

Onderzoek “Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein”

Samenvatting

Doelstelling

In opdracht van de Duits-Nederlandse werkgroep hoogwater is vanaf 2002 tot 2004 door de provincie Gelderland, het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), het Landesumweltamt NRW (LUA NRW) en de Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) het onderzoek “Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein” uitgevoerd.

Hoofdvragen van dit onderzoek zijn:

- Hoeveel water kan onder extreme omstandigheden uit het Rijnstroomgebied worden verwacht?
- Hoeveel water kan tussen de dijken via de Niederrhein en de Nederlandse Rijntakken worden afgevoerd? Waar vinden dijkoverstromingen plaats en wat zijn de effecten op de hoogwatergolven?
- Wat gebeurt er, als het water niet tussen de dijken kan worden afgevoerd? Welke binnendijkse gebieden worden overstroomd? Zijn grensoverschrijdende overstromingen mogelijk?
- Wat zijn de effecten van hoogwaterverlagende maatregelen?

De gehanteerde uitgangspunten zijn:

- De huidige toestand van de dijken (1995, 2002) en de toestand in 2020, na afronding van de lopende dijkverbeteringen in NRW,
- De op de Oberrhein, de Niederrhein en de Nederlandse Rijntakken reeds uitgevoerde of geplande maatregelen ter vermindering van hoogwater voor het jaar 2002 en 2020, en
- Het huidige klimaat en het effect van klimaatverandering

Methodiek

Kort samengevat zijn de volgende stappen gezet:

- Vaststellen van extreme afvoeren uit het Rijnstroomgebied bij Andernach
- Uitvoeren van overstromingsberekeningen langs de Niederrhein en in Gelderland
- Vaststellen van de effecten van dijkoverstromingen en hoogwaterverlagende maatregelen op de waterstand en de afvoer in de rivier
- Inschatting van het effect van klimaatverandering.

1. Vaststellen van extreme afvoeren uit het Rijnstroomgebied bij Andernach

Op basis van 30 jaar meteorologische gegevens voor het Rijnstroomgebied zijn met behulp van een resampling-techniek 1000 jaar neerslag en temperatuur met vergelijkbare statistische eigenschappen gegenereerd.

Met behulp van een neerslag-afvoermodel zijn deze 1000 jaar neerslag getransformeerd in 1000 jaar afvoer bij verschillende meetpunten langs de Rijn. Uit deze verkregen reeks zijn de 16 hoogste hoogwaters voor de Niederrhein geïdentificeerd voor verdere analyse in deze studie.

Rekening houdend met de afvoer op de zijrivieren zijn voor deze extreme hoogwaters ééndimensionale berekeningen van de waterbeweging op de Rijn vanaf Basel tot Andernach uitgevoerd. Bij de eerste berekeningen zijn de dijkoverstromingen op de Oberrhein niet meegenomen. Op deze manier is het mogelijk inzicht te krijgen in de beschikbare hoeveelheid water die op basis van de gegeven neerslag vanuit het stroomgebied bij Andernach kan komen, zonder te kijken, of dit water door het bestaande hydraulische systeem verwerkt kan worden.

Om een realistische verandering van de golfvorm bij Andernach te bepalen zijn de berekeningen opnieuw uitgevoerd. Hierbij zijn dijkoverstromingen en waterstandsverlagende maatregelen langs de Oberrhein meegenomen.

2. Uitvoeren van overstromingsberekeningen voor de Niederrhein en Gelderland

Op basis van de volgens deze methode berekende twee meest extreme hoogwatergolven bij Andernach en de bijbehorende afvoergolven van de zijrivieren van de Rijn zijn met het tweedimensionale model Delft-FLS overstromingsberekeningen voor de Rijn vanaf Rijn-km 642 (Nonnenwerth bij Bad Honnef) uitgevoerd. Aan de hand hiervan kunnen uitspraken worden gedaan over plaats, tijdstip en duur van het overstromen van waterkeringen en het binnendijkse stromingspatroon van de overstromingen.

