

# Projectie van de Elbe-zomerneerslag op de Rijn en Maas

Onderzoek naar aanleiding van de recente overstromingen in Midden-Europa

september 2002



# Projectie van de Elbe- zomerneerslag op de Rijn en Maas

Onderzoek naar aanleiding van de recente overstromingen in  
Midden-Europa

september 2002

Eindredactie: ir. W. van de Langemheen (RIZA),  
dr. J.R.A. Onvlee, dr. G.P. Können (KNMI),  
dr. J. Schellekens (WL|Delft Hydraulics)

RIZA rapport 2002.042  
KNMI publicatie no. 198  
WL rapport no. Q3352  
ISBN 903695472X



**wL | delft hydraulics**



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

**Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat**

RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling

---

## Inhoudsopgave

---

<b>Inhoudsopgave</b>	<b>3</b>
<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Overstromingen in Midden-Europa</b>	<b>7</b>
1.1 Inleiding	7
1.2 Meteorologische omstandigheden	7
1.3 Uitzonderlijkheid van de neerslag	8
1.4 Klimaatverandering	9
1.5 Uitzonderlijkheid van de rivierhoogwaters	10
<b>2 Hoogwaters op de Rijn en Maas</b>	<b>12</b>
2.1 Inleiding	12
2.2 Hoogwaterperiode januari 1995	12
2.3 Hoogwaterperiode juli 1980	13
2.4 Overschreden afvoeren naar kalendermaand	13
<b>3 Verplaatsingsscenario's en meteorologische aspecten</b>	<b>15</b>
3.1 Inleiding	15
3.2 Werkwijze	15
3.3 Toegepaste verplaatsingsscenario's	19
<b>4 Hydrologische aanpak</b>	<b>20</b>
4.1 Inleiding	20
4.2 Werkwijze	20
<b>5 Resultaten van de verplaatsingsscenario's</b>	<b>24</b>
5.1 Inleiding	24
5.2 Resultaten voor de Rijn	24
5.3 Resultaten voor de Maas	27
5.4 Eindschattingen	30
<b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>32</b>
<b>Referenties</b>	<b>34</b>
<b>Bijlage A Elbe, Rijn en Maas vergeleken</b>	<b>36</b>
<b>Bijlage B Hoogwaterberichtgeving Rijn en Maas</b>	<b>38</b>
<b>Colofon</b>	<b>39</b>

---

## Inleiding

---

Hoewel hoogwaters op de Rijn en Maas in Nederland vooral in de wintermaanden mogen worden verwacht, is de afgelopen weken bij velen de vraag gerezen of de neerslagpatronen die in augustus in Midden-Europa optraden, zich ook in de stroomgebieden van de Rijn en Maas hadden kunnen voordoen, en in welke mate dit tot problemen had geleid. Dit rapport is het resultaat van een eerste beknopte verkenning met als doel deze vragen te beantwoorden. De opzet is als volgt.

In hoofdstuk 1 wordt een beschrijving gegeven van de meteorologische omstandigheden die hebben geleid tot de overstromingen in Midden-Europa in augustus 2002. De extremiteit van de gebeurtenis wordt toegelicht vanuit het perspectief van neerslaghoeveelheden en rivierhoogwaters. Hoofdstuk 2 geeft ter vergelijking een beknopte beschrijving van een winterhoogwater en een zomerhoogwater op de Rijn en Maas, en een overzicht van het aantal hoogwaters in de verschillende seizoenen.

In hoofdstuk 3 wordt de vraag beantwoord of de neerslagsituatie zoals opgetreden in het Elbe-gebied, zich ook in het stroomgebied van de Maas of de Rijn had kunnen voordoen, en tot hoeveel neerslag dat dan zou hebben geleid. Vervolgens wordt aangegeven hoe de Elbe-neerslag op realistische wijze verplaatst kan worden naar de stroomgebieden van de Rijn en de Maas. Hoofdstuk 4 beschrijft de hydrologische aanpak, waarmee het effect van de neerslagscenario's op de rivierafvoeren kan worden voorspeld. Dit gebeurt op twee manieren: met een eenvoudige opschalingsmethode en met behulp van hydrologische simulaties.

De resultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 5 en de conclusies tenslotte in hoofdstuk 6.

Het onderzoek is in opdracht van het Directoraat-Generaal Water van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgevoerd door Rijkswaterstaat-RIZA, in zeer nauwe samenwerking met KNMI en WL|Delft Hydraulics.

---

## Samenvatting

---

Hevige regenval gedurende de eerste helft van augustus 2002 leidde in Duitsland, Tsjechië en Oostenrijk tot overstromingen, dijkdoorbraken en grote wateroverlast. In een verkennende studie is onderzocht wat de consequenties waren geweest indien de in Midden-Europa opgetreden meteorologische situatie zich deze zomer in het stroomgebied van de Rijn en de Maas had voorgedaan. Het onderzoek heeft zich niet gericht op de effecten van een dergelijke neerslag in Nederland zelf.

### *Berekende neerslag*

Het onderzoek heeft zich in eerste instantie gericht op de vraag of de neerslagsituatie zoals opgetreden in het Elbe-gebied, ook in het stroomgebied van de Maas en de Rijn zou kunnen optreden. Hiertoe is het neerslagpatroon zoals dat van 1 tot 20 augustus is opgetreden in het Elbe-gebied verplaatst (middels verplaatsingsscenario's) naar het stroomgebied van Rijn en Maas. Verplaatsing naar Rijn en Maas leidt –gezien het vlakke landschap– tot orde 10% minder neerslag dan in het stroomgebied van de Elbe is gevallen. Het onderzoek heeft hier rekening mee gehouden.

De hoeveelheid neerslag die bij verplaatsing van de meteorologische situatie naar het Rijn- of Maasstroomgebied was opgetreden, is orde 20% groter dan zich in 1993 in het Maasstroomgebied en in 1995 in het Rijnstroomgebied heeft voorgedaan. Voor de Rijn gaat het om 125 mm in het verplaatsingsscenario tegen 102 mm in 1995 (10-daagse neerslagsom). Voor de Maas gaat het om 117 mm in het verplaatsingsscenario tegen 102 mm in 1993 (5-daagse neerslagsom).

### *Berekende Rijn- en Maasafvoer*

Verplaatsing van de neerslag naar de Rijn en de Maas leidt tot een –voor een zomerse situatie– ongekend hoogwater, zowel voor Rijn als de Maas. De eindschattingen voor de piekafvoeren bedragen 11.600 m<sup>3</sup>/s voor de Rijnafvoer bij Lobith (bijgestelde waarde vanwege verwachte overstromingen in Duitsland) en 2.600 m<sup>3</sup>/s voor de Maasafvoer bij Borgharen. Wat betreft de Rijn is deze afvoer iets lager dan zich tijdens de winter van 1995 heeft voorgedaan, maar ruim boven die van de winter van 1993. De Maasafvoer is lager dan tijdens de winters van 1993 en 1995, maar beduidend hoger dan tijdens het zomerhoogwater van 1980.

Dat de uitkomsten minder extreem zijn dan op grond van de neerslag zou mogen worden verwacht, heeft vooral te maken met de relatief gunstige hydrologische en meteorologische voorgeschiedenis, inherent aan de zomer. Ook het feit dat de neerslag zich bovenstrooms plaatselijk vrij geconcentreerd manifesteert, verzacht de effecten voor Nederland enigszins. Niet alle deelstroomgebieden voeren daardoor even extreme hoeveelheden water aan.

De afvoeren ten gevolge van de Elbe-neerslag zouden volgens de berekeningen ruim beneden de maatgevende 1/1250-jaar afvoeren zijn gebleven, die thans zijn vastgesteld op 16.000 m<sup>3</sup>/s voor de Rijn en op 3.800 m<sup>3</sup>/s voor de Maas.

---

#### *Methode en onzekerheden*

De resultaten zijn verkregen volgens twee methoden, de opschalingsmethode en hydrologische simulatie.

De opschalingsmethode maakt een vergelijking met in het verleden opgetreden combinaties van neerslag en bijbehorende rivierafvoer. De hydrologische simulatie berekent de afvoer met behulp van een numeriek (computer)model.

De methoden geven resultaten die onderling goed overeenstemmen. Het onderzoek kent echter, gezien het grote aantal aannamen, zijn beperkingen.

Als belangrijkste worden genoemd:

- De voorgeschiedenis: de hydrologische en meteorologische voorgeschiedenis (de periode tot 1 augustus 2002) heeft een significant effect op de uitkomsten. Voor de Rijn is de in het Rijnstroomgebied opgetreden situatie (zomer 2002) aangenomen; voor de Maas is de voorgeschiedenis in het Maasstroomgebied bij gebrek aan gegevens zo goed mogelijk ingeschat.
- Het effect van overstromingen in Duitsland: de huidige modellen gaan er van uit dat al het water door de rivier wordt afgevoerd. In werkelijkheid zullen stroomopwaarts in het Rijngebied overstromingen optreden welke leiden tot een afvlakking van de hoogwatergolf c.q. lagere piekafvoer bij Lobith. In de eindschatting voor de Rijn is hiervoor gecorrigeerd, van 12.600 naar 11.600 m<sup>3</sup>/s, op basis van het fysisch maximum bij Worms. Dit is een geschat effect, dat in werkelijkheid ook kleiner of groter kan zijn.
- De specifieke zomersituatie: tijdens de zomer zijn de waterstanden bij de geschatte afvoeren enigszins hoger dan 's winters het geval is, vanwege veranderingen in het rivierbed (begroeiing in uiterwaarden, intensiever gebruik). Bij de interpretatie van de uitkomsten moet dit seizoenseffect in rekening worden gebracht.
- Modelleren: het gebruikte model voor de Maas werkt op dagbasis. Een nauwkeurige simulatie van de hoogwatergolf vergt eigenlijk een fijnere resolutie (kleinere tijdstappen).

Deze beperkingen leiden tot een onzekerheidsmarge in de uitkomsten die niet nader is gekwantificeerd.

---

# 1 Overstromingen in Midden-Europa

---

## 1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de meteorologische omstandigheden die hebben geleid tot de overstromingen in Midden-Europa. De uitzonderlijkheid van deze gebeurtenis wordt toegelicht aan de hand van historische extreme neerslag gebeurtenissen. Ook wordt kort ingegaan op de vraag of er een relatie met de (door de mens veroorzaakte) klimaatverandering bestaat. Tot slot wordt de uitzonderlijkheid in termen van rivierhoogwaters beschreven.

## 1.2 Meteorologische omstandigheden

Nadat in de maand juli 2002 grote delen van Duitsland reeds bovennormale hoeveelheden neerslag te verwerken kregen, waardoor de bodem verzadigd raakte, viel ook in augustus veel regen.

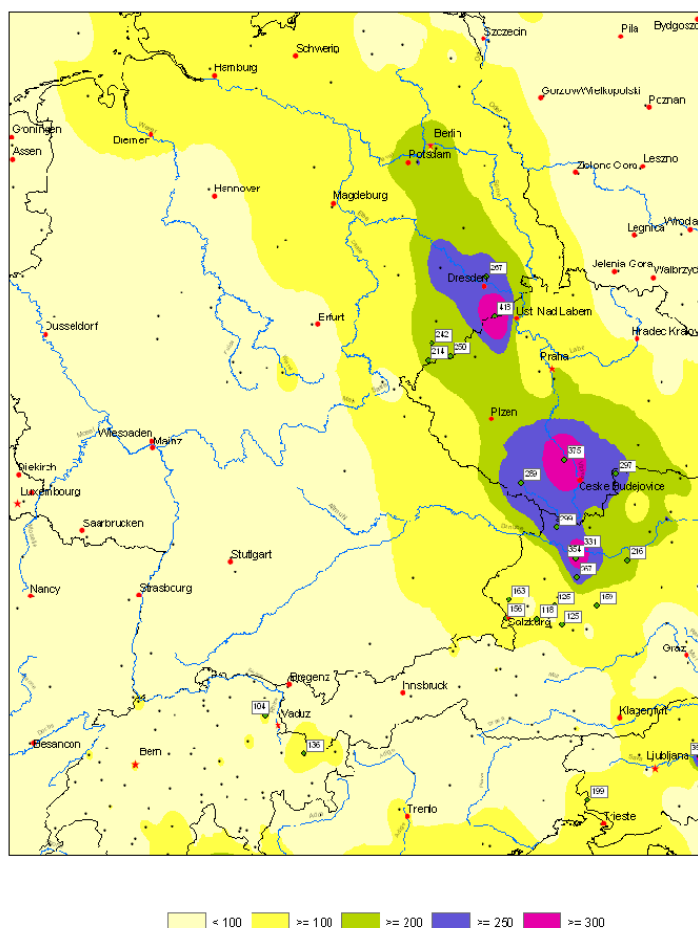
Op 26 juli 2002 kwam boven Midden-Europa een gebied van hoge luchtdruk tot ontwikkeling, waarvan het centrum zich via Noordwest-Rusland naar Scandinavië verplaatste. De temperaturen liepen daardoor de laatste dagen van juli op en bereikten in Duitsland tropische waarden. Op 30 juli ontwikkelde zich een depressie boven het grensgebied van Slowakije en Hongarije, die zijn invloed op de volgende dag uitbreidde tot geheel Midden- en West-Europa. Hierdoor werd de atmosfeer onstabiel van opbouw, waarin op grote schaal onweersbuien tot ontwikkeling kwamen. Op 1 augustus viel hierdoor in het benedenstroomse gedeelte van het Elbe-stroomgebied veel neerslag, waarbij de meeste neerslag te Cuxhaven ten noorden van Bremen viel. Op 5 en 6 augustus viel opnieuw in het kustgebied veel neerslag, waarbij dit keer het centrum bij Schleswig in Sleeswijk-Holstein lag. Op 6 en 7 augustus trok een depressie van de Middellandse Zee via de Golf van Genua over de Alpen verder noordwaarts. Langs het warmtefront kwamen zware buien tot ontwikkeling, die met name in Oostbeieren, Bohemen en Oostenrijk grootschalig voor veel regen zorgden. Op veel plaatsen viel meer dan 50 mm.

