

*Effecten van natuurlijke
bovenstroomse berging op
hoogwater in de Maas*

Auteur:

Nieke van den Bedem

Begeleiding:

Reina Kuiper

Stage voor Master Hydrology and Water Quality
Wageningen Universiteit

januari 2006

Voorwoord

Dit verslag is geschreven als afsluiting van een stage van 2 maanden bij Stichting Reinwater. Ik heb deze stage gedaan in het kader van mijn opleiding Hydrologie en Waterkwaliteit aan Wageningen Universiteit. Ik vond het erg leuk door middel van deze stage meer te kunnen leren over de manier van werken van Stichting Reinwater. Tijdens gesprekken met verschillende medewerkers heb ik hier veel over gehoord. Daarnaast heb ik gewoon een plezierige en gezellige tijd gehad, waar ik alle medewerkers graag voor wil bedanken. In het bijzonder wil ik Reina Kuiper bedanken voor al haar hulp en begeleiding tijdens deze stage. Ik vond het erg fijn dat ze steeds tijd had om met me mee te denken en nieuwe ideeën aan te dragen.

Nieke

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Inhoudsopgave.....	5
1 Inleiding	7
1.1 Achtergronden.....	7
1.2 Onderzoeksvraag	8
1.3 Opbouw	8
2 Effecten van verandering in landgebruik op de hydrologie	9
2.1 Lokale effecten van veranderd landgebruik	9
2.1.1 Voorbeelden van studies op lokale schaal.....	9
2.1.2 Conclusie lokale schaal	10
2.2 Effecten van veranderend landgebruik op stroomgebiedsschaal.....	10
2.2.1 Modelstudies	11
2.2.2 Analyse van historische tijdreeksen	11
2.2.3 Onderbouwing	12
2.2.4 Conclusies stroomgebiedsschaal	12
3 Maatregelen op de dalvlakten van zijbeken	15
3.1 Effecten op de vorm van de afvoerpiek.....	15
3.2 Effecten op hoogwater in de hoofdriever.....	16
4 Conclusies en aanbevelingen.....	17
4.1 Conclusies	17
4.2 Aanbevelingen.....	17
Literatuur	19

1 Inleiding

1.1 Achtergronden

Nederland heeft de laatste decennia een aantal keer te maken gehad met extreme rivierafvoeren waarbij gevreesd werd voor grote overstromingen. Dit heeft de bewustwording van de hoogwaterproblematiek sterk vergroot. De te verwachten klimaatsverandering en toename van sociaal-economische waarden van de rivierdelta brengen risico's met zich mee die vragen om een andere aanpak van het waterbeheer. In plaats van snelle afvoer van overtollig water werd een strategie van vasthouden, bergen en dan pas afvoeren geïntroduceerd. Hierbij is het noodzakelijk grensoverschrijdende maatregelen te nemen en het stroomgebied als een geheel te beschouwen.

Van Winden *et. al.* (2003) doen in het rapport "Bergen bij de bron" een aantal suggesties voor maatregelen om de piekafvoer in de grote rivieren in Nederland te doen verminderen. Naast de maatregelen benedenstrooms zien zij mogelijkheden in de middelgebergten waar water doormiddel van natuurlijke retentie langer vastgehouden kan worden. Een belangrijke overweging hierbij is dat wanneer de toename in piekafvoeren in de rivieren Rijn en Maas is veroorzaakt door veranderingen in landgebruik, het terugdraaien van deze veranderingen leidt tot een verminderde overstromingskans. Verder wordt er verwacht dat het vertragen van de afvoer uit de zijbeken leidt tot een grotere spreiding van de verschillende pieken. De kans dat deze samenvallen neemt dan af waardoor de piek in de hoofdstroom minder hoog wordt.

Concreet worden de volgende maatregelen voorgesteld (van Winden *et. al.*; 2003). Op de plateaus kan het water langer vastgehouden worden door de kunstmatig versnelde afwatering te opheffen en te zorgen voor een landgebruikstype met permanente vegetatie in plaats van akkerbouw en grasland. Verder wordt gesteld dat sponswerking van venen en loofbos hoger is als dat van naaldbos, daarom zou herbebossing met loofbomen een vermindering van hoogwatersituaties tot gevolg hebben. In de dalvlaktes kan veel worden bereikt doormiddel van stromende berging. Door oevererosie toe te laten, zullen beken uit zichzelf weer gaan meanderen en ontstaat een bredere dalvlakte die bij hoge afvoeren kan overstromen. Vegetatie in de dalvlakte vergroot de weerstand waardoor de snelheid waarmee de piek zich voortplant vermindert.

Doordat de Ardennen relatief dunbevolkt zijn is de verwachting dat daar meer mogelijkheden liggen dan in Nederland voor het nemen van maatregelen die de kans op overstromingen moeten verminderen. Daarnaast verhogen de voorgestelde maatregelen de variatie in het landschap, natuurwaarden en mogelijkheden voor recreatie. Toch is er weerstand tegen het doorvoeren van deze maatregelen. Dit komt ten dele doordat de werkelijke bijdrage aan de overstromingspreventie in Nederland van de voorgestelde maatregelen moeilijk voorspelbaar is. In dit verslag wordt met behulp van bestaande literatuur een aanzet gegeven tot betere onderbouwing van de mogelijke effecten van natuurlijke retentie in de Ardennen op de overstromingsrisico's in Nederland.

