



Jaco van der Gaast, Alterra  
Harry Massop, Alterra

# Reconstructie van de historische hydrologie

**De WB21-studie heeft geleid tot wateropgaven waarbij de trits vasthouden-bergen-afvoeren de voorkeursvolgorde geeft voor het reduceren van piekafvoeren. In het verleden is het watersysteem echter ook aangepast, wat invloed heeft gehad op de werking van het watersysteem. Om te kunnen leren uit het verleden is bij Alterra een onderzoek uitgevoerd waarbij de historische hydrologische situatie voor een stroomgebied in het zandgebied van Nederland modelmatig is gereconstrueerd. Uit de vergelijking tussen de historische en de huidige situatie blijkt dat bij extreme neerslag, die gemiddeld vaker dan éénmaal per jaar voorkomt, de afvoer vroeger duidelijk minder was, omdat veel meer water tijdelijk op het maaiveld werd geborgen. Het is echter de vraag in hoeverre we nog terug kunnen naar deze omstandigheden.**

**D**e extreme neerslaghoeveelheid in 1998 en de klimaatverandering die zich momenteel voltrekt, hebben ertoe geleid dat kritisch is gekeken of de watersystemen in de huidige situatie op orde zijn (Commissie Waterbeheer 21e eeuw). Deze commissie bekeek ook welke maatregelen, ruimtelijk of infrastructueel, kunnen worden genomen om de watersystemen af te stemmen op de toekomstige situatie. Ook in het verleden deden zich veranderingen voor die invloed uitoefenden op de werking van het watersysteem. Een voorbeeld hiervan vormen de grootschalige ontginningen van de heideterreinen (woeste gronden), waarbij door de aanleg van ontwateringsselsels de sponswerking van de gebieden afnam en de belasting van het ont- en afwateringssysteem toenam. De effecten van deze ingrepen op het watersysteem kunnen ons leren hoe om te gaan met de gevolgen van klimaatverandering.

Daarom zijn voor een stroomgebied in Hoog Nederland berekeningen uitgevoerd voor de huidige en historische situatie. De keuze van het te reconstrueren stroomgebied en het tijdvak waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd, was afhankelijk van de beschikbare gegevens om de modelresultaten zo goed mogelijk te kunnen toetsen. Gekozen is voor het stroomgebied van de Baaksche Beek, omdat voor het oosten van Nederland relatief veel gegevens beschikbaar zijn uit de periode 1850-1900<sup>6)</sup> en omdat het stroomgebied van de Baaksche Beek geheel binnen Nederland ligt<sup>5)</sup>.

## Methodie

Voor de historische situatie zijn gegevens over landgebruik, lengte aan waterlopen, afmetingen van waterlopen, berging in het oppervlaktewater en afvoerrelaties verzameld. Met deze gegevens kunnen modellen voor de historische situatie worden doorgerekend. Voor de modellering van de huidige situatie is aangesloten bij de modellering die is opgezet in het kader van het project 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken'<sup>3)</sup>. Voor dit project is Nederland opgedeeld in circa 450 eenheden op basis van tijdsafhankelijke variabelen, namelijk bodem, hydrotype en meteodistrict. De eenheden die voorkomen binnen het stroomgebied van de Baaksche Beek, zijn tevens voor de modellering van de historische situatie gebruikt. Voor de huidige situatie liggen er voor deze eenheden SWAP-modellen, die zijn gekalibreerd op verschillende grondwatertrappen. Door gebruik te maken van metamodellen die per eenheid de relatie weergeven tussen modelresultaten, bijvoorbeeld afvoer of kwel, en een gebiedsdekkend beschikbare relevante kaart, bijvoorbeeld die van de gemiddeld hoogste grondwaterstand, kunnen gebiedsdekkende kaarten van de rekenresultaten worden vervaardigd.

