



Grenzen aan de werking van bovenstroomse berging

WILLEM VAN DEURSEN, CARTHAGO CONSULTANCY

HANS MIDDELKOOP, UNIVERSITEIT VAN UTRECHT

JAAP KWADIJK, WL/DELFT HYDRAULICS

Het effect van bovenstroomse berging om hoogwater in Nederland te voorkomen zou wel eens een veel geringer effect kunnen hebben dan door velen wordt aangenomen. Toegevoegde bergingscapaciteit bovenin het stroomgebied heeft weliswaar invloed op het tijdstip van het hoogwater, maar het volume dat tijdens echte hoogwaters door Nederland moet worden verwerkt is voornamelijk afhankelijk van de neerslag in het stroomgebied. Extreme hoogwaters treden juist op als het stroomgebied volledig verzadigd is door voorafgaande neerslag (het stroomgebied stroomt gewoon over), en extra berging heeft op dat proces weinig invloed.

Recente beleidslijnen voor waterbeheer en de recente literatuur schetsen een aantal radicale oplossingen voor het verminderen van problemen met hoge afvoeren en hoge waterstanden. Traditionele oplossingen richten zich op het verwerken van de afvoergolf (verbreding rivierbed en versnelde afvoer van hoogwatergolven) en 'harde' maatregelen (dijkenbouw en harde infrastructuur) om de samenleving te beschermen tegen de gevolgen van hoogwaters. In recente beleidslijnen wordt deze strategie verlaten: alternatieve oplossingsrichtingen worden gezocht in het beheersen van het aanbod van water, het creëren van ruimte voor de afvoergolf, het voorkomen van problemen met hoge afvoeren en een nadere analyse van de kwetsbaarheid van de samenleving. De Commissie Waterbeheer 21e eeuw vat dit kernachtig samen als: vasthouden, bergen en afvoeren.

Eén van de aanbevelingen om hoge rivierafvoeren te voorkomen is het creëren van extra berging in het stroomgebied. Hieronder verstaan we maatregelen die voorkomen dat het water te snel in de rivieren terecht komt en die ertoe bijdragen dat overtollig water langer vastgehouden wordt in het bovenstroomse gedeelte van het stroomgebied. Voorbeelden zijn maatregelen om de snelheid van afvoer te beperken door het weer laten meanderen van de rivieren, en het creëren van wetlands en het weghalen van de ontwaterings- en afwateringswerken in de landbouwgebieden. Beeldend wordt in dit verband gesproken over 'het herstel van de sponswerking van het boven-

stroomse gedeelte van het stroomgebied' en 'het herstellen van het waterhoudend vermogen in de haarvaten van het systeem'. Ook het Wereld Natuur Fonds¹⁾ en het ministerie van VROM (bijvoorbeeld in de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening) zetten (onder andere) in op het creëren van extra bovenstroomse berging. De verwachting is dat door middel van deze ingrepen ook extreem hoge waterstanden vermeden kunnen worden.

Toch bestaan er voldoende redenen om bij deze aanbevelingen enige kanttekeningen te plaatsen. Een aantal hiervan is gebaseerd op onderzoeksresultaten, terwijl er ook argumenten zijn die minder 'wetenschappelijk' onderbouwd zijn. Deze argumenten dienen natuurlijk slechts als zodanig gelezen te worden. Voor de duidelijkheid dient hier vermeld te worden dat we kanttekeningen plaatsen bij de berging van overtollig water voordat dit de rivier bereikt en afgevoerd wordt. Nadrukkelijk gaat het hier dus niet om de retentie- en calamiteitenpolders die aanbevolen worden om hoogwatergolven op de rivier de baas te kunnen.

Verrassende resultaten

In een onderzoeksproject naar strategieën voor waterbeheer onder veranderende toekomstige omstandigheden zijn voor de stroomgebieden van de Rijn en Maas een aantal waterbeheersstrategieën en een aantal verschillende klimaatscenario's gedefinieerd^{4),6)}. Met behulp van modelsimulaties zijn de verschillende beheersstrategieën met de klimaats-

scenario's geconfronteerd, om na te gaan welke strategieën ongevoelig zijn voor veranderingen in de toekomst. In deze studie zijn enkele klimaatscenario's voor de jaren 2050 en 2100 gedefinieerd, variërend van zeer milde klimaatveranderingen tot extreme veranderingen (tot 20 procent meer neerslag en vier graden temperatuurstijging). Ook voor het waterbeheer zijn een aantal minder en meer extreme varianten gedefinieerd. In de meest extreme varianten wordt 50 procent van de landbouwgrond in het Rijnstroomgebied omgezet in bos. Hierbij geldt de veronderstelling dat dit bos een grote bijdrage levert aan de reservoirwerking van het gebied.

