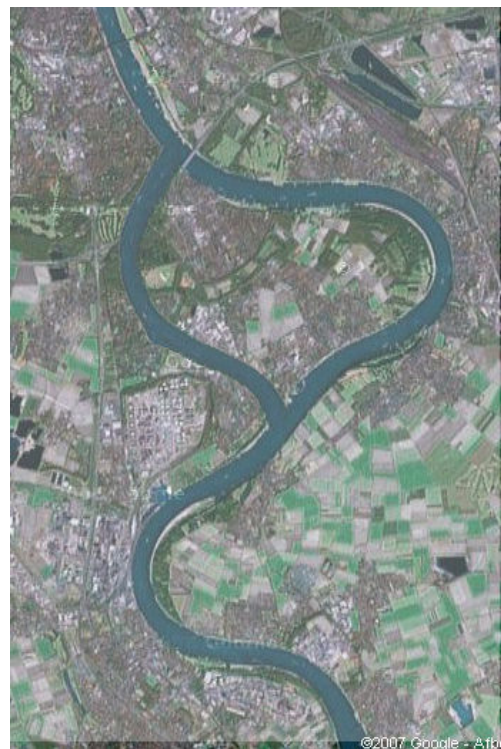


Ruimte voor de Rijn bij Rodenkirchen



Nijmegen, 16 juli 2007
Rapport Bachelor eindopdracht

Wing Hong Wong
0087955

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	2
2.	Aanleiding.....	3
	Doelstelling.....	5
	Vraagstelling.....	5
3.	Hydrologische voorwaarden	5
	Veiligheid.....	5
	Waterberging	8
	Bypass.....	10
4.	Alternatieven.....	12
5.	Analyse methode.....	19
	Evamixmethode	19
	BOSDA	19
6.	Multi-Criteria Analyse	21
7.	Conclusie.....	24
8.	Fout discussie	25
9.	Literatuur.....	26
	Bijlage	28

1. Inleiding

In dit rapport wordt een onderzoek uitgevoerd op de geschiktheid van gebieden voor het creëren van ruimte voor de Rijn bij Rodenkirchen. In het eerste hoofdstuk wordt eerst de aanleiding van dit onderzoek gegeven. Er wordt kort toegelicht wat de rol van de Bürgerinitiative Hochwasser hierin zal zijn. In dit hoofdstuk wordt dan ook de vraag- en de doelstelling gepresenteerd. Na dit hoofdstuk worden er een aantal technische aspecten behandeld. Het hoofdstuk hydrologische voorwaarden laat zien wat de werking van de bypass en waterberging zal zijn. Ten slotte worden er aan het einde van dit onderzoek de alternatieven gevormd en worden deze gerangschikt met behulp van de opgestelde criteria.

2. Aanleiding

In de toekomst zal er door de klimaatverandering vaker neerslagen met een hoge intensiteit voorkomen. Doordat het waterbergende vermogen van de bodem sterk achteruit is gegaan, is er nu geen buffer meer die het water kan vasthouden. Het water wordt direct afgevoerd naar rivieren waardoor er piekafvoeren ontstaan. Zulke piekafvoeren kunnen een bedreiging vormen voor de veiligheid. In de toekomst kunnen de gevolgen van de klimaatverandering uitgroeien tot grote waterproblemen.

In dit hoofdstuk wordt eerst de Bürgerinitiative Hochwasser gepresenteerd. Vervolgens worden de gevolgen klimaatverandering gekoppeld aan het probleem van de Bürgerinitiative Hochwasser. Na een verkenning van het probleem worden er twee mogelijke multifunctionele oplossingen gepresenteerd. Aan het einde van dit hoofdstuk wordt uiteindelijk dan het doel en de daarbij horende onderzoeksvragen van de bacheloropdracht gepresenteerd. Deze heeft betrekking op de geschiktheid en haalbaarheid van de oplossingen.

Bürgerinitiative Hochwasser

In 1993 hebben al veel mensen met piekafvoeren te maken gehad. Het hoogwater van de Rijn zorgde voor veel problemen in de steden die naast de rivier liggen. Ook in Rodenkirchen, een dorp aan de zuidzijde van de stad Keulen, waren er hoogwaterproblemen. Een paar dagen voor de kerst van 1993 kregen de bewoners, zonder enige waarschuwing, anderhalf meter water in hun huizen.

De bewoners vonden dit onaanvaardbaar. Uiteindelijk hebben ze besloten om zelf een organisatie op te richten die op het hoogwater van de Rijn let. Deze organisatie heet de Bürgerinitiative Hochwasser.

In 1995 was er weer hoogwater. Dit keer is er, mede door de Bürgerinitiative Hochwasser, wel wat gedaan aan de situatie. Samen met bijvoorbeeld het leger en de brandweer hebben de bewoners van de stad geprobeerd te redden van het hoogwater. Uiteindelijk hebben ze, op een paar centimeter na, het toch niet gered en was dit keer de halve stad overstroomd. Dit keer was de schade wel gehalveerd ten opzichte van 1993 doordat er op tijd werd ingegrepen.

In de laatste jaren hebben de Bürgerinitiative Hochwasser en de Hochwasserschutz-zentrale Köln nog contacten met elkaar. Mede door het ijveren van de organisatie van de burgers is Rodenkirchen nu voorzien van mobiele waterkeringen die bestaan uit metalen wanden die langs de rivier geplaatst kunnen worden bij hoogwater.

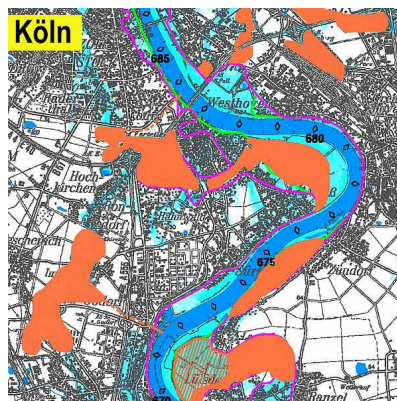
Klimaatverandering

Waar de burgers nu bang voor zijn, zijn de effecten van de klimaatverandering. De mobiele waterkeringen zijn geschikt voor hoogwatergolven die in 1993 en 1995 optraden, maar wanneer er extremere afvoerpieken optreden, dan kan het dorp alsnog overstroomd. Uit onderzoeken is gebleken dat deze extremere afvoerpieken in de toekomst zeker voor kunnen komen door de klimaatverandering. In een onderzoek van Reynard et. al. (zoals geciteerd in het rapport van de Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2001), is gebleken dat in de toekomst de kans op zware neerslagen toeneemt, waardoor er hogere rivierafvoer kunnen voorkomen.

Figure 1 is a line graph showing the monthly mean discharge (in m^3/s) for five rivers in Germany from November to October. The y-axis represents discharge in m^3/s , ranging from 0 to 3000. The x-axis represents the months from November to October. The rivers are labeled: Cologne, Kaub, Worms, Rhein/elden, and Alpine Rhine. Cologne and Kaub show the highest discharge, peaking around 3000 m^3/s in December and March. Worms and Rhein/elden show moderate discharge, peaking around 1800 m^3/s in March. Alpine Rhine shows the lowest discharge, peaking around 300 m^3/s in March. All rivers show a significant decrease in discharge from July to September.

Ruimte voor de Rivier

Maar is deze ruimte er daadwerkelijk aanwezig voor de rivier? De Bürgerinitiative Hochwasser heeft het gebied tussen Keulen en Bonn geanalyseerd. Ze concludeerden dat er nog een aantal gebieden, zoals in figuur 2 weergegeven, aanwezig zijn die op dit moment nog nergens voor gebruikt worden. Deze functieloze ruimtes kunnen goed gebruikt worden voor het waarborgen van hun veiligheid tegen hoogwater.



4

Er moeten echter wel snel plannen komen voor deze gebieden. Door de sterke verstedelijking in Bonn en Keulen zal het niet lang duren voordat deze gebieden gebruikt worden voor woningbouw of andere stedelijke ontwikkelingen. De organisatie Ruimte voor de Rivier (2005) beschrijft zulke situaties met “nu of nooit situatie”. Huidige plannen of ontwikkelingen (hier dus de verstedelijking) kunnen in de toekomst de hoogwatermaatregelen in de weg staan. Het is dus van belang dat er plannen komen nu er nog ruimte is.

Waterberging

Een mogelijke oplossing voor het probleem is het aanleggen van waterbergingen. Wanneer er piekafvoeren optreden kan er tijdelijk een bepaalde hoeveelheid water opgeslagen worden. Het water dat normaal gesproken over de dijken zal lopen kan dan afgevoerd worden naar de bergingen waardoor de piekafvoer afgevlakt wordt.

De klimaatverandering zorgt behalve voor extreme natte periodes ook voor extreme droge periodes. Zo kan het steeds vaker voorkomen dat er in de zomer te weinig water door de rivier stroomt. Een waterberging komt in een dergelijke situatie dan goed van pas. Behalve voor het waarborgen van de veiligheid tegen hoogwater is een berging ook geschikt voor bijvoorbeeld beregening. Het extra water in de berging kan in de zomer maanden het watertekort deels opvangen.

Bypass

Een andere mogelijke oplossing is het aanleggen van een bypass. Bij het aanleggen van een bypass wordt een “nieuwe rivier” gecreëerd. Bij hoogwater wordt dan een bepaald percentage van het rivierwater afgesplitst naar de bypass. Er wordt dan net als bij het aanleggen van een waterberging ruimte gecreëerd voor de rivier.

In tegenstelling met een waterberging stroomt er door de bypass continu water. Het is dan niet nodig om bij piekafvoeren een bepaalde hoeveelheid water door de bypass te pompen. Door de fysieke eigenschappen van de bypass zal dan vanzelf water door de nieuwe rivier stromen.

Een ander verschil is dat het water in een bypass niet opgeslagen wordt. Het water stroomt door de bypass heen en komt in een andere locatie weer samen met de rivier.

Multifunctioneel

Het aanleggen van waterbergingen of bypasses past goed in de stedelijke ontwikkelingen van Bonn en Keulen. Deze twee methodes die ruimte voor de rivier creëert kan goed diverse gebruikersfuncties combineren.

Een goed voorbeeld is het aanleggen van huizen *op* water in de waterberging. Een andere mogelijkheid is huizen realiseren *aan* het water langs de bypass. Mensen kunnen dan leven in een hoogwaardig leefmilieu. Daarnaast bieden de oplossingen ook mogelijkheden voor recreatie en natuurontwikkelingen. Er geldt dus bij deze maatregelen dat er een combinatie gemaakt wordt van hoogwaterbescherming, stedelijke ontwikkeling en de ecologie. Bijlage 14 geeft een aantal praktische voorbeelden hiervan.

Het aanleggen van een waterberging of een bypass heeft daarnaast nog een groot voordeel. Tijdens de realisatie van de berging of bypass wordt een bepaald gebied afgegraven. De vrijgekomen zand of grind is mogelijk geschikt voor zandwinning waardoor alleen de grond zelf al geld kan opleveren.

Doelstelling

Hierboven wordt een optimistische beschrijving gegeven van de mogelijke maatregelen tegen de (toekomstige) hoogwaterproblemen. De vraag is echter of het uiteindelijk wel realistische en nuttige maatregelen zijn. Het doel van mijn bacheloropdracht is daarom het onderzoeken naar de mogelijkheden om de hoogwaterproblemen van Rodenkirchen ten gevolge van de klimaatverandering op te lossen met behulp van het creëren van meer ruimte voor de Rijn. Om draagvlak te creëren, waardoor de bypass of waterberging als realistische oplossingen beschouwd kunnen worden, is het daarom ook van belang om naar het multifunctionele gebruik te kijken. De verschillende gebieden worden dan gerangschikt met behulp van een multi-criteria analyse.

Doordat de verschillende gebieden nog geanalyseerd moeten worden is het nog niet duidelijk of een bypass of waterberging de meest geschikte oplossing is. Daarom wordt er in het onderzoek naar beide oplossingen gekeken.

Vraagstelling

Wanneer een realistische bypass of waterberging ontworpen moet worden is het van belang om uit de door de Bürgerinitiative Hochwasser geselecteerde gebieden het meest geschikte gebied(en) te kiezen. Ten slotte is de berging of bypass geheel afhankelijk van de fysieke eigenschappen (bijvoorbeeld de oppervlakte) van het gebied waarop het gerealiseerd wordt. De hoofdvraag is daarom:

Welke van de door de Bürgerinitiative Hochwasser geselecteerde gebieden zijn volgens een multi-criteria analyse geschikt voor het creëren van meer ruimte voor de Rijn waardoor het een zo groot mogelijk bijdrage kan leveren aan het oplossen van de hoogwaterproblemen die ten gevolge van de klimaatverandering zullen optreden?

Let op dat het niet realistisch is om er van uit te gaan dat het gehele hoogwater probleem van de Rijn opgelost wordt door één gebied. Het is uiteindelijk de verantwoordelijkheid van alle steden langs de Rijn om een bijdrage te leveren aan het oplossen van het hoogwater probleem. De vraagstelling gebruikt daarom ook de woorden “zo groot mogelijk bijdrage” om hierop nadruk te leggen.

Om de hoofdvraag te beantwoorden dienen eerst deelvragen beantwoord te worden. Het moet natuurlijk wel eerst bekend zijn aan welke wensen en eisen de berging moet voldoen voordat een gebied geselecteerd kan worden. Deze eisen en wensen zijn daarnaast ook van belang tijdens het ontwerp van de berging. De deelvragen van deze bacheloropdracht zijn daarom:

- *Met hoeveel waterstandverhoging tijdens de piekafvoeren zal er in de toekomst rekening gehouden moeten worden?*
- *Hoeveel water zal er opgevangen moeten worden door de bypass of de waterberging(en)?*
- *Welke criteria kunnen er opgesteld worden voor het vergelijken, rangschikken en selecteren van de gebieden?*

In bijlage 1 wordt de onderzoeksstrategie gegeven zodat het duidelijk wordt hoe de bovenstaande onderzoeksvragen beantwoord kunnen worden.

3. Hydrologische voorwaarden

In het vorige hoofdstuk is er besproken dat er voorwaarden opgesteld moeten worden. Deze voorwaarden hebben betrekking op de veiligheid. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt de veiligheid van de bewoners verder toegelicht. Wanneer het duidelijk is aan welke voorwaarden er voldaan moeten worden voor een veilige situatie, wordt er in de paragrafen erna uitgelegd hoe een waterberging en een bypass bij kunnen dragen om een dergelijke veilige situatie te creëren.

Veiligheid

Dit onderzoek richt zich op de veiligheid van de inwoners van Rodenkirchen. Rodenkirchen ligt ongeveer bij 681,5 kilometer Rijnaafstand. Om te bepalen hoe de veiligheid van het dorp tegen hoogwater gewaarborgd kan worden, moet er eerst gekeken worden naar de huidige hoogwaterbeschermingen.

Hoogte waterkering

In bijlage 2 staan mappen waarin het totale projectgebied weergegeven worden. Bijlage 3 geeft een map waarin Rodenkirchen centraal staat. In deze map is er te zien dat het dorp tegen een waterstand van $\pm 11,30$ m beschermd wordt. Deze waterstand hoort bij een afvoer van ongeveer $11870 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze keringen bestaan uit de natuurlijke waterkeringen en mobiele keringen die opgebouwd kunnen worden met metalen wanden.

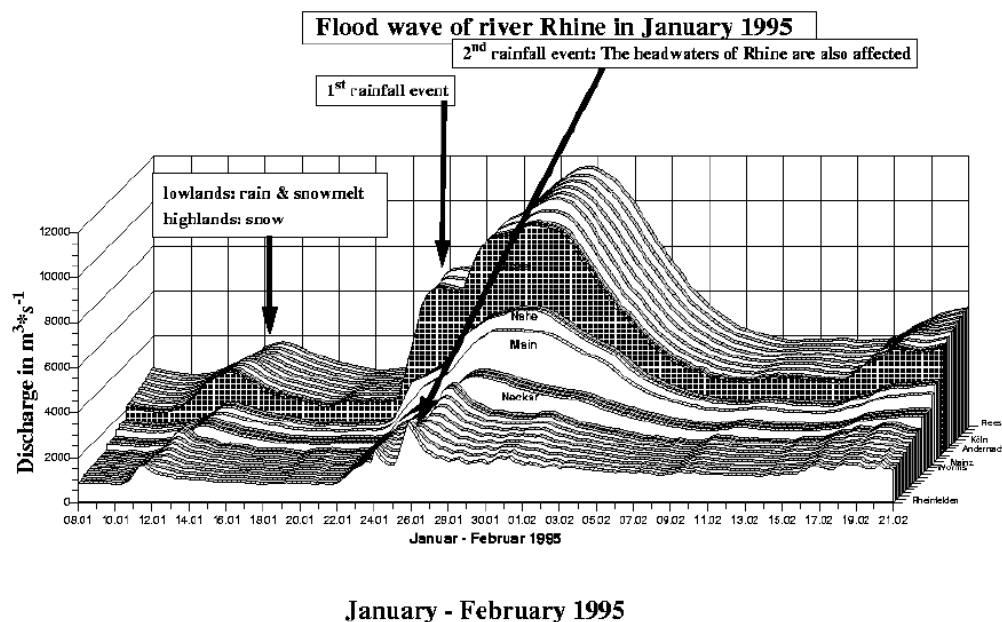
Afvoerpiek 1995

De hoogwaterbeschermingen hadden niet altijd een hoogte van 11,30 meter. In 1995 waren er nog geen mobiele metalen wanden. Het hoogwater van dat jaar kon toen niet meer binnen de door de toenmalige waterkering gevormde grenzen blijven. De stad Rodenkirchen was toen overstroomd.

Uit de rapportage van Busch, Chojetzki en Engel (1996) wordt het duidelijk dat er in 1995 een piekafvoer was van $\pm 10.900 \text{ m}^3/\text{s}$ bij Rodenkirchen. Uit figuur 4 is af te lezen dat deze afvoer een ongeveer herhalingsjijd heeft van 1:100 jaar. In figuur 5 is er te zien hoe de afvoergolf deze afvoerpiek uitzag.

Peil	Rijn-km	HQ10	HQ100	HQ200
	km	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Maxau	362	4030	4790	5000
Worms	444	4470	5880	6000
Mainz	498	5480	7410	7960
Kaub	546	5680	7530	8090
Koblenz	592	6140	8200	8830
Andernach	614	8740	11730	12700
Bonn	655	8760	11700	12600
Köln	688	8900	12000	12900
Ruhrort	781	9200	12400	13400
Rees	837	9170	12300	13300
Emmerich	852	9100	12200	13100

Figuur 3: Herhalingstijden met de bijbehorende afvoer



Figuur 4: De afvoergolf in 1995 die een overstroming veroorzaakte

Klimaatverandering

Door de effecten van de klimaatverandering is het niet meer realistisch om slechts rekening te houden aan de huidige extreme piekafvoeren. Uit het onderzoek van Middelkoop et. al. (2001) wordt er verwacht dat afvoeren met herhalingstijden van 100 tot en met 1000 jaar in het 2050 met 5-8% toeneemt.

De huidige waterkeringen van Rodenkirchen handhaven een norm van 1:100 jaar (wat dus inhoudt dat de maximale afvoer gelijk is aan 11870 m³/s). Om in de toekomst nog aan dezelfde veiligheidsnormen te kunnen voldoen moet er rekening gehouden worden met een piekafvoer die met 8% procent toeneemt. Dit betekent dus dat er voor een norm

van 1/100 rekening gehouden moet worden met een afvoerpiek van 12820 m³/s (is dus gelijk aan 11870 m³/s + 8%).

