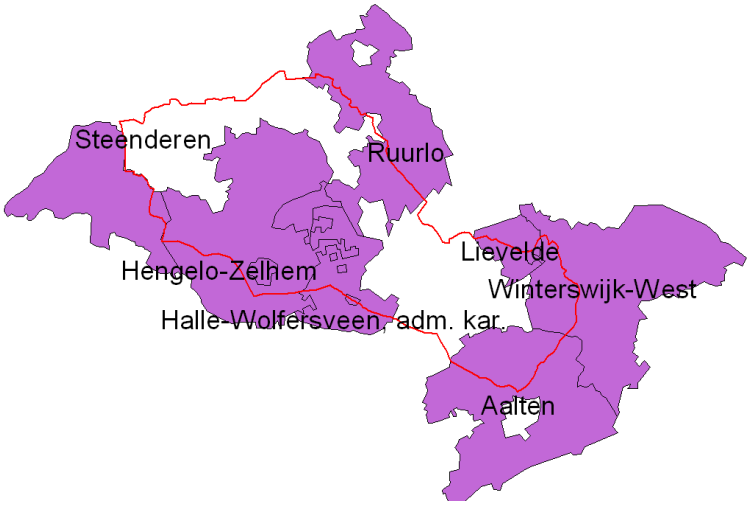
Ontwateringsdiepte

Door Staring zijn in 1843 de bodemhoogtes van beken in de Achterhoek vastgesteld. Voor de Baakse beek staat het verloop in figuur B1.5 weergegeven. Aan deze figuur zijn recente gegevens met de naam SOBEK toegevoegd die ontleend zijn aan de legger van het waterschap voor de Baakse beek en het AHN. Het afgebeelde traject heeft betrekking op het gedeelte dat ca. 750 m bovenstrooms van het lozingspunt van de Baakse beek in de IJssel begint. Het traject van de Baakse beek uit 1843 is langer dan het huidige traject. Mogelijk is dat een verklaring voor de verschillen in bodemhoogte volgens Staring en SOBEK. Het maaiveld volgens Staring en het AHN komen beter overeen al zijn er trajecten met verschillen.



Figuur B1.5 *Bodem- en maaiveldhoogte Baakse beek volgens verschillende bronnen.*

De ontwatering is veranderd tijdens de ruilverkavelingen die in de regio in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw hebben plaatsgevonden (figuur B1.6). De criteria die daarbij gehanteerd zijn staan in tabel B1.8. Uit deze tabel volgt dat de drainagebasis is verlaagd van ca 0,8/0,9 m-mv naar 1,2/1,3 m-mv, zo'n 0,4 m. Dit komt overeen met de bevindingen van van Halst (tabel B1.2).



Figuur B1.6 *Ruilverkavelingen rond het stroomgebied van de Baakse beek.*

Tabel B1.8

Hydrologische aanpassingen voor een aantal ruilverkavelingen (Waterschap IJsselland Baakse beek, 1996).

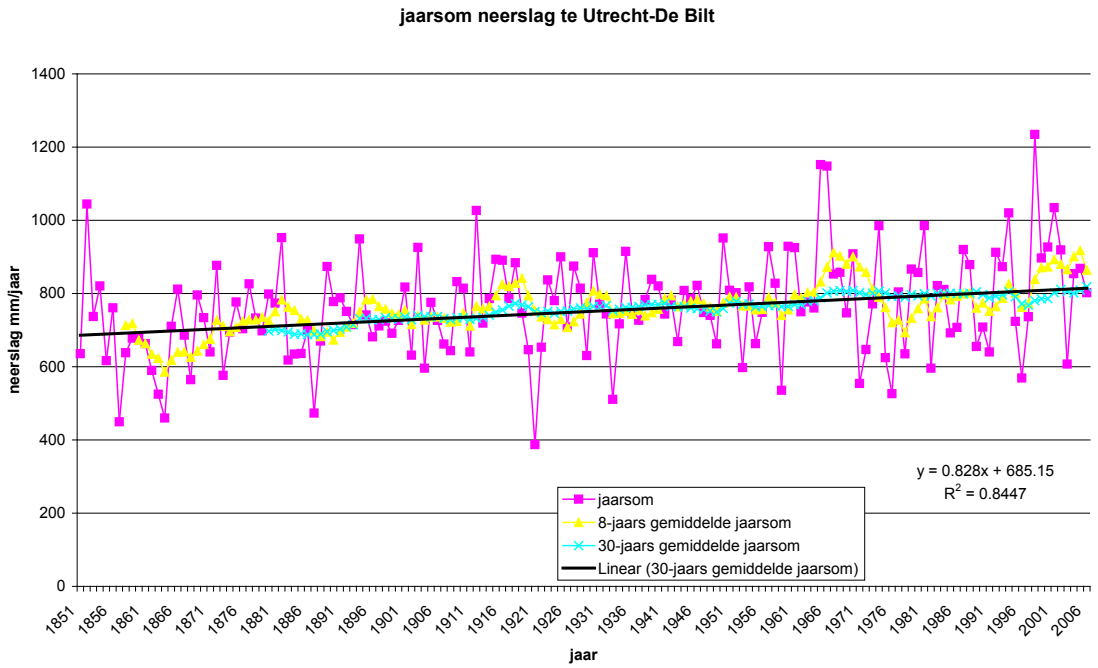
Ruilverkaveling	jaar	Drooglegging	Drainagebasis		Slootdichtheid		Specifieke afvoer
			voor	na	voor	na	
		m	m-mv	m-mv	m	m	l/s/ha
Hengelo-Zelhem	-	0,8/0,5 ma[1]	0.8	1.2	507	540	0,5-1,2
Steenderen	1975	0,7/ma	1	1.4			0,7-1,5
Zieuwent-Harreveld	-		0.9	1.4	319	437	1,0
Warnsveld	1967		0.9	1.3	400	433	
Ruurlo	1981		0.8	1.3	281	389	
Aalten	1973		0.8	1.4	410	511	
Winterswijk-West	1984		0.9	1.2	300	345	
Verbeteringsplannen							
	1928-1940						
Veengoot	1920-1930		(verdieping 1.3-->1.9)				
Wiersse/Medler	1972		'0.5 m verdiept		410	460	1,2
Wolfersveen/Stuyvesand	1972		0.8	1.4	377	509	1,2 (bos 0,6)
Grote Beek	1962	0,6-0,7/ma	1.7	2.1			1
			1	1.5			
Veengoot		0,3/laagste gronden	1.9	2.3			1

ma[1] maatgevende afvoer.

Meteorologische gegevens

Neerslag

Vanaf het midden van de 19e eeuw zijn systematisch meteorologische meetreeksen opgebouwd die doorlopen tot heden. Vanaf de oprichting van het KNMI wordt o.a. in Utrecht, later verplaatst naar De Bilt, de neerslag gemeten. In figuur B1.8 zijn de jaarsommen over de periode 1851 -2006 weergegeven.

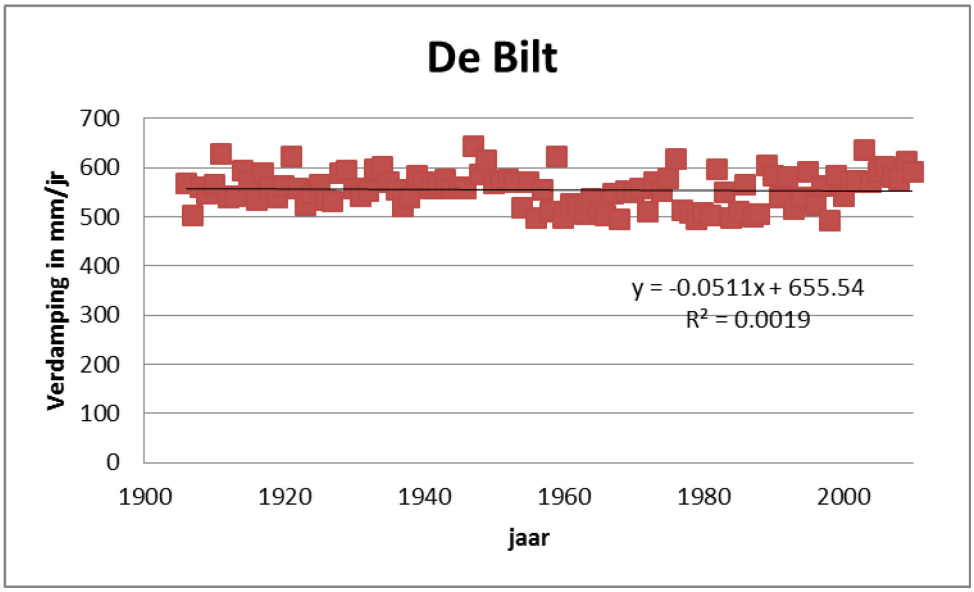


Figuur B1.7 *Jaarsommen voor de neerslag te Utrecht/De Bilt.*

Het aantal neerslagstations was aanvankelijk beperkt en is in de loop der tijd steeds verder uitgebreid. In of nabij het stroomgebied van de Baakse beek wordt in Winterswijk vanaf 1906, te Aalten, Almen, Borculo, Doetinchem en Lochem wordt vanaf 1951 en te Lichtenvoorde wordt vanaf 1957 de neerslag gemeten. Figuur B1.7 laat een stijgende trend zien in de jaarlijkse neerslag.

Verdamping

Voor verdamping is de meetreeks korter, voor De Bilt is een meetreeks beschikbaar vanaf 1957. Deze reeks is uitgebreid tot 1906. De referentie-gewasverdamping over de periode 1906-1957 is berekend uit geschatte waarden van de globale straling en etmaalgemiddelde temperatuur (figuur B1.8). Uit deze reeks is geen duidelijk trend af te leiden over een verandering in de grootte van de verdamping.



Figuur B1.8 *Verdamping in De Bilt over de periode 1906-2010.*

Geraadpleegde literatuur in brononderzoek

Archief Baaksche beek

Op 20 september 2010 hebben J. van der Gaast, en H. Massop (Alterra) en H. Marsman (Waterschap Rijn en IJssel) de volgende archiefstukken van het voormalige waterschap Baaksche Beek doorgenomen:

- Inventarisatie van Staring 1847
- Stuk 476 Waterhoogten, heeft betrekking op zomerafvoeren kopie gemaakt.
- Stuk 482 Bevat ICW-nota 770, heeft betrekking op Kloosterlaan
- Stuk 485 Verbeteringen waterlopen, enkele kopieen gemaakt.
- Stuk 496 Bevat bestekken Veengoot
- Stuk 511 Bevat bestekken Veengoot
- Stuk 510 Nieuwe beek niet bekeken.
- Stuk 516/517 Verbeteringwerken 1924, bevat klachten van particulieren (dus lokale problemen), met reactie waterschap, veel aanpassingen in het ontwateringssysteem zijn een reactie op klachten van particulieren
- Stuk 576 Klacht van Gelderse Maatschappij voor Landbouw, mbt waterstaatkundige toestand in 1965.
- Stuk 615 Afwatering Baaksche beek bij hoge IJsselstanden, niet gekopieerd
- Stuk 616 Correspondentie mbt waterinlaat landgoed De Wiersse, niet gekopieerd
- Stuk 627 Grafieken waterstanden en maalgegevens/pompuren
- Stuk 636/637 A-watergangen, bevat lijsten watergangen en kaarten
- Stuk 638/639 B-watergangen, idem
- Stuk 647/648/649 Watergangen, 649 bevat kaart met A en B watergangen
- Stuk 657/658 IJsselwater beheerste percelen, kopie gemaakt
- Stuk 742 Waterbeheersingsplan Ruurlo
- Stuk 730 RVK stukken profielen Hengelo-Zelhem Stiboka-rapport 959 uit 1973, 8250 ha 1 : 25000

Bon, J., 1971. *Afvoernormen.* ICW-nota 631.

Commissie voor de landbouw, 1826. *Statistische beschrijving van Gelderland.*

Ernst, L.F., 1978. *Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio*. Journal of Hydrology 39 (1978) 1-30. Elsevier, Amsterdam.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H..R.J. Vroon en I.G. Staritsky., 2006. *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken.* Wageningen, Alterra-rapport 1339.

Gaast, J.W.J. van der en H.Th.L. Massop, 2007. *Reconstructie van de historische hydrologie. Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland.* Wageningen, Alterra-rapport 1466.

Geografische beschrijving van de provincie Gelderland , 1772.

Jansen. P.C., F. de Vries en J. Runhaar, 1999. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden. Het oorspronkelijke grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken.* Alterra-rapport 694. Wageningen.

Ketting Olivier B.F., 1982. *Inventaris van de archieven van de Rijkscommissie voor de ontwatering (1918-1934) en het Rijksbureau voor de Ontwatering (1920-1935).* Ministerie van LNV.

Kuiper, P.P., 2006. *IJzerhard oer Oerdegelijk IJzer. Het graven van IJzeroer in Zuid-Salland en de noordelijke delen van de Achterhoek in de nieuwe tijd.*

Massop, H.Th.L en W.C. Knol, 2005. *Historisch Waterbeheer. Een kwantitatieve benadering van historische watersystemen: definities en voorbeelden.* Wageningen, Alterra-rapport 1145.

Massop, H.Th.L. and J.W.J. van der Gaast, 2009. *Historical water management in the River basin of the Baakse beek and the adaptations to the water system as a result of change in land use.* Physics and Chemistry of the Earth 34 (2009) 192-199.

Pardijs, A.D., 1969. *Waterschap Baakse beek 1919-1969*. Ruurlo.

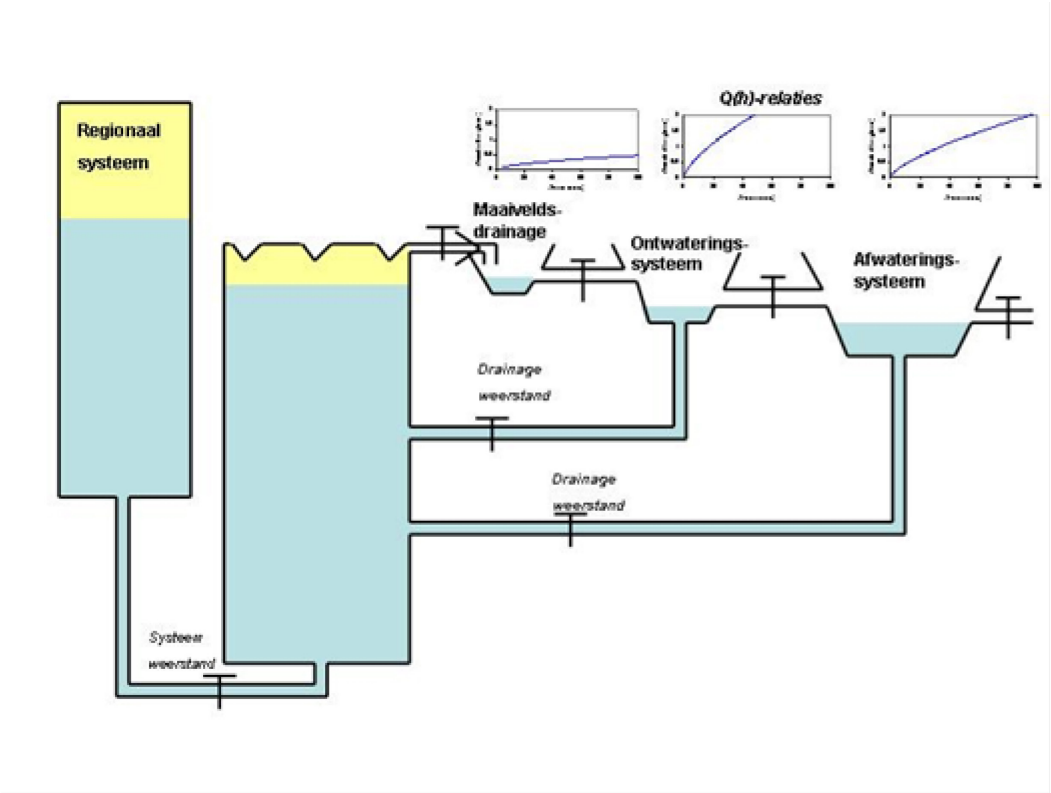
Rooi, C.J. de, 2006. *Waar de venen groeiden. De situering en transformatie van veengebieden in de Achterhoek.*

Waterschap IJsselland Baakse beek, 1996. *Het waterhuishoudkundig systeem een herbeoordeling.*

Bijlage 2 Beschrijving van het model SWAP

Algemeen
SWAP is een één-dimensionaal model dat het transport van water in de bodem beschrijft. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Richards vergelijking.

De neerslag en verdamping op dagbasis vormt de bovenrandvoorwaarde. Het model kent meerdere onderrandvoorwaarden. In studie 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' is ervoor gekozen de relatie met het regionale systeem mee te nemen in de vorm van een diepe stijghoogte en een weerstand.



Figuur B2.1 *Schematische weergave van de koppeling tussen de SWAP-kolom en de verschillende oppervlaktewatersystemen alsmede het regionale systeem.*

Naast het regionale systeem worden drie drainagesystemen onderscheiden, die in de vorm van een q(h)-relatie worden meegenomen (figuur B2.1 en figuur B2.3). Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar Van der Gaast et al., 2006.