In het onderzoek is dit gesimuleerd door onder het nieuwe bos de bergingscapaciteit van de bodem te verdubbelen. Tevens wordt hierbij aangenomen dat alle kleinere zijrivieren van de Rijn weer gaan meanderen, waardoor de afvoer van het water vertraagd wordt. Volgens de aanbevelingen van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw en de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening is dit het vrijwel ideale pakket aan maatregelen. Voor de simulaties zijn de waterbalansmodellen RHINEFLOW en MEUSEFLOW^{8),9),10)} gebruikt en voor deze gedefinieerde scenario's en strategieën worden afvoerreeksen voor een periode van 30 jaar gesimuleerd.

Enkele modelresultaten zijn weergegeven in afbeelding 1. Deze toont dat het afvoergedrag zich clustert in twee groepen. Uit de afbeelding blijkt dat de gesimuleerde afvoergedrag voor de versie met een extreem nat klimaat en weinig ingrepen (weinig extra berging) vrijwel samenvalt met de versie met hetzelfde klimaat en veel ingrepen (veel extra berging). Ook in de situatie van een extreem droog klimaatscenario wijkt de simulatie met veel ingrepen nauwelijks af van die met weinig ingrepen. Ondanks de toch tamelijk rigoureuze ingrepen in het totale Rijn- en Maasstroomgebied blijken deze voorgestelde maatregelen dus weinig effect te hebben op de gesimuleerde hoge afvoeren bij Lobith en Borgharen. Dit in tegenstelling tot wat verwacht werd. Hieronder pogen we aannemelijk te maken dat dit niet alleen modelgedrag is, maar dat dit verschijnsel ook een fysische achtergrond kent.

Concepten voor het ontstaan van hoge afvoeren

Het is duidelijk dat, in de ideale situatie, vasthouden en bergen van water voorkomt dat afvoer optreedt. Toch is het ook begrijpelijk dat de berging geen absolute werking heeft: de buffercapaciteit is eindig en er kan maar een beperkte hoeveelheid water worden vastgehouden. Als de berging vol is stroomt hij over, en ook de gebufferde hoeveelheid water komt

uiteindelijk toch weer tot afvoer. Berging heeft dus alleen effect gedurende de periode dat de berging nog niet vol is.

In het algemeen ontstaan extreme afvoeren in de Rijn en Maas door een langdurig aanhoudende depressie (of een reeks van opeenvolgende depressies) boven West-Europa. Onder deze omstandigheden raakt de bodem (de belangrijkste bergingscomponent in de stroomgebieden) volledig verzadigd. Als grote delen van het stroomgebied verzadigd zijn, terwijl het over deze gebieden blijft regenen, zal er dus een hoge afvoergolf komen. Goudriaan³⁾ verklaart bijvoorbeeld het hoogwater op de Maas van 1995 als volgt: "Het moge duidelijk zijn dat de periode voorafgaand aan en tijdens het hoogwater van 1995 extreem nat was. Vanaf begin december viel er zoveel regen dat de bodem in de Ardennen geheel verzadigd raakte met water voordat de grote neerslagpieken in januari 1995 optraden. Het water dat toen viel werd daarom niet meer in de bodem opgeslagen maar rechtstreeks via de zijrivieren afgevoerd naar de Maas. De hoofdoorzaak van het hoogwater is vanzelfsprekend deze extreme hoeveelheid neerslag in het stroomgebied van de Maas. Deze neerslag werd weer veroorzaakt door een niet-aflatende opeenvolging van depressies en bijbehorende regengebieden in de winter van 1994/1995, die vanaf de Atlantische Oceaan West-Europa binnentrokken".

Ook een bevroren bodem (als gevolg van een voorafgaande vorstperiode) kan een oorzaak zijn dat de effectieve berging in een stroomgebied gering is. Ook in deze omstandigheden gaat het stroomgebied zich gedragen 'alsof het geasfalteerd is' en komt regen (en gesmolten sneeuw) direct tot afvoer.

