

Natuurlijke waterberging in de middelgebergten
in het stroomgebied van Maas en Rijn

Bergen bij de bron

Minder wateroverlast bij hoog water
Meer water in droge tijden

Alphons van Winden
Willem Overmars
Wim Braakhekke

Alphons van Winden
Willem Overmars
Wim Braakhekke

Bergen bij de bron

NATUURLIJKE WATERBERGING IN DE MIDDELGEBERGTE
IN HET STROOMGEBIED VAN MAAS EN RIJN

Minder wateroverlast bij hoog water
Meer water in droge tijden



Stroming BV
augustus 2003

IN OPDRACHT VAN:
Stichting Ark met steun van de Nationale Postcode Loterij
Wereld Natuur Fonds

STICHTING **ARK**


NATIONALE
POSTCODE
LOTERIJ



Samenvatting en leeswijzer

De beelden van sterk aangezwollen rivieren en de overstromingen die zij veroorzaken overspoelen letterlijk en figuurlijk de nieuwsberichten en actualiteitenrubrieken. Geen land in Europa blijft gespaard en de kosten aan materiële en immateriële schade lopen hoog op. Het probleem is duidelijk: de rivieren krijgen veel te veel water te verwerken, maar een oplossing om deze vloedgolven te beteugelen is er nog niet. De grenzen van het huidige systeem van hoogwaterbestrijding zijn namelijk bereikt. Overal waar dat kon zijn de rivieren al rechtgetrokken en verbreed om de waterafvoer te versnellen, een nieuwe ronde van dijk aanleg en dijkverhoging verschuift de problemen naar benedenstrooms en voor de aanleg van grootschalige retentiegebieden is nauwelijks ruimte in de dichtbevolkte rivierdalen en waar ze gepland worden is de weerstand onder de bevolking groot.

Ondanks dat de problematiek de grenzen van de meeste landen overschrijdt, probeert ieder land toch vooral binnen de eigen landsgrenzen te zoeken naar een antwoord op de problemen. De oplossingen die daar gevonden worden zijn er vooral op gericht om de schade op één plaats te beperken, maar lossen de problemen zeker niet op. In Nederland worden de dijken verhoogd en noodoverloopgebieden aangegeven en in het buitenland zoekt men verwoed naar locaties voor retentiegebieden. Veel van deze projecten zijn zo grootschalig dat de weerstand onder de bewoners groot is.

Ondanks dat in het Europese beleid is vastgelegd dat de problemen in het vervolg op stroomgebiedniveau moeten worden opgelost wordt grensoverschrijdend onderzoek naar de beste mogelijkheden binnen het stroomgebied om de wateroverlast te beperken niet of nauwelijks uitgevoerd. In opdracht van het Wereld Natuur Fonds en Stichting Ark hebben wij een analyse gemaakt van de stroomgebieden van de Rijn en de Maas en gezocht naar ruimte om het water te bergen zo dicht mogelijk bij de plaatsen waar het valt. Dit zijn de middelgebergten zoals de Ardennen, de Eifel, de Vogezen en het Zwarte Woud.

De principes van het vasthouden en bergen van water in het stroomgebied zijn eerder beschreven in de WNF brochure *Bergen van water* (2000). Deze studie is een verdere uitwerking van de hoofdstukken 2 (bergen in de bergen) en 3 (bergen in de dalen) uit dat rapport.

Uit onze studie blijkt dat er wel degelijk ruimte is en dat de kans groot is dat hier een aanzienlijk deel van de oplossing ligt. Voor het toepassen van de vereiste maatregelen zijn lokaal veranderingen in het grondgebruik noodzakelijk. Deze veranderingen komen niet alleen de hoogwaterbescherming ten goede, maar bieden ook voordelen voor andere functies van het ruimtelijk gebied, zoals recreatie, drinkwaterwinning, scheepvaart, natuur en landbouw.

In het eerste hoofdstuk wordt de problematiek waar het rivierbeheer mee kampt nader toegelicht en is de gevolgde werkwijze beschreven. In hoofdstuk 2 en 3 volgt de analyse van onze bevindingen in het stroomgebied en van de weersituaties waarbij hoogwater op de rivieren ontstaat. In hoofdstuk 4 worden de verschillende oplossingen gepresenteerd, waarvan het langer vasthouden van water in de haarvaten nader wordt beschreven in hoofdstuk 5 en het stromend bergen van water op de dalvlakten in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 worden de oplossingen toegepast op stroomgebiedniveau, waarbij de Maas als voorbeeld is gekozen.

In het laatste hoofdstuk is beschreven hoe andere gebruiksfuncties in het landelijk gebied meeprofiteren van de nieuwe aanpak van de bestrijding van hoogwater.

Inhoudsopgave

1 Water te veel, water te weinig

Probleemstelling 7

Werkwijze 8

2 Op zoek naar de herkomst van het water: de middelgebergten

Inleiding 11

2.1 De opbouw van de middelgebergten en hun rol voor waterberging 11

2.2 De invloed van de mens op het landschap en de beken en rivieren 17

2.3 Samenvattend 25

3 Het weer waarbij hoogwaters tot stand komen

Inleiding 27

3.1 Depressies, bewolking en regen 27

3.2 Neerslagrijke weersituaties 27

3.3 Extreme neerslagsituaties in het stroomgebied van Rijn en Maas 31

3.4 De invloed van sneeuw en een bevroren ondergrond. 31

3.5 Hoogwater en een natter klimaat 33

3.6 De invloed van het weer op de vorm van hoogwatergolven 34

3.7 Het ritme van de zijrivieren 38

3.8 De invloed van stuwen op de voortplanting van afvoergolven 41

3.9 Samenvatting 42

4 Mogelijkheden voor het vasthouden en bergen van water

Inleiding 45

4.1 Oplossingen op de plateaus en in de haarvaten 45

4.2 Oplossingen langs de zijbeken 46

4.3 Oplossingen langs de hoofdstroom (niet nader beschreven in dit rapport) 46

5 Sponzen en venen, de eerste klap is een daalder waard

Inleiding 47

5.1 Hoe de sponswerking van de middelgebergten te vergroten 49

5.2 Waar is actie mogelijk: referentiegebieden 52

5.3 Kwantificering 53

6 Stromende berging in de toevoerende zijbeken

Inleiding 55

6.1 Vertrouwen in beekprocessen 55

6.2 De vrije Worm 55

6.3 De vrije geul 58

6.4 Beekdalen als retentiegebieden 60

6.5 Kwantificering 60

7 Waterberging op stroomgebiedsniveau

Inleiding 65

7.1 Water langer vasthouden in het stroomgebied 65

7.2 De invloed van waterstandverlagende maatregelen op de waterafvoer 71

7.3 Kwantificering van de afvoervermindering van een hoogwatergolf 74

8 Van theorie naar praktijk: partnerships

Inleiding 77

8.1 Landbouw 77

8.2 Drinkwaterbeheer als partner 82

8.3 Scheepvaart als partner 82

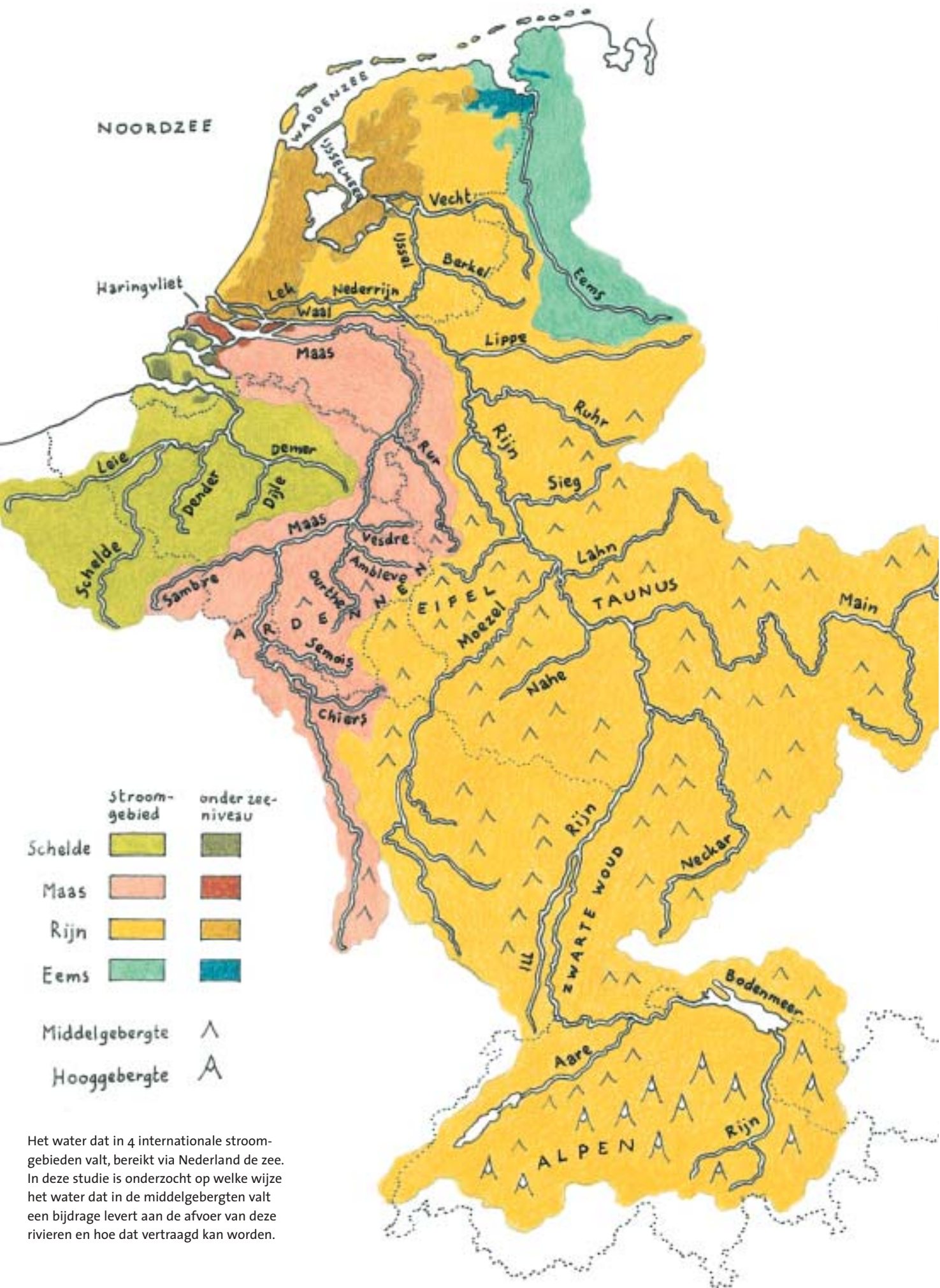
8.4 Industrie als partner 83

8.5 Natuurbeheer als partner 83

8.6 Recreatie en toerisme als partners 84

8.7 Uitvoering: geen eindplanning, maar starten met een proces 85

8.8 Uitvoering: voorbeeldgebieden in de verschillende zones 86



Het water dat in 4 internationale stroomgebieden valt, bereikt via Nederland de zee. In deze studie is onderzocht op welke wijze het water dat in de middelgebergten valt een bijdrage levert aan de afvoer van deze rivieren en hoe dat vertraagd kan worden.

1 Water te veel, water te weinig

In de winter is er in veel rivieren en beken vaak teveel water en 's zomers te weinig. Teveel water betekent dat er overstromingsgevaar dreigt en dat op de rivieren de scheepvaart stil komt te liggen. Hoogwater is spectaculair en de beelden halen vaak het nieuws; laagwater is een minder bekend fenomeen, maar levert ook bijna iedere zomer problemen op. Te weinig water heeft tot gevolg dat de inname van water voor consumptie en irrigatie in het gedrang komt. Voor het westen van Nederland komt daar nog bij dat zilt zeewater vanuit de Noordzee ver het land in kan dringen en het doorspoelen van polders niet meer mogelijk is. Op de Rijn kunnen grotere schepen dan slechts half beladen varen en in de gestuwde Maas neemt de kwaliteit van het water zo sterk af dat sterfte van waterorganismen optreedt en er geen drinkwater meer kan worden gewonnen.

Om het hoogwatergevaar op de Rijn af te wenden moet er 's winters tot 1000 m³/sec gedurende enkele dagen in het stroomgebied worden opgehouden. Voor de Maas bedraagt dit volume ca 300 m³/sec. Een natter klimaat betekent dat deze waarden met een factor 3 kunnen toenemen. In de zomer zijn we bij de Rijn geholpen met een extra toevoer van ca. 250 m³/sec gedurende de droogste perioden, als de afvoer onder de 1000 m³/sec daalt. Voor de Maas is 25 m³/sec al voldoende, bij afvoeren onder de 25 m³/sec.

PROBLEEMSTELLING

Wanneer het stroomgebied wordt vergeleken met een spons, dan is die spons nu te klein. 's Winters is hij daarom snel vol en dan loopt het regen- en smeltwater er 'overheen', waardoor de afvoer in de rivieren sterk toeneemt. In het voorjaar loopt de spons snel leeg waardoor er in de zomer te weinig water over is om de rivieren voldoende te voeden. In de gematigde klimaatzone met zijn uitbundige plantengroei en goed ontwikkelde bodems is de capaciteit van een stroomgebied om water vast te houden van nature groot. Door veranderingen in landgebruik, het ontwateren van hoogvenen en het draineren van de beekdalbodems is deze sponswerking in vrijwel alle stroomgebieden sterk afgenomen. Om overstromingsgevaar, dat het gevolg is van het alsnog sneller aangevoerde water, af te wenden, werden vervolgens tal van ingrepen gepleegd in de beken en rivieren om het water nog sneller af te voeren. De bouw van dijken en dammen en het verbreden, rechttrekken en verdiepen van beken en rivieren hadden alle tot gevolg dat de afvoer werd versneld en dat de pieken benedenstrooms alsnog hoger werden. Steeds weer was de vraag 'hoe raken we dit water zo snel mogelijke kwijt' en zelden heeft iemand zich afgevraagd 'hoe zorgen we er voor dat die grote hoeveelheid water niet komt'. Door het stroomgebied in te richten op een snelle afvoer en doorvoer van grote hoeveelheden water, nam de bergingscapaciteit zo sterk af, dat er in droge tijden vrijwel geen water meer over

was en de beken en rivieren uitdroogden. Veel water en weinig water zijn dus twee kanten van dezelfde medaille.

Ondertussen namen ook de investeringen in de rivierdalen toe. Mensen hebben langs de rivieren altijd de grenzen van het systeem opgezocht: de huizen en bedrijven daar gebouwd waar ze bij hoogwater net niet overstromen, de dijken zodanig aangelegd dat het water nog net in de rivierbedding past. Dat betekent dat de rek klein is en de kans groot dat het een keer mis gaat. Ook zijn onze normen veranderd. Accepteerde men bijvoorbeeld langs de Maas vroeger nog eens in de 50 of 75 jaar een overstroming, tegenwoordig is de materiele schade zo groot, dat kosten nog moeite worden gespaard om de overstromingskans te verkleinen. We eisen nu allemaal het maximale veiligheidsniveau.

Sinds de laatste keer dat er overstromingen optraden en dijken dreigden te bezwijken, in 1993 en 1995, zijn we in Nederland daarom voortvarend op zoek gegaan naar oplossingen voor het hoogwaterprobleem. In Nederland zijn de mogelijkheden daarvoor beperkt. We kunnen voor de zoveelste maal de dijken verhogen, de rivierbeddingen verbreden en verdiepen of in de schaarse ruimte die er is retentiegebieden aanwijzen. Maar als de watermassa's blijven toenemen, dan houdt het eens op. De mogelijkheden om de oplossing elders te zoeken, buiten onze grenzen, in de middelgebergten waar het meeste water vandaan komt, werd nog niet serieus onderzocht. Met kwalificaties als 'te steil', 'het water loopt er zo van de bergen af', 'diepe, nauwe dalen zonder ruimte' werd dit gebied afgedaan. Maar is dat wel terecht? Er is altijd gezegd dat ingrepen, zoals ontbossing, verstedelijking, rechttrekken van beken etc. de hoogwaterproblematiek hebben verergerd. Dan zou je zeggen dat de omgekeerde maatregelen tot een vermindering van de problematiek zouden moeten leiden..... Stel nu eens voor dat er in de middelgebergten wel ruimte is. Het gaat om grote, relatief dun bevolkte gebieden. De grondprijs is er laag en het landgebruik staat er aan de vooravond van een nieuwe revolutie. Het is de moeite waard om er eens te gaan kijken.

WERKWIJZE

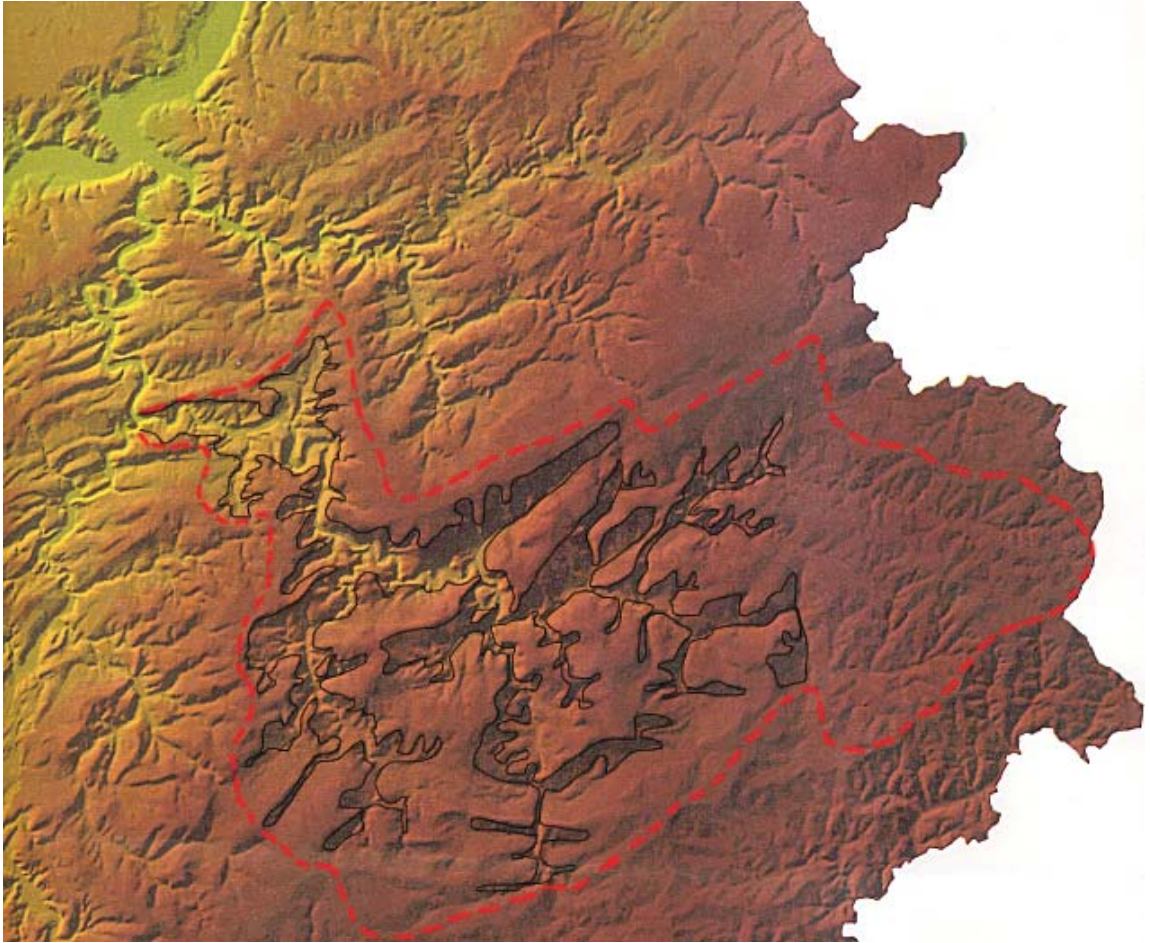
In het kader van deze verkennende studie is een groot aantal studietochten gemaakt door de middelgebergten in de ons omringende landen. Aan de hand van topografische kaarten zijn tientallen beken en beekjes bezocht; van de smalste haarvaten, boven op de plateaus tot aan de grote zijrivieren van de Rijn. De bezoeken vielen soms samen met perioden van extreme regenval en hoogwater, zodat een goed beeld ontstond van de wijze waarop de beken reageren op deze situaties. Uitvoerig onderzocht werden de volgende beken en rivieren:

- Ardennen: Amblève (Amel)*, Ourthe, Salm, Geul*, Worm*, Lienne*, Viroin en Vesdre
- Eifel: Kyll en Prum
- Rothaargebirge: Lenne en Ruhr
- Zwarte Woud: Kinzig*, Wutach*, Rotbach*, Wiese* en Boven-Neckar
- Vogezen: Nied en delen van de Moezel
- Alpen: Sense, delen van de Rijn en Bodensee
- Duitsland overig: Midden-Fulda*, Boven Rijn*, Boven Main*
- Frankrijk: Boven Maas* en Chiers.

*In de met een * gemarkeerde stroomgebieden werd contact gezocht met lokale of regionale waterbeheerders.*

Via Franse, Belgische, Zwitserse, Nederlandse en vooral Duitse internetsites kon in de loop der jaren van een steeds groter aantal beken en rivieren actuele en historische afvoergegevens verzameld worden. Hiermee werd een goed beeld gevormd van het verloop van hoogwatergolven in de kleine waterlopen en de wijze waarop zij samen een hoogwatergolf opbouwen in de Rijn of de Maas. Door het koppelen van de afvoergegevens aan dagelijkse neerslaggegevens (ook via internet) was het mogelijk de hoeveelheid neerslagwater te bepalen die in een zekere tijdseenheid door de beken werd afgevoerd.

Veranderingen in landgebruik werden bepaald aan de hand van historische kaarten. Historische afvoergegevens van de Rijn en de Maas waren beschikbaar in rapporten van het RIZA, Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium. In de analyses is de Amblève, als representatief deelstroomgebied voor de zijbeken van de Maas, het meest uitgewerkt en als voorbeeld gebruikt.



FIGUUR 2.1 Kaartuitsnede van de reliëfkaart van het stroomgebied van de Amblève. De rand waar het plateau overgaat in de steilere dalwanden is geaccentueerd.
Bron: Nationaal Geografisch Instituut België.

2 Op zoek naar de herkomst van het water: de middelgebergten

INLEIDING

De Europese middelgebergten -voor de Maas de Ardennen en voor de Rijn o.a. de Eifel, de Vogezen, het Zwarte Woud, het Sauerland en de Hunsrück- leveren een belangrijke bijdrage aan de waterafvoer van de Rijn en de Maas. Met name in de winter, in perioden met sterke regenval, zijn deze gebieden verantwoordelijk voor de extreme afvoerpieken. In de zomer droogt deze aanvoer bijna helemaal op en is het hooggebergte (de Alpen) de enige substantiële leverancier van water, waar de Rijn wel van profiteert en de Maas niet. De afvoer van de Maas valt daarom in de zomer vaak terug tot minder dan 50 m³/sec. De Rijn komt zelden onder de 1000 m³/sec, waaraan de Alpen dan voor ca. 75% bijdragen. Deze bijdrage zal door het afsmelten van de gletsjers in de toekomst kleiner worden.

Omdat het meeste water uit de middelgebergten afkomstig komt, zou hiér ook gezocht moeten worden naar mogelijkheden voor het verminderen van het hoogwater. Om de potenties van de middelgebergten in te kunnen schatten is een goed begrip vereist van deze gebieden: hoe ze zijn opgebouwd, welke veranderingen er in het landgebruik zijn opgetreden en wat er nu precies gebeurt als er veel regen valt.

2.1 DE OPBOUW VAN DE MIDDELGEBERGTE EN HUN ROL VOOR WATERBERGING

Ondanks het feit dat de middelgebergten ieder hun eigen karakteristieke eigenschappen hebben, tonen zij ook een gemeenschappelijke kenmerkende opbouw. De hoogste delen bestaan uit lichtgolvende plateaus, waar de beken zich in hebben ingesneden met meer of minder steile hellingen en een vlakke dalbodem van uiteenlopende breedte. Op een reliëfkaart van het stroomgebied van de Amblève (figuur 2.1) is de opbouw van de Ardennen goed te zien. De plateaus nemen hier ca 70 % van het oppervlak in, de steile dalwanden 27% en de vlakke beekdalbodems 3%. Een ruwe inschatting van andere deelstroomgebieden in de Ardennen en de Duitse middelgebergten geeft eenzelfde beeld.

Het beeld van de middelgebergten dat tot nu toe overheerst is dat er veel steile hellingen zouden zijn en rotsige bodems, waarin weinig of geen water geborgen kan worden. Tijdens regenval zou het water er dan ook gewoon van de hellingen aflopen. Is het water eenmaal in een beek aangekomen, dan ontbreekt – nog steeds volgens deze redenering – ook daar de ruimte om water enige tijd op te houden omdat de beekdalen een v-vormig profiel hebben. Het bovenstaande beeld berust evenwel op een misverstand. Een verkenning van deze gebergten laat zien dat deze situatie wel voorkomt, maar op beperkte schaal. Toevallig liggen in zulke gebieden veel bekende toeristenplaatsjes zoals Monschau, Bouillon en La Roche, waar we allemaal wel eens op vakantie zijn geweest. Maar grote delen zien er totaal anders uit. Dat wordt hier-



De opbouw van de meeste West Europese middelgebergten: een uitgestrekte hoogvlakte, waar de dalen (diep) zijn ingesneden.

na beschreven, in een geomorfologisch perspectief – niet alleen omdat het interessant is om te weten hoe deze middelgebergten in het verleden ontstonden, maar vooral ook omdat de processen die hieraan een bijdrage leverden dat ook nu nog steeds doen. Daarmee moet dus terdege rekening worden gehouden als de ambitie is een duurzame oplossing te vinden voor het bergen van water.

Vorming van de middelgebergten

De Duitse, Franse en Belgische middelgebergten zijn alle in de laatste 15 miljoen jaar ontstaan. Voor die tijd was het een vrijwel vlak gebied dat bijna nergens hoger lag dan enkele tientallen meters boven de zeespiegel. Alleen het Zwarte Woud en de Vogezen vormden samen een oud afgesleten gebergte, waarvan de toppen waarschijnlijk nog een paar honderd meter hoog waren. Vanaf 15 miljoen jaar geleden is het gebied zich langzaam gaan opheffen als gevolg van geologische krachten in de ondergrond. In de laatste 3 miljoen jaar heeft dit proces zich versneld. Delen van het gebied stijgen nu zelfs opvallend snel, zoals het centrale deel van de Ardennen, dat met 15 cm per eeuw omhoog komt.

Doordat de hoogteverschillen toenamen, nam ook het verval in de rivieren en beken toe. De transportcapaciteit van het water en de erosieve kracht ervan werd groter. Vanaf de erosiebasis, aan de rand van het nieuwe gebergte, begon de rivier zich stroomopwaarts terugschrijdend in te snijden. De grote rivieren, zoals de Maas, Rijn, Moezel en Main en de benedenlopen van de grotere zijbeken daarvan zoals de Ourthe, de Amblève, de Semois, de Saar, de Neckar etc hielden de stijgsnelheid van de gebergtes makkelijk bij en sneden zich diep in het gebergte in. Veelal hadden deze rivieren en beken nog voldoende erosieve kracht over om zich ook zijdelings in te snijden, zodat er meer of minder brede dalvlaktes ontstonden. Binnen deze vlaktes hebben de beken en rivieren de ruimte om te meanderen en zetten zij zand, grind en klei af dat ze later weer eroderen en verder transporteren.

De kleinere zijbeken van bovengenoemde rivieren en beken hebben minder erosieve kracht en kunnen de stijging van de bodem daarom slechts gedeeltelijk volgen. Het verhang is daarom veel groter en alle erosieve kracht wordt door deze beken gebruikt om zich in de diepte in te snijden. Er ontstaan in deze beektrajecten daardoor v-vormige dalen, waar de beek nauwelijks dalvlakten in heeft ontwikkeld.



FIGUUR 2.2 De karakteristieke opbouw van een stroomgebied in het middelgebergte: benedenstrooms diep ingesneden dalen met een brede dalvlakte, daarboven diep ingesneden v-vormige dalen en geheel bovenstrooms op de plateaus ondiepe, weidse dalen (de haarvaten).

Nog dieper het gebergte in is de terugschrijdende erosie nog niet in de beekdalen doorgedrongen. Het dal, waar de beek in ligt, stijgt daar door de gebergtevorming net zo snel als het omliggende land. Het landschap heeft daar het karakter van een plateau met brede weidse dalen. Op de reliëfkaart van het stroomgebied van de Amblève (figuur 2.1) is duidelijk te zien hoe de beken zich vanaf de erosiebasis langs de Maas (linksboven) ingesneden hebben in het plateau.

De opeenvolging van diep ingesneden beken met brede dalvlaktes benedenstrooms, via v-vormige dalen naar weidse ondiepe dalen bovenstrooms is niet overal even duidelijk. Zo kan het soort gesteente dat in het dal aan de oppervlakte ligt dit beeld verstoren. In zachte gesteentes (kalk en mergel) kan de beek zich snel insnijden en ontstaan relatief snel brede dalvlaktes, terwijl in harde gesteentes, de beek alle kracht moet aanwenden om zich in te snijden. Een mooi voorbeeld hiervan is de Ourthe, die tussen Hotton en Durbuy in de zachte Carbonische kalksteen weidse dalvlaktes heeft gevormd en stroomafwaarts daarvan in de veel hardere zandsteen slechts een smal dal heeft.

In de Vogezen en het Zwarte Woud zijn er ook dalen die door schuivende gletsjers zijn ontstaan tijdens een van de laatste ijstijden. Deze dalen zijn ook breed en liggen in het bovenstroomse deel van de gebergten. Benedenstrooms, waar het ijs niet is geweest, wordt het dal dan smal en v-vormig.

De drie verschillende
daltypen langs de Ourthe:
BOVEN ondiep en weids
op het plateau,
MIDDEN v-vormig in het
middentraject en
ONDER benedenstrooms
met brede dalvlakte





In de middelgebergten ligt onder de meer of minder dikke bodemlaag altijd de rotsige ondergrond, waar overheen het grootste deel van het regenwater afstroomt naar het dal.

Rol middelgebergtes voor de waterberging

De opbouw van het middelgebergte met z'n hierboven genoemde opeenvolging in daltypen speelt een belangrijke rol bij de waterberging en de tijd die het water onderweg is door het gebergte. Regen- of smeltwater kan via 3 wegen het gebergte uitstromen:

Oppervlakkige afstroming

In het overwegend glooiende landschap van de Middelgebergten treedt de rotsige ondergrond vrijwel nergens aan de oppervlakte. Bijna overal ligt er een bodemlaag op, waarin het water in door kan dringen. Oppervlakkige afstroming over de hellingen of de sporen daarvan zijn door ons nooit waargenomen. Buiten de verstedelijkte gebieden treedt dit vrijwel niet op. De hellingen zijn daar niet steil genoeg voor en als het al gebeurt, dan is het in de zomer, tijdens felle onweersbuien, waarbij 1 tot 2 centimeter regen per kwartier valt. In de winter dringt de gevallen neerslag (vrijwel nooit meer dan 0,4 cm per uur) dan ook altijd in de bodem, behalve als de bodem bevroren is.

Afstroming door de bodem

Op een zekere diepte, vaak al na enkele decimeters, stuit het water in de middelgebergten op een rotsige ondergrond. Over deze harde laag stroomt het water af naar de laagste delen, waar zich de beekdalen bevinden. Omdat de hellingbodems uit grof materiaal bestaat (zand en keien) is de stroomsnelheid van het bodemwater hoog (tot tientallen meters per dag) en omdat de hellingen zelden langer zijn dan 500 meter*, is een groot deel van het water niet langer dan een week onderweg. De reistijd van het water is, behalve van de doorlaatbaarheid van de bodem, ook afhankelijk van de dikte van de bodemlaag en de vegetatie die er op groeit.

(* Deze afstand is gebaseerd op de berekening van de gemiddelde dallengte in het stroomgebied van de Amblève; deze bedraagt gemiddeld 1,1 km per km².)

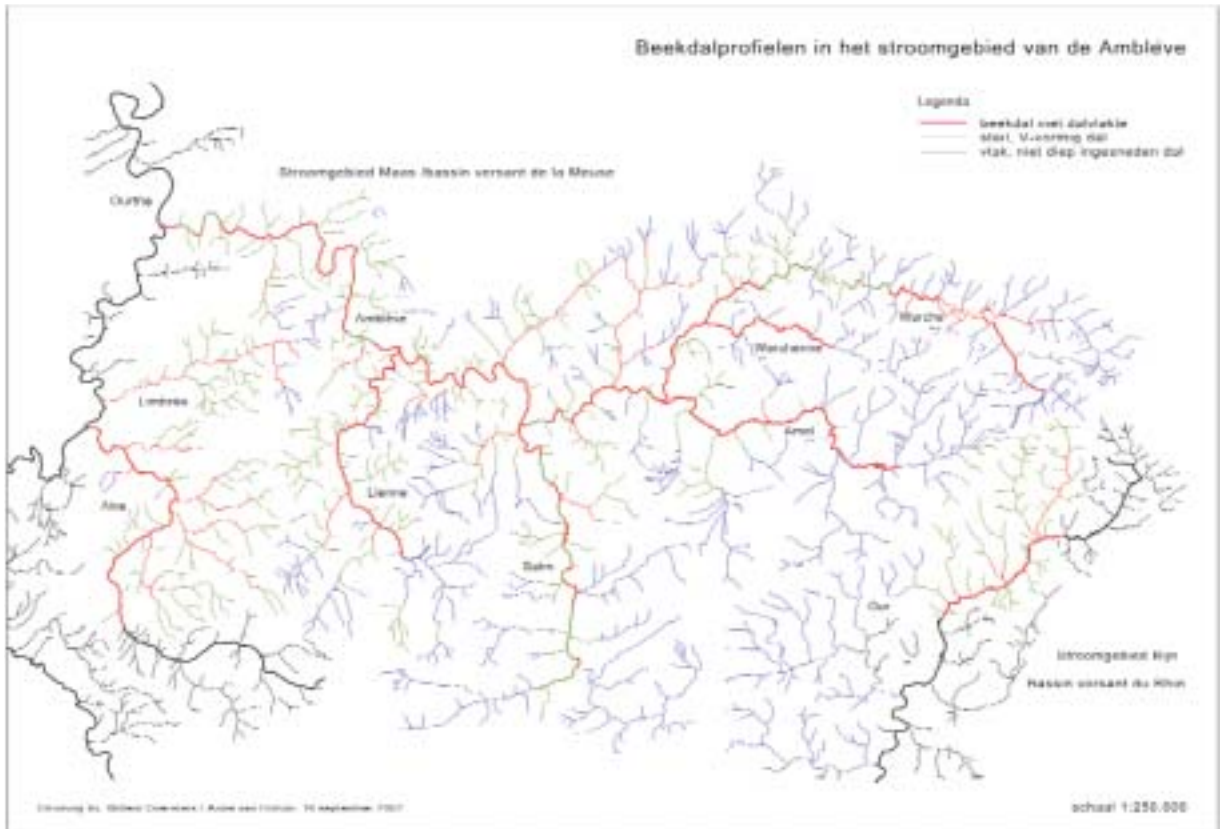


FIGUUR 2.3 Het meeste neerslagwater bereikt de beekdalen door via de bodem (*blauwe pijlen*) af te stromen over de rotsige ondergrond (*grijsbruine ondergrond*). In het dal voedt het een uitgestrekt stelsel van moerasjes, waardoor het water naar de beek stroomt. In de droge situatie (*boven*) droogt deze spons langzaam uit.