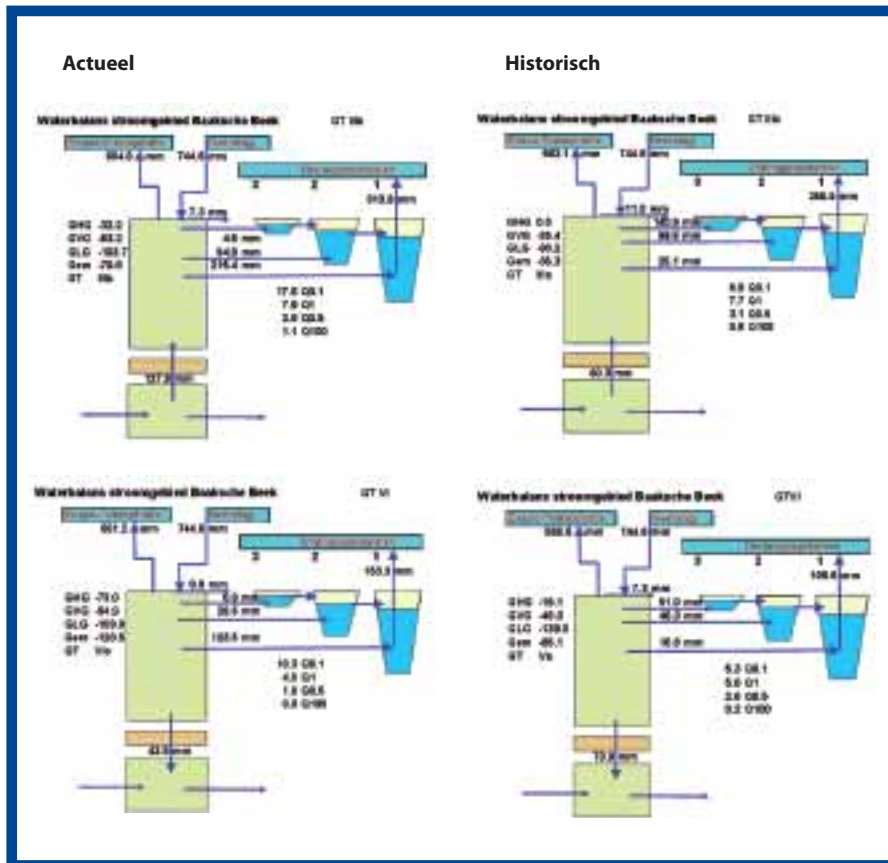
De resultaten voor de huidige situatie en de berekeningen met dezelfde modellen geparametriseerd voor de historische situatie zijn vervolgens vergeleken op basis van modelresultaten voor de waterbalansen, ruimtelijke kaarten voor de grondwatertrappen, kwel en afvoer en afvoerduurlijnen. Toetsing van

de rekenresultaten aan meetgegevens is slechts beperkt mogelijk, omdat betrouwbare historische hydrologische meetgegevens ontbreken c.q. moeilijk zijn te achterhalen.

## Resultaat waterbalansen

Met het model SWAP zijn per eenheid voor vier grondwatertrappen (IIa, IIIb, VI en VII) modellen gekalibreerd voor de actuele situatie<sup>3)</sup>. Vervolgens zijn de modellen op basis van de historische gegevens geparametriseerd en doorgerekend voor de historische situatie. In eerste instantie zijn de resultaten voor een eenheid, die betrekking heeft op 44,7 procent van het stroomgebied, in de vorm van waterbalansen vergeleken (afbeelding 1).

Bij deze vergelijking komt naar voren dat de grondwatertrap in de historische situatie natter was. In de meeste gevallen is de grondwatertrap ongeveer één klasse verschoven. De verdroging als gevolg van de verbetering van de ont- en afwatering is het grootst geweest voor de huidige grondwatertrappen IIIb en VI; dit zijn tevens de gebieden waar als gevolg van ruilverkavelingswerken en beekverbetering de ingrepen het grootst zijn geweest. Op basis van de berekeningen is de wegzijging voor de grondwatertrappen VI en VII in de historische situatie groter dan in de huidige situatie. Deze hogere wegzijging is het gevolg van een hogere grondwaterstand in de droge gebieden als gevolg van een hogere drainageweerstand met de bijbehorende toename van de opbolling. De kwel is in de historische situatie voor grondwatertrap IIa veel groter en voor grondwatertrap IIIb enigszins hoger dan in



Afb. 1: Waterbalansen voor vier verschillende grondwatertrappen voor schematisatie-eenheid 2900309.

de huidige situatie. Deze hogere kwel is het gevolg van een toename van de stijghoogte in de nabijgelegen bijbehorende wegzijgingsgebieden in de dekzandrug. De nattere situatie en de extensievere ontwatering hebben tot gevolg dat de afvoer in de historische situatie veel oppervlakkiger was. Daarnaast komt in de waterbalansen tot uiting dat het verschil tussen de maatgevende situatie (één dag per jaar Q1) en de afvoer met een herhalingsstijd van één maal per tien jaar (Q0.1) in de historische situatie veel geringer was, hetgeen duidt op sponswerking van het systeem.

Naast de waterbalansen voor verschillende grondwatertrappen per eenheid kunnen de rekenresultaten ook omgezet worden naar een gebiedsdekkende waterbalans voor het gehele stroomgebied (tabel 1). Uit de tabel blijkt dat het verschil in de gemiddelde termen gering is. De kwel en wegzijging heffen elkaar ongeveer op binnen het stroomgebied, hetgeen mag worden verwacht in het oosten van Gelderland. De drainage is in de actuele situatie iets hoger

Tabel 1. Gebiedsbalans voor het stroomgebied van de Baaksche Beek voor de actuele en historische situatie.

	actueel	historisch
neerslag	744,6	744,6
verdamping	526,4	545,5
kwel	6,0	10,3
afvoer	224,2	188,8

dan in de historische situatie. Dit wordt verklaard door de verdamping die in de historische situatie groter was, doordat er meer natte oppervlakken waren dan in de actuele situatie.