In de loop van 8 augustus trok het warmtefront verder naar het noordwesten, waarbij in de monding van de Weser en de Elbe met het centrum te Bremerhaven opnieuw veel en soms intense regen viel. Een nieuwe diepe depressie volgde vanaf 10 augustus in eerste instantie een vergelijkbaar pad naar het noorden en bracht in Oost-Zwitserland en Zuidwest-Duitsland (buiten het stroomgebied van de Elbe) op grote schaal veel neerslag. Te Säntis in het noordoosten van Zwitserland viel bijvoorbeeld 171 mm in twee dagen. Op de 11<sup>e</sup> volgde de depressie een meer oostelijke koers en aan de achterkant van de depressie werd vanuit het noorden koele lucht aangevoerd. Hierin ontstonden opnieuw zware buien, die met name aan de noordkant van de oostelijke Alpen voor veel regen zorgden. Zo viel in de streek Salzkammergut in Oostenrijk op meerdere plaatsen meer dan 70 mm in een tijdsbestek van 12 uur. Ook werd het noordelijk deel van Oostenrijk ten westen van Wenen opnieuw door overvloedige neerslag getroffen. In de loop van 11 augustus breidde het neerslagrijke gebied zich in noordelijk richting uit en viel ook in het Ertsgebergte en de Harz veel regen. Binnen 24 uur vielen ook hier hoeveelhe-

den, die de 60 mm te boven gingen. Op 12 augustus trok de depressie weg naar Polen. Aan de achterzijde van de depressie nam de noordenwind verder in kracht toe, waardoor de stuwing en verheffing van de luchtmasa in het Eertsgebergte versterkt werd. Hierdoor werden opnieuw verscheidene neerslagrecords gebroken. Na 13 augustus bleef het op de meeste plaatsen in het stroomgebied van de Elbe droog. Slechts op een enkele plaats viel nog af en toe neerslag van enige betekenis.

### 1.3 Uitzonderlijkheid van de neerslag

Gedurende de eerste helft van augustus 2002 kwam het op een aantal dagen op verscheidene plaatsen in Midden-Europa tot uitzonderlijke grote hoeveelheden neerslag, waarbij records werden gebroken. De eerste records werden in het kustgebied gevestigd, later in de maand viel juist meer naar het zuiden uitzonderlijk veel neerslag. In figuur 1.1 is de ruimtelijke spreiding van de neerslag gedurende de eerste dertien dagen weergegeven, uitgedrukt als percentage van de normale hoeveelheid (d.w.z. het langjarige gemiddelde over de jaren 1961 t/m 1990) in augustus. Zoals in het onderstaande wordt uiteengezet, werden de grote hoeveelheden slechts in enkele dagen bereikt.



Figuur 1.1: Het totaal van de neerslag, gevallen van 1 t/m 13 augustus 2002, uitgedrukt als percentage van de normale hoeveelheid in de maand augustus. (Bron: Deutscher Wetterdienst)



---

Op 1 augustus werd te Cuxhaven een nieuw augustusrecord voor de neerslag gevestigd (64 mm op één dag). Op 5 augustus viel opnieuw in het kustgebied veel neerslag, waarbij te Schleswig een hoeveelheid van 73 mm werd afgetapt. Ook op de volgende dag regende het daar veel, waardoor op 5 en 6 augustus in deze omgeving reeds anderhalf maal de normale maandhoeveelheid viel. Te Wendelstein even ten zuiden van Neurenberg viel op 6 augustus 110 mm, waarvan 62 mm in 6 uur en te Sankt Pölten ten westen van Wenen werd 80 mm in een tijdvak van 12 uren genoteerd. Zowel in het Duitse kustgebied als in Oostbeieren, Bohemen en Oostenrijk bedroeg de hoeveelheid neerslag gedurende de eerste 7 dagen van augustus plaatselijk meer dan 140 mm, hetgeen neerkomt op vrijwel tweemaal de normale maandhoeveelheid.

Tijdens het noordwestelijk wegtrekken van het front op 8 augustus werd in de avond te Bremerhaven 71 mm neerslag genoteerd in een tijdsbestek van 6 uur. Op de Brockentop in de Harz werd op 11 augustus een hoeveelheid van 102 mm geregistreerd. Deze neerslag viel in de omgeving van de depressie, die op 10 en 11 augustus over Duitsland trok. Te Dresden viel ten gevolge van dezelfde depressie op 12 augustus 158 mm neerslag en te Zinnwald-Georgenfeld ten zuiden van Dresden in het Ertsgebergte viel zelfs 312 mm. Voor Duitsland is dit sinds het begin van de systematische neerslagregistratie het absolute record en overstijgt daarmee het viervoudige van de normale maandhoeveelheid in augustus. Het record voor de dagelijkse hoeveelheid neerslag in Duitsland bedroeg tot dusver 260 mm en werd op 6 juli 1906 te Zeithain ten noordwesten van Dresden gevestigd en op 7 juli 1954 te Stein ten zuidoosten van München opnieuw gehaald.

In Tsjechië viel met name op 12 en 13 augustus een grote hoeveelheid neerslag. Te Praag werd op de 12<sup>e</sup> 56 mm en op de 13<sup>e</sup> 18 mm geregistreerd. Te Pribyslav ten zuidoosten van Praag viel op dezelfde dagen resp. 39 en 62 mm en te Liberec in het noorden tegen het Reuzengebergte werd op 13 augustus 110 mm genoteerd, terwijl op de 12<sup>e</sup> 17 mm viel. Ook in Bohemen en Oostenrijk vielen deze dagen hoeveelheden tot boven de 100 mm, bovenop de extreme neerslag van het begin van de maand. Op veel andere plaatsen in Tsjechië bleven de hoeveelheden op deze dagen beperkt tot enkele tientallen millimeters.

#### **1.4 Klimaatverandering**

Voorals plaatselijk mogen de gevallen hoeveelheden neerslag uitzonderlijk genoemd worden. Een verklaring hiervoor moet voornamelijk gezocht worden in een samenloop van omstandigheden, die in het huidige klimaat nu eenmaal kunnen voorkomen.

De gebeurtenis in Midden-Europa houdt geen aantoonbaar verband met het broeikaseffect. Op dit moment is het versterkte broeikaseffect te gering om ondubbelzinnig tot uiting te komen in de extremiteten van het weer. Uit waarnemingen blijkt een toename van de wereldgemiddelde temperatuur van circa 0,6 °C over de laatste honderd jaar. Uit de studie "Climate of Europe, Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes" (Klein Tank et al, 2002) blijkt dat deze opwarming tussen 1946 en 1999 gepaard ging met een kleine toename van de neerslag in de Noord-Europese landen en een afname in zuidelijk Europa. Ook in het aantal dagen met extreme neerslaghoeveelheden (meer dan 20 mm) is de laatste jaren een geringe toename bespeurbaar, hoewel slechts bij 20% van de stations statistisch

---

significant. Deze trends zijn zeker niet zonder meer door te trekken naar het soort extremen dat leidde tot de Elbe-overstroming in augustus 2002.

Zelfs als het broeikaseffect wél sterk aanwezig was geweest, dan was de augustus 2002 gebeurtenis niet direct hieraan toe te schrijven geweest. Geen enkele individuele weergebeurtenis, of het nu gaat om een overstroming, een zware bui, of om een tropische cycloon zoals Mitch, kan men regelrecht toeschrijven aan het broeikaseffect. Het enige wat het broeikaseffect bewerkstelligt, is het veranderen van de kans op zulke gebeurtenissen. Pas als die in de tijd merkbaar in aantal zijn veranderd, kan men het broeikaseffect als mogelijke oorzaak aanwijzen.

In de toekomst zal de neerslagintensiteit beïnvloed worden door de opwarming van de aarde. Naar verwachting zal de gemiddelde temperatuur op aarde in de loop van de 21ste eeuw met 1 tot 6 °C oplopen, dus veel meer dan de 0,6 graad van de vorige eeuw. Volgens de klimaatscenario's die thans voor Nederland worden gehanteerd, zal dit tot een toename in de gemiddelde neerslag leiden van circa 2% in de zomer en circa 10% in de winter. Voorts wordt de zomerneerslag buiiger, neemt de verdamping toe en er zal 's winters meer neerslag in de vorm van regen vallen en minder in de vorm van sneeuw. Het is plausibel aan te nemen dat ook de zeer extreme neerslaggevalen, en daarmee de extreme rivierafvoeren, vaker zullen optreden. Door de inherente zeldzaamheid van zeer extreme gebeurtenissen zal het echter (nog) een tijd duren voordat we met zekerheid kunnen zeggen dat deze gebeurtenissen inderdaad vaker zijn gaan optreden.

### **1.5 Uitzonderlijkheid van de rivierhoogwaters**

De extreme regenval van augustus 2002 trof niet alleen de Elbe, maar ook het stroomgebied van de Donau, en schampte het stroomgebied van de Oder.

De eerste depressie die op 6 en 7 augustus over de Alpen noordwaarts trok, was de oorzaak van rivierhoogwaters die niet uitzonderlijk zijn, maar gemiddeld eens in de 10 tot 20 jaar voorkomen. Alleen in delen van Bohemen leidde de regenval tot hoogwaters met een geschatte terugkeertijd van 100 jaar.

Toen rond 11 augustus de tweede depressie volgde, was er nog veel water in de rivieren aanwezig. De opnieuw intense regenval leidde tot een sterke en snelle toename van rivierafvoeren, mede vanwege een (gedeeltelijk) verzadigde bodem. Waterstanden in Tsjechië bereikten op verschillende locaties waarden die de historische maxima overschreden.

Van de Moldau, die door Praag stroomt en zich stroomafwaarts bij de Elbe voegt, zijn vanaf 1827 waarnemingen beschikbaar. Het hoogwater van augustus 2002 was extremer dan alle bekende hoogwaters uit deze periode van 175 jaar. De piekafvoer van de Moldau bij Praag bedroeg 5.300 m<sup>3</sup>/s en werd bereikt op 14 augustus. Na dit hoogwater volgt op de tweede plaats in de rangorde het hoogwater van 1845, met een piekafvoer van 4.500 m<sup>3</sup>/s. Daarna volgen de hoogwaters van 1890, 1862, 1940 en 1872, alle met een piekafvoer beneden 4.000 m<sup>3</sup>/s.

In Tsjechië was het hoogwater op de Elbe, na de samenvloeiing met de Moldau, eveneens extreem, maar minder extreem dan in 1845. Dit is te danken aan de relatief geringe regenval in het oostelijke deel van Bohemen.

---

Aan de Tsjechisch-Duitse grens (nabij Ústí) bedroeg de piekafvoer van de Elbe op 16 augustus ongeveer  $5.100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

De Elbe heeft in Duitsland, ten noorden van Dresden een laaglandkarakter. In de omgeving van Torgau bedroeg de piekafvoer circa  $4.500 \text{ m}^3/\text{s}$ . De geschatte terugkeertijd van een dergelijke afvoer ligt tussen de 400 en 1.000 jaar, terwijl de dijken zijn ontworpen op gebeurtenissen met een terugkeertijd van 100 tot 200 jaar. Overstromingen, dijkdoorbraken en overlast deden zich voor langs de Elbe, maar ook hoogwater op zijrivieren (zoals de Mulde) leidde tot problemen.

In bijlage A worden enkele kenmerken van Elbe, Rijn en Maas vergeleken.

De piekafvoer van de Donau kwam in augustus 2002 in de omgeving van Budapest op ongeveer  $8.400 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hier was de situatie minder extreem dan in het stroomgebied van de Elbe. De terugkeertijd van de piekafvoer wordt geschat op 100 jaar.



Figuur 1.2: Dorpje tussen Torgau en Wittenberg, nadat op maandagavond 19 augustus zeven dijken doorbraken.

---

## 2 Hoogwaters op de Rijn en Maas

---

### 2.1 Inleiding

Hoogwaters op de Rijn en Maas zijn veelal het gevolg van een relatief lange periode met een overheersende westelijke stroming. Regengebieden langs fronten en troggen van depressies passeren vanuit het westen onze omgeving en zorgen dagelijks voor langdurig en veel neerslag. De weersituatie voorafgaand aan de bekende winter- en zomerhoogwaters van januari 1995 en juli 1980 is ook als zodanig te schetsen. Ter vergelijking met de situatie in Midden-Europa wordt in dit hoofdstuk een beknopte beschrijving gegeven van deze hoogwaterperioden.