Bij de berekeningen wordt de vorm van een afvoergolf van 1995 gebruikt. Deze afvoergolf zorgde toen voor een overstroming in Rodenkirchen waardoor deze vorm representatief is voor een afvoergolf tijdens een periode met hoogwater. De golf wordt echter omhoog geschoven zodat de piek gelijk is aan 12820 m³/s. Deze maatgevende afvoergolf is te zien in figuur 7. In bijlage 4 wordt er in stappen gegeven hoe deze maatgevende afvoergolf geconstrueerd is.

Afvlakken piek

Met behulp van de hierboven gegeven informatie kan er afgeleid worden hoe een veilige situatie gecreëerd kan worden. Hiervoor moeten we echter wel gebruik maken van een afvoerkromme. Een afvoerkromme geeft de relatie tussen de afvoer en de daarbij horende waterhoogte. Het collegedictaat Water van Dohmen-Jansen en Vreugdenhil (2004) geeft de volgende formule voor de afvoerkromme:

$$h = \left(\frac{Q^2 c_f}{g I B^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Waarin:

Q = Afvoer (m³/s)

B = Breedte rivier (m)

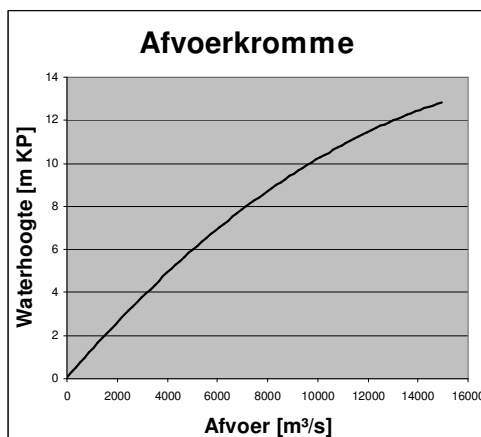
h = Waterdiepte (m)

g = Zwaartekrachtversnelling (m/s²)

I = Verhang

c_f = Wrijvingscoëfficiënt

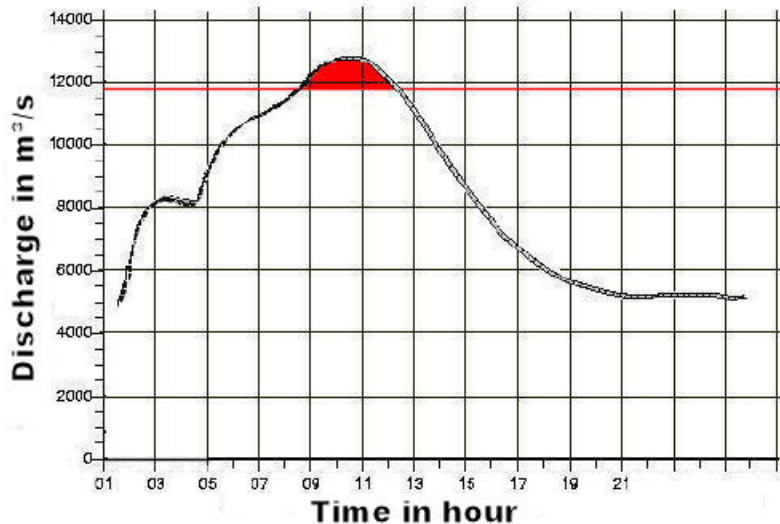
Deze formule wordt niet gebruikt voor de berekeningen in dit rapport. Doordat de breedte en de wrijvingscoëfficiënt varieert bij verschillende waterhoogte geeft de formule een wat minder nauwkeurig resultaat. In plaats van de formule wordt er in dit rapport de kwantitatieve gegevens gebruikt van de rapportage van Busch, Chojetzki en Engel (1996). In deze rapportage worden er bij verschillende afvoeren de bijbehorende waterhoogte gegeven. Hieruit kan de afvoerkromme geconstrueerd kan worden. In de onderstaande figuur is deze afvoerkromme te zien. In bijlage 4 zijn de data te zien waaruit de afvoerkromme geconstrueerd is.



Figuur 5: De afvoerkromme bij Rijnkilometer 681,5

Met deze afvoerkromme kan er dan afgeleid worden hoeveel kubieke meter water per seconde tussen de huidige waterbescherming door kan zonder dat Rodenkirchen overstroomd. Omdat het nu ook bekend is met welke hoeveel afvoer er in de toekomst rekening gehouden moet worden, kan er afgeleid worden hoeveel de afvoerpiek afgevlakt moet worden.

In figuur 7 is te zien hoe de afvoergolf afgevlakt moet worden. Alles wat boven de maximale afvoer van 11870 m³/s zit, is met rood ingekleurd.



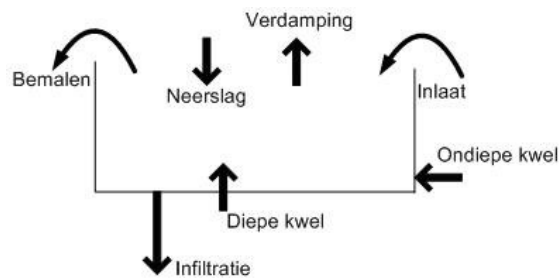
Figuur 6: De "maatgevende afvoergolf"

Met behulp van de afvoerkromme kan er bepaald worden dat bij een afvoer van 12820 m³/s een waterhoogte hoort van 11,83 m. Dit houdt dus in dat als er rekening gehouden moet worden met de "maatgevende afvoergolf" de waterstand met 0,53 m verlaagd moet worden. Dit is tevens het antwoord op de eerste deelvraag "*Met hoeveel waterstandverhoging zal er in de toekomst rekening gehouden moeten worden?*".

Nu de voorwaarden bekend zijn voor een veilige situatie kan er apart gekeken worden naar de specifieke voorwaarden voor een waterberging en een bypass.

Waterberging

Een waterberging kan (gedeeltelijk van het) overtollige water van de Rijn tijdelijk bergen. Om de werking van de berging te begrijpen moet er naar het watersysteem gekeken worden. Deze ziet er als volgt uit:



Figuur 7: Het watersysteem van de berging

Verwaarloosbare parameters

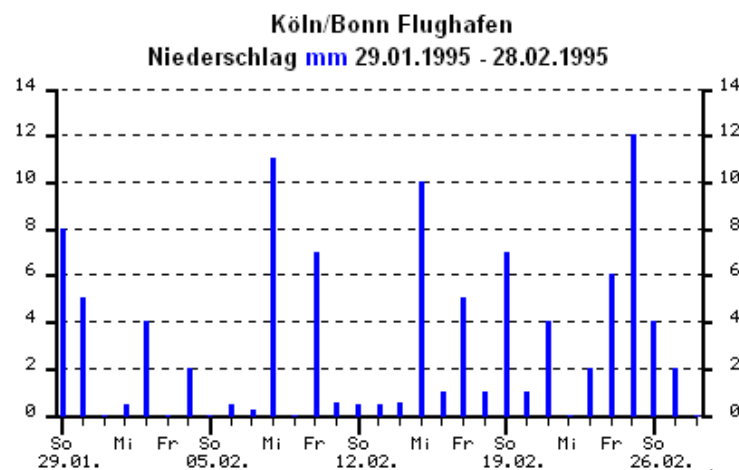
In dit rapport wordt er gekeken wat de capaciteit van de berging moet zijn om zoveel mogelijk water op te vangen van de piekafvoer. De hoogwaterpiek waarmee gerekend duurt ongeveer drie dagen. Voor het bepalen of de waterberging effectief is tegen het hoogwater kunnen daarom enkele waarden, die niet veel betekenen in een dergelijke korte periode, verwaarloosd worden.

De waterstromen van de kwel/infiltratie en de verdamping is erg langzaam. In de drie dagen waarmee er gerekend wordt zijn deze waarden daarom verwaarloosbaar.

Een andere waarde wat verwaarloosd wordt in deze fase is de verdamping. De hoogwaterpieken komen voor in natte periodes waardoor de neerslag de verdamping overheerst.

Een andere waarde die verwaarloosbaar is, is de neerslag. Hoewel deze de verdamping overheerst, is deze waarde altijd nog vrij klein. In figuur 5 is te zien dat er tijdens de hoogwaterpiek geen extreme neerslagen hadden plaatsgevonden in Keulen. De neerslagen die de piek veroorzaakte vonden stroom opwaarts plaats.

De waarden van de neerslag tussen Bonn en Keulen zijn terug te vinden op de website van wetteronline.de. In figuur 9 is er te zien dat we in drie dagen slechts over waarden hebben van enkele millimeters tot 1-2 centimeters.



Figuur 8: De neerslagen in 1995 tijdens het hoogwater

Inlaat/bemaling

De inlaat is een door de mens regelbare waterstroom in de berging. Door water in de berging te laten wordt de piekafvoer afgevlakt. Om te bepalen hoeveel water er ingelaten wordt moet er, zoals hierboven besproken is, gekeken worden naar de afvoergolf. De waterkeringen kunnen maximaal een afvoer van 11870 m³/s aan. Alles wat boven deze waarde zit moet in de berging gepompt worden voor een veilige situatie.

Naast de inlaat is ook de bemaling door de mens regelbaar. Er wordt hier echter niet mee gerekend. In dit rapport wordt er uitgegaan dat er met behulp van weervoorspellingen de berging tijdig leeggepompt kan worden totdat deze een geschikte capaciteit heeft om de afvoerpiek (gedeeltelijk) op te vangen.

Capaciteit gebied

De capaciteit van een gebied is afhankelijk van de oppervlakte en de diepte van de gebied. Daarnaast is het talud ook een belangrijke factor. Het gebied bestaat voornamelijk uit grof grind en zand. Bij deze materialen kan er gegraven worden met een talud van 1:3 tot 1:4. Voor de uiteindelijke berging of bypass worden er echter grotere talud gehandhaafd wat voor een beter leefmilieu zorgt bij de te realiseren woningen.

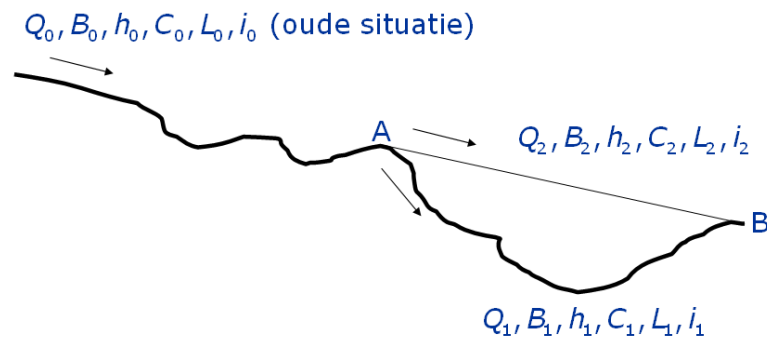
Om in de toekomstige hoogwaterproblemen volledig op te lossen (waarbij uitgegaan wordt dat de afvoeren met herhalingstijden van 1:100 tot 1:1000 met 8% zullen toenemen) zal er door de gebieden 201744000 m³ aan water geborgen moeten worden. (deze waarde is bepaald met behulp van figuur 7). Deze hoeveelheid water is te veel om opgevangen te worden in één gebied. Er zal daarom gewerkt worden met alternatieven waarin diverse gebieden met elkaar gecombineerd worden en vervolgens gekeken wordt welke van de alternatieven het meest in staat is om het wateroverschot (gedeeltelijk) op te vangen.

Bypass

Door een bypass aan te leggen wordt de hoofdgeul op een bepaald traject ontlast. Een bepaald percentage water van de hoofdgeul zal zich dan door de fysieke eigenschappen afsplitsen naar de bypass.

Hierboven is al besproken hoe er bepaald kan worden hoeveel water er door de bypass moet gaan voor een veilige situatie in de hoofdgeul. Het verschil ten opzichte van een berging is dat hier niet een bepaalde hoeveelheid kubieke meter water geborgen moet worden. Bij een bypass moet er een bepaald percentage afvoer van de hoofdgeul afgesplitst worden. In deze situatie moet er dus 950 m³/s (de 8% die boven op het huidige maximum komt) door de bypass stromen om het hoogwaterprobleem op te lossen.

Wanneer het percentage water dat door de bypass moet bekend is, is het van belang om de diepte te bepalen van de bypass. Om dit te berekenen kan de formule van het dictaat Inleiding Waterbeheer van Booij en Otter (2006) gebruikt worden. Het dictaat geeft de volgende situatie:



Figuur 9: Weergave situatie van de Rijn met een bypass

Tussen A en B wordt dan een nevengeul (of een bypass) aangelegd. Met de volgende formule kan dan berekend worden welke fractie van het watertransport via de nevengeul (of bypass) dient te verlopen om een bepaalde verlaging van de waterstand in de hoofdgeul te bereiken (de afleiding hiervan is te zien in bijlage 9):

$$h_2 = h_0 \xi^{2/3} \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{1/3} \left(\frac{B_1 C_1}{B_2 C_2} \right)^{2/3}$$

Hierin is ξ het percentage debiet dat zich van de hoofdgeul naar de bypass afsplitst.

De C in de formule is de Chézy-coëfficiënt, er geldt:

$$C = \sqrt{\frac{g}{c_f}}$$

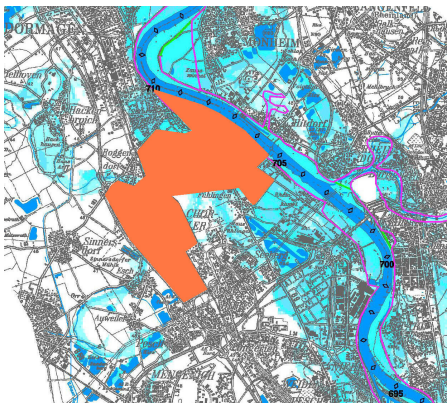
Ingenieur Gert Jan Akkerman, Senior adviseur Royal Haskoning, geeft aan dat deze formule een benadering is die alleen geldig is bij een zeer lange bypass, waarbij de evenwichtsdiepte in de hoofdgeul wordt bereikt. De uitkomst van deze formule moet gecorrigeerd worden met een correctiefactor. Deze is af te leiden uit gegevens van andere rivierverruimingsprojecten in de nabijheid (waarbij de waterstandsverlaging is doorgerekend met een rekenmodel). Indien deze gegevens niet beschikbaar zijn, moet een schatting worden gemaakt op basis van ervaring. Een belangrijke parameter daarbij is het verhang van de rivier ter plaatse. De afleiding/schatting van deze correctiefactor is te zien in bijlage 6.

Kort samenvattend betekent dit dus dat de bypass ervoor zorgt dat het debiet door de bypass afneemt. Met de Q/H kromme kan vervolgens bepaald worden wat dat in een evenwichtssituatie zou betekenen voor de rivier (bij een zeer lange bypass). Vervolgens moet hierop een correctie worden toegepast voor de beperkte lengte van de bypass

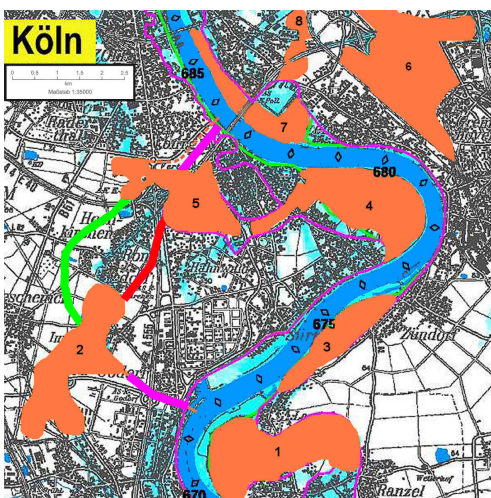
4. Alternatieven

Voor dit project zijn er een aantal gebieden door de Bürgerinitiative Hochwasser geselecteerd om te analyseren of deze geschikt zijn voor waterbergingen of bypass. Deze gebieden zijn enigszins aangepast op de wensen (en suggesties) van de Hochwasserschutzzentrale Köln en Smals. In dit hoofdstuk worden deze gebieden verder toegelicht. Allereerst zal er in dit hoofdstuk de resultaten van de analyse van de bergingsgebieden en bypasses weergegeven worden. Hierna wordt een overzicht gegeven van de samengestelde alternatieven.

In totaal zijn er negen gebieden beschikbaar voor het creëren van meer ruimte voor de rivier. Acht hiervan bevinden zich tussen Bonn en Keulen, en eentje ten noorden van Keulen. Deze gebieden zijn te zien in figuur 11 en 12. De gebieden in het oranje zijn de gebieden voor waterberging. De roze streep bij gebied 2 en 5 is de route van de bypass (zie bijlage 7 voor bepaling van de route van de bypass en bijlage 8 voor de fysieke eigenschappen hiervan).



Figuur 10: Gebied 9



Figuur 11: Gebied 1 tot en met 8 met de bypasses

Deze gebieden zijn met behulp van onder ander de kaarten van de *Atlas van het overstromingsgevaar en mogelijke schade bij extreem hoogwater van de Rijn*. Met deze kaarten wordt het duidelijk wat de gebruikersfuncties zijn van de gebieden. Daarnaast zijn er tijdens het analyseren ook gebruik gemaakt van Google Earth en een wandelkaart van het gebied tussen Keulen en Bonn.

Bij het bepalen van de capaciteit is er uitgegaan van een talud van 1:4 (gebaseerd op grondtype grind/zand). Verder is er in verband met tekort aan informatie over de grondwaterstand, er vanuit gegaan dat de berging niet meer dan drie meter water kan bergen. Voor de bypass is er vanuit gegaan dat de bypass een diepte heeft van drie meter.

In de onderstaande tabellen zijn de resultaten van de analyse weergegeven. Bij de afstand van het gebied tot de Rijn wordt de kortste afstand tot de Rijn gemeten waarbij het water niet door woonwijken hoeft te stromen om bij de berging te komen. In tabellen 1 en 2 worden de resultaten van de analyse van de bergingsgebieden weergegeven. In tabel 3 staan de resultaten voor de bypass. In bijlagen 6 en 7 staan respectievelijk gedetailleerd hoe de effecten van de bypasses en de waterbergingen bepaald zijn.

Tabel 1: Kwantitatieve gegevens bergingsgebieden

Gebied	Oppervlakte[m ²]	Omtrek [m]	Capaciteit totaal [m ³]	Afstand tot de Rijn [m]	Bij Rh-km	Waterhoogte na berging [m]	Waterstands-verlaging [m]
1	4062764	11358	12120146	0	669,5	11,80	0,03
2	3637464	11975	10840542	1570	671,5	11,77	0,06
3	1650207	7419	4906109	0	673	11,77	0,06
4	3864021	11480	11523183	0	677,0	11,75	0,08
5	2646810	9726	7882077	820	684,5	11,74	0,09
6	5005813	12954	14939715	2959	683,5	11,73	0,10
7	1680921	8666	4990766	0	682,0	11,73	0,10
8	590929	5813	1737909	1174	683,5	11,72	0,11
9	19126103,6	27648	57212423	0	705,2	11,58	0,25

Tabel 2: Kwalitatieve gegevens bergingsgebieden

Gebied	Gebruikersfuncties	Omliggende steden/dorpen
1	Landbouwgrond, campingplaats en strandbad	Langel en Lülldorf
2	Landbouwgrond en plassen	Meschenich, Rondorf, Immendorf en Berzdorf
3	Landbouwgrond, restaurant, zwemplaatsen en een tennisbaan	Langel en Zundorf
4	Landbouwgrond, natuurpark, minigolfbaan en restaurants	Rodenkirchen en Weis
5	Landbouwgrond, bebouwing, infrastructuur, golfbaan, tennisbaan en een botanische tuin	Rodenkirchen, Hahnwald, Marienburg en Raderhal
6	Landbouwgrond, plassen en spoorwegen langs de plas	Westhoven, Ensen, Germberghoven en Ostheim
7	Landbouwgrond, militairgebied/schietbaan	Poll en Ensen
8	Landbouwgrond, bebouwing en plassen	Gremberg
9	Landbouwgrond	Worringen, Fühlingen en Merkenich

Tabel 3: Kwantitatieve gegevens bypasses

Bypass	Begin [Rh-km]	Eind [Rh-km]	Lengte [m]	Breedte [m]	Diepte [m]	Chézycoëfficiënt [$m^{1/2}s^{-1}$]	Verhang
1	671,5	683,5	4846	50	3	45	0,0005
2	671,5	683,5	6287	50	3	45	0,0004

In het hoofdstuk 3 is er al besproken dat Rodenkirchen maximaal een waterhoogte van 11,3 m aan kan. Mocht er in de toekomst een afvoer optreden die overeenkomt met de hierboven gepresenteerde maatgevende afvoer, dan zal de waterstand bij de afvoerpiek met 0,53 meter verlaagd moeten worden. Zoals in tabellen 1 en 2 te zien is, is er geen één gebied in staat om voor deze waterstandsverlaging te zorgen. Het is daarom van belang om diverse gebieden met elkaar te combineren zodat de hoogwaterpiek zoveel mogelijk opgevangen wordt in de bergingen en/of bypass. In de onderstaande tabel staan deze alternatieven weergegeven. De alternatieven bestaan voornamelijk uit gebieden die samen genomen zijn omdat ze in de buurt van elkaar liggen.