### Vlakdekkend resultaat

De rekenresultaten zijn omgezet in gebiedsdekkende kaarten. In afbeelding 2 zijn de resultaten voor de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand, kwel en maatgevende afvoer weergegeven. De historische gemiddelde hoogste grondwaterstand blijkt aanzienlijk natter dan de actuele; dit is duidelijk aan het kleurenpatroon te zien. Ook de gemiddeld laagste grondwaterstand is voor de historische situatie een stuk natter. Voor de grondwatertrap is een plausibiliteits-toets uitgevoerd, waaruit blijkt dat vooral de gemiddeld hoogste grondwaterstand een plausibel beeld geeft van de historische gemiddeld hoogste grondwaterstand. De gemiddeld laagste grondwaterstand is voor de historische situatie waarschijnlijk iets te droog gemodelleerd<sup>5)</sup>.

Op de kaarten is te zien dat zowel de kwel als de wegzijging in de historische situatie groter is. De wegzijging is groter als gevolg van een extensievere drainage, waardoor de opbolling en daarmee de grondwaterstand in de zandruggen hoger is. Deze hogere grondwaterstand in de relatief hooggelegen zandruggen hebben weer tot gevolg dat de kwel in de beekdalen groter was.

### Afvoer

Om de gebiedsafvoer zo goed mogelijk te toetsen, zijn gebiedsgemiddelde waarden bepaald bij verschillende overschrijdings-

duren voor zowel de historische als de actuele situatie (afbeelding 3). Daarnaast is gezocht naar gegevens over recente en historische afvoeren om de berekende duurlijnen te kunnen toetsen<sup>5)</sup>. Uit afbeelding 3 blijkt dat in het traject met een overschrijdingsduur van één tot 0,1 dag de meetgegevens goed overeenkomen met de modelresultaten. De lijn voor de actuele situatie komt ook goed overeen met het Cultuurtechnisch Vademecum. Volgens deze bron is de afvoer bij  $Q = 0,1$  en  $Q = 0,01$  respectievelijk anderhalf en tweemaal de maatgevende afvoer<sup>1)</sup>. In de historische situatie zal de afvoer achterblijven bij de actuele als gevolg van berging op het maaiveld (plasvorming en inundatie). Dat de berekende afvoeren volgens metingen van Bon<sup>2)</sup> enigszins hoger waren dan het model aangeeft, kan worden verklaard doordat als gevolg van ingrepen de situatie ten tijde van de metingen niet meer geheel overeenstemt met de historische situatie.

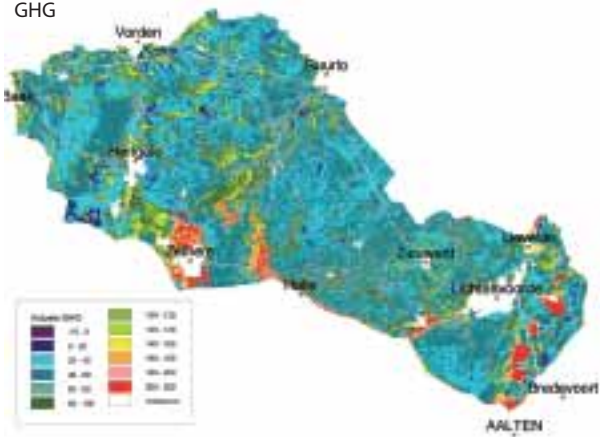
Een belangrijke constatering aan de hand van deze grafiek is dat de historische afvoer bij extremere situaties (kortere overschrijdingsduren) af gaat wijken van de huidige situatie. Dit kan worden verklaard door de geringere afvoercapaciteit van de waterlopen, waardoor bij een overschrijdingsduur nabij één dag per jaar de waterloop buiten de oevers treedt en de maaiveldsberging aanspreekt, waardoor de piek afgevlakt en vervolgens uitgesmeerd wordt over een langere periode.

In afbeelding 4 is de afzonderlijke bijdrage van de verschillende grondwatertrappen aan de afvoer weergegeven. Voor de huidige situatie geven de afzonderlijke afvoerlijnen aanvankelijk bij grote overschrijdingsduren een geleidelijk verloop van de afvoer. Vervolgens is er een knik die een enorme toename van de actuele afvoer tot gevolg heeft. De knik blijkt overeen te komen met het moment waarop de grondwaterstand tot in maaiveld komt. Op dit moment zal de totaal verzadigde bodem gaan reageren als verhard oppervlak, hetgeen de sterke toename van de afvoer verklaart.