In situaties met incidentele neerslag zal het vergroten van de bergingscapaciteit binnen het stroomgebied wel degelijk effect hebben. Alleen als sprake is van een langdurige regenval, zal deze extra berging toch vol raken, waarna de effectiviteit van de toegevoegde berging verdwijnt. Het creëren van extra berging in het stroomgebied zal het tijdstip waarop geen bergingscapaciteit meer beschikbaar is wel uitstellen, maar de uiteindelijke hoogte van de extreme afvoerpiek nauwelijks verminderen.

Modelberekeningen

De concepten zoals hierboven beschreven zijn met behulp van een eenvoudig rekenmodel te illustreren. Zoals in veel waterbalansmodellen wordt de bodem voorgesteld als twee reservoirs, die gevuld worden door de neerslag en hun water met enige vertraging afgeven aan de rivier. In het voorbeeld is de capaciteit van de reservoirs aanvankelijk beperkt, en wordt vervolgens nagegaan of het vergroten

van deze capaciteit invloed heeft op de afvoer. Het eerste systeem is een systeem met een relatief beperkte berging; het tweede systeem bevat een twee keer zo grote bergingscapaciteit. Het model berekent de afvoer van beide systemen als de hoeveelheid neerslag die niet geborgen kan worden, plus een hoeveelheid voor het langzame leeglopen van de berging. Afbeelding 2 geeft het gedrag van de twee systemen voor. Duidelijk te zien is dat het systeem met de geringe berging eerder afvoer gaat leveren. Duidelijk is ook dat op een gegeven moment ook de grote berging vol is en beide systemen niet meer kunnen bufferen. De afvoeren van beide systemen is dan weer nagenoeg gelijk geworden. Opvallend is dat ondanks de veel grotere bergingscapaciteit de hoge piekafvoeren niet lager worden.

Eén opmerking dient echter wel geplaatst te worden. Bij dit soort concepten en modelonderzoek, waarbij we op zoek zijn naar extreem gedrag van het systeem, is het altijd onduidelijk of je uitspraken doet over het gedrag van het reële watersysteem of dat je uitspraken aan het doen bent over het gedrag van het concept of het model.

Onderzoek historische afvoerreeksen

Ook vanuit een analyse van de gemeten historische afvoeren van de rivieren kan een uitspraak worden gedaan over de effectiviteit van de toevoeging van extra berging. De redenering is dan als volgt. Als extra berging veel invloed heeft op de hoge afvoeren, dan moeten we in de 100-jarige afvoerreeksen van Rijn en Maas hiervoor aanwijzingen kunnen vinden. In deze 100 jaar hebben de stroomgebieden onder invloed gestaan van een toenemende verstedelijking, ontginning van ongecultiveerde gebieden en verregaande maatregelen ter

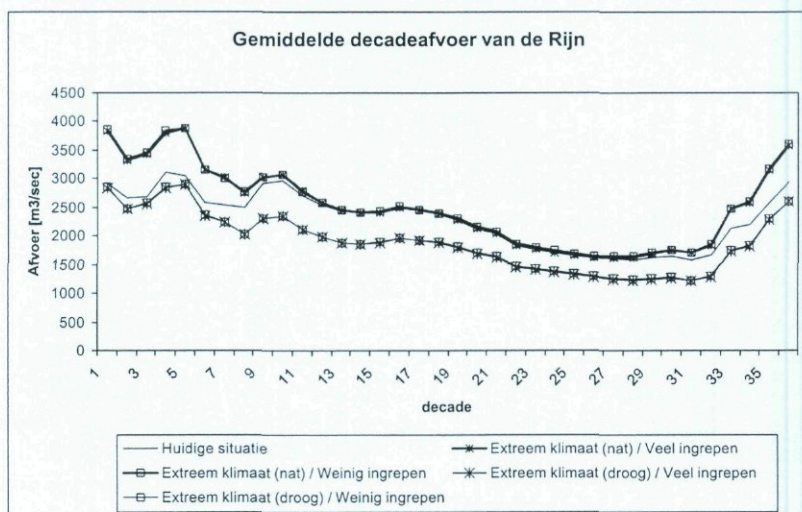
bevordering van de afwatering; allemaal maatregelen die de berging in het stroomgebied verminderen. In de 100-jarige meetreeks zou dus een trend zichtbaar moeten zijn dat in de latere jaren meer en hogere afvoeren voorkomen dan in de eerste jaren van de eeuw. Hoewel deze trend bestaat en de laatste tien jaar significant hogere afvoeren worden geconstateerd, moeten deze hogere afvoeren voornamelijk toegeschreven worden aan een verhoogde neerslag (mogelijk gerelateerd aan klimaatverandering), maar geen enkel verband kan worden gelegd met veranderingen in landgebruik. Als we over de afgelopen 100 jaar geen effect zien van een afname van berging, kunnen we aannemen dat de effecten van het verkleinen van de berging op hoge afvoeren gering zijn. Omgekeerd is het dan ook niet te verwachten dat het vergroten (of herstellen) van de bergingscapaciteit wel grote invloed zal hebben op de piekafvoeren.