Tabel 4: Opgestelde alternatieven

Alternatief	Combinatie	Waterstandsverlaging Rodenkirchen [m]	Waterstandsverlaging Keulen [m]
1	Bypass	0,13	0
2	Bypass, 2,5	0,13	0,12
3	9	0	0
4	1, 3	0,12	0,12
5	4, 5	0,13	0,13
6	6, 7, 8	0,14	0,14

Let op dat in de alternatieven slechts gesproken wordt over een bypass. Er wordt geen onderscheidt gemaakt tussen de twee. De reden hiervoor is dat het effect op de waterstand ten gevolge van beide bypasses vrijwel identiek zijn aan elkaar (zie bijlage 9).

De alternatieven drie tot en met zes bestaan alleen maar uit bergingsgebieden. Alternatief één bestaat uit een bypass en alternatief twee bestaat uit een bypass met bergingsgebieden.

5. Analyse methode

In dit onderzoek wordt er een aantal gebieden geanalyseerd voor het aanleggen van waterbergingen of bypass. Uiteindelijk is het de bedoeling dat er uit dit onderzoek een eerste idee ontstaat over de relatieve geschiktheid van de alternatieven voor het oplossen van de toekomstige hoogwaterproblemen bij Rodenkirchen.

Om een juiste keuze te maken is het van belang dat de verschillende alternatieven op een juiste methode overzichtelijk gerangschikt worden. Bij deze rangschikking moet er gebruik gemaakt worden van zowel de kwantitatieve als de kwalitatieve criteria. De multi-criteria analyse is hiervoor een uitermate geschikte methode.

In dit hoofdstuk wordt de multicriteriamethoden uitgelegd die in dit onderzoek gebruikt gaat worden voor de rangschikking van de alternatieven. Nadat de methode bekend is, wordt er toegelicht welke programma er gebruikt wordt om deze multi-criteria analyse overzichtelijk uit te voeren.

Evamixmethode

Hellendoorn (2001) beschrijft de multicriteriamethoden met methodes die uitgaan van verschillende, expliciete beoordelingscriteria. De bijbehorende criteria kunnen in verschillende eenheden worden gemeten (denk bijvoorbeeld aan euro's en meters). Tevens kunnen zij in kwantitatieve of in kwalitatieve rangorders worden uitgedrukt. De scores kunnen met elkaar opgeteld worden.

Eén van de multicriteriamethoden is de Evamixmethode. Deze methode vormt een effectoverzicht waarin de effecten zowel kwantitatief als kwalitatief bepaald zijn. De kwalitatieve gegevens zijn hierin ordinaal gerangschikt.

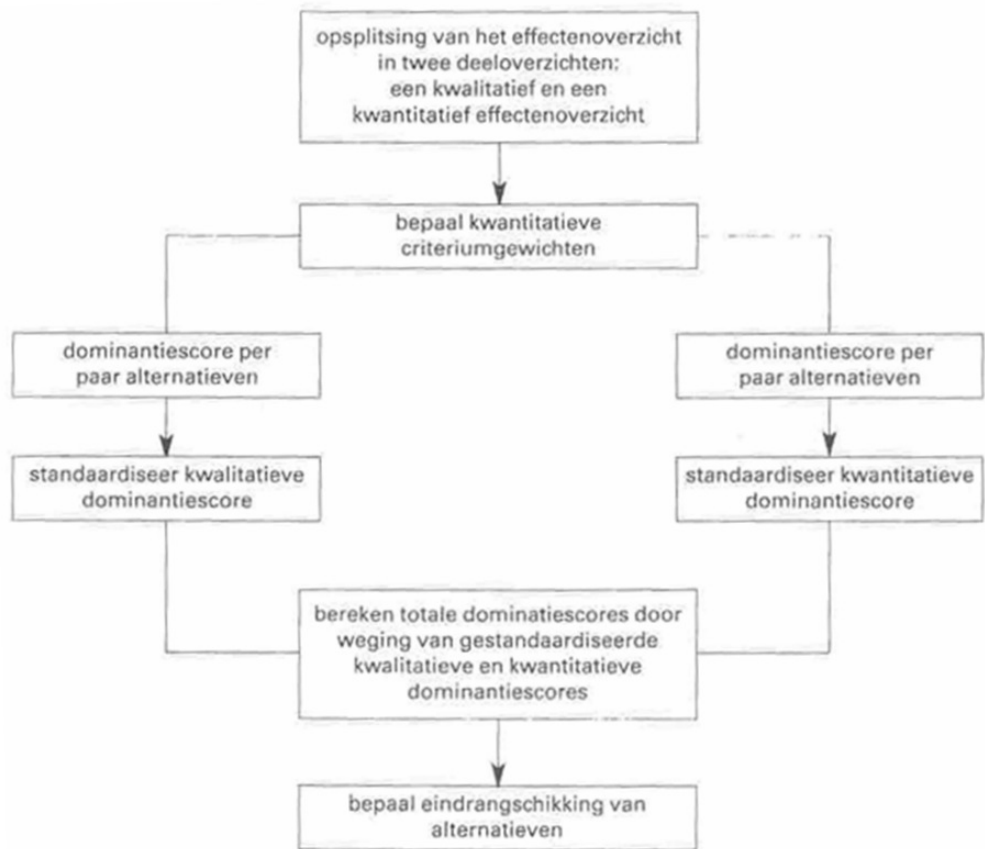
Een groot voordeel van deze methode is dat het simultaan met kwalitatieve en kwantitatieve scores kan werken. Daarnaast houdt deze methode expliciet rekening mee met de verschillen in de eindrangschikking als gevolg van methodische vooronderstellingen die vooral kunnen optreden als er met relatief omvangrijke effectenoverzichten wordt gewerkt.

In figuur 13 zijn de hoofdlijnen van de Evamixmethode te zien. Hier is er te zien dat de kwantitatieve en de kwalitatieve scores afzonderlijk worden behandeld.

BOSDA

Voor een overzichtelijke multi-criteria analyse kan er gebruikt gemaakt worden van de programma BeslissingsOndersteunend Systeem voor Discrete Alternatieven (BOSDA). Jansen en Herwijnen (2004) beschrijven het programma als een hulpmiddel voor het ontwikkelen, vergelijken en beoordelen van alternatieven. Het BOSDA computerprogramma is een gereedschapskist gevuld met verschillende typen multi-criteria methoden en kosten-baten analyse aangevuld met grafische presentaties.

In dit onderzoek wordt er met behulp van dit computerprogramma de alternatieven gerangschikt.



Figuur 12: De hoofdlijnen van de Evamixmethode. De scores worden gestandaardiseerd zodat niet het absolute verschil, maar het relatieve verschil beoordeeld wordt

6. Multi-Criteria Analyse

In dit hoofdstuk wordt de daadwerkelijke analyse uitgevoerd. Allereerst wordt er een overzicht gegeven van de opgestelde criteria. Dit geeft tevens ook een antwoord op de laatste deelvraag; “*Welke criteria kunnen er opgesteld worden voor het vergelijken, rangschikken en selecteren van de gebieden?*”. Met behulp van deze criteria wordt dan de multi-criteria analyse uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn dan te zien aan het einde van dit hoofdstuk.

Criteria

Voor het vergelijken en rangschikken van de alternatieven kunnen de volgende criteria opgesteld worden:

Tabel 5: Opgestelde criteria

Naam criterium	Weging	Eenheid
1. Beschikbare oppervlakte	3	m ²
2. Potentie stedenbouw	3	-
3. Mogelijkheden natuur en recreatie	3	-
4. Integratie met het huidige verkeersnetwerk	1	-
5. Behoud natuur	1	-
6. Conflict huidige gebruikersfunctie	2	-
7. Infrastructurele belemmeringen	2	-
8. Baten grind- en zandwinning	2	€
9. Waterstandsverlaging Rodenkirchen	5	m
10. Waterstandsverlaging Keulen	4	m
11. Flexibel voor onzekerheden	4	-
12. Verkeershinder	1	-
13. Hinder bewoners	2	-

Voor een toelichting op de opstelling van de criteria en de wegeningen hiervan kan er gekeken worden naar bijlage 11. Er moet op gelet worden dat de criteria vrij beperkt zijn. Er kunnen meerdere criteria opgesteld worden, maar deze zijn, door gebrek aan informatie, moeilijk te toetsen. De alternatieven zullen dan dezelfde scoren op deze extra criteria. Criteria die geen alternatieven kunnen onderscheiden kunnen dan net zo goed weggelaten worden.

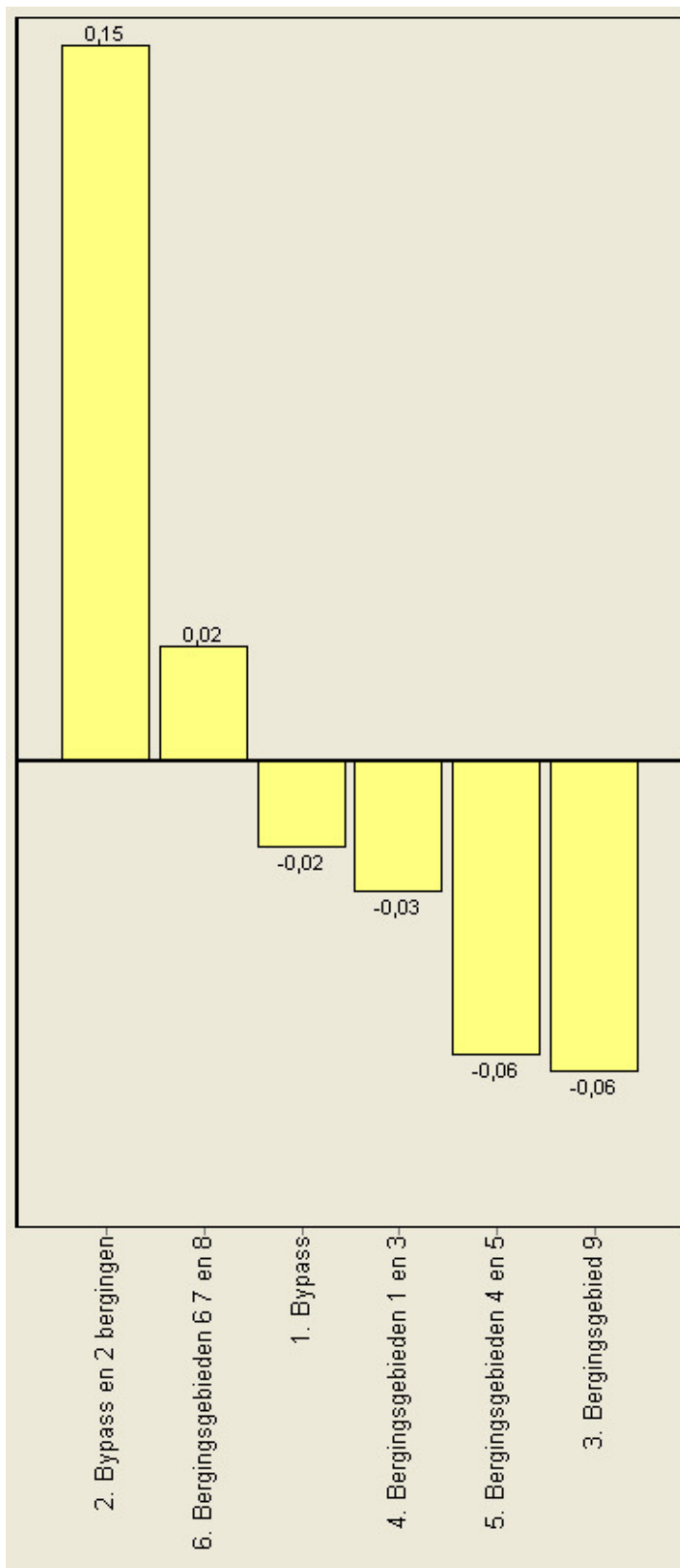
Analyse

Nadat de alternatieven geanalyseerd zijn kan er scores toegekend worden aan de alternatieven. De scores zijn te zien in de onderstaande tabel. Er moet op gelet worden dat bij de kwalitatieve criteria er een ordinale schaal is toegepast. In deze ordinale schaal is 1 de hoogste score en 5 de laagste. Toelichten op de toekenning van deze scores zijn terug te vinden in bijlage 12.

Tabel 6: Scores van de alternatieven

		Alternatief					
Naam criterium	Eenheid	1	2	3	4	5	6
1. Beschikbare oppervlakte	m ²	377666	6661940	19126104	5712971	6510831	7277663
2. Potentie stedenbouw	-	2	1	3	3	1	1
3. Mogelijkheden natuur en recreatie	-	1	1	2	2	3	3
4. Integratie met de huidige verkeersnetwerk	-	2	2	3	5	2	2
5. Behoud natuur	-	2	2	2	2	4	2
6. Conflict huidige gebruikersfunctie	-	2	2	1	4	4	1
7. Infrastructurele belemmeringen	-	4	5	1	1	3	4
8. Baten grind- en zandwinning	€	32125363	298922684	815277025	242624128	276524959	308774554
9. Waterstandsverlaging Rodenkirchen	m	0,13	0,13	0	0,12	0,13	0,14
10. Waterstandsverlaging Keulen	m	0	0,12	0	0,12	0,13	0,14
11. Flexibel voor onzekerheden	-	3	2	4	4	4	4
12. Verkeershinder	-	4	4	1	1	2	3
13. Hinder bewoners	-	4	5	3	3	5	5

Na de analyse met behulp van BOSDA worden de alternatieven als volgt gerangschikt:



Figuur 13: De resultaten van BOSDA

Uit deze resultaten volgt dat alternatief 2, het alternatief met een bypass die door bergingsgebieden 2 en 5 loopt, het best scoort op de criteria. In bijlage 13 zijn de gedetailleerdere resultaten (de score per criterium van de alternatieven) van BOSDA te zien.

7. Conclusie

In dit concluderende hoofdstuk wordt de conclusie gegeven door overzichtelijk de antwoorden op de hoofd- en deelvragen op een rijtje te zetten. Dit onderzoek kent de volgende deelvragen:

- *Met hoeveel waterstandverhoging tijdens de piekafvoeren zal er in de toekomst rekening gehouden moeten worden?*
- *Hoeveel water zal er opgevangen moeten worden door de bypass of de waterberging(en)?*
- *Welke criteria kunnen er opgesteld worden voor het vergelijken, rangschikken en selecteren van de gebieden?*

Hoofdstuk vier *Hydrologische voorwaarden* geeft een antwoord op de eerste deelvraag. Deze deelvraag is beantwoord met behulp van de geconstrueerde maatgevende afvoergolf. Uit deze golf blijkt dat er bij Rodenkirchen in de toekomst een piekwaterstand zal zijn van 11,83 m KP. De huidige maximale waterstand is nu 11,30 m. Er zal dus rekening gehouden moeten worden met een waterstandsverhoging van 0,53 m.

Het vierde hoofdstuk geeft tevens ook antwoord op de tweede deelvraag. Het antwoord van deze deelvraag is dat er 201744000 m³ aan water geborgen zal moeten worden bij een waterberging. Bij de bypass geldt dat deze een capaciteit moet hebben van 950 m³/s. De laatste deelvraag wordt beantwoord in hoofdstuk zeven *Multi-Criteria Analyse*. De volgende criteria kunnen opgesteld worden voor het vergelijken, rangschikken en selecteren van de gebieden:

Naam criterium
1. Beschikbare oppervlakte
2. Potentie stedenbouw
3. Mogelijkheden natuur en recreatie
4. Integratie met het huidige verkeersnetwerk
5. Behoud natuur
6. Conflict huidige gebruikersfunctie
7. Infrastructurele belemmeringen
8. Baten grind- en zandwinning
9. Waterstandsverlaging Rodenkirchen
10. Waterstandsverlaging Keulen
11. Flexibel voor onzekerheden
12. Verkeershinder
13. Hinder bewoners

Hoofdstuk zeven geeft ook antwoord op de hoofdvraag. Deze luidt:

Welke van de door de Bürgerinitiative Hochwasser geselecteerde gebieden zijn geschikt voor het creëren van meer ruimte voor de Rijn waardoor het een zo groot mogelijk bijdrage kan leveren aan het oplossen van de hoogwaterproblemen die ten gevolge van de klimaatverandering zullen optreden?

Uit de multi-criteria analyse van hoofdstuk zeven volgt dat alternatief 2, het alternatief met een bypass en de bergingsgebieden twee en vijf, het meest geschikte alternatief is om een zo groot mogelijk bijdrage te leveren aan het multifunctioneel oplossen van het toekomstige hoogwaterprobleem. Het antwoord is dus gebied twee en vijf, met als voorwaarde dat het water met een bypass naar de gebieden stroomt.

8. Fout discussie

Dit hoofdstuk behandelt kort een aantal onnauwkeurigheden in dit onderzoek. De onnauwkeurigheden komen al vroeg voor in dit onderzoek. Het onderzoek is gebaseerd op voorspellingen van het klimaat over 50 jaar. Een voorspelling over een dergelijke grote periode kan erg onnauwkeurig zijn. Er wordt hier slechts een aanname gedaan dat de gevonden literatuur een voorspelling geeft die werkelijk representatief is voor het toekomstige klimaat.

Andere onnauwkeurigheden komen door tekort aan informatie. Doordat er veel informatie niet beschikbaar is, is het nodig geweest om aannames te doen zodat er alsnog voortgang geboekt kan worden in het onderzoek. Een voorbeeld is de geografische analyse van de gebieden die geselecteerd zijn door de Bürgerinitiative Hochwasser. De meest gedetailleerde beschikbare mappen zijn slechts de mappen van Google Earth. Deze laten niet alle details zien. Voor een eventueel vervolgonderzoek zullen de volgende gegevens, voor een nauwkeuriger resultaat, beschikbaar moeten zijn:

- Het type grond op specifieke locaties;
- de grondwaterhoogte;
- gedetailleerdere kaarten waarin de gebruikersfuncties van de gebieden beter te zien zijn.

Het tekort aan informatie heeft ook effect op de resultaten. De resultaten zijn afhankelijk van de criteria. Een goed criterium moet in staat zijn om de alternatieven van elkaar te kunnen onderscheiden. Door gebrek aan informatie zijn sommige criteria buiten beschouwing gelaten omdat deze niet aan zijn onderscheidende functie voldoet door de beperkte informatie. Dit houdt dus in dat resultaten afhankelijk zijn van criteria, en de criteria van de hoeveelheid informatie. Als er meer informatie is, dan zijn er misschien ook andere resultaten. Kijk bijvoorbeeld naar gebied 9 (bij Worringen). Deze is als laatste gerangschikt in de multi-criteria analyse. Dit gebied is op zich erg groot en biedt veel mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik. Stroom neerwaarts kan het als waterberging ook positieve effecten hebben op de waterstand. Als er andere criteria zijn, zal het mogelijk kunnen zijn dat dit gebied hoger eindigt in de multi-criteria analyse.