Afstroming via het diepe grondwater

De rotsige ondergrond van de middelgebergten is niet geheel ondoorlatend. Zelfs in de hardste gesteenten zijn er nog breuken en spleten waar een (klein) deel van het water in wegzakt. Dit water is vervolgens zeer lang onderweg en stroomt geheel ondergronds het gebergte uit of treedt uit in bronnen. Met name in kalkgesteenten zijn er veel breuken en spleten, die door karstwerking zo breed zijn geworden dat ze veel water kunnen transporteren. De hoeveelheid water die in deze gesteenten wegzakt is dan ook groter (5 tot 10%) dan in gebergten die uit leisteen of zandsteen bestaan (hooguit enkele procenten).

Van de drie bovengenoemde wegen waarlangs het water afstroomt is de route via het bodemwater verreweg de belangrijkste. Dit water stroomt omlaag tot in het laagste punt, het dal. In de dalbodem aangekomen welt het bodemwater in kwelzones op en stroomt oppervlakkig af naar de beek (figuur 2.3). Met name in de brede dalen op de plateaus, waar zich de haarvaten van het stroomgebied bevinden, zijn deze kwelzones goed herkenbaar als uitgestrekte moerassige zones. In neerslagrijke perioden staat het water hier permanent aan het maaiveld. In figuur 2.4 zijn van het stroomgebied van de Amblève in blauw de dalen aangegeven waar deze zones liggen. In de v-vormige dalen met de smalle dalvlakten (zwart op de kaart) is de afstand tussen kwelplek en beek gering en wordt het water sneller afgevoerd. Deze daltrajecten zijn echter in de minderheid.



FIGUUR 2.4 Het stroomgebied van de Amblève met in blauw de haarvaten, in groen de v-vormige dalen en in rood de beeklopen met een meer of minder brede dalvlakte.

2.2 DE INVLOED VAN DE MENS OP HET LANDSCHAP EN DE BEKEN EN RIVIEREN

De opbouw van de middelgebergten, met z'n dalvlaktes langs de bredere beken benedenstrooms en uitgestrekte hoogvlaktes bovenstrooms, is ideaal om er veel water te bergen. De eerste klap om water langer vast te houden wordt dan ook op de golvende hoogvlaktes gemaakt, door de sponswerking van de inzigggebieden te vergroten. Deze mogelijkheid wordt vaak gebagatelliseerd: er heeft de afgelopen eeuwen immers nooit zoveel bos gestaan als nu en de potentie is toch al volledig benut? Uit historische kaarten blijkt echter dat de plaatsen waar in veel berggebieden nu bos groeit, vroeger bedekt waren met hoogveen. Bovendien zijn de bossen vrijwel allemaal gedraineerd met greppels, waardoor ze snel afwateren en de bodem veel minder water kan bevatten dan vroeger. De mens heeft bedoeld en onbedoeld ingegrepen in de bergingscapaciteit van de middelgebergtes en daarmee de snelheid waarmee het water wordt afgevoerd vergroot. Hieronder worden de 4 belangrijkste ingrepen op een rij gezet.

In cultuur brengen van de natuurlijke vegetatie

Akkerbouw en grasland

Sinds duizenden jaren bewoont de mens de middelgebergten en heeft hij de natuurlijke vegetatie omgezet in landbouwgronden. Natuurlijk bos en struweel en natuurlijke graslanden maakten meer en meer plaats voor weidegronden, hooiland en akkers. Al sinds de Romeinse tijd zijn grote delen van het gebied in cultuur gebracht.



BOVEN Langs de randen van het dal liggen moerassige zones, waar het regenwater opkwelt dat op de hellingen is gevallen. Over de oppervlakte stroomt het dan verder naar de beek.

RECHTS Sinds de hellingen in de middelgebergten in agrarisch gebruik zijn, is veel bodemmateriaal weggespoeld en hebben zich dikke leemlagen afgezet op de, van oorsprong grindige, dalvlakten naast de beken (foto bovenloop Neckar in Zuid Duitsland).



Met name in de winter zijn de verschillen voor de waterberging tussen de natuurlijke hoogopgaande vegetatie en de uitgestrekte cultuurlandschappen groot. In de winter is de begroeiing in het cultuurland afwezig (akkers) of laag (grasland) en kan nauwelijks regenwater opvangen. Het water krijgt dan niet de kans om vanaf stengels en takken te verdampen voordat het de bodem bereikt. Ook al is de verdamping in de winter veel geringer dan in de zomer, toch bereikt ook dan in een loofbos nog altijd 20% minder water het bodemoppervlak dan in een open landschap.

In de zomer zijn de verschillen tussen de cultuurlandschappen en de natuurlijke landschappen veel minder groot. Bijna al het regenwater wordt dan ingevangen in de vegetatie en vanwege de veel grotere verdamping bereikt slechts een klein deel van het regenwater de bodem. Dit effect is duidelijk terug te vinden in de afvoergolven die na een regenrijke periode in de middelgebergten ontstaan. Vanaf april, als het groeiseizoen begint en de verdamping toeneemt, neemt het aandeel van de gevallen regen in de hoogwatergolven sterk af. In de winter stroomt ca. 50 tot 70% van de gevallen neerslag in de eerste 3 weken het gebergte uit, in het voorjaar neemt dat snel af, tot niet meer dan 5 à 10% in de zomer.



FIGUUR 2.5 Vergelijking van een historische kaart (Tranchotkaart, 1810) en de recente kaart (Topografische kaart van België, 1989) van een deel van de Ardennen in het stroomgebied van de Amblève, ten noorden van Malmédy. Twee eeuwen geleden was dit gebied grotendeels bedekt met hoogveen (*groen-wit vlekkenpatroon op de historische kaart*) en slechts hier en daar, langs de beken, stond bos

(*zwart gespikkeld*). Om het hoogveen te ontwateren en bosbouw mogelijk te maken is in de 19e eeuw een groot aantal watergangen gegraven die het neerslagwater van de plateaus afvoeren naar de beken in het gebied (Eau Rouge en Warsche). De oppervlakte naaldbos (*egaal groen op de recente kaart*) is nu velen malen groter dan hoogveen (*wit met blauwe dwarsstreepjes*).

De omzetting in cultuurlandschap had ook tot gevolg dat de bodemerosie op de hellingen sterk toenam. Leem en zand spoelden met het regenwater mee van de hellingen af en werden door de beken afgevoerd. Tijdens overstromingen bezonk de leem op de dalvlakten en in de loop van duizenden jaren ontstonden hier dikke leemafzettingen. De dikte van deze lagen varieert van 50 cm in de hogere delen van de gebergten, waar de landbouwgeschiedenis nog kort is en er nooit veel akkerbouw is geweest, tot 3 meter in die gebieden waar de akkerbouw al duizenden jaren actief is, zoals bijvoorbeeld in Limburg, in de Pfalz en langs de Neckar.

De leemafzettingen bleven niet beperkt tot de beekdalen, ook verder stroomafwaarts, buiten de gebergten, langs de grotere rivieren werd veel leem afgezet.

Van nature is leem belangrijk als bodembestanddeel dat vocht vasthoudt hoog in het systeem en spoelt het geleidelijk af naar de zee. Door het snelle afvoeren van het regenwater is een groot deel van de leemfractie echter van de hellingen af weggespoeld en heeft het zich als een prop halverwege de waterwegen op de dalvlaktes en uiterwaarden opgehoopt. Deze ophoping in de dalen heeft ook grote consequenties voor de afvoer van het water (*zie 'regulatie van beeklopen'*).

Bosbouw

In de afgelopen 150 jaar is ook de laatste natuurlijke component in het landschap van de middelgebergten, het hoogveen, vrijwel geheel verdwenen en omgezet in productiebos. Dit was pas mogelijk nadat de venen eerst waren ontwaterd door er een uitgestrekt netwerk van greppels en beken te graven. Voor de aanplant van het



LINKS Begreppeld naaldbos in de Ardennen.

BOVEN Recent schoongemaakt greppeltje langs de Holzwarche in het stroomgebied van de Amblève.

bos werd vrijwel uitsluitend gebruik gemaakt van fijnspar en Douglas. De begreppeling in de naaldbossen is nog steeds aanwezig en wordt ook nog onderhouden.

Sinds het begin van de 19e eeuw is op deze wijze 8% van het totale oppervlak van de Ardennen omgezet van hoogveen en grasland in naaldbos. In het stroomgebied van de Rijn vonden vergelijkbare bebossingcampagnes plaats en werden grote delen van het Sauerland, het Zwarte Woud, de Taunus en de Hunsrück (her)bebost. Voor die tijd was het bosoppervlak er veel kleiner en beperkten de bossen zich vrijwel uitsluitend tot de steilste hellingen, waar geen landbouw bedreven kon worden, of waar door erosie de bodemlaag zo dun was geworden dat er geen landbouw meer mogelijk was. De meest steile hellingen zijn ook nu nog grotendeels met bos bedekt. Vaak is dat loofbos, maar ook zijn er hellingen waar het loofbos ten behoeve van de houtproductie is omgezet in naaldbos. Omdat de afwatering daar geen probleem is, zijn daar geen greppels aangelegd.

De aanplant van naaldbos had ook grote gevolgen voor de dikte van de bodem en de samenstelling van de strooisellaag. In naaldbossen is de bodemlaag boven op de rotsige ondergrond meestal nog maar 10 tot 20 cm dik en de bergingscapaciteit voor bodemwater is daarom beperkt. De strooisellaag op de bodemlaag is in een naaldbos ook veel dunner dan in een loofbos en laat sneller water door. Het strooisel van naaldbos is ook veel vetter en kan nauwelijks water absorberen, terwijl het strooisel onder loofhout veel ruller is en juist wel een hoge absorptiecapaciteit heeft. Het gevolg is dat de neerslag in een gebied dat met naaldbos is bedekt sneller in de bodem dringt, sneller door de bodem afstroomt en dus een grotere bijdrage levert aan de hoogwaterpiek, dan een loofbosrijk gebied, waarin het water langer onderweg is en dan pas na de piek in de beek of rivier zal aankomen.

Het draineren van de kwelzones

De drainage bleef in de middelgebergten niet beperkt tot de hoogvenen. Ook in de hooggelegen beekdalen werd op uitgebreide schaal ingegrepen in de waterhuishouding. Men richtte zich daarbij vooral op de kwelzones die overal in de beekdalen overal langs de randen aanwezig zijn. Bijna overal in de middelgebergten zijn deze moerassige zones in de dalbodems in het verleden begreppeld of gedraineerd, om landbouw beter mogelijk te maken. Uit een inventarisatie in het gebied blijkt dan ook dat vrijwel alle haarvaten (de meest bovenstroomse delen van de beken; blauw weergegeven in figuur 2.4) zijn gegraven. In de eerste 5 tot 15 kilometer zijn de meeste beken opvallend recht en vaak pas op de overgang naar het steilere traject met een v-vormig dal is er sprake van een natuurlijke beekloop.

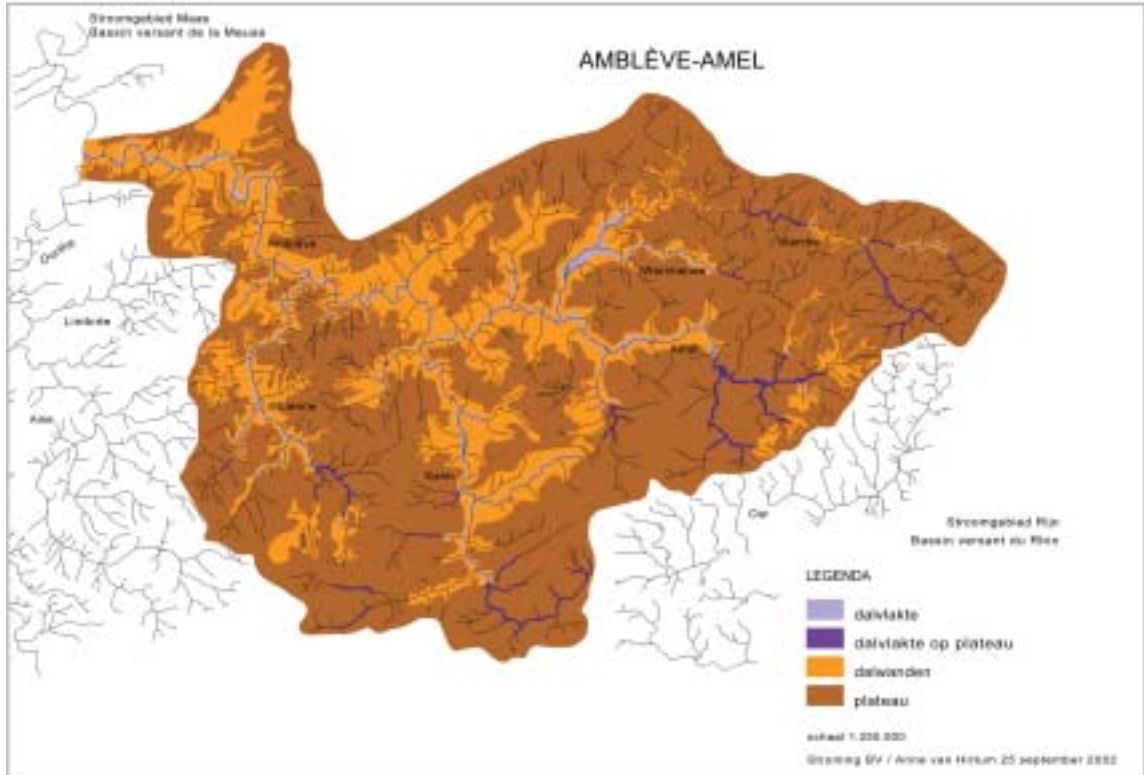
De vele gegraven greppels en beeklopen op de plateaus wekken sterk de indruk dat men hier weloverwogen in het watersysteem heeft ingegrepen. Vermoedelijk heeft daarbij vooral de behoefte aan constante wateraanvoer naar de vele honderden watermolens stroomafwaarts een rol gespeeld; vergelijkbaar met sprengen die in Nederland langs de rand van de Veluwe zijn gegraven. De laatste tientallen jaren is de snelle afvoer van het water nog verder vergroot door de aanleg van nieuwe drainagesystemen in de bodem, om een deel van deze gebieden beter geschikt te maken voor de landbouw. Dit gaat tot op de dag van vandaag nog door en ook worden vrijwel overal de bestaande greppels nog onderhouden, ook daar waar de grond in de dalbodems inmiddels door de landbouw is verlaten. Een bezoek aan het bovenstroomse deel van het stroomgebied van de Ourthe, direct na de extreme regenval die het hoogwater van januari 2003 veroorzaakte, liet zien dat de greppels nog steeds uitstekend functioneren. In het hele gebied was vrijwel geen water meer op het land aanwezig. Alles was in minder dan één dag afgevoerd.

Als gevolg van de aanleg van de vele greppels en de drainage is de verblijftijd van het regenwater in de haarvaten van het stroomgebied aanmerkelijk verkort. Door deze afvoersystemen weer te ontmantelen kan het omgekeerde worden bereikt en kan het water weer langer worden vastgehouden. Nu wordt het regenwater zodra het in de kwelzones naar de oppervlakte komt meteen naar de greppels en beekjes afgevoerd. De stroomsnelheid is daar hoog (meer dan 1 tot 3 m/sec) en omdat de afstand naar de hoofdriever zelden langer is dan 100 kilometer is het water in de beken meestal ruim binnen 1 dag in de hoofdriever.

Omdat juist de hoger gelegen en nattere delen van de stroomgebieden op dit moment langzamerhand door de landbouw worden verlaten, ook die delen die in het verleden zijn gedraineerd, zijn er volop kansen om het afkoppelen van de ontwatering actief ter hand te nemen. De meest geschikte delen voor deze maatregelen liggen bovenstrooms in het stroomgebied. Hier zijn de beken slechts weinig in het plateau ingesneden (zie figuur 2.6) en is er voldoende ruimte in de weidse dalen. De plateaus beslaan tweederde deel (70%) van het stroomgebied.

Regulatie van beeklopen

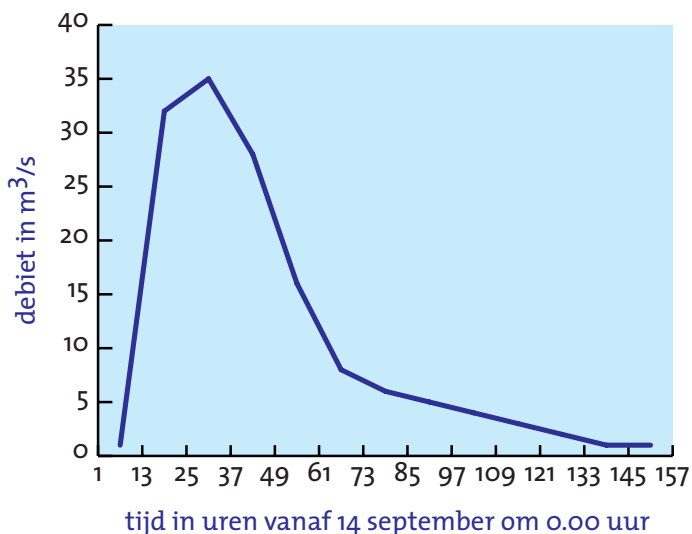
De mate waarin beeklopen zijn gereguleerd is niet overal in de middelgebergten even groot. Zo zijn de kwelgebieden in de haarvaten vrijwel overal in de stroomgebieden van Rijn en Maas begreppeld en ontwaterd, terwijl de beekdalen in de middenlopen overal nog een relatief natuurlijk karakter hebben. In de benedenlopen zijn er grote regionale verschillen. In Duitsland zijn de dalbodems veelal intensief



FIGUUR 2.6 De hoogste delen van het stroomgebied van de Amblève bestaan uit plateaus waar de verblijftijd van het water aanzienlijk kan worden verlengd, door de drainage en de begroeiing weer af te koppelen.

in gebruik genomen en zijn de beeklopen gekanaliseerd en rechtgetrokken. In de Ardennen en de Vogezes daarentegen hebben veel benedenlopen nog een meanderende loop. De ingrepen zijn daar beperkt tot het vastleggen van de buitenbochten en het schoonhouden van de bedding van omgevallen bomen. Dit deed men niet om de doorstroming te bevorderen, maar om erosie tegen te gaan. Daar waar een boom in de beek ligt wordt de hoofdstroom namelijk afgebogen naar de oever en treedt er erosie op. Zonder boomstammen in de beek is de erosie velen malen minder sterk en kan extra oeverbescherming, als ze al nodig is, beperkt blijven tot de buitenbochten. In de Ourthe zijn voorbeelden gevonden van nauwkeurig aangelegde historische oeverbescherming, die beperkt was tot delen van de buitenbochten (zie foto).

Het tegengaan van de erosie had tot gevolg dat er eenmaal op de dalvlakte neergelegd sediment niet meer werd doorgevoerd. Omdat er tijdens hoogwater en overstromingen wel steeds weer sediment vanaf de heuvels werd aangevoerd accumuleerde er alsmaar meer leem en zand in de dalvlaktes. In het verleden bracht men ook bewust slibrijk water op de dalvlaktes, om de bodem te verrijken. In veel beekdalen werden de overstromingen daarom gestimuleerd door water bovenstrooms van de beek af te tappen en er de gronden mee te bevoeien. Het gevolg is dat de dalvlaktes zijn opgehoogd met een dikke laag sediment. De dikte is het grootst, tot soms wel 3 meter, in gebieden waar al eeuwenlang akkerbouw wordt bedreven op bodems met een losse structuur, zoals de lössgebieden. In gebieden waar de heuvels vanouds met weilanden, hoogveen of bos zijn bedekt, zoals in de hogere delen van de Ardennen, is de dalbodem minder ver opgehoogd.



FIGUUR 2.7 Afvoerverloop Geul bij Meerssen hoogwater september 1998
In het Geuldal overstromen delen van de dalvlakte in het Midden-Geuldal bij een debiet de van ca. 30 m³/sec. Benedenstrooms is dat merkbaar omdat de stijging van het debiet dan abrupt ophoudt en nog maar langzaam verder stijgt. In de natuurlijke situatie overstromden dalvlakten al eerder en was deze 'noodrem' al bij een lager debiet actief geworden.

De bodem van de beek steeg niet mee met de ophoging van de dalvlakte. Integendeel, door de toegenomen bodemerosie sleet zij zelfs dieper in, en de beek kwam daardoor steeds dieper te liggen ten opzichte van de dalvlakte. Bomen, met name elzen, die op de oever kiemen, zorgen voor een extra versteviging van de reeds vastgelegde oevers. De overstromingsfrequentie is daardoor afgenomen en een steeds grotere hoeveelheid water wordt met een steeds hogere stroomsnelheid via de bedding afgevoerd. Pas als het water ook over de dalvlakte stroomt, neemt de gemiddelde stroomsnelheid sterk af en vertraagt de hoogwatergolf. In de loop der eeuwen is deze vertraging – als het ware de 'noodrem van een hoogwatergolf' –, steeds later, en dus bij steeds hogere hoogwatergolven ingetreden. Deze vastgelegde beken zijn als het ware 'zelfversnellende systemen' geworden.

Als hoogwaters zich snel door een bedding stroomafwaarts verplaatsen neemt ook de kans toe dat hoogwatergolven uit verschillende beken tegelijkertijd in de hoofdstroom aankomen. Het resultaat is dan dat de kans op een extreme waterstand in die hoofdstroom groter wordt dan voorheen.

Toename van het verharde oppervlak

Met name in de 20e eeuw is het aandeel verhard oppervlak sterk toegenomen. Veel beek- en rivierdalen in de middelgebergten zijn veranderd in een aaneenschakeling van dorpjes en steden. Dit beeld verandert als men wat verder in de gebergten doordringt. Boven de 300 à 400 meter neemt de bewoningsintensiteit sterk af en zijn de dorpjes er de afgelopen tijd ook niet veel groter geworden. In de Ardennen is het bebouwde oppervlak in de 20e eeuw toegenomen van 2 tot 4%. Dit lijkt niet veel, maar het effect op de waterafvoer moet niet worden onderschat. Het water dat op het verharde oppervlak valt, stroomt vrijwel direct af naar de beken en levert dus meteen een bijdrage aan de hoogwatergolf. Omdat de piek van een hoogwatergolf wordt opgebouwd door niet meer dan 10 tot 20% van de hoeveelheid regen die in het totale stroomgebied is gevallen, is het aandeel vanaf het verharde oppervlak hierin veel groter dan 4%. Het effect van het verharde oppervlak op hoogwatergolven is vooral in de zomer goed merkbaar. De kleine hoogwatergolven (tot ca. 300 m³/sec)



Historische oeverbescherming
(overzicht en detail) langs de
bovenloop van de Ourthe

die dan, na een dag met flinke buien, door de Maas stromen bevatten nooit meer dan 5% van de totale hoeveelheid regenwater die in het stroomgebied is gevallen. Zeer waarschijnlijk is dit water grotendeels afkomstig vanaf het verharde oppervlak.

Ook het aantal wegen is sterk toegenomen in de middelgebergten. Het water dat op deze wegen valt, stroomt versneld af en levert een bijdrage aan de piek in de hoogwatergolf. Veel wegen in geaccidenteerd terrein zijn zodanig ingesneden in de helling dat zij de bodemwaterstroom onderbreken. Dit water stroomt dan verder af via de weg en is daarom veel eerder beneden in de beek, terwijl het oorspronkelijk nog een lange weg ondergronds af zou leggen voor het in de beek zou uitstromen. Veel wegen zijn aangelegd ten behoeve van de bosbouw in de loop van de 19e eeuw toen de middelgebergten op uitgebreide schaal zijn bebost. De invloed van deze wegen op de waterafvoer wordt momenteel onderzocht aan de universiteit van Amsterdam (mond. med. Hr. Van Luxembourg).



BOVEN Door het eeuwenlang vastleggen van de oevers, veranderden de beekbeddingen in alsmar diepere en smallere afvoerwegen, waar tijdens hoogwater een steeds grotere hoeveelheid water met een steeds hogere stroomsnelheid door wordt afgevoerd.

RECHTS Langs beken die hun loop niet kunnen verleggen vormt zich na verloop van decennia een steeds dichtere bomenrij van elzen en wilgen. Met hun stammen en wortels leggen zij de beek nog meer vast.



2.3 SAMENVATTEND

De Europese middelgebergtes leveren tijdens hoogwater het grootste deel van het water aan Rijn en Maas. Het overheersende beeld is dat deze gebergtes steile hellingen hebben en dat de beken en rivieren er door diepe, smalle, v-vormige dalen stromen. Er zouden daarom weinig mogelijkheden zijn om daar water te bergen. Niets is echter minder waar: de opbouw van het landschap biedt volop mogelijkheden om al in de middelgebergtes water vast te houden. Tal van ingrepen die de mens heeft gepleegd in het stroomgebied van de Rijn en Maas hebben bedoeld of onbedoeld een effect gehad op de waterhuishouding en hebben de risico's voor overstromingen benedenstrooms vergroot.

Op de hellingen en in de haarvaten is de verblijftijd van het water sterk verkort door een ander landgebruik, door drainage en door het graven van greppels en beken. Ook de bosbouw heeft door de ontwatering van de hoogvenen en de aanleg van boswegen geleid tot een aanzienlijk versnelde afvoer van het regenwater dat daar valt. In de cultuurlandschappen is de erosie toegenomen en samen met het beheer van de beken, dat gericht is op het tegengaan van oevererosie, heeft zich veel leem en zand afgezet op de dalvlakten. De frequentie van overstromingen is daar aanzienlijk afgenomen, waardoor grote watermassa's sneller dan voorheen naar de hoofdrivier afstromen en daar korter na elkaar aankomen, waardoor ze vaker geheel of gedeeltelijk overlappen. Tenslotte is door de toename van het bebouwde oppervlak de afvoer van een deel van het stroomgebied extreem versneld en geheel in de piek van de hoogwatergolf terecht gekomen.

DEPRESSIE

Een depressie bestaat altijd uit 2 regengebieden: het warmtefront voor de depressie uit en het koufront er na. De hoeveelheid neerslag per front varieert sterk,

afhankelijk van de activiteit van de depressie; van minder dan 1 mm bij zwakke depressies tot 3 à 5 centimeter bij actieve storingen.

NEERSLAGINTENSITEIT

Tijdens winterse neerslagperioden varieert de intensiteit van minder dan 1 mm per uur tot maximaal 5 mm per uur. Meestal ligt het bij een actieve depressie rond de 3 mm per uur. Een dag met veel regen brengt dan in de Ardennen 2 tot 4 cm neerslag. In de Vogezes en het Zwarte Woud kan dit als gevolg van stijgingsregens oplopen tot 6 à 10 cm. Deze neerslaghoeveelheid valt in de winter vaak over een grote oppervlakte en leidt dan altijd tot een verhoging van de rivierafvoer.

In de zomer kan tijdens buien de neerslag intensiteit sterk toenemen, tot 25 of zelfs 100 mm per uur. De regenduur is dan echter altijd veel korter en de dag-

totalen komen ook dan zelden boven de 2 à 3 cm.

Kenmerkend voor buiige neerslag is dat de neerslaghoeveelheden sterk van plaats tot plaats verschillen en nooit het hele stroomgebied van de Maas of een van haar zijrivieren bedekken. De invloed op kleinere stroomgebieden kan wel groot zijn. Zo kreeg de Geul in 1998 te maken met extreme neerslag in vooral het Belgische deel van het stroomgebied, wat leidde tot een hoogwatergolf van meer dan 50 m³/sec bij de Nederlandse grens. Er viel die nacht plaatselijk meer dan 10 cm neerslag. Ondanks de extreme afvoer droeg slechts ca. 5% van de gevallen hoeveelheid regen bij aan de piek. 95% werd nog ergens in het stroomgebied achtergehouden.

STIJGINGSREGENS

Waar een luchtstroom op een gebergte stuit, moet zij opstijgen. De lucht koelt daarbij af en de waterdamp in de lucht condenseert. Er ontstaan dan wolken, waar het uit kan gaan regenen. Vanwege deze stijgingsregens valt er in gebergten altijd meer neerslag dan daarbuiten. De delen van de gebergten die gericht zijn op de overheersende windrichting ont-

vangen de meeste neerslag. Een kleine heuvelrug is al voldoende om stijgingsregens op te laten treden. Zo valt er aan de westzijde van de 25 m hoge Hondsrug in Drente 10% meer neerslag dan aan de oostzijde. Het sterkst is het effect van stijgingsregens merkbaar aan de westzijde van gebergten die abrupt uit het vlakke land opreizen, zoals de Ardennen, de Vogezes en het Zwarte Woud.

3 Het weer waarbij hoogwaters tot stand komen

INLEIDING

Het weer en de afvoer van de rivieren zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. In dit hoofdstuk wordt gezocht naar de relaties die er tussen beide bestaan. Welke weertypen gaan gepaard met extreme neerslag en wanneer leidt dit tot grote hoogwatergolven. Welk deel van het water draagt uiteindelijk bij aan de hoogwatergolf en is het mogelijk door ingrepen in het stroomgebied iets aan deze verdeling te veranderen.

3.1 DEPRESSIES, BEWOLKING EN REGEN

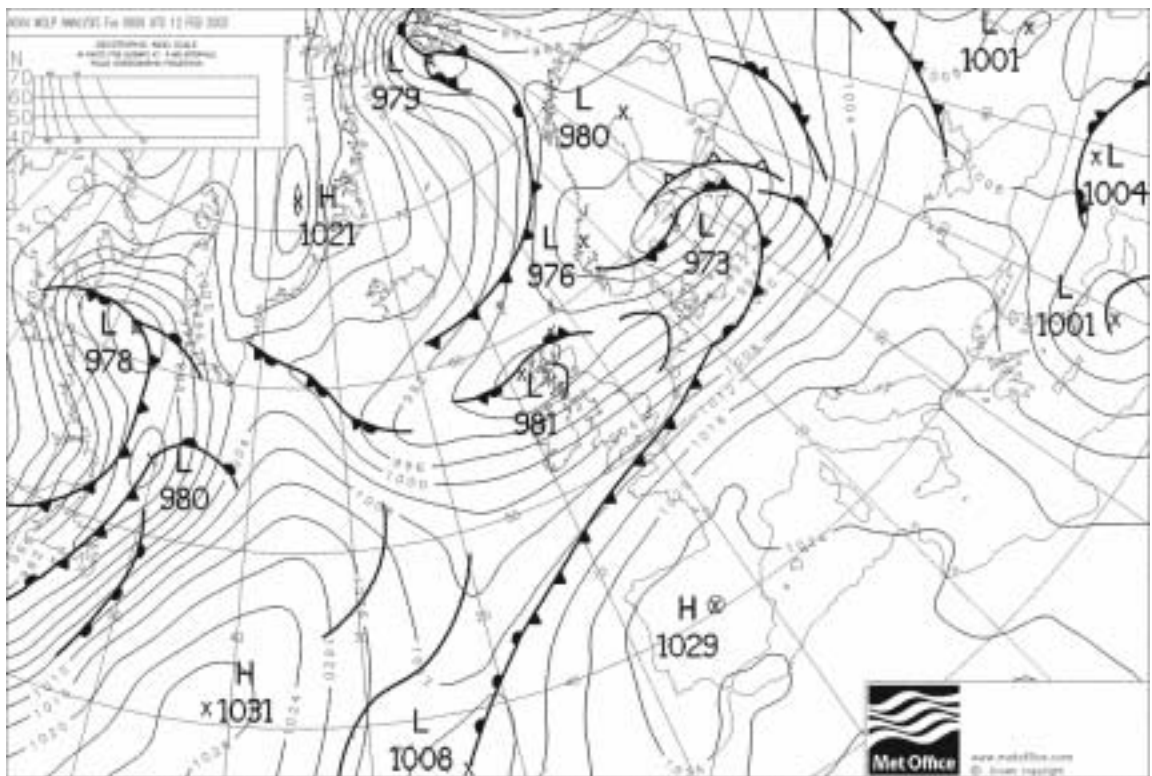
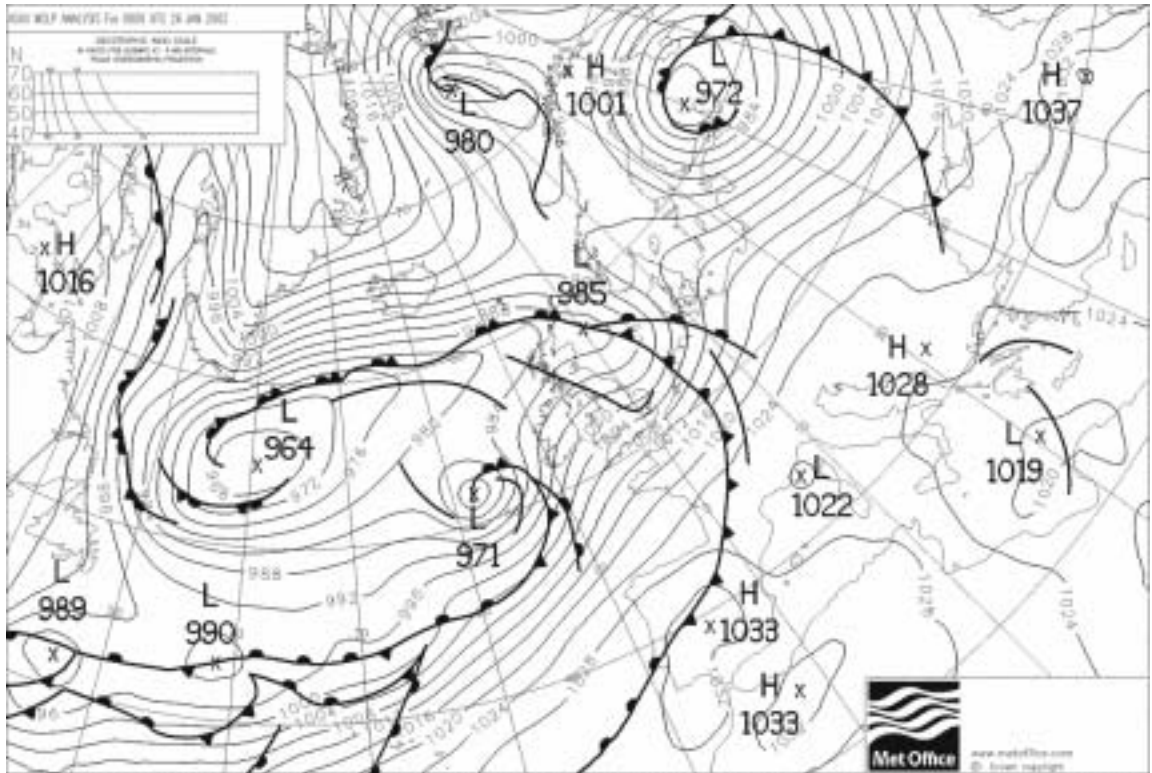
Het weer lijkt een ongrijpbaar en ingewikkeld fenomeen, maar is terug te voeren tot één mechanisme: het opheffen van de temperatuurverschillen die op aarde bestaan. Om deze verschillen te nivelleren brengt de weermachine de warme en koude lucht in beweging. Waar deze luchtsoorten tegen elkaar botsen, ontstaan dan wervelingen (lage drukgebieden of depressies genaamd) waarin de lucht mengt en de temperatuurverschillen worden opgeheven.