De relatie met het regionale systeem is gekalibreerd. Hierbij zijn de GxG in de vorm van de GHG, GVG en GLG de doelvariabelen. Met PEST zijn vervolgens waarden voor de diepe stijghoogte en weerstand bepaald.

In het standaard SWAP-model kan alleen het oppervlaktewaterpeil van het hoofdsysteem (afwateringssysteem) worden geregeld. Drainagewater dat afgevoerd wordt via ontwateringssysteem kan direct in het hoofdsysteem terechtkomen en wordt alleen geborgen in het oppervlaktewater-systeem als het peil in het hoofdsysteem omhoog gaat. In de praktijk wordt echter water geborgen in het ontwateringsysteem. Ook op het maaiveld kunnen gedurende de winter vaak langdurig plassen

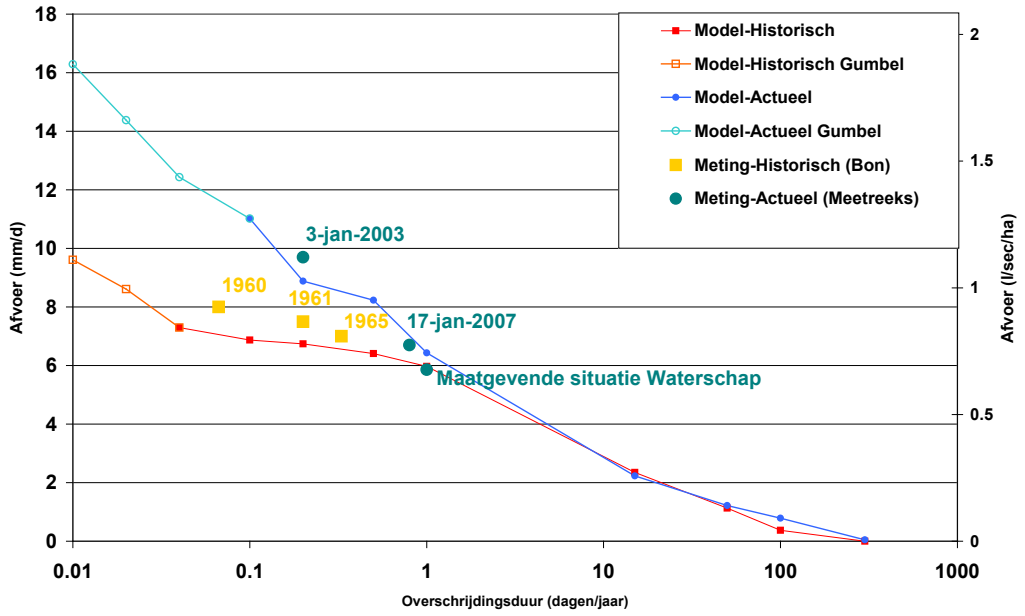
worden waargenomen. Om dit bergingsproces te kunnen modelleren is het model in het kader van het project 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' aangepast. In het kort komt de modelaanpassing er op neer dat ieder oppervlaktewatersysteem in het model wordt gesimuleerd in de vorm van een eigen bakje met een drempel en een afvoer via een Q(h)-relatie. Hierdoor is het mogelijk om berging in het oppervlaktewater/maaiveld en gestremde afvoer als gevolg van een drempel en een stromingsweerstand te simuleren. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de aanpassingen in het model ook tot gevolg heeft dat er meer invoerparameters zijn die zonder aanvullend onderzoek maar tot op zekere hoogte goed kunnen worden geschat. In figuur B2.1 is het concept schematisch weergegeven.

Validatie
De resultaten van de landelijke hydrologie op basis van karteerbare kenmerken zijn gevalideerd op maatgevende afvoer en kwel (Van der Gaast et al., 2006). Ook voor studie reconstructie historische hydrologie is gevalideerd of afvoergegevens.

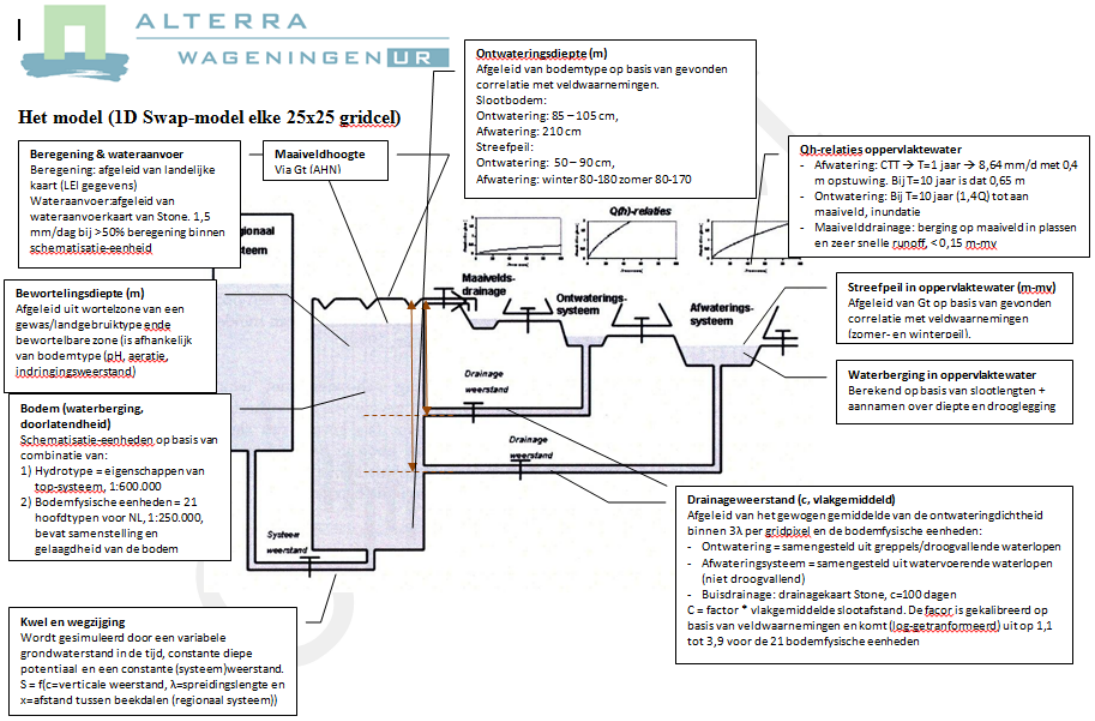
Voor het valideren van de landelijke modelberekeningen zijn indertijd de berekende afvoeren vergeleken met gemeten afvoerreeksen. De validatie is uitgevoerd voor een aantal deelstroomgebieden in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas. Over het algemeen blijkt de berekende maatgevende afvoer op basis van de metamodellen goed overeen te komen met de maatgevende afvoer uit de tijdreeks. De maatgevende afvoer gebaseerd op de gemeten tijdreeksen is zeer gevoelig in het traject met hoge afvoeren. Het verschil tussen de afvoer met een overschrijdingsfrequentie van één dag respectievelijk twee dagen is in de meeste gevallen meer dan 10%. Naast de maatgevende afvoer is ook de afvoer met een herhalingstijd van 15 en 100 dagen per jaar vergeleken met de tijdreeksgegevens van de afvoermeetpunten. Ook deze afvoeren blijken goed overeen te komen met de meetgegevens .

De kwelkaart is moeilijk te valideren en daarom is er alleen gekeken naar de plausibiliteit van de kaart. In de kaart is te zien dat een gemiddelde wegzijging van meer dan 1 mm/dag niet veel voorkomt, hetgeen ook mag worden verwacht. De kwelintensiteit in de kaart is over het algemeen relatief gering. Als uitgegaan wordt van een drainageweerstand van bijvoorbeeld 300 dagen heeft een kwel van bijvoorbeeld 5 mm/dag een opbolling van 150 cm tot gevolg (q_v=dh/c_d ==> q_v*c_d=dh). Bij een drainageweerstand van 100 dagen, hetgeen laag is, hebben we te maken met een opbolling van 50 cm als gevolg van de kwel. De extra afvoer als gevolg van neerslag komt hier nog bij maar wordt in natte gebieden natuurlijk deels via het maaiveld afgevoerd. Op basis van het bovenstaande is een geringe kwel van één tot maximaal enkele mm/dag redelijk realistisch.

In reconstructie historische hydrologie Van der Gaast en Massop (2007) is een vergelijking uitgevoerd met historische grondwaterstandskaarten en gekeken naar de afvoer in de actuele situatie. Daaruit bleek dat de berekende historische grondwaterkaart natter is dan de kaart volgens Jansen et al. (1999) en de COLN-kaart. De modeluitkomsten geven enkele lokale plekken met een GHG boven maaiveld. Ondanks dat de berekende GHG natter is dan de historische GHG en de COLN-GHG betekent dit niet dat de berekende standen geheel onjuist zijn, er zijn aanwijzingen dat er in vroeger tijd regelmatig gebiedsdelen gedurende enige tijd onder water stonden, echter gegevens over de tijdsduur waarover deze natte omstandigheden voorkwamen ontbreken. Ook bij het afleiden van de historische GHG op basis van het bodemtype kunnen veel onzekerheden voorkomen. De COLN-GHG heeft betrekking op een veel latere situatie (omstreeks 1950), de situatie na beekverbetering.
Voor de modellering van de actuele situatie kan de berekende maatgevende afvoer worden vergeleken met grootte van de maatgevende afvoer volgens het waterschap deze blijken goed overeen te komen (figuur B2.2). Ook de afvoer op 3 januari 2003 en 17 januari 2007 met een kans van voorkomen van resp. 1* 5 en 1*1,25 jaar komen goed overeen met de berekende lijn.



Figuur B2.2 *Overschrijdingsduur van de afvoer in de historische en de actuele situatie op basis van modeluitkomsten en op basis van metingen (niet gecorrigeerd voor looptijdverschillen).*



Figuur 2.3 *Toelichting bij de schematische weergave van de koppeling tussen de SWAP-kolom en de verschillende oppervlaktewatersystemen alsmede het regionale systeem.*

Literatuur

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H..R.J. Vroon en I.G. Staritsky., 2006. *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken.* Wageningen, Alterra-rapport 1339.

Gaast, J.W.J. van der en H.Th.L. Massop, 2007. *Reconstructie van de historische hydrologie. Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland.* Wageningen, Alterra-rapport 1466.

Jansen. P.C., F. de Vries en J. Runhaar, 1999. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden. Het oorspronkelijke grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken.* Alterra-rapport 694. Wageningen.

Bijlage 3 De onderrand van het model SWAP voor HIS met een veendek

Voor de vier Gt's waarmee metarelaties worden afgeleid zijn de referentieperiode HIS voor het scenario met een veendek berekeningen uitgevoerd naar de meest plausibele onderrand. Omdat er in het stroomgebied geen veen meer voorkomt zijn de waarden voor weerstanden en karakteristieken voor de stijghoogte van het diepe grondwater gebruikt voor het stratum waar het meeste veen op voorkwam (290309) en die door Van der Gaast et al. (2006) zijn gebruikt voor het Bargerveen en Griendtsveen.

Als uitvoer zijn in onderstaande tabel B3.1 de afvoer q150 en het aantal dagen zonder afvoer gegeven. Voor Gt IIa zijn de verschillen tussen de drie onderranden voor wat betreft q150 en het aantal dagen zonder afvoer klein. Bij Gt IIIb is met de onderrand die in het Bargerveen is toegepast q150 duidelijk groter en het aantal dagen zonder afvoer kleiner dan van de beide andere onderranden. Bij Gt VI en Gt VII, waarvan het in de praktijk onrealistisch is dat die bij veen voorkomen, is het aantal dagen zonder afvoer onbetrouwbaar.

De conclusie is dat de onderrand van stratum 290309 het meest aannemelijk is. De betreffende onderrand is voor berekeningen met veen toegepast.

Tabel B3.1

Onderrand van scenario HIS met veen.

Invoer		2900309	Bargerveen	Griendtsveen
GtIIa	Stijghoogte (cm)	34	210	210
	weerstand (d)	344	1992	1975
	amplitudo (cm)	40	geen	geen
	dag max (dagnr)	45		
Gt IIIb	Stijghoogte (cm)	-26	685	89
	weerstand (d)	427	9309	1955
	amplitudo (cm)	40	geen	geen
	dag max (dagnr)	45		
Gt VI	Stijghoogte (cm)	-122	45	-14
	weerstand (d)	1904	10000	7337
	amplitudo (cm)	40	geen	geen
	dag max (dagnr)	45		
Gt VII	Stijghoogte (cm)	-242	-258	-191
	weerstand (d)	2488	10000	7026
	amplitudo (cm)	40	geen	geen
	dag max (dagnr)	45		
Uitvoer				
Gt IIa	q150 (mm/dag)	2.7	2.6	2.6
	dgn zonder afv.	23	18	18
Gt IIIb	q150 (mm/dag)	0.5	2.4	0.5
	dgn zonder afv.	85	23	84
Gt VI	q150 (mm/dag)	0.2	0.5	-
	dgn zonder afv.	79	-	-
Gt VII	q150 (mm/dag)	0.1	0.3	0.3
	dgn zonder afv.	53	-	-

Bijlage 4 Gewaseigenschappen

Tabel B4.1
Gewaseigenschappen (1).

Gewas	H1 *) (cm)	H2U (cm)	H2L (cm)	H3H (cm)	H3L (cm)	H4 (cm)	Interc. coef. (cm) **)	wortel-diepte (cm)
Gras-ACT	-10	-25	-25	-200	-800	-8000	0.25	30
Gras-HIS	30	25	25	-200	-800	-8000	0.25	30
Gras-R50	0	-25	-25	-200	-800	-8000	0.25	30
Natuurl. gras	0	-1	1	-200	-800	-8000	0.35	60
Mais	-15	-30	-30	-200	-800	-8000	0.25	5 naar 100
Aardappelen	-10	-25	-25	-320	-600	-16000	0.25	10 naar 50
Loofbos	-1	-2	-2	-600	-600	-6000	0.50	100
Naaldbos	-1	-2	-2	-600	-600	-6000	0.75	70
Heide	0	-1	1	-200	-800	-8000	0.35	40

*) H1 Drukhoogte waarboven geen water meer wordt opgemomen
H2U Drukhoogte in de bovengrond waaronder de wateropname optimaal is
H2L Drukhoogte in de ondergrond waaronder de wateropname optimaal is
H2U Drukhoogte in de bovengrond waaronder de wateropname optimaal is
H3H Drukhoogte in de ondergrond waaronder de wateropname optimaal is
H3L Drukhoogte in de bovengrond waaronder de wateropname optimaal is
H4 Drukhoogte waaronder geen wateropname meer plaatsvindt
**) Interceptie coëfficiënt volgens Von Hoyningen-Hune and Braden (Kroes et al., 2008)

Tabel B4.2
Gewaseigenschappen (2).

aardappel		mais		gras		loofbos		naaldbos		nat.gras	
LCC *)	CoFAB	LCC	CoFAB	LCC	CoFAB	LCC	CoFAB	LCC	CoFAB	LCC	CoFAB
168	0.25	168	0.25	366	0.25	366	0.50	366	0.75	366	0.35
DVS	LAI	DVS	LAI	DVS	LAI	DVS	LAI	DVS	LAI	DVS	LAI
0.00	0.14	0.00	0.05	0.00	3.0	0	2	0	2.5	0	1.5
0.50	0.34	0.30	0.14	2.00	3.0	0.69	2.5	0.5	2.5	0.69	1.5
1.00	0.84	0.50	61			0.83	4	0.69	3	0.83	1.5
1.24	6.17	0.70	4.1			1.5	4	1.5	3	1	1.5
1.54	3.94	1.00	5			1.67	2.5	1.67	2.5	1.17	2.5
1.73	3.56	1.40	5.8			2	2	2	2.5	1.34	3
1.96	1.41	2.00	5.2							1.5	2.5
										1.67	1.5
										1.84	1.5
										2	1.5

*) LCC Lengte van de groeicyclus (dgn)
Cofab Interceptiecoefficient Van Hoyningen-Hune
DVS Onwikkelingsstadium (een jaar loopt van 0 tot 2)
LAI Leaf Area Index (LAI)

Bijlage 5 Memo vergelijking grondwateraanvulling SWAP en AMIGO/CAPSIM

Aanleiding

SWAP en AMIGO/CAPSIM berekenen de grondwateraanvulling uit neerslag en verdamping op een verschillende wijze. In deze bijlage wordt onderzocht wat de verschillen zijn voor deze studie.