In de historische situatie zijn meerdere knikken in de afvoerduurlijn voor de afzonderlijke grondwatertrappen waar te nemen. Indien de curves beginnend bij de hoge overschrijdingsduren worden geanalyseerd, is er in eerste instantie een knik waarneembaar die evenals in de huidige situatie overeenkomt met het moment dat de grondwaterstand tot in maaiveld komt. Deze knik in de figuur wordt opgevolgd door een sterke toename van de afvoer (reageren als verhard oppervlak) over een kort traject. Vervolgens zijn wederom verschillende knikken waarneembaar. Deze worden veroorzaakt door berging en stremming in achtereenvolgens het afwaterings-, ontwaterings- en maaiveldgreppelsysteem en berging op maaiveld als gevolg van plasvorming. Bij een overschrijdingsduur van ongeveer een dag per jaar werd de toename van de afvoer enorm afgevlakt door berging op het maaiveld en inundatie vanuit de waterlopen.

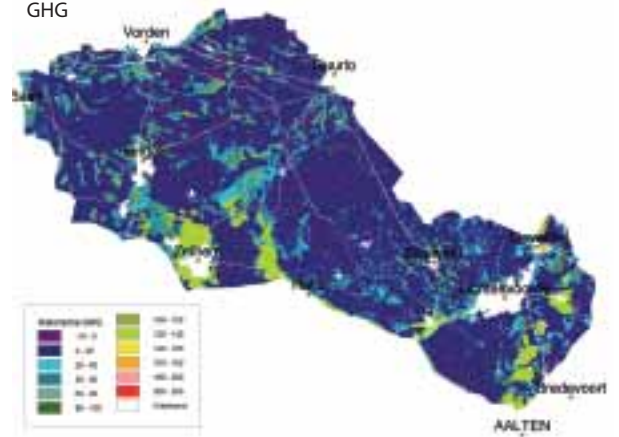
Actueel

GHG

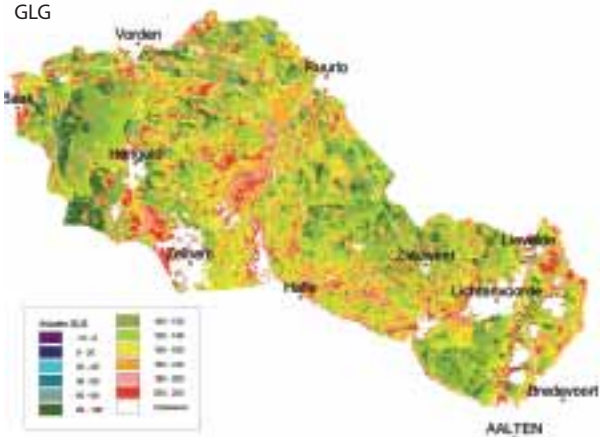


Historisch

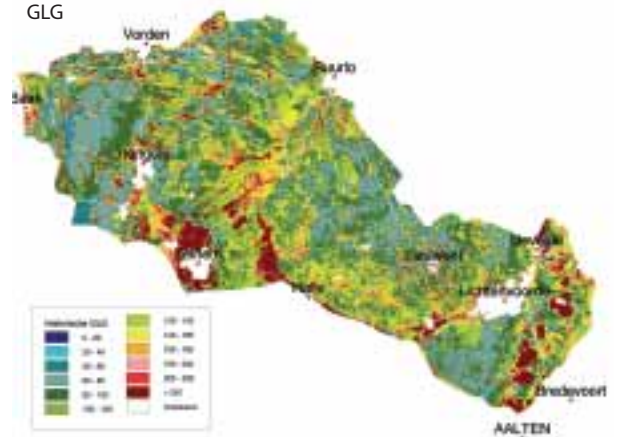
GHG



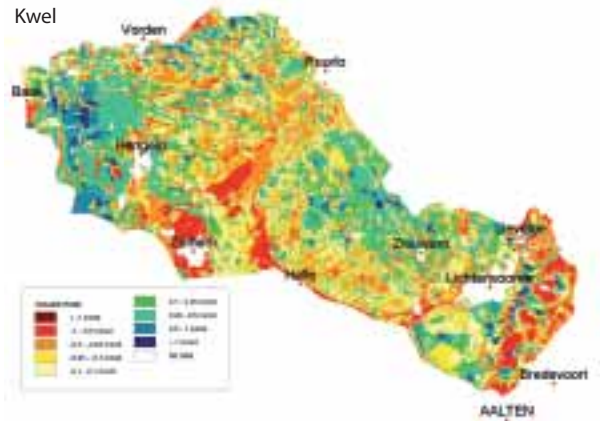
GLG



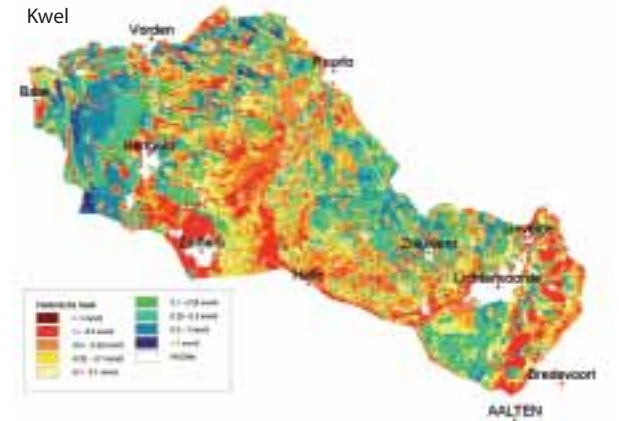
GLG



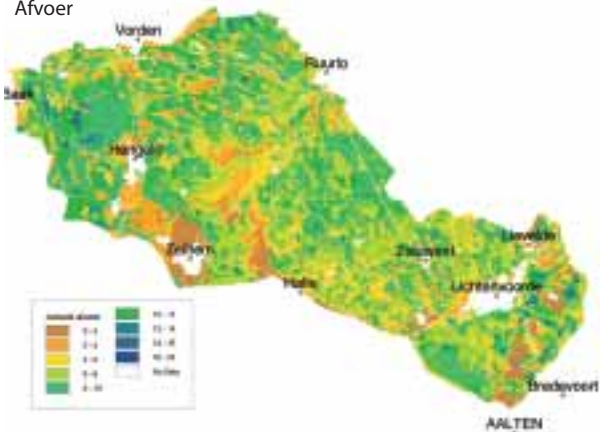
Kwel