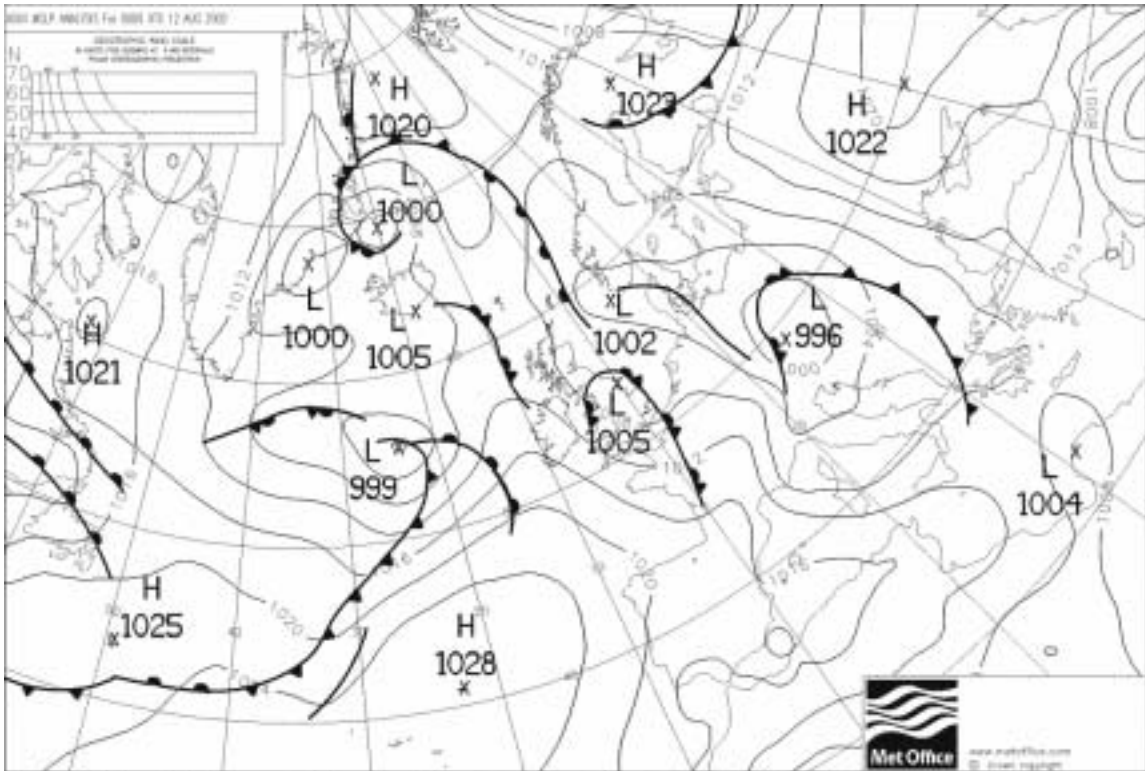
Depressies gaan bijna altijd gepaard met bewolking en regen. In de gematigde klimaatzones, waar warme subtropische lucht en koude polaire lucht op elkaar botsen, vinden we daarom een vrijwel continue reeks van depressies en neerslaggebieden. Deze zone met actief weer ligt niet stil, maar schuift tussen de 40^e en 70^e breedtegraad van noord naar zuid, onder invloed van de depressies die langs het grensvlak van west naar oost bewegen. In figuur 3.1a is deze zone goed zichtbaar. De lage drukgebieden (L) met hun fronten (zwarte lijnen met bolletjes en driehoekjes) liggen in een brede zone, die van linksonder naar middenboven over de weerkaart loopt.

3.2 NEERSLAGRIJKE WEERSITUATIES

Er zijn 3 weersituaties te onderscheiden waarbij extreme neerslag kan optreden:

- Wanneer het grensvlak tussen de warme en koude lucht lange tijd (3 tot 5 dagen of nog langer) op de zelfde plaats ligt kan een reeks van depressies over dezelfde regio trekken. De neerslag zal dan accumuleren in het stroomgebied en er kan een hoogwatergolf optreden. Het aantal depressies dat hiervoor nodig is, hangt af van de neerslaghoeveelheid per depressie, maar vaak zijn 3 tot 4 actieve depressies voldoende voor een flinke hoogwatergolf. Uiteindelijk zal na enkele dagen het grensvlak toch weer afzakken of in beweging komen en wegschuiven. Deze weersituatie komt vaak voor en de meeste hoogwatergolven ontstaan door een reeks van depressies, eventueel gecombineerd met een hierna genoemd stilliggend front. In de winter is de depressieactiviteit groter dan in de zomer.
- Extreme neerslag ontstaat ook wanneer een front lange tijd stil blijft liggen. Met name het koufront kan soms gaan 'slepen'. Het schuift dan niet verder naar het zuiden en brengt langdurig intensieve regen. 12 tot 15 uur neerslag met een inten-





FIGUUR 3.1

Weerkaarten van de in 3.2 genoemde weersituaties:

LINKSBOVEN

JANUARI 2002: een reeks van depressies schuift over West Europa. De verste gevorderde (L, 972) ligt bij Zuid Finland, de volgende (L, 985) bij Schotland, de daarop volgende (L, 971) ten westen van Ierland en nog een aantal kleinere (L, 990 en 989) daar weer westelijk van. Deze reeks leverde op de Maas een hoge afvoer van iets meer dan 2000 m³/sec op en op de Rijn een middelgrote afvoer van ca. 6000 m³/sec.

LINKSONDER

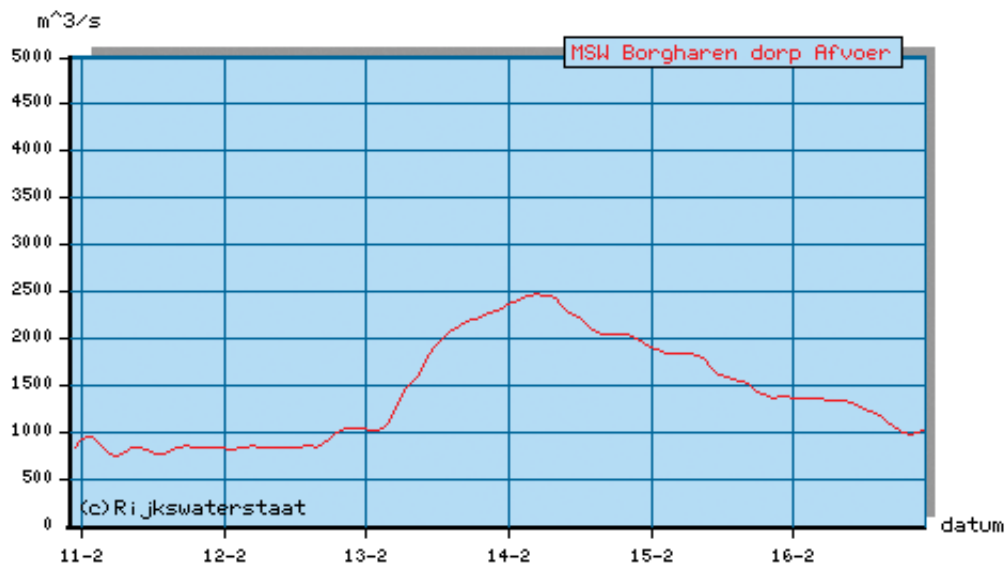
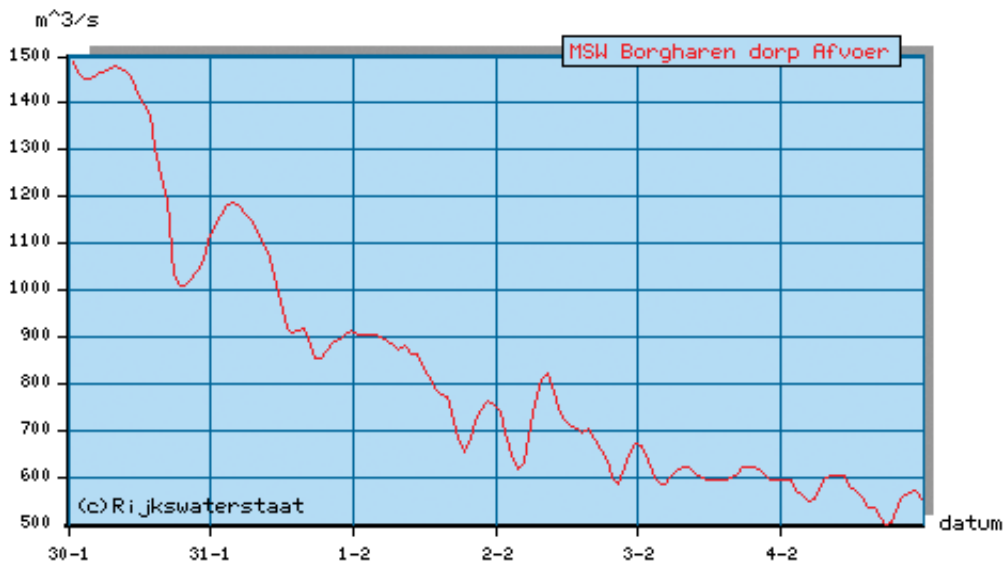
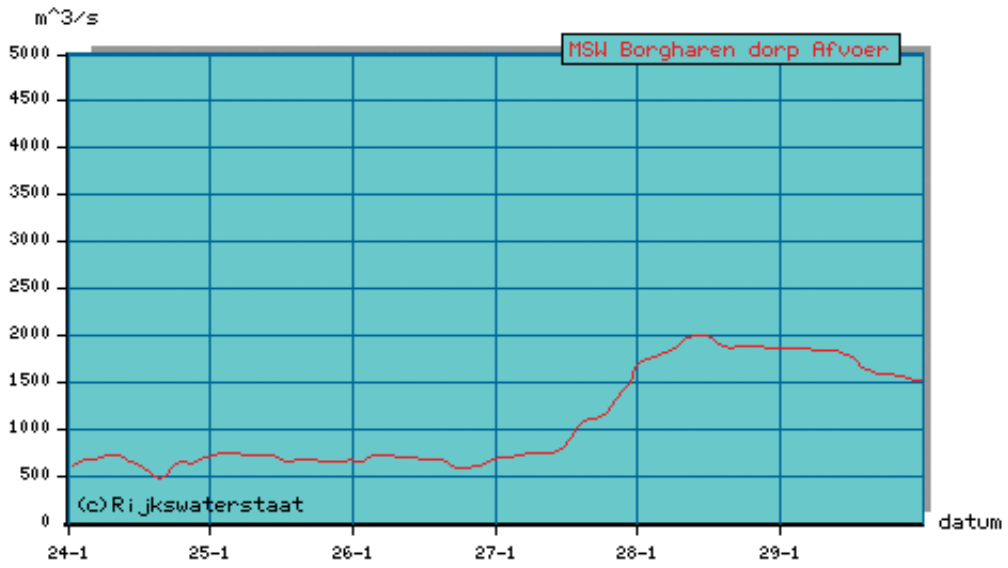
FEBRUARI 2002: het koufront (zwarte lijn met driehoekjes) van een lage drukgebied boven Zweden (L, 973) is stil komen te liggen boven de Ardennen en brengt daar veel neerslag (3 tot 4 cm binnen 24 uur). De Maas stijgt van 1000 naar 2500 m³/sec.

BOVEN

AUGUSTUS 2002: een omvangrijk lage drukgebied ligt bijna stil boven Midden Europa en zorgt daar voor extreme neerslag, waardoor de waterstand in de Moldau en de Elbe tot extreme hoogte zou stijgen.

siteit van 2 tot 4 mm per uur is dan mogelijk, met name in gebieden waar de lucht tegen het gebergte op moet stijgen. Een slepend front met veel neerslag levert altijd een sterke stijging van de waterafvoer op, vooral wanneer de bodem al verzadigd is en de rivierafvoer verhoogd door enkele eerdere regengebieden. Slepende fronten komen het hele jaar voor, maar zijn het actiefst in het winterhalfjaar.

- Incidenteel komt het voor dat een actief lage drukgebied nauwelijks beweegt. Er wordt dan lange tijd vanuit verschillende richtingen warme en koude lucht aangezogen, die mengt en waarbij het langdurig regent. Als er gebergten in de banen liggen van de aangevoerde lucht kunnen daar, onder invloed van stijgingsregens, zeer extreme neerslaghoeveelheden vallen. Deze weersituatie doet zich maar zeer zelden voor. Bekende voorbeelden zijn het hoogwater van 1998 langs de Oder, dat ontstond door een stationair lage drukgebied boven Polen en extreme neerslag (20 tot 30 cm binnen 48 uur) in de gebergten op de Pools-Tsjechische grens en het hoogwater van 2002 langs de Elbe door een vergelijkbaar lagedruk boven Tsjechië. Ook het extreme hoge water in Midden Engeland in het najaar van 2000 en het bekende zomerhoogwater langs de Maas in juli 1980 zijn door stilliggende lage drukgebieden ontstaan. Al deze voorbeelden zijn uit het zomerhalfjaar.



FIGUUR 3.2 Afvoergrafieken behorende bij enkele van de bovengenoemde weersituaties:
 BOVEN + MIDDEN Maas bij Borgharen tussen 24 januari en 4 februari 2002
 ONDER Maas bij Borgharen tussen 11 en 16 februari 2002

3.3 EXTREME NEERSLAGSITUATIES IN HET STROOMGEBIED VAN RIJN EN MAAS

De drie hierboven genoemde weersituaties brengen alle regen over een groot oppervlak. De reeks van depressies en het stilliggende lage drukgebied brengen neerslag in grote delen van soms het gehele stroomgebied. Deze regengebieden beslaan namelijk zones die tot meer dan 500 km breed zijn. Met name het stroomgebied van de Maas kan er geheel door worden beïnvloedt. Het stroomgebied van de Rijn is zo groot dat er altijd delen buiten schot blijven. Een vaak voorkomende situatie is dan echter dat de opeenvolgende regengebieden van een reeks van depressies steeds zuidelijker over trekken. In dat geval kan ook het hele stroomgebied van de Rijn er door worden beïnvloedt. De neerslagverdeling over het stroomgebied is nooit gelijkmatig. Behalve de baan die de depressie volgt is ook de ligging van gebergten van groot belang. Deze ontvangen namelijk de meeste neerslag vanwege de stijgingsregens die er optreden.

In de situatie van een stationair (kou)front concentreert de neerslag zich in een baan van 200 tot 300 kilometer breed, die (meestal) van west naar oost over het stroomgebied loopt. De neerslagverschillen tussen een gebied binnen en buiten deze zone zijn dan zeer groot. Wanneer deze zone een stroomgebied van een beek geheel bedekt treden daar extreme waterstanden op en overstromingen. Voor de afvoer in de hoofdrivier zijn de gevolgen meestal minder groot, tenzij daar al sprake is van hoogwater vanwege eerdere regenval.

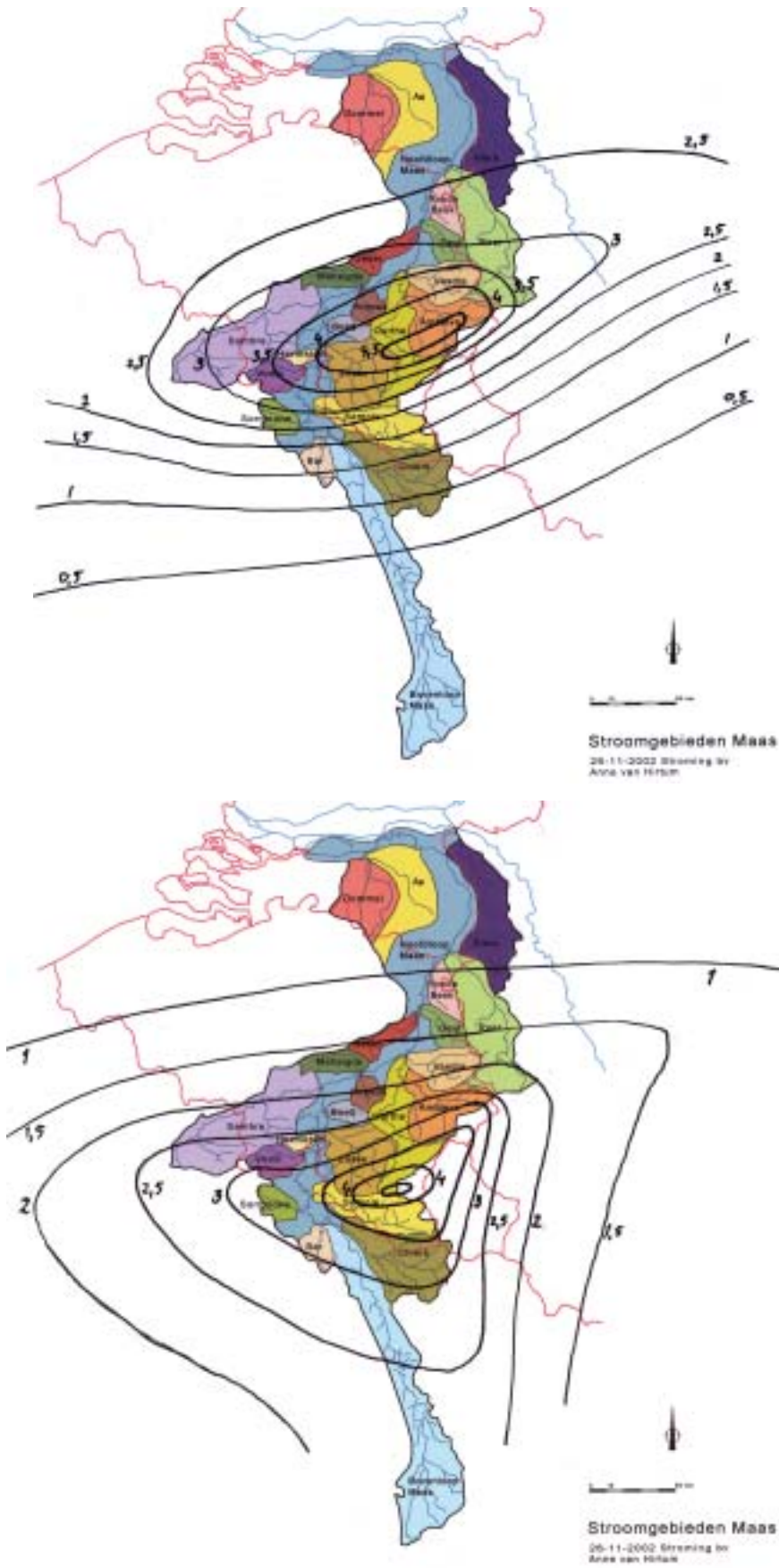
3.4 DE INVLOED VAN SNEEUW EN EEN BEVROREN ONDERGROND.

Door langdurige strenge vorst kan de bodem tot op enkele decimeters diepte bevroren raken. Een voorwaarde is dan wel dat er geen sneeuwdek aanwezig is, omdat sneeuw zodanig isoleert dat de vorst de bodem nauwelijks bereikt. Ook een dikke strooisellaag of een bladerdek zorgen voor voldoende isolatie om de vorst te temperen. Het zijn dan ook met name akkers en weilanden waar de vorst diep in de bodem dringt als er geen sneeuw ligt.

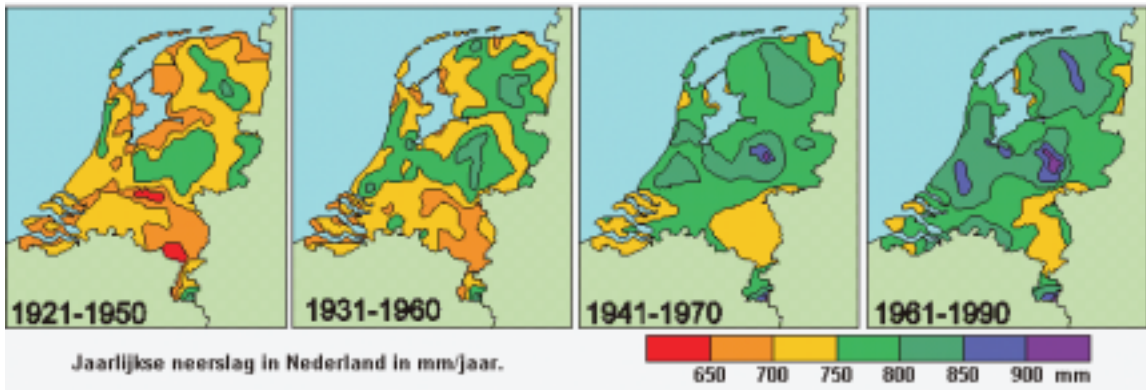
Om de bodem, na een lange vorstperiode, te ontdooien is veel energie nodig en wanneer het weer omslaat, kan het dagenlang duren voor het ijs in de bodem gesmolten is. De regen die in die tijd valt, kan dan niet of nauwelijks in de bodem doordringen en het water zal sneller afstromen en eerder het dal bereiken, waar het door een beek wordt afgevoerd.

Een sneeuwdek tempert de vorst in de bodem, maar kan een hoogwatergolf ook aanzienlijk vergroten. Een decimeter sneeuw staat namelijk gelijk aan 1 tot 1,5 cm regen. Wanneer de sneeuw dan smelt tijdens een periode van langdurige intensieve regen levert dat samen een extra hoge afvoer op. Dit is met name het geval wanneer een (zuid)westelijke luchtstroming met meerdere regengebieden inzet na een periode met koud weer en een sneeuwdek. Vaak levert het eerste neerslaggebied uit de reeks dan nog extra sneeuw in de middelgebergten op, omdat de lucht daar nog koud is. Als de westelijke luchtstroming doorzet, dringt steeds warmere lucht door en gaat de sneeuw samen met de regen van de tweede of derde depressie smelten.

De regen moet wel in staat zijn om het sneeuwdek te doen smelten. Een dikke sneeuwlaag van 3 tot 5 decimeter zal niet door één regenperiode oplossen, daar is de hoeveelheid energie in de regen te klein voor. De sneeuw fungeert in eerste instantie zelfs als buffer voor het regen- en smeltwater, omdat er veel water in de sneeuw kan worden geborgen. Als de sneeuwlaag dunner wordt dan 15 cm kan zij wel in één



FIGUUR 3.3 Neerslagverdeling (in cm) over de Ardennen na het passeren van een intensief regengebied:
BOVEN bij een noordwestelijke stroming; hierna hebben met name de Ourthe, de Lesse en de Sambre een hoge afvoer
ONDER bij een zuidwestelijke stroming; hierna hebben met name de Chiers, de Semois en de Viroin een hoge afvoer



FIGUUR 3.4 De jaarlijkse neerslagverdeling over Nederland in de loop van deze eeuw laat zien dat het klimaat steeds natter wordt (bron: van Boxel, www.fzw.uva.nl).

regenperiode wegsmelten. Als er dan al water van vorige regenperioden in de sneeuw geborgen is, kan de afvoer plotseling zeer sterk toenemen.

De kans op het optreden van deze situatie is het grootst aan het begin van de winter, als het sneeuwdek in de middelgebergten nog nergens dikker is dan enkele decimeters. Berucht is de periode rond kerstmis. Er treedt dan vaak een dooi-inval in met veel regen en de aanvoer van warme oceaanolucht. De meeste hoogwatergolven treden dan ook op in deze periode (zie verder onder paragraaf 3.6).

3.5 HOOGWATER EN EEN NATTER KLIMAAT

Het optreden van hoogwatergolven wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door het optreden van relatief korte perioden met extreme neerslag. De totale hoeveelheid neerslag die er in een maand of een jaar valt is niet van belang. Zelfs in de woestijn treden soms hoogwatergolven op, ook al is het klimaat er zeer droog. Een vernatting van het klimaat hoeft dan ook niet te betekenen dat hoogwatergolven vaker optreden. Het is zelfs mogelijk dat het omgekeerde effect optreedt: dat het gemiddeld genomen natter wordt, maar dat extremen minder vaak optreden. Uit de meteorologische waarnemingen van de afgelopen 100 jaar blijkt dat het klimaat in West Europa steeds natter is geworden. Deze informatie is voor iedereen toegankelijk, namelijk door de neerslagkaartjes van verschillende jaargangen Bosatlassen te vergelijken (zie fig 3.4).

Aan de hand van neerslagreeksen van meer dan 100 weerstations berekende van Boxel (1999) dat het de afgelopen 100 jaar ruim 10% natter is geworden in Nederland (van 710 mm tot 800 mm gemiddeld over het land). De natste jaren vielen allen in de tweede helft van de vorige eeuw. Niet alleen Nederland, maar de hele gematigde klimaatzone wordt natter; gemiddeld bijna 50 mm. Het knmi rapporteert in 'De toestand van het klimaat in Nederland' (1999) dat de neerslag vooral in het winterhalfjaar is toegenomen. Dit hangt samen met de Atlantische luchtstroming die met name in de winter in kracht is toegenomen en meer depressies naar West Europa meevoert dan in het begin van de eeuw. Alle extreem natte winters (met meer dan 500 mm neerslag gemiddeld over Nederland) traden ook op in de laatste 40 jaar. In de top tien van deze winters trad echter alleen in 1993 (op de 10e plaats) extreem hoogwater op in de Rijn en Maas.

Van Boxel is niet de eerste die deze klimaatsverandering is opgevallen. Sinds het broeikaseffect in de publiciteit is gekomen zoeken meteorologen naar trends in het klimaat. Op grond van de huidige ontwikkeling verwacht men tot 2050 een temperatuurstijging van 1 tot 3,5 graden en een verdere neerslagtoename van 10 tot 20%.

Om dit meteen door te rekenen naar een 10 tot 20% hogere rivierafvoer tijdens afvoerextremen is wat kort door de bocht. Hoogwatergolven ontstaan namelijk alleen door extreme weersituaties en die hoeven geen verband te houden met de gemiddelde hoeveelheid neerslag. Van belang is bijvoorbeeld om te onderzoeken of langere reeksen van depressies vaker optreden. Waar nu 3 of 4 actieve depressies dezelfde baan volgen is een vijfde wellicht ook mogelijk. Ook is het interessant om na te gaan of de neerslagintensiteit toeneemt, of de uitgebreidheid van de neerslag over een gebied, of dat het tijdsinterval tussen twee regengebieden verandert. Het opvallend grote aantal hoogwatergolven rond de jaarwisseling maakt duidelijk dat ook het smelten van een dunne laag sneeuw van grote invloed is voor het optreden van hoogwatergolven. Het meer of minder vaak voorkomen van deze situatie, door een klimaatverandering, zou wel eens van groter belang kunnen zijn voor de hoogte van hoogwatergolven dan de vernatting van het klimaat.

Uit onderzoek van het RIZA (van Vuuren, 2001) aan de afvoerreeksen van de Rijn over de afgelopen 100 jaar, blijkt dat er geen verband is tussen het optreden van extreme hoogwatergolven en het optreden van natte jaren. Hoogwaters treden net zo goed op in droge jaren als in natte jaren. Een natter jaar beïnvloedt wel de gemiddelde afvoer, maar niet de extremen. Dit blijkt ook wanneer de 3 grootste hoogwatergolven van de vorige eeuw (1926, 1993 en 1995) nader worden bekeken. Alle drie deze winterse hoogwatergolven volgen op een zomer en najaar zonder uitgesproken nat weer. Alleen in 1995 was er eerder die winter al een natte periode geweest met een kleine hoogwatergolf. De extreme hoogwatergolven werden alle veroorzaakt door een plotselinge extreme neerslagsituatie, vaak gecombineerd met het smelten van veel sneeuw.

De overstromingsrisico's langs de Rijn en Maas worden bepaald aan de hand van de hoogte van het Maatgevende Hoogwater (MHW). Tot nu toe wordt dit berekend door extrapolatie vanuit de afvoerreeksen van de afgelopen 100 jaar. Voor een goede statistische analyse moet de uitgangssituatie echter constant zijn en dat is hier niet het geval. Zowel in het stroomgebied als in de rivier zijn in de afgelopen 100 jaar (de lengte van de meetreeksen) grote veranderingen opgetreden en ook het klimaat is alles behalve stabiel. Het verdient aanbeveling om ook gegevens over de kans op het optreden van bepaalde weertypes die hoogwatergolven veroorzaken in deze bepaling mee te nemen.

3.6 DE INVLOED VAN HET WEER OP DE VORM VAN HOOGWATERGOLVEN

Solitaire en opeengestapelde hoogwatergolven

Wanneer men de hoogwatergolven in de Rijn en de Maas analyseert blijken er twee soorten pieken voor te komen. Deze hangen sterk samen met het weerbeeld dat in die periode heerst.

In de eerste plaats zijn er **SOLITAIRE PIEKEN** die ontstaan door aanhoudende extreme regenval in een vrij korte periode van één of twee dagen. Het gaat hierbij om een weersituatie waarbij een front langdurig op een plaats blijft hangen, met

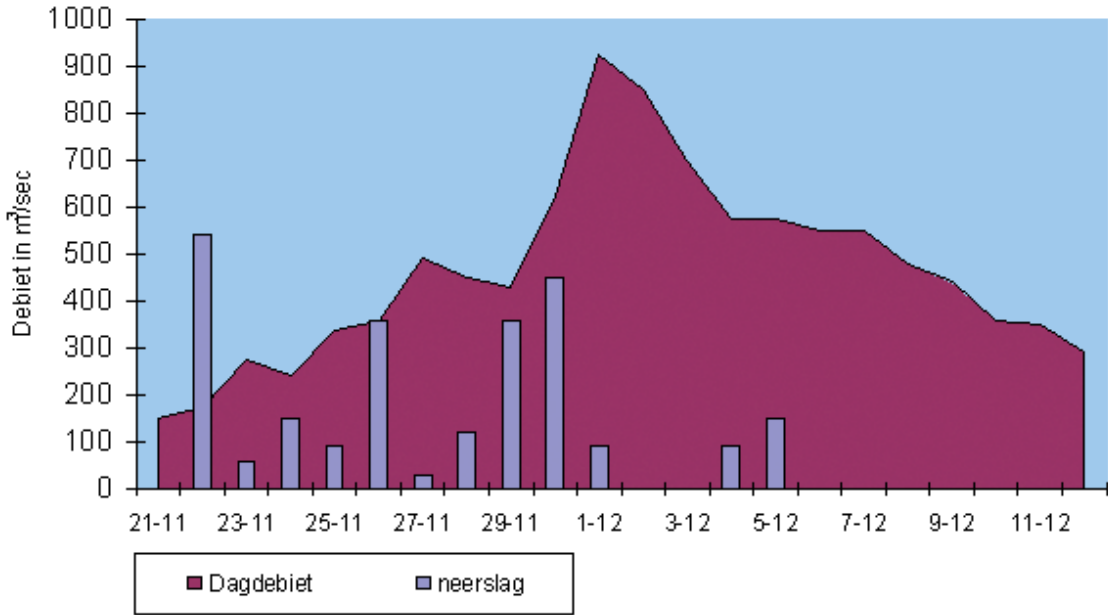
intensieve regen (2 tot 4 mm per uur). Een voorbeeld hiervan is het hoge water van 12 februari 2002. Een koufront kwam toen tot stilstand boven de Ardennen en er viel binnen 36 uur 3 tot 5 cm neerslag. De zone met intensieve neerslag viel precies samen met het deel van het stroomgebied van de Maas dat in de Ardennen ligt (zie figuur 3.1b en 3.3a).

De intensieve neerslag leverde daags daarop een zeer sterke stijging op van de waterafvoer in de Maas. Bij Borgharen nam de afvoer in ca. 36 uur toe van 800 naar 2510 m³/sec. Een dergelijk regengebied (beschreven als situatie 2 in par. 3.2) is nooit breder dan enkele honderden kilometers en 'past' wat omvang betreft goed boven de Ardennen. Eén zo'n depressie kan dus een plotseling hoogwater op de Maas veroorzaken. Bij de Rijn ligt dat anders. Eén stagnerend front kan daar geen hoogwater veroorzaken omdat het regengebied veel kleiner is dan het stroomgebied. Wel kan er een hoogwater ontstaan in een deelstroomgebied. Zo leverde een front dat in maart 2002 3 dagen stillag boven zuidwest Duitsland een extreme waterstand op in de Neckar (2.200 m³/sec bij Heidelberg), maar bleef de afvoer in de Rijn beperkt tot een gemiddeld hoogwater (6.050 m³/sec bij Lobith). Omdat het vrijwel altijd om stagnerende koufronten gaat, met van het noorden uit invallende kou, die warme lucht verdringt, speelt extra toevoer van water vanuit smeltende sneeuw zelden of nooit een grote rol bij dit weertype. Hoogwater in de Rijn wordt dan ook altijd opgebouwd door meerdere regengebieden die elkaar opvolgen en binnen enkele dagen in verschillende delen van het stroomgebied veel neerslag laten vallen. Hoogwater op de Maas daarentegen kan ook worden veroorzaakt door de regengebieden van één enkele depressie.