Uitgangspunten volgend uit de SWAP berekening

De vergelijking van de berekende grondwateraanvulling wordt gedaan op basis van de veel voorkomende eenheid 2900309 uit de SWAP-modellering. Hiervoor geldt het volgende:

- Dekzandprofiel betreffende de PAWN-eenheid 9
- Landgebruik is grasland
- Gebruik gemaakt van de meteoregio Twente 290
- De fluxen zijn berekend voor de Gt II, Gt III, Gt VI en Gt VII
- De berekening wordt op dagbasis uitgevoerd voor het jaar 2000.
- meteogegevens van station Twente (meteostation 670)

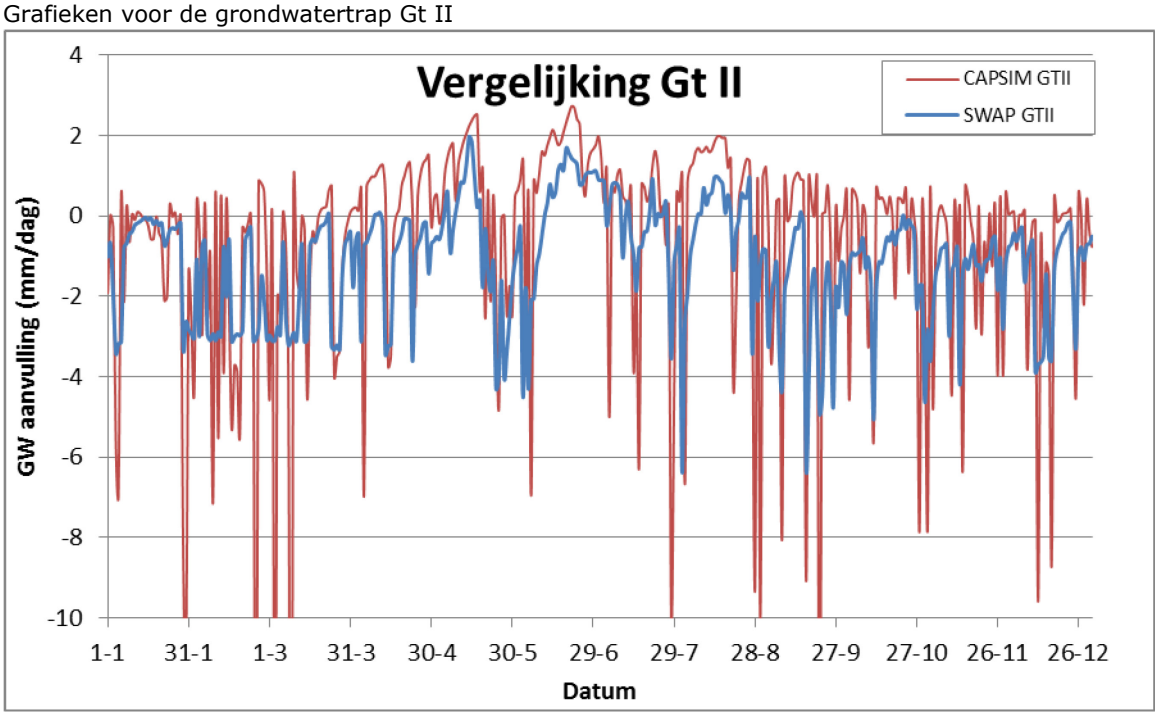
Gegeven de uitgangspunten die volgen uit de SWAP berekening is een berekening met AMIGO/CAPSIM uitgevoerd met gelijkwaardige uitgangspunten. Voor de vergelijking met de SWAP resultaten is inzichtelijk gemaakt welke delen binnen de Baakse Beek in het AMIGO model voldoen aan dezelfde kenmerken als de doorgerekende SWAP eenheid. Hiervoor is een selectie gemaakt van de modelcellen die voldoen aan het landgebruiktype 'grasland' en aan de bodemfysische eenheid '9' (is de PAWN-eenheid 9). Binnen deze selectie is inzichtelijk gemaakt wat de grondwatertrap was. Voor elk van de met SWAP doorgerekende Gt (II,III,VI,VII) zijn vijf punten geselecteerd binnen de eerder genoemde selectie waarvoor een tijdsreeks van de grondwateraanvulling voor het jaar 2000 is geëxporteerd. De gemiddelde grondwateraanvulling van deze vijf punten is gebruikt in de vergelijking met de berekende grondwateraanvulling van SWAP voor de betreffende Gt.

Resultaten vergelijking SWAP/CAPSIM

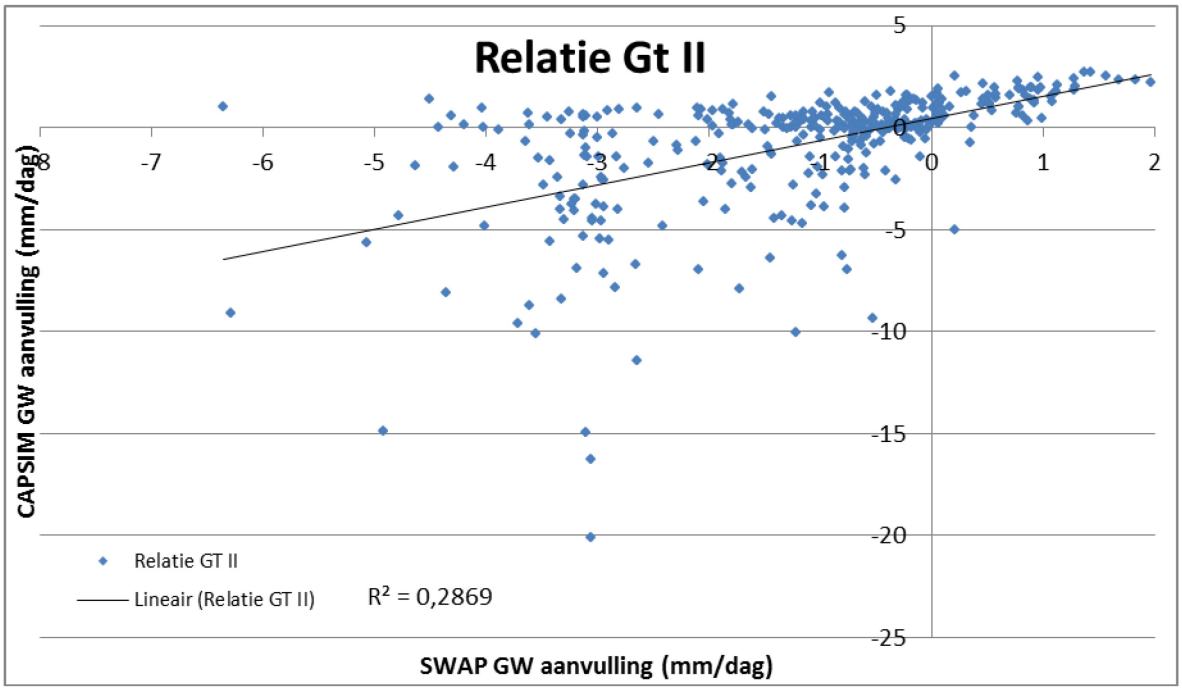
Onderstaand worden per grondwatertrap twee grafieken gegeven. In de eerste grafiek is de berekende grondwateraanvulling van SWAP en CAPSIM naast elkaar uitgezet in de tijd. In de tweede grafiek zijn de SWAP en CAPSIM waarden tegen elkaar uitgezet om de onderlinge relatie inzichtelijk te maken. De berekende grondwateraanvulling van SWAP en CAPSIM zijn beide naast elkaar gezet met de eenheid mm/dag.