9. Literatuur

Average weather for Cologne. Retrieved May 14, 2007, from <http://www.weather.com/weather/wxclimatology/monthly/graph/USMN0162?par=usatoday&site=>

Booij, M. & Otter, H. (2006). *Dictaat Inleiding Waterbeheer*. Enschede: Universiteit Twente.

Busch, N., Chojetzki U. en Engel H. (1996). *Bemessungswasserspiegel des Rheins zwischen Rolandswerth und der deutsch-niederländischen Grenze*. Germany: BFG

Commissie Gelderse Poort (2007). *Nieuwsbrief Groene Rivier Pannerden*. Nijmegen: Thoben Offset Nijmegen

Commissie Waterbeheer 21^e eeuw (2000). *Advies van Commissie Waterbeheer 21^e eeuw*. Retrieved February 22, 2007, from Nederland Leeft Met Water website: <http://www.nederlandleeftmetwater.nl/Waterbeleid-21ste-eeuw>

Dohmen-Janssen, C.M. & Vreugdenhil, C.B. (2004). *Water Collegedictaat*. Enschede: Universiteit Twente.

Fink, A. *The January 1995 flood in Germany: meteorological versus hydrological causes*. Retrieved May 14, 2007, from <http://www.meteo.uni-koeln.de/content/forschung/klimadiagnose/hochwasser.html>

Google Maps. Retrieved May 2, 2007, from <http://maps.google.com/>

Innovatie Netwerk (2007). *Bouwen aan nieuwe rivieren*. Nijmegen: Thoben Offset Nijmegen

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Retrieved April 23, 2007 from Intergovernmental Panel on Climate Change Web site: <http://www.ipcc.ch/pub/online.htm>

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (2001). *Atlas van het overstromingsgevaar en mogelijke schade bij extreem hoogwater van de Rijn*. München: Druckbetriebe Lettner KG

Köln/Bonn Flughafen Niederschlag. Retrieved may 25, 2007, from <http://www-de-7.wetteronline.de/>

KOMPASS (2006). *Wander – und Bikekarte Köln – Brühl Bonn – Ahrtal*. Germany: Horst-Hennek Rohlf's

Lammersen, R. (2004) *Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein*. Arnhem: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Maylor, H. (2003). *Project Management: third edition*. Great Britain: Prentice Hall.

Recreatie gebied 'Gouden Ham'. Retrieved Juli 5, 2007, from <http://www.goudenkust.nl/>

Royal Haskoning (2007). *Profiel Royal Haskoning*. Retrieved April 23, 2007, from http://www.royalhaskoning.nl/Royal_Haskoning/Corporate/nl-NL/About+RH/Profile/

Ruimte voor de rivieren (2005). *Milieueffectrapport Ruimte voor de Rivier*. Retrieved April 20, 2007 from Ruimte voor de Rivier Web site: http://www.ruimtevoorderivier.nl/index.asp?m_id=102

Universiteit Twente (2005). *Syllabus Kosten-Baten Analyse*. Enschede: Universiteit Twente.

Zevenbergen, C. (2006, April 4). Liever waterproof dan goedkoop. *Staatscourant*, 67(XV)

Bijlage

Bijlage 1: Onderzoeksstrategie	29
Bijlage 2: Mappen totale gebied	32
Bijlage 3: Hoogte waterbeschermingen Rodenkirchen.....	37
Bijlage 4: Maatgevende afvoergolf.....	38
Bijlage 5: Het construeren van de afvoerkromme	42
Bijlage 6: Bepaling correctiefactor	43
Bijlage 7: Bepaling route bypasses	44
Bijlage 8: Fysieke eigenschappen bypasses.....	45
Bijlage 9: Afleiding en berekening bypass	47
Bijlage 10: Bepaling effecten waterbergingen.....	50
Bijlage 11: Opgestelde criteria.....	52
Bijlage 12: Toekenning score	56
Bijlage 13: Multi-Criteria Analyse van BOSDA	62
Bijlage 14: Praktische voorbeelden	63

Bijlage 1: Onderzoeksstrategie

Om het onderzoek succesvol af te ronden moet er een aantal stappen uitgevoerd worden. Allereerst moet er een literatuuronderzoek uitgevoerd worden. Er moet gegevens verzameld worden over de door de Bürgerinitiative geselecteerde gebieden en over de Rijn. Daarnaast moeten er ook gegevens verzameld worden over de eisen en wensen van de betrokken actoren. Vervolgens moeten deze data geanalyseerd worden. Er moet dan criteria opgesteld worden waarin getoetst kan worden welke van de gebieden geschikt zijn voor het creëren van ruimte voor de rivieren. Ten slotte wordt er een praktische bypass of waterberging in de geschikte gebied(en) ontworpen.

Het onderzoek wordt dus in verschillende fasen verdeeld. In dit bijlage worden de activiteiten van deze fasen globaal toegelicht. Er wordt ook een globale planning gegeven waarin het duidelijk wordt in welke weken deze activiteiten uitgevoerd moeten worden.

Project in fasen

Het project kan globaal ingedeeld worden in een aantal fasen. Hieronder komen de verschillende fasen aan bod met daarbij de weken waarin deze fasen uitgevoerd worden.

Schrijven voorverslag

In overleg met mijn begeleider professor van de Veen is er afgesproken dat ik dit voorverslag in de eerste weken van mijn stage inlever. Dit is zo afgesproken omdat er nog vrij weinig informatie beschikbaar is over het project. Het voorverslag wordt daarom gerealiseerd in week 16 en week 17.

Idee vorming met actoren in Keulen

Op woensdag 18 april is er een bijeenkomst gehouden in Keulen met de actoren de Hochwasserschutzszentrale Köln en de Bürgerinitiative Hochwasser. Door deze bijeenkomst is het duidelijker geworden welke eisen en wensen de actoren hebben. Ook is het duidelijk geworden wat voor voorstellen de actoren hebben. Door deze bijeenkomst kan het voorverslag verder worden gespecificeerd. De vraag- en doelstelling kunnen dan concreet gedefinieerd worden.

Verzameling informatie

Door de bijeenkomst van 18 april zijn er contacten gelegd met diverse actoren. De voor het project benodigde informatie kunnen bij deze actoren verzameld worden. De informatie bestaat uit:

- De gegevens over de Rijn: De afvoergolf van 1993 en 1995 zijn van belang omdat dit een grote rol heeft gespeeld in de aanleiding van het gehele project. Naast de afvoergolf is het ook van belang om een afvoerkromme te construeren. Er zal ook informatie verzameld moeten worden van de profielen van de rivier bij de relevante plaatsen.
- De gegevens over de beschermingssystemen: Het is van belang om gegevens te verzamelen over de hoogtes van de bestaande dijken en andere permanente en mobiele beschermingssystemen omdat we hieruit af kunnen leiden wat de minimale restcapaciteit van de waterberging moet zijn.
- Gegevens over de gebieden: De Bürgerinitiative Hochwasser heeft een aantal gebieden tussen Keulen en Bonn geselecteerd voor het realiseren van waterbergingen. Er zullen gegevens verzameld moeten worden van onder ander de ligging, het huidige bodemgebruik en de oppervlakte van deze gebieden.

Daarnaast is het ook handig als de gegevens over de bodem verzameld wordt voor de eventuele zand- of grindwinning tijdens de aanleg van de berging of bypass. Behalve informatie van de actoren moeten er ook informatie verzameld worden over de mogelijkheden voor het multifunctionele gebruik van de berging. Er zal bijvoorbeeld informatie verzameld moeten worden over de minimale waterstand in de berging voor de drijvende woningen. Voor de verzameling van de gegevens zijn week 17 tot en met 19 voor ingepland.

Bewerken verzamelde informatie

De gegevens die verzameld zijn moeten bewerkt worden. Neem bijvoorbeeld de afvoergolf van 1993 of 1995. Deze afvoergolf is van het verleden. In de toekomst zal er nog rekening gehouden moeten worden met de klimaatverandering. Het is daarom van belang om deze gegevens te bewerken zodat ze representatief zijn voor de toekomst. Daarnaast moet er tijdens de bewerking de strijdigheden van de gegevens geanalyseerd en/of geïnterpreteerd worden. Op basis van de gegevens kunnen er dan in het vervolg berekeningen uitgevoerd worden waarin het duidelijk wordt wat de capaciteit van de ideale berging of bypass moet zijn. Voor het bewerken van de verzamelde informatie zijn week 18 tot en met 20 ingepland.

Opstellen voorwaarden en criteria

Uit de verzamelde gegevens moeten voorwaarden opgesteld worden voor de waterbergingen en bypass. Daarnaast moeten er ook criteria opgesteld worden waarmee de verschillende (door de Bürgerinitiative Hochwasser geselecteerde) gebieden getoetst en gerangschikt kunnen worden op de geschiktheid voor het aanleggen van multifunctionele waterbergingen of bypass. Voor het opstellen van de randvoorwaarden en de criteria is week 21 ingepland.

Toetsing gebieden

Met de opgestelde criteria kunnen de gebieden getoetst en gerangschikt worden. Er zal dan één of meerdere geschikte gebieden gevonden worden voor het aanleggen van de waterberging of de bypass. Voor het uitvoeren van deze fase zijn week 22 tot en met 24 ingepland.

Uitwerking waterberging of bypass

Wanneer de juiste locaties gevonden zijn kan er begonnen worden met het verder uitwerken van de verkozen oplossingen en het formuleren van aanbevelingen voor toekomstige (vervolg)onderzoeken. Voor deze activiteiten zijn de weken 25 tot en met 26 ingepland. Er moet dan praktisch uitgewerkt worden hoe de verschillende functies van de berging of de bypass praktisch gecombineerd kan worden.

Rapportage

Wanneer het ontwerp af is moet alles overzichtelijk in een rapport komen. In week 27 wordt de concrete versie gerealiseerd waarop de actoren hun feedback kunnen geven. In week 28 is dan ten slotte de definitieve versie afgerond.

Het balkenplan

In deze paragraaf wordt de planning van het onderzoek in een balkenplan weergegeven. De activiteiten staan chronologisch van boven naar beneden geordend. Het balkenplan loopt tot 16 juli 2007. Dit is de einddatum van de stage bij Royal Haskoning.

Id	Taaknaam	Begindatum	Einddatum	Duur	apr 2007			mei 2007				jun 2007				jul 2007	
					15-4	22-4	29-4	6-5	13-5	20-5	27-5	3-6	10-6	17-6	24-6	1-7	8-7
1	Start stage	16-4-2007	16-4-2007	1c													
2	Schrijven voorverslag	16-4-2007	27-4-2007	2w													
3	Idee vorming met actoren in Keuler	18-4-2007	18-4-2007	1c													
4	Verzameling informatie	23-4-2007	1-5-2007	3w													
5	Bewerken verzamelde informatie	30-4-2007	18-5-2007	3w													
6	Opstellen voorwaarden en criteria	21-5-2007	25-5-2007	1w													
7	Toetsing gebieden	28-5-2007	15-6-2007	3w													
8	Uitwerking waterberging of bypass	18-6-2007	29-6-2007	2w													
9	Rapportage concreet	2-7-2007	6-7-2007	1w													
10	Rapportage definitief	9-7-2007	13-7-2007	1w													
11	Eind stage	16-7-2007	16-7-2007	1c													

Figuur 14: Het balkenplan

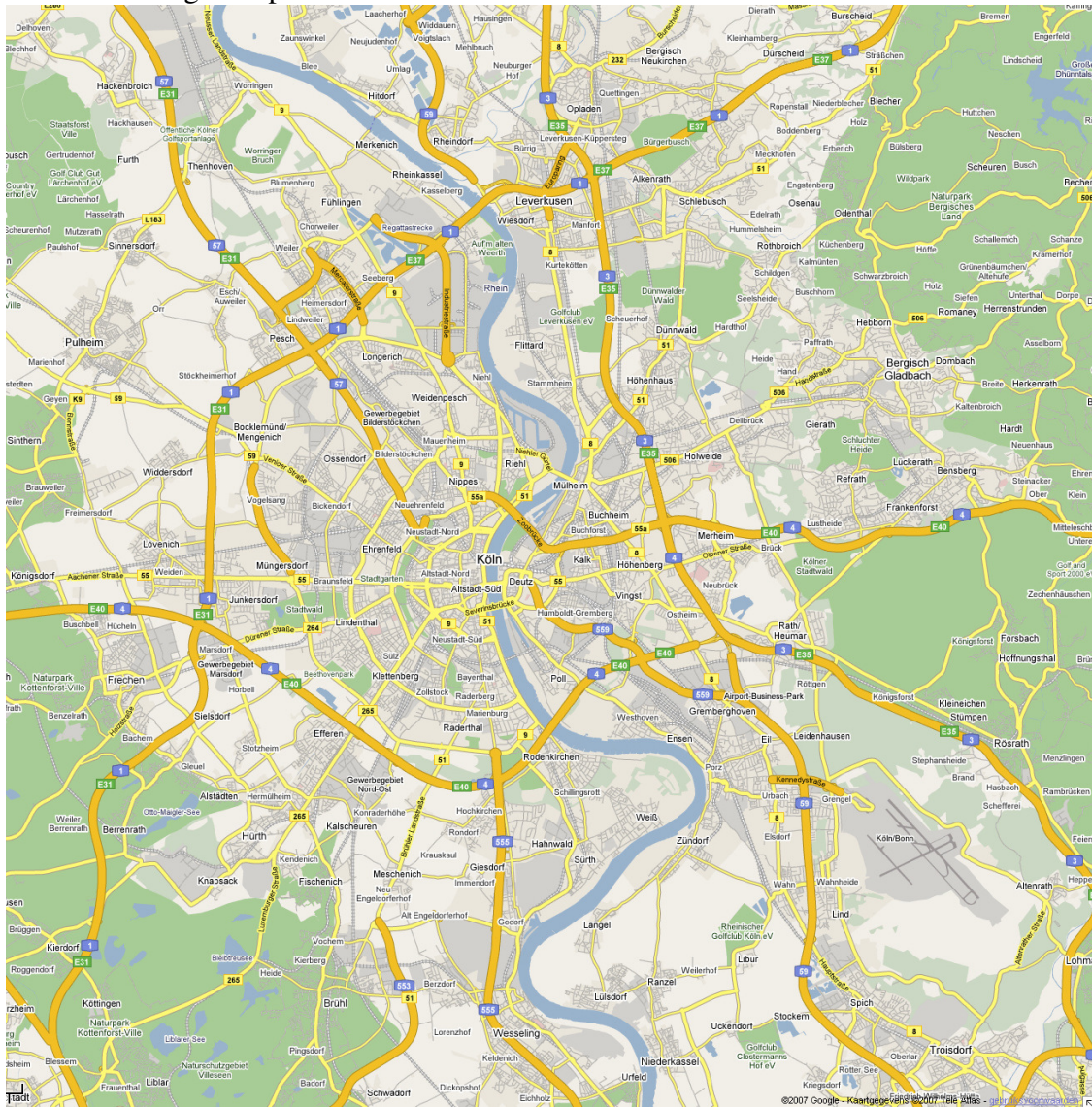
Bijlage 2: Mappen totale gebied

In deze bijlage staan een aantal mappen van het totale gebied van dit onderzoek. De eerste is een satelliet foto van het gebied. De tweede is een kaart waarin het duidelijk wordt wat voor wegen er allemaal door het gebied lopen. De derde kaart is een wandelkaart. De vierde kaart is afkomstig van de Atlas van het overstromingsgevaar en mogelijke schade bij extreem hoogwater van de Rijn. Deze kaart toont globaal de gebruikersfuncties van bepaalde gebieden.