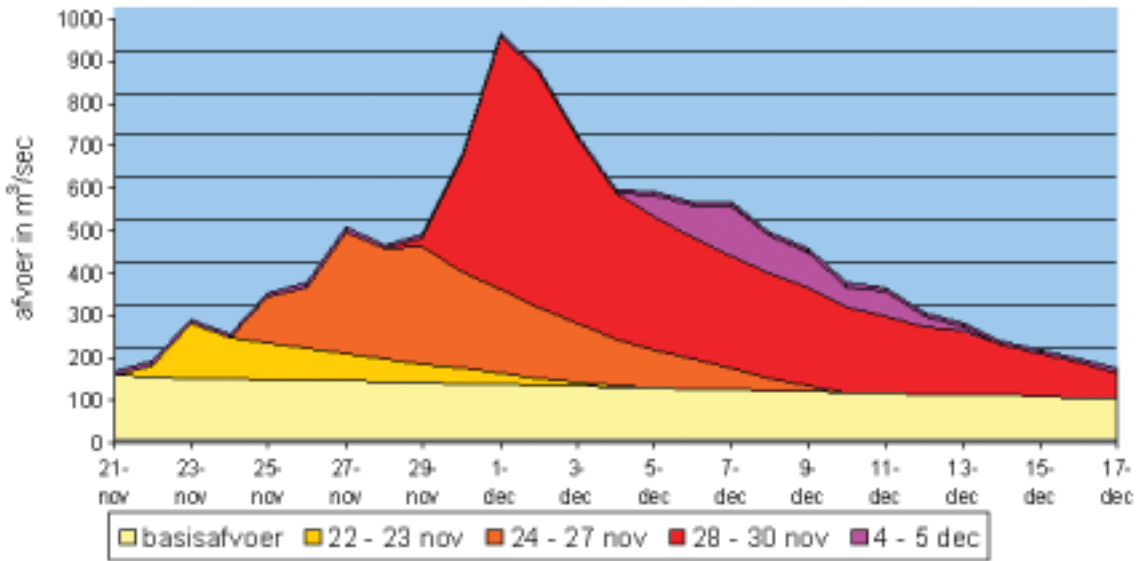
Naast de solitaire pieken zijn er ook **OPENGESTAPELDE** pieken, die ontstaan wanneer verschillende regengebieden elkaar binnen korte tijd opvolgen. Na verloop van tijd levert dit een steeds grotere hoogwatergolf op. Dit is geval als er een actieve westelijke of zuidwestelijke circulatie in het weer optreedt. Regengebieden vanaf de Atlantische Oceaan volgen elkaar dan met een zekere regelmaat op. De regenval per regengebied hoeft niet extreem te zijn, maar na een periode van 1 tot 3 weken kan de totaalsom toch oplopen tot 10 cm of meer. De zones waar de regen valt beslaan vele honderden kilometers en kunnen ook een groot deel van het stroomgebied van de Rijn bestrijken. Omdat niet iedere depressie exact dezelfde baan volgt, verlegt het neerslaggebied zich ook iedere keer in meer of mindere mate en komt uiteindelijk het hele stroomgebied van de Rijn enkele malen aan bod. Als de variatie te groot is, en de regengebieden niet of nauwelijks overlappen zal er geen hoogwatergolf ontstaan.

Als voorbeeld is een regenperiode tussen 22 november en 12 december 2001 uitgewerkt, die een kleine hoogwatergolf in de Maas veroorzaakte (zie voor verloop van neerslag en debiet figuur 3.5). Het door de rivier afgevoerde water van de verschillende regenperiodes kon in de grafiek worden onderscheiden door voor iedere hoogwatergolf, aan de hand van gegevens van vergelijkbare andere hoogwatergolven, de afname van het debiet in te schatten, als ware er geen nieuwe regenperiode gevolgd.

Het debiet in de rivier was voorafgaand aan de regenperiode vrij laag (180 m³/sec). Door sterke regenval op 22 november steeg het debiet nog maar weinig, naar ca. 280 m³/sec. De bergingsruimte in het stroomgebied was nog zo groot dat vrijwel al het water kon worden opgeslagen. Het debiet was al weer iets afgenomen toen op 26 november wederom sterke neerslag het debiet verder deed stijgen tot ca. 500 m³/sec. Na weer een kleine daling volgden 2 dagen met veel regen op 29 en 30 november en dat leidde tot een stijging naar ruim 900 m³/sec op 1 december.



FIGUUR 3.5 voorbeeld van een periode met neerslag in de Ardennen en de hoogwatergolf die dat oplevert bij Borgharen (november - december 2001).



FIGUUR 3.6 Bijdrage van verschillende regenperiodes aan een opeengestapelde hoogwatergolf in de Maas

In de tweede grafiek is de hoogwatergolf opgedeeld in de aandelen die de verschillende regenperiodes aan de golf hebben bijgedragen. Wanneer de afgevoerde hoeveelheid water wordt berekend en vergeleken met de gevallen hoeveelheid neerslag dan valt op dat het percentage dat verantwoordelijk is voor de opbouw van de piek gering is. De eerste piek werd opgebouwd door slechts ca. 7% van de gevallen neerslag, de tweede door ca. 11% en de derde door ca. 13%. Het percentage water van de verschillende regenperiodes dat in de eerste twee weken na de regenval werd afgevoerd bedroeg respectievelijk 20, 50 en 70%. De toename wijst er op dat de bodem

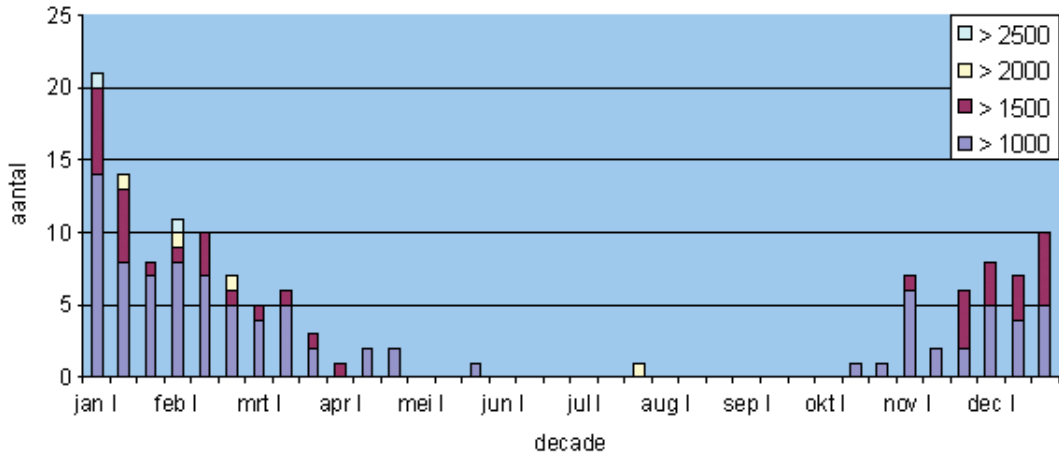
gaandeweg verzadigd raakt en steeds meer water snel wordt afgevoerd. Slechts weinig water bevindt zich in de piek zelf en dat duidt er op dat het grootste deel van het water niet direct in de beken stroomt, maar er enige tijd (meer dan ca. 2 dagen) over doet, via de bodem. Van de 600 Mm³ water die in totaal in deze regenperiode was gevallen, was op 20 december (dat is bijna 3 weken na de laatste sterke regenval) nog steeds 50% niet door de rivier afgevoerd en bevond zich nog in het stroomgebied. Uit vergelijkbare analyses van andere afvoergolven, waaronder diverse extreme, blijkt dat het percentage nooit tot boven de 20% uitstijgt (bij de hoogwatergolf van 1993 was het 18%). Al het andere water is ten tijde van het passeren van de hoogwatergolf nog in het stroomgebied aanwezig en wordt in het aflopende deel van de hoogwatergolf afgevoerd. Wanneer deze analyse ook wordt uitgevoerd op de zijbeken van de Maas, dan zijn de gevonden waarden hoger, maar ook dan bevindt zich nog erg veel water in het stroomgebied. Zo bedroeg het percentage afgevoerde neerslag in de aanloop van de hoogwatergolf in de Ourthe tijdens het extreem hoge water van 1993 – met een debiet van meer dan 1000 m³/sec bij Angleur – slechts 23% en in de Semois 25%.

Slechts een relatief gering deel van de gevallen hoeveelheid neerslag draagt dus bij aan de opbouw van de piek. Dit ‘snelle’ water is overigens wel afkomstig uit een groot deel van het stroomgebied, want de stroomsnelheden in de beken zijn zodanig (1 tot 3 m/sec) dat ook het water vanuit de haarvaten in de Ardennen, binnen de tijd dat de piek opbouwt benedenstrooms in Borgharen is. Door het afkoppelen van delen van het stroomgebied die een bijdrage leveren aan de opbouw van de piek kan de hoogwatergolf worden verlaagd. Water ophouden in de bovenstroomse delen moet dan effect hebben. Verder benedenstrooms biedt het weer laten overstromen van dalvlaktes uitkomst om aanstormende hoogwatergolven af te remmen. Door overal waar de bebouwing dat toelaat de overstromingsfrequentie toe te laten nemen, zal bij ieder hoogwater weer een ander deel van de hoogwatergolven afremmen, minder onderling overlappen en een kleinere bijdrage leveren aan de opbouw van de hoogwatergolf. Wanneer het lukt om 2 of 3% van de gevallen neerslaghoeveelheid vanuit de piek van de hoogwatergolf naar een later tijdstip in de golf te verschuiven is het probleem in de hoofdrijen al grotendeels opgelost.

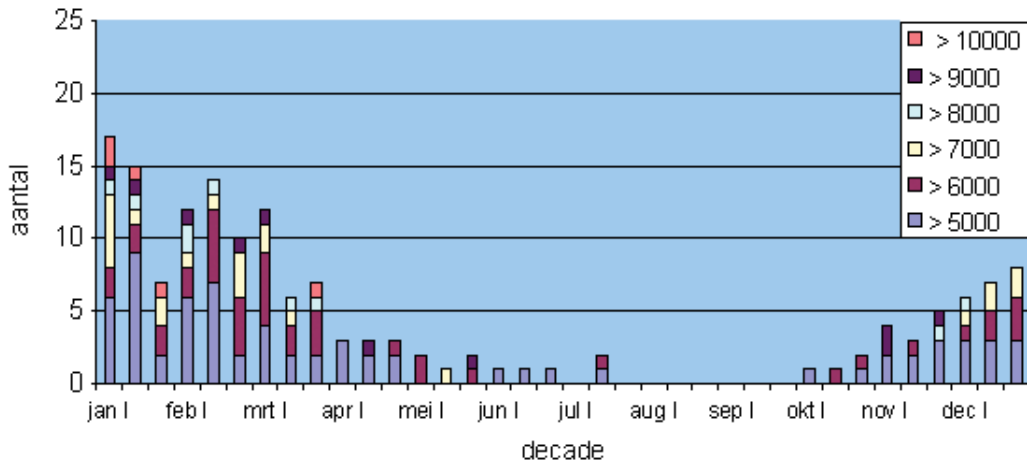
Een beruchte periode voor het optreden van opeengestapelde pieken is de eerste decade van januari. Maar liefst 16% van alle Maashoogwaters boven de 1000 m³/sec vindt plaats in deze periode van 10 dagen (zie figuur 3.7). Dit wordt veroorzaakt door twee fenomenen:

- in de laatste week van december vindt er vaker dan gemiddeld een weersomslag plaats naar zacht regenachtig weer, het zogenaamde ‘kerstdooiweer’. Vaak volgen dan in één week tijd enkele regengebieden elkaar op en dringt zachte lucht West Europa binnen. Het gevolg is een opeengestapelde piek die begin januari zijn top bereikt.
- Als er in december sneeuw is gevallen, is het meestal geen dik pakket. De regenval die aan het eind van de maand valt, is dan voldoende sterk om al de sneeuw weg te dooien. Een dik sneeuw pakket kan namelijk veel vocht in zich opnemen en zorgt voor een aanzienlijke vertraging in de afvoer van het regenwater. Als het pakket dun is breekt het echter al snel door en komen regenwater en gesmolten sneeuw tegelijk vrij.

Bij de Rijn treden ook in de eerste decade van januari de meeste hoogwatergolven op, maar is het percentage van het totaal minder groot (12%).



FIGUUR 3.7 verdeling hoogwatergolven Maas uit periode 1911 – 2000 per decade



FIGUUR 3.8 Verdeling hoogwatergolven Rijn uit periode 1901 - 2000 per decade.

Het lagere aantal hoogwaters in de laatste decade van januari is ook aan de hand van het klimaat te verklaren. Deze periode is gemiddeld de koudste van de winter en de kans op vorst is dan het grootst. De eerste decade van februari is het aantal hoogwatergolven dan weer groter omdat dan relatief vaak de dooi weer invalt.

3.7 HET RITME VAN DE ZIJRIVIEREN

De zijrivieren in een stroomgebied brengen hun water in een bepaalde onderlinge tijdsverhouding naar de hoofdriever. Het aankomsttijdstip van een hoogwatergolf vanuit een zijrivier in de hoofdriever wordt bepaald door: het begintijdstip, de duur en de intensiteit van de neerslag en de looptijd van de watergolf door de zijrivier. In kleinere stroomgebieden, zoals het Ardennen deel van de Maas, kan één depressie het hele stroomgebied bedekken. De eerste drie gegevens zijn dan vrijwel gelijk, en

in dat geval is het met name de looptijd van de golven in de verschillende zijrivieren die bepalend is. In grote stroomgebieden, zoals dat van de Rijn, beïnvloedt een depressie meestal maar een deel van het stroomgebied. De factoren begintijdstip, duur en intensiteit van de neerslag spelen dan wel een belangrijke rol bij het al dan niet samenvallen van de hoogwatergolven in de verschillende zijrivieren.

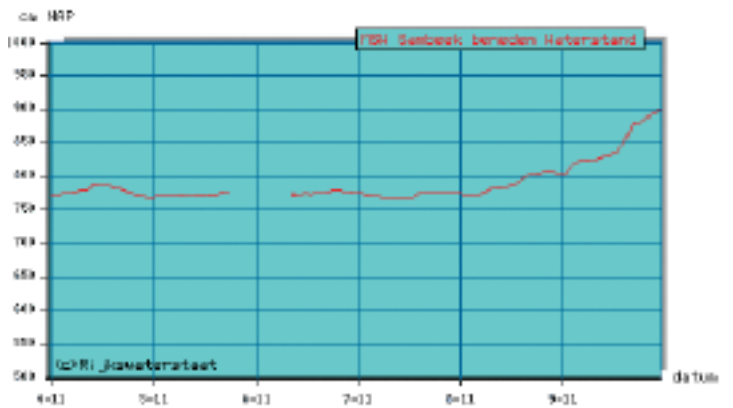
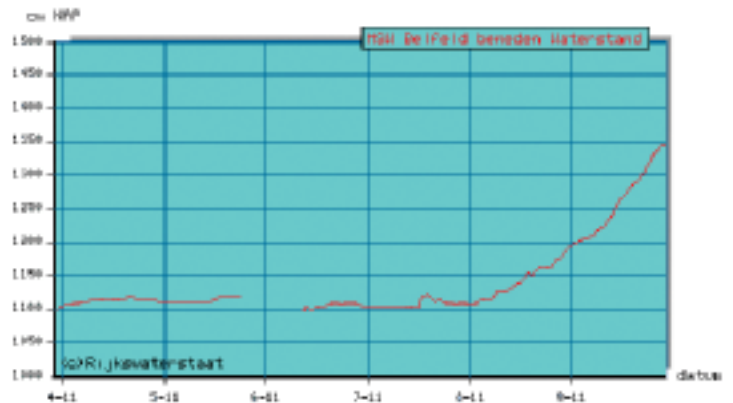
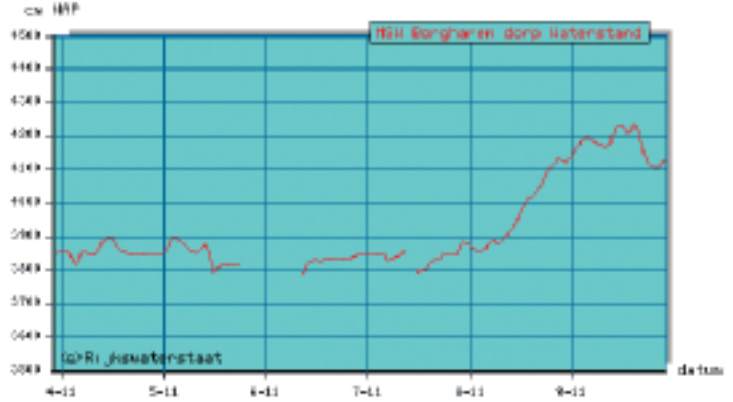
Het is onwaarschijnlijk dat er in de loop der eeuwen veel is veranderd aan de wijze waarop depressies over de stroomgebieden trekken. In het stroomgebied van de Maas zal de neerslag altijd al vrij kort na elkaar overal zijn ingezet en zal de duur en de intensiteit ook niet sterk uiteen hebben gelopen. De enige factor die door de eeuwen heen wel is veranderd is de looptijd van de hoogwatergolven door de zijbeken. Door ontwatering van hoogvenen en moerassen op de plateaus, ingrepen in de beddingen en door de ophoging van de dalvlaktes, waardoor deze nauwelijks meer overstromen, is de looptijd van de hoogwatergolf in alle zijbeken versneld. De onderlinge verhouding waarin de hoogwatergolven de hoofdrijver bereiken ligt daardoor veel korter op elkaar dan vroeger. De kans dat ze (grotendeels) overlappen is daardoor sterk toegenomen. De bedding van de hoofdstroom is ingesteld op het 'oerritme' van de zijrivieren. Nu dit ritme is verstoord door allerlei menselijke ingrepen is de hoofdstroom uit balans en zijn hier uitzonderlijke maatregelen nodig om het water veilig door te voeren. Deze verstoring van een eeuwenoud evenwicht blijkt ook uit het feit dat de dalvlaktes langs de Maas veel vaker (vrijwel jaarlijks) overstromen dan op de zijrivieren (minder dan eens in de vijf jaar).

De looptijd van de hoogwatergolven in de zijrivieren verandert wanneer het water in de haarvaten langer wordt vastgehouden en het in de overstromende dalvlaktes wordt geborgen. Behalve dat de hoogwatergolf meer tijd heeft om in te zakken en dus later in de hoofdstroom aankomt, neemt de kans op het samenvallen in de hoofdstroom met hoogwatergolven uit andere zijbeken ook af. Hier dient zich een van de oplossingen van het hoogwaterprobleem aan. Door de dalvlaktes weer eerder te laten overstromen, neemt de looptijd van de hoogwatergolven in de zijbeken toe, en neemt de kans op overlap in de hoofdstroom af. Deze maatregel moet dan op uitgebreide schaal worden toegepast, zodat er bij ieder hoogwater wel enkele beken zijn die eerder buiten hun bedding treden. Let wel: toepassing op uitgebreide schaal wil hier vooral zeggen dat er verspreid over het stroomgebied dergelijke maatregelen nodig zijn. De totale oppervlakte hoeft niet gigantisch groot te zijn.

In theorie is het ook mogelijk de afstroom uit delen van het stroomgebied zodanig te versnellen dat het water uit deze zijrivieren altijd voor de hoogwatergolf in de hoofdstroom uit loopt. Dit is echter een vorm van Russische roulette, want dat betekent ook dat het water uit deze snelle beken, bij een volgende regenperiode extra snel en extra hoog naar de hoofdstroom wordt gevoerd, waar het dan juist samenvalt met de hoogwatergolf die daar passeert.

In het stroomgebied van de Rijn spelen de factoren: wanneer en waar het geregend heeft, wel een belangrijke rol naast de doorlooptijd van de verschillende zijbeken. Het stroomgebied van de Rijn is zo groot dat regengebieden altijd maar een deel bestrijken. De hoofdstroom is daarom minder 'nauwkeurig' in gesteld op het eigen ritme van de zijbeken: de omvang is afgestemd op zowel de doorlooptijd als de verdeling van de neerslag in het stroomgebied. Een patroon zoals dat bij de Maas optreedt, is in het Rijnstroomgebied wel herkenbaar in de grotere zijrivieren, zoals de Bovenrijn, de Neckar, de Moezel en de Main.

FIGUUR 3.9 Afvoerkrommen van dezelfde hoogwatergolf bij Borgharen, Belfeld, Sambeek en Grave. De hoogwatergolf verplaatst zich als gevolg van het versnelingseffect van de gestuwde rivier veel sneller dan op grond van de looptijd mag worden verwacht.



3.8 DE INVLOED VAN STUWEN OP DE VOORTPLANTING VAN AFVOERGOLVEN

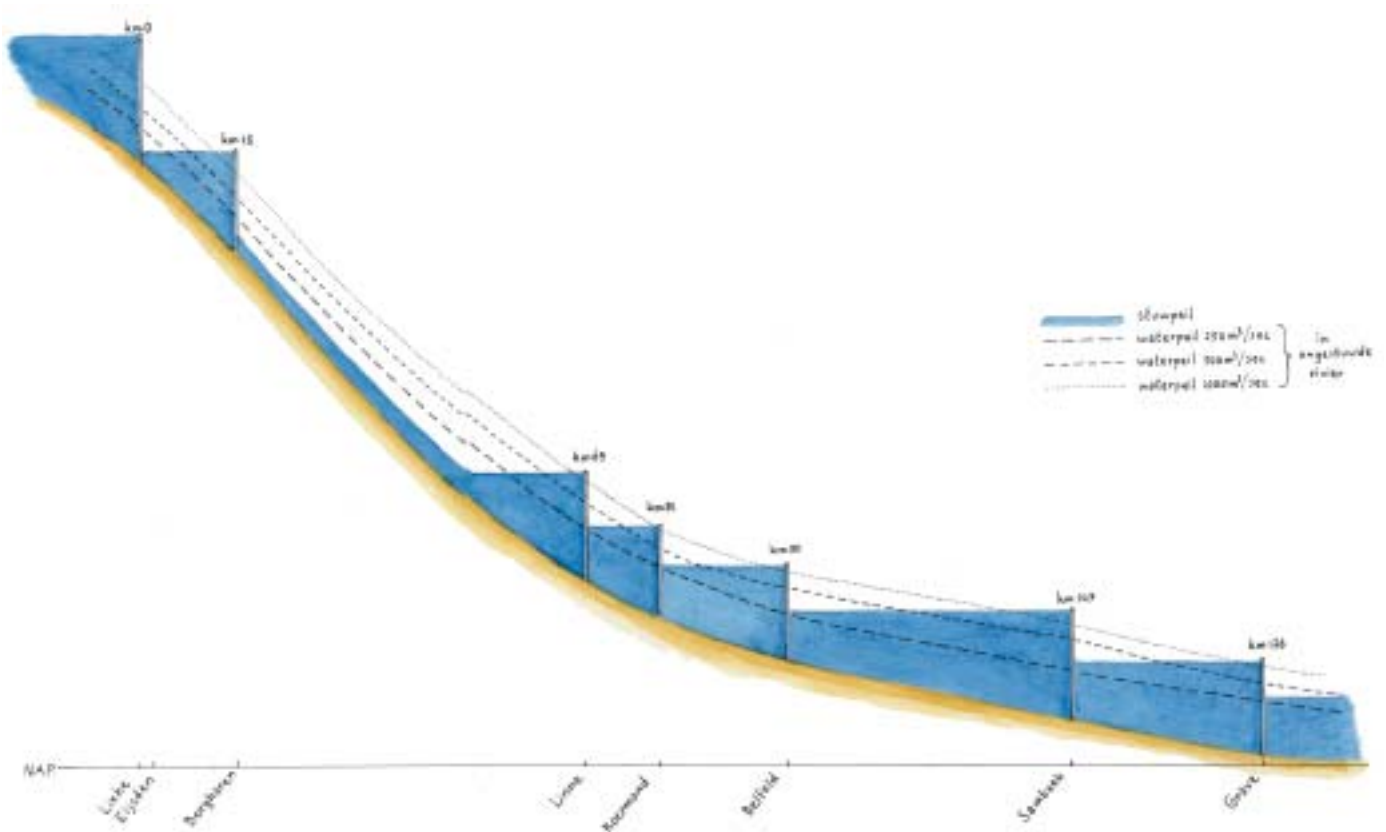
Stuwen hebben een aanzienlijke invloed op de voortplantingstijd van afvoergolven. De onderstaande reeks van figuren laat zien hoe een gemiddelde afvoergolf (ca 1000 m³/sec) zich van Borgharen naar Grave (160 km stroomafwaarts van Borgharen) verplaatste. Het begin van de stijging valt overal ongeveer gelijk en de piek passeerde in Grave slechts 10 uur nadat zij bij Borgharen passeerde. Bij grotere afvoergolven tot neemt de looptijd geleidelijk toe, tot bij ca. 1400 m³/sec het effect van de versnelling is uitgewerkt en de looptijd gelijk is aan de natuurlijke situatie.

De oorzaak van deze versnelling heeft te maken met het feit dat een afvoergolf in een stuwpand niet wordt doorgegeven als een massa water, maar als een impuls. De hoeveelheid water die aan de bovenzijde in het stuwpand valt, veroorzaakt een schokgolf die zich zeer snel door het water verplaatst naar het benedenstroomse deel van het stuwpand, waar een vergelijkbare hoeveelheid water het volgende stuwpand instroomt. Ook water dat vanuit zijbeken in het stuwpand stroomt wordt als schokgolf doorgegeven.

Voor een beter begrip van dit principe is het nodig de invloed van de stuwen op de waterstand in een rivier te bekijken. In figuur 3.10 is het lengteprofiel van de Maas in Nederland weergegeven over het traject Borgharen - Grave. De stuwen verhogen de waterstand in de hele rivier zodanig, dat de minimale diepte bovenin het stuwpand ongeveer gelijk is aan een waterstand die in de natuurlijke situatie hoort bij een debiet van ca. 250 m³/sec. Als de afvoer van de Maas lager is dan dit debiet, is de waterstand overal gelijk en zolang de afvoer onder de 250 m³/sec blijft vertalen schommelingen in de afvoer zich dan ook niet in een stijgend of dalend waterpeil, maar in een (iets) sneller of trager stromen van het water in het stuwpand. Pas bij een stijging tot boven de 250 m³/sec begint het waterpeil in het bovenstroomse deel te stijgen. Benedenstrooms in het stuwpand, waar de waterdiepte veel groter is, wordt een afvoertoe name tot 1000 m³/sec nog opgevangen door het snellere stromen. Pas bij een stijging tot boven de 1000 m³/sec stijgt het waterpeil overal in het stuwpand. Dat is ook het moment dat de stuwen in de Nederlandse Maas worden gestreken. Tot die tijd is er sprake van onnatuurlijke waterdieptes en worden de afvoergolven door impulswerking (gedeeltelijk) versneld door gegeven.

Het Belgische deel van de Maas tussen de Franse Grens en Eijsden is ook gestuwd en de hier boven beschreven invloed daarvan op de hoogwatergolven is vergelijkbaar. De Belgische stuwpanden onderscheiden zich echter van de Nederlandse doordat ze veel dieper zijn en de impulswerking is dan ook werkzaam tot een veel hoger debiet. Dat heeft tot gevolg dat ook zeer hoge hoogwatergolven met een grotere snelheid worden doorgegeven. Hierdoor is de vorm van de huidige hoogwatergolven in vergelijking met de natuurlijke vorm aanzienlijk veranderd en is met name de aanloop veel steiler dan in de natuurlijke situatie.

Een ander effect van de impulswerking is dat er een grotere kans is dat het water dat vanuit zijrivieren in de Maas stroomt op elkaar wordt gestapeld, in plaats van achter elkaar. Als hoogwatergolven vanuit de zijrivieren ongeveer gelijktijdig de Maas bereiken (en dat is vaak het geval) kwamen zij in de natuurlijke situatie na elkaar benedenstrooms aan omdat er een aanzienlijk verschil was in de looptijd door de Maas zelf. Nu de looptijd door de Maas vanwege het impulseffect veel kleiner geworden is, is het risico voor het samenvallen van de hoogwatergolven uit de zijbeken veel groter geworden.



FIGUUR 3.10 Lengteprofiel van de Maas over het traject Lixhe – Grave. De Maas is grotendeels een gestuwde rivier, behalve in een 40 km lang traject tussen Borgharen en Linne (de Grensmaas). In dit vrij afstromende traject zijn de waterstanden bij ieder debiet anders. Dit in tegenstelling tot de stuwpanden, waar de waterstand tot een zekere afvoer stabiel is. Met drie stippellijnen is de oorspronkelijke waterstand (in ongestuwde situatie) bij respectievelijk 250, 500 en 1000 m³/sec afgebeeld. Als de afvoer stijgt van

250 naar 500 m³/sec begint in het bovenstroomse deel van de stuwpanden de waterstand te stijgen en pas boven 1000 m³/sec stijgt het hele stuwpand. Door ingrepen in de rivier zoals peilopzet en zomerbedverdieping neemt de waterdiepte toe en daarmee het debiet waarbij de waterstand in een gestuwde rivier gaat stijgen. In de Belgische stuwpanden boven Lixhe (niet afgebeeld) is de waterdiepte door dergelijke ingrepen zo groot dat het waterpeil er pas stijgt bij een debiet nabij de 3000 m³/sec.

3.9 SAMENVATTING

Uit onderzoek aan de weersituaties die hoogwatergolven tot gevolg hadden, blijkt dat hoogwater met name wordt veroorzaakt door uitzonderlijke gebeurtenissen. Zoals extreme neerslag gecombineerd met het smelten van sneeuw en een bevroren ondergrond. De invloed van klimaatverandering op het optreden en samenvallen van deze gebeurtenissen is mogelijk veel belangrijker voor het optreden van nog grotere hoogwaters in de toekomst dan alleen het natter worden van het klimaat. Een uitgebreide analyse van de weersituaties waarbij hoogwatergolven zijn opgetreden is daarom van groot belang. De patronen die hierin te herkennen zijn geven waarschijnlijk een goed beeld van de kans op het optreden van nieuwe hoogwatergolven.

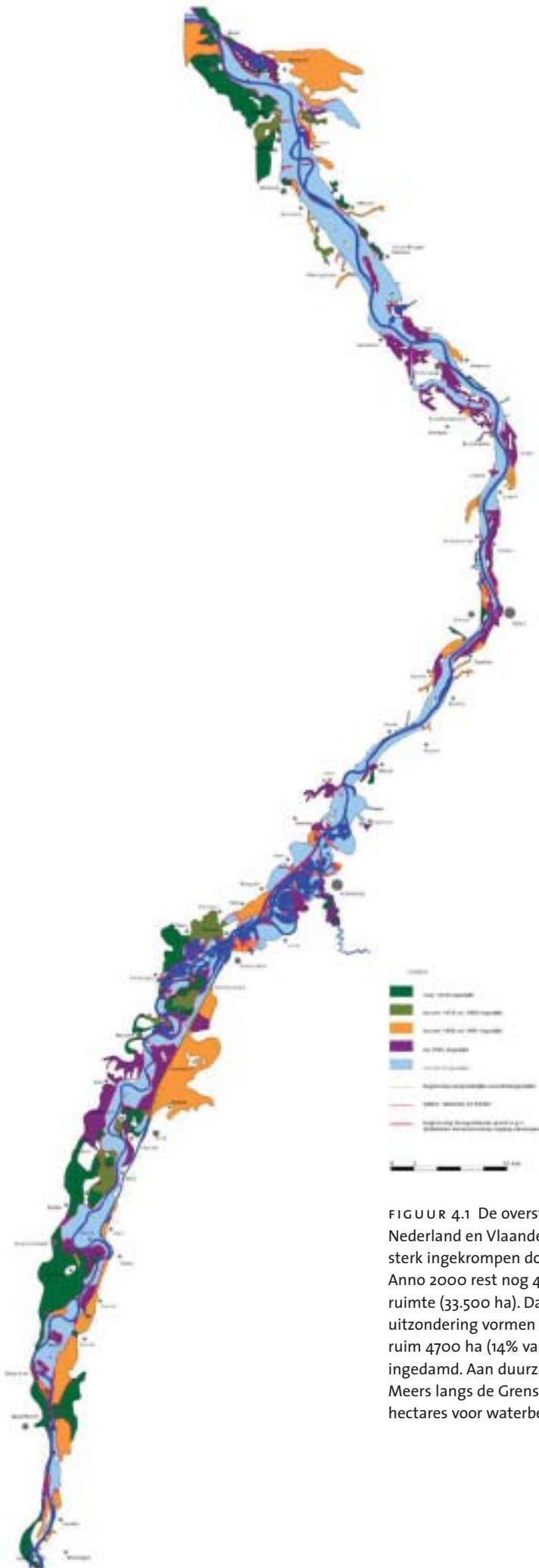
De overstromingsrisico's langs de Rijn en Maas worden bepaald aan de hand van de hoogte van het Maatgevende Hoogwater (MHW). Tot nu toe wordt dit berekend

door extrapolatie vanuit de afvoerreeksen van de afgelopen 100 jaar. Het verdient aanbeveling om ook gegevens over de kans op het optreden van bepaalde weertypes die hoogwatergolven veroorzaken in deze bepaling mee te nemen.

Uit de analyse van de hoogwatergolven komt naar voren dat altijd slechts een klein deel van de gevallen neerslag bijdraagt aan de vorming van de piek. In de winter, als de verdamping nihil is, draagt nog steeds niet meer dan 15 - 20% bij aan de piek (het stijgende deel) van de hoogwatergolf. Het grootste deel van de gevallen neerslag bevindt zich dan dus nog ergens in het stroomgebied, wat aangeeft dat de bergingscapaciteit daar nog altijd zeer groot is. Dit geeft aan dat hier goede mogelijkheden liggen om het hoogwaterprobleem op te lossen. Door het afkoppelen van delen van het stroomgebied die een bijdrage leveren aan de opbouw van de piek kan de hoogwatergolf worden verlaagd. Water ophouden in de bovenstroomse delen moet dan effect hebben. Verder benedenstrooms biedt het weer laten overstromen van dalvlaktes uitkomst om aanstormende hoogwatergolven af te remmen. Wanneer het lukt om 3 tot 5 % van de gevallen neerslaghoeveelheid vanuit de piek van de hoogwatergolf naar een later tijdstip in de golf te verschuiven is het probleem in de hoofdrijvieren al grotendeels opgelost.

Het geringe percentage dat de piek veroorzaakt toont ook aan dat een kleine relatieve verandering in de bergingscapaciteit verstrekkende negatieve gevolgen kan hebben. Zo bevindt het water dat vanaf verhard stedelijk oppervlak naar de rivier stroomt, zich altijd in de aanloop van de piek en dus binnen de eerste 15 - 20 % die wordt afgevoerd. Een toename van het verstedelijkte gebied draagt dus direct bij aan de vergroting van dit percentage.

Er is in de loop der eeuwen veel veranderd aan de looptijd van hoogwatergolven door de zijbeken. Door de versnelde afvoer is het ritme waarin de zijbeken het water naar de hoofdrijvier voeren ontregeld. De hoogwatergolven vanuit de zijbeken overlappen daardoor meer dan vroeger, waardoor de kans op wateroverlast aldaar toeneemt. Door de aanleg van zeer diepe stuwpanden in de Belgische Maas worden zelfs de extreme hoogwatergolven met grote snelheid doorgegeven en is het verschil in looptijden tussen de hoogwatergolven vanuit de verschillende zijbeken sterk afgenomen.