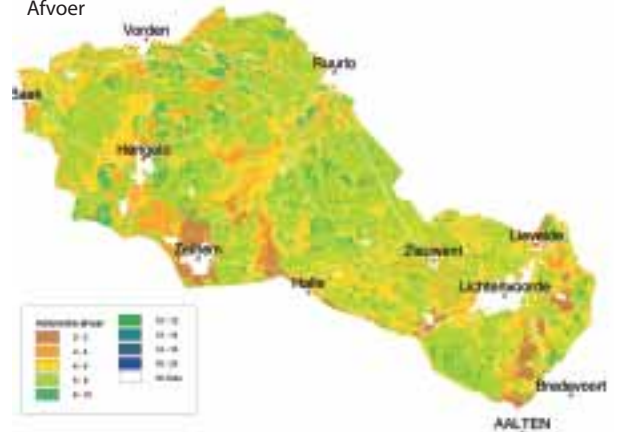
Kwel



Afvoer

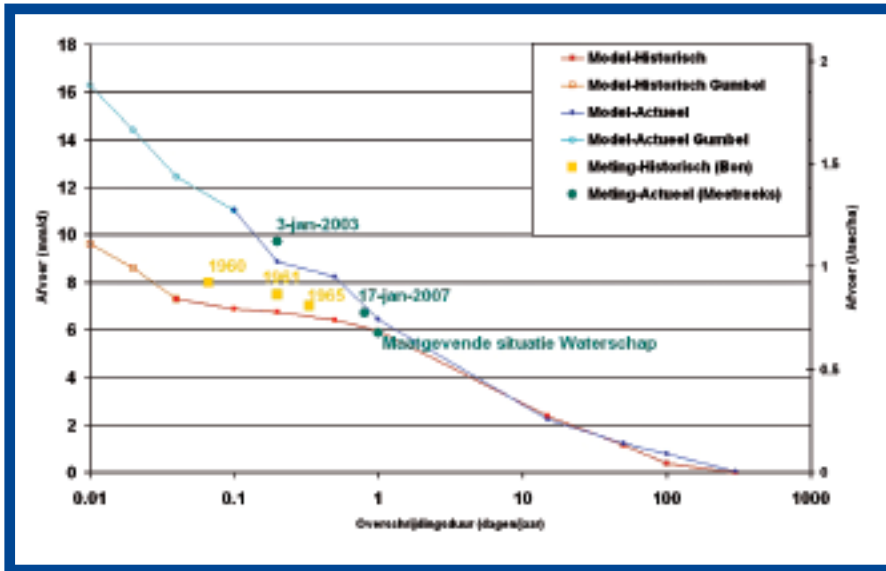


Afvoer

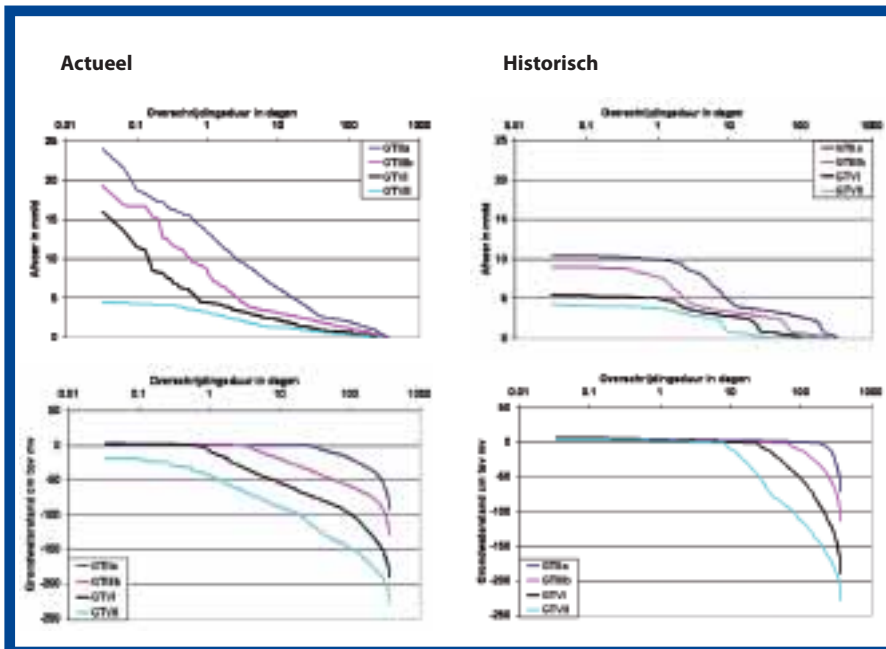


Afb. 2: Vlakdekkende resultaten voor de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand, kwel en maatgevende afvoer voor zowel de actuele als de historische situatie.





Afb. 3: Overschrijdingsduur van de afvoer in de actuele en historische situatie op basis van modeluitkomsten en metingen.



Afb. 4: Overschrijdingsduur per grondwatertrap van de afvoer (boven) en grondwaterstand (onder) in de actuele en historische situatie op basis van modeluitkomsten voor de grootste schematisatie-eenheid.

In zowel de historische als huidige situatie zal de grondwaterstand tijdens de maatgevende situatie (éénmaal per jaar) dus over grote gebieden tot in maaiveld stijgen (afbeelding 4). Ook in de actuele situatie komt de grondwaterstand in nattere gebieden tot of t/m grondwatertrap VI in maaiveld (afhankelijk van het gebiedstype). Dit heeft tot gevolg dat verlagening van de afvoerpieken, die extremer zijn dan de maatgevende situatie, alleen plaats kan vinden door berging op het maaiveld.