Randvoorwaarden voor deze modelberekeningen zijn:

- Dijkoverstromingen vinden alleen plaats als de waterstand in de rivier de kruinhoogte van de waterkering overschrijdt.
- Op het moment dat de kruinhoogte wordt overschreden, vindt een dijkdoorbraak plaats. Andere waterkeringen (muren etc.) blijven staan en overstromen slechts.
- Andere faalmechanismen zijn niet meegenomen.

3. Vaststellen van de effecten van dijkoverstromingen en hoogwaterverlagende maatregelen op waterstand en afvoer in de rivier

Verder zijn voor de Rijn vanaf Andernach tot aan de Nederlandse Rijntakken berekeningen met het ééndimensionale model SOBEK uitgevoerd. Van de 16 bovengenoemde hoogwaters zijn hiervoor de twee hoogste hoogwatergolven en 6 andere hoogwatergolven gekozen, die hoger zijn dan het hoogwater van 1995, in het bereik van de inzet van de maatregelen liggen en vergelijkbaar met de langs de Niederrhein en in Nederland geldige maatgevende hoogwaters.

Doel van deze berekeningen is het vaststellen van de gezamenlijke effecten van de overstromingen en de hoogwaterverlagende maatregelen in Nordrhein-Westfalen en in Gelderland op de waterstand en afvoer in de rivier. Hiervoor zijn de uit de Delft-FLS berekeningen resulterende inzichten over het debiet, dat als gevolg van de overstromingen van de rivier onttrokken en weer teruggevoerd wordt, alsmede de overstromingsvolumina, naar het ééndimensionale model SOBEK overgedragen. De overstromde oppervlaktes en overstromingsvolumina zijn modelmatig als retentiebekkens geschematiseerd.

Verder zijn berekeningen uitgevoerd, waarbij de effecten van dijkoverstromingen buiten beschouwing zijn gebleven. Hierdoor zijn uitspraken mogelijk over de beschikbare hoeveelheid water die op basis van gegeven neerslag uit het stroomgebied bij Lobith kan komen, zonder te kijken, of dit water door het bestaande hydraulische systeem kan worden verwerkt. Om op flexibele wijze varianten door te kunnen rekenen, is het Decision Support System DSS-large rivers toegepast.

4. Inschatting van de effecten van klimaatverandering

Binnen de tijdsduur van het project konden geen concrete berekeningen voor de afvoer uit het Rijnstroomgebied op basis van klimaatscenario's uitgevoerd worden. Daarom werden alleen kwalitatieve uitspraken gedaan over de effecten van klimaatveranderingen op de afvoer uit het Rijnstroomgebied. In het algemeen wordt ervan uitgegaan, dat in de toekomst met hogere afvoeren rekening moet worden gehouden. Om toch een verkenning te kunnen maken van de effecten van nog hogere afvoeren op overstromingen langs de Niederrhein, is één nog hogere afvoergolf doorgerekend.

Resultaten

1. Extreme Afvoeren

Beschikbare hoeveelheid van water uit het Rijnstroomgebied

In het Rijnstroomgebied zijn neerslagpatronen mogelijk, die zonder rekening te houden met dijkoverstromingen op de Ober- en Niederrhein, tot een piekafvoer bij Andernach van rond 17800 m³/sec en bij Lobith van rond 18700 m³/sec leiden. Deze resultaten geven uitsluitend aan, wat de beschikbare hoeveelheid water is die als gevolg van neerslag in het stroomgebied kan worden gegenereerd, maar beantwoorden niet de vraag, of het hydraulische systeem deze hoeveelheid ook kan afvoeren.

Afvoeren rekening houdend met dijkoverstromen

Onder de omschreven extreme omstandigheden vinden op de Oberrhein overstromingen plaats. Dit leidt tot een afvlakking van de afvoertop bij Andernach tot ca. 15300 m³/sec. Bij verwaarlozing van overstromingen langs de Niederrhein zouden bij Lobith 16700 m³/sec kunnen optreden.

Omdat er onder de extreme omstandigheden ook overstromingen langs de Niederrhein plaatsvinden, wordt de afvoergolf verder afgevlakt zodat bij Lobith een piekafvoer van 15500 m³/sec kan worden verwacht.