FIGUUR 4.1 De overstromingsvlakte van de Maas in Nederland en Vlaanderen is in de afgelopen 2 eeuwen sterk ingekrompen door de aanleg van kades en dijken. Anno 2000 rest nog 47% van de oorspronkelijke bergingsruimte (33,500 ha). Dat de laatste 10 jaar hierop geen uitzondering vormen blijkt uit het feit dat in die tijd nog eens ruim 4700 ha (14% van de totale overstromingsvlakte) werd ingedamd. Aan duurzame maatregelen werd alleen bij Meers langs de Grensmaas een gebied van enkele tientallen hectares voor waterberging ingericht.

4 Mogelijkheden voor het vasthouden en bergen van water

INLEIDING

In de voorgaande hoofdstukken is een beeld geschetst van de middelgebergten en de wijze waarop hoogwatergolven daar tot stand komen. De veranderingen die in de loop der eeuwen zijn doorgevoerd in het stroomgebied hebben grote invloed gehad op de waterafvoer, die er meestal door is versneld. Het simpelweg terugdraaien van deze veranderingen, om daarmee de hoogwaterproblematiek op te lossen, is vaak niet mogelijk, omdat veel veranderingen onomkeerbaar zijn, of omdat er geen draagvlak voor is. Daarom moet er worden gezocht naar nieuwe kansen die het hedendaagse landgebruik biedt of naar veranderingen die aansluiten bij de autonome processen die in deze gebieden nu al plaatsvinden. In de voorgaande hoofdstukken zijn al enkele oplossingen voor de hoogwaterproblematiek kort aan de orde gekomen, zoals de mogelijkheid om de uitgestrekte vlaktes boven in het stroomgebied te benutten om het water langer vast te houden of door de looptijd van hoogwatergolven te vertragen door dalvlaktes vaker te laten overstromen. Hieronder worden deze maatregelen en andere in het kort behandeld, waarna er in hoofdstuk 5 t/m 7 uitgebreid op wordt ingegaan.

4.1 OPLOSSINGEN OP DE PLATEAUS EN IN DE HAARVATEN

In het landschap van de middelgebergten nemen de uitgestrekte plateaus en de brede ondiepe dalen een prominente plaats in. Al meteen op het eerste gezicht is duidelijk dat hier erg veel ruimte aanwezig is om het water langer vast te houden. Dat dit systeem nog steeds goed functioneert blijkt ook uit analyses van hoogwatergolven, waaruit blijkt dat maar liefst 85% van de gevallen neerslag pas na de passage van de hoogwatergolf het gebergte verlaat en dus enkele dagen wordt geborgen. Het langer vasthouden van de gevallen neerslag is hier mogelijk door:

- de kunstmatig versnelde afwatering (drainages en begreppeling) in de meest bovenstroomse delen van de dalen op te heffen
- de afwatering van venen en uitgestrekte naaldbossen op te heffen en veengroei weer mogelijk te maken
- ‘verloving’ (= omzetting in loofbos) van het naaldbosbestand
- minder akkerbouw en grasland en meer hoogopgaande permanente vegetaties.

Het voordeel van oplossingen in de haarvaten is dat de hoogwatergolf er direct vanaf het begin door wordt verlaagd, zodat alle bewoners van het dal er van profiteren. Naast de grote hoogwaterproblematiek langs de hoofdstroom van de Rijn en de Maas hebben de zijbeken vaak hun kleine hoogwaterproblemen. Veelal gaat het daarbij in ieder dorp om enkele huizen, zodat het het nieuws niet haalt, maar een verlaging van de waterstanden zal ook hier worden toegejuicht. Het langer vasthouden van het water in de haarvaten wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.

4.2 OPLOSSINGEN LANGS DE ZIJBEKEN

Vanuit de haarvaten op de plateaus wringt het regenwater zich in smalle v-vormige dalen met zo goed als geen bergingsruimte. Het water wordt hier van nature snel doorgevoerd en er zijn geen mogelijkheden om het water af te remmen. Verder stroomafwaarts verbreden de dalen van de grote zijrivieren van de hoofdstroom zich. Deze brede dalvlaktes overstromen tijdens hoogwater en hebben dan een sterk vertragende invloed op de hoogwatergolf. De mogelijkheden voor het vasthouden van water in deze dalvlaktes zijn:

- door het laten overstromen van de dalvlaktes loopt de hoogwatergolf minder snel en heeft zij tijd om in te zakken.
- door het eerder laten overstromen van de dalvlaktes wordt de onderlinge tijdsverhouding van de hoogwatergolven uit de zijbeken gunstiger en overlappen ze in de hoofdstroom minder snel.

Het bergen van het water in de dalvlakten wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 6.

4.3 OPLOSSINGEN LANGS DE HOOFDSTROOM (niet nader beschreven in dit rapport)

Eenmaal benedenstrooms aangekomen is de ruimte om hoogwater te bergen gering. In de uiterwaarden langs de rivier zijn er diverse mogelijkheden om meer ruimte te scheppen voor het water:

- door een uitgekiend netwerk van hoogwatergeulen aan te leggen.
- door obstakels uit het winterbed weg te nemen, zoals dwarskades en zomerdijken, zodat het water ongehinderd in en door de uiterwaard kan stromen
- door het afgraven van de klei die in de laatste eeuwen door tussen de zomerkades van de rivieren is ingevangen.
- door weerdverlaging toe te passen en de rivier op een lager niveau een bredere winterbedding aan te bieden.

Door het gecontroleerd laten overstromen van delen van het binnendijkse gebied. Daarnaast is het van belang de situatie langs de hoofdstroom niet verder te laten verslechteren. Ook na de hoogwaters van 1993 en 1995 zijn verreweg de meeste maatregelen die langs de rivier zijn uitgevoerd niet duurzaam. Ondanks de beloften van de regeringen om vooral duurzame maatregelen toe te passen is eerder het tegenovergestelde gebeurd. Duurzame projecten zijn slechts op zeer kleine schaal toegepast of zijn nog in studie, terwijl er wel op grote schaal kades zijn aangelegd (Nederland) of verhoogd (Vlaanderen), riviertrajecten zijn verdiept of verbreed (Nederland en Wallonië) en bochten van de rivier zijn afgesneden (Wallonië). Een eventuele nieuwe aanpassingen van de stuwpanden in de Waalse Maas, tot nog grotere diepte zou er toe kunnen leiden dat de doorlooptijd van de hoogwatergolven dicht in de buurt van de gevarenszone van 3000 m³/sec komt. Hier uit kan de les worden getrokken dat er voorzichtig omgesprongen moet worden met de verdieping van gestuwde rivieren. Zulke werken kosten immers veel geld en zullen niet makkelijk ongedaan gemaakt kunnen worden. Het zijn echter wel steeds stappen in de richting van een ongewenste situatie.

5 Sponzen en venen, de eerste klap is een daalder waard

INLEIDING

De hoogste delen van de stroomgebieden van Rijn en Maas bestaan uit plateaus, waar het gevallen regenwater in de bodem dringt en ondergronds afstroomt naar weidse dalen, waar het weer opkwelt, en vanaf daar door de beek wordt afgevoerd. Regenwater langer vast houden is hier vooral mogelijk door de sponswerking van de bodem te vergroten. De verwachting is dat de bijdrage aan de oplossing van de hoogwaterproblemen benedenstrooms aanzienlijk is als er een voldoende grote oppervlakte bij wordt betrokken. Deze bovenstroomse gebieden dragen namelijk, vanwege hun grote oppervlakte, voor een belangrijk deel bij aan het water dat in de hoogwatergolven wordt afgevoerd. En hoogwater in de hoofd rivieren ontstaat dan ook pas als de middelgebergten op grote schaal verzadigd zijn geraakt nadat enkele regengebieden zijn gepasseerd.





Fotocollage van referentiegebieden langs de Amel, de Warche, Holzwarcke en een bovenloopbeek in Scharzwald. (zie ook vorige pagina)



5.1 HOE DE SPONSWERKING VAN DE MIDDELGEBERGTE TE VERGROTEN

De tijd die het water in de bovenstroomse delen van de middelgebergte onderweg is, vanaf het moment dat het als neerslag valt, totdat het in de beek aankomt, is te verdelen in 3 trajecten:

- de **INZIJGTIJD**; de tijd die het water nodig heeft om door de vegetatie, de strooisellaag en de bodem heen te dringen tot op de harde stenige ondergrond
- de **DOORSTROOMTIJD**; de tijd dat het water onderweg is door de bodem over de harde stenige ondergrond naar het dal
- de **AFSTROOMTIJD**; de tijd die het water nodig heeft om vanuit de kwelzone waar het aan de oppervlakte is gekomen bovengronds af te stromen naar de beek

Als we de sponswerking van het middelgebergte willen veranderen, dan moeten we maatregelen bedenken die invloed hebben op de die bovengenoemde trajecten, zodat de tijd die het water nodig heeft veranderd. Het vergroten van de sponswerking betekent dan dat het regenwater langzamer inzijgt, trager doorstroomt en langzamer afstroomt.

Om de sponswerking aan de inzijgkant te vergroten is vrijwel altijd een verandering in landgebruik nodig. Hoe groter de sponswerking van het landgebruik hoe gunstiger de uitwerking er van is. In dit opzicht is structuurrijk loofbos met een rijke ondergroei van struiken en kruiden en een dikke strooisellaag op de bodem de meest gunstige vegetatie om de waterafvoer te vertragen. Deze natuurlijke begroeiing van de middelgebergte is echter grotendeels verdwenen; zij is omgezet in akkerland, grasland en met name de laatste 2 eeuwen, in gedraineerd naaldbos. Dit zijn alledrie vegetaties met een geringe sponswerking. Naaldbossen remmen met hun dichte kronen wel het regenwater af voordat het de bodem bereikt, maar het naaldpakket in de strooisellaag is te vet om water te absorberen en laat het snel door. Naast loofbossen zijn ook hoogvenen in staat om veel regenwater vast te houden en traag af te voeren. Ook deze vegetatie, die in het verleden meer dan 10% van het landoppervlak van de middelgebergte in nam, is in de laatste 2 eeuwen vrijwel geheel verdwenen, ten koste van naaldbos.

Een verandering van het landgebruik waarbij de bosbouw van naaldbos overschakelt op loofbos en waar weer meer ruimte wordt gereserveerd voor hoogveenontwikkeling, zal op den duur de waterafvoer vertragen en een gunstige invloed hebben op het voorkomen van hoogwateroverlast. Deze veranderingen in landgebruik zijn behalve voor de waterberging ook interessant voor recreatie en toerisme die nu al de belangrijkste economische sector zijn in de middelgebergte. Omdat het landschap na de veranderingen afwisselender wordt, zijn er meer bezoekers te verwachten die langer in het gebied zullen blijven. Het maatschappelijk draagvlak om grote oppervlakten weer in veen te veranderen zal echter niet groot zijn. Wat dat betreft maakt een verlosing van het naaldbosbestand meer kans: het verwerven van de grond is niet nodig, er kan worden aangehaakt bij de enorme stormschade van 1999, die vooral plaatsvond in bosplantages en de bosbouw kan relatief makkelijk centraal worden aangestuurd. Door deze veranderingen vanaf nu actief te gaan ondersteunen kan een traject worden ingezet parallel aan de op handen zijnde klimaatverandering die zich in de komende decennia zal voltrekken. Op kleine schaal worden in de Ardennen, de Eifel en het Zwarte Woud hoogvenen hersteld, maar hoogveen regenerereert traag. Bovendien is de huidige politiek is er niet op gericht om deze veranderingen te ondersteunen. Natuurlijk zou het zeer de moeite waard zijn als die steun er wél zou komen. Dat laat echter onverlet dat de kans klein is dat het autonome proces op korte termijn voldoende resultaat oplevert.

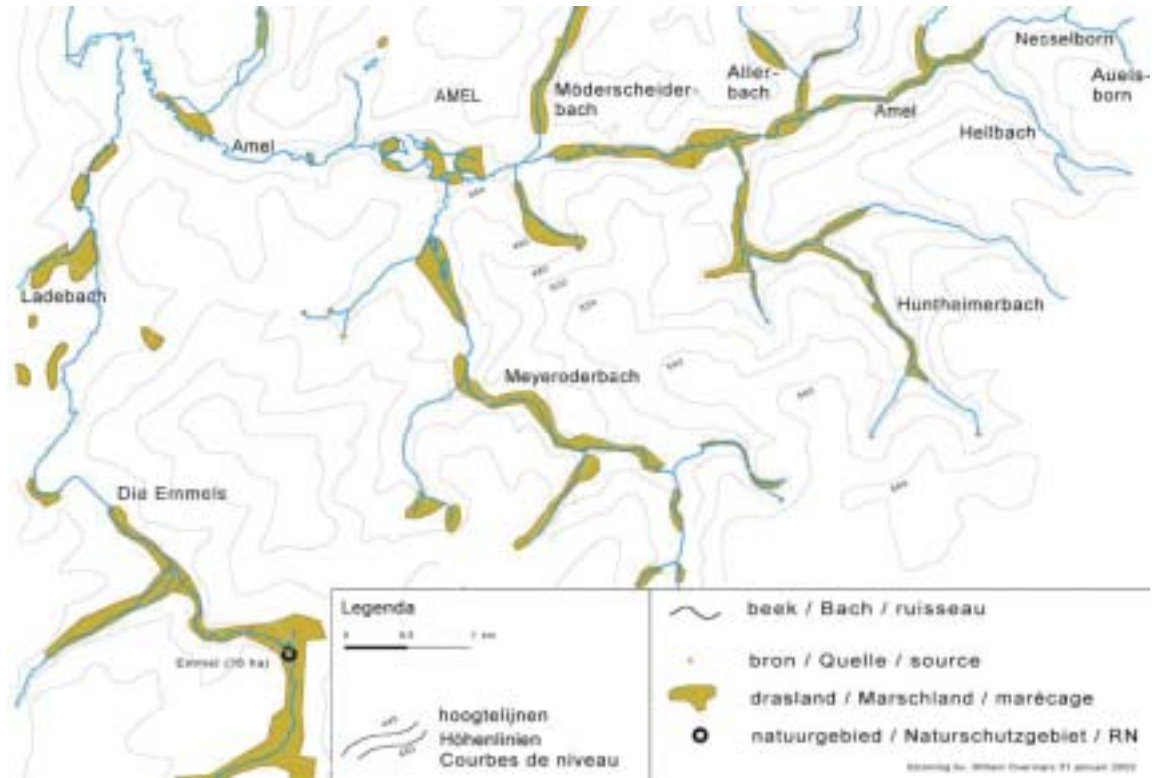
Aan de doorstroomtijd van het water door de bodem is weinig te veranderen. Het water bevindt zich op enige diepte in de bodem en laat zich niet beïnvloeden door het landgebruik. Wel blijkt uit onderzoek dat boswegen die in de helling zijn ingesneden de doorstroomtijd aanzienlijk kunnen verkorten. Zij vangen het water dat door de bodem stroomt af en voeren het, over de weg, versneld af naar het dal. Door een ander beheer van de steile kanten van de boswegen en door in onbruik geraakt boswegen op te ruimen kan het effect van de boswegen op de waterafvoer worden verminderd. Deze maatregel kan worden meegenomen in gebieden waar het bosbestand wordt omgezet in natuurlijke bos met meer loofbomen.

Met name in het derde traject, de afstroom van het water over de bodem van de dalvlakte, liggen kansen om al op korte termijn veel resultaat te boeken. Het water stroomt hier vanuit moerassige kwelzones aan de voet van de helling oppervlakkig af naar de beek. Deze zones bevinden zich in het gehele netwerk van haarvaten waar het hoogste deel van een stroomgebied uit bestaat. Het zijn steeds de laagste delen in het golvende landschap waar zich uitgestrekte dalvlaktes bevinden waar het water zich verzameld. De dalvlaktes zijn in z'n geheel geschikt zijn om er het regenwater langer vast te houden. Een gunstige bijkomstigheid is dat deze natte, lage plekken op dit moment op grote schaal door de landbouw worden verlaten. De bodem is er namelijk te vochtig om intensieve landbouw mogelijk te maken zonder een omvangrijke verdere drainage. De gronden worden daarom te koop aangeboden en het geld dat daarmee wordt verdiend wordt gebruikt om de andere gronden op de helling wel te verbeteren. Er komt daarom nu al veel grond vrij, die zich juist in de gebieden bevindt waar een grote bijdrage kan worden geleverd aan de vertraging van de waterafvoer. Bij het in cultuur brengen van de dalbodems zijn in het verleden op deze natte plekken op grote schaal greppels en beken gegraven om het gebied voor de toenmalige landbouw, geschikt te maken. Waar de landbouw verdwijnt kunnen deze afwateringssystemen weer worden ontmanteld en kan de oorspronkelijke waterbergende functie worden hersteld.

Deze ingrepen zijn op lokaal niveau kleinschalig; het gaat om kleine stukjes van de beschikbare landbouwgrond. Van de andere kant gaat het ook weer om een groot-schalige ingreep, omdat erg veel van zulke kleine gebieden nodig zijn voor een flink effect op de hoofdrivier. De grond kan of verworven worden, wat een grote kostenpost betekent, maar ook is het mogelijk om de eigenaar een beheersvergoeding uit te betalen voor een andere vorm van landgebruik, waarbij het water langer wordt vastgehouden (de waterbergboerenregeling) In het terrein hoeven alleen de greppels dichtgegooid te worden en moet zich een dichte permanente vegetatie kunnen vestigen. Het dichten van de afwateringssystemen heeft alleen invloed op de waterstand in de dalvlakte zelf. Aan weerszijden, op de flanken van het dal, is het effect meteen uitgewerkt en ondervindt het huidige landgebruik geen nadelige invloed (zie ook figuur 5.2). Als de beeklopen en greppels zijn dichtgegooid, ontwikkelt het gebied zich als een doorstroommoeras. Dat wil zeggen dat het uittredende bodemwater traag tussen de hoge vegetatie doorstroomt en pas na enige dagen of weken de beekloop bereikt, waarlangs het wordt afgevoerd. Gunstig is verder dat elke hectare telt: er zijn geen grote aaneengesloten gebieden nodig. Sterker: relatief kleine gebieden die verspreid liggen in het stroomgebied zijn gunstiger dan één groot gebied



Grande Fagne nabij Baraque Fraiture en Hautes Fagnes bij Malmedy in de Ardennen. De waterbergende functie van hoogvenen is groot, maar speelt vanwege de geringe huidige oppervlakte nog maar een bescheiden rol bij het vasthouden van neerslagwater in het stroomgebied van Maas en de Rijn.



FIGUUR 5.1 Ligging van door de landbouw verlaten terreinen in het bovenstroomse deel van de Amel (Amblève).

5.2 WAAR IS ACTIE MOGELIJK: REFERENTIEGEBIEDEN

In de hogere delen van de Ardennen zijn tal van goede referenties te vinden van verlaten landbouwgronden, waar het afwateringssysteem in verval is geraakt en de vegetatie sterk verruigt. Langs de bovenloop van de Amblève, daar Amel geheten, en langs de Lienne, de Ourthe en de Salm gaat het inmiddels om vele honderden hectares. Een klein deel van de gronden is in de afgelopen jaren verworven door natuurbeschermingsorganisaties. De primaire doelstelling is het herstel van de moerassige vegetatie, hetgeen zich goed laat combineren met het vergroten van de waterbergende functie.

De meeste verlaten terreinen liggen bovenstrooms in de brede dalvlaktes van de haarvaten van het stroomgebied. Maar ook stroomafwaarts, in de middenlopen, zijn de daar smalle dalvlaktes vaak verlaten door de landbouw. Dit is daar in twee fases gebeurd: enkele decennia geleden is een deel van deze weidegronden in onbruik gebracht en een groot deel is toen bebost met fijnsparren en een klein deel verwilderd. Momenteel worden ook de laatste percelen door de landbouw verlaten en zo is bijvoorbeeld vrijwel het gehele traject van de Ourthe, tussen Houffalize en Gouvy nu veranderd in ruigte en opschietend bos.

In het stroomgebied van de Rijn zijn in Duitsland (Sauer) en Frankrijk (Moezel) vergelijkbare ontwikkelingen gaande. In Duitsland verlopen de veranderingen op dit moment minder snel dan in België, maar zijn met name de dalvlaktes in de smalle beekdalen al in een eerder stadium verlaten door de landbouw, zoals langs de Kyll en de Neckar.



FIGUUR 5.2 Impressie van het bovenstroomse deel van het stroomgebied van de Ourthe, waarbij alle dalvlaktes die geschikt zijn om kwelwater langer op te houden zijn ingericht als doorstroommoeras.

5.3 KWANTIFICERING

Hier volgt in het kort een kwantificering van de oppervlakte die de haarvaten in het stroomgebied innemen. In hoofdstuk 7 wordt uitgebreid ingegaan op de bijdrage die deze gebieden hebben aan het verlagen van de hoogwatergolf. Figuur 5.2 geeft een impressie van het ruimtebeslag dat bruikbaar is om het water in de haarvaten langer op te houden. Het gaat hierbij dus alleen om die delen van het stroomgebied waar het hogerop de helling ingetreden regenwater weer als kwelwater aan de dag treedt. In deze figuur zijn al de gronden die ruimte bieden voor het vasthouden van water in het bovenstroomse deel van de Ourthe ingekleurd. De beeklopen en greppels zijn hier dichtgegooid en het gebied ontwikkelt zich als een doorstroommoeras. In deze figuur gaat het om een gebied van ca. 1200 ha, waarvan 10 tot 15% (ca. 150 ha) kan worden ingericht als moeras. De overige hectares blijven geschikt om er landbouw of bosbouw te bedrijven. Op dit moment is in de bovenloop van de Ourthe slechts een oppervlakte kleiner dan 1% moerassig. De verwachting is dat de bijdrage aan het vasthouden van water groot zal zijn. Bij een terreinbezoek na extreme regenval in januari 2003 bleek namelijk dat de drainage nog steeds erg snel is in deze gebieden die vanouds veel water vasthouden.

In figuur 2.4 is in blauw voor het stroomgebied van de Amblève aangegeven waar de dalen liggen die weids en ondiep zijn. Deze dalen zijn het meest geschikt om te worden ingericht als doorstroommoeras. Het gaat daarbij om 55% (650 km van in totaal 1180 km) van alle beeklopen die het stroomgebied van de Amblève omvat. Bij een geschatte gemiddelde breedte van 150 m gaat het in totaal om bijna 10000 ha, dat is 1% van het gehele stroomgebied. In deze zones kwelt het water op uit een gebied dat ca 60 % van het stroomgebied van de Amblève omvat. Vergelijkbare gebieden liggen verspreid over de hele Ardennen in alle deelstroomgebieden. In figuur 7.7 is ruwweg voor de Ardennen aangegeven waar deze gebieden liggen. Ook buiten de Ardennen in het stroomgebied van de Chiers en de Franse Maas liggen uitgestrekte gebieden die zich lenen voor het vasthouden van water in de haarvaten.

Ook in andere gebergten, zoals de Eifel, het Rothaargebirge en het Zwarte Woud zijn er tal van mogelijkheden om de bovenstrooms gelegen brede vlakke dalbodems om te zetten in doorstroommoeras.

Het zal duidelijk zijn, dat een groot deel van de aanwezige moerassen gerenatureerd zal moeten worden om een aanzienlijke invloed te hebben op de waterstanden in de hoofdrijvers. Er zijn nog geen exacte gegevens bekend van de precieze effecten van deze maatregelen.

In samenwerking met Waalse natuurbeschermingsorganisatie RNOB Réserves Naturelles en de Duitstalige tak hiervan de Bund für Natur- und Vogelschutz BNVS wil het Wereld Natuur Fonds in een aantal natuurreservaten op de dalbodems in de omgeving van St. Vith de maatregelen beproeven, en de effecten ervan laten door rekenen. Het gaat daarbij om terreinen langs de bovenloopjes van de Amel / Amblève die uiteindelijk naar de Maas stromen, en van de Our, waarvan het water via de Sûre/Sauer en de Moezel in de Rijn terecht komt.

6 Stromende berging in de toevoerende zijbeken

INLEIDING

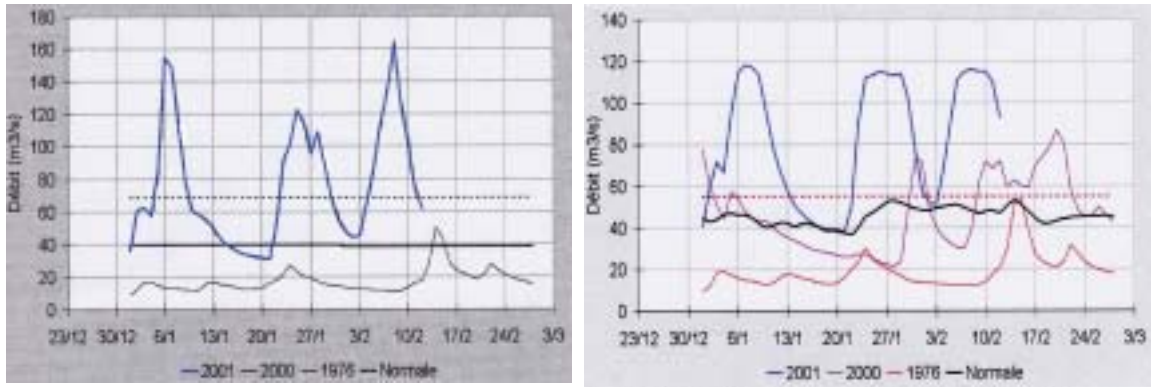
In hoofdstuk 2 is beschreven dat er in de loop der eeuwen grote veranderingen hebben plaatsgehad in de beeklopen in de middelgebergten. Door het vastleggen van de beeklopen stakte de erosie en, omdat de sedimentatie wel onverminderd door ging, hoogden de dalvlaktes zich op. De bedding steeg niet mee en veranderde in een diepe, smalle loop. De overstromingsfrequentie van de dalvlakte nam daardoor steeds verder af en een alsmaar grotere hoeveelheid water werd met een steeds hogere stroomsnelheid via de bedding afgevoerd. Door de beken, op die plaatsen waar het landgebruik dat toelaat, weer vrij te laten meanderen, zal de bedding weer van vorm veranderen en kan zich weer een natuurlijkere overstromingsfrequentie instellen. Wanneer de beken weer eerder buiten hun oevers treden, zullen tijdens een natte periode meer beken overstromen dan nu het geval is. Een groter deel van al de hoogwatergolfjes die door de duizenden beken wordt aangevoerd zal dan vertragen, zodat de som van het geheel, de hoogwatergolf in de hoofdstroom, lager blijft.

6.1 VERTROUWEN IN BEEKPROCESSEN

Door vastleggen met oeverbeschoeiingen en ontbossing van het stroomdal zijn veel beken in een keurslijf gedrukt en zijn hun meanders niet meer dan verstilde getuigen van een lang geleden gestopt proces. De erosie stopte, maar sedimentatie van vooral leem en klei kon doorgaan waardoor de omliggende gronden ophoogden. De hoge steile oevers zijn hiervan het resultaat. Wanneer oeverbeschoeiingen worden weggehaald en omgevallen bomen mogen blijven liggen, blijkt dat de oude meanders weer in beweging komen. Op enkele plaatsen langs de Geul en de Worm in Nederland is het beheer van de oevers van de beek in het verleden gestaakt en heeft de beek zich recent weer een natuurlijkere morfologie aangemeten. Zonder dat er een mensenhand aan te pas is gekomen ontstaat een brede dalvlakte (van meer dan 100 m breed in plaats van de oorspronkelijke 15m) met een grote morfologische dynamiek. De algehele variatie in de beek neemt sterk toe en er ontstaan allerlei watertypen met uiteenlopende diepte, stroomsnelheid, temperatuur, bodemsubstraat en voedselrijkdom. Allerlei planten en diersoorten profiteren juist van deze afwisseling en veranderlijkheid in het beekstelsel. Hieronder wordt stilgestaan bij de ontwikkelingen die zich in de Worm en de Geul hebben voorgedaan.

6.2 DE VRIJE WORM

De Worm bij Haanrade laat zien wat er gebeurt wanneer de beek zich weer vrijelijk kan bewegen. Deze beek ontspringt in de stad Aken en stroomt bij het dorp Haanrade enkele kilometers over Nederlands grondgebied. Bij Eygelshoven stroomt het



Figuur 6.1a en b. In gedeelten van het stroomgebied van de Maas is de natuurlijke, remmende werking van de dalvlakten nog in takt. Langs de Chiers bijvoorbeeld zorgt een ca 20 km lange dalvlakte tussen Montmedy en Carignan er voor dat hoogwatergolven hier aanzienlijk vertragen en afvlakken. In de linkerfiguur is te zien hoe in het bovenstrooms van de vlakte gelegen Chauvency-le-Chateau tussen 1 januari en 12 februari 2001 drie hoogwatergolven passeerden, die respectievelijk een afvoer van

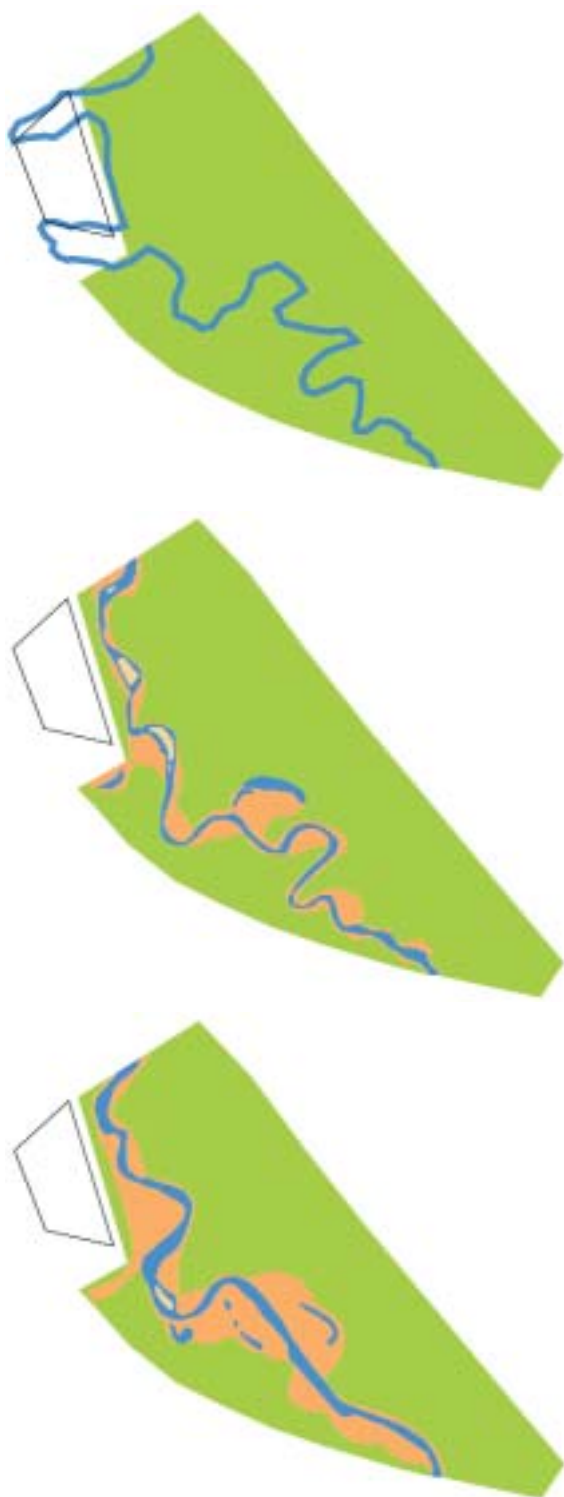
157, 121 en 163 m³/sec hadden. Stroomafwaarts van de overstromingsvlakte in Carignan (rechterfiguur) kwam de piek duidelijk afgetopt en tot 25% minder groot (maximaal 118 m³/sec) aan. Het in de dalvlakte geborgen water kwam achter de piek aan, waardoor deze in Carignan langer hoog bleef. Een alsmar verder opslibben van de dalvlakte in de toekomst betekent dat op termijn de hoogwatergolven steeds hoger en eerder aankomen in Carignan en steeds minder gedempt worden doorgegeven aan de Maas.

riivertje weer Duitsland binnen om ten noorden van Heinsberg in de Roer uit te monden. In tabel 1 staan de hydrologische en morfologische eigenschappen van de Worm weergegeven. Met een verhang van 4 m/km en een maximale afvoer van ca. 50 m³/s is ze in staat zand en grind op te pakken en verderop weer af te zetten. Ondanks een wat kleiner verhang is over lange trajecten ook de Geul in staat dit te doen.

TABEL 6.1 Hydrologische en morfologische eigenschappen van de Worm en de Geul

	Worm	Geul
Totale beeklengte (km)	50	58
Oppervlakte stroomgebied (ha)	13500	28150
gemiddeld bodemverhang (m/km)	4,0	3,6
gemiddelde afvoer (m ³ /s)	2,5-3,0	2,5-3,5
Minimum afvoer	0,8	1,0
Maximum afvoer	50	60
Gemiddelde stroomsnelheid (m/s)	0,30-0,60	0,25-0,50

De Worm bevindt zich bepaald niet in een ongerepte setting. Links en rechts tooien mijnsteenbergen, verlaten spoorwegemplacementen, industrieterreinen en de stadsranden haar hellingen. Mede hierdoor werden de gronden in het dal bij Haanrade al decennia geleden oninteressant voor de landbouw. Langzamerhand verdween de noodzaak het riviertje nog langer vast te leggen. Beschoeiingen werden verwaarloosd en spoelden weg. De Worm begon weer vrij te meanderen en het dal kon over grote delen bebost raken. Door de verstedelijking van een groot deel van het stroomgebied, nam het oppervlak aan verhard gebied toe, waardoor regenwater sneller en met hogere pieken werd afgevoerd. Dit betekende ook een versnelde erosie van de dalwand.



figuur 6.2 a t/m c De Worm bij Haanrade in 1924, 1975 en 1989. Nadat de beekbedding is 'vrijgelaten' heeft de dalvlakte zich sterk vergroot. Op de kaartjes is de oorspronkelijke, relatief hooggelegen dalbodem oranje-gearceerd, de loop van de Worm blauw en de nieuwe, door erosie uitgesleten dalvlakte oranje weergegeven. In geel verse grindbanken en -eilanden. Door onstuimig gedrag van de Worm, en door 'nalatig' onderhoud, treedt sterke erosie van de oevers op.

De Worm tussen 1924 en 1989

1924

De Worm liep in een smalle kronkelige bedding in een breed dal. Steilranden die de grenzen van een brede dalvlakte aangeven staan niet op de kaart. Het is daarom aannemelijk dat de beek, net als de huidige Geul, diep tussen de uit lemig materiaal bestaande steile oevers stroomde.