Voor de Rijn en Maas is de kans op hoogwater het grootst in het winterhalfjaar omdat de neerslaggebieden grootschaliger kunnen zijn en omdat er door de geringere verdamping meer van de gevallen neerslag in de rivieren terecht komt. De kans op een verzadigde ondergrond is in het winterhalfjaar groter en een bevroren ondergrond en smeltende sneeuw kunnen verder in belangrijke mate bijdragen aan het ontstaan van het hoogwater. Paragraaf 2.4 toont voor de Rijn en Maas in hoeveel gevallen enkele specifieke afvoerwaarden per kalendermaand werden overschreden.

### 2.2 Hoogwaterperiode januari 1995

De maand januari 1995 begon met winterse omstandigheden. In grote delen van het Rijn- en Maasstroomgebied waren de temperaturen beneden nul en viel neerslag in de vorm van sneeuw. Op 3 januari ruimde de wind naar het noorden en bleef het een aantal dagen droog. Op 8 januari stelde zich een weertype in met een overheersende noordwestelijke wind en viel er opnieuw door de passage van depressies dagelijks neerslag. Door de aanvoer van koude lucht bleef de temperatuur laag en viel er naast regen ook sneeuw en hagel. Op 13 januari kromp de wind naar het zuidwesten en door de aanvoer van zachte lucht steeg de temperatuur. Hierdoor smolten de plaatselijk aanwezige sneeuwmassa's. Weliswaar viel er vrijwel dagelijks regen, maar de hoeveelheden waren dusdanig klein, dat zowel de afvoer van de Rijn als van de Maas bleef dalen.

Vanaf 18 januari namen de hoeveelheden neerslag weer toe en regende het langduriger. Met name een aantal actieve depressies zorgden langdurig voor veel regen op 22 en 23 en van 25 tot 30 januari. Hierdoor nam de afvoer van zowel de Maas als de Rijn flink toe. Door de westelijke stroming steeg de temperatuur aanzienlijk. De sneeuwgrens steeg naar 2000 meter en zorgde voor forse sneeuwsmelt in het hooggebergte, het Schwarzwald en de Vogezen. In de periode van 20 tot 30 januari viel gemiddeld over het Rijngebied ongeveer 100 mm neerslag. Dit is circa tweemaal de gemiddelde hoeveelheid voor de maand januari.

Deze omstandigheden leidden aan het eind van de maand januari tot een piekafvoer voor de Rijn bij Lobith van  $12.060 \text{ m}^3/\text{s}$ . De Maas bij Borgharen bereikte een piekafvoer van  $2.746 \text{ m}^3/\text{s}$ . Naar de huidige inzichten zijn de verwachte terugkeertijden van deze gebeurtenissen voor Rijn en Maas resp. 55 en 50 jaar.

---

De hoogst geregistreeerde Rijnafoer bij Lobith (1926) is 12.600 m<sup>3</sup>/s. Daarna volgt op de tweede plaats het hoogwater van 1995.

De hoogste Maasafvoer bij Borgharen (1993) bedraagt 3.039 m<sup>3</sup>/s. Een ongeveer even hoge afvoer trad op in 1926 (circa 3.000 m<sup>3</sup>/s). Daarna volgt op de derde plaats het hoogwater van 1995.

### 2.3 Hoogwaterperiode juli 1980

Hoogwaters op de Maas en Rijn in Nederland zijn gedurende de zomer weliswaar een zeldzaamheid, op 22 juli 1980 bereikte de Maas dan toch een piekafvoer van 2.200 m<sup>3</sup>/s te Borgharen. Op 23 juli 1980 komt de Rijnafoer bij Lobith op 6.521 m<sup>3</sup>/s.

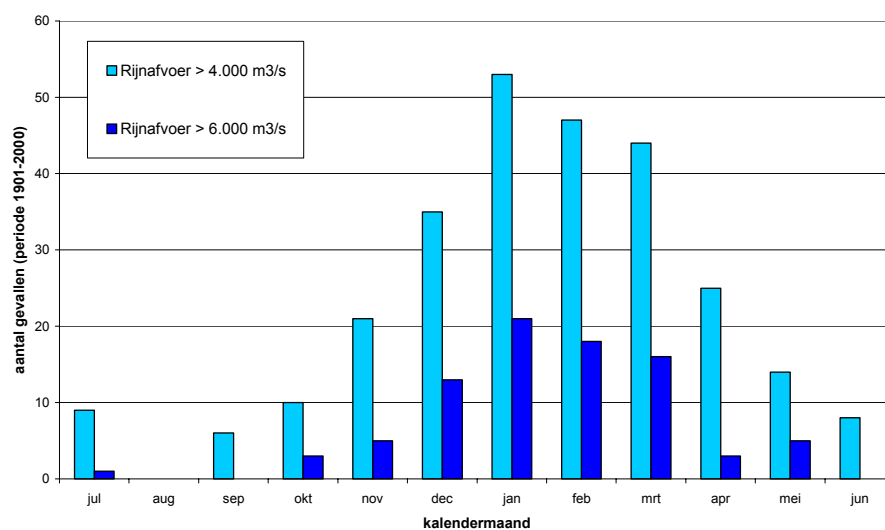
Deze hoogwaters waren het gevolg van uitgesproken slecht weer gedurende de tweede helft van juni en de eerste 21 dagen van juli. In dit tijdvak kwam de wind overwegend uit richtingen tussen west en noordwest en daarmee werd koude polaire lucht aangevoerd. Tezamen met een aantal actieve depressies, die van de oceaan naar Europa trokken, stond dit borg voor vrijwel elke dag veel regen. Meestal regende het slechts enkele uren, maar op sommige dagen was de regenval langdurig. Op 22 juli breidde een rug van hoge luchtdruk boven de oceaan zijn invloed uit en ontwikkelde zich een gebied van hoge luchtdruk, dat zich van de westelijke Middellandse Zee tot boven Scandinavië uitstreekte en zich een lange tijd kon handhaven. Hierdoor konden de depressies van de oceaan Europa niet bereiken en kwam een einde aan de langdurige neerslagperiode.

### 2.4 Overschreden afvoeren naar kalendermaand

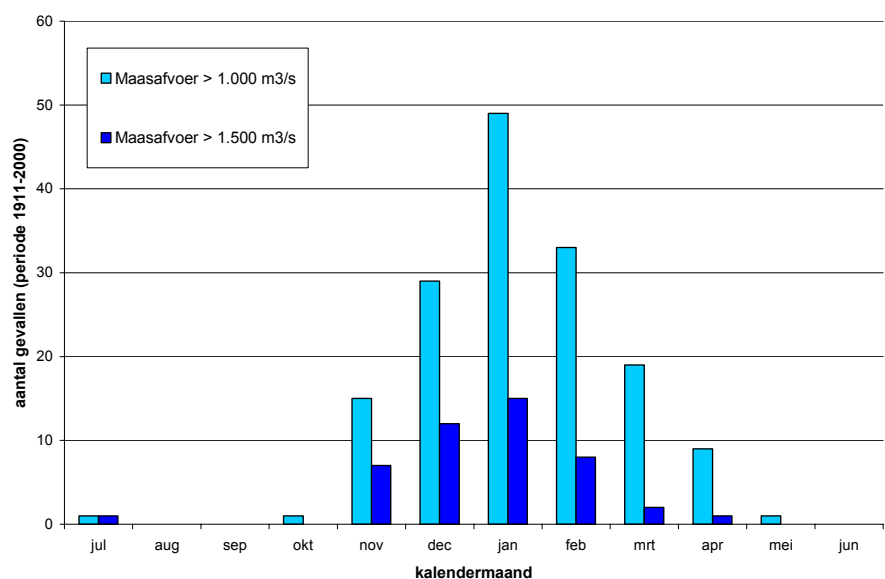
Op basis van historische meetgegevens kan een zogenaamde toppenlijst van afvoeren bij Borgharen en Lobith worden samengesteld. In een dergelijke lijst worden voor Borgharen afvoertoppen boven 800 m<sup>3</sup>/s met de datum van optreden vermeld, waarbij tussen twee afvoertoppen een periode van minimaal 8 dagen moet zijn verstreken. Voor Lobith worden afvoertoppen boven 2.200 m<sup>3</sup>/s vermeld, waarbij tussen twee afvoertoppen een periode van minimaal 15 dagen moet zijn verstreken. Op basis van de tienjarige overzichten tot eind 1990 en aanvullende gegevens voor de periode tot eind 2000 zijn de figuren 2.1 en 2.2 samengesteld.

Figuur 2.1 laat het aantal gevallen gedurende de periode 1901-2000 zien waarbij de Rijnafoer bij Lobith 4.000 m<sup>3</sup>/s overschreed, en het aantal gevallen waarbij 6.000 m<sup>3</sup>/s werd overschreden. In de laatste situatie is er in formele zin meestal sprake van hoogwater (zie bijlage B voor de definitie hiervan). De afvoerwaarde 6.000 m<sup>3</sup>/s wordt gemiddeld gezien elke twee jaar wel eens overschreden. In het zomerhalfjaar kwam dit in de betreffende periode negen maal voor.

Figuur 2.2 laat het aantal gevallen gedurende de periode 1911-2000 zien waarbij de Maasafvoer bij Borgharen 1.000 m<sup>3</sup>/s overschreed, en het aantal gevallen waarbij 1.500 m<sup>3</sup>/s werd overschreden. In de laatste situatie is er in formele zin meestal sprake van hoogwater (naar bijlage B wordt wederom verwezen voor de definitie hiervan). De afvoerwaarde 1.500 m<sup>3</sup>/s wordt gemiddeld gezien ongeveer elke twee jaar overschreden. In het zomerhalfjaar kwam dit in de betreffende periode slechts twee maal voor.



Figuur 2.1: Naar kalendermaand het aantal gevallen waarbij de Rijnafvoer bij Lobith 4.000 m<sup>3</sup>/s overschreed (lichtblauw) en die gevallen waarbij 6.000 m<sup>3</sup>/s werd overschreden (donkerblauw). Periode 1901-2000.



Figuur 2.2: Naar kalendermaand het aantal gevallen waarbij de Maasafvoer bij Borgharen 1.000 m<sup>3</sup>/s overschreed (lichtblauw) en die gevallen waarbij 1.500 m<sup>3</sup>/s werd overschreden (donkerblauw). Periode 1911-2000.

---

## 3 Verplaatsingsscenario's en meteorologische aspecten

---

### 3.1 Inleiding

De vraag die we in dit rapport willen beantwoorden is of de neerslagsituatie zoals opgetreden in het Elbe-gebied ook in het stroomgebied van de Maas en de Rijn zou kunnen optreden, en zo ja, wat daar de effecten op de rivierwaterstanden van zouden zijn. Een manier om de effecten van extreem veel neerslag in het gebied van de Maas of Rijn te onderzoeken is het verplaatsen van het neerslagpatroon zoals dat is opgetreden in het Elbe-gebied naar respectievelijk het stroomgebied van de Rijn of de Maas. Een dergelijke exercitie dient wel voorafgegaan te worden door een beschouwing van de toelaatbaarheid en het realisme van zo'n verplaatsing. De opgetreden neerslagpatronen mogen niet zomaar in een willekeurige richting en over een willekeurige afstand worden verplaatst. Topografische kenmerken spelen bijvoorbeeld een rol waar het gaat om het bereik van neerslagintensiteiten.

Voor de berekening van de effecten op de afvoer van de Maas en de Rijn worden verschillende verplaatsingsscenario's gebruikt op basis van de modelneerslag uit het KNMI-weermodel Hirlam (High Resolution Limited Area Model; Kallen 1986). Uit het Hirlam model zijn voor de periode van 1 tot 20 augustus 2002 zes-uurs neerslagsommen geëxtraheerd en samengevoegd tot een lange neerslagreeks. Tevens zijn de meerdaagse gebiedsgemiddelden berekend om de schattingen volgens de opschalingsmethode mogelijk te maken.

Er wordt gebruik gemaakt van modelneerslag omdat deze waarschijnlijk de verdeling van de neerslag in ruimte en tijd beter representeert dan de vrij ver uit elkaar liggende en heterogeen verspreide synoptische waarnemingen. In het vervolg van dit hoofdstuk zullen de verplaatsingsscenario's worden toegelicht en onderbouwd middels het beantwoorden van een drietal essentiële vragen.

### 3.2 Werkwijze

Voordat de verplaatsingsscenario's kunnen worden vastgesteld op basis waarvan de effecten van de Elbe-neerslag op de Rijn en Maas zullen worden geschat, moeten drie belangrijke vragen beantwoord worden:

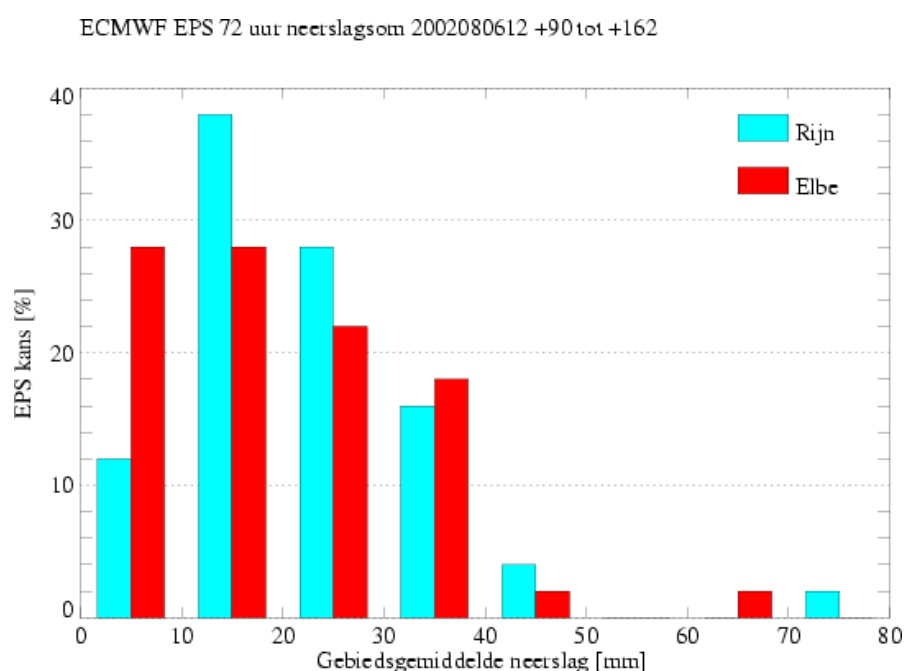
- 1) Is een soortgelijke situatie in het gebied van de Rijn en Maas mogelijk?
- 2) Levert een verplaatsing van de meteorologische situatie evenveel neerslag in de Rijn of Maas als in de Elbe?
- 3) Zijn de gebruikte modelneerslagsommen realistisch?