Aangezien de berging op het maaiveld de bepalende factor vormt voor het verminderen van piekafvoeren, is voor zowel de huidige als de historische situatie het aantal dagen dat er plassen op het maaiveld staan, bepaald (afbeelding 5). Kaarten zijn gemaakt voor twee situaties, namelijk de situatie waarbij het maaiveldsdrainagesysteem in het model watervoerend

is, hetgeen overeenkomt met enige plasvorming op het maaiveld, én de situatie waarbij meer dan de helft van een perceel onder water staat. In de afbeelding komt het grote verschil tussen de huidige en de historische situatie tot uiting. Ook hieruit komt naar voren dat de verbeteringswerken van het ont- en afwateringssysteem, in de tweede helft van de vorige eeuw, vooral gericht waren op het voorkomen van inundatie en plasvorming op het maaiveld en daarmee het voorkomen van maaiveldsberging.

**Conclusie**

Het modelmatig reconstrueren van de historische hydrologie, waarbij getoetst wordt op historische gegevens in combinatie met het opdelen van de verschillende systeemcomponenten per grondwatertrap, geeft veel inzicht in de werking van het waterhuishoudkundige systeem. Voor zowel

de huidige als de historische situatie blijkt dat de grondwaterstand bij de maatgevende situatie over grote gebieden (t/m grondwatertrap VI) tot in maaiveld komt.

