

**Verkenning zoekrichtingen  
Deltaprogramma Rivieren**





# **Verkenning zoekrichtingen Deltaprogramma Rivieren**

Nathalie Asselman

met bijdragen van:  
Elsa Voorluijs

1204292-000



**Titel**

Verkenning zoekrichtingen Deltaprogramma Rivieren

<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
1204292-000	1204292-000-VEB-0064	59

**Trefwoorden**

Deltaprogramma Rivieren, zoekrichtingen, maatregelen, preventie, gevolgbeperving

**Samenvatting**

In de zomer van 2011 heeft het Deltaprogramma Rivieren vier zoekrichtingen voor mogelijke maatregelen gedefinieerd. Dit zijn:

- Ruimte voor de rivier plus: maatregelen zoals worden getroffen in het kader van de PKB en Maaswerken
- Grote gebaren: grootschalige groene rivieren, aanpassing van de afvoerverdeling;
- Doe meer met de dijken: traditionele dijkversterking en/of deltadijken
- Anders kijken naar water: gevolgbeperkende maatregelen (waterrobuust bouwen, evacuatie, etc.)

Dit rapport betreft een eerste "inventarisatie" van de zoekrichtingen, met als doel een beeld te geven van de wijze waarop de zoekrichtingen concreet met maatregelen ingevuld kunnen worden. Per zoekrichting wordt een overzicht gegeven van mogelijke maatregelen. Vervolgens is, op basis van gebiedskenmerken, op kaart aangegeven waar bepaalde maatregelen mogelijk interessant zou den kunnen zijn. Deze eerste inschatting vindt plaats op basis van kennis opgedaan tijdens eerdere studies, aangevuld met *expert judgement*.

**Referenties**

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
06	jan. 2012	Nathalie Asselman	NA	Karin Stone	b/a HA	Hans Vissers	HN

**Status**

definitief



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Kader	1
1.2 Van zoekrichtingen naar mogelijke strategieën	1
1.3 De zoekrichtingen	2
1.4 Doel van dit rapport	2
1.5 Afbakening	3
1.6 Kaarten	4
1.7 Leeswijzer	4
<b>2 Ruimte voor de rivier plus</b>	<b>5</b>
2.1 Inleiding	5
2.2 Maatregelen op kaart	5
2.3 Analyse	8
2.4 Conclusie	9
<b>3 Grote gebaren</b>	<b>11</b>
3.1 Inleiding	11
3.2 Alternatieve afvoerroutes	11
3.3 Groene rivieren	13
3.4 Sleutelen aan de afvoerverdeling - extra afvoer via één tak?	16
3.5 Retentie en detentie (of: vasthouden en bergen)	17
3.6 Basisveiligheid plus	19
<b>4 Doe meer met de dijken</b>	<b>21</b>
4.1 Traditionele dijkversterking	21
4.1.1 Inleiding	21
4.2 Aanleg deltadijken of overstroombare dijken	23
<b>5 Anders kijken naar water</b>	<b>25</b>
5.1 Inleiding	25
5.2 Aanleg overstroombare dijken gericht op gevolgbeperking	26
5.3 Compartimentering van dijkringen en aanleg van geleidedijken	28
5.4 Overwegingen bij anders (aangepast) bouwen	31
5.5 Overwegingen bij elders bouwen (beperking RO)	34
5.6 Vergroten (preventieve) evacuatie en zelfredzaamheid	35
5.7 Shelters en bruggen	36
5.8 Inundatie van dijkringen als noodmaatregel	38
5.9 Maatregelen gericht op herstel	39
<b>6 Vervolgproces en overwegingen</b>	<b>41</b>
6.1 Vervolgproces	41
6.2 Overwegingen	41
<b>7 Referenties</b>	<b>47</b>

## **Bijlage(n)**

<b>A Gebruikte studies</b>	<b>A-1</b>
<b>B Dijkversterkingstechnieken</b>	<b>B-1</b>
B.1 Westelijk rivierengebied – opdrijven	B-1
B.2 Oostelijk en centraal rivierengebied – piping	B-4
B.3 Maaskaden in Limburg	B-6

# 1 Inleiding

## 1.1 Kader

Het Deltaprogramma is een nationaal programma. Rijksoverheid, provincies, gemeenten en waterschappen werken hierin samen met inbreng van maatschappelijke organisaties en bedrijfsleven. Het doel is om Nederland ook voor toekomstige generaties te beschermen tegen hoogwater en te zorgen voor voldoende zoet water ([www.deltacommissaris.nl](http://www.deltacommissaris.nl)).