#### 3.2.1 Is een soortgelijke situatie in het gebied van de Rijn en Maas mogelijk?

De eerste vraag is of de meteorologische situatie zoals die zich in het Elbe-stroomgebied voordeed, ook in het Rijn- en Maasstroomgebied kan optreden. Deze vraag proberen we te beantwoorden door te kijken naar de uitkomsten

van het Ensemble Prediction System (EPS) van het European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Dit systeem produceert per dag 50 verschillende oplossingen van het te verwachten weer op basis van kleine verschillen in de begintoestand. Door naar deze 50 verschillende verwachtingen te kijken kan men een idee krijgen van de voorspelbaarheid van de huidige meteorologische toestand. Omdat de weerpatronen na een aantal dagen redelijk van elkaar kunnen verschillen kan in de 50 oplossingen gezocht worden naar oplossingen met veel neerslag boven het Rijnstroomgebied. Als deze oplossingen in het EPS-systeem terug te vinden zijn in de periode rond de Elbe- neerslagepisode is het in ieder geval in de weersmodellen mogelijk dat er grote neerslaghoeveelheden vallen in weersituaties die sterk lijken op de situatie die in augustus in het Elbe-gebied voor problemen heeft gezorgd.

De EPS-verwachting van 6 augustus 2002 –vier dagen voordat er veel neerslag in het Elbe-gebied valt – leverde een aantal scenario's met hoge neerslag-sommen voor de Rijn (circa 10% van de oplossingen, zie figuur 3.1), en een ongeveer even groot aantal scenario's dat veel neerslag in de Elbe opleverde. Op basis van de EPS-runs is de kans op grote neerslaghoeveelheden (meer dan 30 mm in 72 uur) voor beide stroomgebieden even groot. Voor de Rijn zijn in de EPS-scenario's zelfs grotere maximale neerslagsommen berekend dan voor de Elbe. Dit betekent dat een vergelijkbare meteorologische situatie ook voor veel neerslag in het stroomgebied van de Rijn kan zorgen en dat het verplaatsen van de door Hirlam berekende neerslag van het Elbe-gebied naar het Rijn- of Maasgebied een realistisch scenario is.



Figuur 3.1: Frequentieverdeling van de gebiedsgemiddelde 72-uurs neerslagsommen berekend in het EPS van het ECMWF gebaseerd op de analyse van 06-08-2002 12 UTC en geldig voor de periode 10-08-2002 06 UTC t/m 13-08-2002 06 UTC.



---

### **3.2.2 Levert een verplaatsing van dezelfde meteorologische situatie evenveel neerslag in de Rijn of Maas als in de Elbe?**

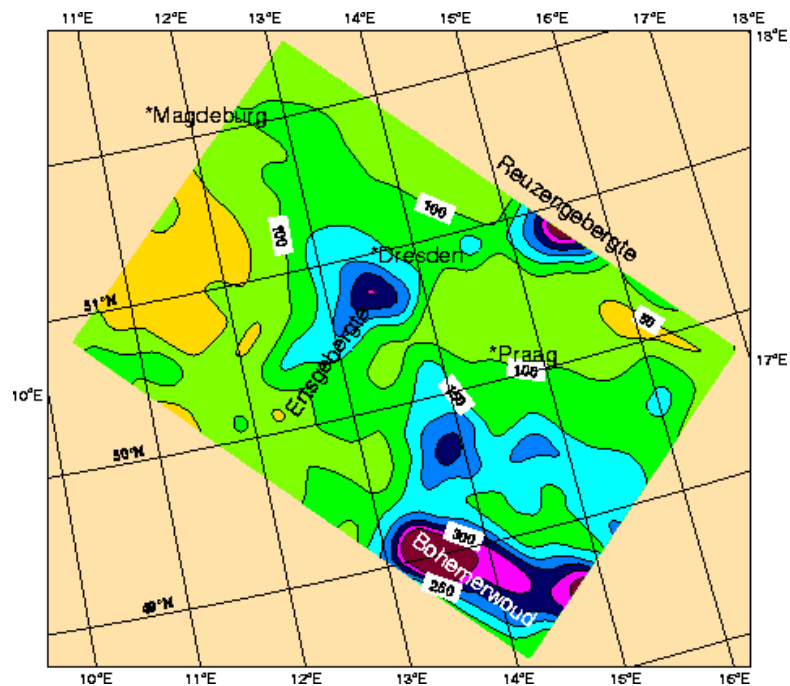
De tweede vraag, of een verplaatsing van de meteorologische situatie van het Elbe-gebied naar Rijn of Maas resulteert in vergelijkbare hoeveelheden neerslag, kan beantwoord worden door de oriëntatie en hoogte van de verschillende gebergteketens te beschouwen in zowel het Elbe-gebied als dat van de Maas en de Rijn. De gebergtes zijn belangrijk omdat deze over een groot gebied de neerslag stimuleren doordat de lucht daar gedwongen wordt op te stijgen. De belangrijkste gebergtes in het Elbe-stroomgebied zijn het Ertsgebergte, het Reuzengebergte en het Bohemerwoud. Deze gebergtes hebben toppen die over het algemeen wat hoger liggen dan die van de heuvels en bergen in het stroomgebied van de Rijn. Dit kan voor een overschatting van de neerslag zorgen bij verplaatsing van de neerslag naar het Rijn- of Maasgebied. Deze overschatting is in eerste orde waarschijnlijk evenredig met het hoogteverschil van de toppen. Dit betekent dat er bij een gelijke meteorologische situatie ongeveer 10% minder neerslag zal vallen in het stroomgebied van de Maas of de Rijn dan in het stroomgebied van de Elbe. Ook de oriëntatie van de gebergtes is anders rond de Elbe dan rond de Rijn. De verplaatsing van de Elbe-neerslag naar het stroomgebied van de Rijn heeft dan ook tot gevolg dat de neerslag niet exact op die plek valt waar die bij dezelfde meteorologische situatie in het Rijngebied in werkelijkheid zou vallen.

Bij de verplaatsing van de neerslag naar het Rijnstroomgebied moet ervoor gewaakt worden dat de neerslag die oorspronkelijk in de Alpen viel niet terecht komt in het Duitse deel van het Rijnstroomgebied. In de scenario's die zijn doorgerekend is de Elbe-neerslag daarom alleen naar het westen en/of zuiden verplaatst.

Bij de verplaatsing van de neerslag naar het Maasbekken is een iets andere methode toegepast. Er is een gemiddelde neerslag rond de meest oostelijke uitlopers van het Ertsgebergte bepaald, waarna dit gemiddelde in het Maasstroomgebied is verspreid. Hierbij is aan de hoogste gebieden meer neerslag toebedeeld dan aan de lagere streken. Op deze manier wordt er rekening gehouden met de invloed van de heuvels op neerslagsommen. Een meer gedetailleerde uitwerking wordt gegeven in hoofdstuk 4.

### **3.2.3 Toetsing van de gebruikte modelneerslagvelden**

De derde vraag, of de gebruikte neerslagsommen realistisch zijn, kan gecheckt worden aan de hand van synoptische waarnemingen. Voor het gebied gedefinieerd als het Elbe-stroomgebied (zie figuur 3.2) is voor de periode 6 augustus 2002 (06 UTC) tot en met 14 augustus 2002 (06 UTC) de gebiedsgemiddelde neerslag uit het Hirlam model vergeleken met de gebiedsgemiddelde neerslag uit de synoptische waarnemingen voor diezelfde periode. Het Hirlam model geeft hiervoor een hoeveelheid van 101 mm terwijl de (gewogen) waarnemingen 124 mm geven. Dit betekent dat Hirlam de neerslag met ongeveer 20% heeft onderschat.



Figuur 3.2: De neerslagsom van 1 t/m 20 augustus uit de neerslagreeks van het KNMI-weermodel Hirlam voor de uitsnede uit het modeldomein die het Elbestroomgebied representeert. De contouren zijn om de 50 mm getrokken. Ter oriëntatie zijn een aantal plaatsen en gebergten weergegeven.

### 3.2.4 Concluderend

Uit de beantwoording van de drie voorgaande vragen kunnen we het volgende concluderen: de gehanteerde verplaatsingsscenario's zijn te rechtvaardigen op basis van de resultaten van het EPS-onderzoek. Doordat het landschap in het stroomgebied van de Rijn en Maas wat vlakker is dan in dat van de Elbe, zal de neerslag van het model wat overdreven zijn bij gebruik in het stroomgebied van de Maas of de Rijn (een overschatting van circa 10%). De vergelijking met de waarnemingen laat zien dat de neerslag in het Elbe-stroomgebied door Hirlam met 20% onderschat wordt. Deze twee factoren samen leiden ertoe dat de verplaatsing van de Hirlamneerslag naar het Rijn- of Maasgebied een onderschatting van de neerslag van ongeveer 10% betekent. In de hierna beschreven methodes om tot een schatting van de piekafvoer van Rijn en Maas te komen, zijn daarom de Hirlam neerslagsommen steeds met 10% opgeschaald, tenzij anders vermeld.

---

### 3.3 Toegepaste verplaatsingsscenario's

Op grond van het voorgaande zullen berekeningen worden gebaseerd op basis van de volgende verplaatsingsscenario's voor de Rijn<sup>1</sup>:

- Rijn-verplaatsingsscenario 1: het neerslagbeeld is 3 graden in westelijke richting verplaatst.
- Rijn-verplaatsingsscenario 2: het neerslagbeeld is 4 graden in westelijke richting verplaatst.
- Rijn-verplaatsingsscenario 3: het neerslagbeeld is 5 graden in westelijke richting verplaatst en 0,5 graden in zuidelijke richting.
- Rijn-verplaatsingsscenario 4: het neerslagbeeld is 6 graden in westelijke richting verplaatst en 1 graad in zuidelijke richting.

Rijn-verplaatsingsscenario 4 brengt vrijwel alle neerslag uit zowel het Ertzgebergte als het Bohemerwoud en het Reuzengebergte naar het stroomgebied van de Rijn. De overige scenario's leveren minder neerslag in het Rijngebied op, en zijn voornamelijk toegevoegd om de gevoeligheid van de uitkomsten voor de positionering van de neerslag in te kunnen schatten.

Voor de Maas is gezien de specifieke ligging van de Ardennen uitgegaan van het volgende scenario:

- Maas-verplaatsingsscenario 1: het neerslagbeeld is 8 graden in westelijke richting verplaatst en 0,5 graden in zuidelijke richting.

De neerslagkern in het Ertzgebergte wordt daarmee verplaatst naar de Belgische Ardennen. De neerslag in het Bohemerwoud komt met deze verplaatsing in het Franse deel van het Maasgebied terecht. Omdat geografische kenmerken hier een belangrijke rol spelen, levert dit een niet erg aannemelijk beeld (onwaarschijnlijk hoge intensiteiten in Frankrijk) op. Voor de Maas is in het Franse deel dan ook met een gematigder neerslagbeeld gerekend dan op grond van een eenvoudige verplaatsing zou worden aangenomen.

In het volgende hoofdstuk zal de hydrologische aanpak worden toegelicht. De daar uiteengezette opschalingsmethode zal worden toegepast voor Rijn-verplaatsingsscenario 4 en Maas-verplaatsingsscenario 1. Waar verder in de tekst scenario's niet nader worden benoemd, wordt ook op deze scenario's gedoeld. Alle hierboven genoemde scenario's zullen worden doorerekend met behulp van hydrologische simulaties.

---

<sup>1</sup> Een verplaatsing van 1 graad in westelijke richting komt in het beschouwde gebied overeen met een verplaatsing over een afstand van ongeveer 70 km. Een verplaatsing van 1 graad in zuidelijke richting komt overeen met een verplaatsing over een afstand van ongeveer 110 km.

---

## 4 Hydrologische aanpak

---

### 4.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn de meteorologische aspecten van de voorgestelde verplaatsingsscenario's toegelicht. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe tot een schatting van de piekafvoer bij deze neerslagsscenario's kan worden gekomen.

Twee wezenlijk verschillende methoden zullen worden toegepast. De eerste is relatief eenvoudig en maakt gebruik van opschaling. Deze aanpak wordt in sectie 4.2.1 toegelicht. De tweede methode is op basis van numerieke simulatie. Voor de Rijn wordt een gekoppeld hydrologisch-hydraulisch model gebruikt, voor de Maas een gebiedsdekkend hydrologisch model. Een beschrijving daarvan volgt respectievelijk in de secties 4.2.2 en 4.2.3.