1.2 Onderzoeksvraag

In dit verslag wordt een overzicht gegeven van bestaande literatuur met betrekking op hydrologische effecten van natuurlijke berging in de bovenloop van rivieren. Er wordt hiermee bekeken wat het effect zou zijn van natuurontwikkeling in de Ardennen op het optreden van hoogwaters in de Maas. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen lokale effecten van mogelijke veranderingen en effecten in de hoofdloop van de rivier. Er wordt antwoord gegeven op de volgende onderzoeksvragen

- Hoe beïnvloeden veranderingen in het landgebruik de neerslag-afvoer relaties op lokale schaal?
- Hoe beïnvloeden veranderingen in het landgebruik de neerslag-afvoer relaties op stroomgebiedschaal?
- Wat is het effect van natuurontwikkeling in de dalvlaktes op de snelheid waarmee de afvoerpiek zich in extreme situaties kan voortplanten?
- Wat is het effect van de voorgestelde maatregelen op de frequentie en grootte van piekafvoeren in de benedenloop van de Maas?

1.3 Opbouw

In hoofdstuk twee van dit verslag wordt ingegaan op de effecten van veranderingen in landgebruik. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in lokale effecten (paragraaf 2.1) en effecten op stroomgebiedschaal (paragraaf 2.2). Vervolgens wordt in het derde hoofdstuk bekeken wat de hydrologische effecten zijn van natuurontwikkeling in de dalvlakten van de zijbeken van de Maas. Tot slot volgen in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Effecten van verandering in landgebruik op de hydrologie

Een veelgehoorde veronderstelling is dat de toename van overstromingsrisico's in de Maas en Rijn samenhangt met menselijk ingrijpen in het stroomgebied. Hierdoor verminderde de bergingscapaciteit en werd de snelheid van afvoer vergroot. Hierop voortbouwend doen van Winden *et. al.* (2003) een aantal voorstellen om de sponswerking van het brongebied weer te vergroten. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van beschikbare literatuur over hydrologische effecten van verandering in landgebruik. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen effecten op lokale schaal (paragraaf 2.1) en op stroomgebiedschaal (paragraaf 2.2).

2.1 Lokale effecten van veranderd landgebruik

Er zijn erg veel artikelen beschikbaar over het effect van aanleg van drainage en herbebossing op de frequentie en hoogte van hoogwaterpieken op lokale schaal. In paragraaf 2.1.1 volgen hiervan enkele voorbeelden, vervolgens volgt in paragraaf 2.1.2 een conclusie en een korte analyse van de betekenis van deze resultaten op de Ardennen.

2.1.1 Voorbeelden van studies op lokale schaal

Ledger en Harper (1987) maten de effecten van drainage en aanplanten van naaldbos op een veengebied in Schotland. Zij vonden direct na de drainagemaatregelen een toename in het jaarlijkse debiet en een meer "flashy" afvoer regiem. Echter, naarmate de bomen groter worden en het netwerk van greppels veroudert gaat het afvoerregiem weer steeds meer lijken op de situatie van voor de drainage maatregelen. Dit komt ondermeer door de verhoogde interceptie en evapo-transpiratie door de bomen en door de toenemende weerstand in de greppels.

Robinson (1986) vond vergelijkbare resultaten voor een gedraineerd en bebost veengebied in Engeland. Na de drainagemaatregelen nam de baseflow en daarmee het totale jaarlijkse debiet toe. Bovendien kwamen pieken eerder na een regenbui en werden ze, bij vergelijkbare neerslag, na de drainage maatregelen gemiddeld circa 20% hoger dan daarvoor. Tien jaar na de maatregelen was dit verschil door de groei van de bomen en toename van vegetatie in de greppels afgenomen tot 10% meer dan in de oorspronkelijke situatie. De verwachting is dat het verschil nog verder af zal nemen als de bomen echt volgroeid raken.

De drainage heeft volgens dit onderzoek relatief weinig effect op de frequentie en debiet van echt extreme afvoeren, dit komt waarschijnlijk doordat in dit soort zeldzame en extreme situaties de invloed van de individuele eigenschappen van de regenbui (intensiteit en regenduur) groter is dan in invloed van het landgebruik. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat bij grotere neerslag gebeurtenissen drainage geen invloed heeft op de afvoer omdat het vochtgehalte van de bodem minder invloed heeft op de afvoergeneratie (Robinson, 1986).

Robinson *et. al.* (1985) maten na drainage de verandering in het afvoerregiem in een klein (16 km²) agrarisch stroomgebied in Noord Oost Engeland. Zij concludeerden dat de hydrologie duidelijk veranderde waarbij de piekafvoeren toenamen en de responstijd afnam.