1975

Op de luchtfoto van hetzelfde traject is te zien dat de loop flink is veranderd. Bochten hebben zich verlegd en een oude meander is afgesneden. Inmiddels is ook een grote visvijver in het dal aangelegd, die vrije erosie plaatselijk aan banden legt.

De gemakkelijk erodeerbare zandige leem die zich in een vroegere periode heeft opgestapeld in het dal, raakt ondermijnd, en stort met bomen en al in de beek. De bomen wijzigen de koers van de beek waardoor ook andere oevers worden aangevallen. Het geërodeerde materiaal verdwijnt ver stroomafwaarts richting Roer en Maas. Het is niet duidelijk wanneer de vrije erosie precies begonnen is; gezien de al flinke erosie in 1975 is dat vermoedelijk in de zestiger jaren geweest.

1989

Door de voortdurende erosie van de oevers, verwijdt de beek zijn bedding. Er ontstaat een nieuwe, lagergelegen dalvlakte, die ontstaat is van het geaccumuleerde pakket leem en zand. De Worm heeft ten opzichte van 1975 ongeveer twee hectare nieuw terrein verworven (van 3,5 naar 5,5 ha). De ca 50.000 m³ materiaal die hierbij is vrijgekomen is uit het gebied afgevoerd. Het grindige karakter van de bedding springt nu meer in het oog. Het riviertje is niet in staat om zich diep in het grindpakket in te snijden en slingert er over heen en weer. Op een plaats heeft de beek zich in 2 takken gesplitst. Aan weerszijden van de beek liggen afgesneden beddingen. De nieuwe dalvlakte groeit vol met bos: vooral wilgen, maar plaatselijk ook els en soms Zwarte populier. Het hout dat in het water is gevallen bevordert de beweeglijkheid van de bedding en vormt een uitstekende aanhechtingsplaats voor tal van organismen. Deze voeden zich door algen uit het water te filteren en zuiveren zo het beekwater.

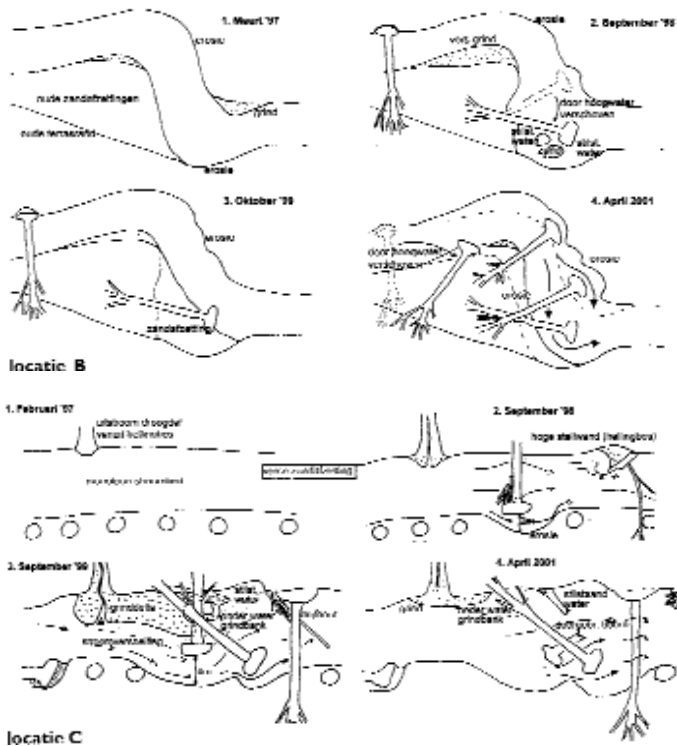
Het dal van de Worm na ca. 40 jaar vrije erosie. Geheel rechts op de foto is een fragment zichtbaar van de ruim 2 meter hogere oorspronkelijk oever. De lagere vlakke daarachter maakt deel uit van de nieuwe, huidige overstromingsvlakte van de Worm.



6.3 DE VRIJE GEUL

In 1996 is het natuurontwikkelingsproject Beneden Geuldal van start gegaan in het gebied dat zich uitstrekt tussen Valkenburg en Meerssen. De belangrijkste doelstelling is om de oorspronkelijke processen van een natuurlijk beekdal weer tot leven te wekken. Begin 1997 is de oeverbeschoeiing langs de Beneden-Geul verwijderd, waardoor de beek de kans krijgt de oevers aan te vallen en haar dalvlakte te verbreden. De bevindingen bij de Worm dienen hierbij als referentie. De Beneden-Geul lag net als de Worm voordat daar de erosie begon, al vele eeuwen (mogelijk al meer dan 500 jaar) op min of meer dezelfde plaats. Een belangrijk verschil tussen de Worm en de Beneden-Geul is de sedimentopbouw van de dalvlakte. De Worm heeft vooral zandige leem afgezet, die makkelijk erodeert. Langs de Beneden-Geul is het materiaal lemiger en werd verwacht dat de erosiesnelheid lager zou liggen. Naarmate er meer bomen in de beek terecht komen –meteen in 1998 vielen er al 15 grote Canadese Populieren van de oever af in de beek– blijkt dat dit de triggers zijn die de zijdelingse erosie op gang brengen. Zonder deze ‘shocktherapie’ is de Geul geneigd nog lange tijd haar oude loop te volgen. Voor 1996 viel er ook wel eens een populier om, maar dat werd als schadelijk ervaren en de boom werd verwijderd. Sinds 1996 mogen ze blijven liggen, maar het duurde tot het hoogwater van september 1998 voordat er veel bomen invielen. Anno 2001 zijn er ca 20 bomen omgevallen, die lokaal tot drastische veranderingen in het stromingspatroon hebben geleid. Waar de stroom zich op de oever richt, treedt sterke erosie op. De beek verbreedt zich daar snel en de bedding is plaatselijk al tweemaal zo breed als voorheen. De monotone rechte loop verdwijnt en de eerste aanzetten voor nieuwe meanderbochten zijn er al. In figuur 6.2 is van twee locaties de ontwikkeling tussen maart 1997 en april 2001 in schetsen weergegeven.

Er is (nog) geen veldonderzoek gedaan naar de invloed van de veranderingen in de bedding op de waterstand en het afvoerverloop. Wel is met *SOBEK* een modelstudie uitgevoerd om een inschatting te kunnen maken van de effecten op de waterstand. Hierbij is voor de eindsituatie uitgegaan van een brede dalvlakte in Ingendael, waar de Beneden-Geul in een aantal parallelle, smalle lopen doorheen loopt. De oevers zijn begroeid met bos. De belangrijkste constatering was dat een hoogwatergolf in deze



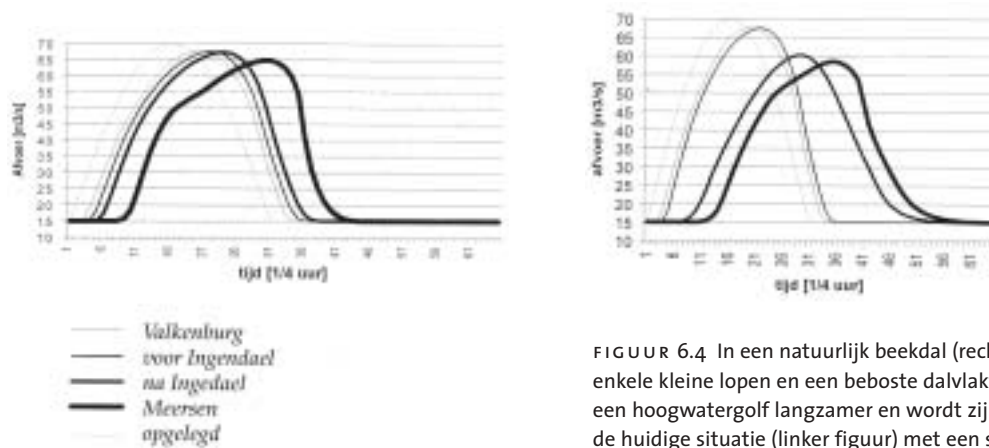
FIGUUR 6.3 Schematische weergave van de morfologische ontwikkeling tussen maart 1997 en april 2001 van twee locaties in het Beneden Geuldal bij Ingendaal. De Geul stroomt van links naar rechts. (tekening Bart Peters)

nieuwe situatie veel trager door het gebied loopt en 1,5 uur later benedenstrooms aankomt (na 2 uur ipv 0,5 uur) dan in de huidige situatie. De topafvoer zou hierdoor met 12 % afnemen (van 67,5 naar 60 m³/sec) (zie figuur 6.4).

In het Beneden-Geuldal mogen natuurlijke processen het landschap weer vorm geven. Hiermee is het een belangrijk voorbeeldproject voor een nieuwe kijk op het beekbeheer in Nederland, maar ook daarbuiten. Zelfs geheel gekanaliseerde beken zullen door het verwijderen van beschoeiingen en het stoppen van het ‘schonings- en herstelbeheer’ (weghalen bomen en herstel van erosieplekken) zichzelf vaak al voldoende destabiliseren om het meanderen weer te activeren. De verwachting is dat het proces daar langzamer zal lopen dan in beken die in hun meanderende loop zijn vastgelegd. Uit het voorbeeldproject blijkt dat met name bomen en takken die in de beek zijn gevallen de stroom ontregelen en de erosie laten beginnen. Door bomen in de beek te leggen kan het proces ook worden bevorderd.

6.4 BEEKDALEN ALS RETENTIEGEBIEDEN

De bovengenoemde ontwikkeling tonen aan dat snelstromende beken in staat zijn in korte tijd hun loop danig te veranderen. In enkele decennia heeft de beek zich van eenvormig zomerbed, verwijdt tot een gevarieerde dalvlakte met daarin grindbanken, eilanden, erosiekolken en afgesneden meanders. Door de toegenomen begroeiing en de omgevallen bomen vermindert de stroomsnelheid in de bedding en wordt het water opgestuwd. Bij hoogwater verplaatst de hoogwatergolf zich minder snel. De verwachting is dat ook overstromingen vaker plaats zullen vinden in deze



FIGUUR 6.4 In een natuurlijk beekdal (rechter figuur) met enkele kleine lopen en een beboste dalvlakte loopt een hoogwatergolf langzamer en wordt zij lager, dan in de huidige situatie (linker figuur) met een smal, diepliggend dal.

trajecten waar de beek weer vrij kan bewegen. Waarschijnlijk toch minder vaak dan in de natuurlijke situatie omdat de oevers veel hoger blijven dan voordat de opslibbing begon. Daarom is het van belang dat de bedding vol kunnen groeien met bos en struweel, zodat het water voldoende wordt afgeremd en zover opstuwd dat de dalvlakte wel overstroomd.

6.5 KWANTIFICERING

Vanwege de erosie op de oever en de overstromingen die vaker optreden kan deze maatregel alleen worden toegepast in daltrajecten waar geen dorpen en steden liggen. Tijdens de veldbezoeken aan de Ardennen is gebleken dat er aanzienlijke oppervlakten aanwezig zijn in de dalen die onbebouwd zijn. In figuur 2.4 zijn van het stroomgebied van de Amblève in rood de lopen aangegeven die een meer of minder brede dalvlakte hebben. In hoofdstuk 3 is al verklaard dat deze trajecten vooral in het benedenstroomse deel van de beken liggen. De totale lengte aan beken met dalvlakten bedraagt hier 217 km, dit is 18% van de totale dallengte. Een gedeelte hiervan is vanwege bebouwing niet geschikt, maar wanneer aan de hand van de topografische kaart een ruwe schatting wordt gemaakt, dan kan ca. 125 tot 150 km worden benut voor het bergen van water.

De totale oppervlakte van de dalvlakten bedraagt in het stroomgebied van de Amblève iets meer dan 3000 ha (3% van de totale oppervlakte). Wanneer de helft hiervan geschikt kan worden gemaakt voor het bergen van water, dan kan bij een overstromingsdiepte van 25 cm, gedurende een periode van 36 uur ca. 30 m³/sec in de dalvlakte worden geborgen. Dit is 10% van de piekafvoer tijdens een extreme afvoergolf.

In andere deelstroomgebieden van de Maas en ook in het stroomgebied van de Rijn zijn talrijke voorbeelden gevonden van beken met brede dalvlakten. Met name waar de beken door kalkgesteente lopen, zijn de dalvlakten vaak vele honderden meters breed. Een mooi voorbeeld hiervan is het dal van de Ourthe tussen Hotton en Durbuy.

Tijdens een periode met hoogwater kan iedere beek een bijdrage leveren aan de vermindering van de watertoevoer. Immers, als één beek helemaal vol is, en een andere halfvol, kan de vermindering van de afvoer ook worden bereikt door vermindering / vertraging van de afvoer van de beek die maar halfvol is. De vertraging van een



LINKS Eén voor één vallen de bomen om langs de Geul.

RECHTS Bomen die in het water liggen beïnvloeden de stroming en versterken de erosie.

hoogwatergolf die door een beek loopt treedt pas op als het water buiten de bedding treedt en de dalvlakte overstroomt. Door een natuurlijker beheer van de beddingen zullen overstromingen eerder optreden en wordt de hoogwatergolf al bij lagere afvoeren geremd. In feite worden hoogwaters op de hoofdrivier vaak veroorzaakt doordat slechts enkele beken extreme waterstanden hebben, maar de meeste andere wel veel, maar niet extreem veel water afvoeren. In de toekomstige situatie, na natuurontwikkeling, zullen ook in de beken met een niet extreme afvoer, die voorheen niet buiten hun oevers traden, wel overstromingen optreden. De hoogwatergolven uit deze beken worden dan ook geremd en komen dan later en lager in de hoofdrivier aan, waar de waterstand dan ook minder hoog zal zijn.



LINKS Al na enkele jaren van vrije meandering is het aanzien van het Geuldal veel natuurlijker (vgl met foto in par 2.2).

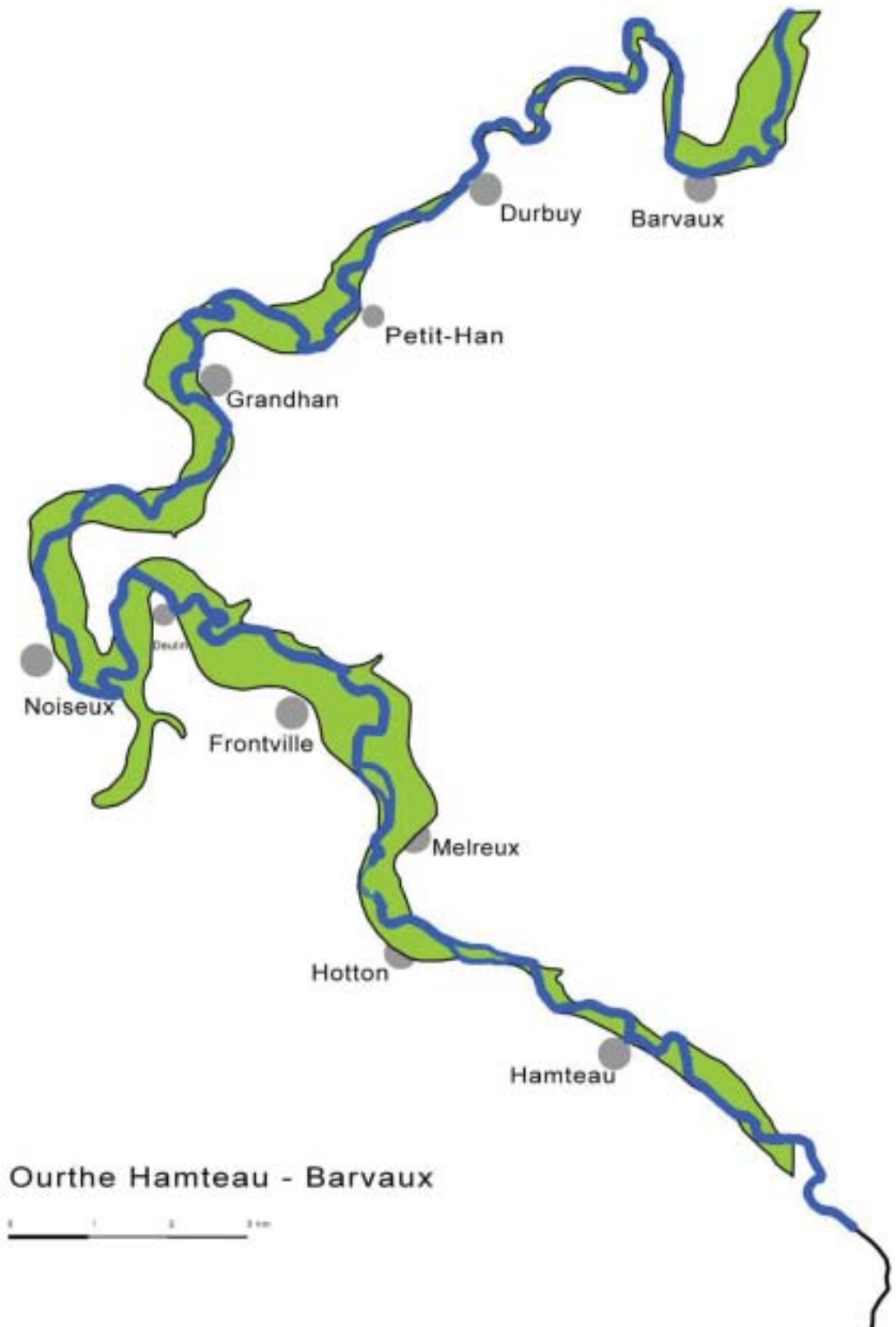
RECHTS In gebieden die ingericht zijn voor stromende berging, wordt gebruik gemaakt



van de natuurlijke bergingscapaciteit van dalvlakten. Dit in tegenstelling tot statische bergingsgebieden, waar via sluizen tijdens extreme afvoerpieken een deel van de hoogwatergolf wordt ingelaten (foto Wesnitz in Zuid Duitsland).

Tweemaal de brede dalvlakte van de Ourthe tussen Hotton en Durbuy.





FIGUUR 6.5 Kaart van het dal van de Ourthe tussen Hotton en Durbuy.

De vastgelegde beek

1 LAAGWATER

De beekbedding ligt diep en voert het water uit het omliggende gebied snel weg, waardoor verdroging optreedt.

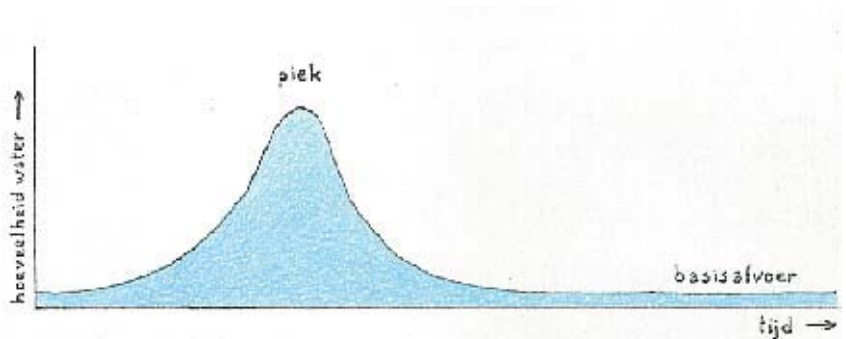
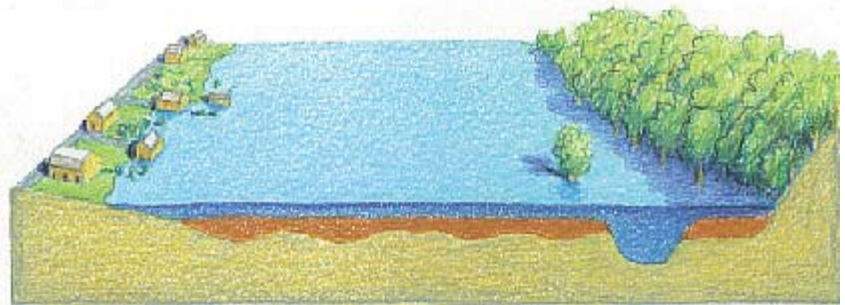
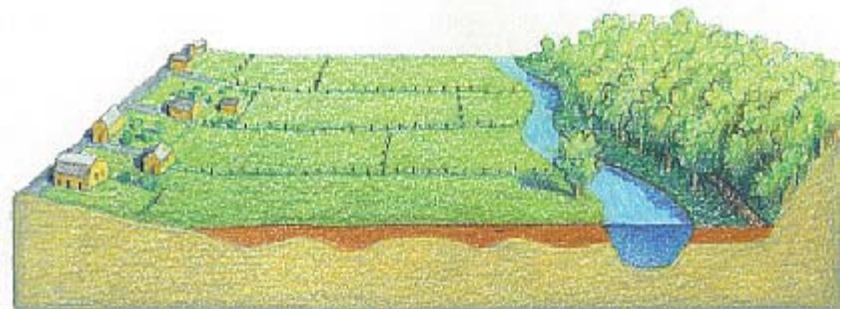
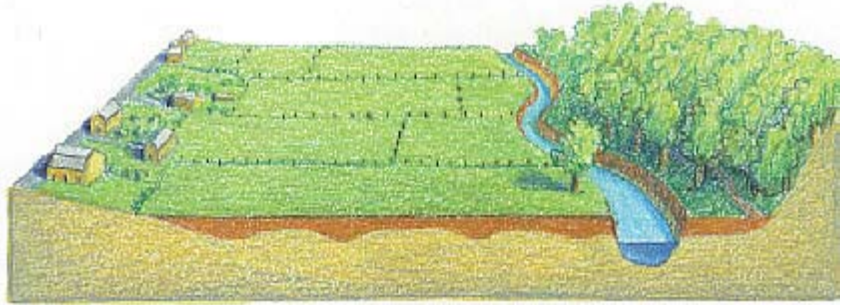
2 STAND BIJ VOLLE BEDDING

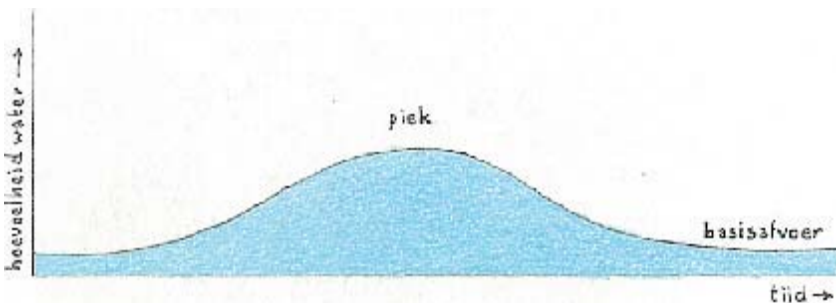
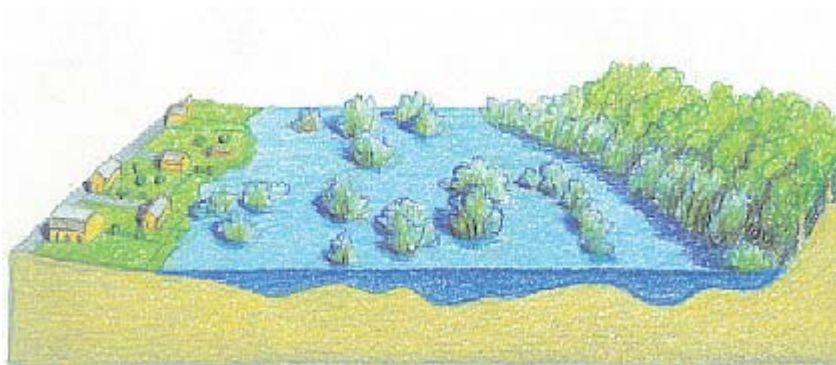
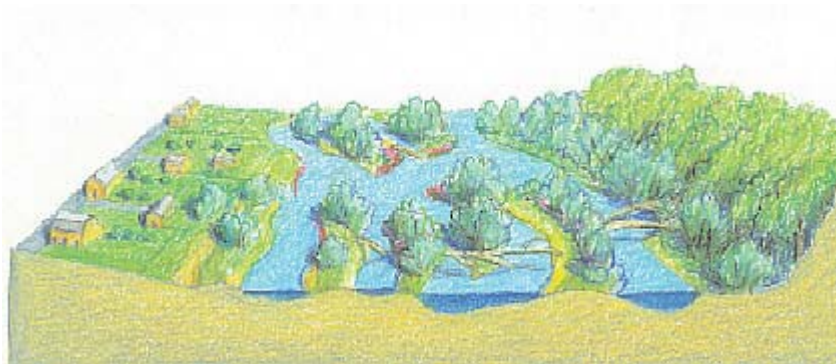
Grote hoeveelheden water worden zo snel mogelijk afgevoerd door de bedding, zonder dat een deel van de dalvlakte overstroomt. Hoogwatergolven worden zo snel doorgevoerd en de kans dat ze samenvallen met benedenstrooms in de hoofdrivier golven uit ander zijbeken is groot.

3 OVERSTROMING

Pas in extreme omstandigheden overstroomt de dalvlakte en worden grote hoeveelheden water zijdelings weggezet. Nu pas vertraagt de hoogwatergolf, maar dit treedt helaas maar zelden op.

4 De afvoergolf is hoog en duurt maar kort.





De vrije beek

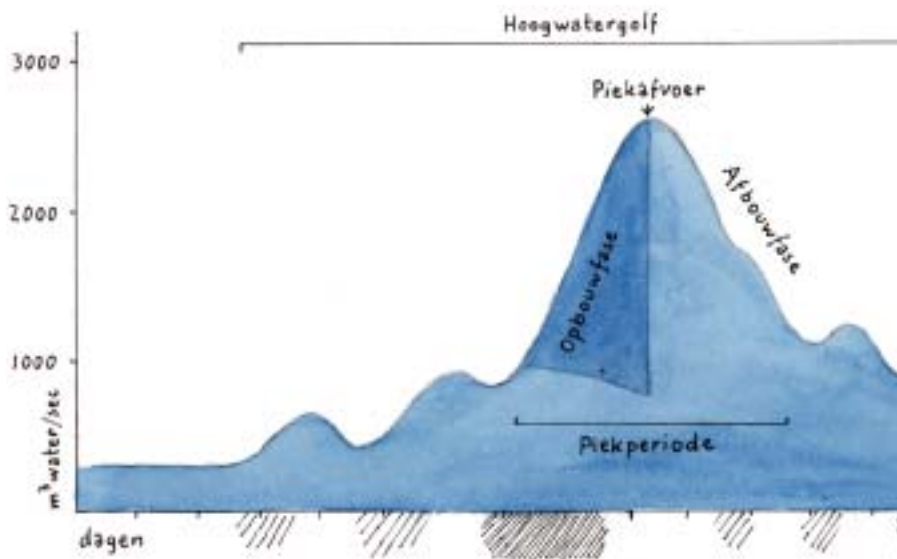
1 LAAGWATER

De beekbedding is minder diep ingesneden en in verschillende oude beddingen en afgesneden meanders staat nog water. De verdrogende werking is veel kleiner dan in de huidige situatie.

2 Al vanaf kleine stijgingen van de waterstand overstroomden delen van de nieuw gevormde dalvlakte. Al in een vroeg stadium wordt een deel van het water zijdelings weggezet (stromend geborgen). Hoogwatergolven verplaatsen zich dan meteen veel langzamer en komen minder hoog in de hoofdriever aan, waar de kans op samenvallen met andere golven veel kleiner is. In deze fase is er veel winst te boeken ten opzichte van de huidige situatie.

3 In extreme omstandigheden lijkt de situatie nog het meest op de huidige situatie. De hele dalvlakte staat nu vol en het water wordt stromend geborgen. De invloed op het verloop van de hoogwatergolf is hetzelfde als in de huidige situatie. In het dal zelf is de situatie wel verbeterd ten opzichte van de huidige situatie: door de natuurlijke eroderende werking van de beek is de ruimte in de dalvlakte zodanig toegenomen dat de waterstanden lager zijn dan vroeger en de kans op overstrooming van de huizen langs de rand van de dalvlakte kleiner is.

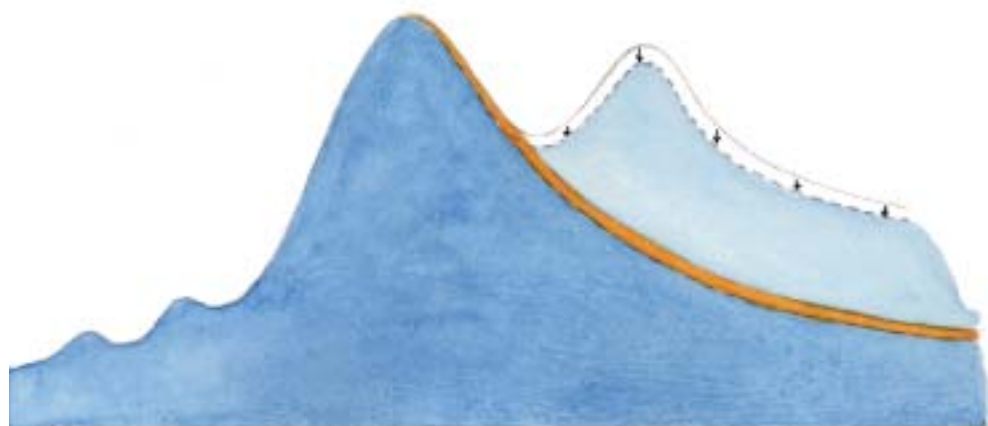
4 De afvoergolf is laag en duurt lang.



FIGUUR 7.1 Voorbeeld van een grote hoogwatergolf zoals die in de Maas soms voorkomt. De in de figuur gebruikte terminologie is in de tekst verklaard.



FIGUUR 7.2 Gewenste verandering van de vorm van een hoogwatergolf om de hoogwaterproblematiek te verminderen.



FIGUUR 7.3 Veranderingen in landgebruik hebben vooral invloed op dat deel van het water dat langer dan de piek onderweg is vanuit het stroomgebied (oranje). Bij een volgende hoogwatergolf bovenop de eerste (zgn. samengestelde golf) heeft dit dan wel een lagere piekafvoer tot gevolg.

7 Waterberging op stroomgebiedsniveau

INLEIDING

Het water in een hoogwatergolf is afkomstig uit het hele stroomgebied of vanuit grote gedeelten daarvan. In de vorige hoofdstukken hebben we laten zien dat in grote gedeelten van het stroomgebied water langer kan worden vastgehouden en afvoergolven kunnen worden vertraagd. In dit hoofdstuk wordt de vraag beantwoord of deze maatregelen, wanneer ze op grote schaal in die specifieke regio's van het stroomgebied worden toegepast, de hoogwatergolven zodanig kunnen verlagen dat de hoogwaterproblematiek langs de hoofdrijver (de Maas in België en Nederland) er door vermindert. Met als voorbeeld de Ardennen wordt nagegaan of er voldoende ruimte is in het stroomgebied om deze maatregelen toe te passen. Ook is een ruwe kwantificering opgesteld van de hoeveelheid water die tijdens een hoogwatergolf achter gehouden kan worden.

7.1 WATER LANGER VASTHOUDEN IN HET STROOMGEBIED

Tijdens een neerslagrijke periode verzamelt een meer of minder groot deel van de gevallen neerslag zich in de beken en wordt afgevoerd naar de hoofdrijver. De weg die een waterdruppel in het stroomgebied aflegt en daarmee de tijd die hij onderweg is, varieert sterk. Zo zal een waterdruppel die in Luik in de Maas valt al na enkele uren in Nederland zijn en doet de neerslag die op een van de hoogvenen op het plateau valt er weken over. In de inleidende hoofdstukken (2 en 3) hebben we laten zien dat de weg en de tijd die het water onderweg is, in de loop der jaren door allerlei ingrepen in het stroomgebied aanzienlijk is verkort. Het water belandt sneller in de beken en een groter deel van de gevallen neerslag (tot 50 à 70% in de winter) dan voorheen stroomt in een hoogwatergolf het gebergte uit. (De rest van het water is langer onderweg en stroomt in de weken en maanden na de hoogwatergolf het gebergte uit). Water dat tijdens een hoogwatergolf in de beken belandt, stroomt, omdat de beken pas later buiten hun oevers treden, ook sneller dan voorheen. Daardoor komen de hoogwatergolven eerder en hoger in de hoofdrijver aan en overlappen vaker en meer met hoogwatergolven uit andere deelstroomgebieden.

In hoofdstuk 5 en 6 zijn maatregelen beschreven waarmee het mogelijk is om de verblijftijd van het water in de bodem en in de beekdalen te verlengen. De vorm van de hoogwatergolf verandert daardoor: de afvoer wordt over een langere periode uitgesmeerd en de piekafvoer wordt lager. In figuur 7.2 is de gewenste verandering aangegeven. Het gearceerde deel van de hoogwatergolf is het water dat langer in het stroomgebied is vastgehouden.

Eén van de mogelijkheden om het water te vertragen is het landgebruik zodanig te veranderen dat de opnamecapaciteit van de bodem groter wordt. Een deel van het water zal dan veel langer onderweg zijn en water dat nu in de piek van de hoogwatergolf wordt afgevoerd zal verschuiven naar de periode ná de piek. Op het hoogste deel van de hoogwatergolf, de piekafvoer, hebben deze ingrepen voorlopig weinig effect. De huidige piekafvoeren wordt namelijk vooral opgebouwd door water dat kort onderweg is. Het water dat door veranderingen in landgebruik wordt beïnvloedt, was altijd al langer onderweg en bevond zich vooral in het dalende deel van een hoogwatergolf (*oranje aangegeven in fig 7.3*). Bij samengestelde hoogwatergolven, waar een nieuwe piek zich opbouwt bovenop het dalende deel van een eerdere piek kunnen veranderingen in grondgebruik wel een positief effect hebben.

Omdat veranderingen in landgebruik alleen effect hebben op dat deel van de neerslag die valt in het gebied waar de verandering heeft plaatsgehad, is een groot oppervlak nodig voordat enig effect merkbaar is. Effectiever is het om maatregelen te treffen op 'verzamelplaatsen' waar het water heen stroomt dat op een groot oppervlak is gevallen. Dit zijn bijvoorbeeld de kwelzones, onderaan een helling, waar al het water uitstroomt dat op de hele helling is gevallen. Door het landgebruik in deze kwelzones te veranderen (bijvoorbeeld omzetting van weiland in moeras of broekbos), kan per oppervlakte-eenheid een veel groter deel van het water worden vertraagd, dan bij veranderingen in landgebruik op de helling. Met name de haarvatenregio's lenen zich hiervoor, omdat zich langs de randen van de dalen in deze regio's uitgestrekte kwelzones bevinden. Haarvaten wateren in de middelgebergten een groot deel van het stroomgebied af en de gezamenlijke waterafvoer is dan ook aanzienlijk. In de huidige situatie levert dit water een belangrijke bijdrage aan de hoogwatergolf omdat het vanuit de kwelzone al in korte tijd de beek bereikt. Uit het veldonderzoek blijkt dat er in deze dalen veel ruimte is, die nu nog niet wordt benut om water te bergen. Voor het beperken van wateroverlast is de vraag interessant of het mogelijk is, door het vertragen van het water in de haarvatenzones, óók de piekafvoer in de hoofdriever te beïnvloeden. Omdat de haarvaten aan de uiteinden van de zijbeken liggen, is het water daarvandaan relatief lang onderweg en zou het kunnen zijn dat het grotendeels pas na de piekperiode in de hoofdriever aankomt. Om het effect te kunnen inschatten is het dus nodig eerst een overzicht te maken van de bijdrage van de haarvaten aan de piek.