Opgemerkt moet worden dat het moeilijk is de hier vermeende effecten uit de afvoerreeksen af te leiden, omdat een groot aantal signalen door elkaar heen lopen. Zo zegt de Commissie Boertien over de Maas²⁾: "Er is echter sprake van een substantiële herbebossing in het stroomgebied van de Waalse Maas, ..., zodat mogelijke intensivering van de hoogwaters niet door ontbossing kan worden verklaard". De conclusie dat in de afvoerreeksen geen enkel signaal van verandering van landgebruik is te vinden kan dus niet worden getrokken. De conclusie dat in het afvoerregime van Rijn en Maas een duidelijk effect van 100 jaar landgebruiksverandering is te vinden kan echter ook (nog) niet onderbouwd worden.

Wat zegt de literatuur?

Op basis van een literatuuronderzoek van Dijkman en Pedrol²⁾ blijkt dat voldoende aan-

Afb. 1: Afvoerverloop van de Rijn onder verschillende varianten van beheer en verschillende klimaatscenario's.



wijzingen te vinden zijn om te veronderstellen dat veranderingen in landgebruik het afvoerre-gime beïnvloeden. Veel van de relevante litera-tuur concludeert dat een verandering van land-gebruik zal leiden tot een verandering van berging en een verandering in hydrologisch gedrag van het gebied. Weinig studies gaan ech-ter diepgaand in op de effecten in situaties waarin volledige verzadiging optreedt, terwijl in een aantal gevallen wel de opmerking ge-plaatst wordt dat de effecten bij extreem hoge afvoeren verminderen of zeer gering zullen zijn.

Het literatuuronderzoek van Dijkman en Pedrolí geeft een overzicht van een groot aantal effecten van landgebruiksveranderingen. Veel onderzoeken zijn gebaseerd op het gebruik van de 'Curve Number method' (CN), een empiri-sche relatie die het verband tussen afstroming en landgebruik geeft. Aan de verschillende vor-men van landgebruik wordt een CN-waarde toegekend, waarmee de te verwachten afvoer bij een gegeven neerslag kan worden bepaald. De aangehaalde onderzoeken maken verschil-lende keren de opmerking dat geringere effec-ten te verwachten zijn bij extreme hoogwaters. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het volgende citaat uit Dijkman en Pedrolí: "Als wordt aangenomen dat de piekafvoer evenredig is met het netto neerslagvolume, dan volgt uit het voor-gaande dat door een toename in de CN-waarde (bijvoorbeeld door verstedelijking) vooral de frequent voorkomende piekafvoeren, dat wil zeggen piekafvoeren met een lage herhalings-

tijd, relatief sterk zullen toenemen. De pieken met een zeer grote herhalings-tijd worden nau-welijks beïnvloed."

Van Bakel e.a.⁵⁾ betrekken een extra argu-ment in de bergingsdiscussie waar het gaat om actief in te zetten berging bij dreigende calami-teiten: "Actief bergingsmanagement is zeer effectief maar riskant. Berging pas inzetten als het echt nodig is, dat is de wens van iedere hoogwatermanager". Actief bergingsmanage-ment dient er voor te zorgen dat de berging vlak voor de hoogste neerslag komt zoveel mogelijk leeg is. Berging creëren door verande-ringen in landgebruik en pogingen landge-bruiksvormen als buffer te benutten leiden echter niet tot de mogelijkheid om actief ber-gingsbeheer te plegen. De opmerking van Van Bakel blijft dus van kracht: het is een riskant principe: berging kan slechts een keer geduren-de een periode van wateroverschot (hevige neerslag of hoogwater) worden gebruikt, als de berging eenmaal vol is, is zij niet meer effectief.