Zowel de hoogwaterverlagende maatregelen die tot 2020 langs de Oberrhein, in NRW en langs de Nederlandse Rijntakken gepland zijn, als de dijkverbeteringsmaatregelen die momenteel in NRW in uitvoering zijn, leiden niet tot wezenlijke verandering van het genoemde dempende effect van de dijkoverstromingen en daarmee wezenlijke verandering van de afvoer bij Andernach en Lobith.

2. Overstromingen langs de Niederrhein

Bij de onderzochte extreme hoogwaters treden in de huidige situatie op de Niederrhein bij een afvoer van 11 000 tot 16 000 m³/sec grootschalige overstromingen op. Hierbij overstroomt de zuidelijke Niederrhein (omtrek Köln/Bonn tot ca. Düsseldorf/Dormagen) als eerste. Bij steeds hoger wordende afvoertoppen overstroomt ook het middelste gedeelte (Düsseldorf/Dormagen tot ongeveer de monding van de Ruhr). In het noordelijke deel (vanaf de monding van de Ruhr tot aan de modelgrens) vinden bij de gegeven uitgangspunten geen dijkoverstromingen plaats, maar wordt wel een groot deel van de waakhoogte belast. Alleen in Emmerich kunnen, totdat de verbetering van de keermuur is afgerond, bij afvoeren boven 14000 m³/sec overstromingen plaatsvinden.

Door de dijkverbeteringen in NRW wordt plaatselijk het beschermingsniveau verhoogd. Bij deze extreme hoogwaters, die hoger dan de maatgevende afvoer zijn, beginnen de gebieden in het zuidelijke en middelste deel van de Niederrhein als gevolg hiervan pas later onder water te lopen. Een overstroming van deze gebieden kan echter niet worden voorkomen.

In het noordelijke gedeelte vinden na afronding van de dijkversterkingen tot een afvoer van 16000 m³/sec ook op die trajecten met een kleinere waakhoogte zoals bij keermuren, geen

overstromingen plaats. Deze afvoercapaciteit komt overeen met de maatgevende afvoer in Nederland. De afvoercapaciteit van de Duitse dijken in het noordelijke deel is groter.

Bij overstromingen vinden binnendijks parallel aan de Rijn stromingen plaats. Daardoor kunnen gebieden toch overstromen, terwijl ze eigenlijk tot een hoger niveau beschermd zijn. Een deel van dit parallel aan de Rijn stromende water stroomt ook weer terug in de Rijn.

3. Effect van overstromingen op de piekafvoeren en de golfvorm

Overstromingen leiden tot waterverlies in de rivier, waardoor de piekafvoeren worden verlaagd. De berekende afvoer- en waterstandsverlagende effecten van de dijkoverstromingen zijn groter dan die van de hoogwaterverlagende maatregelen. Dit komt doordat de door overstromingen ingenomen oppervlakten en volumina achter de dijken groter zijn dan de oppervlakten en volumina van de retentiemaatregelen in NRW.

De overstromingen in de omgeving van Köln/Bonn tot ca. Duisburg/Krefeld hebben een duidelijke afvlakking van de afvoergolven tot gevolg. Tegelijkertijd worden de golven met ca. een halve dag verlengd. De hoogwaterverminderende maatregelen hebben dezelfde effecten alhoewel duidelijk geringer.

Door de dijkverbeteringsmaatregelen in NRW worden de waterkeringen zodanig aangepast, dat zij in toekomst de maatgevende afvoer kunnen keren. Dit betekent, dat de dijken in delen worden verhoogd en op een doorgaande dijklijn op het bedoelde niveau worden gebracht. Dit is voornamelijk van toepassing in het gebied van Köln/Bonn tot Düsseldorf/Krefeld. Daardoor wordt lokaal een hoger beschermingsniveau gerealiseerd. Het overstromen van dijken bij extreem hoogwater vindt later plaats, dus dicht bij de piekafvoer van de hoogwatergolf. Dit betekent, dat de waterstands- en afvoerverlagende effecten van de overstromingen afhankelijk van het hoogwater in beperkte mate kan toenemen.