Gt II

Grafieken voor de grondwatertrap Gt II



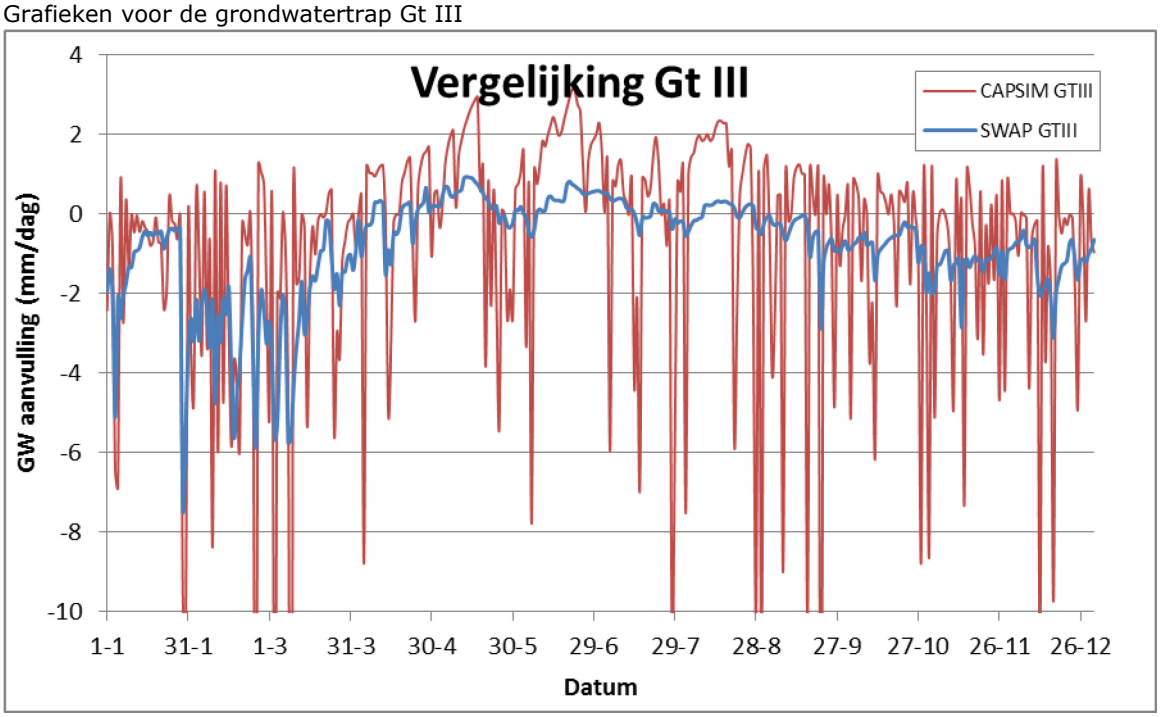
Figuur B5.1 *Vergelijking Gt II.*



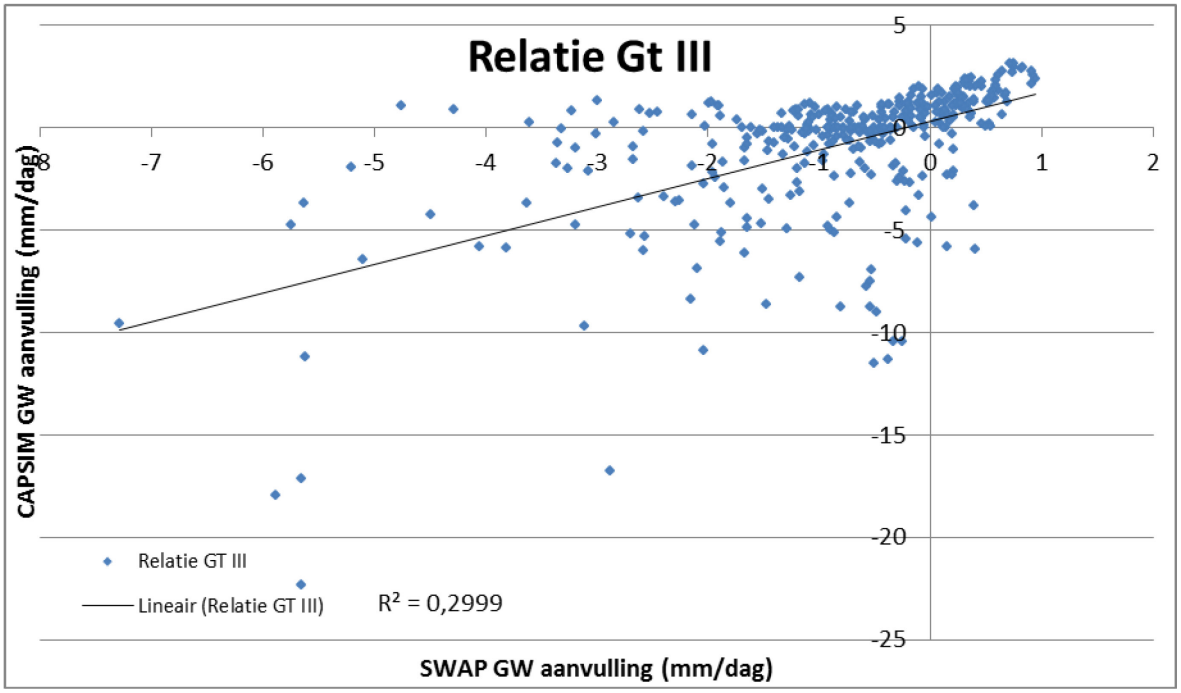
Figuur B5.2 *Relatie Gt II.*

Gt III

Grafieken voor de grondwatertrap Gt III



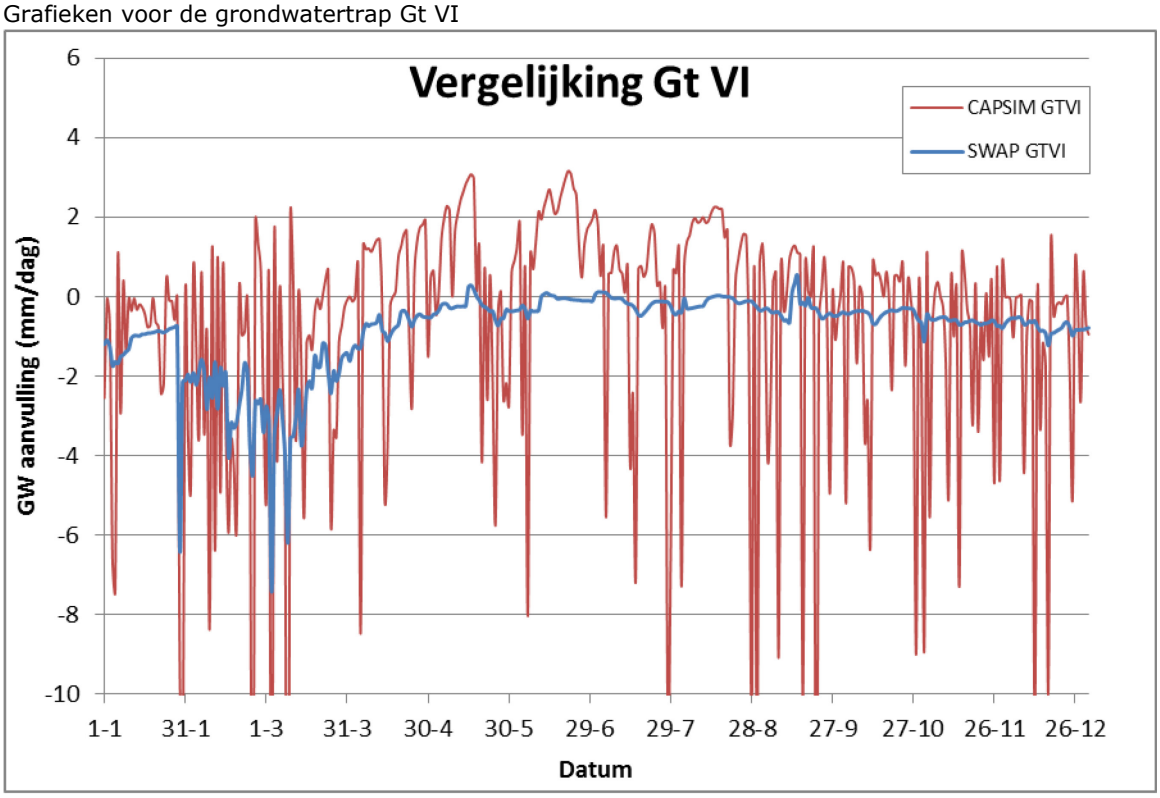
Figuur B5.3 *Vergelijking Gt III.*



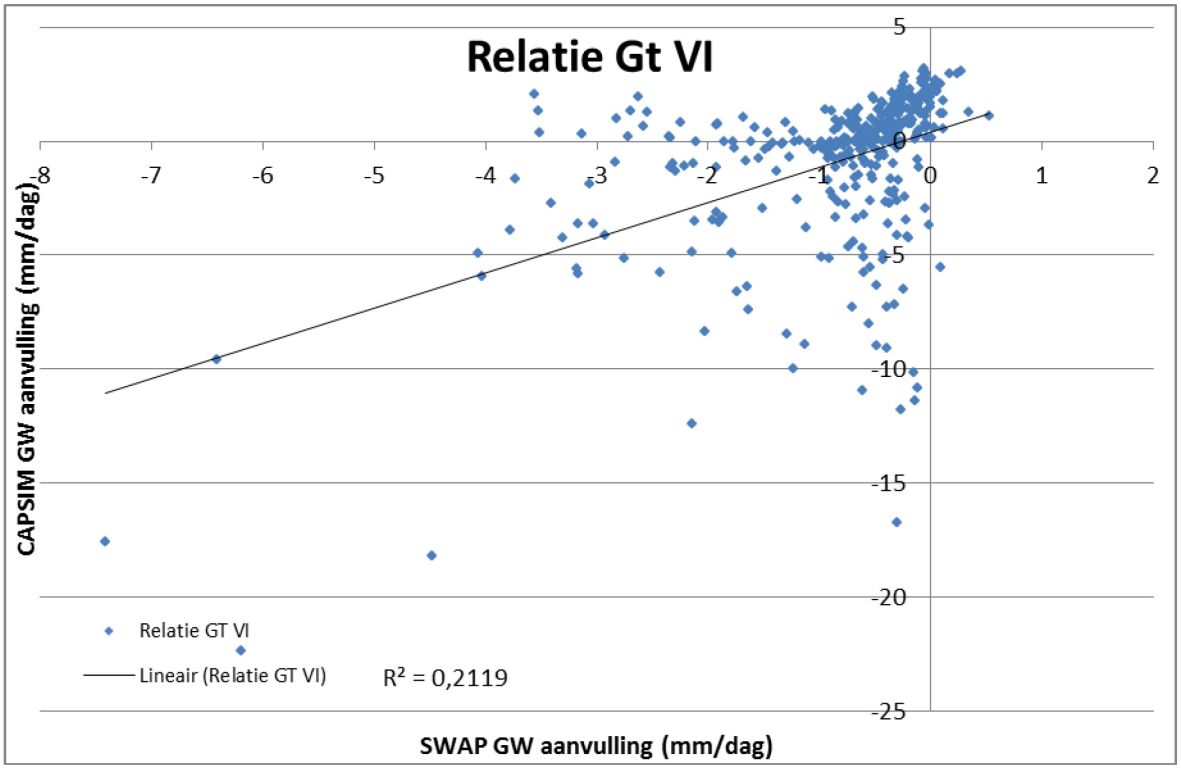
Figuur B5.4 *Relatie Gt III.*

Gt VI

Grafieken voor de grondwatertrap Gt VI



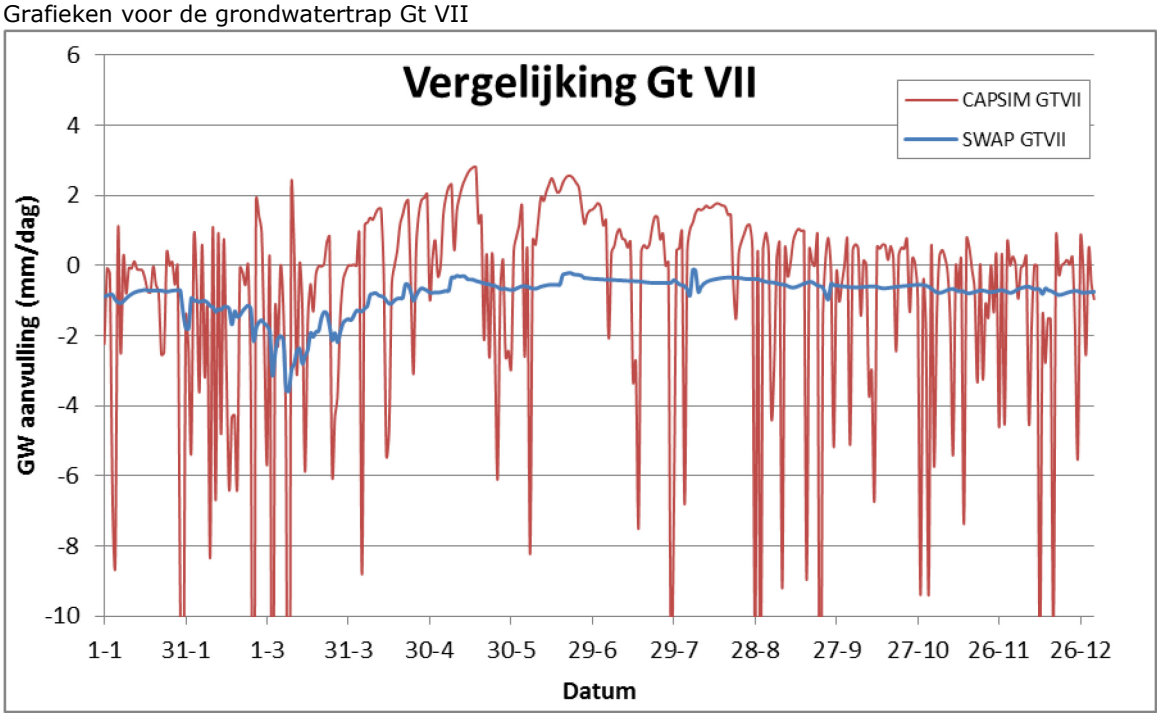
Figuur B5.5 *Vergelijking Gt VI.*



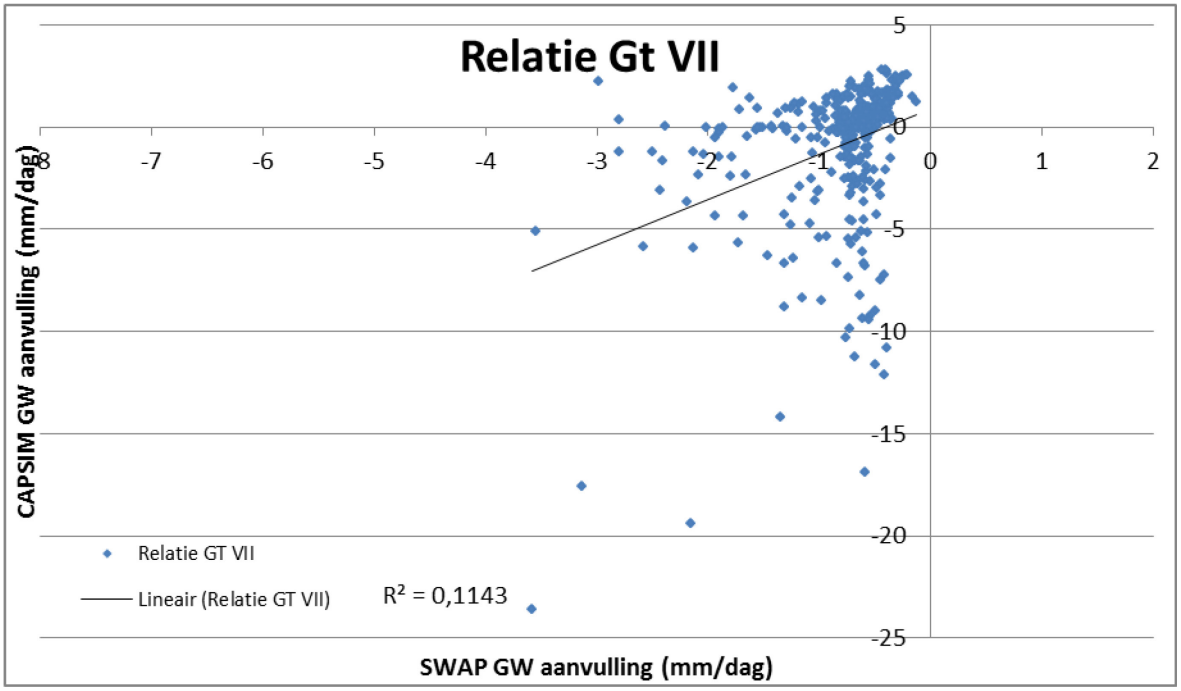
Figuur B5.6 *Relatie Gt VI.*

Gt VII

Grafieken voor de grondwatertrap Gt VII



Figuur B5.7 *Vergelijking Gt VII.*



Figuur B5.8 *Relatie Gt VII.*

Verschillen tussen SWAP en CAPSIM in tabellen

Onderstaande tabel geeft de verschillen in de jaarsom van de grondwateraanvulling die is berekend.

Tabel B5.1
Grondwateraanvulling in 2000 volgens SWAP en CAPSIM.

	SWAP	CAPSIM	Verschil
Gt II	414 mm	285 mm	129 mm
Gt III	305 mm	322 mm	-17 mm
Gt VI	309 mm	327 mm	-18 mm
Gt VII	300 mm	342 mm	-42 mm

De te verwachten grondwateraanvulling ($P\text{-}ET_{ref}$) ligt volgens de klimaatatlas tussen de 280 mm en 320 mm.

Analyse resultaten

Geconstateerde verschillen
Uit de grafieken blijkt een duidelijk verschil tussen de beide modellen. Puntsgewijs kan het volgende worden opgemerkt:

- De fluctuatie van het CAPSIM model is aanzienlijk groter dan van het SWAP model. De berekende waarden kennen veel grotere extremen.
- De algehele trend op grote lijnen van beide modellen is hetzelfde. Met name het verschil in seizoenen komt in beide berekeningen met eenzelfde trend naar voren.
- De relatiegrafieken ('scatter plots') laten zien dat de relatie tussen beide modellen het grootst is bij Gt II en Gt III en bij lagere grondwaterstanden afneemt. Dit komt vooral door de grotere fluctuatie van het SWAP model bij de hoge grondwaterstanden.
- De relatie tussen beide modellen is erg zwak ($r^2 < 0.3$). Te zwak voor het opstellen van een betrouwbare relatie formule.
- De absolute afwijkingen van de jaarsommen zijn aanzienlijk. Bij de grondwatertrappen die de grootste relatie laten zien (namelijk Gt II en III) worden ook de grootste absolute gemiddelde afwijking berekent.
- De jaarsom in grondwateraanvulling neemt in SWAP af bij een hogere Gt (lagere grondwaterstand) en bij het CAPSIM model is dit juist andersom.

Oorsprong en verklaring van de geconstateerde verschillen

1. Verschil in neerslag en verdamping
In CAPSIM is voor deze exercitie per ongeluk meteostation Twente gekozen (KNMI-station 670), terwijl in SWAP is gebruik gemaakt van de meteoregio Twente (KNMI-station 290). Dit zijn verschillende regenmeters met een verschillende jaarsom. Voor meteostation (670) is de som van neerslag over het jaar 2000 892.5 mm. In SWAP is de neerslagsom over het jaar 2000 (meteoregio 290) 852 mm. Dit is dus een verschil van 40.5 mm. De verdamping die in CAPSIM is gehanteerd heeft een jaarsom van 551.4 mm. In SWAP is dit 531.3 mm. Dus een verschil van 20.1 mm. Netto is er dus meer aanvulling in het CAPSIM model (892.5 - 551.4 = 341.1 mm) vergeleken met het SWAP model (852 - 531.3 = 320.7 mm).

2. Verschil in fluctuatie in de grondwateraanvulling
Een duidelijk verschil tussen beide modellen is het verschil in de mate van fluctuatie in de grondwateraanvulling die beide modellen kennen. Analyse van de modelconcepten levert de volgende bijdragen aan het ontstaan van dit verschil:
SWAP simuleert stroming in de onverzadigde nauwkeuriger dan CAPSIM. In Swap is de doorlaatfactor afhankelijk van de vochttoestand van de bodemlaag en wordt van elke bodemlaag de vochttoestand berekend, terwijl CAPSIM een grovere schematisatie kent met vrijwel geen berging in de onverzadigde zone onder de wortelzone. Zeker bij lagere grondwaterstanden kan in SWAP daardoor de berging in de

onverzadigde zone aanzienlijk groter zijn, waardoor minder water wordt afgegeven naar het grondwater. CAPSIM kent een veel directere afgifte van de neerslag naar het grondwater door de beperktere berging.

3. *Toename in jaargemiddelde grondwateraanvulling bij hogere Gt in CAPSIM en een afname bij SWAP*

De resultaten laten zien dat bij SWAP de grondwateraanvulling afneemt bij lagere grondwaterstanden, terwijl in CAPSIM het tegenovergestelde plaatsvindt. Dit is te verklaren doordat:

- in CAPSIM bij diepe grondwaterstanden meer verdampingsreductie optreedt doordat er veel minder capillaire nalevering is naar de wortelzone in droge tijden. Hierdoor is het neerslagoverschot bij CAPSIM groter bij diepe grondwaterstanden.
- Bij SWAP zou dit effect ook moeten optreden, maar vindt er ook nog grondwateraanvulling plaats van onderaf (kwel), die vooral bij ondiepe grondwaterstanden het grootst is.

Conclusie

Er is geen relatie te leggen tussen de berekende grondwateraanvulling uit SWAP en uit CAPSIM. De verschillen in modelconcepten zorgen ervoor dat de grondwateraanvulling berekent door CAPSIM veel meer fluctueert dan berekent door SWAP. Ook jaargemiddeld zijn er verschillen die veroorzaakt worden door verschillen in de schematisatie van de onderrand(stijghoogten). De jaarsommen komen echter gemiddeld goed overeen.

Aanpak grondwateraanvulling voor de vergelijking basisafvoer

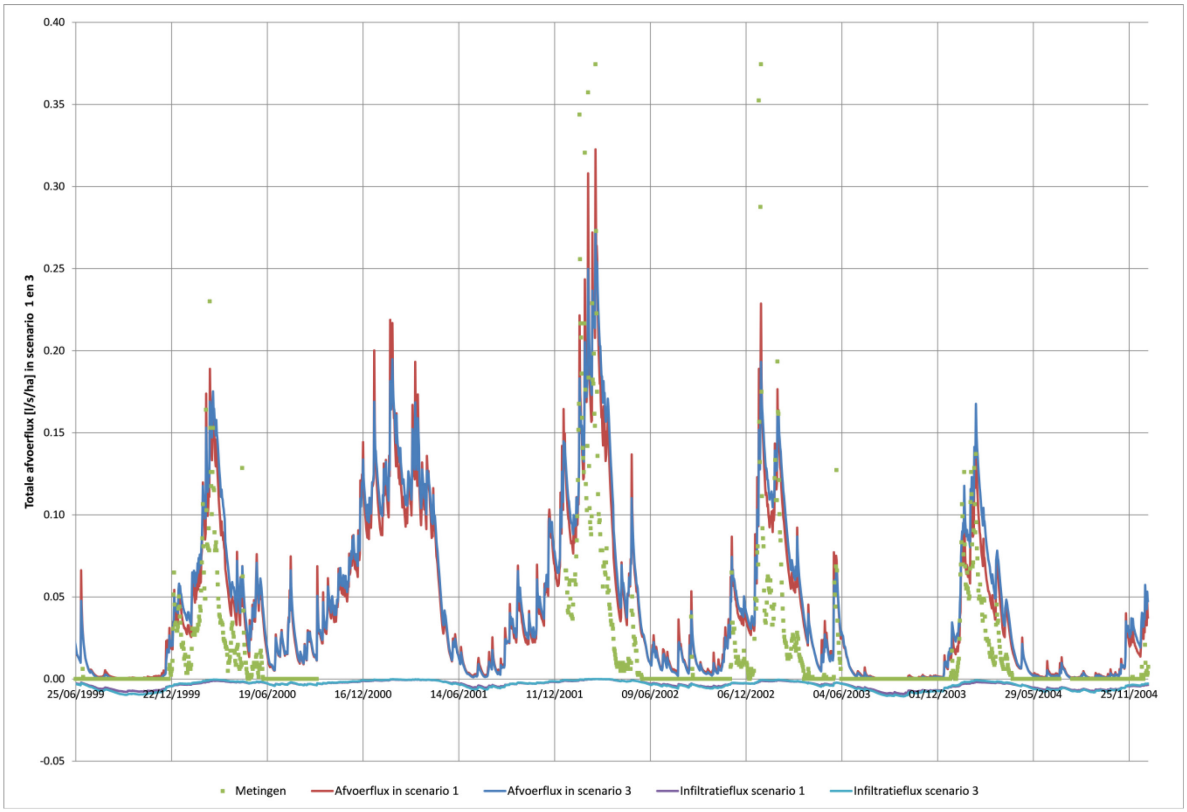
Voor de vergelijkbaarheid van de uitkomsten wordt de modelinvoer van beide modellen (Swap en AMIGO) zo gelijk mogelijk gehouden. Het is echter niet mogelijk om de berekende grondwateraanvullingen van SWAP in AMIGO toe te passen. Daarom is ervoor gekozen te werken met correctiewaarden volgens de aanpak:

1. Met SWAP wordt voor elk scenario de grondwateraanvulling berekend. Hiermee komt ook het verschil in de grondwateraanvulling als gevolg van het scenario beschikbaar. Dit verschil wordt uitgedrukt in absolute correctiewaarden (in mm/d) per zomer- en winterhalfjaar.
2. Met AMIGO/CAPSIM wordt de grondwateraanvulling berekend voor het scenario van de huidige situatie (op basis van meteoregio Twenthe).
3. Voor de overige (historische scenario's) worden in AMIGO de grondwateraanvullingen van de huidige scenario gebruikt + de correctiewaarden zoals die zijn berekend met Swap. De correctiewaarden worden per landgebruiktype (zie tabel 6.3) bepaald en maken onderscheid in zomer- en winterhalfjaren.