Tegengestelde resultaten blijken uit het onderzoek van Iritz *et. al.* (1994). Zij gebruikten veldmetingen en modelstudies om de effecten van drainage in een aantal bosgebieden in Zweden te meten. Over het algemeen vonden ze een afname in de piekafvoeren na de drainage maatregelen, deze afname was het grootst na een droge periode. Hieruit wordt geconcludeerd dat het verlaagde grondwater niveau, en de daarmee vergrote bergingscapaciteit, grotere invloed heeft op de formatie van afvoerpieken dan de toegenomen transportcapaciteit door de greppels.

In 1990 combineerde Robinson verschillende bestaande studies om de effecten van drainage te bepalen op de afvoer op veldschaal. Hij concludeert dat in situaties waarbij de bodem gevoelig is voor verzadiging (door bijvoorbeeld lage doorlatendheid of hoge neerslag) en afvoer dus deels over het oppervlak plaatsvindt, drainage vaak leidt tot een verlaging van de afvoerpieken. Bij bodems met een hogere doorlatendheid leidt drainage meestal tot een toename van de piekafvoer. Ook modelstudies ondersteunden de conclusies dat in een omgeving waar afvoer gedomineerd wordt door oppervlakkige

afvoer drainage leidt tot een demping van piekafvoeren terwijl in een omgeving waar stroming door de bodem dominant is drainage de piekafvoer juist verhoogt (Robinson, 1990).

Samenvattend stelt Robinson dat het effect van drainage van een groot aantal, voor de lokale situatie specifieke factoren afhankelijk is. Vaak is de aard en invloed van deze factoren nauwelijks bekend. Van belang zijn de natuurlijke neerslag-afvoer relaties, hoeveelheid en locatie van drainage buizen (drainage in benedenstroomse deel van het stroomgebied kan juist tot een verlaging van de piek leiden door een grotere spreiding) en de maatregelen die in de waterlopen worden genomen (Robinson; 1990).

Op een iets grotere schaal (stroomgebieden van 16/18 km²) leidt drainage volgens hetzelfde onderzoek voor zowel gebieden met zware klei als met meer doorlatende bodems tot een toename in de piekafvoer. Dit komt door verbetering van de afvoercapaciteit in het netwerk van sloten en beken, waardoor de stroomsnelheid toeneemt en de dalbodem minder vaak overstromt. Het effect van de vergrote berging voor het stroomgebied met klei wordt hierdoor opgeheven.

2.1.2 Conclusie lokale schaal

Er bestaan verschillende opinies over de lokale effecten van drainage op het afvoerregiem. De resultaten van veel onderzoeken zijn ogenschijnlijk tegenstrijdig, doordat er twee tegengestelde processen een rol spelen. De drainage leidt tot een versnelde afvoer van neerslagwater naar de rivier, waardoor pieken hoger kunnen worden, maar tegelijkertijd leidt de verlaging van het waterpeil in de bodem tot een vergroting van de buffer capaciteit, waardoor pieken juist af zouden nemen. Het relatieve belang van deze twee factoren is afhankelijk van lokale omstandigheden en bepaald het uiteindelijke effect van landgebruik maatregelen op de hydrologie (Robinson, 1990). Verder spelen de omstandigheden voorafgaande aan de neerslag een belangrijke rol.

In de Ardennen bestaan de meeste bodems uit lemig materiaal dat eventueel is vermengt met verweringsmateriaal, de bodems zijn daardoor behoorlijk waterdoorlatend. Hierdoor is het aannemelijk dat drainage op de meeste plaatsen de afvoer versnelt en dus leidt tot hogere pieken op lokale schaal. Het dempen van drainagebuizen zoals wordt voorgesteld door van Winden *et. al.* (2003) kan daarom positieve effecten hebben op de frequentie van hoogwater ter plaatse. Echter uit sommige waarnemingen blijkt dat de effecten van drainage afnemen naarmate de piek groter wordt, hierdoor zou het effect van het dempen van drainage in echt extreme situaties minder duidelijk kunnen zijn.

Verder wordt de veronderstelling dat gedraineerd naaldbos een ongunstig effect heeft op de sponswerking van het gebied niet door de literatuur onderbouwd. Zowel Ledger en Harper (1987) als Robinson (1986) vinden kort na de verandering een verhoogde overstromingskans, maar deze neemt af naar mate de bomen volgroeid raken. Het is onduidelijk in hoeverre de afvoer uit een volgroeid gedraineerd naaldbos van de oorspronkelijke situatie verschilt.

2.2 Effecten van veranderend landgebruik op stroomgebiedsschaal

De effecten van verandering in landgebruik hangen sterk af van de lokale situaties in het gebied voorafgaande aan de maatregel. Toch is de literatuur het erover eens dat het al dan niet toepassen van drainage een significant effect heeft op het optreden van hoogwaters op lokale schaal. In deze paragraaf wordt bekeken in hoeverre deze effecten doorwerken op het afvoerregiem van rivieren met een groot stroomgebied.