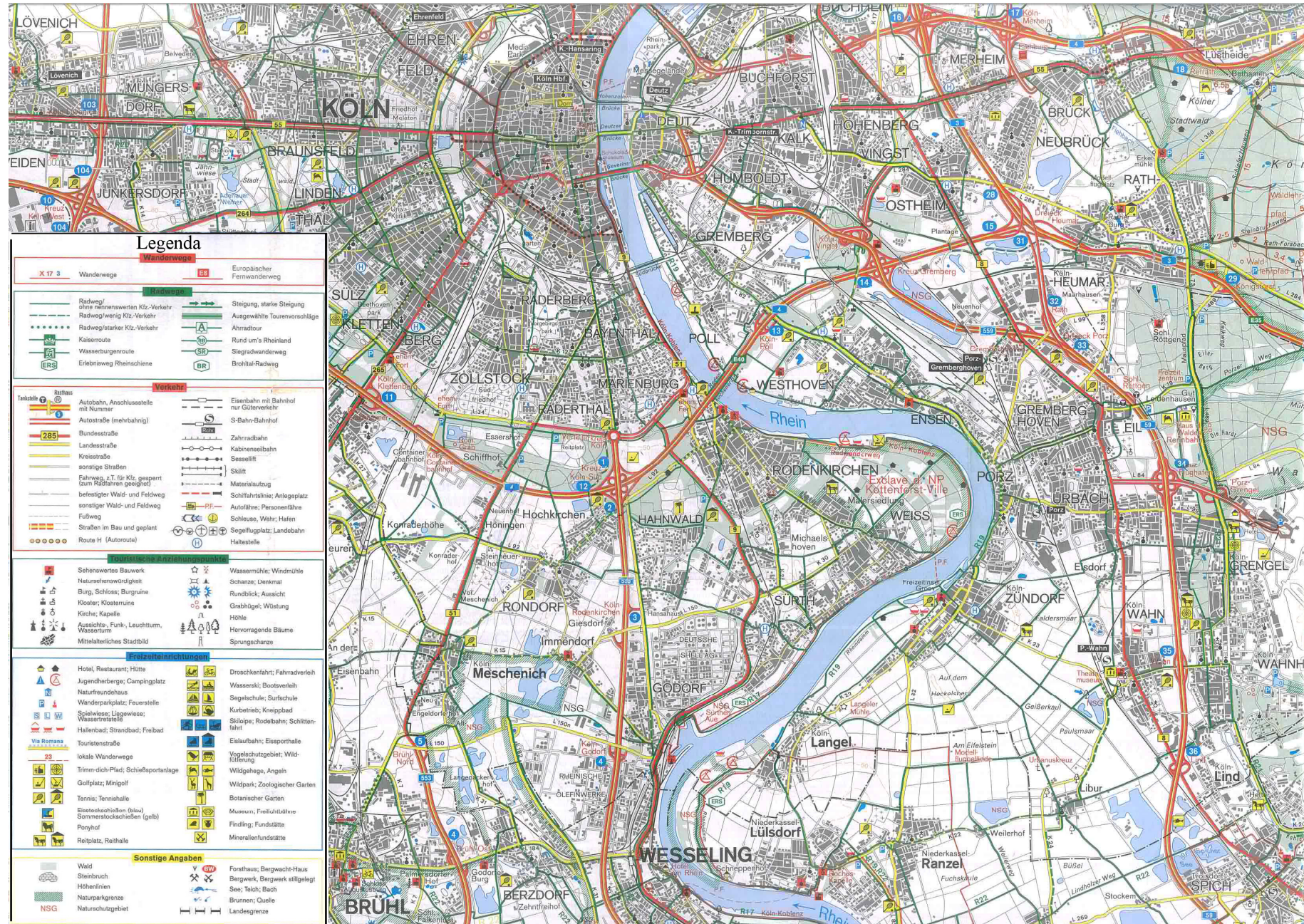
Satellietfoto van het gebied



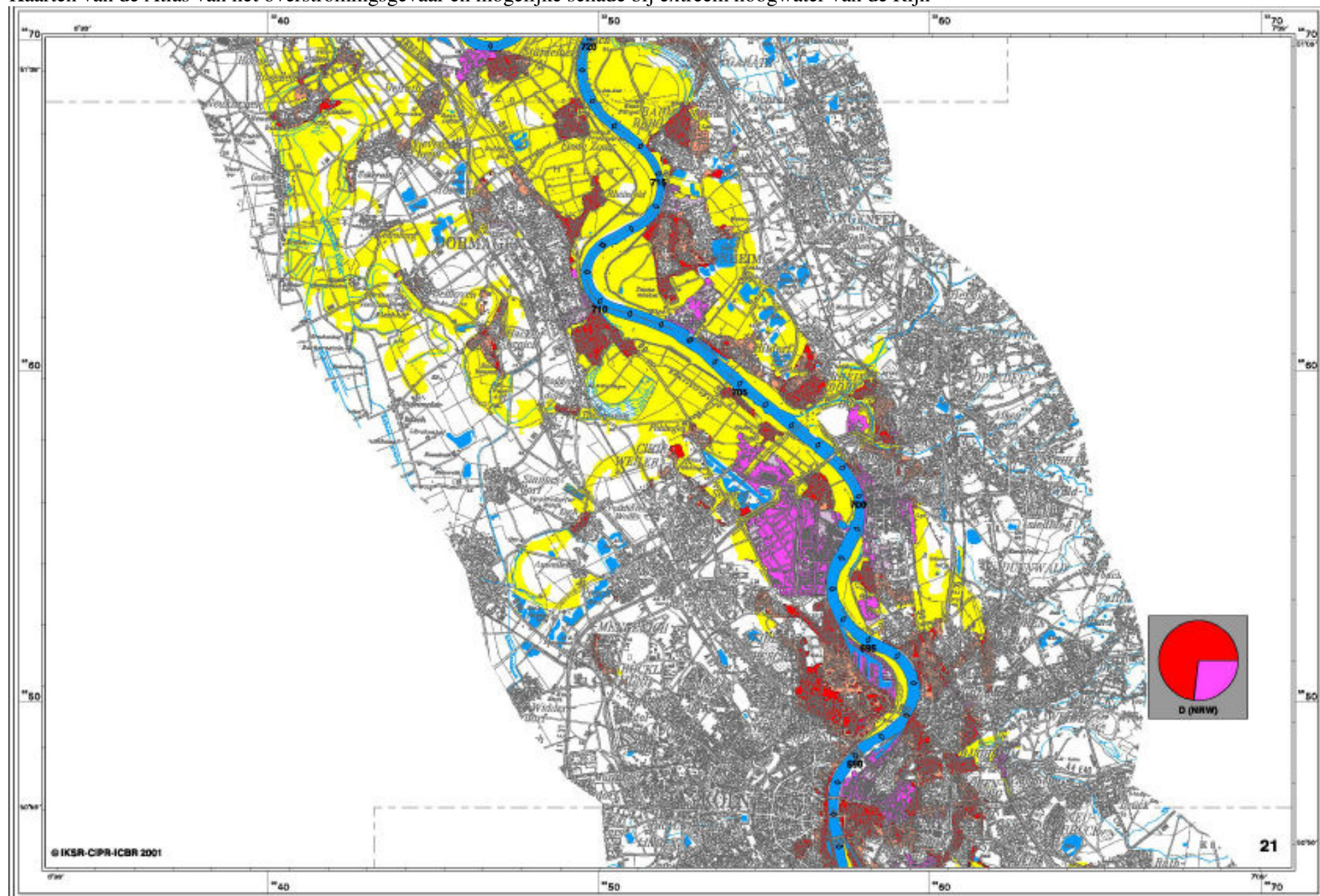
Kaart van Google Maps

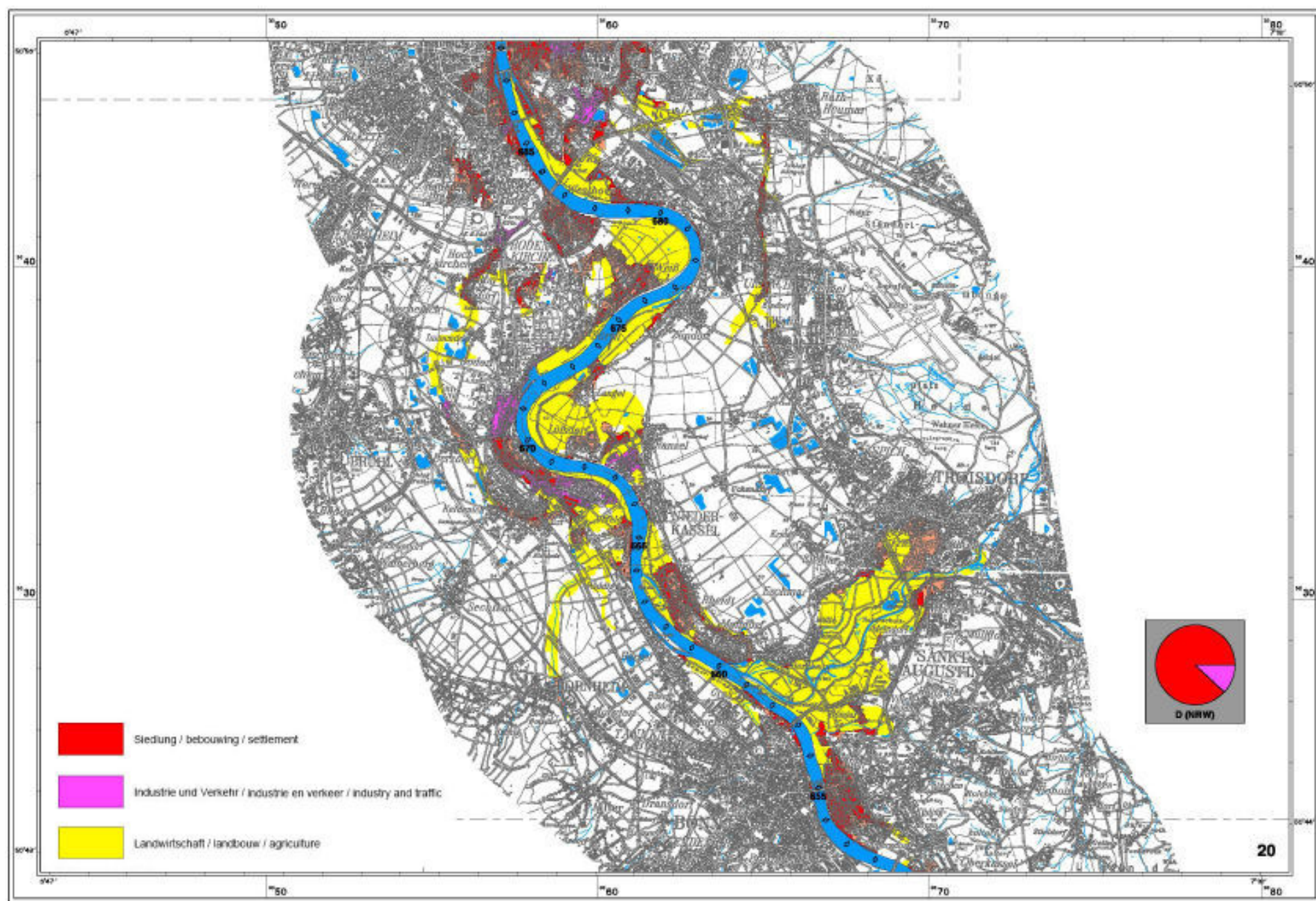


Wandelkaart



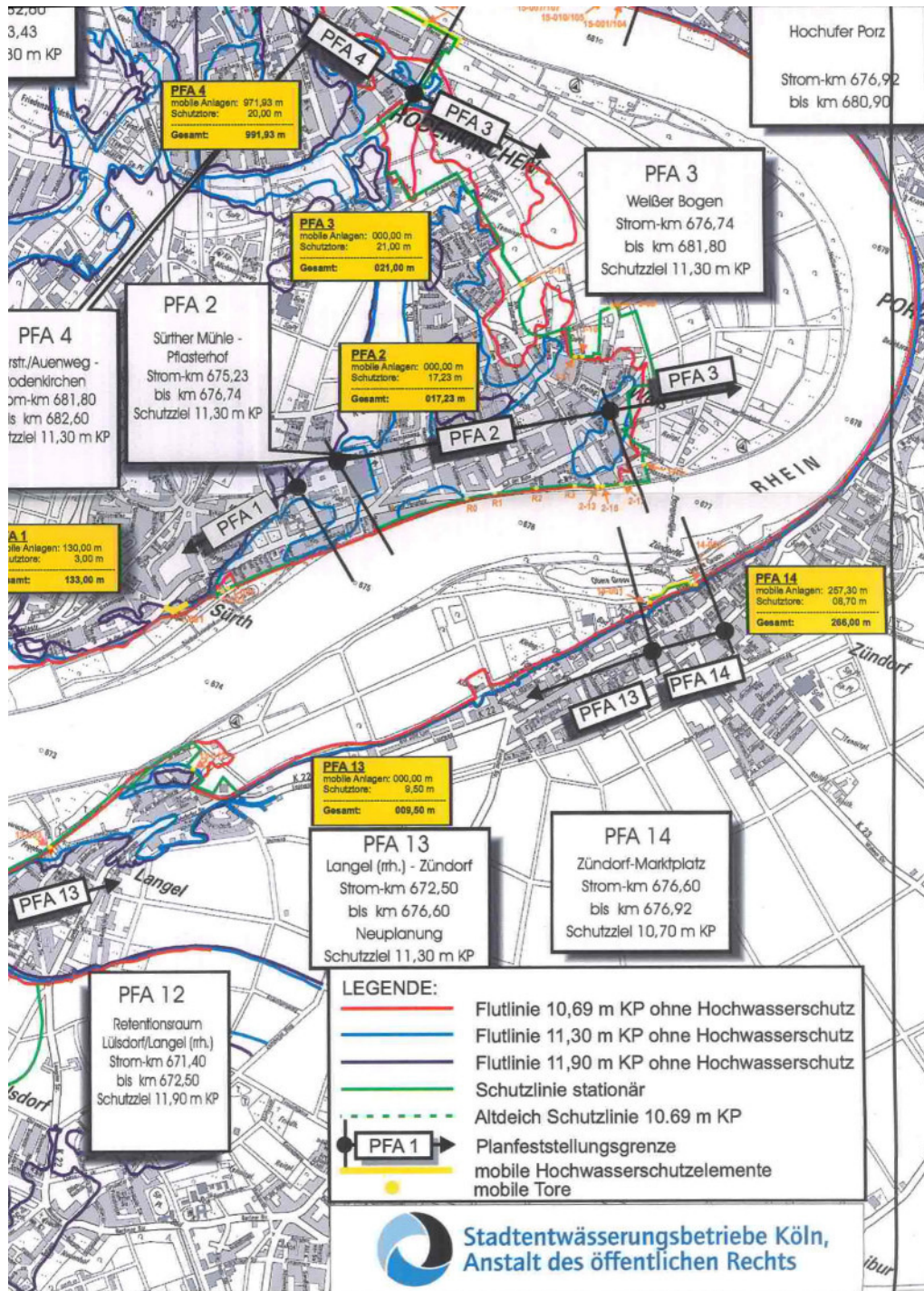
Kaarten van de Atlas van het overstromingsgevaar en mogelijke schade bij extreem hoogwater van de Rijn





Bijlage 3: Hoogte waterbeschermingen Rodenkirchen

In deze bijlage is een figuur te zien waarin duidelijk wordt hoe hoog de waterkeringen zijn bij Rodenkirchen.

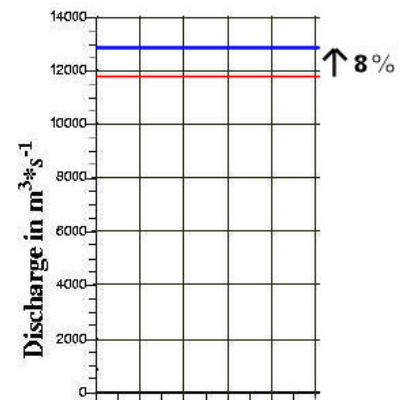


Bijlage 4: Maatgevende afvoergolf

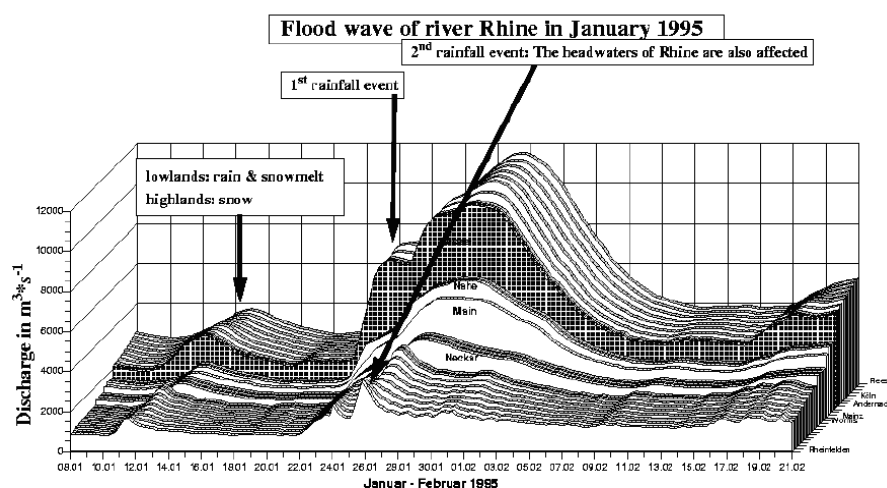
In dit project is het van belang om met een maatgevende afvoergolf te werken die representatief is voor de toekomstige situatie in Rodenkirchen en Keulen. Deze maatgevende afvoergolf wordt als volgt geconstrueerd:

1. Allereerst zal er bepaald moeten worden wat de maximale afvoer is bij Rodenkirchen. Uit de kaarten met de hoogtes van de waterbescherminingen tussen Keulen en Bonn wordt het duidelijk dat de waterkeringen bij Rodenkirchen water met een hoogte van 11,30 m KP kan keren. Met behulp van de Q-h relatie uit de rapportage van Busch, Chojetzki en Engel (1996) kan er afgeleid worden dat de maximale afvoer 11870 m³/s is.

2. De huidige normen van de waterkeringen die gebaseerd zijn op een herhalingsjijd van 1:100 jaar kunnen een afvoer van 11870 m³/s aan. Er moet echter ook rekening gehouden worden met de klimaatverandering. Uit het onderzoek van Middelkoop et. al. wordt er verwacht dat afvoeren met herhalingsjijden van 100 tot en met 1000 jaar in het 2050 met 5-8% toeneemt. Dit houdt dus in dat wanneer Rodenkirchen in de toekomst dezelfde veiligheidsnorm wilt handhaven, er rekening gehouden moet worden met een afvoer van $11870 + 8\% = 12820$ m³/s.



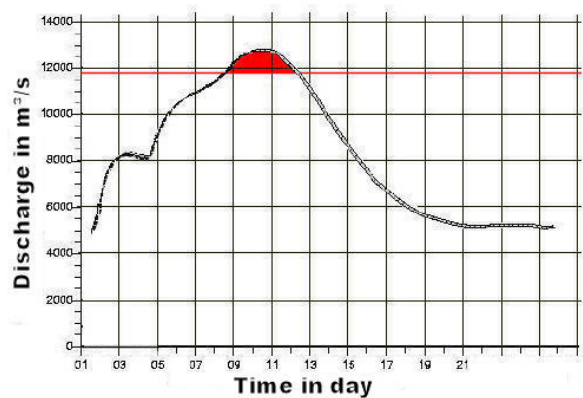
3. Het is nu duidelijk dat de piek van de maatgevende afvoergolf gelijk is aan 12820 m³/s. Er is echter nog geen vorm aanwezig. Voor de vorm kan er gekeken worden naar de afvoergolf van januari-februari 1995. Deze afvoergolf zorgde toen voor een overstroming en is daarom een mogelijke vorm voor een afvoergolf bij hoogwater.



January - February 1995

4. Om uiteindelijk de maatgevende afvoergolf te krijgen moet de piek van de afvoergolf van 1995 gelijk gesteld worden aan 12820 m³/s. De maatgevende afvoergolf ziet er dan als volgt uit:

In deze figuur is de deel van de golf die de huidige waterkeringen overschrijdt in rood weergegeven.



In de onderstaande tabel staan de numerieke gegevens van de afvoergolf. In de grafiek van de maatgevende afvoergolf wordt voor tijd de eenheid “dag” gebruikt. In de tabel is er een fijnere eenheid gebruikt, hier worden de gegevens per uur gegeven.

De gegevens van de tabel beginnen vanaf het moment dat de afvoergolf 11870 m³/s overschrijdt. In de eerste kolom wordt de tijd gegeven, de tweede kolom de afvoer die op dat moment plaats, de derde kolom de hoeveelheid water per seconde dat 11870 m³/s overschrijdt en in de laatste kolom de hoeveelheid water dat er in dat uur geborgen zal moeten worden.

Uur	Afvoer [m ³ /s]	Overschot [m ³ /s]	Water [m ³]
0	11870	0	0
1	11924	54	193500
2	11978	108	387000
3	12031	161	580500
4	12085	215	774000
5	12139	269	967500
6	12193	323	1161000
7	12246	376	1354500
8	12300	430	1548000
9	12308	438	1578000
10	12317	447	1608000
11	12325	455	1638000
12	12333	463	1668000
13	12342	472	1698000
14	12350	480	1728000
15	12358	488	1758000
16	12367	497	1788000
17	12375	505	1818000
18	12383	513	1848000
19	12392	522	1878000

20	12400	530	1908000
21	12425	555	1998000
22	12450	580	2088000
23	12475	605	2178000
24	12500	630	2268000
25	12525	655	2358000
26	12550	680	2448000
27	12575	705	2538000
28	12600	730	2628000
29	12625	755	2718000
30	12650	780	2808000
31	12675	805	2898000
32	12700	830	2988000
33	12710	840	3024000
34	12720	850	3060000
35	12730	860	3096000
36	12740	870	3132000
37	12750	880	3168000
38	12760	890	3204000
39	12770	900	3240000
40	12780	910	3276000
41	12790	920	3312000
42	12800	930	3348000
43	12810	940	3384000
44	12820	950	3420000
45	12810	940	3384000
46	12800	930	3348000
47	12790	920	3312000
48	12780	910	3276000
49	12770	900	3240000
50	12760	890	3204000
51	12750	880	3168000
52	12740	870	3132000
53	12730	860	3096000
54	12720	850	3060000
55	12710	840	3024000
56	12700	830	2988000
57	12692	822	2958000
58	12683	813	2928000
59	12675	805	2898000
60	12667	797	2868000
61	12658	788	2838000
62	12650	780	2808000

← Piek afvoer

63	12642	772	2778000	
64	12633	763	2748000	
65	12625	755	2718000	
66	12617	747	2688000	
67	12608	738	2658000	
68	12600	730	2628000	
69	12583	713	2568000	
70	12567	697	2508000	
71	12550	680	2448000	
72	12533	663	2388000	
73	12517	647	2328000	
74	12500	630	2268000	
75	12483	613	2208000	
76	12467	597	2148000	
77	12450	580	2088000	
78	12433	563	2028000	
79	12417	547	1968000	
80	12400	530	1908000	
81	12334	464	1669500	
82	12268	398	1431000	
83	12201	331	1192500	
84	12135	265	954000	
85	12069	199	715500	
86	12003	133	477000	
87	11936	66	238500	
88	11870	0	0	+
		Totaal:	201744000	m ³

Bijlage 5: Het construeren van de afvoerkromme

Voor het construeren van de afvoerkromme worden de gegevens van de rapportage van Busch, Chojetzki en Engel (1996) gebruikt. Voor Rodenkirchen (Bij Rijnkilometer 681,5) wordt de volgende Q-h relatie gegeven:

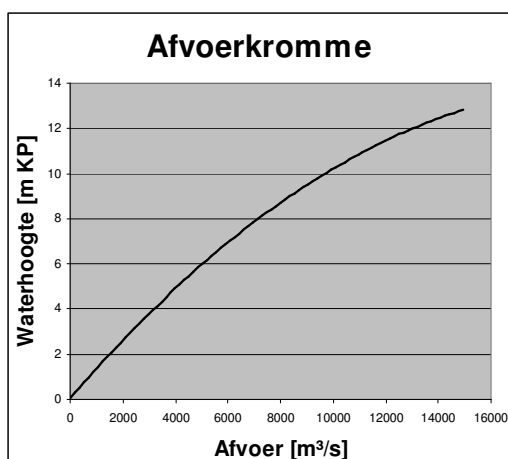
Rh-km 681,5	
Afvoer [m^3/s]	Hoogte NN + m [m]
6900	44,24
7450	44,66
7970	45,04
8470	45,41
8970	45,75
9470	46,1
9950	46,4
10410	46,7
10900	47,01
11330	47,28
11870	47,58
12400	47,87
12870	48,14
13370	48,41
13850	48,68
14350	48,94
14950	49,27

De Q-h relatie waarin de hoogte de eenheid Normal Null + m heeft.