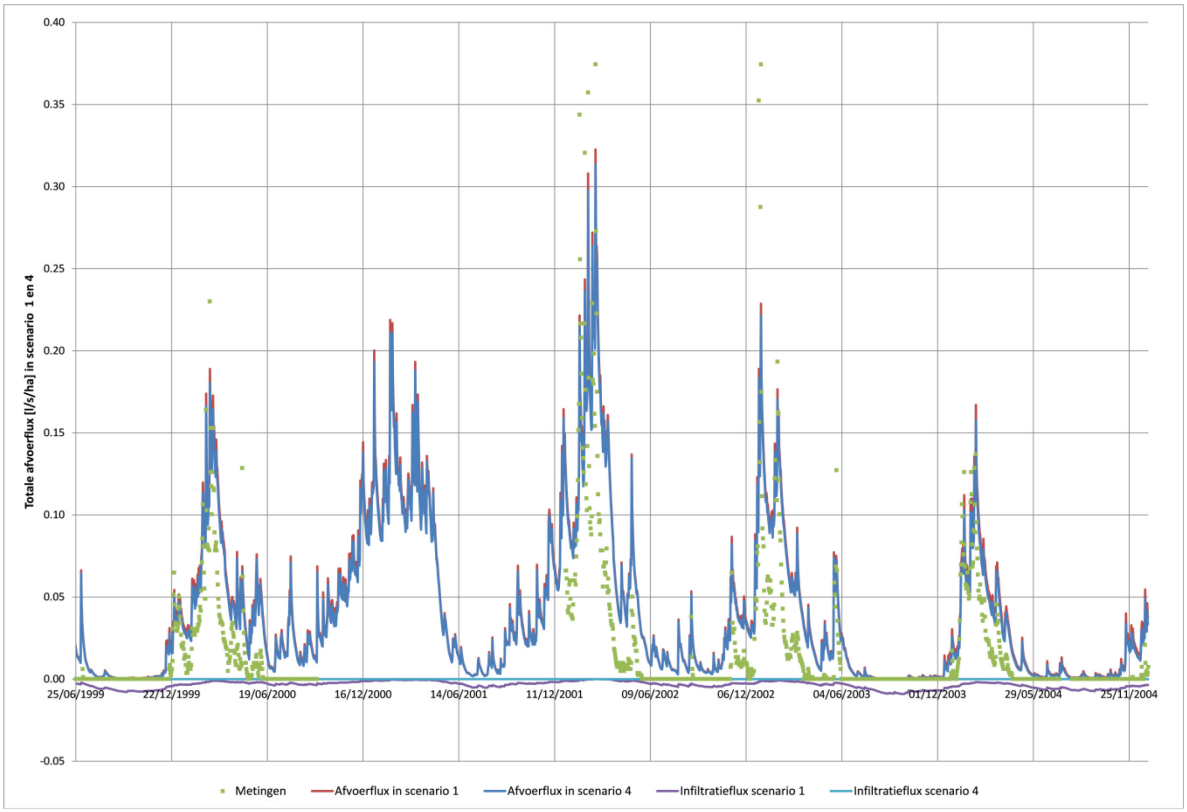
Bijlage 6 Gevoeligheidsanalyse afvoeren AMIGO

In deze bijlage zijn de grafieken van de gesimuleerde afvoeren gepresenteerd uit paragraaf 6.2.3, deelgebieden B (stuw Slotsteeg), C (stuw Bruinderinkweg) en F (stuw Kruisbergseweg) van verschillende scenario's.

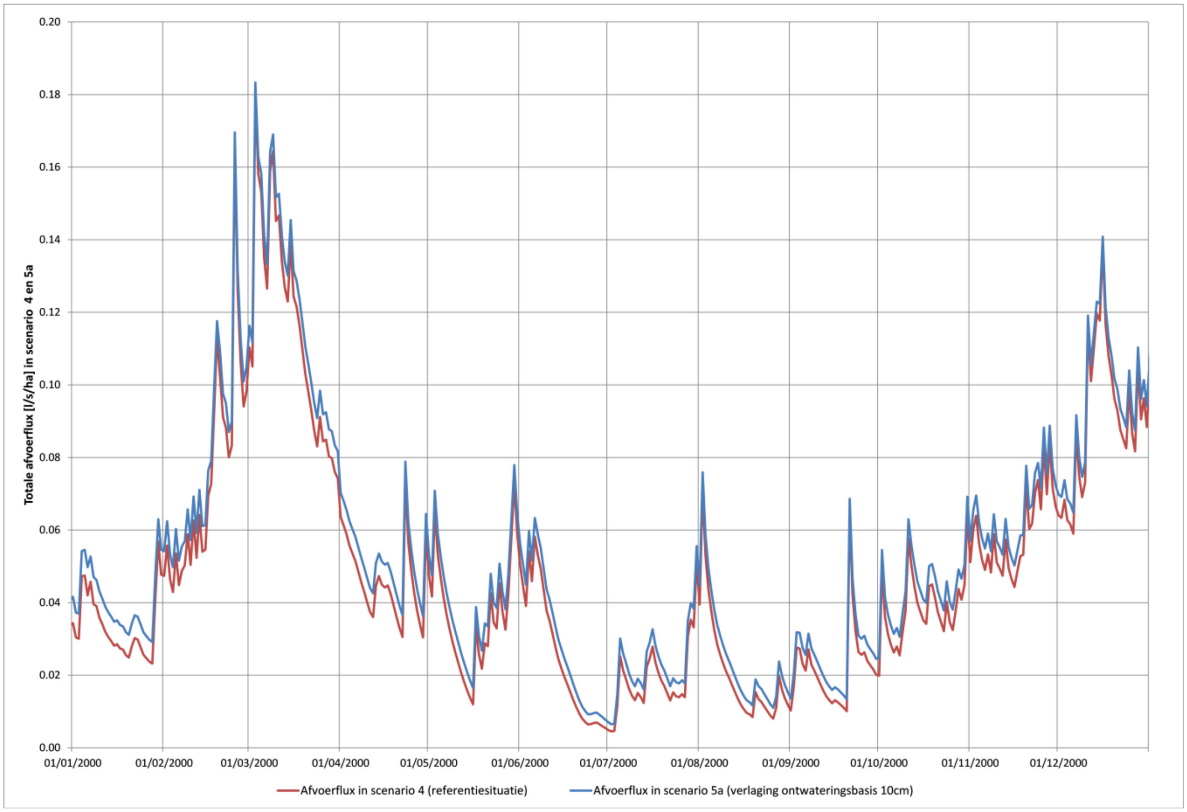
Stroomgebied B (stuw Slotsteeg)



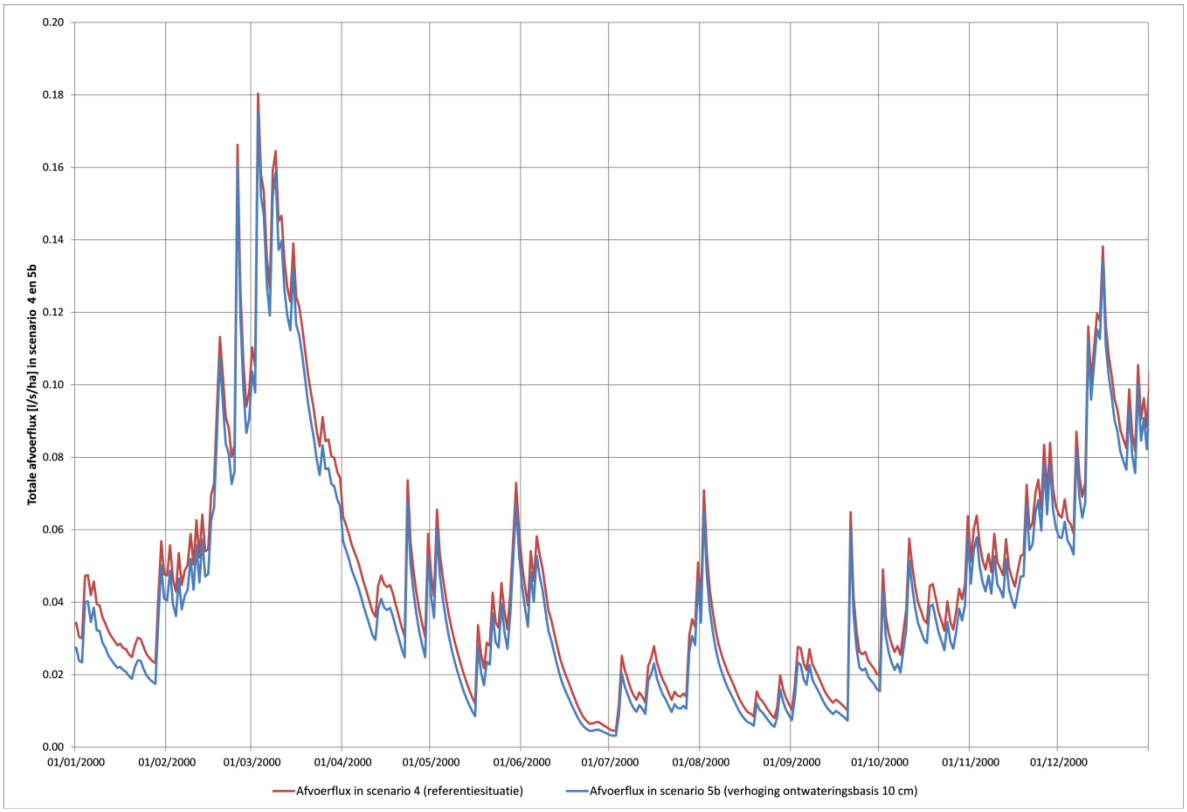
Figuur B6.1 *Vergelijking afvoerflux scenario 3 (CAPSIM uitgeschakeld) stuw Slotsteeg.*



Figuur B6.2 *Vergelijking afvoerflux scenario 4 (infiltratie uitgeschakeld) stuw Slotsteeg.*

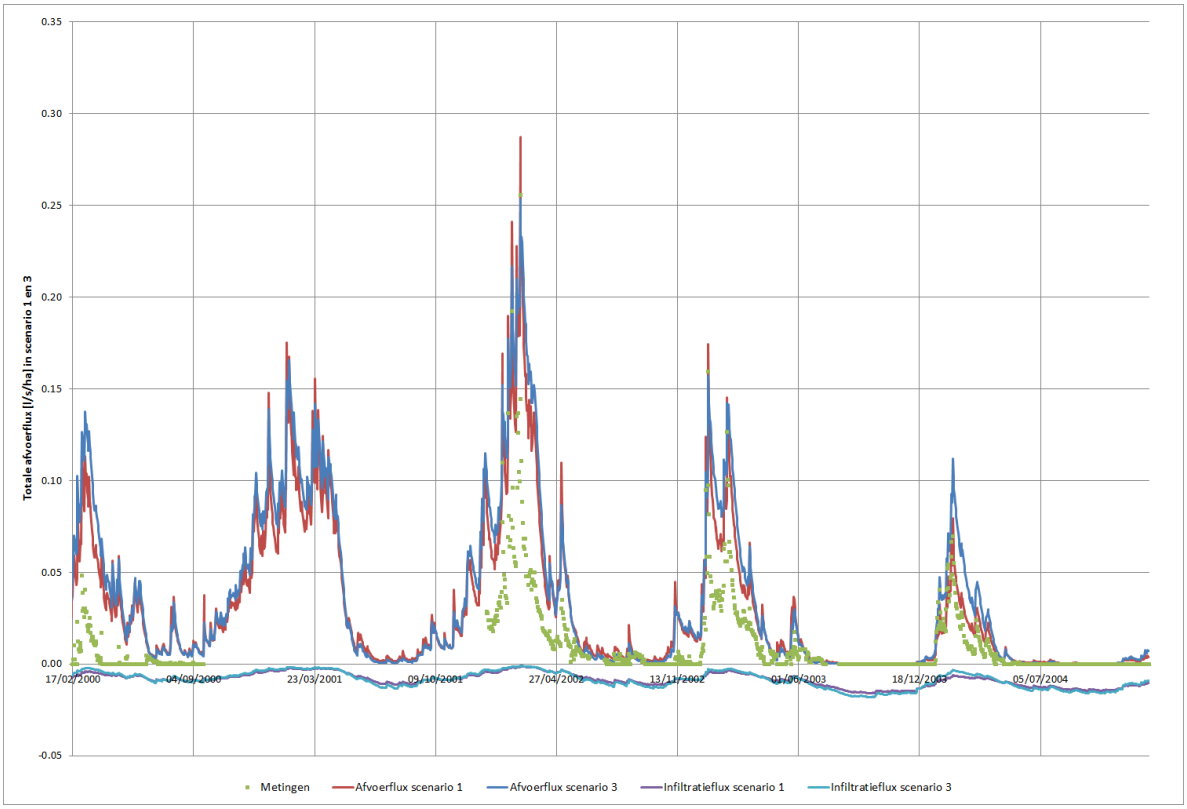


Figuur B6.3 *Verandering afvoerflux, verlaging ontwateringsbasis met 10 cm stuw Slotsteeg.*

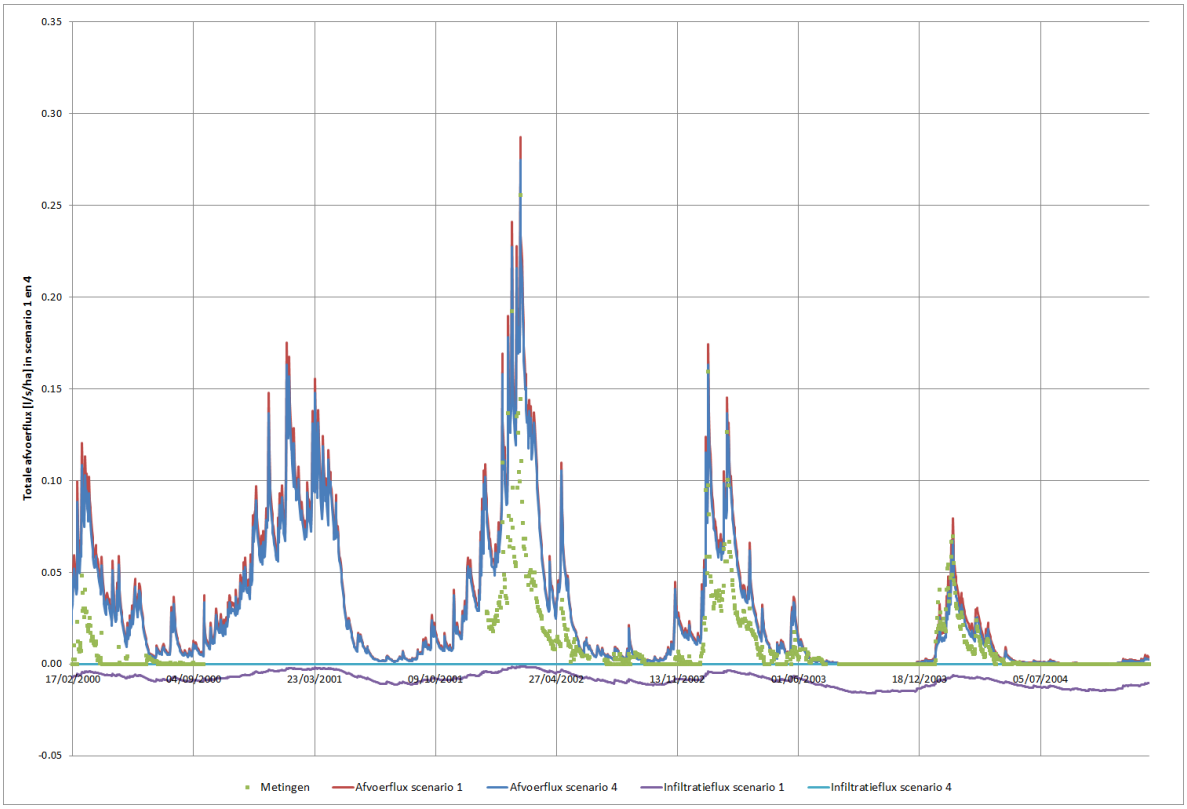


Figuur B6.4 *Verandering afvoerflux, verhoging ontwateringsbasis met 10 cm stuw Slotsteeg.*

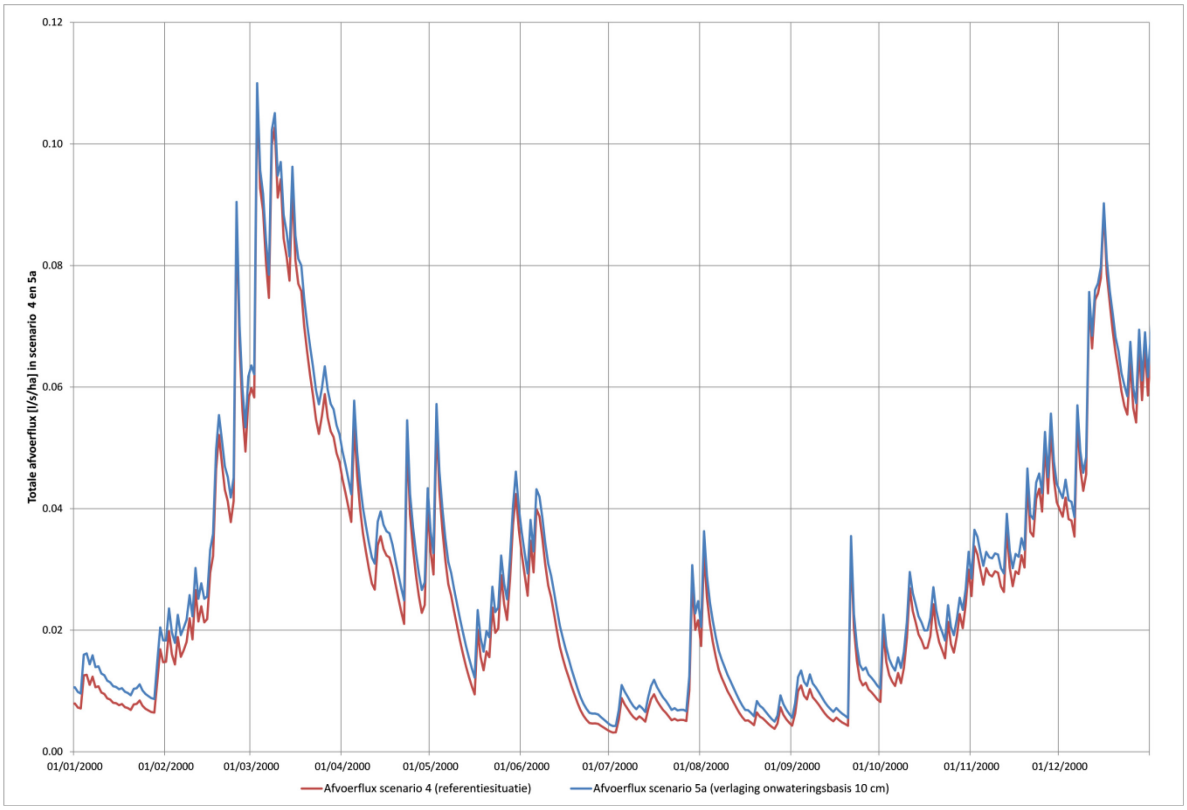
Stroomgebied C (Stuw Bruinderinkweg)