Bij waterbeheervraagstukken die spelen op stroomgebiedsniveau van grote rivieren treedt er altijd een schaalprobleem op. Metingen worden uit praktische overwegingen in relatief kleine proefgebiedjes uitgevoerd, maar deze resultaten zijn niet zonder meer te extrapoleren naar grotere schaalniveaus. Op het ware schaalniveau meten is meestal niet mogelijk omdat een maatregel dan al zou moeten worden

doorgevoerd voordat het effect is aangetoond. Bovendien is door de complexiteit van een groot stroomgebied moeilijk aan te tonen wat de precieze oorzaak is van waargenomen veranderingen.

Om deze reden wordt vaak gebruik gemaakt van hydrologische modellen. Echter, bij modellen blijft het altijd onduidelijk in hoeverre een resultaat de werkelijkheid goed benadert en in hoeverre de gevoeligheid van het model voor bepaalde factoren invloed heeft. Analyse van historische meetreeksen is een andere optie om inzicht te verkrijgen in mogelijke verbanden tussen landgebruik en afvoerregiem in grootschalige stroomgebieden. Maar bij deze methode is het door de complexiteit van het systeem en de hoeveelheid relevante factoren, moeilijk oorzaak-gevolg relaties aan te tonen. Toch kan door deze verschillende methoden te combineren een redelijk beeld worden gegeven van de te verwachten effecten op grote schaal. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van beschikbare literatuur over modelstudies en analyses van historische meetreeksen in de stroomgebieden van Rijn en Maas.

2.2.1 Modelstudies

Deursen *et. al.* (2005) gebruikten de waterbalansmodellen RHINEFLOW en MEUSEFLOW om de effecten van verschillende klimaat- en landgebruikscenario's op het afvoerregiem van de Rijn en Maas te testen. Uit deze modelstudie bleek dat het gesimuleerde afvoergedrag voor de run met een extreem nat klimaat en weinig ingrepen (weinig extra berging) vrijwel samenvalt met de run met hetzelfde klimaat en veel ingrepen (veel extra berging). Ook in de situatie van een extreem droog klimaatscenario wijkt de run met veel ingrepen nauwelijks af van de run met weinig ingrepen (van Deursen *et. al.*; 2005). Het is opvallend dat dit model in het geheel niet reageert op veranderingen in landgebruik terwijl het heel gevoelig is voor klimaatsveranderingen. Het is onduidelijk in hoeverre de werkelijkheid hiermee juist beschreven wordt.

Ook Pfister *et. al.* (2004) gebruikten modelstudies om effecten van veranderingen in klimaat en landgebruik te onderzoeken en komen daarbij tot vergelijkbare conclusies. Uit dit onderzoek blijkt dat in vergelijking tot het effect van klimaatsverandering, veranderingen in landgebruik over het algemeen slechts beperkt hebben op het afvoerregiem in de benedenlopen van de Rijn en Maas. De effecten van verandering in landgebruik op de frequentie van hoge afvoeren in kleinere stroomgebieden zijn meer uitgesproken, maar sterk afhankelijk van het type neerslag en van de aan de neerslag voorafgaande condities in het stroomgebied.

Landgebruik is belangrijk voor de vorming van hoogwatergolven bij zware lokale regenbuien, maar heeft minder effect tijdens grootschalige neerslag met lage intensiteit. De verandering is alleen effectief als het dominante afvoerproces op grote schaal kan worden vertraagd. Verder wordt geconcludeerd dat bij overstromingen met toenemende herhalingstijden de effectiviteit van retentie behoorlijk afneemt. Het samenvallen van de hoogwaterpieken van verschillende zijbeken wordt dan belangrijker dan de invloed van retentie (Pfister *et. al.*; 2004).

2.2.2 Analyse van historische tijdreeksen

Van Winden *et. al.* (2003) veronderstellen dat verandering in landgebruik de belangrijkste oorzaak is van de toenemende kans op overstromingen in de Rijn en Maas. Door deze veranderingen terug te draaien zou een deel van de hoogwaterproblematiek opgelost kunnen worden. Wanneer deze veronderstelling klopt zouden de veranderingen in landgebruik die in het verleden hebben plaatsgevonden en de toename in piekafvoeren moeten correleren. Er zijn een aantal onderzoeken die dit verband met behulp van bestaande meetreeksen hebben proberen aan te tonen.

Tu *et. al.* (2003) gebruiken statistische analyses van afvoergegevens van de Maas tussen 1911 en 2002 om verbanden tussen landgebruik, klimaat en afvoer aan te tonen. Zij vinden een significante toename in frequentie en grootte van piekafvoeren sinds 1980. Met behulp van topografische kaarten en satellietbeelden werden de veranderingen van landgebruik in het stroomgebied bekeken. Hieruit zou

blijken dat de meeste veranderingen in landgebruik (verandering in type bos, toename landbouw, urbanisatie) al voor 1980 plaatsvonden. Daarom wordt er geconcludeerd dat er geen duidelijk verband bestaat tussen verandering in landgebruik en toename van de piekafvoeren in de benedenloop van de Maas. Het is echter de vraag in hoeverre kaarten en satellietbeelden inzicht geven in bijvoorbeeld het gebruik van drainage maatregelen.