### **Opdracht Deelprogramma Rivieren**

De opdracht voor het Deltaprogramma Rivieren is als volgt verwoord in het Opdrachtdocument Rivieren [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, november 2009]:

“De opdracht voor het deelprogramma Rivieren betreft het formuleren van een integrale langetermijnaanpak voor de Maas en Rijnakken waarin de integrale (ruimtelijke) opgaven en oplossingsrichtingen voor het rivierengebied voor de lange termijn (2100) zijn benoemd en sleutelkeuzes voor de inrichting zijn vastgelegd. Waterveiligheid en afvoerwachtingen van 18.000 m<sup>3</sup>/s voor de Rijnakken en 4600 m<sup>3</sup>/s voor de Maas zijn hierbij de randvoorwaarden.”

Het Deltaprogramma Rivieren moet daarbij rekening houden met de effecten van laagwater in het rivierengebied en de effecten van zeespiegelstijging. Effecten van zeespiegelstijging spelen een rol in het benedenrivierengebied (monding Maas en Rijn) en in de IJssel- en Vechtdelta (monding IJssel en Overijsselse Vecht). Het Deltaprogramma Rivieren brengt deze effecten en de benodigde maatregelen samen met de deltaprogramma's Zoetwater, Rijnmond-Drechtsteden, zuidwestelijke Delta en IJsselmeergebied in beeld.”

## 1.2 Van zoekrichtingen naar mogelijke strategieën

In het najaar van 2011 vond een verkenning plaats van de zoekrichtingen. Dit gebeurde met de kennis en informatie die op dat moment beschikbaar was.

Het proces van de verkenning van de zoekrichtingen had tot doel, dusdanig informatie en inzichten te vergaren, zodat:

- de vraag aan het regioproces duidelijk gedefinieerd kan worden;
- op basis van de resultaten een voorstel kan worden gedaan voor de mogelijke strategieën.

In 2012 staan de regioprocesen centraal. Het plan van aanpak ‘regioprocesen’ wordt in de stuurgroep van april 2012 voor vaststelling voorgelegd. De resultaten van de verkenning van de zoekrichtingen moeten een concrete definitie opleveren, waar nodig geografisch geduid, van de in de regioprocesen te beantwoorden vragen.

Op basis van de resultaten van de verkenning van de zoekrichtingen zal in het eerste kwartaal van 2012 door de Deltastuurgroepen een keuze gemaakt worden voor mogelijke strategieën, die worden gerapporteerd in het Deltaprogramma 2013. Deze mogelijke strategieën vormen de basis voor het trechteringsproces naar kansrijke strategieën en de voorkeursstrategie.

In de regioprocessen bestaat de ruimte de mogelijke strategieën aan te vullen, aan te scherpen of te vervangen. De eerste uitwerking in 2011 diende nadrukkelijk als voorwerk voor 2012. Het is geen stap in het trechteringsproces van kansrijke strategieën naar een voorkeursstrategie. Dit trechteringsproces vindt plaats vanaf 2012, op basis van de regioprocessen en kent de volgende stappen en planning:

- 2012: van mogelijke strategieën naar kansrijke strategieën
- 2013: van kansrijke strategieën naar een voorkeursstrategie

## 1.3 De zoekrichtingen

In de stuurgroepen van september 2011 zijn de volgende zoekrichtingen vastgesteld.

### 1. *Ruimte voor de Rivier plus*

Deze zoekrichting bouwt voort op de projecten uit verbinden korte-/lange termijn en kiest voor ruimtelijke maatregelen in combinatie met andere doelen (naar analogie van Ruimte voor de Rivier en Maaswerken) waarbij het accent van functiecombinatie meer dan voorheen op economische dragers ligt.