### 4.2 Werkwijze

#### 4.2.1 De opschalingsmethode

In de opschalingsmethode worden historische gebiedsgemiddelde N-daagse neerslagsommen over het (Duitse deel van het) Rijnstroomgebied en over het (Belgische deel van het) Maasstroomgebied vergeleken met N-daagse neerslagsommen van augustus 2002 over een vergelijkbaar deel van het Elbestroomgebied. Van de historische N-daagse neerslagsommen van het Rijn- of Maasstroomgebied zijn ook de opgetreden afvoeren bekend. In de opschalingsmethode wordt gebruik gemaakt van de (empirische) relatie tussen N-daagse neerslagsommen en opgetreden piekafvoeren. Bij toepassing van de opschalingsmethode wordt verondersteld dat de totale afvoer van de Rijn en de Maas uit twee componenten bestaat. Ten eerste een basisafvoer die vooral van de voorgeschiedenis en de tijd van het jaar afhangt en ten tweede een snelle afvoer die het gevolg is van een zekere N-daagse neerslagsom. Alleen de snelle afvoer wordt geschaald met de verhouding tussen de N-daagse Elbe-neerslagsom en de met die afvoer corresponderende historische N-daagse neerslagsom. Tenslotte wordt de geschaalde snelle afvoer gecombineerd met een realistische basisafvoer van de Rijn en de Maas in augustus 2002. Op deze wijze worden eenvoudige schattingen van de piekafvoeren van de Rijn en de Maas verkregen indien de Elbe-neerslag in augustus 2002 in respectievelijk het (Duitse) Rijnstroomgebied dan wel het (Belgische) Maasstroomgebied zou zijn gevallen.

De maximale historische neerslagsommen voor de Rijn en Maas zijn voor de Rijn bepaald over de periode van 1961 t/m 1995 en zijn een gemiddelde van 25 stations. Deze Rijngegevens zijn geldig voor een gebied ter grootte van 105.000 km<sup>2</sup>. Voor de Maas betreft het de periode 1880 t/m 1995 en zijn de getallen een gemiddelde over een tiental stations. De getallen voor de Maas zijn geldig voor een gebied ter grootte van 11.700 km<sup>2</sup>.

Voor de vergelijking van de modelneerslag met historische gegevens van de Rijn wordt over het deel van het Elbe-bekken dat ten zuidoosten van Magdeburg ligt de gemiddelde neerslag berekend zoals die geproduceerd is door Hirlam (zie figuur 3.2). Voor de Maas wordt het gemiddelde uit Hirlam

---

over een kleiner gebied bepaald dat gecentreerd is rond 13.5 graden OL en 50.8 graden NB, de oostelijke uitlopers van het Eertsgebergte, een gebied met een vergelijkbare hoogte van de heuvels in de Ardennen.

De uitkomsten van de opschalingsmethode kunnen worden vergeleken met de resultaten van de numerieke simulaties voor Rijn-verplaatsingsscenario 4 en Maas-verplaatsingsscenario 1, waarbij de modelneerslag uit Hirlam min of meer volledig terecht komt in respectievelijk het Rijn- en Maasstroomgebied.

#### **4.2.2 Simulatiemodel voor de Rijn**

De analyse voor de Rijn wordt uitgevoerd m.b.v. van het zogenaamde FEWS-Rhine. FEWS staat voor Flood Early Warning System (Marcus et al, 2002). Dit systeem, waarvan de specifieke toepassing voor de Rijn nog in ontwikkeling is (Sprokkereef, 2001) omvat een hydraulisch model voor het grootste deel van de Duitse Rijn tot aan Lobith, op basis van Sobek (Delft Hydraulics, 1997) en neerslag-afvoer modellen op basis van HBV (SMHI, 1996) voor de aangrenzende deelstroomgebieden. Het FEWS zorgt voor de interpolatie van de neerslag- en temperatuurgegevens naar de verschillende stroomgebieden in het hydrologische model en de koppeling met het hydraulische model. Op deze wijze kunnen actuele weersvoorspelling en scenario's worden gebruikt voor het maken van afvoervoorspellingen. Tijdens de simulaties is voor de afvoer bij Basel (een randvoorwaarde in het FEWS-Rhine) gebruik gemaakt van een vergelijkbare historische gebeurtenis. Naast de neerslag die in de bewuste periode 1-20 augustus 2002 valt, is ook de voorgeschiedenis van invloed op de uitkomst van de modelberekeningen: afhankelijk van de voorgeschiedenis kan nog een bepaalde hoeveelheid neerslag worden geborgen. In de modelsimulaties is gebruik gemaakt van de werkelijke voorgeschiedenis tot 1 augustus 2002 om tot de juiste initiële condities te komen.

Opgemerkt wordt dat het operationele voorspelsysteem voor de Rijn (Floriijn) minder geschikt is voor deze scenarioberekeningen, omdat het een kleiner gebied dekt en naast neerslaggegevens gebruik maakt van afvoergegevens, welke in dit geval ontbreken.

Het huidige hydraulische model van de Rijn, zoals het door het FEWS wordt aangestuurd, houdt geen rekening met overstromingen. Als gevolg hiervan kan de afvoer bij extreme waterstanden (hoger dan de dijken ter plaatse) mogelijk overschat worden.

#### **4.2.3 Simulatiemodel voor de Maas**

Het gebruikte simulatiemodel voor de Maas omvat 15 neerslag-afvoer modellen op basis van HBV (SMHI, 1996) voor deelstroomgebieden van de Maas bovenstrooms van Borgharen. De toepassing voor het Maasgebied is ontwikkeld in het kader van een promotieonderzoek "Appropriate modelling of climate change impacts on river flooding" aan de Universiteit Twente (Booij, 2002). Het model werkt op dagbasis, waardoor de gesimuleerde piekafvoeren enigszins kunnen worden onderschat.

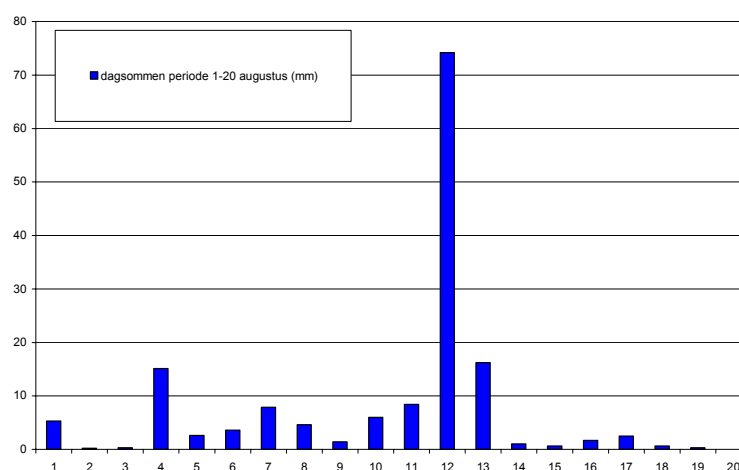
Gezien de werking van het model is een vertaalslag nodig van de Hirlam neerslagvelden naar gemiddelde dagwaarden voor de 15 deelstroomgebieden. Deze vertaalslag is handmatig uitgevoerd. Daartoe is het neerslagbeeld over het Maasgebied gelegd en is met behulp van de begrenzingen van de deelgebieden geschat in welke verhouding de neerslag moet worden toebedeeld aan welk deelgebied. In de tijd is de verdeling van de neerslag

voor elk deelgebied gelijk verondersteld aan de gemiddelde temporele verdeling over het gehele stroomgebied.

Op basis van het ruimtelijke neerslagbeeld (neerslagsommen van 1-20 augustus op basis van Hirlam) en de begrenzing van de deelgebieden is de verhoudingsgewijze toebedeling per deelstroomgebied volgens tabel 4.1 ingeschat. Zoals in sectie 3.3 reeds is opgemerkt, wordt in het Franse deel van het Maasbekken niet de neerslag uit de Bohemen overgenomen, maar een lagere waarde gehanteerd (75 mm).

Deelstroomgebied	Geschatte sommen over 20 dagen (mm)
Meuse Lorraine (Zuid)	75
Meuse Lorraine (Noord)	75
Chiers	125
Bar de Vence	125
Semois	125
Viroin	125
Meuse Midi	150
Lesse	225
Sambre	75
Ourthe	225
Ambleve	150
Vesdre	125
Mehaigne	125
Meuse Nord	150
Jeker	125

Tabel 4.1: Verhoudingsgewijze toebedeling per deelstroomgebied volgens het ruimtelijke beeld van de Elbe-neerslag uit Hirlam over de periode 1-20 augustus.



Figuur 4.1: Verdeling van de neerslag over de periode 1-20 augustus. De waarden betreffen dagsommen uit Hirlam op basis van een uitsnede van het Elbe-gebied ter grootte van het Belgische deel van het Maasbekken.

---

Op basis van de dagsommen volgens de modelneerslag uit Hirlam (voor een uitsnede van het Elbe-gebied ter grootte van het Belgische deel van het Maasbekken) is bepaald hoe de neerslag moet worden verdeeld in de tijd. Figuur 4.1 geeft deze verdeling. De neerslag per deelgebied per dag is tenslotte zodanig toegewezen, dat de totale hoeveelheid overeenkomt met de Hirlam data.

Wat betreft de initiële condities ontbrak het voor de Maas aan gegevens om het model tot aan het bewuste begintijdstip 1 augustus 2002 te laten inspelen. Er wordt daarom met een vergelijkbare historische beginconditie gerekend, en daarnaast met enkele andere begincondities, zodat ook de gevoeligheid van de uitkomsten voor de voorgeschiedenis kan worden bepaald.

# 5 Resultaten van de verplaatsingsscenario's

## 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verplaatsingsscenario's gepresenteerd. De resultaten met de opschalingsmethode hebben voor de Rijn betrekking op verplaatsingsscenario 4 en voor de Maas op (het enige) verplaatsingsscenario 1. Met behulp van de simulatiemodellen zijn alle in paragraaf 3.3 beschreven verplaatsingsscenario's doorberekend.

## 5.2 Resultaten voor de Rijn

### 5.2.1 Resultaten opschalingsmethode

Tabel 5.1 toont de historische N-daagse neerslagsommen in het stroomgebied van de Rijn voor het *zomerhalfjaar* samen met de neerslagsommen van augustus 2002 (Hirnam opgeschaald met 10%) gemiddeld over het Elbestroomgebied (conform figuur 3.2). Tevens zijn voor de 7- en 10-daagse neerslagsommen de bijbehorende piekafvoeren bij Lobith en de basisafvoeren voorafgaand aan de periode met extreme neerslag gegeven. De tabel laat zien dat het verschil tussen de Elbe-neerslag van augustus 2002 en de grootste 5-daagse historische som in het Rijngebied ongeveer 16% is. Voor de 7- en 10-daagse sommen is dat ongeveer 35%. In het algemeen leiden grote 7-daagse sommen in de zomer niet snel tot extreme afvoeren bij Lobith. De reden hiervoor is o.a. een grotere verdamping in de zomer dan in de winter en een grotere bergingscapaciteit van de bodem omdat deze (nog) niet verzadigd is. In de situatie van augustus 2002 was de bergingscapaciteit van de bodem echter al wel verminderd doordat de grootste neerslagpiek (rond 12 augustus) vooraf werd gegaan door een kleinere neerslagpiek.

Rijn	1 <sup>ste</sup>	2 <sup>de</sup>	3 <sup>de</sup>	4 <sup>de</sup>	5 <sup>de</sup>	Elbe 2002
5-daagse neerslagsom						
neerslag maand	68,2 mei 1983	64,2 jun 1961	63,0 sep 1984	60,3 aug 1981	59,3 sep 1986	79,4
7-daagse neerslagsom						
neerslag maand	78,0 sep 1984	75,0 jun 1961	74,5 mei 1983	65,4 jul 1980	64,9 sep 1986	105,2
piekafvoer	3.185	4.479	9.779	4.667	2.558	
basisafvoer	1.300	2.100	3.100	2.000	1.300	
10-daagse neerslagsom						
neerslag maand	90,8 jun 1961	87,2 jun 1984	83,5 mei 1983	79,2 jul 1980	79,2 aug 1969	124,5
piekafvoer	4.479	5.378	9.779	4.667	3.940	
basisafvoer	2.100	1.800	3.100	2.000	1.400	

Tabel 5.1: Maximale N-daagse neerslagsommen in het zomerhalfjaar voor het Duitse deel van het Rijnstroomgebied (105.000 km<sup>2</sup>) voor de periode 1961-1995 (gemiddelde over 25 stations) plus de maand van optreden en de piek- en



basisafvoer rond de neerslagperiode. In de laatste kolom staat het (opgeschaalde) Hirlamgemiddelde voor augustus 2002.