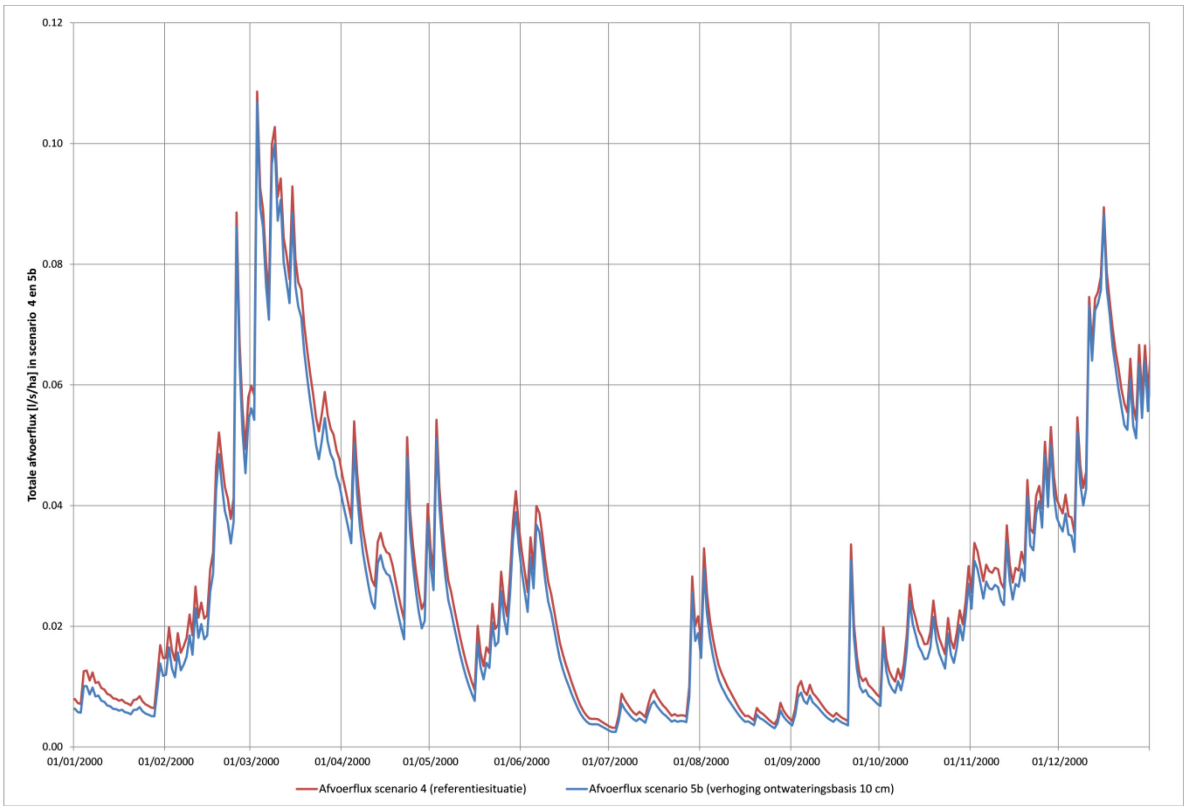
Figuur B6.5 *Vergelijking afvoerflux scenario 3 (CAPSIM uitgeschakeld) stuw Bruinderinkweg.*



Figuur B6.6 *Vergelijking afvoerflux scenario 4 (infiltratie uitgeschakeld) stuw Bruinderinkweg.*

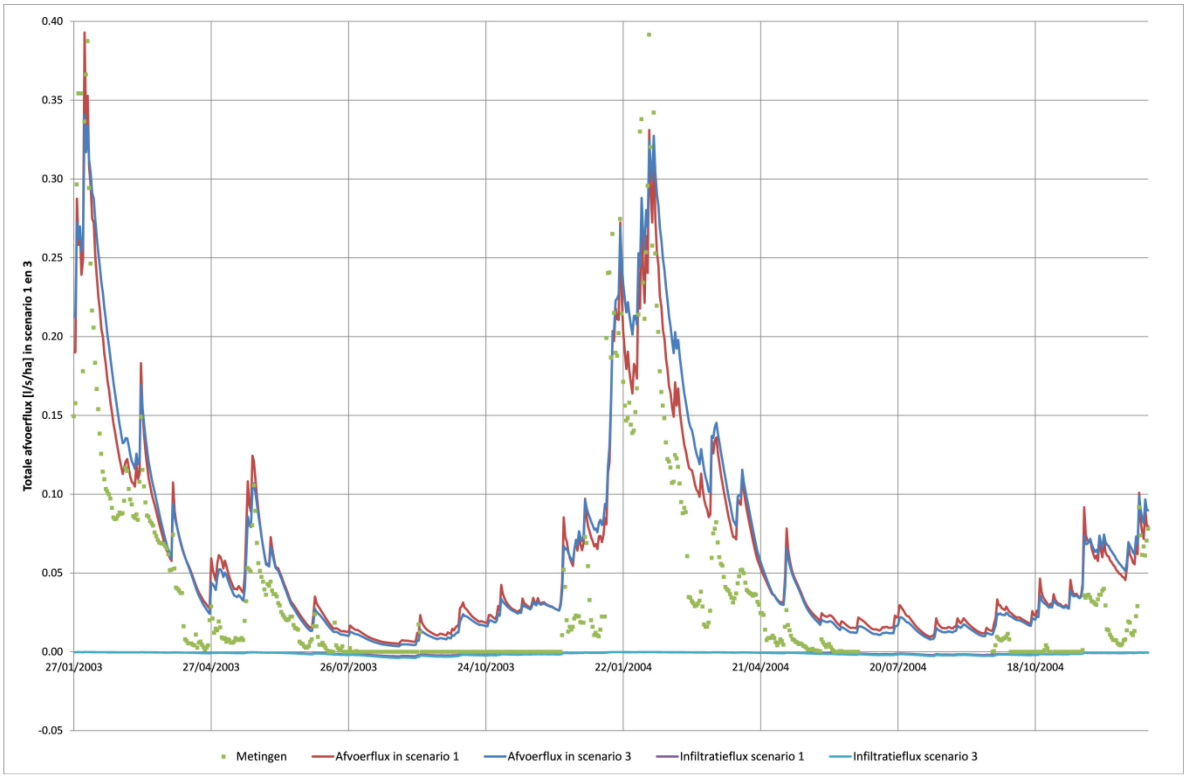


Figuur B6.7 *Verandering afvoerflux, verlaging ontwateringsbasis met 10 cm stuw Bruinderinkweg.*

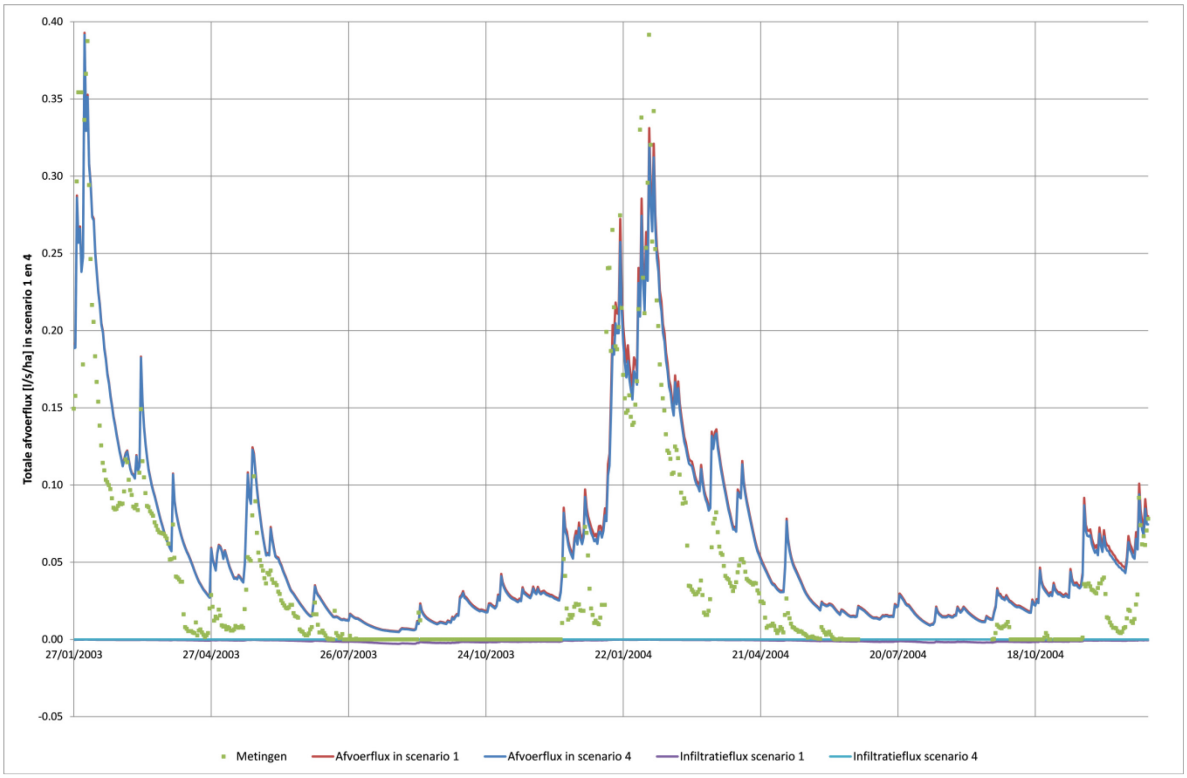


Figuur B6.8 *Verandering afvoerflux, verhoging ontwateringsbasis met 10 cm stuw Bruinderinkweg.*

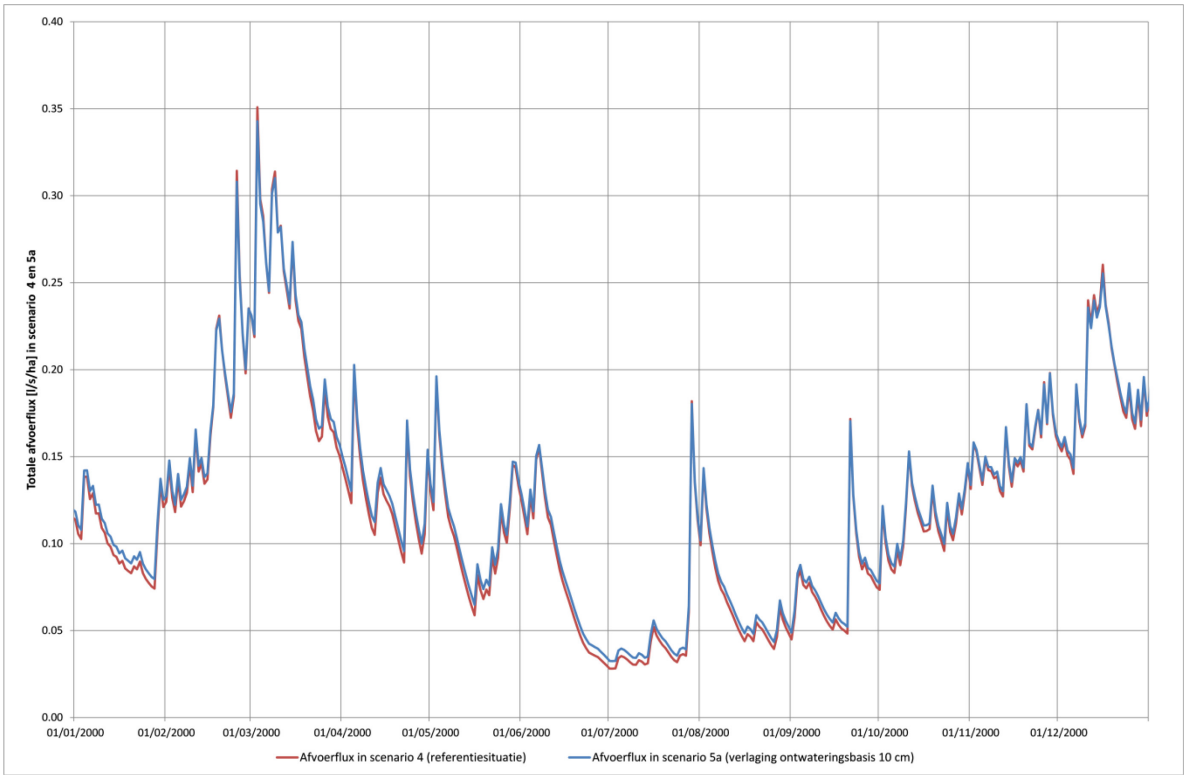
Stroomgebied F (stuw Kruisbergseweg)



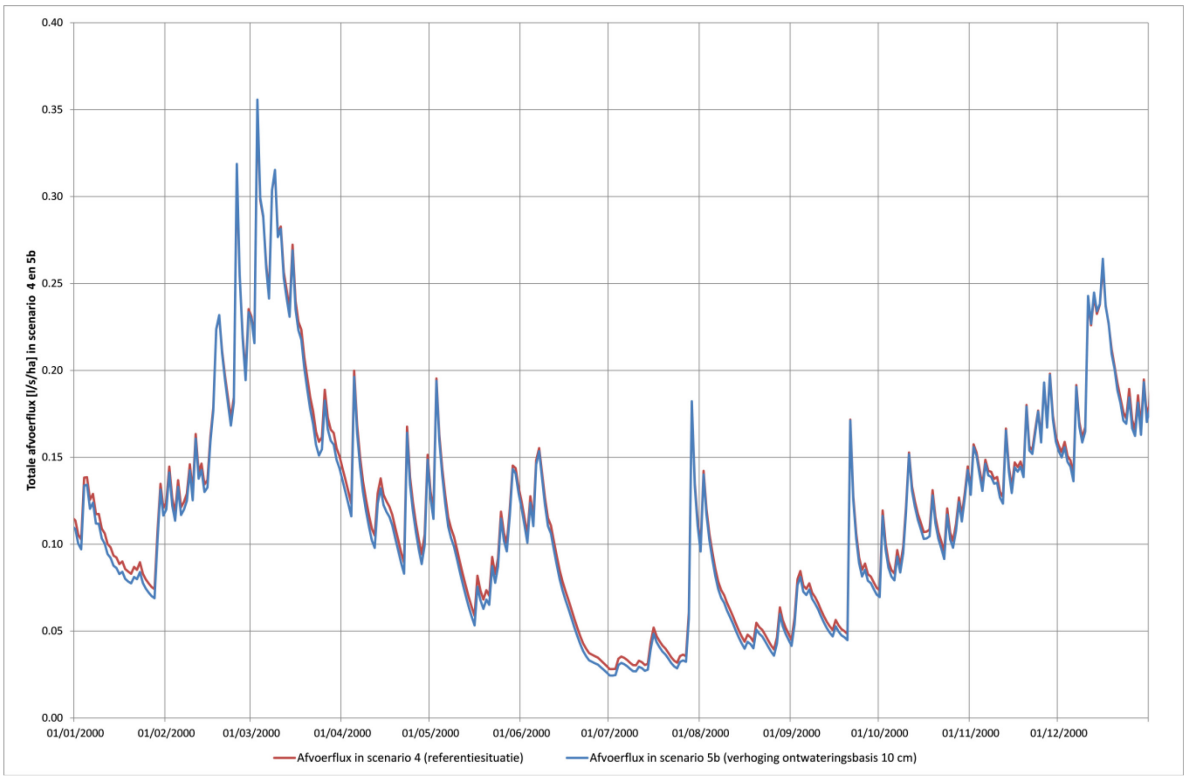
Figuur B6.9 *Vergelijking afvoerflux scenario 3 (CAPSIM uitgeschakeld) stuw Kruisbergseweg.*



Figuur B6.10 *Vergelijking afvoerflux scenario 4 (infiltratie uitgeschakeld) stuw Kruisbergseweg.*