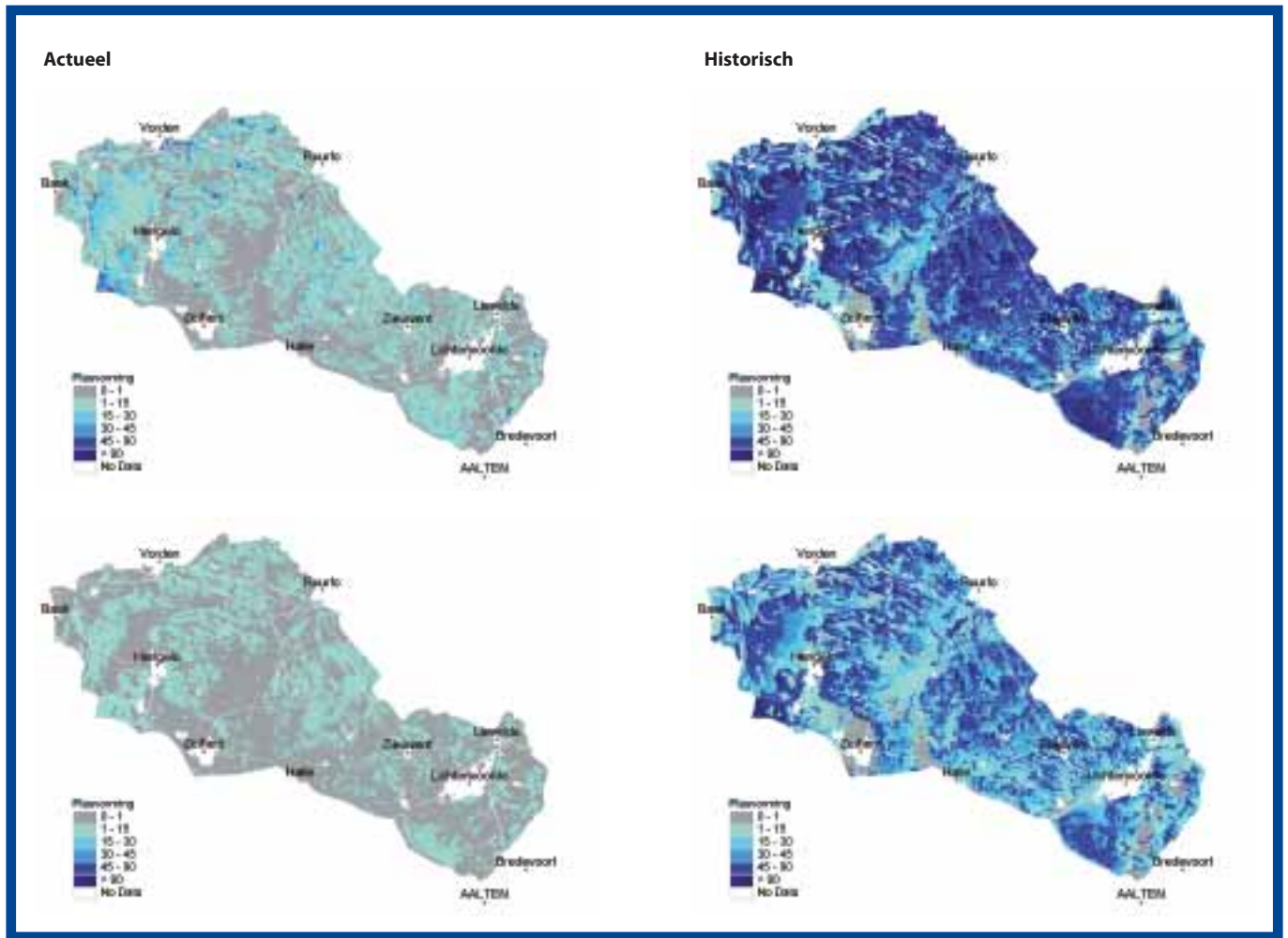
De waterhuishoudkundige verbeteringswerken waren er dan ook onder andere op gericht de berging en inundatie op het maaiveld te verminderen door dit water tot afvoer te laten komen. Hiermee is tevens de sponswerking van het systeem grotendeels tenietgedaan. De constatering dat de grondwaterstand ook in de huidige situatie over grote gebieden tot in maaiveld komt, betekent dat de beschikbare bodemberging is opgebruikt<sup>5),6)</sup>. Daardoor kan de bodemberging voor extremere situaties geen substantiële bijdrage aan de vermindering van de afvoerpieken hebben<sup>7)</sup>.

De enige substantiële oplossing voor het verminderen van de piekafvoer is berging op het maaiveld. Deze berging kan weer worden aangesproken door de afvoer in de waterlopen te stremmen, waardoor inundatie optreedt. De stremming kan plaatsvinden door een gedeelte van de waterlopen te dempen en waterlopen over langere trajecten te verkleinen, zoals in de historische situatie of door gebruik te maken van knijpconstructies, zoals knijpduikers. Het gebruik hiervan heeft echter als nadeel dat niet op een natuurlijke manier gebruik wordt gemaakt van lokale laagten, waardoor de maatregel vergezeld moet worden van maatregelen die de stroming over maaiveld beperken.

De mate waarin berging op het maaiveld optreedt, wordt in modelberekeningen vaak onderschat. Door numerieke verdroging, het te droog inschatten van de grondwaterstand op peilbuislocaties als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel<sup>4)</sup>, wordt de doorlatendheid van het freatische pakket veelal te hoog ingeschat. Hierdoor wordt vooral onder natte omstandigheden de interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater te optimistisch (hoog) gesimuleerd. De verticale component van de drainageweerstand wordt immers ten onrechte onder natte omstandigheden veelal verwaarloosd. Hierdoor worden vassen op het maaiveld meestal alleen kortstondig gesimuleerd terwijl ze door slomp, verdichting, een ploegzool en anisotropie veelal langdurig voor kunnen komen.