### 2. *Grote gebaren*

Deze zoekrichting beslaat aanpassingen in de huidige waterstaatkundige inrichting van het riviersysteem. Het gaat om ingrepen met een bovenregionaal effect. Denk aan andere waterverdelingen (hoog- en/of laagwater), nieuwe riviertrajecten en/of nieuwe verbindingen (Rijn-Maas of met kanalen zoals Amsterdam Rijnkanaal).

### 3. *Doe meer met de dijken*

Deze zoekrichting gaat uit van sturing op preventie en verkleinen van de kans: Deltadijken, flexibele keringen, dijkverzwaring etc.

### 4. *Anders kijken naar water*

Deze zoekrichting betreft keuzes in relatie tot gevolgbeperking, door maatregelen in de tweede en/of derde laag van meerlaagsveiligheid. Leven met water, leven met de rivier. Meer kans, minder gevolg. Adaptatie en acceptatie.

## 1.4 Doel van dit rapport

Het doel van deze rapportage 'Verkenning Zoekrichtingen' is een beeld te geven van de wijze waarop de zoekrichtingen ingevuld kunnen worden. Per zoekrichting wordt een overzicht gegeven van mogelijke maatregelen. Vervolgens is, op basis van gebiedskenmerken, op kaart aangegeven waar bepaalde maatregelen mogelijk interessant zouden kunnen zijn. Deze eerste inschatting vindt plaats op basis van kennis opgedaan tijdens eerdere studies, aangevuld met *expert judgement*. Dit betreft expert judgement vanuit het Deelprogramma Rivieren en die van de ambtelijke begeleidingsgroep (ABG). In concreto is ook gebruik gemaakt van de input die werd verzameld in de werkABG van 6 oktober 2011.

De rapportage heeft tot doel de volgende vragen te beantwoorden:

- Welke maatregelen komen bij de verschillende zoekrichtingen in beeld?

- Kan voor deze maatregelen worden aangegeven wat de voorwaarden zijn voor (succesvolle) toepassing?
- Wat betekent dit voor toepassing in het rivierengebied (welke maatregel op welke locatie)?

Dit impliceert dat afwegingen die in het verleden hebben plaatsgevonden niet tot een filtering van de aangegeven maatregelen hebben geleid. Doel van de rapportage is niet te 'waarderen' maar 'op een rij te zetten'. Argumenten die in het verleden aanleiding zijn geweest maatregelen als meer of minder kansrijk te beschouwen, hebben dan ook geen rol gespeeld bij het benoemen en/of op kaart aangeven van maatregelen. Aangezien de context van de wateropgave verandert, kan er immers aanleiding zijn of ontstaan deze argumenten te heroverwegen.

Gezien het doel van de rapportage is de effectiviteit van maatregelen in relatie tot de wateropgave ook geen criterium geweest bij het benoemen en/of op kaart zetten. Dit geldt overigens ook voor eventuele omvangrijke of geringe effecten: dit was geen criterium voor onderliggende rapportage. Afweging en weging vindt plaats in de stap van mogelijke naar kansrijke strategieën. De rapportage Verkenning Zoekrichtingen bereidt voor ten behoeve van het voorstel voor Mogelijke Strategieën.

## 1.5 Afbakening

De verkenning beperkt zich geografisch tot de dijkringen gelegen langs de Rijntakken (Waal, Nederrijn-Lek en IJssel) en de Maas. Mogelijke maatregelen voor het benedenrivierengebied worden verkend door Deelprogramma Rijnmond Drechtsteden. De betreffende drie deelprogramma's trekken gezamenlijk op in het definiëren van de deltabeslissing Rijn-Maasdelta.

Qua inhoudelijke afbakening wordt opgemerkt dat dit rapport niet pretendeert volledig te zijn. Het overzicht aan mogelijke maatregelen vormt een eerste aanzet voor de verkenning van de maatregelen binnen de verschillende zoekrichtingen, en dient als inspiratiebron voor een verdere en meer diepgaande synthese en analyse in de Vraagspecificatie Mogelijke Strategieën.