In het *winterhalfjaar* (tabel 5.2) leiden grote 7- en 10-daagse sommen veel sneller tot extreme afvoeren, zeker aan het eind van de winter wanneer de bodem vrijwel volledig verzadigd is (of nog sneller, wanneer aan het eind van een vorstperiode de grond nog bevroren is en daarop ook nog eens smeltende sneeuw ligt). Vergeleken met december 1993 en januari 1995 zijn de augustus 2002 neerslagsommen voor de Elbe ongeveer 20% groter. Het is niet zonder meer duidelijk of de extra verdamping en de grotere bergingscapaciteit van de bodem in augustus 2002 ten opzichte van december 1993 en januari 1995 de 20% groter neerslag wel of niet kunnen compenseren. De hoogwaters van 1993 en 1995 zijn daarom geen geschikte situaties om de hypothetische Rijnafvoer voor augustus 2002 mee op te schalen.

Toch laat Tabel 5.1 ook zien dat ook in de zomer de afvoer als gevolg van hevige regenval sterk kan toenemen. In mei 1983 nam de afvoer toe van 3.100 tot bijna 10.000 m<sup>3</sup>/s bij een 10-daagse gebiedsgemiddelde neerslag van 83,5 mm. In dat jaar was de basisafvoer (3.100 m<sup>3</sup>/s) weliswaar veel hoger dan in de andere gevallen (maximaal 2.100 m<sup>3</sup>/s) maar ook de afvoertoe name van 6.680 m<sup>3</sup>/s was het grootst. Wanneer we die afvoertoe name van 6.680 m<sup>3</sup>/s bij een 10-daagse som van 83,5 mm opschalen naar de augustus 2002 situatie (met een 10-daagse som van 124,5 mm) dan krijgen we een afvoertoe name van 9.960 m<sup>3</sup>/s en een piekafvoer van 9.960 + 3.100 = 13.060 m<sup>3</sup>/s. Combineren we de geschaalde afvoertoe name met een meer gemiddelde basisafvoer van 1.900 m<sup>3</sup>/s, overeenkomend met de situatie in augustus 2002, dan komen we uit op een piekafvoer van 11.860 m<sup>3</sup>/s. Deze waarde vormt een eerste schatting van de afvoer bij Lobith voor het verplaatsingsscenario 4.

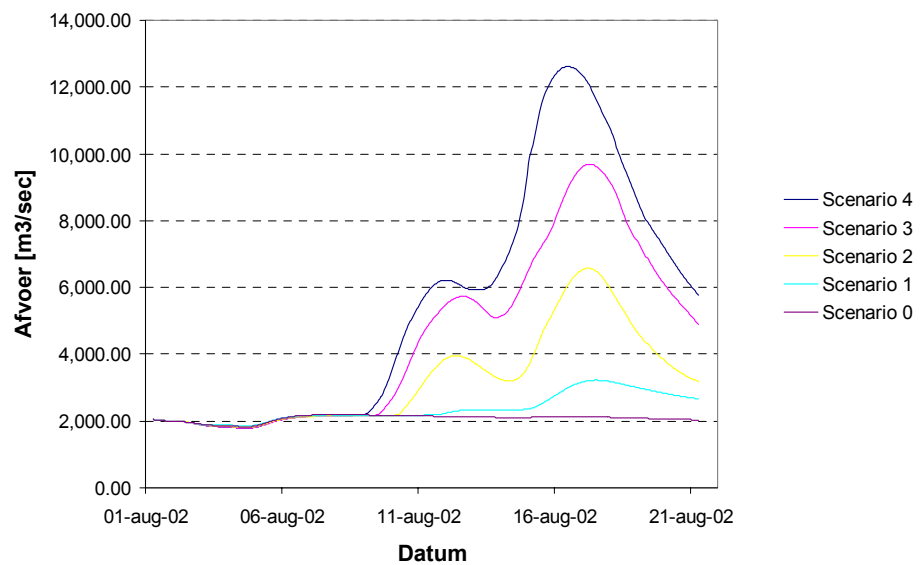
Rijn	1 <sup>ste</sup>	2 <sup>de</sup>	3 <sup>de</sup>	4 <sup>de</sup>	5 <sup>de</sup>	Elbe 2002
5-daagse neerslagsom						
neerslag maand	79,5 okt 1986	76,0 dec 1993	66,0 nov 1961	63,4 okt 1982	63,1 jan 1995	79,4
7-daagse neerslagsom						
neerslag maand	87,6 dec 1993	85,5 okt 1986	82,7 jan 1995	77,9 okt 1982	71,1 nov 1964	105,2
piekafvoer	11.000	4.063	12.060	4.168	3.068	
basisafvoer	1.200	1.000	2.400	1.400	1.000	
10-daagse neerslagsom						
neerslag maand	105,9 okt 1982	105,7 dec 1993	101,6 jan 1995	96,2 dec 1989	91,9 dec 1979	124,5
piekafvoer	4.168	11.000	12.060	4.390	5.709	
basisafvoer	1.400	1.200	2.400	900	1.700	

Tabel 5.2: Maximale N-daagse neerslagsommen in het zomerhalfjaar voor het Duitse deel van het Rijnstroomgebied (105.000 km<sup>2</sup>) voor de periode 1961-1995 (gemiddelde over 25 stations) plus de maand van optreden en de piek- en basisafvoer rond de neerslagperiode. In de laatste kolom staat het (opgeschaalde) Hirlamgemiddelde voor augustus 2002.

### 5.2.2 Resultaten simulatiemodel

De met FEWS-Rhine gemodelleerde afvoer bij Lobith op basis van de opgeschaalde Hirlam neerslagvelden is weergegeven in figuur 5.1.

In de grafiek zijn de resultaten van de vier verschillende verplaatsingsscenario's weergegeven samen met de werkelijk opgetreden weersituatie (scenario 0).



Figuur 5.1: Afvoerverloop bij Lobith voor de vier doorgerekende verplaatsingsscenario's (zie paragraaf 3.3) en de werkelijk opgetreden situatie (scenario 0), zonder rekening te houden met fysische maxima.

De verplaatsing volgens scenario 1 laat slechts een kleine verhoging van de afvoer bij Lobith (tot 3.200 m<sup>3</sup>/s) zien. De afvoer bij scenario 2 is al flink groter met 6.600 m<sup>3</sup>/s. Er valt bij deze verplaatsingen veel neerslag in het zuidelijke en oostelijke deel van het stroomgebied. Een groot deel van de neerslag valt echter in het Donaugebied, waardoor de verplaatsingen geen hoogwater genereren volgens de geldende definitie (zie hiervoor bijlage B). De bijdragen van de Main en de Moezel zijn voor deze beide scenario's relatief gering.

Scenario 3 leidt bij Lobith tot een maximale afvoer van ruim 9.700 m<sup>3</sup>/s, voor scenario 4 is dat ongeveer 12.600 m<sup>3</sup>/s. Deze uitkomsten worden echter vanwege modelbeperkingen niet zonder meer aannemelijk geacht. De gehanteerde verplaatsingsscenario's hebben tot gevolg dat een groot deel van de afvoer wordt gegenereerd in een beperkt (zuidelijk) gedeelte van het Rijngebied. De werkelijk opgetreden afvoeren zouden waarschijnlijk lager zijn geweest vanwege het feit dat de afvoercapaciteit van het systeem op verschillende plaatsen bovenstrooms wordt overschreden. Hoewel het huidige instrumentarium hier geen rekening mee houdt, en de effecten moeilijk zijn te kwantificeren, moet hiervoor de piekafvoer bij scenario 3 naar schatting met

circa 2.000 m<sup>3</sup>/s worden bijgesteld, voor scenario 4 met ongeveer 1.000 m<sup>3</sup>/s. Dit is nadrukkelijk een ruwe schatting, gebaseerd op het fysisch maximum van de Oberrhein bij Worms.

Resumerend zijn daarmee de schattingen voor de piekafvoeren bij Lobith bij de verplaatsingsscenario's als volgt:

- Scenario 1 leidt naar verwachting tot een piekafvoer van 3.200 m<sup>3</sup>/s.
- Scenario 2 leidt naar verwachting tot een piekafvoer van 6.600 m<sup>3</sup>/s.
- Scenario 3 levert een berekend resultaat van 9.700 m<sup>3</sup>/s, maar zal, rekening houdend met het fysisch maximum bij Worms, resulteren in een piekafvoer van ongeveer 7.700 m<sup>3</sup>/s.
- Scenario 4 levert een berekend resultaat van 12.600 m<sup>3</sup>/s, maar zal, rekening houdend met het fysisch maximum bij Worms, resulteren in een piekafvoer van ongeveer 11.600 m<sup>3</sup>/s.

Verkennde berekeningen hebben voorts aangetoond dat het resultaat gevoelig is voor de voorgeschiedenis. De resulterende piekafvoer kan naar schatting orde 2.000 m<sup>3</sup>/s lager of hoger uitkomen, indien respectievelijk met een drogere of een nattere voorgeschiedenis wordt gerekend.

### 5.3 Resultaten voor de Maas

#### 5.3.1 Resultaten opschalingsmethode

De Maasafvoer kan op dezelfde manier opgeschaald worden zoals dat is gedaan met de Rijnaafvoer. Hiertoe dient eerst weer een geschikte historische situatie te worden uitgezocht die voor het opschalen gebruikt kan worden.

Maas	1 <sup>ste</sup>	2 <sup>de</sup>	3 <sup>de</sup>	4 <sup>de</sup>	5 <sup>de</sup>	Elbe 2002
2-daagse neerslagsom						
neerslag	66,3	65,1	62,1	59,4	53,1	99,4
maand	aug 1945	jul 1980	jun 1966	aug 1952	sep 1881	
piekafvoer	160	2.200	612	393	-	
basisafvoer	14	500	90	40	-	
3-daagse neerslagsom						
neerslag	78,9	67,4	67,2	66,9	64,8	108,8
maand	jul 1980	apr 1947	aug 1952	aug 1945	jun 1966	
piekafvoer	2.200	1.495	393	160	612	
basisafvoer	500	340	40	14	90	
5-daagse neerslagsom						
neerslag	83,7	82,3	80,7	74,5	74,2	116,8
maand	apr 1947	aug 1952	jul 1980	aug 1992	jul 1942	
piekafvoer	1.495	393	2.200	348	461	
basisafvoer	340	40	500	80	20	
7-daagse neerslagsom						
neerslag	102,7	101,8	90,2	89,3	89,3	130,6
maand	jul 1948	jul 1930	aug 1952	jul 1980	jul 1942	
piekafvoer	785	691	393	2.200	461	
basisafvoer	130	50	40	500	20	

Tabel 5.3: Maximale N-daagse neerslagsommen in het zomerhalfjaar voor het Ardennendeel van het Maasstroomgebied (12.000 km<sup>2</sup>) voor de periode 1880-1995

(gemiddelde over een tiental stations) plus de maand van optreden en de piek- en basisafvoer rond de neerslagperiode. In de laatste kolom staat het (opgeschaalde) Hirlamgemiddelde voor augustus 2002.

De tabellen 5.3 en 5.4 geven een overzicht van de 5 hoogste historische N-daagse neerslagsommen in het Belgische deel van de Maas voor respectievelijk het *zomerhalfjaar* en het *winterhalfjaar* (uit: Demarée e.a., 1994). In de laatste kolom zijn nu de N-daagse neerslagsommen van augustus 2002 voor het Maasgebied gegeven. Tevens zijn voor Borgharen de bijbehorende afvoerpieken en de basisafvoeren die aan de pieken voorafgingen gegeven. Omdat de Maas veel sneller reageert dan de Rijn concentreren we ons nu op de 2-, 3-, 5- en 7-daagse neerslagsommen.

De 7-daagse neerslagsom in augustus 2002 is ongeveer even groot als de grootste historische 7-daagse som van januari 1995. Het stroomgebied van de Maas was toen echter veel natter dan in augustus 2002, waardoor niet te verwachten valt dat de piekafvoer bij Borgharen even groot zou zijn geworden als in januari 1995. Vergelijken we vervolgens de 2- en 3-daagse Elbe-neerslagsommen van augustus 2002 met de historische sommen voor de Maas in het winter- en zomerhalfjaar, dan valt op dat de neerslagsommen van augustus vooral aanzienlijk groter zijn dan de hoogste historische sommen in het zomerhalfjaar. De 2-daagse neerslagsom is 50% groter dan de hoogste 2-daagse zomersom van augustus 1945 en de 3-daagse neerslagsom is 38% groter dan de hoogste 3-daagse zomersom van juli 1980.

Maas	1 <sup>ste</sup>	2 <sup>de</sup>	3 <sup>de</sup>	4 <sup>de</sup>	5 <sup>de</sup>	Elbe 2002
2-daagse neerslagsom						
neerslag	80,6	69,6	67,6	66,9	63,3	99,4
maand	nov 1940	okt 1929	dec 1947	nov 1924	dec 1993	
piekafvoer	1.360	194	1.386	1.892	3.047	
basisafvoer	100	40	200	700	100	
3-daagse neerslagsom						
neerslag	91,6	86,5	77,5	77,2	76,4	108,8
maand	okt 1929	nov 1940	nov 1983	nov 1924	dec 1993	
piekafvoer	194	1.360	425	1.892	3.047	
basisafvoer	40	100	40	700	100	
5-daagse neerslagsom						
neerslag	107,9	105,1	102,2	98,0	97,7	116,8
maand	okt 1929	dec 1925	dec 1993	jan 1920	nov 1964	
piekafvoer	194	3.000	3.047	2.086	1.169	
basisafvoer	40	800	100	500	20	
7-daagse neerslagsom						
neerslag	127,1	122,0	120,7	120,6	118,0	130,6
maand	jan 1995	dec 1993	dec 1947	dec 1925	okt 1929	
piekafvoer	2.814	3.047	1.386	3.000	194	
basisafvoer	600	100	200	800	40	

Tabel 5.4: Maximale N-daagse neerslagsommen in het winterhalfjaar voor het Ardennendeel van het Maasstroomgebied (12.000 km<sup>2</sup>) voor de periode 1880-1995 (gemiddelde over een tiental stations) plus de maand van optreden en de piek- en basisafvoer rond de neerslagperiode. In de laatste kolom staat het (opgeschaalde) Hirlamgemiddelde voor augustus 2002.