Conclusies

Uit bovenstaande blijkt dat de effectiviteit van berging afhankelijk is van de schaal van de stroomgebieden en de gebeurtenissen vooraf-gaand aan extreme neerslag. Samengevat leiden de concepten voor de reactie van grote stroom-gebieden tot de volgende constatering:

- Binnen grote stroomgebieden worden individuele afvoerpieken uitgemiddeld.

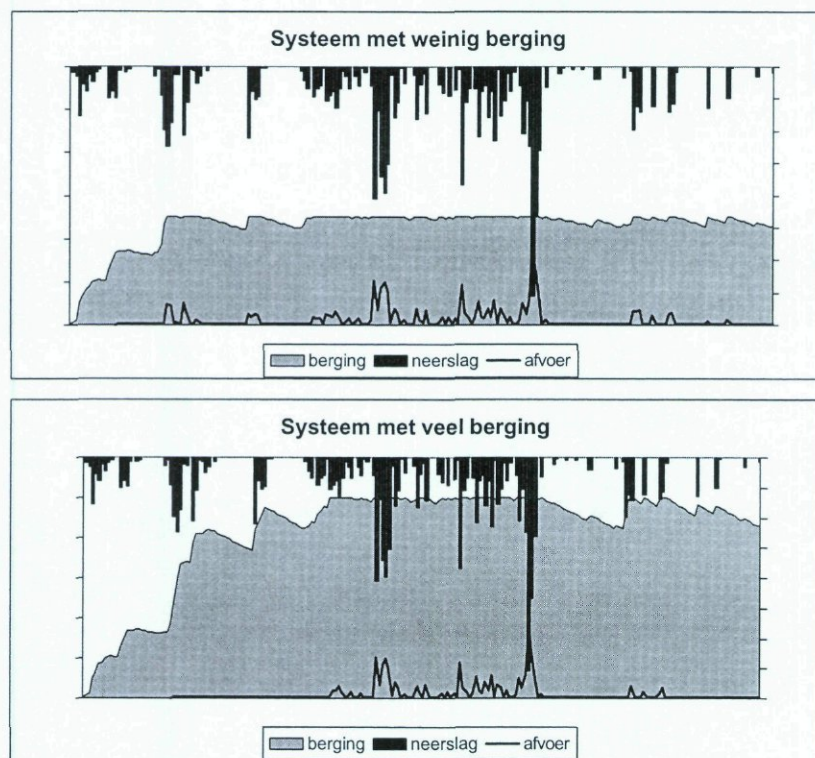
Grote stroomgebieden leiden alleen dan tot extreme afvoeren als grote delen van het stroomgebied verzadigd raken en mee gaan doen aan het produceren van veel directe afvoer;

- Hoge afvoeren komen alleen dan voor als het in grote delen van het stroomgebied gedurende langere tijd aan het regenen is. Kleine buien kunnen over het algemeen goed geborgen worden;
- Als gevolg hiervan zijn hoge afvoeren over het algemeen niet het gevolg van een inci-dentele bui, maar van een langdurige depressie die zich over een belangrijk deel van gehele stroomgebied uitstrekt. Hoge afvoeren zijn geen 'event'-verschijnselen, maar een verschijnsel wat zich gedurende langere tijd opbouwt;
- Doordat grote stroomgebieden in absolute zin al een enorme bergingscapaciteit bezitten (alle bodems, meren, veengebiede-n en alle niet bebouwde oppervlakten), moet erg veel berging extra gecreëerd worden om het effect merkbaar te laten zijn;
- Naast de hydraulische analyse (de precieze loop van het water door de bodem en in het kanaal) zou de analyse van hoogwaters in veel gevallen ook een analyse van de waterbalansen voor het totale stroomge-bied moeten inhouden (een hydrologische analyse: hoeveel water is waar in het stroomgebied aanwezig, wat is de toe-stand van het stroomgebied als het begint te regenen?). De hoogwaterproblematiek is zowel een hydrologisch als een hydrau-lisch probleem.

Voor regionale en lokale situaties (ook als onderdeel van de grote stroomgebieden) leiden deze concepten tot het volgende:

- In de lokale situatie is wateroverlast vaak wel een incidenteel 'event', veroorzaakt door intensieve regen op een klein opper-vlak (als voorbeeld de wateroverlast die regelmatig optreedt in het Westland). Deze vormen van wateroverlast worden maar in beperkte mate bepaald door de voorafgaande gebeurtenissen (kleine regio's hebben een veel geringer 'geheugen');
- Lokale wateroverlast als gevolg van inci-dentele buien kan wel degelijk vermin-derd worden door het creëren van extra berging. Het betreft hier echter een lokaal probleem met een bijbehorende lokale oplossing;

Afb. 2: Uitkomsten voor een model met weinig en een model met veel berging.