De statistische analyse van de meetreeksen laat wel duidelijk correlatie zien tussen het voorkomen van hoogwatergolven en de neerslag die vanaf enkele dagen voor het optreden van de piek gevallen is. Daaruit blijkt dat de toename in frequentie en grootte van hoogwater in de Maas tussen 1980 en 2000 voornamelijk kan worden toegeschreven aan klimatologische variaties.

Pfister *et. al.* (2004) Komen tot vergelijkbare resultaten. Zij concluderen dat geobserveerde verandering in klimatologische variabelen in veel gevallen kan worden geïdentificeerd als de oorzaak van waargenomen trends in hydrologische meetreeksen. Sinds 1945 is in zowel het stroomgebied van de Rijn als in dat van de Maas een significante toename in hoeveelheid en intensiteit van de neerslag in de winter waargenomen. Deze toename kan vaak worden gecorreleerd aan een verhoogde kans op overstromingen. Vanuit de historische meetreeksen blijkt geen duidelijk bewijs voor het effect van verandering in landgebruik op de frequentie en grootte van hoogwatergolven in de hoofdlopen van de Rijn en Maas. Wel heeft de kanalisering van de Maas, die sinds de 17^e eeuw plaatsvond, geleid tot een versnelde afvoer tijdens perioden met hoogwater en een vertraagde afvoer, door het inwerk stellen van stuwen, tijdens perioden met een lage waterstand (Pfister *et. al.*; 2004).

2.2.3 Onderbouwing

In de verschillende onderzoeken wordt steeds dezelfde verklaring gegeven voor het geringe waargenomen effect van verandering in landgebruik op het optreden van hoogwater in de hoofdstroom. Hoogwaterpieken op lokale schaal worden gevormd door een eenmalige kortstondige hoeveelheid neerslag met hoge intensiteit (convectieve neerslag), terwijl extreme afvoeren in de benedenloop van de rivier het gevolg zijn van langdurige neerslagperioden van lage intensiteit, verspreid over een groot deel van het stroomgebied. In het eerste geval kan de nog lege berging een deel van de piek opvangen en daarmee de afvoerpiek verlagen en verbreden. In het tweede geval is de berging in verreweg de meeste gevallen al geheel gevuld met water voordat de echte piek optreedt en zal daarom nauwelijks meer bijdragen aan het verlagen van de piek (van Deursen *et. al.*; 2005; Pfister *et. al.*; 2004; IRMA-SPONGE; 2002).

2.2.4 Conclusies stroomgebiedsschaal

Uit de literatuur blijkt dus dat natuurlijke retentie weinig bij kan dragen aan het oplossen van de hoogwaterproblematiek langs de benedenloop van de grote rivieren. Jaskula-Joustra *et. al.* (2005) stellen naar aanleiding van een seminar over kleine retentie dat doordat natuurlijke retentie per definitie autonoom (niet gestuurd) is men niet kan bepalen waanneer de extra bergingscapaciteit zich mag vullen. Autonome retentie werkt daarom alleen als probleem (wateroverlast) en oplossing (retentie) zich in hetzelfde (sub)systeem bevinden (Jaskula-Joustra *et. al.*; 2005).

De grote rivieren in Nederland kennen al een hoge bescherming. Bij gemiddelde hoogwaters zijn de bestaande dijken afdoende, alleen in extreme situaties is er kans op overstromingen. Waterbeheersmaatregelen vanuit Nederland richtten zich daarom vooral op extreme situaties. Echter, het verkleinen van de piekafvoer doormiddel van kleine retentie zal vooral gelden bij gemiddeld hoogwaters: bij extreme hoogwaters zal het effect steeds kleiner worden doordat de inhoud van de retentiereservoirs in verhouding tot het neerslagvolume geringer wordt (Jaskula-Joustra *et. al.*; 2005).

Uit waarnemingen van Willem Overmars (persoonlijke communicatie) blijkt echter dat tijdens het hoogwater in de Maas bij Maastricht van 2 en 3 januari 2003 (4^e hoogwater van de laatste 100 jaar) de retentie in een aantal van de aanvoerende zijbeken van de Maas (Holzwarche, Warche en Ambleve) nog maar nauwelijks aangesproken was. Op grond van deze waarneming zou de veronderstelling dat

hoogwater in de hoofdrivier alleen maar optreed na langdurige neerslag waardoor alle retentiecapaciteit al gevuld is, in twijfel kunnen worden getrokken.

Samenvattend kan men stellen dat uit de beschikbare literatuur weinig positieve effecten van natuurlijke berging in de middelgebergten op het voorkomen van hoogwaters in de benedenloop van de Rijn en Maas blijken. De door van Winden *et. al.* (2003) voorgestelde maatregelen zullen echter zeker geen negatieve uitwerking hebben op de hydrologie van grootschalige stroomgebieden en op lokale schaal kan natuurontwikkeling een belangrijke bijdrage leveren aan hoogwaterbescherming. Daardoor kan het nog steeds nuttig zijn de voorgestelde maatregelen toe te passen.