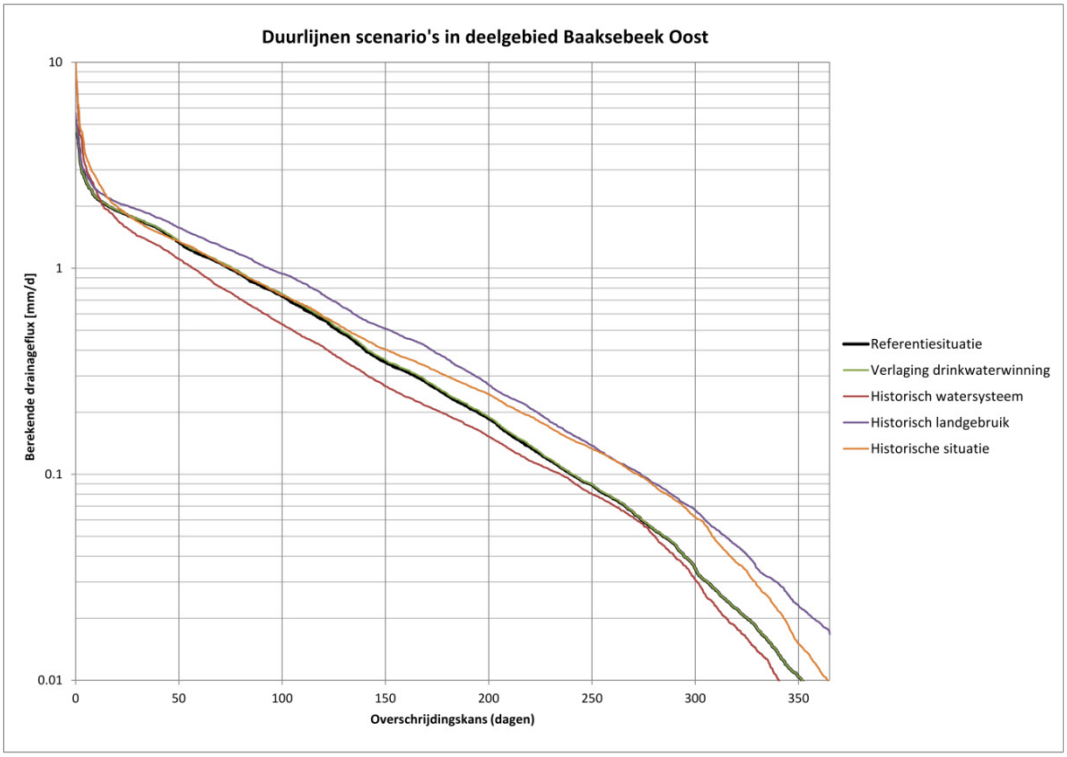


Figuur B6.11 *Verandering afvoerflux, verlaging ontwateringsbasis met 10 cm stuw Kruisbergseweg.*

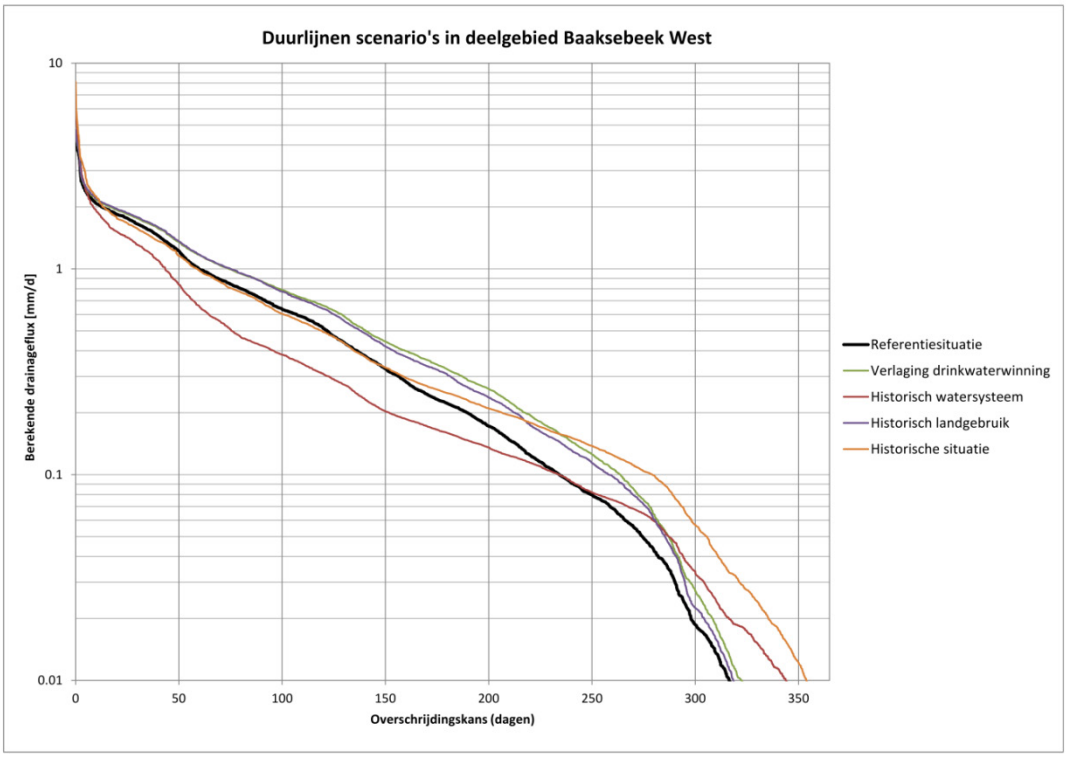


Figuur B6.12 *Verandering afvoerflux, verhoging ontwateringsbasis met 10 cm stuw Kruisbergseweg.*

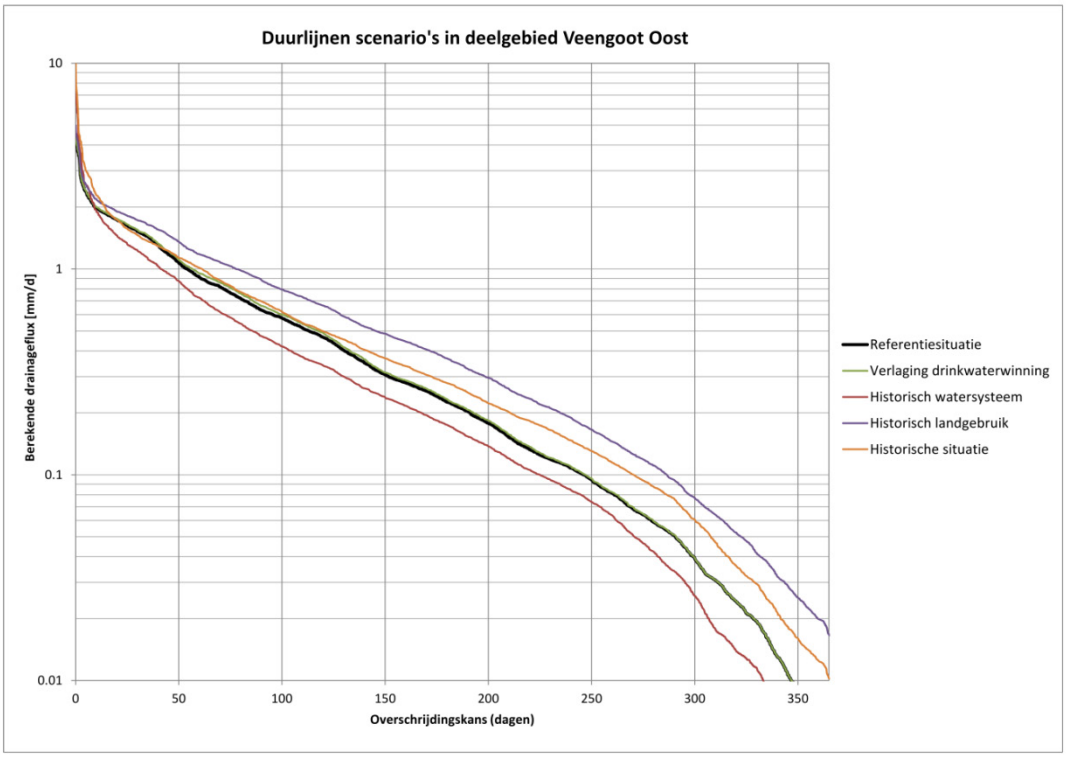
Bijlage 7 Resultaten AMIGO in duurlijngrafieken van de afvoer



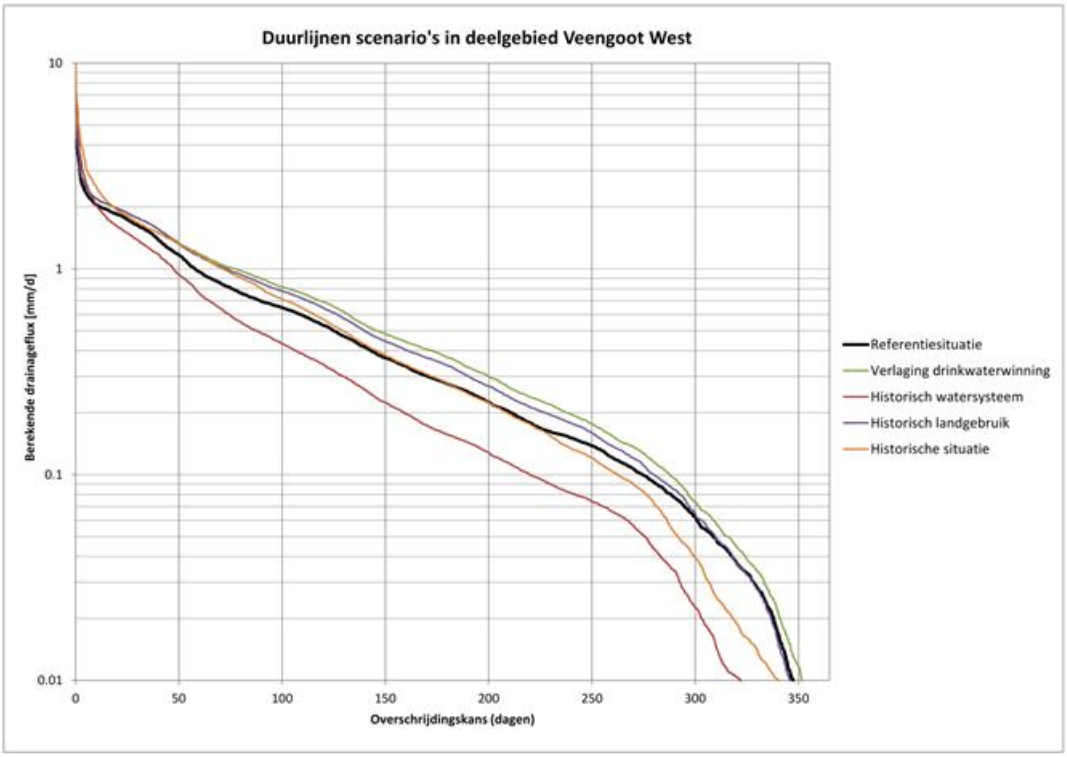
Figuur B7.1 *Duurlijnen deelgebied Baakse beek Oost.*



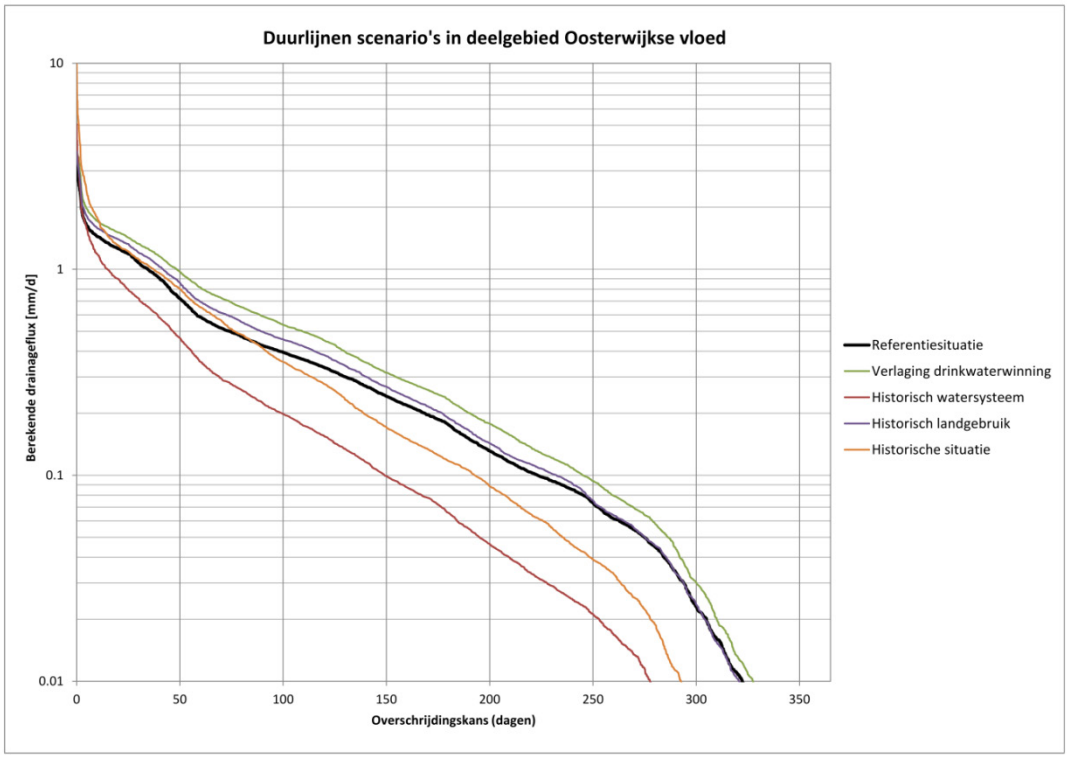
Figuur B7.2 *Duurlijnen deelgebied Baakse beek West.*



Figuur B7.3 *Duurlijnen deelgebied Veengoot Oost.*



Figuur B7.4 *Duurlijnen deelgebied Veengoot West.*



Figuur B7.5 *Duurlijnen deelgebied Oosterwijkse Vloed.*

Bijlage 8 Resultaten AMIGO in tabellen van de afvoer

Scenario	Modelinvoer
A[1]	Huidige situatie met huidig klimaat (1971-2000)
C	Huidige situatie zonder drinkwaterwinningen
D	Huidige situatie met historische watergangen (1850-1900) en zonder drainage
F	Huidige situatie met historisch landgebruik (1850-1900)
I	Basismodel 1850-1900: zonder drainage en drinkwaterwinningen en met historische watergangen (1850-1900) en landgebruik (1850-1900) huidig klimaat (1971-2000)

Tabel B8.1

Berekende drainageflux [mm/d] voor verschillende overschrijdingskansen [d].

Stroomgebied	Overschrijding [dagen]	Scenario A [mm/d]	Scenario C [mm/d]	Scenario D [mm/d]	Scenario F [mm/d]	Scenario I [mm/d]
VG-Oost	Q300	0.04	0.04	0.03	0.08	0.06
VG-Oost	Q250	0.09	0.10	0.07	0.17	0.13
VG-Oost	Q200	0.18	0.18	0.14	0.30	0.22
VG-Oost	Q150	0.31	0.31	0.24	0.48	0.37
VG-Oost	Q100	0.58	0.60	0.42	0.79	0.62
VG-Oost	Q50	1.07	1.11	0.87	1.36	1.14
BB-Oost	Q300	0.03	0.03	0.03	0.07	0.06
BB-Oost	Q250	0.09	0.09	0.08	0.14	0.13
BB-Oost	Q200	0.19	0.19	0.15	0.27	0.24
BB-Oost	Q150	0.35	0.36	0.27	0.51	0.40
BB-Oost	Q100	0.73	0.75	0.53	0.94	0.74
BB-Oost	Q50	1.33	1.36	1.11	1.57	1.35
VG-West	Q300	0.06	0.07	0.02	0.07	0.04
VG-West	Q250	0.14	0.18	0.07	0.16	0.12
VG-West	Q200	0.23	0.30	0.13	0.27	0.22
VG-West	Q150	0.37	0.48	0.22	0.44	0.38
VG-West	Q100	0.65	0.82	0.43	0.78	0.71
VG-West	Q50	1.17	1.34	0.94	1.32	1.32
BB-West	Q300	0.02	0.03	0.03	0.02	0.06
BB-West	Q250	0.08	0.13	0.08	0.11	0.14
BB-West	Q200	0.17	0.26	0.14	0.24	0.21
BB-West	Q150	0.33	0.44	0.20	0.42	0.33
BB-West	Q100	0.64	0.79	0.38	0.78	0.61
BB-West	Q50	1.22	1.35	0.84	1.36	1.16
OWvloed	Q300	0.02	0.03	0.00	0.02	0.01
OWvloed	Q250	0.07	0.09	0.02	0.08	0.04
OWvloed	Q200	0.13	0.18	0.05	0.14	0.09
OWvloed	Q150	0.24	0.31	0.10	0.27	0.17
OWvloed	Q100	0.40	0.54	0.20	0.46	0.36

Tabel B8.2

Aantal dagen afvoerloosheid (minder dan 0,2 mm/d), periode 1996-2004.

Stroomgebied	Scenario A [mm/d]	Scenario C [mm/d]	Scenario D [mm/d]	Scenario F [mm/d]	Scenario I [mm/d]
VG-Oost	174	173 (-2)	198 (+24)	131 (-44)	155 (-19)
BB-Oost	171	169 (-2)	188 (+18)	142 (-29)	150 (-21)
VG-West	155	127 (-27)	206 (+52)	138 (-17)	156 (+2)
BB-West	176	148 (-28)	213 (+38)	153 (-23)	159 (-17)
OWvloed	197	175 (-22)	266 (+69)	188 (-8)	226 (+30)

Tabel B8.3

Totale en gemiddelde drainageflux [mm/jaar] voor de periode 1996-2004.