Rh-km 681,5	
Afvoer [m^3/s]	Hoogte KP [m]
6900	7,96
7450	8,38
7970	8,76
8470	9,13
8970	9,47
9470	9,82
9950	10,12
10410	10,42
10900	10,73
11330	11
11870	11,3
12400	11,59
12870	11,86
13370	12,13
13850	12,4
14350	12,66
14950	12,99

De Q-h relatie waarin de hoogte de eenheid m Köln Pegel heeft.

Uit de bovenstaande tabellen is dan de volgende afvoerkromme te construeren:



Bijlage 6: Bepaling correctiefactor

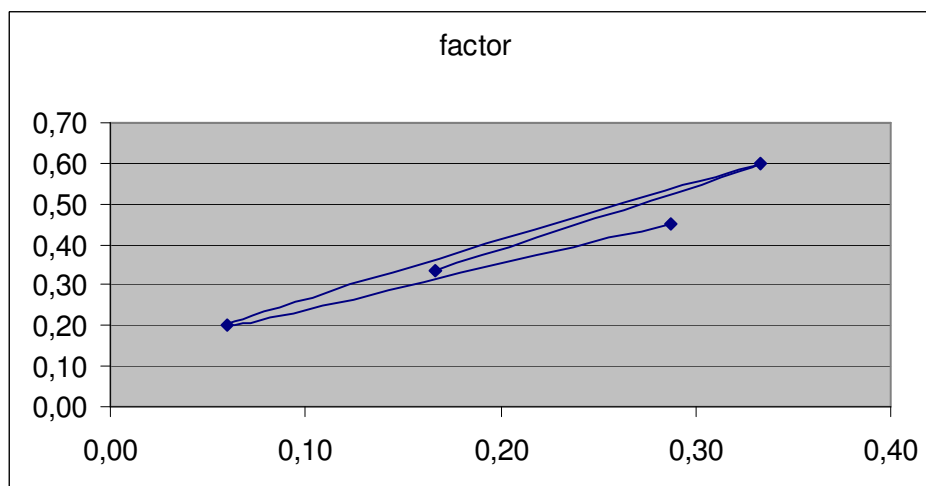
De formule $h_2 = h_0 \xi^{2/3} \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{1/3} \left(\frac{B_1 C_1}{B_2 C_2} \right)^{2/3}$ zal gecorrigeerd moeten worden met een factor.

Deze factor kan bepaald worden met behulp van data van andere rivierverruimingsprojecten in de nabijheid. De data is te zien in de onderstaande tabel:

Rendementen bij korte lengte bypass

	km	factor
Maas HR Waard	0,17	0,33
Maas Ooijen-W	0,33	0,60
Meinerswijk	0,06	0,20
Veesen-Wapenv	0,29	0,45

Deze kunnen uitgezet worden in een grafiek. We weten dat de Rijn tussen het begin en het einde van de bypass 1200 m lang is. Door te extrapoleren krijgen we dan de volgende waarde:



De correctiefactor voor de bypass tussen Keulen en Bonn is ongeveer 0,6.

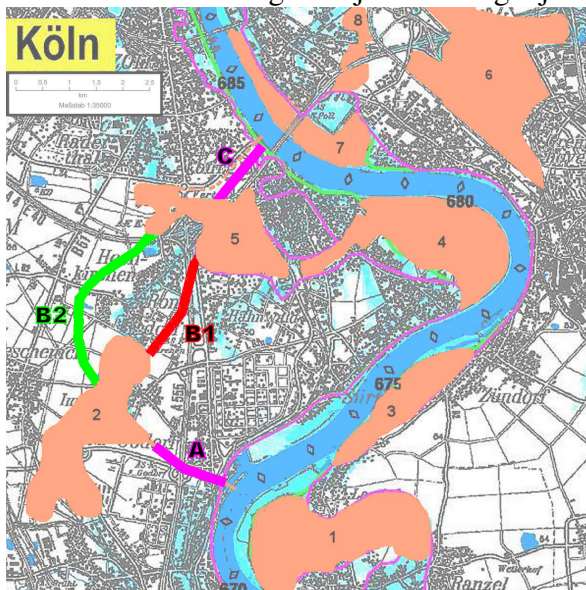
Bijlage 7: Bepaling route bypasses

De bypass wordt op een locatie aangelegd zodat deze (gedeeltelijk) de hoogwaterproblemen van Rodenkirchen kan oplossen. Het begin van de bypass, waar het water van de Rijn instroomt, moet stroomopwaarts van Rodenkirchen plaatsvinden. Het water moet stroom neerwaarts van Rodenkirchen er weer uit stromen.

Bij het bepalen van de route van deze bypass is er vanuit gegaan dat de bypass door lege gebieden stroomt. Bebouwde gebieden worden zoveel mogelijk vermeden omdat de bebouwing de ruimte voor het realiseren van de bypass beperken.

Bij het bepalen van de route is er verder ook gekeken of het mogelijk is om de bypass te combineren met de bergingsgebieden. Als dit mogelijk is hoeft er voor deze gebieden niet meer apart waterwegen of buizen aangelegd worden om het overtollige water hiernaartoe af te voeren. Bovendien heeft de bypass door de combinatie met de bergingen ook stroomafwaarts positieve effecten op de waterstand.

In de onderstaande figuur zijn twee mogelijke alternatieven te zien van de bypass:



Deze twee alternatieven zijn bijna identiek aan elkaar. Het verschil zit in het middentraject. De bypass met het rood gekleurde midden traject is het korte alternatief. De bypass met het groen gekleurde middentraject is de wat langere alternatief:

Beide bypass' beginnen bij Rijnkilometer 671,5 en stroomt langs een autoweg naar bergingsgebied 1. Bij bergingsgebied 1 gaan ze allebei via een andere route naar bergingsgebied 5. Vanaf bergingsgebied 5 stroomt het weer richting de Rijn. De bypass' komen samen met de Rijn bij Rijnkilometer 683,5.

Bijlage 8: Fysieke eigenschappen bypasses

De bypasses kent een aantal fysieke eigenschappen. In deze bijlage worden deze eigenschappen verder toegelicht.

Door gebrek aan informatie zijn er een aantal aannames gedaan voor deze fysieke eigenschappen. Ook deze aannames worden in deze bijlage verder uitgelegd.

Lengte

Bij het bepalen van de lengtes de bypasses is het van belang dat alleen de effectieve lengte meegenomen wordt; dit houdt dus in de lengte waar het water daadwerkelijk door de bypass stroomt. Zoals in bijlage 7 te zien is, stromen de bypasses ook door twee waterbergingen. In de waterberging heeft het water geen verhang. Het water staat in principe stil. De waterberging kan hierdoor gezien worden als een plas/meer die geen weerstand biedt. De effectieve lengtes van de bypasses is daarom de totale afstand van de bypass minus de afstand dat water door de berging stroomt.

De lengtes van de korte en lange alternatieven zijn respectievelijk 4846 en 6287 meter.

Breedte

Voor de breedte wordt er vanuit gegaan dat op ieder plaats van de bypass de breedte gelijk is. De breedte wordt bepaald door het smalste gedeelte waar de bypass stroomt. Bij het begin van de bypass, bij Rijnkilometer 671,5, is er ongeveer 50 meter beschikbaar voor de bypass. De breedte van de bypass is daarom 50 meter.

Verhang

Het verhang van de bypass is afhankelijk van het verhang van de Rijn. Op de punten waar het water in en uit de bypass stroomt, is de waterstand gelijk aan de hoofdgeul.

Met behulp van de waterhoogtes uit de rapportage van Busch, Chojetzki en Engel (1996) is er bepaald dat het verval van de Rijn tussen Keulen en Bonn ongeveer $2 \cdot 10^{-4}$. Er is dus een verval van 20 centimeter per kilometer. Omdat de lengte van de bypass bekend is kan ook het verhang hiervan bepaald worden. Voor de korte variant geldt:

$$i_{bypass1} = \frac{l_{Rijn} * i_{Rijn}}{l_{Bypass1}} = \frac{12000 * 0,0002}{4846} = 0,0005$$

Voor de lange variant geldt:

$$i_{bypass2} = \frac{l_{Rijn} * i_{Rijn}}{l_{Bypass2}} = \frac{12000 * 0,0002}{6287} = 0,0004$$

Waarin:

i_{bypass}	=	verhang van de bypass
i_{Rijn}	=	verhang van de Rijn
l_{bypass}	=	de effectieve lengte van de bypass
l_{Rijn}	=	de lengte van de Rijn tussen het begin en het einde van de bypass

Het verhang van de korte bypass is dus gelijk aan 0,0005 en van de lange bypass 0,0004. Dit betekent dus dat het respectievelijk een verval heeft van 50 en 40 cm per kilometer.

Chézycoëfficiënt

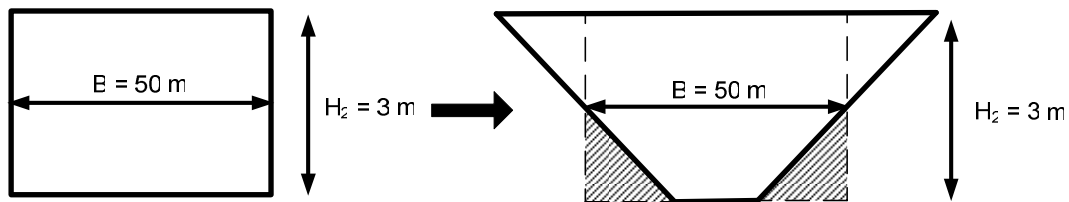
Gebaseerd op de aanname dat de bodem zal bestaan uit grind en grof zand is er met behulp van het Inleiding waterbeheer dictaat van Booij en Otter (2006) bepaald dat de wrijvingscoëfficiënt gelijk zal zijn aan $45 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{-1}$.

Diepte

Door gebrek aan informatie over de grondwaterspiegel is er een aanname gedaan dat de bypass ongeveer drie meter diep kan zijn voordat het grondwater bereikt.

Talud

Doordat het nog niet precies bekend met welke grondsoort we te maken hebben op de plaatsen waar de bypass doorheen stroomt, is het in dit stadium ook niet handig om het talud te specificeren. Er kan uitgegaan worden dat de bypass een rechthoekige bak is. Wanneer later het talud wel bekend is, dan kan het profiel aangepast worden waardoor uiteindelijk de oppervlakte nog overeenkomt met de rechthoekige bak.



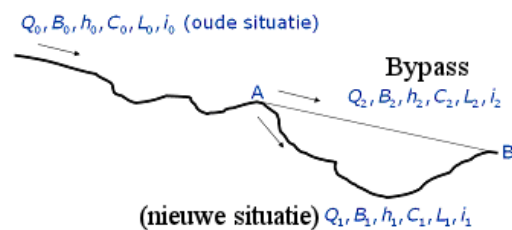
Op de linker figuur is een rechthoekige bak te zien. Bij de rechter figuur is een dwarsdoorsnede met een bepaald talud te zien waarbij de oppervlakte nog dezelfde is als bij de rechthoekige bak.

Bijlage 9: Afleiding en berekening bypass

In deze bijlage wordt eerst toegelicht hoe er berekend kan worden hoeveel percentage er door de hoofdgeul moet om voor een bepaalde waterstandsverlaging te zorgen. Daarna wordt de formule afgeleid waarmee de verhouding tussen de waterhoogte in de bypass en de Rijn duidelijk wordt. Tenslotte wordt de daadwerkelijke berekening uitgevoerd. Er moet wel opgelet worden dat deze methode slechts een benadering is waarbij het sedimenttransport en morfologische veranderingen buiten beschouwing gelaten worden.

Situatie met bypass

Booij en Otter (2006) geven in het college dictaat Inleiding waterbeheer de volgende situatie:



Waarin:

Q = Afvoer (m^3/s)

B = Breedte rivier (m)

h = Waterdiepte (m)

C = Chézycoëfficiënt

In deze figuur is het traject voor punt A de oude situatie, dus de rivier zonder de bypass. Vanaf punt A wordt de rivier gesplitst in twee trajecten; de bypass en de hoofdgeul in de “nieuwe situatie”. Q_2 , B_2 , h_2 , C_2 , L_2 en i_2 zijn parameters van de bypass. Q_1 , B_1 , h_1 , C_1 , L_1 en i_1 zijn parameters van het hoofdtraject in de “nieuwe situatie”.

De parameter ξ is de fractie van het watertransport dat via de bypass loopt. Er geldt:

$$Q_1 = (1 - \xi)Q_0 \quad \text{en} \quad Q_2 = \xi Q_0$$

Booij en Otter (2006) zeggen dat voor het verval over een segment met lengte L , debiet Q , breedte B en de Chézycoëfficiënt C bij een uniforme en stationaire stroming geldt:

$$\Delta h = iL = \frac{Q^2 * L}{B^2 * C^2 * h^3}$$

Verhouding Nieuwe en oude situatie Rijn

Met behulp van de bovenstaande formules kan afgeleid worden wat de verhouding zal zijn tussen de Rijn in de oude situatie, en de Rijn na de Bypass. Als er van uitgegaan wordt dat het verhang, de breedte en de Chézy-coëfficiënt in de Rijn niet veranderen, dan geldt er:

$$\frac{h_1}{h_0} = \left(\frac{Q_1}{Q_0} \right)^{2/3} = (1 - \xi)^{2/3}$$

Ingenieur Gert Jan Akkerman, Senior adviseur Royal Haskoning, geeft aan dat deze formule een benadering is die alleen geldig is bij een zeer lange bypass, waarbij de evenwichtsdiepte in de hoofdgeul wordt bereikt. De uitkomst van deze formule zal door de lengte gecorrigeerd moeten worden met de correctiefactor 0,6.

Verhouding bypass en ‘Nieuwe situatie Rijn’

Met behulp van de hierboven gegeven formules kan dan een formule afgeleid worden die een benadering geeft van het percentage water dat zich van de hoofdgeul naar de bypass afsplitst.

Het verval over de bypass en de Rijn is gelijk, er geldt daarom:

$$\Delta h_1 = \frac{Q_1^2 * L_1}{B_1^2 * C_1^2 * h_1^3} = \Delta h_2 = \frac{Q_2^2 * L_2}{B_2^2 * C_2^2 * h_2^3}$$

Hierin geldt dat $Q_1 = (1 - \xi)Q_0$ en $Q_2 = \xi Q_0$:

$$\frac{(1-\xi)^2 * Q_0^2 * L_1}{B_1^2 * C_1^2 * h_1^3} = \frac{\xi^2 * Q_0^2 * L_2}{B_2^2 * C_2^2 * h_2^3}$$

Voor de verhouding tussen h_1 en h_2 geldt:

$$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{\xi}{(1-\xi)} \right)^{2/3} * \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{1/3} * \left(\frac{B_1 * C_1}{B_2 * C_2} \right)^{2/3}$$

Hieruit volgt:

$$h_2 = h_1 * \left(\frac{\xi}{(1-\xi)} \right)^{2/3} * \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{1/3} * \left(\frac{B_1 * C_1}{B_2 * C_2} \right)^{2/3}$$

Berekening percentage door bypass

Voor de berekening wordt er naar Rijnkilometer 671,5 gekeken; hier begint de bypass. Bij een hoogwater van 12820 m³/s is er hier een waterhoogte van 11,84 m. Met de voorwaarde dat de waterhoogte van de bypass maximaal 3 meter mag zijn kan dan berekend worden wat het percentage water is dat zich van de hoofdgeul naar de bypass kan afsplitsen. Dit berekenwerk is een trial & error proces. De volgende stappen worden aangehouden:

- Kies een waarde voor ξ ;
- bepaald de waterstandsverlaging met: $\frac{h_1}{h_0} = (1 - \xi)^{2/3}$;
- De waterstandsverlaging is alleen geldig als de bypass lang genoeg is, wat hier niet het geval is. De berekende waarde moet dus met de factor 0,6 vermenigvuldigd worden om het juiste effect van de bypass te bepalen;

- vul dit percentage in de formule $h_2 = h_1 * \left(\frac{\xi}{(1-\xi)} \right)^{2/3} * \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^{1/3} * \left(\frac{B_1 * C_1}{B_2 * C_2} \right)^{2/3}$;
- bepaal of h_2 overeenkomt met 3 meter;
- als dit niet het geval is, kies een nieuwe waarde voor ξ en loop de voorgaande stappen opnieuw na;

Uit deze stappen volgt dan uiteindelijk voor de korte variant de volgende som:

	Lengte [m]	Breedte [m]	Diepte [m]	Chézycoëfficiënt [$\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1}$]
Bypass1	4846	50	3	45
Bypass2	6287	50	3	45
Rijn	12000	323	11,7	45

- Met trial & error wordt uiteindelijk bepaald dat ξ gelijk is aan 0,03;
- $\frac{h_1}{h_0} = (1 - 0,03)^{2/3} = 0,98$ hieruit volgt dat de waterstandsverlaging 2% is;
- Pas factor 0,6 toe op 2%: $0,6 * 2 = 1,2\%$
Dit houdt dus in dat wanneer er 3% water van de Rijn door de bypass gestuurd wordt, de waterstand van de Rijn met 1,2% zal afnemen. voor h_1 geldt dan:
 $11,84 * 0,988 = 11,70 \text{ m}$
- Voor h_2 geldt dan:

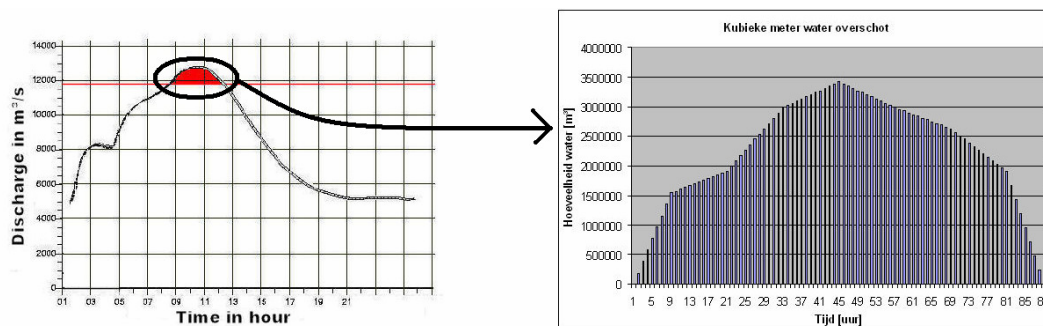
$$h_2 = 11,7 * \left(\frac{0,03}{(1-0,03)} \right)^{2/3} * \left(\frac{4846}{12000} \right)^{1/3} * \left(\frac{323 * 45}{50 * 45} \right)^{2/3} = 2,96 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

Voor bypass 2 wordt precies dezelfde methode gehandhaafd. Hier volgt een ξ van 0,027 uit. De h_1/h_0 met een correctie van 0,6 is dan 0,988. h_1 is dus gelijk aan 11,70 m. De effecten van bypass 1 en bypass 2 zijn nagenoeg gelijk aan elkaar.