3 Maatregelen op de dalvlakten van zijbeken

Naast mogelijkheden met betrekking op het vergroten van de sponswerking van het gebied zien van Winden *et. al.* (2003) mogelijkheden de kans op overstromingen te verkleinen doormiddel van stromende berging op de dalvlakten van de zijbeken van de Maas. Door oevererosie toe te laten, zullen beken uit zichzelf weer gaan meanderen en ontstaat een bredere dalvlakte die bij hoge afvoeren sneller kan overstromen, waardoor de vorm van de afvoerpiek verandert. Vegetatie in de dalvlakte vergroot de weerstand waardoor de snelheid waarmee de piek zich voortplant vermindert, hierdoor zou kans dat pieken uit verschillende zijbeken samenvallen verkleind worden.

In de volgende paragraaf wordt een overzicht gegeven van bestaande literatuur over effecten van natuurontwikkeling op de dalvlakten op de vorm van de afvoerpiek. Daarna wordt in paragraaf 3.2 ingegaan op de effecten van deze maatregelen op hoogwaters in de hoofdrijver.

3.1 Effecten op de vorm van de afvoerpiek

De voortplantingssnelheid van een hoogwatergolf hangt sterk samen met de stroomsnelheid van water. Deze is ondermeer afhankelijk van de vorm van de bedding van de beek, de helling en de ruwheid. Natuurontwikkeling in de beekdalen beïnvloedt al deze factoren. Door erosie toe te staan zal de beek zich minder insnijden maar juist een brede bedding vormen, hierdoor wordt het contact met de bedding en daarmee de weerstand vergroot. Toestaan van vegetatie in de stroom vergroot de ruwheid en het herstel van meanderbochten verlengt de beek, waardoor de hellingshoek vermindert. De bijdrage van deze factoren op de uiteindelijke demping van de afvoerpiek is van de lokale situatie en van de hoogte van de afvoerpiek afhankelijk.

Bij gebeurtenissen waarbij de capaciteit van de hoofdgeul net wordt overschreden blijft de stroming over de overstromingsvlakte klein. Hoewel de stroming buiten de hoofdgeul in deze situaties sterk wordt beïnvloed door de overstromingsvlakte (grotere ruwheid) is het effect op de vorm van de afvoerpiek klein. Dit komt doordat de hoeveelheid water die wordt vertraagd op de overstromingsvlakte ten opzichte van het totale volume van de piek relatief klein is. Grotere afvoerpieken resulteren in een grotere stroming buiten de hoofdgeul, waardoor de totale afvoerpiek meer beïnvloed wordt. Echter, bij echt hoge afvoer is de stroming zo groot ten opzichte van de vertragende effecten van de overstromingsvlakte, dat deze hetzelfde gaat functioneren als de hoofdstroom. Hierdoor zal de afvoerpiek bij extreme hoogwaters weer nauwelijks beïnvloed worden door overstromingen van de dalvlakte (Naef *et. al.*; 2000).

Verder is de tijd tussen het begin van de afvoergolf en het optreden van de hoogste afvoer van belang. Bij afvoerpieken met een korte duur heeft retentie van water op de overstromingsvlakte meer invloed op de vorm van de afvoerpiek dan wanneer de piek langer aanhoudt (Naef *et. al.*; 2000). Dit komt doordat bij een korte afvoergolf een deel van de piek nog daadwerkelijk kan worden geborgen in de overstromingsvlakte, terwijl deze bij een langere golf al mee stroomt. Bij toenemende duur van de afvoergolf neemt de effectiviteit van retentie maatregelen dramatisch af en wordt het samenvallen van afvoerpieken van de verschillende zijstromen relatief veel belangrijker dan de invloed van retentie (Krahe *et. al.*, 2002).

Uit het onderzoek van Naef *et. al.* (2000) komt naar voren dat de overstromingsvlakte slechts in specifieke gevallen een gunstig effect heeft op de vorm van de afvoerpiek. Echter, er wordt in dit artikel niet ingegaan op de huidige vorm van de bedding en dalvlakte. Het zou kunnen dat door natuurontwikkeling waarbij erosie wordt toegestaan en de ruwheid wordt vergroot, de overstromingsfrequentie en de weerstand van de overstromingsvlakte kan toenemen. In dat geval zou de afvoerpiek in meer situaties kunnen worden vertraagd en verlaagd dan nu het geval is.

Kolen (1999) bepaalde met behulp van het 1-D hydraulische model SOBEK de hoogwatergevolgen voor de Geul voor zowel de huidige als een meer natuurlijke bedding. De rivier de Geul is representatief voor de rivieren die in de Ardennen op de Maas afstromen. Dit model laat zien dat na natuurontwikkeling over een lengte van 1.5 km de demping van de golf op kan lopen tot 4-12 % van de huidige afvoer (afhankelijk van de gekozen randvoorwaarden). De vertraging wordt geschat op 1.5 uur meer dan in de huidige situatie (Kolen, 1999). Deze veranderingen zijn het grootst bij een groot doorstroomoppervlak en een korte golf lengte. Bij een zeer lange golf dempt de golf niet meer als gevolg van de natuurlijke bedding, De golf wordt dan alleen nog maar vertraagd. Een langer natuurlijk ontwikkeld gebied resulteert in een lineaire toename van de vertraging. De demping zal relatief minder toenemen naarmate de afstand waarover natuurontwikkeling wordt toegestaan groter wordt (Kolen, 1999).