---

De afvoertoename bij Borgharen ten gevolge van de extreme juli 1980 neerslag bedroeg  $1.700 \text{ m}^3/\text{s}$  en de piekafvoer was  $2.200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bij een meer gedetailleerde vergelijking van de extreme juli 1980 neerslag met de augustus 2002 neerslag blijkt het verschil voor de 2-, 3-, 5- en 7-daagse sommen ongeveer even groot te zijn, met een gemiddeld verschil van +45%. Dit betekent dat van de augustus 2002 neerslag en de juli 1980 neerslag de ontwikkeling van de 2- tot 7-daagse neerslagsommen vergelijkbaar is, wat de situatie van juli 1980 geschikt voor opschaling maakt. Ook bij de Maas wordt alleen het verschil tussen piek- en basisafvoer opgeschaald. De opschaling resulteert dan in een afvoertoename van  $1,45 \times 1.700 \approx 2.470 \text{ m}^3/\text{s}$ . Als we uitgaan van een relatief natte voorgeschiedenis zoals in 1980, met een basisafvoer van circa  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan komen we in totaal op een piekafvoer van  $2.970 \text{ m}^3/\text{s}$ . Gaan we echter uit van een meer gemiddelde voorgeschiedenis met, zoals in augustus 2002, een basisafvoer van orde  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , dan vinden we een piekafvoer van  $2.670 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 5.3.2 Resultaten simulatiemodel

Omdat de actuele voorgeschiedenis per 1 augustus 2002 niet voorhanden was, moest deze worden geschat middels een historische, vergelijkbare periode.

De maand juli 2002 was in het gebied van de Maas relatief nat. De streek-gemiddelden van de neerslag waren bijna allen hoger dan de normalen. Ze varieerden van 82% van de normale hoeveelheid tussen Sambre en Maas tot 151% in Belgisch Lotharingen. De hoogste dagwaarden varieerden van 10 tot 116 mm. Enkele waarden van meer dan 40 mm in 24 uur werden waargenomen op 20 en 30 juli. De tweede helft van de maand juni 1980 was eveneens erg nat.

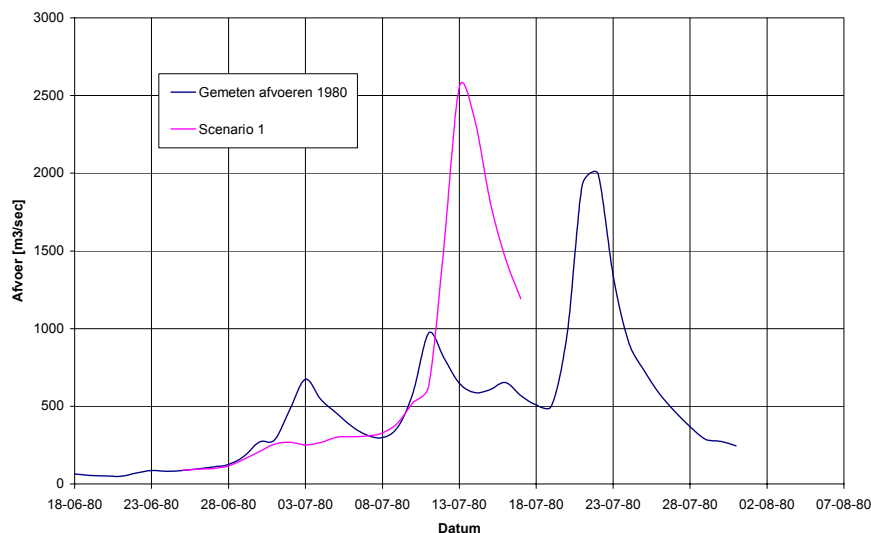
Een verdere vergelijking kan worden gemaakt op basis van het afvoerverloop. De afvoer bij Borgharen bedroeg op 1 juli 1980  $285 \text{ m}^3/\text{s}$  en steeg in korte tijd daarna naar waarden in de orde van  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ . De afvoer bij Borgharen op 1 augustus 2002 bedroeg circa  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  en steeg korte tijd daarna naar maximaal  $300 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Op basis van deze informatie wordt geconcludeerd dat de voorgeschiedenis in 1980 in vergelijking met 2002 wat ongunstiger is geweest. Voor de simulatie is echter toch 1 juli 1980 als aanvangsdatum gebruikt, omdat de exacte voorgeschiedenis niet beschikbaar was. Ook de opschaling met 10% van de neerslag uit Hirlam kon niet meer worden verdisconteerd. Het netto effect van de onderschatting van de gebruikte neerslag in combinatie met de relatief ongunstige voorgeschiedenis wordt hierna verwaarloosd. De neerslagsommen zijn conform de aanpak zoals beschreven in sectie 4.2.3 aan het model opgelegd.

Figuur 5.2 toont het resultaat van de simulatie. De maximale afvoer te Borgharen, met als startdatum 1 juli 1980 en een onderschatting van de neerslagsommen met ongeveer 10%, bedraagt  $2.550 \text{ m}^3/\text{s}$ .

De modelresultaten voor de Maas blijken gevoelig voor de voorgeschiedenis. Wanneer een droge voorgeschiedenis dient als uitgangspunt, met bijvoorbeeld 1 augustus 1996 als begindatum van de simulatie, dan is de resulterende piekafvoer volgens het hydrologisch model nog geen  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Wanneer een natte voorgeschiedenis als uitgangspunt dient, met bijvoorbeeld 17 januari 1995 als begindatum van de simulatie, dan resulteert de

Elbe-neerslag volgens het hydrologisch model in een piekafvoer van ongeveer 3.700 m<sup>3</sup>/s. In hoeverre deze enorme spreiding ten gevolge van de voorgeschiedenis werkelijk zou optreden, en in welke mate deze het gevolg is van modelbeperkingen, kon niet binnen het bestek van deze verkenning worden onderzocht.



Figuur 5.2: Afvoerloop bij Borgharen voor het Maas-verplaatsingsscenario 1 (zie paragraaf 3.3) en dagwaarden gedurende de maand juli 1980.

De gevoeligheid van het resultaat voor de verdampingswaarden gedurende de neerslagperiode zelf is relatief gering. De gemiddelde verdamping ligt in de zomer op circa 3 mm per dag. Op droge dagen bedraagt de verdamping bijna 4 mm, op zeer natte dagen altijd nog ruim 2 mm. Een reductie van de verdampingswaarden tot 50% van de geschatte waarden voor een warme, droge zomerperiode, leverde een toename van ongeveer 100 m<sup>3</sup>/s voor de resulterende maximale afvoer bij Borgharen.

Aan de hand van figuur 5.2 kan ook worden ingezien dat een dagmodel (d.w.z., gebruik makend van tijdstappen van een dag) het regime van de Maas geen recht doet. De maximale dagwaarde in juli 1980 is volgens de figuur ongeveer 2.000 m<sup>3</sup>/s. De werkelijke piekafvoer wordt echter geschat op 2.200 m<sup>3</sup>/s en is dus orde 10% groter. Deze onderschatting kan ook van toepassing zijn op de uitkomsten van het verplaatsingsscenario, en kan zelfs nog sterker uitpakken vanwege subtiele timingverschillen tussen de afvoerpieken op de Maas en de zijrivieren.

#### 5.4 Eindschattingen

De opschalingsmethode en de hydrologische simulatie leveren voor de Rijn vrijwel hetzelfde resultaat op bij toepassing van verplaatsingsscenario 4 voor de Elbe-neerslag, mits bij de laatste methode wordt gecorrigeerd voor fysische maxima. De berekende piekafvoeren zijn respectievelijk 11.860 en 11.600 m<sup>3</sup>/s. De onzekerheid in de schattingen is groter dan de goede overeenkomst tussen deze getallen suggereert, doch moeilijk kwantificeerbaar. Als eindschatting van de piekafvoer kan de waarde van **11.600 m<sup>3</sup>/s** gehanteerd worden.

---

Voor de Maas levert de hydrologische simulatie een waarde op van 2.550 m<sup>3</sup>/s. De opschalingsmethode geeft 2.670 m<sup>3</sup>/s. Als eindschatting voor de piekafvoer bij het verplaatsingsscenario kan een afgeronde waarde van **2.600 m<sup>3</sup>/s** gehanteerd worden.

Indien het verplaatsingsscenario van de Rijn zich had voltrokken, dan zou de piekafvoer een derde plaats hebben opgeleverd in de historisch rij van hoge Rijnafoeren in de periode van 1901-2001 voor Lobith: de volgorde was dan 1926-1995-2002-1920-1993.

Indien het verplaatsingsscenario van de Maas zich had voltrokken, dan zou de piekafvoer een vierde plaats hebben opgeleverd in de historische rij van hoge Maasafvoeren in de periode van 1911-2001 voor Borgharen: de volgorde was dan 1993-1926-1995-2002-1984.

De hydrologische simulatie van de Maasafvoer kent beduidend grotere onzekerheden dan die van de Rijnafoer, met name door de gevoeligheid voor de voorgeschiedenis en in het bijzonder vanwege het feit dat de werkelijke voorgeschiedenis niet in detail voorhanden was.

Tot slot wordt opgemerkt dat de geschatte afvoeren gedurende de zomer tot hogere waterstanden dan 's winters het geval is, vanwege veranderingen in het rivierbed. Begroeiing leidt tot een grotere stromingsweerstand en uiterwaarden worden intensiever gebruikt. Het effect hiervan is in dit kader niet onderzocht.

---

## 6 Conclusies en aanbevelingen

---

Een verplaatsingsscenario is toegepast op de neerslag in de Elbe van 1 tot 20 augustus 2002 naar het Rijnstroomgebied en het Maasstroomgebied. Uit het onderzoek blijkt dat de persistente meteorologische situatie die in Midden-Europa is opgetreden, zich ook westelijker had kunnen voordoen. Verplaatsing naar Rijn en Maas leidt echter –gezien het vlakkere landschap – tot orde 10% minder neerslag dan in het stroomgebied van de Elbe is gevallen. Het onderzoek heeft hier rekening mee gehouden.

De hoeveelheid neerslag die bij verplaatsing van de meteorologische situatie naar het Rijn- of Maasstroomgebied was opgetreden, is orde 20% groter dan zich in 1993 in het Maasstroomgebied en in 1995 in het Rijnstroomgebied heeft voorgedaan. Voor de Rijn gaat het om 125 mm in het verplaatsingsscenario tegen 102 mm in 1995 (10-daagse neerslagsom). Voor de Maas gaat het om 117 mm in het verplaatsingsscenario tegen 102 mm in 1993 (5-daagse neerslagsom).

Verplaatsing van de neerslag naar de Rijn en de Maas leidt tot een –voor een zomerse situatie– ongekend hoogwater, zowel voor Rijn als de Maas. De eindschattingen voor de piekafvoeren bedragen 11.600 m<sup>3</sup>/s voor de Rijnafoer bij Lobith en 2.600 m<sup>3</sup>/s voor de Maasafvoer bij Borgharen.

Wat betreft de Rijn is deze afvoer iets lager dan die zich in de winter van 1995 heeft voorgedaan, maar ruim boven die van de winter van 1993. De Maasafvoer is lager dan zowel die van de winters van 1993 als die van 1995, maar beduidend hoger dan tijdens het zomerhoogwater van 1980. Dat de uitkomsten minder extreem zijn dan op grond van de neerslag zou mogen worden verwacht, heeft vooral te maken met de relatief gunstige hydrologische en meteorologische voorgeschiedenis, inherent aan de zomer. Ook het feit dat de neerslag zich bovenstrooms plaatselijk vrij geconcentreerd manifesteert, verzacht de effecten voor Nederland enigszins. Niet alle deelstroomgebieden voeren daardoor even extreme hoeveelheden water aan.

De berekende afvoeren zouden in alle gevallen ruim beneden de maatgevende 1/1250-jaar afvoeren zijn gebleven, die thans is vastgesteld op 16.000 m<sup>3</sup>/s voor de Rijn en op 3.800 m<sup>3</sup>/s voor de Maas.

De resultaten zijn verkregen volgens twee methoden, namelijk een opschalingsmethode op grond van verleden hoge standen en waargenomen gebiedsneerslag, en een hydrologische simulatie met behulp van een numeriek model. Deze methoden geven resultaten die onderling goed overeenstemmen. Het onderzoek kent echter, gezien het grote aantal aannamen, zijn beperkingen. Als belangrijkste worden genoemd:

- De hydrologische en meteorologische voorgeschiedenis (de periode tot 1 augustus 2002) heeft beduidend invloed op de uitkomsten. Voor de Rijn is de in het Rijnstroomgebied opgetreden situatie aangenomen; voor de Maas is de voorgeschiedenis in het Maasstroomgebied bij gebrek aan gegevens zo goed mogelijk ingeschat.