- Extra berging stelt het tijdstip van 'overstromen van de berging' uit. Lokaal en regionaal kan dus geprofiteerd worden van deze extra berging;
- Analyse van lokale gebeurtenissen is veel meer een beschrijving van de exacte loop van het water door de bodem en het kanaal, en is dus meer een hydraulisch probleem en minder een hydrologisch probleem.

Het is duidelijk dat bovenstaande overwegingen aanleiding geven tot een heroverweging van de gevolgen van berging bovenstrooms op de extreem hoge afvoeren. Dit leidt tevens tot enige scepsis betreffende de effectiviteit van de strategie van het creëren van extra berging bovenstrooms ter voorkoming van extreem hoge afvoeren. Het creëren van extra berging bovenstrooms zal slechts de overlast van de matig hoge afvoeren regionaal en lokaal doen verminderen. Voor het verminderen van de extreem hoge afvoeren van Rijn en Maas is deze maatregel niet voldoende.

De conclusie van dit artikel is niet: bovenstroomse maatregelen zijn nutteloos ter voorkoming van hoogwater. We willen echter plei-

ten tegen de suggestie dat alle problemen opgelost kunnen worden als we maar voldoende maatregelen bovenstrooms weten te treffen. Hoewel deze maatregelen mogelijk een bijdrage zullen leveren aan het oplossen van problemen in de middelhoge regionen van het afvoerregime, zal hun effectiviteit bij zeer hoge afvoeren op de Rijn en de Maas gering zijn.

De Commissie Waterbeheer 21e eeuw spreekt duidelijk over "het niet langer afwentelen van de problemen op benedenstroomse gebieden", maar we moeten oppassen dat, door een te groot geloof in vasthouden van water, de maatregelen afgewenteld worden op de bovenstroomse gedeelten. Gelukkig bieden de recente plannen voor het waterbeheer voldoende aanknopingspunten om ook in het geval dat de maatregelen bovenstrooms onvoldoende blijken te helpen toch een effectief waterbeheer vorm te geven. 

LITERATUUR

- 1) WNF (2001). Waterberging in de Ardennen voorkomt overlast langs Maas. H₂O nr. 9, pag. 8.
- 2) Dijkman J. en G. Pedrolì (1994). Onderzoek watersnood Maas. Hoofdrapport De Maas Meester inclusief 14 deelrapporten. Waterloopkundig Laboratorium Delft.

- 3) Goudriaan J. (1995). De Maas slaat weer toe. Verslag hoogwater Maas januari/februari 1995. Rijkswaterstaat Directie Limburg.
- 4) Van Asselt M., H. Middelkoop, S. van 't Klooster, W. van Deursen, M. Haasnoot, J. Kwadijk, H. Buiteveld, G. Können, J. Rotmans, N. van Gemert en P. Valkering (2001). Development of flood management strategies for the Rhine and Meuse basins in the context of integrated river management. Rapportage van het IRMA/SPONGE-project 3/NL/1/164 / 99 15 183 01.
- 5) Van Bakel P., J. Hoogendoorn, J. Luijendijk en J. Peerboom (2001). Hoogwaterreductie vanuit regionale stroomgebieden: samenhang of tegenstellingen? H₂O nr. 3, pag. 27.
- 6) Können G. (1999). De toekomst van het Nederlandse klimaat. KNMI De Bilt.
- 7) Commissie Waterbeheer 21e eeuw (2000). Waterbeleid voor de 21e eeuw: geef water de ruimte en de aandacht die het verdient.
- 8) Van Deursen W. en J. Kwadijk (1993). RHINEFLOW, an integrated GIS water balance model for the river Rhine. In: K. Kovar and H.P. Nachtnebel, eds., Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management HydroGIS 1993. IAHS Publication no 211.
- 9) Kwadijk J. (1993). The impact of climate change on the discharge of the River Rhine. PhD thesis Department of physical Geography, Universiteit van Utrecht.
- 10) Van Deursen W. (2000). MEUSEFLOW 2.1, Laagwaterstudies Maasstroomgebied, RIZA project RI-2988A.