Uit analyses van verschillende hoogwatergolven van extreme neerslagsituaties (*zie hoofdstuk 3*) blijkt dat zich in de aanloop (het stijgende deel) van een hoogwatergolf in de Maas steeds 15 tot 20% van de gevallen hoeveelheid neerslag bevindt. Uit dezelfde analyses blijkt ook dat de tijd die verstrijkt tussen het begin van een periode met extreme neerslag en het passeren van de piek bij Borgharen bij grote hoogwatergolven 35 tot 45 uur bedraagt. Aan de hand van de looptijden van het water op de Maas en in de verschillende zijrivieren kan worden bepaald uit welk deel van het stroomgebied het water binnen deze tijd Borgharen heeft weten te bereiken.

BEEK	MONDING	HAARVAT
Vesdre	5	9 - 12
Ambleve	5	11 - 15
Ourthe	5	11 - 18
Sambre	9	15 - 40
Lesse	11	14 - 21
Viroin	15	17 - 23
Semois	20	25 - 40
Chiers	37	40 - 72
Franse Maas*	37	50 - 170

TABEL 7.1 Looptijd in uren van hoogwatergolven vanuit de zijbeken van de Maas.
(* situatie bij Stenay, bij de monding van de Chiers).

VOORBEELD: water uit de Vesdre doet er 5 uur over om, vanaf het punt waar de Vesdre uitmondt in de Maas, Borgharen te bereiken. Een waterdruppel die vanuit de haarvatenregio's van de Vesdre 'vertrekt' doet er 9-12 uur over om Borgharen te bereiken.

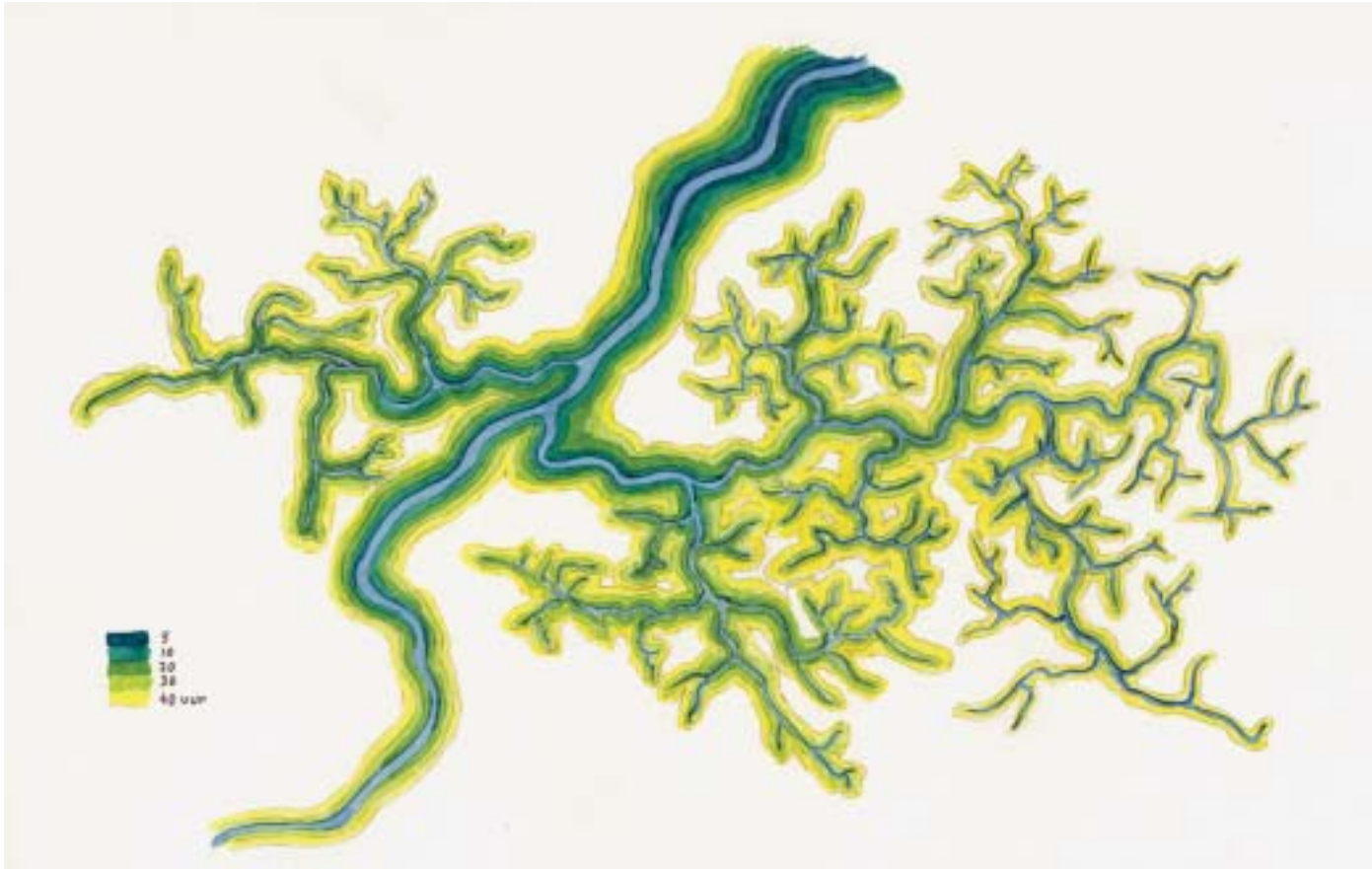
Uit de tabel blijkt dat al het water dat zich ergens in een waterloop in het Ardense deel van het stroomgebied bevindt, binnen 40 uur Borgharen bereikt en dus meedoet aan de opbouw van een hoogwaterpiek. Alleen de Chiers en de Franse Maas leveren daaraan geen bijdrage. Van de zijbeken dichtbij Borgharen zal de bijdrage relatief groot zijn omdat binnen de tijdsperiode ook een groot deel van het land op de beek heeft kunnen afwateren. Zo zal de Vesdre relatief veel water leveren aan het stijgende deel van de hoogwatergolf, de Lesse wat minder en de Semois nog minder. Vanuit de verste uithoeken van het stroomgebied (bovenloop Sambre en Semois) is de bijdrage het kleinst, omdat alleen het water in de beek zelf al de gehele periode nodig heeft gehad. Uiteraard bepaalt ook het tijdstip dat de regenval begint voor een deel de bijdrage. Zo zal de bijdrage van de Semois groter zijn als de regenval zich vanuit het zuiden over het stroomgebied heeft uitgebreid.

MEER WATER UIT VERAFFGELEGEN GEBIEDEN

De genoemde uiterste punten tot waar rivieren en zijbeken een bijdrage leveren aan de hoogwatergolf zijn door tal van menselijke ingrepen in het stroomgebied steeds verder stroomopwaarts komen te liggen. Dit heeft tot gevolg dat per tijdseenheid een steeds groter deel van het stroomgebied een bijdrage levert aan de hoogwatergolf en dat hoog-

watergolven, behalve dat ze hoger worden, ook steeds sneller opkomen. De extreem snelle stijgingen die de laatste tijd gerapporteerd worden langs de Maas (oa in januari 2000 en februari 2002), zijn wat dat betreft een signaal dat de situatie sinds 1995 zeker niet verbeterd is.

Stroomafwaarts vanaf de uiterste punten in het stroomgebied die een bijdrage leveren aan de opbouw van een hoogwatergolf, neemt de oppervlakte land toe waar vanuit het water 'op tijd' de beek of rivier heeft bereikt. Behalve de oppervlakte die heeft kunnen afwateren wordt de bijdrage van een gebied ook bepaald door het landgebruik. Hieronder volgt een overzicht van de bijdrage van de verschillende delen van het stroomgebied die een aandeel hebben in het oplopende deel van de hoogwatergolf.



FIGUUR 7.4 Impressie van het gebied dat water levert aan de opbouwfase van de piek van een hoogwatergolf. Het donkergroen gekleurde gebied levert het water dat in

de eerste 5 uur van de piek passeert, het geel gekleurde dat tussen 30 en 40 uur passeert. In dit laatste part doen de haarvaten voor een aanzienlijk deel mee.

Watergangen

Al het water dat in de watergangen is gevallen, tot aan het uiterste punt vanwaar het water in ca. 40 uur het stroomgebied is uitgestroomd, draagt uiteraard in z'n geheel (100%) mee aan de piek. De oppervlakte van de watergangen is niet groter dan ca. 0,5% van het stroomgebied. Gedurende de opbouwfase van de hoogwatergolf neemt – ook relatief gezien ten opzichte van andere 'toeleveranciers' – de bijdrage vanuit de watergangen wél geleidelijk toe, omdat het netwerk aan watergangen stroomopwaarts steeds uitgebreider wordt.

Meren

In de watergangen bevinden zich tal van stuwmeren en meertjes. Al het water dat hierin valt, stroomt direct via de beken af en draagt dus ook bij aan de piekperiode. De geschatte oppervlakte hiervan is ook niet groter dan ca. 0,5%. De meeste meren bevinden zich in het hogere deel van het stroomgebied en de bijdrage is daarom het grootst net voor de piek.

Verhard oppervlak: gebouwen en wegen

Het grootste deel van het verharde oppervlak, zoals gebouwen en wegen, ligt dicht bij een beek of rivier en watert tijdens extreme regenval vrijwel direct af op de waterloop. De bijdrage van steden aan de hoogwatergolf is dan ook aanzienlijk en wordt in de meeste studies sterk onderschat. Voor het Waalse deel van het stroomgebied van de Maas bedraagt het bebouwde oppervlak 4,0% van de totale oppervlakte. Als hiervan de helft werkelijk verhard is, de rest is tuinen, parken en bermen, betekent dat dat ca. 350 km² direct afwatert op de beken en rivieren. Tijdens een periode met gestage matige regenval (3 mm per uur) levert dit oppervlak een aanvoer van bijna 300 m³/sec aan de hoogwatergolf. Zodra de regen stopt houdt deze aanvoer

weer snel op. De meeste steden liggen laag in het stroomgebied, langs de Maas en de Sambre, en het grootste deel van dit stedelijke water is Borgharen dus al gepasseerd vóórdat de piekafvoer passeert. Water uit steden langs de rand van het toeleveringsgebied, zoals Charleville Mézières, Sedan en Arlon zal wél vooral tijdens de piekperiode zelf passeren. Geschat wordt dat 50% van het stedelijke water Borgharen passeert in de aanloop naar de piek.

Dalvlaktes benedenstrooms

In de benedenstroomse delen van de meeste beekdalen bevinden zich brede dalvlaktes. Het zijn vaak goede landbouwgronden, die goed ontwaterd zijn. Omdat deze dalvlaktes in de benedenlopen liggen, heeft de gevallen neerslag genoeg tijd om de beek te bereiken en een groot gedeelte zal daarom in de aanloop naar piek worden afgevoerd. Uit een analyse van het stroomgebieden van de Amblève blijkt dat 2% van het oppervlak uit benedenstroomse dalvlakte bestaat. En ruwe schatting is dat dit water voor 75% bijdraagt aan de opbouw van de piekafvoer.

Dalvlaktes bovenstrooms

Ook hoger op in het stroomgebied bevinden zich lokaal uitgestrekte dalvlaktes in de beekdalen. Zij nemen 1% van het oppervlak van de Ardennen in. Sinds de zestiger jaren is een deel van deze vlakke gebieden ten behoeve van de landbouw gedraineerd. Hierdoor is een deel van het water dat voorheen na de piek benedenstrooms arriveerde nu naar de piekperiode verschoven. De schatting is dat ca. 50% van het hier gevallen neerslagwater langs Borgharen wordt afgevoerd in de piekperiode en de rest erna.

Gebieden met steile hellingen en v-vormige dalen

In een gedeelte van de Ardennen zijn de beken diep ingesneden en liggen de meest steile hellingen en v-vormige dalen. Uit een analyse van het stroomgebied van de Amblève blijkt dat dit reliëfrijke gebied ca. 30 % van het totale stroomgebied uitmaakt (*zie figuur 7*) en dat het vooral langs het onderste en middelste deel van de zijrivieren van de Maas te vinden is. Vanwege de steile hellingen zal het bodemwater er ook sneller stromen dan in de meer vlakke gebieden bovenstrooms. Vanwege de ligging, de oppervlakte en de steile hellingen zal de bijdrage vanuit dit gebied daarom relatief groot zijn; geschat wordt dat 25% van regenwater dat hier valt Borgharen passeert gedurende de piekperiode.

Haarvatenregio's

De haarvatenregio's liggen hoger op, in de bovenstroomse gedeelten van de deelstroomgebieden. Het water is daar vandaan langer onderweg dan vanuit de steile v-vormige dalen. Uit de looptijden (*zie tabel 7.1*) blijkt dat het eerste water uit de haarvatenregio's 3 tot 6 uur later arriveert dan het water vanuit de gebieden met steile dalen. Het water vanuit het omliggende land heeft daarom minder tijd om het haarvat te bereiken wil het nog bijdragen aan de piekperiode, wat nog versterkt wordt door het feit dat de hellingsgraad van de heuvels er kleiner is en de toestroomsnelheid dus langzamer. Daar staat tegenover dat de totale lengte van de haarvaten iets (20%) groter is dan die van de steile v-vormige dalen (650 km tegen 530 km bij de Amblève). Omdat het land dat afwatert op de haarvaten vooral in gebruik als akkerland en (soms gedraineerd) weiland dringt het water er sneller in de bodem dan in de bosrijke v-vormige dalen. Vooral vanwege de ligging ten opzichte van de hoofdrivier en de steilere hellingen is de verwachting dat 25% van het water uit de

steile v-vormige dalen Borgharen zal passeren tijdens de piekperiode; voor water uit de haarvatenregio's wordt dit percentage geschat op 15%. De haarvaten van de noordelijke zijbeken (Vesdre en Sambre) zullen daarbij relatief meer water leveren aan de piek dan de zuidelijke zijbeken (Semois).

Plateaus

De hoogste, niet ontwaterde delen van de Ardennen zijn relatief vlak en het water is vanaf daar zo lang onderweg dat het geen bijdrage levert aan de piek en als het ver van een watergang ligt niet eens aan de hoogwatergolf. Geschat wordt dat het hierbij om ongeveer 17% van het stroomgebied gaat. Oorspronkelijk was dit gebied nog 5% groter, maar al in de 19e eeuw zijn delen van het plateau ontwaterd om er bosbouw mogelijk te maken. De afvoer van het regenwater dat op dit deel van het plateau valt is daardoor versneld. Geschat wordt dat 30% van het neerslagwater dat in dit deel van het plateau valt, zal bijdragen aan de piek.

landschapstype	oppervlak (in % van het stroomgebied)	% neerslag dat vanuit landschap meebouwt aan piek	relatieve bijdrage van landschap aan piekperiode	bijdrage aan piekafvoer (bv 2000m ³ /sec)
STROOMGEBIED	100%	20%	100%	2000 m ³ /s
Watergangen	0,5%	100%	2,5%	50 m ³ /s
Meren	0,5%	100%	2,5%	50 m ³ /s
Verhard	4%	50%	10%	200 m ³ /s
Dalvlakte beneden	2%	75%	7,5%	150 m ³ /s
Dalvlakte boven	1%	50%	2,5%	50 m ³ /s
Gebieden met steile hellingen	30%	25%	37,5%	750 m ³ /s
Haarvatenregio's	40%	15%	30%	600 m ³ /s
Plateaus gedraineerd	5%	30%	7,5%	150 m ³ /s
Overig	17%	0%	0%	0 m ³ /s

Tabel 7.2: bijdrage van verschillende onderdelen van het stroomgebied aan de opbouw van een hoogwaterpiek. Om deze bijdragen te berekenen zijn de volgende stappen gedaan.

- 1 Voor elk landschapstype is op basis van topografische kaarten geschat hoeveel % van het stroomgebied ermee is bedekt. Voorbeeld: 30% van het stroomgebied bestaat uit gebieden met steile hellingen.
- 2 Vervolgens is de aanname gedaan dat deze percentages corresponderen met de hoeveelheid regenwater die in zo'n landschapstype wordt ingevangen. Deze oppervlaktespercentages corresponderen dan ook met de hoeveelheid Maaswater die vanuit zo'n landschapstype afkomstig is. Voorbeeld: gerekend over een langere periode is 30% van het Maaswater afkomstig uit gebieden met steile hellingen.
- 3 Het gaat er niet om hoeveel Maaswater GEMIDDELD genomen afkomstig is uit een bepaald landschapstype, maar om de vraag hoeveel water uit een bepaald landschapstype zó snel bij de Maas is dat het bijdraagt aan de opbouw van een hoogwaterpiek bij Borgharen. Op grond van de ligging van de verschillende gebieden t.o.v.

de Borgharen (ver weg/dicht bij); bodemgesteldheid (poreus, rotsachtig), reliëf (vlak/steil) en het landgebruik (natuurlijk, moerassig/ gedraineerde landbouwgrond) is geschat welk deel van het water uit een bepaald landschapstype 'tijdig' bij Borgharen is en dus bijdraagt aan de opbouw van de piek. Voorbeeld: 25% van de hoeveelheid neerslag die tijdens een regenperiode valt in gebieden met steile hellingen is in de kritische 'piekperiode' bij Borgharen.

- 4 Door voor elk van de landschapstypen de relatieve oppervlaktes te vermenigvuldigen met de bijdragepercentages, wordt duidelijk in welke ONDERLINGE VERHOUDING de verschillende landschapstypes bijdragen aan de opbouw van een hoogwaterpiek. Voorbeeld: de opbouw van een hoogwaterpiek is voor 37,5% afkomstig vanuit gebieden met steile hellingen.
- 5 Vervolgens wordt in de laatste kolom de bijdrage van deze landschapstypen berekend voor een hoogwaterpiek die een extra aanvoer van 2000 m³/sec oplevert bovenop de al bestaande afvoer. Voorbeeld: bij een extra afvoer van 2000 m³/s is 750 m³/s afkomstig uit gebieden met steile hellingen.

7.2 DE INVLOED VAN WATERSTANDVERLAGENDE MAATREGELEN

OP DE WATERAFVOER

Door maatregelen te treffen in delen van het stroomgebied kan de bijdrage vanuit de bovengenoemde landschappen aan de hoogwatergolf en aan de piek worden teruggedrongen.

Verhard stedelijk oppervlak

Het water uit de steden draagt voor een aanzienlijk deel bij aan de opbouw van de piek. Tijdens en kort na de regenval is de uitstroom het grootst en het meeste stedelijke water passeert Borgharen dan ook in de opbouwfase van de hoogwatergolf. Dit water korte tijd vertragen in retentiebekkens kan betekenen dat het alsnog in de piekperiode terechtkomt, wat niet de bedoeling is. De huidige, snelle afvoer van het stedelijke water heeft echter ook een nadeel: wanneer een nieuw regengebied over de Ardennen trekt terwijl de piek van eerdere regenval net door het Maasdal trekt, komt dit snel afgevoerde stedelijke water middenin de eerdere piek terecht en zorgt zo voor extra problemen. Om ieder risico te vermijden moet het water langdurig worden vertraagd, dit is alleen mogelijk door het water niet meer direct af te voeren, maar door het in de bodem te laten dringen. Daardoor verschuift het zo ver naar achteren in de hoogwatergolf dat het geen bijdrage meer levert aan de piek.

Om de relatieve bijdrage aan de piekperiode vanuit het stedelijk gebied met 1% te laten verminderen (van 10% naar 9%) is het nodig om één tiende deel van al het bebouwde oppervlak aan te pakken, oftewel 70 km² in het stroomgebied van de Maas. Dit is al een erg grote opgave en de verwachting is dat de komende decennia niet veel meer dan enkele procenten van het verharde oppervlak kunnen worden afgekoppeld van de snelle afvoer. De bijdrage aan de vermindering van de piek zal dan ook gering zijn.

Plateaus

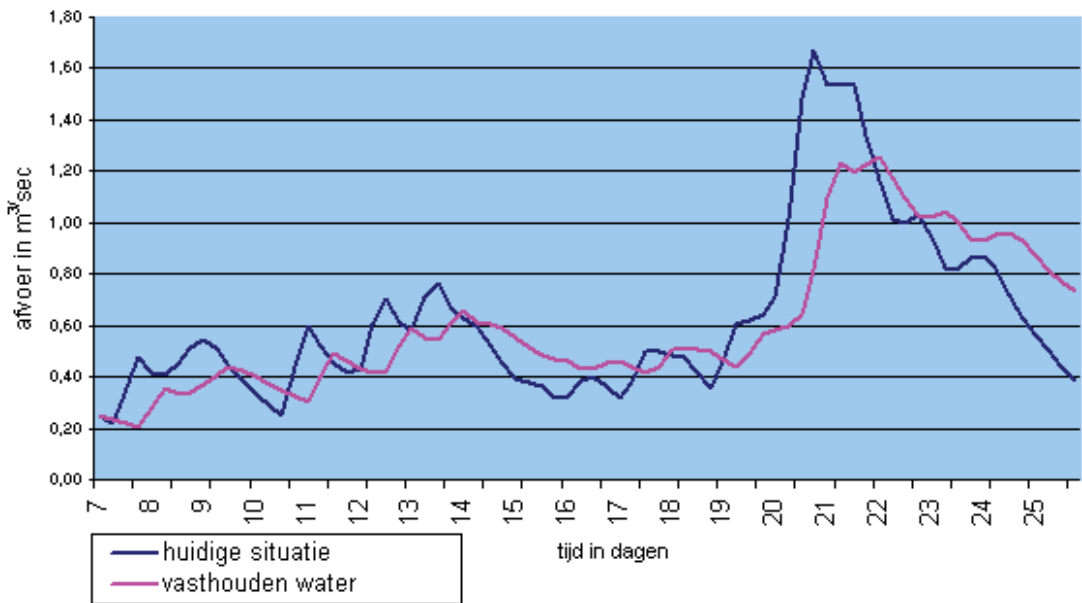
De plateaus leveren van nature geen bijdrage aan de hoogwatergolf. Door de drainage van de hoogvenen en bossen kan echter zelfs een deel van het daar gevallen water in de piek terecht komen. Wanneer de ontwatering van de plateaus wordt opgeheven, zal de bijdrage van deze gebieden aan de piekperiode (nu 7,5%) weer sterk verminderen. Dit is een interessante hoeveelheid die makkelijker te realiseren is dan het vasthouden van water in de stedelijke omgeving.

Dalvlaktes

Met name in de bovenstroomse dalvlaktes kan door een ander landgebruik en het stopzetten van de drainage de bijdrage aan de piek (nu 2,5%) worden teruggedrongen. In de benedenstroomse dalvlaktes kan het meeste worden bereikt door, daar waar het landgebruik dat toelaat, de overstromingsfrequentie weer toe te laten nemen. Hoogwatergolven lopen dan langzamer en hebben dan meer tijd om in te zakken.

Gebieden met steile hellingen en v-vormige dalen

Hier is relatief weinig mogelijk. Het verhang van de dalen in deze zone is groot en de dalvlaktes zijn nergens breed. Water langer vasthouden in het dal is daarom niet mogelijk. De hellingen zijn ook steil en er is weinig vlak terrein waar het water kan worden opgehouden zodat het Borgharen ná de piekperiode passeert. Door veranderingen in landgebruik (loofbos in plaats van naaldbos en weilanden) kan de infiltra-



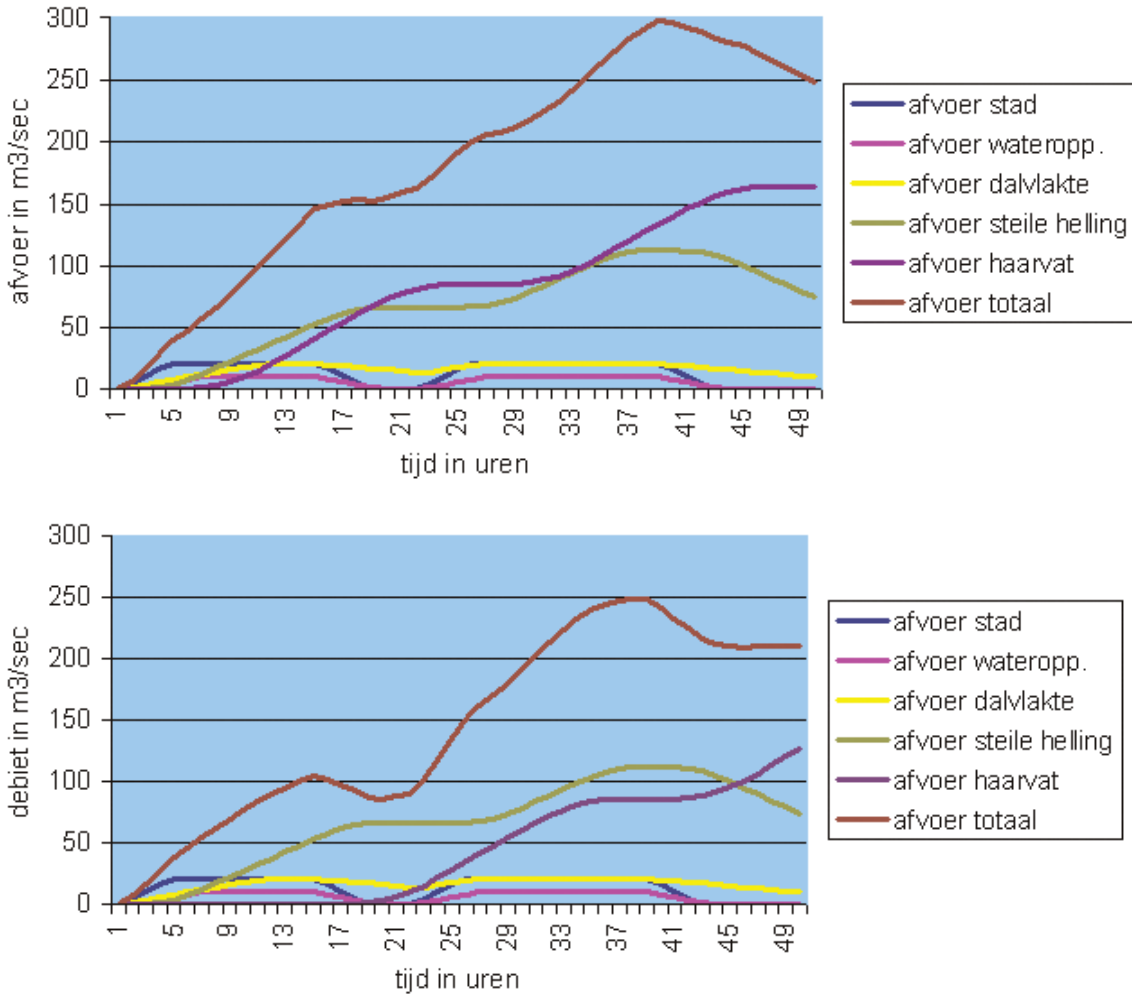
FIGUUR 7.5 Grafiek van een hoogwatergolf(je) afkomstig uit een haarvat voor (in blauw) en na (in roze) het afsluiten van de afwateringsgreppels.

tiesnelheid in de bodem vergroot worden. De oppervlakte die nodig is, is groot, maar omdat de bijdrage van deze zone aan de hoogwatergolf groot is (nu 37,5%), loont het al snel. Bij boswegen, die in de helling zijn ingesneden, kunnen de steile kanten van de boswegen zodanig worden aangepast dat zij geen water meer afvangen. Deze maatregel kan worden meegenomen in gebieden waar het bosbestand wordt omgezet in natuurlijke bos met meer loofbomen.

Haarvatenregio's

In de haarvaten is er voldoende ruimte om van de hellingen afkomstig, uittredend bodemwater langer vast te houden. Door in het meest bovenstroomse deel van het dal de greppels te dichten en het landgebruik te veranderen in natuurlijke vegetaties kan het water zo lang worden vastgehouden dat het grotendeels uit de piekperiode verdwijnt. Dit betekent wel dat een groter deel na de piek afstroomt, wat het risico vergroot dat het samenvalt met een tweede piek bij een samengestelde hoogwatergolf. Daarom is het van belang om ook het water te vertragen vanuit haarvaten, waarvandaan het water langer onderweg is, zoals de Chiers, de Franse Maas en de Semois.

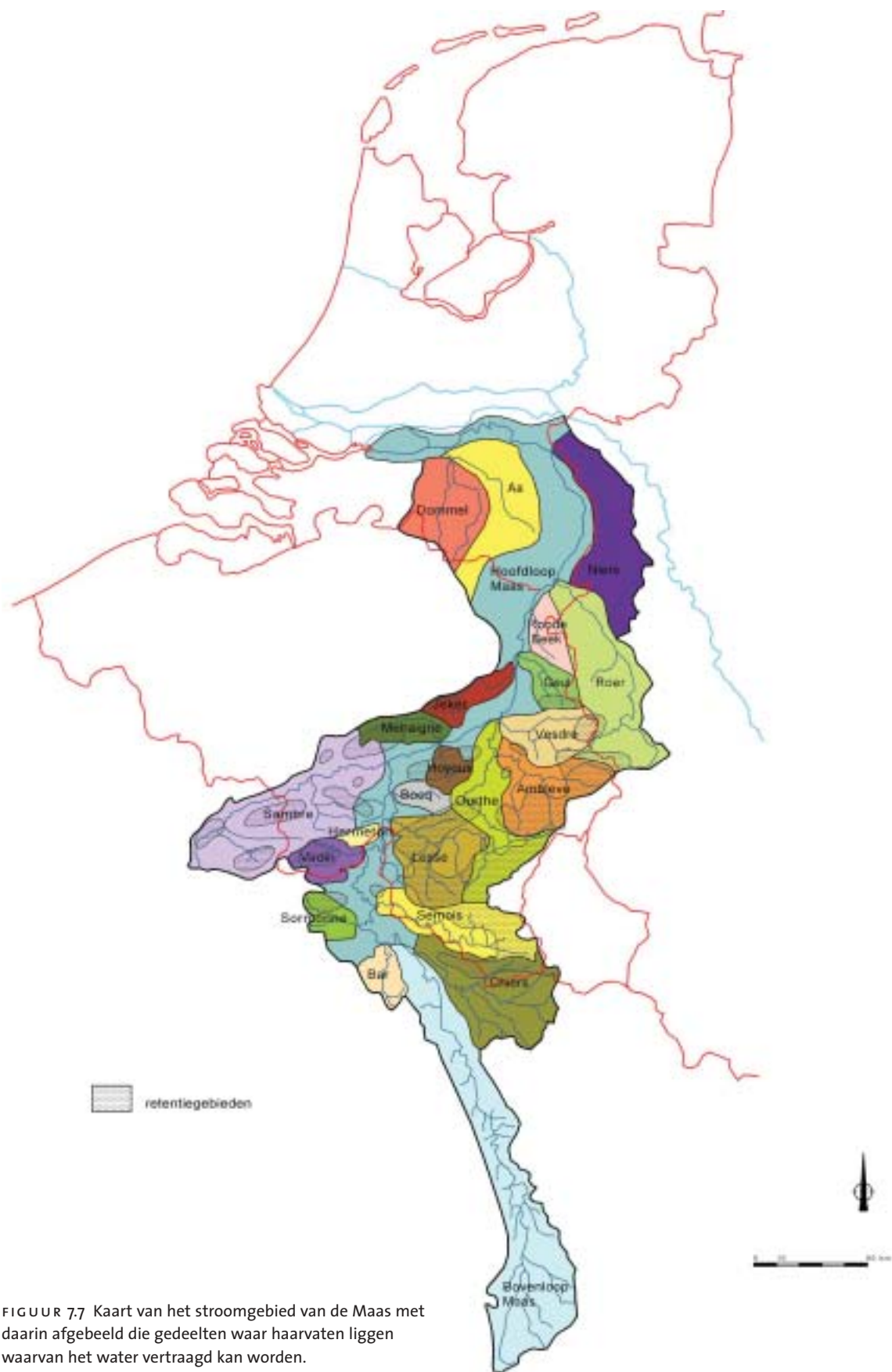
Wanneer het uittredende bodemwater wordt vertraagd, dan zal het op het land in het haarvat geborgen moeten worden. In een klein model is nagebootst wat een vertraging van ca 1 dag betekent voor een haarvat van 2,5 km lang dat een gebied van 550 ha afwatert, wanneer daar de hoeveelheid neerslag valt vergelijkbaar met de neerslag die vooraf ging aan de hoogwatergolf van 1993 (zie figuur 7.5). De piekafvoer in de nieuwe situatie is 25% lager dan in de bestaande situatie. Om dit te realiseren moet er wel ca. 25 cm water op het gehele oppervlak van de 2,5 km lange en 150 m brede dalvlakte in het haarvat worden opgeslagen.



FIGUUR 7.6 Hoogwatergolf in de Amblève, voor en na het doorvoeren van vertragende maatregelen.

In een ander model is een dergelijke vertraging gerealiseerd in alle haarvaten van het stroomgebied van de Amblève. Hier is uitgegaan van twee extreme regenperiodes kort na elkaar, waarbij in totaal 7,5 cm regen viel. De afvoer in de hoogwatergolf in deze zijrivier van de Maas vermindert dan met ca. 17%. In de haarvaten wordt dan zoveel water achtergehouden dat op de dalvlaktes (aangenomen breedte 150 m) in het hele gebied 7 cm water op het land staat. (Bij benutting van één derde deel van de dalvlaktes zou daar 21 cm op staan). In figuur 7.5 zijn de oude en de nieuwe hoogwatergolf afgebeeld. Door ook de remmende werking van overstroomde dalvlaktes te benutten in het benedenstroomse gedeelte van de dalen ('stomende berging') is nog een verdere waterstanddaling met 10% mogelijk (zie paragraaf 6.5).

In alle deelstroomgebieden van de Maas vinden we haarvaten. De breedte van de dalen is echter niet overal groot genoeg om er veel water in te bergen. In figuur 7.7 zijn die delen van het stroomgebied gearceerd waar zich veel haarvaten vinden met veel ruimte.



FIGUUR 7.7 Kaart van het stroomgebied van de Maas met daarin afgebeeld die gedeelten waar haarvaten liggen waarvan het water vertraagd kan worden.