4. Effect hoogwaterverlagende maatregelen op waterstand en piekafvoer

Het effect van retentiegebieden op de piekafvoeren is in sterke mate afhankelijk van de hoogte van de piekafvoer en de golfvorm. Daarom moet de inzet van retentiegebieden nauwkeurig worden gedefinieerd en door middel van bouwtechnische maatregelen zoals gestuurde of ongestuurde in- en uitlaatwerken gerealiseerd.

Dijkverleggingen hebben voornamelijk lokaal en bovenstrooms invloed. Door verbreding van het stroomvoerend profiel wordt bij dezelfde afvoer een verlaging van de waterstand bereikt. Wanneer de overgang naar de bestaande dijklijn tot een duidelijke vernauwing van het profiel leidt zal direct benedenstrooms zelfs een kleine verhoging van de waterstand optreden. Hiermee dient bij het plannen van dergelijke maatregelen rekening te worden gehouden.

Het systeem van hoogwaterverlagende maatregelen langs de Niederrhein is momenteel het meest effectief bij hoogwaters in de orde van grootte van het hoogwater van 1995. Door de retentiemaatregelen doelgericht in te zetten, kan een beter effect op hoogwaters met een piekafvoer dicht bij de maatgevende afvoer worden gerealiseerd.

Door de geplande maatregelen in NRW worden de afvoergolven met een piekafvoer rond de maatgevende afvoer in het gebied bij Bislich, ca. 40 km bovenstrooms de Duits-Nederlandse grens met ca. 15 tot 20 cm en aan de grens met 1 cm verlaagd.

Bij een goede afregeling van de maatregelen voor het bereik rond de maatgevende afvoer, kan het waterstandsverlagende effect worden verbeterd. Daardoor zou in het gebied bij Bislich een waterstandsval van 25 tot 30 cm en aan de Duits-Nederlandse grens van 6 cm kunnen worden bereikt.

De waterstandsverlagende maatregelen in Nederland moeten ervoor zorgen, dat in de toekomst in plaats van 15000 m³/s een afvoer van 16000 m³/sec veilig kan worden afgevoerd. Hierdoor wordt aan de Duits-Nederlandse grens een waterstandsval van 30 cm bereikt. Deze maatregel heeft nog tot 50 km bovenstrooms waterstandsverlagend effect.

Door het gecombineerde effect van de geplande maatregelen in Nederland en de maatregelen in NRW kan, bij extreme hoogwaters rond de maatgevende afvoer, een waterstandsverlaging worden gerealiseerd van maximaal 30 cm bij de grens en maximaal 25 cm bij Bislich/Lohrwardt. Bij een op de maatgevende afvoer afgestemde variant van de maatregelen in NRW en een aantal aanvullende maatregelen bij Orsoyer Bogen en Bislich is zelfs een waterstandsval tot 40 cm bij de grens en bij Bislich/Lohrwardt mogelijk. Op andere plaatsen valt de verlaging van de waterstand bescheidener uit.

Doordat de maatregelen in NRW en in Nederland elkaar versterken, wordt bijvoorbeeld het vroegtijdige overstromen van de keermuur in Emmerich tegengegaan. Bij overstroming van deze keermuur zou ook Nederlands gebied overstromen.

Dit voorbeeld illustreert het nut van grensoverschrijdende inspanningen op het gebied van hoogwaterbescherming en maakt het belang van een grensoverschrijdende afstemming van hoogwaterrelevante plannen en maatregelen duidelijk.

5. Klimaatveranderingen

Op grond van de momenteel beschikbare informatie gaat men ervan uit dat de globale temperatuur in de loop van de komende 100 jaar zal stijgen. Afhankelijk van het CO₂-emissie-scenario wordt uitgegaan van een stijging met 1,4 tot 5,8°C.