Ook in dit onderzoek kan de mate waarin plasvorming optreedt enigszins zijn onderschat. Als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel zou eigenlijk gerekend moeten worden met verschillende drainageweerstanden in de tijd. Daarnaast moet worden opgemerkt dat over de parametrisering van maaiveldsdrainage en maaiveldsberging in modellen nog erg weinig bekend is.

Naast meer inzicht in de werking van het waterhuishoudkundige systeem is ook de speelruimte die er is om de afvoerpieken te verminderen, duidelijk geworden. Het verschil tussen de historische en de actuele situatie in de curve van de overschrijdingsduur van de afvoer geeft immers de maximale speelruimte aan. In werkelijkheid is deze speelruimte echter veel kleiner. Een aantal ingrepen die in het verleden zijn doorgevoerd, is immers niet meer terug te



Afb. 5: Het aantal dagen per jaar (de duur) dat plasvorming binnen percelen voorkomt, op enkele plekken binnen het perceel (boven) en over meer dan de helft van het perceel (beneden).

draaien. Voorbeelden hiervan zijn de verwijdering (ijzeroer, veen) c.q. verbreken (bodemverbetering) van anisotropie in de bodem, de vervlakkings van het maaiveld en de hydrologische ontsluiting van lokale laagten, welke wel terug te draaien is. Hiermee is ook de sponswerking van het systeem deels irreversibel afgenomen. Daarnaast hebben de waterhuishoudkundige verbeteringswerkzaamheden naast verdroging voornamelijk effect gehad op het verminderen van inundatieproblemen. Vermindering van de piekafvoer door water langer vast te houden, is dan ook alleen mogelijk door het herintroduceren van inundatie. De NBW-werknormen voor toetsing van regionale watersystemen op wateroverlast geven echter inundatienormen die de speelruimte voor waterberging beperken.

Door de toename van de waterhuishoudkundige ontsluiting van Nederland in combinatie met de vervlakkings van het land zullen grootschalig maatregelen genomen moeten worden om de maaiveldsafvoer tegen te gaan. Naast de grootschaligheid van de te nemen maatregelen is het de vraag of het gewenst en acceptabel is dat dergelijke maatregelen worden uitgevoerd. Bebouwing en wegen kunnen immers op locaties liggen die het meest geschikt zijn voor inundatie. Daarnaast heeft inundatie vanuit agrarisch oogpunt een verhoging van het bedrijfsrisico tot gevolg. Dit soort maatregelen kan

hierdoor maatschappelijke gevolgen hebben die onwenselijk zijn, waardoor het de vraag is of er voldoende draagvlak voor zal kunnen worden verworven.

Een belangrijke conclusie van het onderzoek is dan ook dat een substantiële bovenstroomse bijdrage aan de vermindering van piekafvoeren om onder andere een bijdrage te leveren aan de gevolgen van klimaatverandering moeilijk te realiseren is, tenzij sprake is van een combinatie met natuur. Voor situaties die extremer zijn dan éénmaal per jaar, is een substantiële vermindering van de piekafvoer door maatregelen in het bovenstroomse deel van stroomgebieden in combinatie met agrarisch gebruik niet realistisch, tenzij de productie verliezen voldoende worden gecompenseerd.

Uit het onderzoek is tevens naar voren gekomen dat het huidige watersysteem onder extreme omstandigheden veel meer water te verwerken heeft dan het historische watersysteem. Afvoerhoeveelheden die momenteel éénmaal in de tien jaar voor kunnen komen, kwamen in de historische situatie nog niet éénmaal in de 100 jaar voor. Het is bij bijvoorbeeld hermeandering in een meer benedenstrooms traject van belang hiermee rekening te houden, indien niet tegelijkertijd in het bovenstroomse gebied afvoerbepalende maatregelen worden toegepast.

#### LITERATUUR

- 1) Blaauw H. (1962). Afvoernormen. Cultuurtechnisch Tijdschrift nr. 2, pag 102-111.
- 2) Bon J. (1971). Afvoernormen. ICW-nota 631.
- 3) Gaast J. van der, H. Massop, H. Vroon en I. Staritsky (2006). Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Alterra. Rapport 1339.
- 4) Gaast J. van der, H. Vroon en H. Massop (2006). Verdroging veelal systematisch overschat. H<sub>2</sub>O nr. 21, pag. 25-29.
- 5) Gaast J. van der en H. Massop (in voorbereiding). Reconstructie van de historische hydrologie. Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland. Alterra. Rapport 1466.
- 6) Massop H. en W. Knol (2005). Historisch Waterbeheer. Een kwantitatieve benadering van historische watersystemen: definities en voorbeelden. Alterra. Rapport 1145.
- 7) Querner E. (2003). Is grondwaterberging beter te benutten om afvoeren te verminderen? Stromingen nr. 1.