7.3 KWANTIFICERING VAN DE AFVOERVERMINDERING VAN EEN HOOGWATERGOLF

Wanneer in het hele stroomgebied van de Maas vertragende maatregelen worden doorgevoerd in de haarvatenregio's, levert dat de grootste vermindering van de piek van de hoogwatergolf op. Ook het verminderen van het oppervlak gedraineerd en begreppeld land op de plateaus levert relatief een grote bijdrage. De mogelijkheden om het stedelijke water te vertragen zijn beperkt omdat zeer grote investeringen nodig zijn om zelfs maar een klein deel van het water op te houden. Door een ander landgebruik op de steile hellingen kan de bijdrage daarvandaan iets verminderd worden, wat wel veel oplevert omdat het oppervlak groot is. De dalvlaktes bieden vooral mogelijkheden om de piek van een hoogwatergolf af te toppen door het water 'stromend te bergen'. De bijdrage hiervan is geschat op 10% (zie *paragraaf 6.5*). In tabel 7.3 is gerekend met de nieuwe bijdrages. Door de vermindering van de bijdragen van een aantal deelgebieden en de remmende werking van de dalvlaktes komt de hoogwaterpiek ruim 500 m³/sec lager uit. Het gaat hierbij uiteraard om een zeer ruwe schatting, waarbij veel aannames zijn gemaakt. Ook betreft het hier een maximumschatting, waarbij het water uit een groot deel van het stroomgebied dat daar mogelijkheden voor bied (o.a. de helft van de haarvaten) langer wordt vastgehouden.

Hierboven is vooral uitgegaan van de invloed die ingrepen hebben op het verminderen van de hoogwatergolf in de hoofdrivier. Echter ook langs de zijrivieren hebben de verschillende ingrepen een positieve uitwerking. Door het neerslagwater langer vast te houden in de bovenstroomse haarvaten, profiteert namelijk iedereen in het hele stroomgebied. Dit in tegenstelling tot maatregelen langs de hoofdrivier (retentiegebieden, dijk aanleg) waar alleen de inwoners verdere benedenstrooms van profiteren en de bewoners van de zijdalen niet. Omdat net als in de hoofdrivier de hoogwatergolven in de zijrivieren ook opgebouwd zijn door golven vanuit tientallen kleinere zijbeken, loont het ook hier de moeite om de looptijd van de verschillende golven uiteen te trekken, zodat ze langer na elkaar in de zijrivier uitkomen.

De bovengenoemde beschouwing is helemaal gericht op hoogwatergolven die ontstaan door een korte periode van extreme neerslag binnen een veel langere natte periode. Vrijwel alle grote hoogwatergolven (1926, 1993, 2002) op de Maas volgen dit patroon – en ook de meeste minder grote. De natte periode veroorzaakt dan een waterstand die schommelt tussen de 1000 en 1500 m³/sec, waarna een korte periode (1 - 2 dagen) volgt waarin 5 tot 7 cm regen valt en de rivierafvoer snel doorstijgt naar 2500 tot 3000 m³/sec. De bovengenoemde maatregelen zijn er vooral op gericht om de waterafvoer in deze tweede golf te beperken.

Een uitzondering op het hier gebruikte golfbeeld vormt het hoge water van 1995. Dit was een **COMPLEXERE** hoogwatergolf, waarbij niet één extreme regenperiode het water opstuwde, maar er 3 en 6 dagen later nog twee dagen met overvloedige regenval volgden. Het water kreeg nu na de eerste golf niet de tijd om te zakken en bleef bijna een week extreem hoog. De laatste van de drie subpieken was daarbij het hoogst.

Het effect van vertragende maatregelen in de haarvatenregio's zou echter ook op deze lange hoogwatergolf invloed hebben gehad. Niet in de haarvaten van beken die dicht bij Nederland liggen, omdat het vertraagd aangevoerde water daar nog altijd in de piek terecht zou komen. Wel zou een veranderd landgebruik daar effect hebben omdat daarmee een deel van het water zo lang vertraagd kan worden dat het buiten

de hoogwatergolf valt. Het meeste effect zouden echter maatregelen hebben gehad in de haarvatenregio's ver van Nederland: die van vooral de Franse Maas en de Chier, maar ook nog in de bovenloop van de Sambre.

Landschapstype	Bijdrage Huidig	gedurende piekperiode Met vertraging	Vermindering
Watergangen	50 m ³ /s	50 m ³ /s	0 m ³ /s
Meren	50 m ³ /s	50 m ³ /s	0 m ³ /s
Verhard	200 m ³ /s	190 m ³ /s	10 m ³ /s
Dalvlakte beneden	150 m ³ /s	150 m ³ /s	0 m ³ /s
Dalvlakte boven	50 m ³ /s	20 m ³ /s	30 m ³ /s
Steile hellingen	750 m ³ /s	700 m ³ /s	50 m ³ /s
Haarvaten	600 m ³ /s	400 m ³ /s	200 m ³ /s
Plateaus gedraineerd	150 m ³ /s	75 m ³ /s	75 m ³ /s
Overig	0 m ³ /s	0 m ³ /s	0 m ³ /s
Subtotaal	2000 m ³ /s	1635 m ³ /s	365 m ³ /s
Vermindering door stromende berging in dalvlakten (10%)	n.v.t.	165 m ³ /s	165 m ³ /s
Totaal	2000 m ³ /s	1470 m ³ /s	530 m ³ /s

TABEL 7.3 Bijdrage aan de piek van een hoogwatergolf vanuit de verschillende deelgebieden na het doorvoeren van vertragende maatregelen.

8 Van theorie naar praktijk: partnerships

INLEIDING

Om de opbouw van hoogwaterpieken te vertragen zijn, verspreid over het stroomgebied, gebieden nodig waarin water tijdelijk kan worden vastgehouden. Gelukkig laat een functie als waterbuffer zich goed combineren met andere gebruiksvormen en ontwikkelingen in het landelijk gebied. Dit betekent dat de benodigde oppervlaktes niet via ruimteclaims hoeven te worden ‘veroverd’, maar in partnerships kunnen worden gevonden. Immers, voor zowel de landbouw, drinkwaterwinning, scheepvaart, industrie, natuurbehoud, recreatie en toerisme kan bergen van water aantrekkelijk zijn. Partnerships met deze functies zijn mogelijk van bron tot monding en sluiten daarom goed aan bij de Europese Kaderrichtlijn Water die immers inzet op planning en actie op stroomgebiedniveau. Bij waterberging vormen stroomgebiedplannen dus het internationale politieke kader; welbegrepen eigenbelang is de realistische drijvende kracht.

In dit hoofdstuk wordt geschetst hoe verschillende gebruikers kunnen profiteren van het bergen van water en welke rol zij in een partnership kunnen spelen. Vooral aan de landbouw wordt veel aandacht besteed omdat waterberging vooral plaats zal vinden op gronden die nu een landbouwkundige bestemming hebben.

8.1 LANDBOUW

Gebieden waar maatregelen ter voorkoming van hoogwaters mogelijk zijn, hebben nu meestal een landbouwkundige bestemming. Het is dus belangrijk dat het bergen van water (ook) voor boeren aantrekkelijke mogelijkheden biedt.

Het eigenbelang vanuit de landbouw speelt op twee niveaus. Allereerst nopen ontwikkelingen op Europese schaal tot het zoeken naar nieuwe vormen van landgebruik. Daarnaast vormen ook lokale omstandigheden vaak aanleiding om nieuw ontwikkelingen in een gebied tot stand te brengen. De mogelijkheden daartoe variëren daarbij van plaats tot plaats.

Ontwikkelingen in de Europese Landbouw

Er voltrekken zich grote veranderingen in de Europese landbouw. Zonder hier op de achterliggende oorzaken in te gaan, kan het proces geïllustreerd worden aan de hand van het volgende. In de afgelopen 10 jaar zagen jaarlijks 200.000 boeren in Europa zich genoodzaakt hun bedrijf te beëindigen. Een deel van deze bedrijven is overgenomen door kapitaalkrachtiger collega’s die zo de trend van schaalvergroting konden volgen. Een ander deel van de verlaten landbouwgronden komt echter braak te liggen. Wie bij voorbeeld door de Ardennen of het Duitse Middelgebergte reist, ziet dit al op tal van plekken gebeuren. Geschat wordt dat in de komende jaren in Europa 60 – 90 miljoen hectare landbouwgrond zal worden verlaten.



Op de plateaus laat het landgebruik het nu vaak al toe dat daar meer water wordt geborgen.

Omdat steeds minder mensen in Europa een inkomen kunnen verwerven in de landbouw en vooral de slechtere gronden worden verlaten, is het zaak daarvoor alternatieve functies te vinden. Dit is van belang voor de individuele boer en ook voor de betreffende regio's – zonder nieuwe economische dragers ligt verpaupering immers op de loer. Waterberging kan, in combinatie met andere functies, zo'n nieuwe economische drager worden in 'leeglopende' landbouwgebieden. De kansen en benodigde maatregelen in de verschillende delen van het stroomgebied worden hieronder beschreven.

De plateaus: vasthouden van water op de plaats waar het water valt

Op de hogere plateaus is het relatief goed boeren: deze gebieden zullen dus nog lange tijd hun landbouwkundige functie kunnen behouden. De landbouwkundige bedrijfsvoering in deze inzijsgebieden kan echter wel worden aangepast aan het streven naar het vasthouden van water. Kiezen van de juiste ploegrichting en aanleg van kleine opvang- en infiltratiebekkens voorkomen het afspoelen van vruchtbare grond en bevorderen het in de bodem dringen van het water. In de ruilverkavelingen in het Limburgse heuvelland is met deze technieken ervaring opgedaan. Deze maatregelen zijn in het belang van individuele boeren, en van de kwaliteit van de landbouw in een streek. Naar de mate van het belang voor het vasthouden van water kan er een verdeelsleutel gevonden worden voor de financiering van de maatregelen door de belanghebbende landen/regio's.

Haarvatenregio's: dichten van drainage sloten in de lage kwelgebieden

Water dat vanuit de inzijsgebieden ondergronds omlaag stroomt, treedt in de laagste stukken van de haarvaten weer aan de oppervlakte. Daar ontstaan drassige stukken

EUROPESE KADERRICHTLIJN WATER

De Europese Kaderrichtlijn Water heeft een wettelijk verplichtend karakter. Hoofddoel is het bereiken van een goede waterkwaliteit in de Europese stroomgebieden binnen 15 jaar na de inwerkingtreding – dus uiterlijk oktober 2015. Het begrip ‘goed’ wordt in de richtlijn nauwkeurig beschreven, aan de hand van chemische en biologische (taxonomische) criteria. Voor stromend water zijn er ook criteria met betrekking tot het hydrologische regime (stromingskwantiteit en dynamiek, inclusief de daaruit voortvloeiende verbindingen met het grondwater), de continuïteit (geen barrières voor migratie en sedimenttransport) en de morfologische omstandigheden (kanaalpatronen, breedte- en dieptevariaties, stroomsnelheden en de structuur en toestand van de oevers). Binnen 9 jaar na inwerkingtreding moeten alle lidstaten stroomgebiedplannen opgesteld hebben, waarin is vastgelegd met welke maatregelen de vereiste waterkwaliteit wordt bereikt. Onderdeel van de doelstelling is ook dat deze maatregelen moeten bijdragen aan ‘afzwakking van de gevolgen van overstromingen en perioden van droogte’.

DE EUROPESE RICHTLIJN BEOOGT ONDER ANDERE:

- A dat aquatische ecosystemen en, wat de waterbehoefte ervan betreft, terrestrische ecosystemen en waterrijke gebieden die rechtstreeks afhankelijk zijn van aquatische ecosystemen, voor verdere achteruitgang worden behoed en worden beschermd en verbeterd;
- B dat duurzaam gebruik van water wordt bevorderd, op basis van bescherming van de beschikbare waterbronnen op lange termijn;
- C verhoogde bescherming en verbetering van het aquatische milieu, onder andere door specifieke maatregelen voor de progressieve vermindering of stopzetting van lozingen, emissies en verliezen van prioritaire (gevaarlijke) stoffen;
- D dat wordt gezorgd voor de progressieve vermindering van de verontreiniging van grondwater;
- E een afzwakking van de gevolgen van overstromingen en perioden van droogte en daarmee
 - de beschikbaarheid van voldoende oppervlaktewater en grondwater van goede kwaliteit voor een duurzaam, evenwichtig en billijk gebruik van water;
 - een significante vermindering van de verontreiniging van het grondwater;
 - de bescherming van territoriale en mariene wateren;
 - het bereiken van de doelstellingen van de relevante internationale overeenkomsten, met inbegrip van die welke tot doel hebben de verontreiniging van het mariene milieu te voorkomen en te elimineren (...), om uiteindelijk te komen tot concentraties in het mariene milieu die voor in de natuur voorkomende stoffen dichtbij de achtergrondwaarden liggen en voor door de mens vervaardigde synthetische stoffen vrijwel nul bedragen.

van weilanden, en liggen de bronnen van de beken. In het verleden werden deze zompige delen van de weilanden en bossen begreppeld, om het water zo snel mogelijk weg te krijgen. Waren dergelijke gronden in het verleden nog rendabel, in het moderne tijdsgewricht zijn het marginale gronden die al op talloze plekken braak liggen. Door de drainagesloten te dichten, zal het vaak al aanwezige moeras iets groter en natter worden. Door de natuurlijke vegetatie te laten groeien, wordt het vermogen om water vast te houden groter. De moerasjes zullen, meer nog dan nu, ongeschikt worden voor landbouwkundig gebruik en zullen een veel grotere natuurwaarde krijgen. Het water dat vastgehouden wordt, zal leiden tot verminderde aanvoer in natte tijden, en vergrote afvoer in tijden van droogte. Dit is van belang voor het rivierbeheer benedenstrooms, zowel in natte als in droge tijden.

Het lijkt er op dat deze maatregel ten koste gaat van de landbouw in een stroomgebied: de individuele agrariër kan op de vernatte plekken immers zijn bedrijf niet meer uitoefenen. Daar staat echter tegenover dat boeren in de drogere, meer voor de landbouw geschikte gronden, geen negatieve invloed ondervinden van deze vernattingsmaatregel. Sterker: de beste gronden blijven niet alleen gespaard maar profiteren zelfs van de buffering van water: er is minder wateroverlast en een meer continue aanvoer van (schoon) water.

Ook de boer op wiens grond de waterberging plaats vindt, kan in zo'n vernatting zijn eigenbelang zien. Omdat het gaat om de slechtste, toch al moerassige delen van zijn bedrijf is de kans groot dat hij op basis van vrijwilligheid wil kiezen voor verdere vernatting als daar een financiële vergoeding tegenover staat. De vergoeding moet gebaseerd zijn op het effect dat de maatregel heeft op het vasthouden van water, en in goede relatie staan tot het verlies aan productie en kapitaalswaarde van de stukken moerassige grond. Het geld dat beschikbaar komt kan de boer bij voorbeeld investeren in verbetering van de bedrijfsvoering op de drogere gronden van zijn bedrijf. Zo ontstaat een nieuw 'gemengd' bedrijf, waarin op sommige gronden agrarische productie plaatsvindt en op andere waterberging. Een derde poot in zo'n gemengd bedrijf kan wellicht ook extensieve vleesproductie zijn. Immers, als de vernatte delen genoeg oppervlakte hebben en aansluiten bij drogere gebieden, kan daarin natuurlijke begrazing worden toegepast, met o.a. wild levende runderen. Zijn de arealen groot genoeg, dan kan uit deze wild levende populaties worden geoogst. De vergoedingen voor een dergelijke functieverandering zouden moeten worden opgebracht door de benedenstroomse bevolking, die voordeel bij de maatregelen heeft.

Om effect te sorteren moeten zeer vele van zulke kleine moerasjes in het stroomgebied van een rivier ontgreppeld worden. Het percentage is belangrijk, maar het doet er weinig toe welke moerasjes het precies zijn. Deze maatregel leent zich er dan ook uitstekend voor om de individuele boeren zelf te laten kiezen of ze mee willen doen of niet – en met welke percelen.

De moerasjes liggen vaak midden in het bedrijfsareaal van een boer. Verkoop van de moerasjes kan daarom in een aantal gevallen een rem voor de boer zijn om mee te doen, omdat het impliceert dat hij derden recht van overpad moet geven op zijn land. Een beheersvergoeding is een goede oplossing voor boeren die eigenaar willen blijven van hun land. Om het keuzepakket compleet te maken, moet ook de mogelijkheid van verkoop van de moerassige percelen aan de boeren worden aangeboden. Boeren die hun natte stukken kwijt willen, kunnen deze verkopen, bij voorbeeld aan een terreinbeherende natuurorganisatie die het als waterbufferend natuurgebied beheert.

De dalvlaktes: vergroten van het overstromingsvolume

De afvoer van beken kan vertraagd worden door de afstromingsweerstand in de beken te vergroten, en het daardoor opgestuwde water eerder en langer te bergen in de dalvlaktes. Door het meer natuurlijk laten functioneren van de beken, met meerdere beddingen, weerstand door bomen, struiken, eilanden en samengespoeld hout, wordt het water bij hoge afvoeren afgeremd. Door die afremming stijgt daar ter plaatse de waterstand, en overstroomt de naastgelegen dalvlakte eerder. Door een natuurlijker beheer van die dalvlakte is ook daar de afstromingsnelheid door een grotere weerstand geringer dan wanneer de dalvlakte uit glad grasland bestaat.



LINKS In de weidse dalen op de plateaus wordt het water nu nog snel afgevoerd. Het dichten van de greppels en de gegraven beken zal tot een aanzienlijke vertraging van de waterafvoer leiden.

RECHTS In de brede, benedenstroomse dalvlakten kan tijdens hoogwater veel water 'stromend' worden geborgen.

Het eigenbelang voor de boeren zal per individuele boer heel verschillend kunnen zijn. Zij die hun bedrijfsgebouw hebben aan de rand van een grote dalvlakte, zullen er geen enkel voordeel van ondervinden. Maar boeren die stukken dalvlakte bezitten op grote afstand van de bedrijfsgebouwen, kunnen bij de keuze 'geld of grond' wel eens beslissen dat ze liever geld hebben dan een slecht bereikbaar, slecht stuk weiland.

Omdat het verval (hoogteverschil) langs de beken groot is (5 – 7 meter per km) kunnen maatregelen voor waterberging in de dalvlaktes lokaal genomen worden. Bovenstrooms of benedenstrooms hoeft men er geen hinder van te ondervinden. Daarom geldt ook hier dat de boeren, uitgaande van eigen belang, op vrijwillige basis kunnen kiezen om mee te doen of niet. Ook in de dalvlaktes kan voor de betreffende boeren zowel een beheersovereenkomst als verkoop in het vooruitzicht worden gesteld. Het meest effectief zijn dalvlaktes die zelf ook een hoge weerstand hebben, en bestaan uit een mozaïek van moerasjes, zich verleggende geulen, drogere eilandjes, begroeid met ruigte, natuurlijk begraasde open plekken, struwelen en bosjes met veel omgevallen dood hout. Het gaat hierbij om grotere, aaneengesloten delen van de alluviale vlakte. Ook dalvlaktes die nog in gebruik zijn als weiland kunnen bij overstroming effectief zijn om water te bergen. Wanneer de overstromingsfrequentie groter wordt dan nu het geval is, kan de betreffende boer in beheersovereenkomsten betaald worden voor het bergend effect op hun land, in relatie tot de gederfde inkomsten door de overstroming. Is er geen bedrijfsopvolger dan kan verkoop van de grond volgen op de periode van de overeenkomsten. Sociaal kan dit voor de boeren een aantrekkelijke optie zijn.

DE BOER ALS PARTNER

Vanuit het perspectief van de boeren gaat het bij stromende berging om de volgende punten:

- Regionaal kunnen er landinrichtingsmaatregelen genomen worden om erosie en afstroming van water te verminderen, en inzijging te bevorderen. Benedenstrooms betaalt, de bovenstroomse overheid voert de maatregelen uit.
- Alle lokale maatregelen zijn vrijwillig; de boer maakt de keuze om mee te doen of niet.
- De maatregelen betekenen een financiële injectie in de boerenstand.
- Boeren kunnen een vergoeding krijgen voor het vernatten van kleine moerassige stukken land in hun percelen. Daarbij blijven ze zelf eigenaar, maar ze verplichten zich watervasthoudende maatregelen te nemen. Boeren kunnen zulke stukken grond desgewenst ook verkopen.
- Boeren kunnen afgeronde stukken dalvlaktes langs de beken en rivieren verkopen voor vergroting van de bergende capaciteit. Zulke stukken kunnen ook via beheersvergoedingen voor waterberging worden gebruikt, onder behoud van de landbouwkundige functie, mits er perspectief bestaat op uiteindelijke verkoop van de percelen voor verdere ontwikkeling van het waterbergend vermogen.
- De benodigde gelden worden opgebracht door de benedenstroomse belanghebbenden.

VEELGEHOORDE MENING:

Voor het vasthouden van water zijn enorme oppervlaktes goede landbouwgrond nodig

Deze mening gaat er van uit, dat er maatregelen nodig zijn op vrijwel alle gronden in het stroomgebied, en dat er enorme retentiebekens op goede landbouwgrond moeten worden aangelegd. De plannen in dit rapport gaan in een andere richting. De gronden die nodig zijn voor het vasthouden van water, bestaan voor een groot deel uit inferieure, nu

al drassige gronden, die alleen met veel investeringen rendabel gemaakt zouden kunnen worden. Het gaat op bedrijfsniveau vaak om kleine delen van boerenpercelen, zoals de drassige, laagste stukken van droogdalen, of de ver van de bedrijfsgebouwen liggende smalle oeverlanden van kleine beken. Bezien op de schaal van het stroomgebied van een hele rivier gaat het natuurlijk wel om een aanzienlijke oppervlakte, maar die ligt in kleine stukjes verspreid door het hele gebied, en bestaat nooit uit de goede productiegronden.

8.2 DRINKWATERBEHEER ALS PARTNER

Door versterkte inzijging van water in de bodem, een langer verblijf in de bodem en in moerasgebieden en het afremmen van water in de beken vertraagt de afvoer van water uit een gebied. In natte periodes is de afvoer dan kleiner en in droge periodes is de afvoer groter. Voor de drinkwaterwinning is dit een positief effect omdat zij met name gebaat is bij een grotere aanvoer gedurende droge periodes. Daarnaast vindt door de langere verblijfstijd van het water in de bodem en in moerasgebieden een langduriger biologische zuivering plaats.

8.3 SCHEEPVAART ALS PARTNER

In droge tijden kan de afvoer van de rivieren, vooral de regenrivieren die geen waterbuffer in de vorm van gletsjers hebben, bijna tot nul teruglopen. Om de gestuwde rivieren – en de kanalen die uit de rivieren gevoed worden – voor de scheepvaart in bedrijf te houden, is extra water in periodes van extreme droogte van groot belang. Omdat het daarbij toch slechts gaat om relatief geringe hoeveelheden (voor de Maas om enkele tientallen m³/sec in droge tijden) heeft het vasthouden van water een groot positief effect.



LINKS De scheepvaart is gebaat bij een continue aanvoer van water tijdens perioden met weinig neerslag



RECHTS Industrie en drinkwaterwinning zijn gebaat bij de aanvoer van voldoende schoon water gedurende het hele jaar.

8.4 INDUSTRIE ALS PARTNER

Water wordt als koelwater in allerlei industriële installaties gebruikt. In principe kan het daarbij chemisch schoon blijven, maar wordt het thermisch belast. Om al te sterke opwarming te voorkomen is ook hier vergroting van de wateraanvoer juist in droge tijden van groot belang.

8.5 NATUURBEHEER ALS PARTNER

De voorgestelde maatregelen vergroten de oppervlakte natuurgebied sterk en grote delen daarvan zullen ook in eigendom kunnen komen van natuurbeherende instanties. De ecologische inhoud en kwaliteit van het landschap gaat door deze maatregelen sterk vooruit. Natuurlijke processen worden verstrekt, en daarvan profiteren vele organismen. Het landschap wordt afwisselender, interessanter en avontuurlijker, er valt meer te beleven. De biodiversiteit neemt toe. Daarbij moet bedacht worden dat rivierbegeleidende natuur zeer schaars is – in Europa maar ook mondiaal – en dat juist langs de rivieren een zeer grote rijkdom aan planten en dieren kan voorkomen. Als érgens snel resultaat geboekt kan worden, zowel in kwaliteit als kwantiteit, is het dus wel langs beken en rivieren.

Waterberging is voor het internationale natuurbehoud extra interessant omdat het de motor kan worden voor het realiseren van een Europese Ecologische Hoofdstructuur. Riviersystemen bieden een uitgelezen vertrekpunt voor het ontwikkelen van zo'n groen/blauwe hoofdstructuur want

- land- en moeraszones langs waterlopen zijn in elk geval al met elkaar verbonden door het water. Daardoor is er een transportas waarlangs dieren en planten(zaden) zich snel kunnen verplaatsen – ook naar nieuwe natuurontwikkelingsgebieden. Die laatste zullen dus snel gekoloniseerd kunnen worden door flora en fauna.
- door gericht te investeren in combinaties van waterberging en natuurontwikkeling kunnen de afzonderlijke natuurgebieden ook over het land steeds dichter naar elkaar toegroeien. Omdat een concentratie van natuurontwikkelingsgebieden plaatsvindt in relatief smalle (oever)zones, wordt het punt van aansluiten snel bereikt.
- omdat riviersystemen zich met hun haarvaten vertakken tot in alle delen van



De beek- en rivierdalen bieden enorme mogelijkheden voor de realisatie van rijke natuurgebieden. Samen vormen zij een reusachtig netwerk van ecologische verbindingen waarlangs tal van plant- en diersoorten kunnen migreren.

Europa vormen ze een uitgelezen ‘uitvalsbasis’ voor het ontwikkelen van een Europese EHS

- vele beken ontspringen in bosgebieden, die nu al een bestemming hebben als (bijna) natuurgebied maar geïsoleerd liggen in het Europese landschap. De blauw/groene hoofdstructuur verbindt dus ook deze bosgebieden met elkaar.

8.6 RECREATIE EN TOERISME ALS PARTNERS

Natuurlijker beken, bloemrijke moerasgebieden, uitgestrekte hoogvenen en gevarieerde loofbossen maken het voor bewoners van een regio aantrekkelijker om hun vrije tijd in het landschap door te brengen. Ook voor mensen uit stedelijke gebieden, dus van buiten de streek, wordt het aantrekkelijker om met vakantie naar zo'n gebied toe te gaan. Aangezien toerisme in de Europese economie de snelst groeiende sector is, brengt de grotere natuurlijke kwaliteit en aantrekkelijkheid van een gebied een sterke economische partner binnen bereik.

VEEL GEHOORDE TEGENWERPING:

Niemand kan voorspellen of een maatregel in, bijvoorbeeld, het Schwarzwald effect heeft op de waterstanden in, bijvoorbeeld, Keulen. Dat water is pas een dag of drie later in Keulen, en in die tijd kan er met het weer en in andere zijrivieren zoveel gebeuren, dat het onmogelijk is om een zinvol besluit te nemen over het al of niet vullen van retentiebekkens.

Dit is correct. Maar alleen voor zover het gaat over het vullen van retentiebekkens, en het berekenen van de effecten daarvan. Voor het terughouden van water in het hele stroomgebied door de hier voorgestelde maatregelen geldt wél dat maatregelen in het Schwarzwald effect hebben in Keulen. Ze kunnen niet direct berekend worden, maar door het vasthouden van water in het hele systeem, wordt de afvoer in het hele riviersysteem geremd.



De recreatie ontwikkelt zich meer en meer als de belangrijkste economische partner van het landelijke gebied.

8.7 UITVOERING: GEEN EINDPLANNING, MAAR STARTEN MET EEN PROCES

De aard van de voorgestelde maatregelen én de manier waarop ze uitgevoerd moeten worden brengen met zich mee, dat het opstellen van een ruimtelijk eindplan een onmogelijke en ook onwenselijke zaak is. De maatregelen om water vast te houden moeten en kunnen op een zeer groot aantal kleine locaties worden uitgevoerd. Het is daarbij om het even waar deze plekken precies liggen – zolang ze maar tot een van de beschreven categorieën behoren. Dat maakt het opstellen van een exacte plankaart moeilijk.

Nog belangrijker is het gegeven dat zulke plannen alleen kunnen worden uitgevoerd met vrijwillige medewerking van de landeigenaren/boeren, die er zelf uit eigen belang aan mee willen doen. Iedere vorm van dwang van zal een storm van verontwaardiging doen opsteken.

Er moet dus een geleidelijk proces op gang worden gebracht, waarbij vanuit internationaal, nationaal en regionaal niveau gestimuleerd wordt dat verschillende partners meewerken aan natuurlijke waterberging.

Op internationaal niveau is van belang dat, gecoördineerd door de internationale Maascommissie of de EU, benedenstroomse belangen/partners zich bereid gaan tonen te betalen aan het vasthouden en afremmen van water hoger in het stroomgebied. Vervolgens dient er een mechanisme te worden ontwikkeld, waarmee deze bedragen ook daadwerkelijk beschikbaar komen voor bovenstroomse maatregelen.

In aansluiting hierop zouden nationale of regionale overheden de internationale bereidwilligheid moeten kanaliseren naar de meest in aanmerking komende partners en gebieden. Een overlegorgaan waarin alle belanghebbenden zitting hebben zou de overheid kunnen adviseren ten aanzien van de vraag welke maatregelen waar kunnen worden genomen. Ook zou op nationaal niveau een systeem kunnen worden opgezet voor beheersvergoedingen en aankopen; het beheer zou uiteindelijk in lokale waterbeheerplannen moeten worden vastgelegd. *(zie ook kader)*

Voordeel van een dergelijke aanpak is dat er niets geforceerd wordt, dat de plannen bijgeschaafd kunnen worden naarmate de inzichten groeien, dat lokale omstandigheden kunnen worden gehonoreerd, en dat de burgers van doen hebben met de bekende eigen overheid.

De maatregelen werken financieel vooral gunstig uit voor de boeren. Deze kunnen hun toch al moerassige, slechtste delen van percelen omzetten in geld, voor privédoeleinden, voor investering in hun bedrijf, of als onderdeel van geleidelijke bedrijfsbeëindiging en pensionering. Deze aanpak is deels al beproefd in de verschillende regelingen voor de aankoop van natuurgebieden en het afsluiten van beheersovereenkomsten met boeren in verschillende EU-landen.

INTERNATIONAAL STIMULEREN, NATIONAAL UITVOEREN.

Voor het realiseren van natuurlijke waterberging is actie op internationaal, nationaal en lokaal niveau noodzakelijk.

INTERNATIONAAL kunnen, onder coördinatie van de Internationale Maascommissie of de Europese Unie, de volgende stimulansen worden gegeven:

- de benedenstroomse belangen/partners tonen zich daadwerkelijk bereid om te betalen voor het vasthouden en afremmen van het water
- er wordt een manier gevonden om deze bereidheid in een concrete financiering om te zetten
- er wordt een beschrijving gemaakt van de principes van de verschillende manieren om water vast te houden
- er worden concrete maatregelen beschreven die daarbij van toepassing zijn
- er worden globale oppervlaktes per zone vastgesteld, die als richtlijn voor de te behalen effecten en voor de benodigde financiering dienen
- de maatregelen worden vastgelegd in stroomgebiedplannen (door de EU verplicht gesteld) die door de nationale overheden worden vastgesteld.

NATIONALE OF REGIONALE OVERHEDEN, kunnen als volgt bijdragen aan het realiseren van natuurlijke waterberging:

- er wordt een overlegorgaan in het leven geroepen dat de overheid adviseert over de te nemen maatregelen. Hierin zitten alle belanghebbende groepen (partners): boeren, landeigenaren, steden, provincies, waterbeheerders, natuurbeheerders, recreatieschappen, watergebruikers
- er worden kaarten gemaakt met een zoning waar de verschillende concrete maatregelen van toepassing zijn, met prioriteiten
- er worden vergoedingen voor beheersovereenkomsten met boeren vastgesteld, gebaseerd op het waterbergend effect, en in goede relatie met de vermindering aan productie en kapitaal.
- er wordt een systeem ontwikkeld voor de aankoop van gebieden
- boeren en landeigenaren worden uitgenodigd om gebruik te maken van de regeling
- het beheer wordt in lokale waterbeheersplannen vastgelegd

8.8 UITVOERING: VOORBEELDGEBIEDEN IN DE VERSCHILLENDE ZONES

Om aan iedereen duidelijk te maken waar het bij natuurlijke waterberging om gaat en om de discussie over de effecten goed te kunnen voeren, is het van doorslaggevend belang dat er duidelijke en overtuigende voorbeeldgebieden worden ingericht. Zowel bestaande restanten natuurgebied – die als referenties een rol spelen – als nieuwe gebieden waar dit beheer wordt ingevoerd zijn daarbij belangrijk. Natuurbeherende instanties kunnen met het beheren en openstellen voor bezoekers een cruciale rol spelen voor de discussies over dit onderwerp. De verschillende partners die belang hebben bij de genoemde maatregelen kunnen als sponsors optreden.

Voorbeeldgebieden moeten voldoen aan een aantal eisen:

- voldoende groot
- gedifferentieerd naar de verschillende zones
- voldoende gespreid in regionaal-culturele omgevingen (Frans- en Duitstalig)
- voldoende gespreid in de verschillende middelgebergtes en riviersystemen, dus zowel Maas als Rijn, en van het Schwarzwald tot en met de Ardennen.

Het is van groot belang dat realisatie van de voorbeeldgebieden onafhankelijk is van de (loodzware) procedures die zijn geschetst voor de uitvoering van de regeling (zie kader).

In principe is de kans op slagen het grootst als één enthousiaste terreineigenaar en één enthousiaste sponsor gewoon beginnen met een voorbeeldgebied.

Stroming b.v.
Postbus 31070
6503 CB Nijmegen
www.stroming.nl
email: info@stroming.nl

COLOFON

PUBLICATIE Stroming b.v.
Postbus 31070
6503 CB Nijmegen
www.stroming.nl
email: info@stroming.nl

In opdracht van Stichting Ark met
steun van de Nationale Postcode
Loterij en Wereld Natuur Fonds

ONTWERP Brigitte Slangen
OPMAAK Franka van Loon
DRUK XXL Nijmegen
ILLUSTRATIES Jeroen Helmer
FOTO'S Alphons van Winden,
Willem Overmars

© Copyright 2003 Stroming b.v.

TREFWOORDEN natuurlijke water-
berging, stroomgebied, Maas, Rijn,
Ardennen, middegebergten, water-
overlast, haarvaten, natuurontwik-
keling, landbouw

STICHTING **ARK**

 **NATIONALE
POSTCODE
LOTERIJ**



 **Stroming**
bureau voor natuur- en landschapsontwikkeling b.v.