Helmer (1999) stelt naar aanleiding van ditzelfde onderzoek dat wanneer de verbreding zou plaatsvinden over een lengte van 4500 meter, het volume van de afvoergolf met ca. 11% afneemt. Vervolgens wordt dit vergeleken met het Nederlandse waterprobleem dat met de toegenomen maatgevende afvoer 6-7% extra moet verwerken. Er wordt echter terecht opgemerkt dat een dergelijke extrapolatie niet mogelijk is zonder dat er meer praktijkonderzoek heeft plaatsgevonden en de effecten van stromende berging met verbeterde modellen beter kunnen worden berekend (Helmer, 1999).

3.2 Effecten op hoogwater in de hoofdriever

Stromende berging in de dalvlakten van zijbeken van de Maas kan de hoogwatergolf uit de beek verlagen en vertragen. Deze effecten nemen echter af naarmate de afvoergolf hoger is en langer duurt. In echt extreme situaties zal deze maatregel daarom lokaal weinig bijdragen aan het hoogwater probleem. Toch zou natuurontwikkeling langs de zijbeken een positief effect kunnen hebben op de kans op overstroming in de hoofdriever. Dit komt doordat extreem hoogwater op de Maas wordt veroorzaakt door het gelijktijdig optreden van hoge maar niet noodzakelijk extreme afvoeren in veel zijbeken van de Maas. De hoogte van deze minder extreme afvoergolven zouden door inundatie van de overstromingsvlakten nog wel kunnen afnemen waardoor ook de uiteindelijke piek in de Maas minder hoog uitvalt.

Daarnaast kan het vertragen van afvoeren uit de verschillende zijstromen de kans dat verschillende pieken op hetzelfde moment in de Maas aankomen verkleinen. Het vertragende effect van stromende berging blijft namelijk ook werken onder extreme omstandigheden (Kolen, 1999). Het is onverstandig deze maatregelen toe te passen op beken die snel reageren, deze kunnen beter voor de piek hun water al kwijt zijn om te voorkomen dat ze samenvallen met langzamer reagerende gebieden. De Vesdre is een voorbeeld van een zijbeek die over het algemeen zeer snel reageert, doordat in dit stroomgebied nauwelijks dalvlaktes voorkomen, versnellen van de afvoer zou hier verstandiger zijn dan vertragen (Overmars, persoonlijke communicatie). Vooral wanneer natuurlijke berging op de dalvlaktes wordt toegepast van beken die relatief langzaam op neerslag reageren kan een vergrote spreiding de kans van samenvallen verlagen.

De volgorde van afvoer hangt af van verschillen tussen de verschillende deelstroomgebieden (geologie, bodem, topografische ligging, reliëf, landgebruik etc.) en verschillen in neerslagverdeling. Het neerslagpatroon verschilt per hoogwater, en hierdoor zullen er variaties in volgorde van afvoer optreden, maar met nauwkeurige analyse van hoogwatergolven uit het verleden is het misschien mogelijk vast te stellen welke zijbeken meestal vroeg reageren en welke pas later in de golf bijdragen. Goede kennis van het stroomgebied en beschikking over nauwkeurige (uurwaarden) meetgegevens is hierbij noodzakelijk.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Uit literatuurstudie blijkt dat het vasthouden van water op de plateaus en in de haarvaten in de Ardennen voornamelijk lokaal een gunstig effect kan hebben op de overstromingsrisico's. Het nut voor het Nederlandse waterbeheer is echter twijfelachtig doordat hoogwaters langs de benedenloop van de Maas meestal ontstaan na een langdurige periode van neerslag, waarbij de natuurlijke bergingsmogelijkheden al voor het optreden van de piek gevuld zullen zijn.

Extreem hoogwater in de benedenlopen van de rivier is samengesteld uit verschillende hoogwatergolven uit de verschillende zijbeken. Dit zijn vaak voor de afzonderlijke beken geen extreme gebeurtenissen, maar doordat ze in het hele gebied tegelijk optreden zorgen ze benedenstrooms toch voor problemen. Het samenvallen van de hoogwaterpieken van verschillende zijbeken wordt dan belangrijker dan de invloed van retentie. Dit betekent dat voor de bescherming van gebieden langs de hoofdloop van de rivier maatregelen op de dalbodems zoals wordt voorgesteld door van Winden *et al.* (2003) nuttiger zouden kunnen zijn dan de voorgestelde maatregelen op de plateaus. Deze maatregelen moeten dan in eerste instantie alleen worden toegepast op de gebieden die meestal in de afbouwfase van de piek tot afvoer komen

Verandering in landgebruik werkt gunstig voor extreme situaties op lokale schaal, maar heeft weinig effect op extreme situaties in de hoofdriever. Stromende berging in de dalbodems van de zijbeken heeft juist in extreme situaties op lokale schaal weinig effect (omdat de piek dan alleen verder vertraagd wordt en niet in hoogte afneemt), maar kan voor de hoofdloop van de rivier een gunstige uitwerking hebben. Dit maakt dat een combinatie van de voorgestelde maatregelen op alle schaalniveaus een gunstige uitwerking kan hebben.