Uitspraken over de effecten van klimaatverandering op de extreme afvoeren in het Rijnstroomgebied, kunnen alleen kwalitatief worden gedaan:

- Er kan vanuit worden uitgegaan dat klimaatverandering leidt tot een toename van de afvoer van de Rijn in het winterhalfjaar;
- Een afname van de afvoer in zomer lijkt niet onwaarschijnlijk aangezien veel scenario's uitgaan van een vermindering van de neerslag en hogere temperaturen de verdamping versterken;
- De onzekerheden bij het inschatten van afvoerveranderingen als gevolg van een klimaatverandering zijn zeer groot, met name voor extreme gebeurtenissen. Wel staat vast dat de frequentie van lang aanhoudende neerslagrijke periodes zal toenemen. Dit ondersteunt de hypothese dat ook moet worden uitgegaan van een stijgende frequentie van het optreden van hoogwaters. In welke mate dit zijn weerslag heeft op het zich voordoen van extreme gebeurtenissen bij Andernach, moet nog nader worden onderzocht.

Om toch een inschatting te kunnen geven van de gevolgen van nog hogere afvoeren uit het stroomgebied, zijn berekeningen uitgevoerd met de hoogst beschikbare afvoergolf bij

Andernach. Deze heeft een piekafvoer van $17800 \text{ m}^3/\text{sec}$. Of deze piekafvoer überhaupt kan optreden blijft bij deze verkennende berekening buiten beschouwing.

Door de overstromingen langs de Niederrhein wordt een dergelijke golf bij Lobith gedempt tot een piekafvoer van $16500 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Zo als bij de eerder genoemde berekeningen wordt deze demping veroorzaakt door dijkoverstromingen in het gebied tot aan Krefeld. De binnendijkse overstromingen zijn nog grootschaliger. Er kan water achter de dijken langs voorbij Xanten tot bij Kleve stromen. Een overstroming via de Niers in de richting van de Maas is niet opgetreden. De berekeningen maken echter duidelijk, dat de waterstand in het overstroomde gebied maar weinig hoeft te stijgen, voordat het water de waterscheiding overschrijdt.

Er vinden geen dijkoverstromingen benedenstrooms van Krefeld plaats. In dit traject treden echter waterstanden op, die voornamelijk bij hoogwaterkeermuren zoals in Rees en Emmerich op kruinhoogte zijn.

6. Nauwkeurigheid van de resultaten

De resultaten van het hier gepresenteerde onderzoek berusten op berekeningen met aan elkaar gekoppelde statistische en numerieke modellen. De nauwkeurigheid van de modelresultaten worden bepaald door de gekozen modelparameters en randvoorwaarden (bijv. de methode voor het berekenen van de overstromingen, nauwkeurigheid van de afvoeren uit de zijrivieren en de Rijn uit het stroomgebied, verwaarlozing van de morfologische ontwikkeling van de Rijn etc.). Bij een beoordeling van onderzoekresultaten moet na een beschouwing van al deze factoren worden uitgegaan van een mogelijke onnauwkeurigheid in de orde van ca. $500 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Slotopmerking en vooruitzicht

Alle resultaten gelden alleen voor de situatie op de Niederrhein en de Nederlands Rijntakken zoals die in de modellen is verwerkt. Met name veranderingen aan de dijken kunnen de resultaten aanzienlijk beïnvloeden. Omdat het hydraulische systeem van de Niederrhein met inbegrip van het binnendijkse gebied uitermate complex is, is het onmogelijk te voorspellen, hoe groot deze invloed is, zonder opnieuw berekeningen uit te voeren. Veranderingen dienen daarom steeds in de modellen gedetailleerd meegenomen te worden.

Het is duidelijk, dat ook in de toekomst samenwerking met boven- en benedenstroomse gebieden belangrijk blijft. Het uitwisselen van gegevens en informatie als het onderlinge afstemmen van maatregelen op het gebied van hoogwaterbescherming zijn voorbeelden hiervan. Verder onderzoek op het gebied van de gevolgen van klimaatveranderingen, effecten van ingrepen in het bestaande riviersysteem, ontwikkeling nieuwe methoden bijv. voor het opmaken van hoogwaterstatistieken en hoogwatervoorspellingen is van gemeenschappelijke belang.