Stroomgebied	Afvoer	Scenario A [mm/jr]	Scenario C [mm/jr]	Scenario D [mm/jr]	Scenario F [mm/jr]	Scenario I [mm/jr]
VG-Oost	Totaal 1996	43.2	44.1	36.3	77.6	66.0
VG-Oost	Totaal 1997	96.7	103.2	75.8	151.2	122.5
VG-Oost	Totaal 1998	349.3	364.1	305.7	425.6	398.3
VG-Oost	Totaal 1999	242.1	243.6	213.7	283.7	252.0
VG-Oost	Totaal 2000	263.2	267.6	223.8	322.0	282.2
VG-Oost	Totaal 2001	214.4	216.8	190.8	250.8	231.3
VG-Oost	Totaal 2002	141.6	144.9	114.9	184.8	158.2
VG-Oost	Totaal 2003	38.8	39.2	31.6	66.9	55.9
VG-Oost	Totaal 2004	147.9	156.7	118.6	225.5	188.8
VG-Oost	Gemiddeld	*170.8*	*175.6*	*145.7*	*220.9*	*195.0*
BB-Oost	Totaal 1996	42.5	43.7	30.9	81.0	67.1
BB-Oost	Totaal 1997	117.8	123.5	90.9	167.5	146.5
BB-Oost	Totaal 1998	408.4	414.7	378.1	465.9	448.5
BB-Oost	Totaal 1999	255.0	255.3	236.6	289.0	271.8
BB-Oost	Totaal 2000	300.4	301.6	273.3	346.0	319.4
BB-Oost	Totaal 2001	242.0	242.5	230.3	272.5	261.9
BB-Oost	Totaal 2002	175.7	176.8	159.5	210.9	195.5
BB-Oost	Totaal 2003	47.1	47.5	35.4	77.8	64.9
BB-Oost	Totaal 2004	202.5	209.7	163.5	274.9	246.1
BB-Oost	Gemiddeld	*199.0*	*201.7*	*177.6*	*242.8*	*224.6*
VG-West	Totaal 1996	51.4	75.6	26.6	63.1	59.0
VG-West	Totaal 1997	107.1	157.5	64.7	136.9	140.5
VG-West	Totaal 1998	356.4	419.5	308.2	405.2	429.5
VG-West	Totaal 1999	278.0	295.3	240.3	297.1	273.4
VG-West	Totaal 2000	288.7	321.3	244.9	319.5	306.9
VG-West	Totaal 2001	231.4	251.5	207.0	251.1	247.5
VG-West	Totaal 2002	162.0	186.9	130.0	184.8	177.0
VG-West	Totaal 2003	52.4	69.8	28.5	63.9	53.4
VG-West	Totaal 2004	163.7	222.8	109.1	209.1	212.5
VG-West	Gemiddeld	*187.9*	*222.2*	*151.0*	*214.5*	*211.1*
BB-West	Totaal 1996	28.5	56.1	21.4	45.4	49.7
BB-West	Totaal 1997	95.3	144.2	59.3	131.4	120.0
BB-West	Totaal 1998	374.9	414.7	291.9	416.2	376.7
BB-West	Totaal 1999	268.5	286.0	227.0	289.3	261.5
BB-West	Totaal 2000	280.4	310.4	223.8	309.6	277.1

Stroomgebied	Afvoer	Scenario A [mm/jr]	Scenario C [mm/jr]	Scenario D [mm/jr]	Scenario F [mm/jr]	Scenario I [mm/jr]
BB-West	Totaal 2001	218.4	236.3	185.0	236.7	219.8
BB-West	Totaal 2002	158.2	179.7	125.6	179.7	167.4
BB-West	Totaal 2003	34.2	52.0	26.6	49.9	47.6
BB-West	Totaal 2004	167.3	214.3	101.8	217.5	183.8
BB-West	Gemiddeld	*180.6*	*210.4*	*140.3*	*208.4*	*189.3*
OWvloed	Totaal 1996	36.4	44.9	13.6	39.8	23.1
OWvloed	Totaal 1997	68.9	95.3	31.6	75.7	61.8
OWvloed	Totaal 1998	227.2	307.7	158.5	267.8	286.2
OWvloed	Totaal 1999	191.0	219.2	136.9	205.4	176.3
OWvloed	Totaal 2000	177.8	226.3	116.0	202.3	188.3
OWvloed	Totaal 2001	148.1	184.3	101.0	166.2	160.6
OWvloed	Totaal 2002	97.1	128.6	58.5	113.2	103.5
OWvloed	Totaal 2003	36.3	45.0	14.0	39.1	22.2
OWvloed	Totaal 2004	100.0	143.6	53.6	113.5	107.4
OWvloed	Gemiddeld	*120.3*	*155.0*	*76.0*	*135.9*	*125.5*

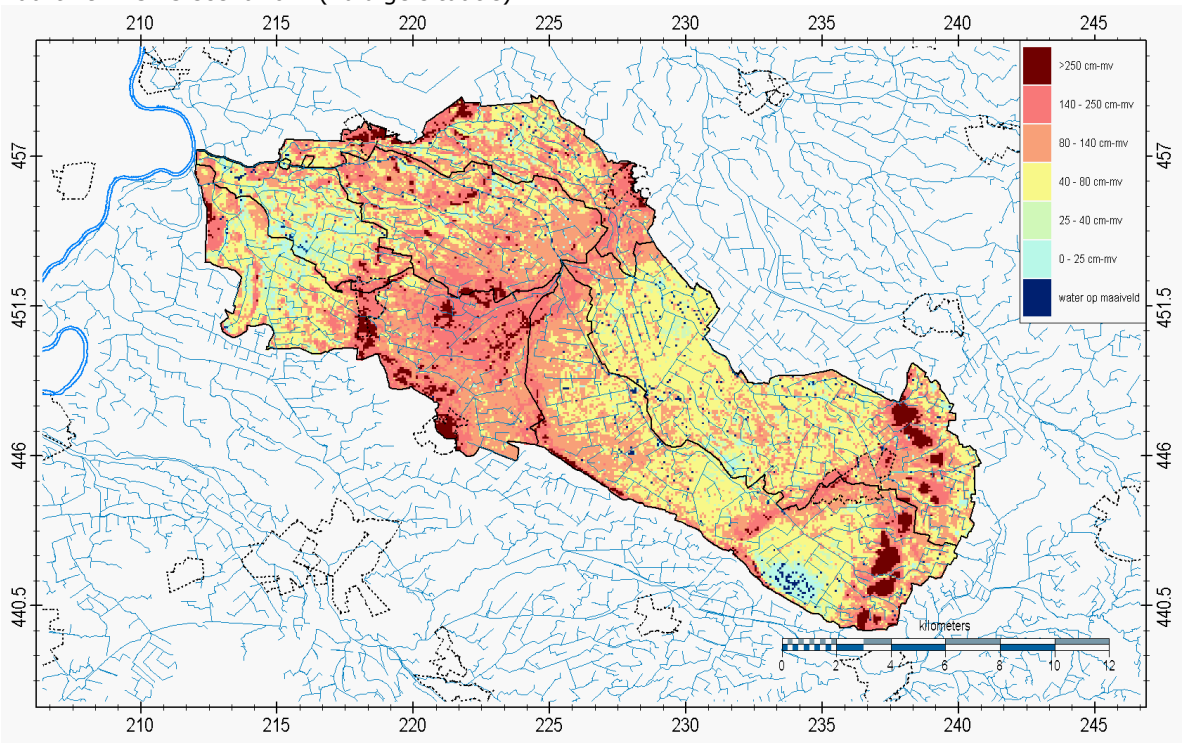
Tabel B8.4

Verandering gemiddelde drainageflux [%] voor de periode 1996-2004 t.o.v. scenario A.

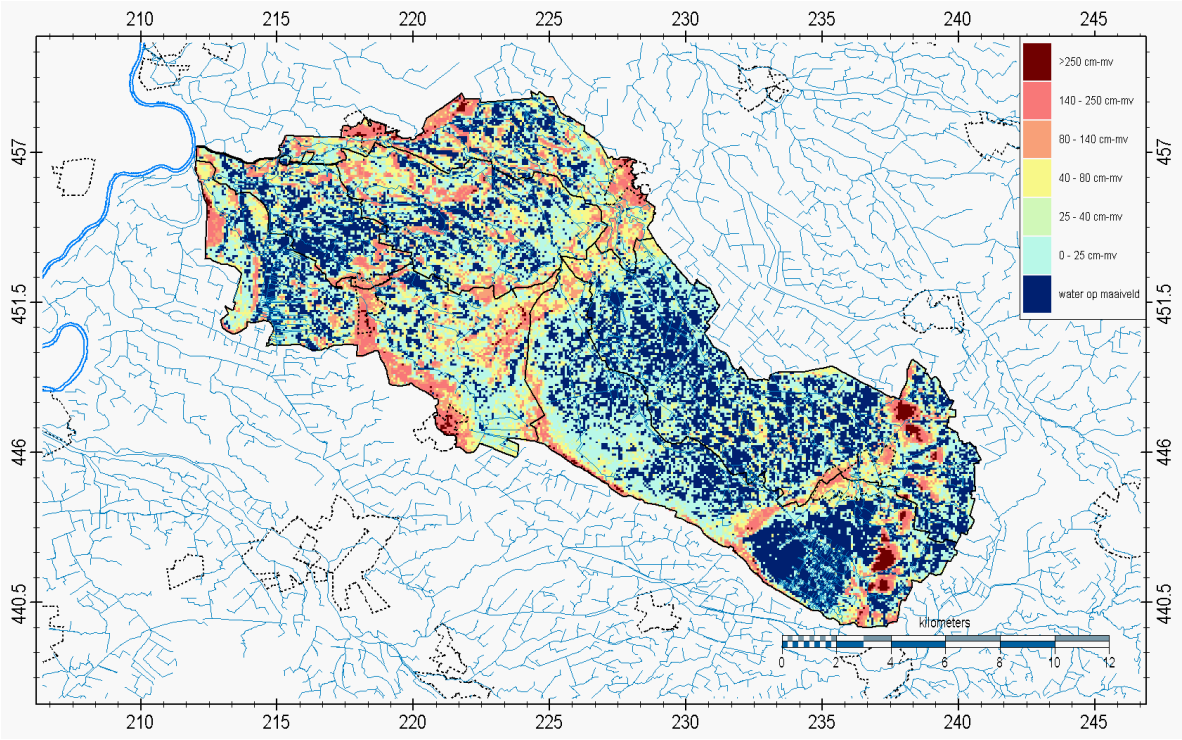
	Scenario C [mm/jr]	Scenario D [mm/jr]	Scenario F [mm/jr]	Scenario I [mm/jr]
VG-Oost	3%	-15%	29%	14%
BB-Oost	1%	-11%	22%	13%
VG-West	18%	-20%	14%	12%
BB-West	16%	-22%	15%	5%
OWvloed	29%	-37%	13%	4%

Bijlage 9 Resultaten AMIGO in grondwater- en kwelkaarten

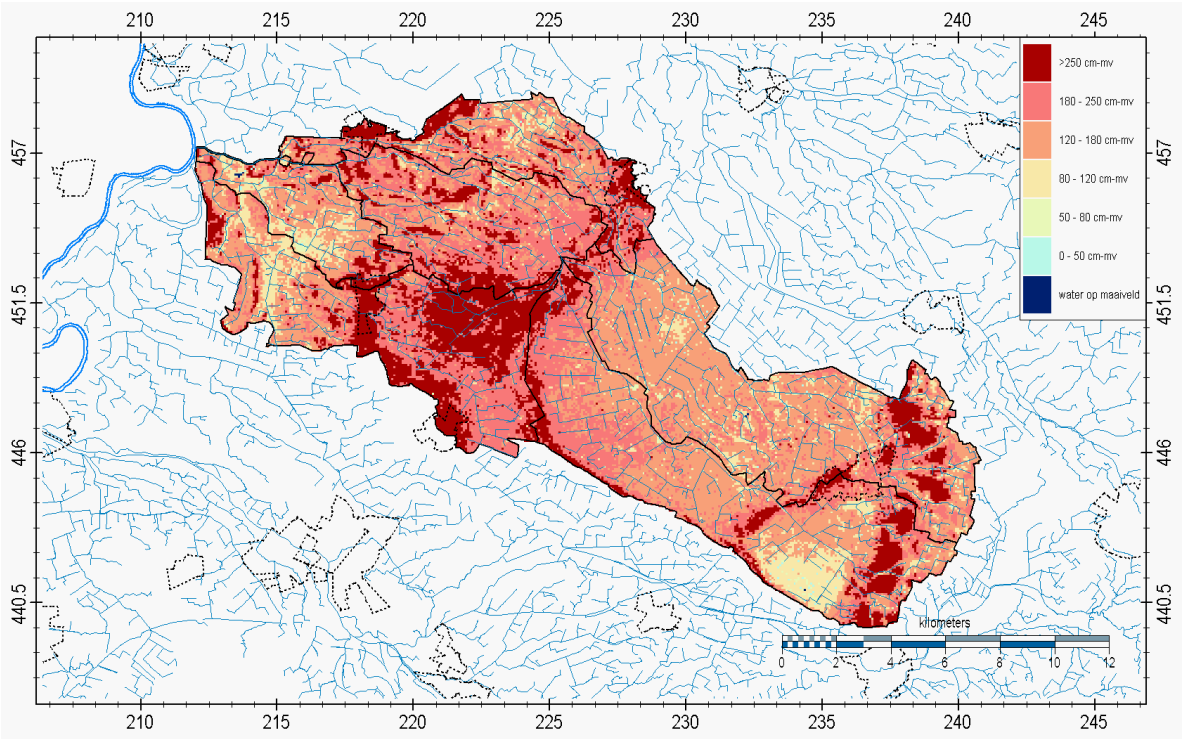
Kaart B9.1 GHG scenario A (huidige situatie)



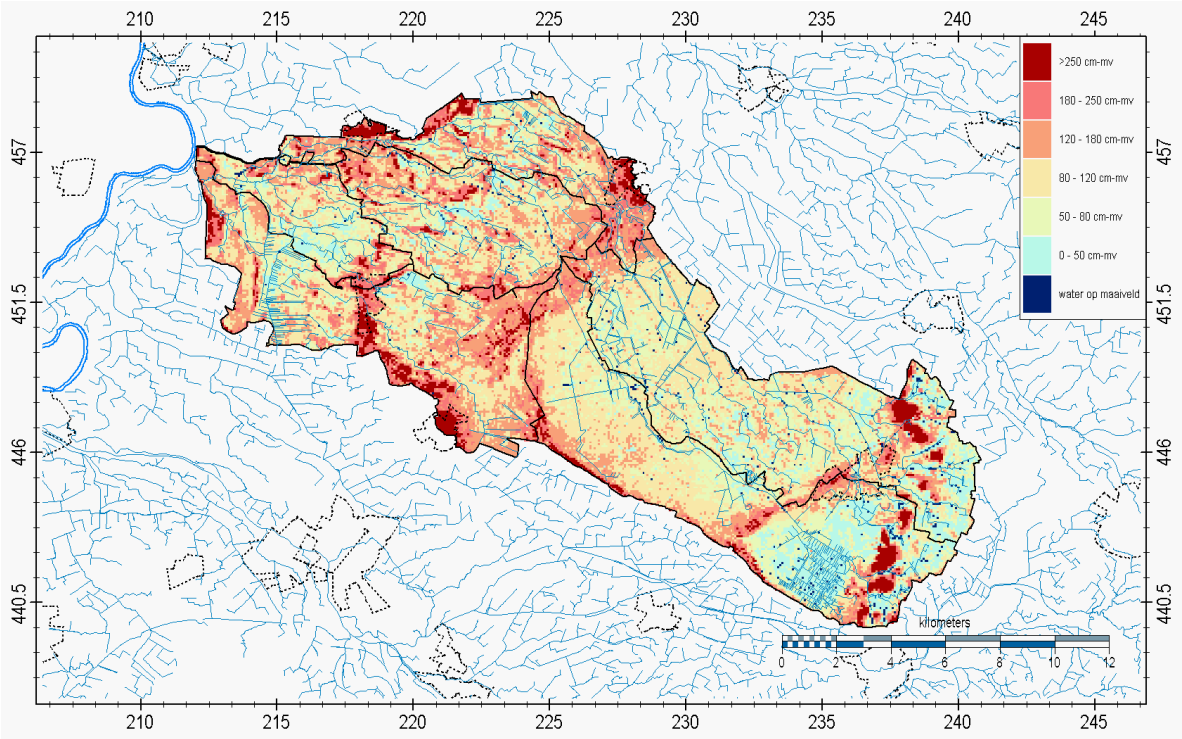
Kaart B9.2 GHG scenario I (historische situatie)



Kaart B9.3 GLG scenario A (huidige situatie)



Kaart B9.4 GLG scenario I (historische situatie)



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2383
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore the potential of nature to improve the quality of life

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2383
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.