Bijlage 10: Bepaling effecten waterbergingen

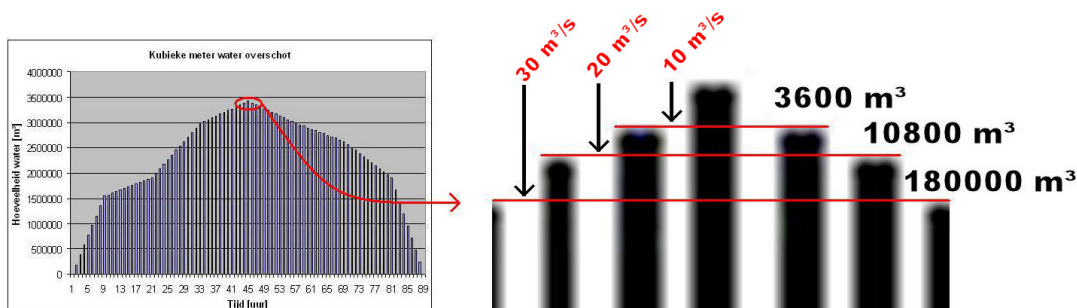
In tegenstelling tot een bypass wordt er bij een waterberging al het water opgeslagen. Dit houdt dus in dat het erg belangrijk is om te weten hoeveel water er tijdens hoogwater over de waterkeringen zal stromen. Om te bepalen hoeveel water er opgeslagen moet worden voor een veilige situatie moet er naar de maatgevende afvoergolf gekeken worden. In de maatgevende afvoergolf in de onderstaande figuur moet al het water in de roodgekleurde deel geborgen worden.

In bijlage 4 staat de tabel met de kwantitatieve gegevens van de piek van de afvoergolf. In de laatste kolom van deze tabel staan waarden over hoeveel kubieke meter water er per uur geborgen zal moeten worden. Deze kan uitzet worden in een staafdiagram.

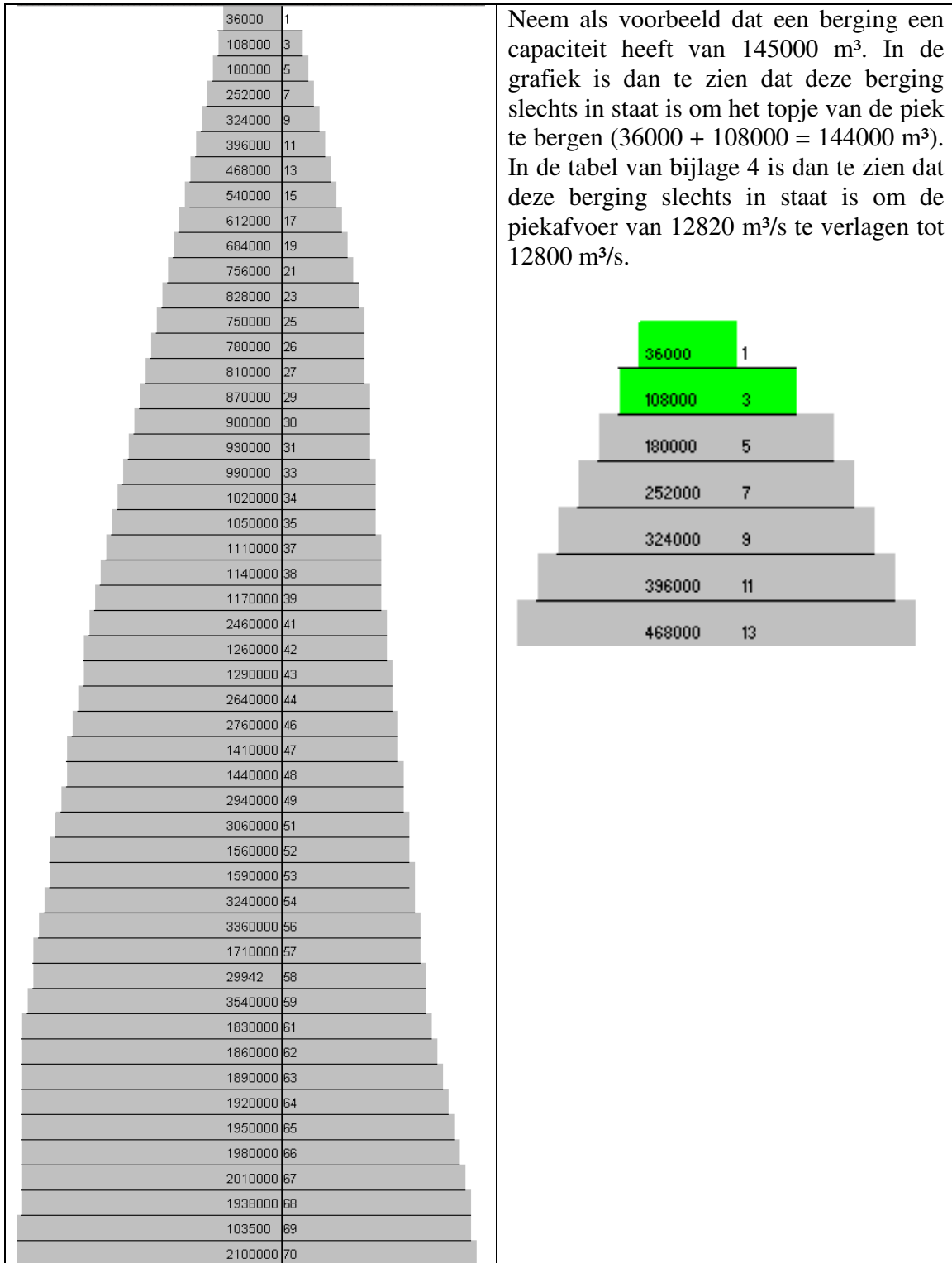


Het is niet realistisch om uit te gaan dat een berging al het overschot aan water kan bergen. Er wordt daarom steeds gekeken hoeveel van de piek een bergingsgebied kan opvangen. Dit wordt gedaan met de volgende stappen:

- Allereerst wordt het staafdiagram in 'horizontale balken' verdeeld;
- Vervolgens wordt er bepaald hoeveel m³ er in een ieder 'verticale balk' aanwezig is;
- Er wordt dan gekeken hoeveel 'verticale balken' een berging kan opvangen;
- Met behulp van de tabel met kwantitatieve gegevens van de afvoergolf in bijlage 4 kan dan bepaald worden hoeveel m³/s van de piek afgenomen kan worden met behulp van de berging;
- Met de aanname dat de piekafvoer gelijk zal zijn aan 12820 m³/s kan dan met behulp van de afvoerkromme in bijlage 5 teruggerekend worden wat de waterstandsverlaging zal zijn ten gevolge van de berging.



In de grafiek hieronder is het relevante gedeelte van de piek in verticale blokken verdeeld:



Bijlage 11: Opgestelde criteria

In deze bijlage worden de opgestelde criteria verder toegelicht. Deze criteria zijn opgesteld zodat de alternatieven gerangschikt kunnen worden op de geschiktheid voor het creëren van een multifunctionele berging en/of bypass die als hoofddoel de veiligheid van Rodenkirchen tegen hoogwater te waarborgen heeft.

De criteria worden ingedeeld in vijf categorieën; economie, ecologie, financieel, veiligheid en maatschappelijk-sociaal. Bij economie worden de alternatieven beoordeeld op het effect op de welvaart. Bij ecologie worden de alternatieven gerangschikt op basis van het effect op de natuur. De criteria in de categorie financieel richt zich voornamelijk geld. Aspecten als opbrengsten door zand- en grindwinning staan hier centraal. De veiligheidscriteria zijn het belangrijkste in de multi-criteria analyse. Deze rangschikken namelijk de effecten van de alternatieven op het hoogwater. Ten slotte worden de alternatieven ook gerangschikt met behulp van het sociaal-maatschappelijke criterium.

Hieronder staan de criteria met de bijbehorende beschrijvingen:

Economie

1. Mogelijkheden tot multifunctioneel gebruik	Weging: 3
Dit criterium beoordeelt de beschikbare oppervlakte voor de bypass en waterberging. Uit het rapport van Innovatie Netwerk (2007) wordt het duidelijk waarom de beschikbare oppervlakte belangrijk is voor het project. Deze beschrijft dat er vele factoren zijn die bepalen of een project slaagt. Belangrijke vragen zijn onder andere of een project economisch haalbaar is, of er draagvlak voor is onder bewoners, of bestuurlijk en politiek de handen op elkaar te krijgen zijn en hoe het uitwerkt op natuur, milieu en landschap. Een gebied met een groter oppervlakte biedt meer mogelijkheden voor een gevarieerd landschap, een breder scala aan woonlocaties en meer mogelijkheden voor andere belangen om deel te nemen in de ontwikkeling van het gebied. Een groter gebied betekent dus bijvoorbeeld dat er meer woningen in het gebied gerealiseerd kunnen worden waardoor het project uiteindelijk meer geld oplevert. Hoewel dit criterium belangrijk is voor het multifunctionele gebruik van de berging en/of bypass moet er opgelet worden dat er als uitgangspunt genomen wordt dat de veiligheid het meest belangrijk is. Dit criterium krijgt daarom een lagere weging dan de criteria die de waterstandsverlaging beoordeeld. De weging is 3.	
2. Potentie stedenbouw	Weging: 3
Dit onderzoek richt zich op het creëren van ruimte voor de rivieren. Deze ruimtes moeten, zoals hierboven besproken, mogelijkheden bieden voor multifunctioneel gebruik. Criterium 1 beoordeelt een gebied op de beschikbare oppervlakte. Er zijn echter ook andere factoren die bepalen of een gebied geschikt is voor alle soorten multifunctioneel gebruik. Er moet ook aandacht gegeven worden aan de ligging. Een gebied dat tussen andere dichtbewoonde gebieden ligt, is aantrekkelijker voor stedenbouw dan een afgelegen gebied.	

Dit criterium beoordeelt daarom de alternatieven op de potentie voor stedenbouw. De rangschikking zal plaats vinden door een analyse van de ligging van een gebied ten opzichte van de dichtbewoonde stad.

De weging van dit criterium is ook 3 doordat het een indicatie geeft op een mogelijke multifunctionele gebruik wat draagvlak kan creëren voor de alternatieven.

3. Mogelijkheden natuur en recreatie	Weging: 3
Criterium 2 richt zich op de mogelijkheden voor stedenbouw. Dit criterium richt zich op de mogelijkheden voor natuur en recreatie. Een gebied langs de rivier is minder aantrekkelijk voor stedenbouw. Dit gebied zal echter wel aantrekkelijk zijn voor recreatie. Er kan bijvoorbeeld een zwemplaats gerealiseerd worden langs de rivier. Daarnaast zullen gebieden langs de Rijn door de fluctuerende waterstand erg aantrekkelijk kunnen zijn voor natuurontwikkeling. Naast de ligging wordt hier ook naar het type alternatief gekeken. Er is bijvoorbeeld meer mogelijkheid voor natuurontwikkeling bij een bypass dan bij een waterberging. Omdat dit criterium zich ook richt op het multifunctionele gebruik, krijgt het net als het vorige criterium de weging 3.	

4. Integratie met huidig verkeersnetwerk	Weging: 1
Wanneer de gebieden voor de bypass of waterbergingen goed kunnen integreren met het huidige verkeersnetwerk, dan zullen deze gebieden in de toekomst door de bereikbaarheid aantrekkelijker zijn voor recreatie en woningen. Het bespaart dan kosten voor toekomstige extra investering in het verkeersnetwerk. Dit criterium krijgt de weging 1 omdat het hier gaat om besparingen in toekomstige investeringen voor het verkeersnetwerk. Dit wordt slechts gezien als een extra financiële pluspunt wat verder niet al te relevant is.	

Ecologie

5. Behoud natuur	Weging: 1
Zoals recreatie en wonen is natuur ook een erg belangrijke factor. Er moet daarom vermeden worden dat te veel natuur verloren gaat door het project. Dit criterium krijgt echter een lage weging omdat er nog een mogelijkheid bestaat dat de verloren gegaan natuur gecompenseerd wordt door nieuwe natuur in de multifunctionele berging en/of bypass.	

Financieel

6. Conflict huidige gebruikersfunctie	Weging: 2
Dit criterium beoordeelt of er rekening gehouden moet worden met de huidige gebruikersfunctie. Als er bijvoorbeeld een restaurant in het project gebied staat dan zal er rekening gehouden moeten worden met hinder en weerstand van de eigenaar en extra kosten voor het opkopen van dit restaurant.	

Dit criterium richt zich op extra kosten. Deze kosten zijn echter investeringen waarbij toekomstige baten aan verbonden zijn waardoor dit criterium slechts een weging van 2 krijgt.

7. Infrastructurele belemmeringen	Weging: 2
Dit criterium richt zich op belemmering van de infrastructuur wat overbrugd moet worden tijdens de realisatie van het alternatief. Let op het verschil met criterium 4 “<i>Integratie met huidig verkeersnetwerk</i>”. Criterium 4 richt zich op het verkeer rondom het gebied wat de bereikbaarheid van het alternatief verhoogd. Dit criterium richt zich specifiek op de mate waarin belemmeringen bestaan voor de aanleg door aanwezige infrastructuur. Vaak zijn (kostbare) kunstwerken nodig om deze te overbruggen. Komt de bypass bijvoorbeeld een snelweg tegen waardoor er een brug of een aquaduct gebouwd moet worden om deze te overbruggen? Een bergingsgebied dat ver van de Rijn afligt met allemaal wegen tussen de rivier en het gebied die voor hinder kunnen zorgen, is financieel minder aantrekkelijk dan een berging die vlak naast de Rijn ligt. Let op dat de beoordelingen hiervan slechts gebaseerd zijn op de beschikbare kaarten. Voor gedetailleerdere analyse zal er op de betreffende locaties gekeken moeten worden wat voor infrastructurele hinder er precies zijn. Dit criterium krijgt om dezelfde reden als het vorige criterium de weging 2.	

8. Baten grind- en zandwinning	Weging: 2
Tijdens het realiseren van de bypass en/of berging kan er zand en grind vrijkomen. Door dit te verkopen kan dit geldt opleveren zodat de kosten van het project gedeeltelijk opgevangen kunnen worden. Dit criterium rangschikt de alternatieven op hoeveel geld het oplevert door de zand- en grindwinning. Net als de twee voorgaande criteria die zich ook op de kosten richten, krijgt dit criterium de weging 2.	

Veiligheid

9. Waterstandsverlaging Rodenkirchen	Weging: 5
Dit criterium rangschikt de alternatieven op de mate waarin ze in staat zijn om voor waterstandsverlaging te zorgen bij Rodenkirchen. Doordat de waterstandsverlaging direct invloed heeft op de veiligheid heeft dit criterium de hoogste weging gekregen.	
10. Waterstandsverlaging Keulen	Weging: 4
Dit criterium beoordeelt het effect van een alternatief bij Keulen. Er wordt dan gekeken voor hoeveel waterstandsverlaging een alternatief kan zorgen bij Keulen. Omdat de waterstandsverlaging direct invloed heeft op de veiligheid heeft dit criterium ook een hoge weging. Deze weging is echter iets lager dan de criteria die de waterstandsverlaging bij Rodenkirchen beoordeelt. De reden hiervoor is dat de waterkeringen van Keulen	

hoger zijn dan die van Rodenkirchen, waardoor Keulen minder last zullen hebben van de hoogwaterproblemen ten gevolge van de in dit rapport geconstrueerde maatgevende afvoergolf.

11. Flexibel voor onzekerheden	Weging: 4
Voor de berekeningen van de waterstandsverlaging ten gevolge van de bypass en de bergingen wordt de “maatgevende afvoergolf” gebruikt. Er moet echter wel op gelet worden dat deze afvoergolf geconstrueerd is uit oude data en gegevens van een rapport. Er wordt slechts aangenomen dat deze afvoergolf een representatieve maatgevende afvoergolf is tot 2050. Door grote onzekerheden in voorspellingen van de klimaatveranderingen is de kans groot dat de afvoergolf er uiteindelijk toch anders uit gaat zien. Dit criterium rangschikt daarom de alternatieven op flexibiliteit. Dit houdt in dat er gekeken wordt of de alternatieven in staat zijn om met andere afvoer voor dezelfde waterstandsverlaging te zorgen. Doordat de onzekerheid van voorspellingen van het klimaat vrij groot is, is het van belang dat hier goed rekening mee gehouden wordt. Dit criterium krijgt daarom de weging 4.	

Maatschappelijk-sociaal

12. Verkeershinder	Weging: 2
Tijdens de realisatie van de berging en/of bypass zal er afgegraven grond afgevoerd moeten worden. De vraag is echter hoe deze afgevoerd gaat worden. Als dit via de wegen gaat kan dit voor verkeershinder zorgen (binnen en buiten de woonwijken). Mocht er echter een mogelijkheid bestaan om dit via de Rijn af te voeren, dan zullen de verkeersproblemen op de wegen gereduceerd kunnen worden. Dit criterium beoordeelt daarom in hoeverre de gebieden de mogelijkheid bieden om grond af te laten voeren via de Rijn. Het is natuurlijk erg belangrijk dat een alternatief geen hinder oplevert voor de huidige situatie. Er moet echter wel op gelet worden dat de hinder die dit criterium beoordeelt slechts van tijdelijke aard is, waardoor het de weging 2 krijgt.	

13. Hinder bewoners	Weging: 2
De realisatie van een bypass of een berging kan hinder met zich meebrengen voor bewoners. Er kan dan gedacht worden aan geluidsoverlast, of blokkade van zicht door bulten van opgegraven zand. Dit criterium beoordeelt in hoeverre een alternatief voor hinder kan zorgen bij de bewoners door te kijken naar de hoeveelheid woningen om het alternatief. Let op dat dit in principe de tegenovergestelde is van criterium 2 “<i>potentie stedenbouw</i>”. Dit criterium weergeeft de min punten van de nabijheid van woningen. Omdat ook dit criterium een hinder beoordeelt die van tijdelijke aard is, krijgt deze ook de weging 2.	

Bijlage 12: Toekenning score

In deze bijlage worden er scores toegekend aan de alternatieven. Er wordt geen toelichting gegeven bij kwalitatieve scores. Gaat het om kwantitatieve gegevens. Dan wordt er toegelicht hoe een score toegekend is. Voor deze beoordelingen wordt er beoordelingen gegeven tussen 1 en 5; 5 is het meest gunstig is en 1 het minst gunstig.