4.2 Aanbevelingen

- Toepassen van natuurlijke berging in de middelgebergten heeft een gunstige uitwerking op lokale overstromingsrisico's. Daarnaast kunnen gebieden waar dit gedaan wordt dienen als onderzoeksmateriaal om meer inzicht te krijgen in de effecten van natuurontwikkeling op het optreden van hoogwatergolven op stroomgebiedschaal.
- Veldwaarnemingen van Willem Overmars geven een ander beeld over het ontstaan van een hoogwater in de Maas als de literatuur (paragraaf 2.2.4). Een statistische analyse van veldmetingen (oppervlakte water standen in de hoofdstroom, zijbeken en op de dalvlakten en grondwater in de dalvlakten en hoger gelegen delen) zou kunnen bijdragen aan een beter begrip van de processen die tot een hoogwater leiden. Met behulp van deze metingen kan bekeken worden of de bodem, zoals de theorie verwacht, inderdaad verzadigd is op het moment dat er een hoogwater in de benedenloop van de rivier optreedt.
- Door gedetailleerde analyse van de afvoerpieken uit de verschillende zijbeken kan inzicht worden verkregen in de volgorde waarin de verschillende deelstroomgebieden meestal tot afvoer komen. Hiermee kan worden bepaald in welke deelstroomgebieden stromende berging op de dalvlakten het meest zinvol is om de kans op samenvallen van de pieken uit verschillende deelstroomgebieden te verkleinen.
- Veldmetingen naar effecten van stromende berging op de dalvlaktes kan betere kwantificering van demping van de piek mogelijk maken.
- In de literatuur bestaat onduidelijkheid over de aard van de terreingesteldheid in de dalvlakten. De topografie en type begroeiing van de dalvlaktes heeft grote invloed op de manier waarop een afvoergolf zich voortplant. Om resultaten van verschillende onderzoeken te kunnen vergelijken is er behoefte aan een betere beschrijving van de verschillende ruimtelijke configuraties van dalvlaktes en hun effecten op de doorstroming en retentie bij verschillende waterstanden.

Literatuur

- van Deursen, W., Middelkoop, H., Kwadijk, J., Grenzen aan de werking van bovenstroomse berging. *H₂O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer*, 5, 2005.
- Iritz, L., Johansson, B., Lundin, L., Impacts of forest drainage on floods. *Hydrological Sciences*, 39: 637-661, 1994.
- Jaskula-Joustra, A., Mioduszewski, W., Plaza, W. en van Bakel, J., Kleine retentie: ja, maar..... *H₂O Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer*, 2: 37-39, 2005.
- Krahe, P., Herpertz, D., Buiteveld, H., Busch, N., Engel, H., Helbig, A., Naef, F., en Wilke, K., Development of methodologies for the analyses of the efficiency of flood reduction measures in the Rhine Basin on the basis of reference floods (DEFLOOD). 2002.
- Helmer, W. Natuurlijke veiligheid. Visie op de Rijntakken in het perspectief van stromende berging. Staatsbosbeheer en Wereld Natuur Fonds, 1999.
- Kolon, B. Stromende Berging. Afstudeerverslag universiteit Twente, 1999.
- Ledger, D.C. en Harper, E., The hydrology of a drained, afforested peat bog in southern Scotland, 1977-1986. *Earth Sciences*, 78, 297-303, 1987.
- Naef, F., Kull, D. en Thoma, C., How do floodplains influence the discharge of extreme floods? PIK Report nr. 65, European conference on advances in flood research. 644- 652, 2000.
- Pfister, L., Kwadijk, J., Musy, A., Bronstert, A. en Hoffman, L., Climate change, land use change and runoff prediction in the Rhine-Meuse basins. *River research and applications* 20, 229-241, 2004.
- Robinson, M., Ryder, E.L. en Ward, R.C., Influence on streamflow of field drainage in a small agricultural catchment. *Agricultural water management*, 10: 145-158, 1985.
- Robinson, M., Changes in catchment runoff following drainage and afforestation. *Journal of Hydrology*, 86: 71-84, 1986.
- Tu, M., Hall, M.J., de Laat, P.J.M. en de Wit, M.J.M., Extreme floods in the Meuse basin over the past century: aggravated by land-use change? *Proceedings NCR-days* 37-39, 2003.
- van Winden, A., Overmars, W. en Braakhekke, W., Bergen bij de bron; Natuurlijke waterberging in de middelgebergten in het stroomgebied van Maas en Rijn. 2003.
- IRMA-SPONGE Project 8. Evaluation of floodplain management strategies: the added value of wetlands. Draft Executive Summary for discussion, 14 January 2002 (auteur onbekend).