- 
- Overstromingen stroomopwaarts in het Rijngebied zijn bij het verplaatsingsscenario zeer waarschijnlijk en leiden in dat geval tot een afvlakking van de hoogwatergolf c.q. lagere piekafvoer bij Lobith. De huidige modellen houden hier geen rekening mee, maar in de eindschatting voor de Rijn is hiervoor wel gecorrigeerd (van 12.600 naar 11.600 m<sup>3</sup>/s, op basis van het fysisch maximum bij Worms). Dit is een geschat effect, dat in werkelijkheid ook kleiner of groter kan zijn.
  - Het gebruikte model voor de Maas werkt op dagbasis. Een nauwkeurige simulatie van de hoogwatergolf vraagt een fijnere resolutie (kleinere tijdstappen). Onder meer het al dan niet samenvallen van afvoerpieken van de Maas en zijrivieren wordt met het huidige model slecht gesimuleerd, terwijl het aanzienlijk invloed kan hebben op de piekafvoer bij Borgharen.
  - Tijdens een zomersituatie leiden de geschatte afvoeren tot hogere waterstanden dan 's winters het geval is, vanwege veranderingen in het rivierbed. Het effect hiervan is in dit kader niet onderzocht.

Tenslotte verdient het aanbeveling het instrumentarium voor het bestuderen van hoog- en laagwaters te moderniseren. Dit houdt in:

- Het ontwikkelen van een real time voorspelsysteem van afvoer op basis van meetgegevens, meteorologische waarnemingen en numerieke weersmodellen en hydrologische en hydraulische modellen, dat continu draait en ook in staat is om situaties achteraf te analyseren en verschuivingsgevallen door te rekenen.
- Het implementeren van een gekoppelde versie van de stochastische weergenerator en hydrologische modellen ter aanscherping van de waarden van de maatgevende afvoer, alsmede bepaling van effecten van klimaatverandering en veranderingen in het Rijngebied en het Maasgebied.

Deze activiteiten kunnen via een nauwe samenwerking tussen de bij dit onderzoek betrokken partijen gestalte krijgen.

---

## Referenties

---

J.J. Beersma, B.J.J.M. van den Hurk, G.P. Können. Weer en water in de 21<sup>e</sup> eeuw: een samenvatting van het derde IPCC klimaatrapport voor het Nederlandse waterbeheer. KNMI (2001).

M.J. Booij (2002). Appropriate modelling of climate change impacts on river flooding. Proefschrift Universiteit Twente, Enschede.

R. Buizza, M. Miller and T.N. Palmer (1999). Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF Ensemble Prediction System. In Q.J.R. Meteorol. Soc. Nr. 125. pp. 2887-2908.

Delft Hydraulics and the Ministry of Transport, Public Works and Water Management (1997). SOBEK, Technical Reference Manual.

G.R. Demarée, S. Derasse en D. Gellens (1994). Hoogwaterstanden en wateroverlast van de Belgische Maas te Visé. Rapport in drie delen. KMI Brussel, België.

ECMWF (1999). The description of the evolution of the ECMWF forecasting system and corresponding archive.

J.T. Houghton et al. Climate Change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC). Cambridge (2001).

E. Kallen (ed.) (1986). HIRLAM Documentation manual System 2.5. Technical Report, Swedish Meteorological and Hydrological Institute.

A. Klein Tank, J. Wijngaard en A. van Engelen (2002). Climate of Europe, Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes. KNMI, De Bilt.

G.P. Können et al. De toestand van het klimaat in Nederland 1999. KNMI rapport (1999).

G.P. Können, W. Fransen, R. Mureau. Meteorologie ten behoeve van de Vierde Nota Waterhuishouding. Projectteam vierde nota Waterhuishouding, Rijkswaterstaat (1997).

A.G. Kors, F.A.M. Claessen, J.W. Wesseling, G.P. Können, Scenario's externe krachten voor WB21, Commissie Waterbeheer 21e eeuw. RIZA (2000).

W. van de Langemheen en H.J. Berger. Hydraulische randvoorwaarden 2001: maatgevende afvoeren Rijn en Maas. RIZA rapport 2002.014.

A. Markus et al (2002). Technical Design FEWS-Rhine, WL|Delft Hydraulics. Report nr. R3392.20

H. Middelkoop (red.) (1998). Twee rivieren. Rijn en Maas in Nederland. RIZA-rapport 98.041.

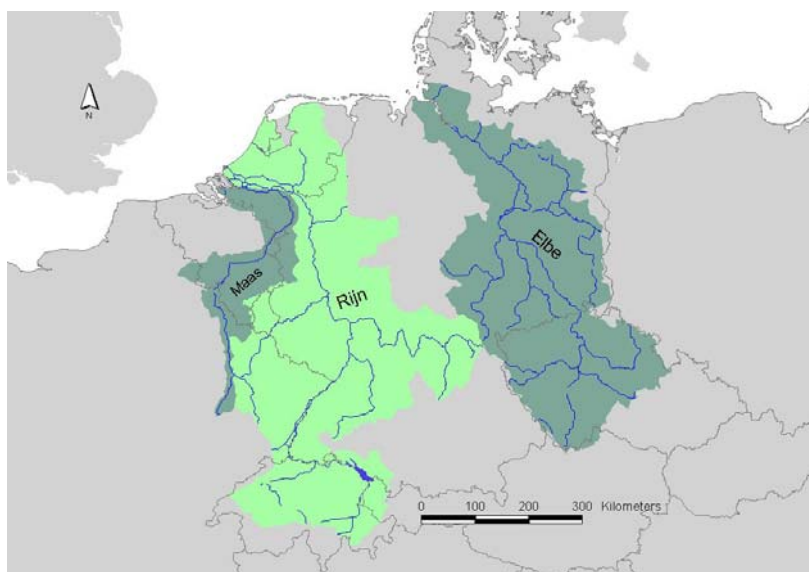
---

B.W.A.H. Parmet en E. Sprokkereef (1995). Berichtencentrum voor de binnenwateren. Hoogwaterberichtgeving Rijn januari/februari 1995. RIZA-werkdocument 95.052x.

SMHI (1996). Integrated Hydrological modelling system, manual version 4.3. Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI).

E. Sprokkereef (ed.) (2001). Extension of the flood forecasting model Florijn. NCR-publication 12-2001.

De Elbe is ongeveer 1.100 kilometer lang, stroomt door Tsjechië en Duitsland, en het stroomgebied is ongeveer 148.000 km<sup>2</sup> groot. De rivier ontspringt in het Reuzengebergte en bereikt ten noorden van Dresden de Noord-Duitse laagvlakte en mondt uit in de Noordzee. De monding begint bij Hamburg en bereikt uiteindelijk een breedte van ongeveer 15 kilometer. De Elbe heeft meer dan vijftig zijrivieren, waarvan Moldau, Eger, Mulde, Saale, Havel en Spree (via Havel) de voornaamste zijn. In de omgeving van Praag voegen een aantal zijrivieren zich bij de hoofdstroom. De rivier wordt in belangrijke mate gevoed vanuit middelgebergten (Reuzengebergte, Bohemen, Eertsgebergte, Harz en Fichtelgebergte). Stuwmeren regelen veelal de waterstand.



Figuur A.1: Ligging van het stroomgebied van de Elbe in Europa

Vanaf Melnik in Tsjechië is de Elbe voor rivierschepen bevaarbaar. Er zijn kanaalverbindingen met Berlijn, met de Rijn via het Mittellandkanaal (sinds 1976 met de Elbe bij Hamburg verbonden door het Elbe-Seitenkanaal) en met de Oder (Elbe-Havelkanaal).

De Elbe is een pluviale rivier, die vooral wordt gevoed door regen, maar ook door smeltende sneeuw. De gemiddelde afvoer bedraagt 880 m<sup>3</sup>/s. Ruwweg fluctueert het debiet tussen 150 m<sup>3</sup>/s in de zomer en 3.000 m<sup>3</sup>/s in het voorjaar. Gedurende het hoogwater van augustus 2002 zijn echter waarden in de orde van 4.500 m<sup>3</sup>/s bereikt.

De Rijn is met een lengte van 1.320 kilometer en een oppervlakte van het stroomgebied van 185.000 km<sup>2</sup> qua afmetingen enigszins vergelijkbaar met de Elbe. De Rijn heeft echter een gemengd karakter (het water is afkomstig van zowel gletsjersmelt als van neerslag) en het afvoerbereik verschilt sterk met dat van de Elbe. De bijdrage aan de Rijnafvoer bij Lobith vanuit de Zwitserse Alpen varieert van 30% in de winter tot 70% in de zomer.

De gemiddelde afvoer bedraagt zo'n 2.300 m<sup>3</sup>/s en de opgetreden debieten in de 20<sup>e</sup> eeuw fluctueren tussen 620 m<sup>3</sup>/s (november 1947) en 12.600 m<sup>3</sup>/s (januari 1926). Hoogwaters doen zich met name voor in de winter en in het vroege voorjaar.

De Maas is typisch een regenrivier en van bron tot aan Noordzee 925 kilometer lang. Het stroomgebied is met een oppervlakte van 33.000 km<sup>2</sup> aanzienlijk kleiner dan dat van de Elbe en de Rijn. Het afvoerbereik fluctueert van bijna droogvallend (in 1996 werd bijvoorbeeld een minimum van 6 m<sup>3</sup>/s geregistreerd) tot ruim 3.000 m<sup>3</sup>/s in de winters van 1926 en 1993. De gemiddelde Maasafvoer op de Belgisch-Nederlandse grens bedraagt 230 m<sup>3</sup>/s en is daarmee aanzienlijk lager dan de gemiddelde afvoer van de Elbe.

In onderstaande tabel worden enkele karakteristieken nog eens samengevat.

Parameter	Rivier		
	Elbe	Rijn	Maas
Lengte (km)	1.100	1.320	925
Oppervlakte stroomgebied (km <sup>2</sup> )	148.000	185.000	33.000
Gemiddeld debiet (m <sup>3</sup> /s)	880	2.300	230
Karakter	pluviaal	gemengd	pluviaal

Tabel A.1: Kenmerken Elbe, Rijn en Maas

In geval zeer hoge waterstanden worden verwacht, treedt de hoogwaterberichtgeving in werking. Voor de grenslocaties Lobith en Borgharen wordt dan het verloop van de afvoer van de Rijn (tot enkele dagen vooruit) en de Maas (tot een halve dag vooruit) voorspeld. Op basis hiervan worden verwachte waterstanden berekend langs de riviertakken en wordt gewaarschuwd om zonodig maatregelen te kunnen treffen.

De hoogwaterberichtgeving voor de Rijn wordt ingesteld wanneer de waterstand te Lobith NAP+14.00 meter overschrijdt, en een verdere stijging wordt verwacht tot minstens NAP+15.00 meter. De bijbehorende afvoer stijgt in dit bereik van ruim 6.000 naar bijna 8.000 m<sup>3</sup>/s.

De hoogwaterberichtgeving voor de Maas wordt ingesteld wanneer de waterstand te Borgharen NAP+44.10 meter passeert (de afvoer is dan ongeveer 1.500 m<sup>3</sup>/s), en een verdere stijging wordt verwacht. Voor een verdere water-standsverhoging van één meter is een afvoertoeename van ca. 700 m<sup>3</sup>/s nodig.

Gewaarschuwd wordt ook wanneer ten gevolge van vast ijs, ijsdammen of plotseling optredende dooi belangrijke waterstandsverhogingen worden verwacht. Vanwege (thermische) verontreiniging bevroren onze rivieren echter nog zelden en ijsdammen komen ook nauwelijks meer voor.

De waterkeringen langs de Rijn en (het bedijkte deel van) de Maas worden getoetst op een belasting bij zogenaamde maatgevende afvoer. Deze is gedefinieerd als de afvoer die met een gemiddelde jaarlijkse kans van 1/1250 wordt overschreden. Bij de laatste vaststelling van hydraulische randvoorwaarden in 2001 is uitgegaan van een maatgevende afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s voor de Rijn te Lobith en 3.800 m<sup>3</sup>/s voor de Maas te Borgharen.



Figuur B.1: Hoogwater op de Nederrijn bij Driel, 2 maart 2002.

---

## Colofon

---

Deze verkenning is uitgevoerd in opdracht van

Directoraat-Generaal Water van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
(V&W/DG Water).

Dit rapport is tot stand gekomen dankzij de medewerking van

Jules Beersma, Adri Buishand, Rudmer Jilderda, Günther Können, Erik van Meijgaard, Jeanette Onvlee, Sander Tijm, Daan Vogelesang (KNMI), Slavie Derasse (KMI, België), Hendrik Buiteveld, Mauk Burgdorffer, Rita Lammersen, Helmus van de Langemheen, Margriet Roukema, Eric Sprokkereef, Wout van Vuuren, Marcel de Wit (RWS-RIZA), Marc van Dijk, Karel Heynert, Paolo Reggiani, Jaap Schellekens (WL|Delft Hydraulics).

Nadere informatie kan worden verkregen bij

Marion Smit (V&W/DG Water)  
M.J.Smit@dgw.minvenw.nl

Helmus van de Langemheen (RWS/RIZA)  
W.vdLangemheen@riza.rws.minvenw.nl

Jeanette Onvlee (KNMI)  
Jeanette.Onvlee@knmi.nl

Karel Heynert (WL|Delft Hydraulics)  
Karel.Heynert@wldelft.nl

RIZA rapport 2002.042  
KNMI publicatie no. 198  
WL rapport no. Q3352  
ISBN 903695472X