Criterium 1: Beschikbare oppervlakte

Eenheid [m²]		Score
A l t e r n a t i e f	1	377666
	2	6661940
	3	19126104
	4	5712971
	5	6510831
	6	7277663

Criterium 2: Potentie stedenbouw

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	2	Gedeeltelijk van de bypass komt in de buurt van Rodenkirchen, Rondorf en het centrum van Keulen. De andere deel van de bypass bevindt zich in het water meer afleggen deel ten zuiden van Keulen.
	2	1	Dit alternatief is meer geschikt voor stedenbouw dan het vorige alternatief. Bergingsgebieden 2 en 5 bevinden zich tussen de bewoonde dorpen. Deze gebieden liggen in de buurt van de bebouwde dorpen/steden (gebied 2 bij Meschenich, Rondorf, Immendorf en Berzdorf en gebied 5 bij Rodenkirchen, Hahnwald, Marienburg en Raderhal).
	3	3	Alternatief 3 bestaat uit gebied 9. Dit gebied ligt in het wat meer afgelegen gebied ten noorden van Keulen. Gebied 9 ligt bij Worringen, Föhlingen en Merkenich.
	4	3	Alternatief 4 bestaat uit de bergingsgebieden 1 en 3. Deze gebieden liggen in ten zuiden van het centrum van Keulen aan het oosten van de Rijn. De locatie van de gebieden zijn meer afgelegen.
	5	1	Dit alternatief bestaat uit de gebieden 4 en 5. Deze gebieden liggen dicht bij de zuidelijke deel van het centrum van Keulen. Deze gebieden passen goed in de verstedelijking van Keulen.
	6	1	Dit laatste alternatief bestaat uit de gebieden 6,7 en 8. Ze liggen ten zuid-oosten ten opzichte van het centrum van Keulen. Deze drie gebieden worden omsloten door Poll, Ensen, Westhoven, Entheim en Gremberg. Deze gebieden liggen in een verstedelijkte omgeving.

Criterium 3: Mogelijkheden natuur en recreatie

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	1	De bypass is door zijn natuurlijke fluctuerende waterstand geschikt voor natuurontwikkelingen.
	2	1	Dit alternatief combineert bergingsgebieden met een bypass. De bypass is geschikt voor natuurontwikkelingen. De bergingsgebieden bieden, door de directe verbinding met de bypass, mogelijkheden voor recreatieparken met jachthavens.
	3	2	Het oostelijke deel van gebied 9 ligt tegen de Rijn aan. Dit gedeelte kan geschikt zijn voor natuurontwikkelingen of recreatie (denk aan zwemplaatsen). De overige deel van dit gebied is gewoon een leeg beschikbaar gebied zonder bijzondere eigenschappen die het gebied meer richting de recreatie of natuurontwikkeling stuurt. Bij deze beoordeling wordt er vanuit gegaan dat deze lege deel gewoon multifunctioneel ingericht kan worden.
	4	2	De bergingsgebieden liggen beiden tegen de Rijn. Daarnaast ligt er bij bergingsgebied 1 ook een natuurpark waardoor deze geschikt is voor extra aanvullende natuur op het park. Deze gebieden zijn geschikt voor natuur en recreatie.
	5	3	Gebied 4 ligt tegen de Rijn aan. Dit bergingsgebied is geschikt voor natuur en/of recreatie. Gebied 5 ligt echter midden tussen bebouwde gebieden. Daarnaast is het gebied, in tegenstelling tot alternatief 2, niet direct in verbinding met de bypass. Dit bergingsgebied is daarom meer geschikt voor de stedenbouw dan voor natuur en recreatie.
	6	3	Bergingsgebied 7 ligt tegen de Rijn aan. Dit gebied kan geschikt zijn voor recreatie en natuurontwikkelingen. Hochwasserschutzzentrale Köln had laten weten dat er interesse is om dit voormalige militair gebied te renoveren tot een recreatie gebied. De gebieden 6 en 8 zijn bergingsgebieden die niet in directie verbinding staan van de Rijn. Deze twee bergingsgebieden worden overigens omsloten door andere bebouwde gebieden en zijn daarom meer geschikt voor stedenbouw dan voor natuur of recreatie.

Criterium 4: Integratie met het huidige verkeersnetwerk

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	2	De bypass ligt in de buurt van een aantal snelwegen (en kruispunten hiervan).
	2	2	Idem
	3	3	Langs gebied 9 lopen er minder wegen. De wegen die er langslopen zijn voornamelijk kleine wegen.
	4	5	Gebied 1 en 3 liggen op een plaats waar weinig wegen zijn.
	5	2	De gebieden in dit alternatief liggen in de buurt van grote wegen. De bereikbaarheid is groter dan gebied 9 van alternatief 3.
	6	2	Langs dit gebied zijn er veel wegen.

Voor verheldering kunnen de mappen van bijlage 2 geraadpleegd worden.

Criterium 5: Behoud natuur

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	2	Wanneer dit alternatief geplaatst wordt zal dit ten kosten gaan van een aantal bomen/bos. Er zal niet veel verloren gaan van huidige natuur. Dit geldt ook voor alternatieven 2, 3, 4 en 6.
	2	2	-
	3	2	-
	4	2	-
	5	4	In gebied 4 ligt een natuurpark. Deze zal verloren gaan als een waterberging hier gegraven wordt.
	6	2	-

Voor verheldering zie wandelkaart bijlage 2

Criterium 6: Conflict huidige gebruikersfunctie

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	2	Bijna lege gebieden, alleen aan het einde een aantal tennisbanen
	2	2	Idem alternatief 1, alleen ook een golfbaan in gebied 4
	3	1	Weinig informatie hierover beschikbaar: volgens Atlas kaarten en Google is gebied 9 vrijwel onbebouwd.
	4	4	De gebieden worden gebruikt voor buitenactiviteiten zoals camping en strandplaats. In gebied drie zijn er wel bebouwing, daar staan restaurants en een tennis court.
	5	4	In gebied vier staan restaurants, een tennis court en een minigolfbaan.
	6	1	Hochwasserschutzzentrale Köln liet weten dat er ideeën zijn om gebied 7 te veranderen tot recreatie gebied. Joop Broer liet weten dat gebied 6 gerenoveerd gaat worden.

Voor verheldering zie schadekaarten bijlage 2

criterium 7: Infrastructurele belemmeringen

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	4	Alleen het begin en einde van de bypass liggen dicht bij de Rijn, de overige delen liggen relatief gezien vrij ver van de Rijn af waardoor er meer overbrugd moet worden om de bypass te realiseren. Een ander hinder is het begin van de bypass. Daar is er vrij weinig ruimte beschikbaar voor de bypass door het industrieterrein. Hierdoor moet de bypass over een weg gaan. Tegen het einde aan moet de bypass het kruispunt Kreuz Köln-Süd overbruggen.
	2	5	Zelfde als bij alternatief 1. Alleen moet er bij de realisatie van bergingsgebied 5 de snelweg E40 overbrugd worden.
	3	1	Gebied 9 ligt dicht bij de Rijn. Voor de realisatie hoeft er weinig afstand overbrugd te worden. Daarnaast is er ook weinig infrastructurele hinder doordat het gebied vrij afgelegen ligt.
	4	1	Deze gebieden liggen naast de Rijn. Er is weinig infrastructurele hinder.
	5	3	Gebied 4 ligt dicht bij de Rijn, er is weinig hinder. De snelweg E40 loopt door gebied 5.
	6	4	Gebied 6,7 en 8 ondervinden bij de realisatie allemaal hinder van de snelweg E40. Bij gebied 6 moet nog veel rails/spoorwegen verwijderd worden. Deze zijn afkomstig van de tijd dat er grind en zand gewonnen werd bij de meertje naast de kruising Kreuz Gremberg.

criterium 8: Baten grind- en zandwinning

Eenheid [€]		Score
A l t e r n a t i e f	1	32125363
	2	298922684
	3	815277025
	4	242624128
	5	276524959
	6	308774554

criterium 9: Waterstandsverlaging Rodenkirchen

Eenheid [m]		Score
A l t e r n a t i e f	1	0,13
	2	0,13
	3	0
	4	0,12
	5	0,13
	6	0,14

criterium 10: Waterstandsverlaging Keulen

Eenheid [m]		Score
A l t e r n a t i e f	1	0
	2	0,12
	3	0
	4	0,12
	5	0,13
	6	0,14

Criterium11: Flexibel voor onzekerheden

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	3	De berekeningen zijn gebaseerd op de geconstrueerde "maatgevende afvoergolf". Wanneer de bypass met een afvoergolf te maken krijgt die <i>langer</i> duurt dan de maatgevende afvoergolf, dan is deze bypass prima in staat om te functioneren zoals het berekend is. Een bypass is flexibel als het gaat om tijdsduur van afvoergolf. Dit komt doordat er geen water in de bypass opgeslagen wordt. Mocht de afvoerpiek echter <i>hoger</i> zijn dan waarvoor de bypass berekend was, dan is deze niet meer in staat om voor de waterstandsverlaging te zorgen als waarvoor het berekend is.
	2	2	Dit alternatief is flexibeler dan alternatief 1 omdat deze een combinatie is van een bypass en waterbergingen.
	3	4	Een waterberging is zeer beperkt als er gekeken wordt naar de flexibiliteit. Het is in staat om een bepaald volume aan water te bergen. Als de afvoergolf anders wordt, dan kan het alleen voor dezelfde waterstandsverlaging zorgen mits de volume van de afvoergolf gelijk blijft. Vergelijk met de bypass: als de afvoergolf langer duurt dan verwacht, dan zal een bypass in staat zijn om voor dezelfde waterstand verlaging te zorgen, maar de berging niet omdat deze al geheel gevuld is met water voordat het hoogwater weg is. Dit alternatief krijgt daarom slechts een 2 voor dit criterium.
	4	4	Idem
	5	4	Idem
	6	4	Idem

Criterium 12: Verkeershinder

		Score	Toelichting
A l t e r n a t i e f	1	4	Een gedeelte van de bypass ligt relatief gezien vrij ver van de Rijn waardoor er bij de afvoeren van de grond mogelijk voor verkeershinder kan zorgen.
	2	4	Idem
	3	1	Gebied 9 ligt tegen de Rijn aan.
	4	1	Gebied 1 en 3 liggen tegen de Rijn aan.
	5	2	De gebieden liggen tussen 677 en 685 van de Rijn, de afstand tot de Rijn is vrij klein.
	6	3	Gebied 6 ligt verder af ligt van de Rijn.

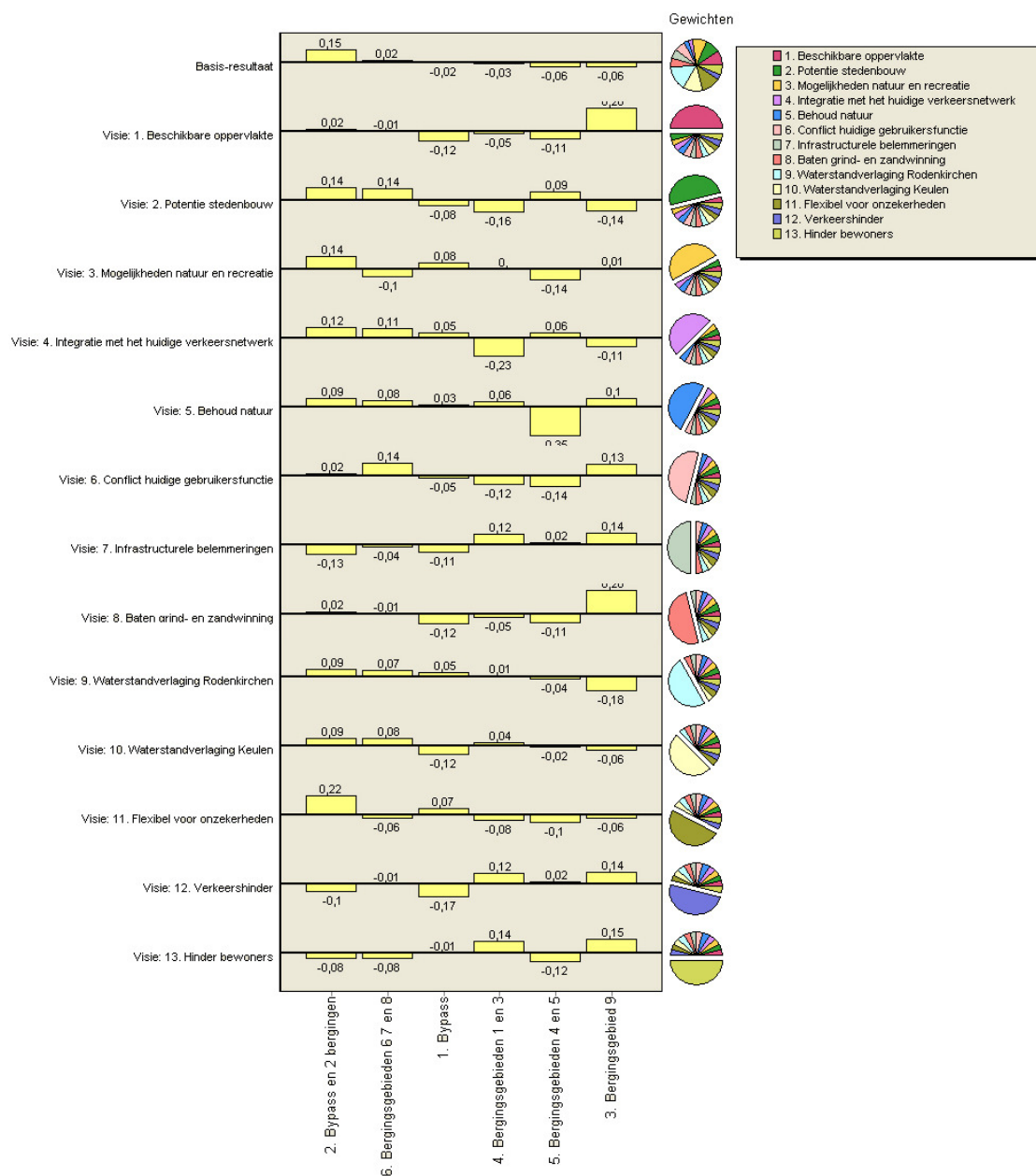
Voor verheldering zie Google Maps kaarten van bijlage 2

Criterium 13: Hinder bewoners

		Score	Toelichting (tegenovergestelde van criterium 2)
A l t e r n a t i e f	1	4	-
	2	5	-
	3	3	-
	4	3	-
	5	5	-
	6	5	-

Bijlage 13: Multi-Criteria Analyse van BOSDA

In de onderstaande figuren staan resultaten van de multi-criteria analyse uit BOSDA. De resultaten zijn weergegeven in de scores per criteria. Uit deze resultaten volgt uiteindelijk dat alternatief 2 het best scoort op de alternatieven.



Bijlage 14: Praktische voorbeelden

Ruimte voor de rivieren creëren combineren met multifunctioneel gebruik is tegenwoordig niet meer een toekomstbeeld. Er zijn al vele projecten die zich bezig houden met bijvoorbeeld het aanleggen van een bypass. De bypass wordt dan gecombineerd met natuurontwikkeling of woningbouw. Dit hoofdstuk geeft een aantal voorbeelden van deze projecten.

De IJsselsprong

De stad Zutphen wordt gekenmerkt door de versmalling van de IJssel ter hoogte van het centrum. Dit kan problemen opleveren bij hoge afvoeren. Om deze problemen te verminderen moet er in de nabije toekomst meer ruimte gemaakt worden voor de rivier. Het project de IJsselsprong is bedoeld om deze ruimte te creëren. Aspecten als woningbouw, bescherming tegen hoog water, bereikbaarheid en versterking van het landschap worden hier gecombineerd. De regio ziet kansen om dit allemaal in één keer aan te pakken.

Voor het creëren van ruimte voor de IJssel zijn er al een aantal alternatieven bedacht. De Innovatie Netwerk (2007) beschrijft een paar alternatieven. Bij het ontwerp van deze alternatieven is er gedraaid aan drie denkbeeldige knoppen: een blauw/groene (symbool voor landschappelijke, ecologische en watertechnische aspecten), een rode (symbool voor woningbouw), en een gouden (symbool voor financiering). Het uitgangspunt hiervan was dat er drie knoppen zijn waaraan gedraaid kan worden om een goed project te krijgen.

Met behulp van deze integrale ontwerpmethode zijn er een aantal alternatieven opgesteld. Eén hiervan is het rode ontwerp. Bij deze ontwerp is er uitgegaan van een bypass van 9 km. Met deze lengte kan de bypass het hoofdtraject goed ontlasten. Naast de veiligheid aspect biedt dit alternatief ook mogelijkheden voor 3350 nieuwe woningen, appartementen en kantoorvilla's.



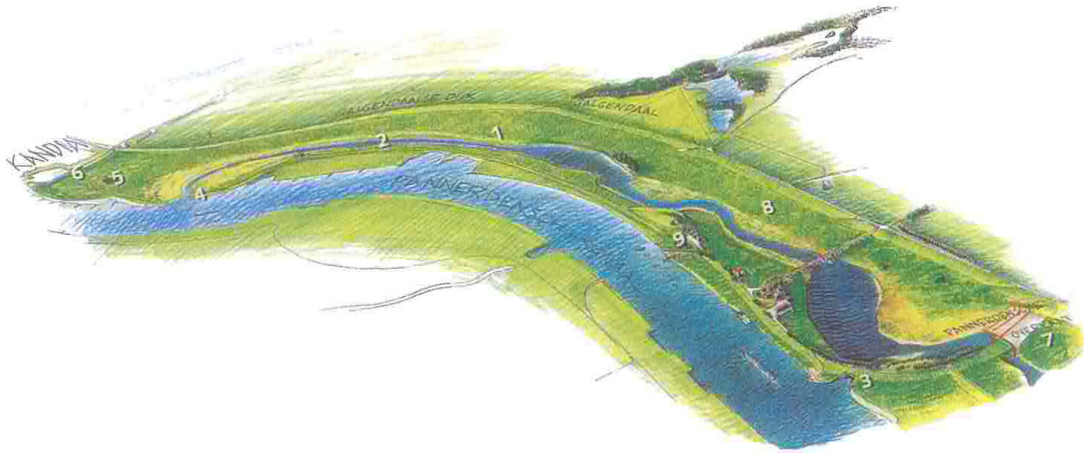
Een ontwerp van de IJsselsprong waarin bestaande terpen als kern vormen voor drijvende woningen

De Groene Rivier Pannerden

Net als de IJsselsprong creëert de Groene Rivier Pannerden meer ruimte voor de rivier. Door deze nieuwe rivier kan bij een toenemende rivierafvoer van 15.000 tot 16.000 m³/s dijkverhogingen achterwege blijven. Deze nevengeul creëert een veiliger situatie bij Pannerden.

Door de geul ontstaat er een dynamische riviernatuur die van belang is voor bijzondere soorten dieren. Een aantal vissoorten uit bijvoorbeeld de Barbeelgroep hebben hier baten bij. Zo zullen de Kopvoorn en de Rivierprik in het gebied zwemmen om zich hier voort te planten.

Dit allemaal wordt bereikt door het verwijderen van circa duizend 750 duizend m³ grond uit de uiterwaarden langs het Pannerdens kanaal.



Geplande inrichting project Groene Rivier Pannerden met 1 = verlaagde uiterwaard; 2 = nevengeul; 3 = instroompunt (dijker/ sedimentvang); 4 = uitstroompunt; 5 = griend; 6 = verlaagde zomerkade; 7 = verlaagde Overlaat; 8 = veiligheidszone winterdijk; 9 = hoogwatervluchtplaats (Inrichtingsplan Rijnwaardense Uiterwaarden, 2001)

De Gouden Ham

De Gouden Ham is een recreatiegebied in het zuiden van Gelderland. Het gebied ligt centraal in een landschap van rivieren, dijken, polders en rustieke dorpjes tussen Nijmegen en Den Bosch. Via bruggen en een veerpunt zijn plaatsen als Tiel en Oss te bereiken.

Het recreatiegebied is ontstaan door de bochtverlenging van de Maas in de jaren 30 en een latere zandafgraving in de jaren 70. De plas staat in verbinding met de Maas.

Het gebied kent vele recreatie mogelijkheden. In dit gebied zijn er bijvoorbeeld jachthavens en visplaatsen. Het gebied biedt tal van mogelijkheden aan voor watersport.

De bovenstaande voorbeelden hebben te maken met veiligheid tegen hoogwater, natuur, recreatie en woning. Gezien de omstandigheden tussen Keulen en Bonn kunnen het bovenstaande voorbeelden mogelijk de toekomst zijn voor dit gebied.



Een luchtfoto van de Gouden Ham