Aangezien het schaalniveau van de maatregelen binnen de zoekrichtingen verschilt, zijn de kaarten van de zoekrichtingen wat dit betreft niet consistent. Ook kan een maatregel soms onder twee zoekrichtingen vallen. In het geval van Deltadijken staan deze zowel bij 'Doe meer met de dijken', als bij 'Anders kijken naar water' op kaart. De ambitie bij het verkennen van de zoekrichtingen was dan ook niet een allesomvattende definitie aan te leggen. Dit past ook niet bij het abstractieniveau en het schaalniveau van deze verkenning. De Verkenning van de Zoekrichtingen heeft veel meer tot doel een dusdanige ordening en analyse tot stand te brengen, dat op basis van de resultaten een discussie over mogelijke strategieën gefaciliteerd kan worden.

Aan het samenstellen van de kaarten is een inventarisatie van bestaande maatregelen vooraf gegaan. Dit betekent dat gebruik is gemaakt van bestaand materiaal uit eerdere studies, maar ook uit de inbreng van maatschappelijke organisaties en betrokkenen/ belanghebbenden. Zie voor een overzicht hiervan bijlage A en de literatuurlijst.

## 1.6 Kaarten

In dit rapport zijn kaartjes opgenomen die de locaties weergeven waar maatregelen uit de zoekrichtingen mogelijk kansrijk zijn. Deze kaartjes zijn gebaseerd op de overzichtskaarten per zoekrichting. De kaartjes in dit rapport betreft echter steeds slechts 1 maatregel. Ook zijn de ingetekende maatregelen genummerd, zodat de locaties genoemd in de tekst eenvoudiger terug te vinden zijn op de kaartjes.

## 1.7 Leeswijzer

Na deze inleiding wordt in hoofdstuk 2 gestart met het beschrijven van de zoekrichtingen. Hoofdstuk 2 geeft een beeld van mogelijke maatregelen binnen de zoekrichting "ruimte voor de rivier plus". Hoofdstuk 3 gaat in op mogelijke "grote gebaren". Maatregelen die deel uitmaken van de zoekrichting "doe meer met dijken" staan vermeld in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 gaat in op maatregelen van het type "anders kijken naar water". Een indruk van het vervolgproces wordt gegeven in hoofdstuk 6.

## 2 Ruimte voor de rivier plus

### 2.1 Inleiding

Voor de zoekrichting Ruimte voor de Rivier plus geldt dat er al een goede verkenning van de mogelijke maatregelen ligt. De eerste verkenning naar de invulling van de zoekrichtingen Ruimte voor de Rivier plus is dan ook gedaan op basis van deze bestaande studies. Voor de Rijntakken is gebruik gemaakt van de Spankrachtstudie, de maatregelen die in het kader van de PKB Ruimte voor de Rivier zijn verkend en het gebiedsontwikkelingsproject Waalweelde. Voor de Maas is een uitgebreide verkenning uitgevoerd om toekomstige afvoeren van 4.200, 4.400 en 4.600 m<sup>3</sup>/s met ruimtelijke maatregelen op te lossen. Deze Integrale Verkenning Maas heeft geresulteerd in IVM1 en IVM2. In IVM1 zijn alle mogelijke ruimtelijke maatregelen geïnventariseerd. In IVM2 zijn de maatregelen opgenomen die op draagvlak in de regio konden rekenen. Al deze ruimtelijke maatregelen voor Rijn en Maas zijn in één kaart gezet. Zo wordt een volledig overzicht gegeven van alle eerder bedachte maatregelen. Omdat aan deze maatregelpakketten kwantitatieve analyses ten grondslag liggen, kan ook worden aangegeven in hoeverre deze maatregelen in staat zijn om de verwachte toenames van de maatgevende waterstanden (als gevolg van klimaatverandering), ongedaan te maken.

### 2.2 Maatregelen op kaart

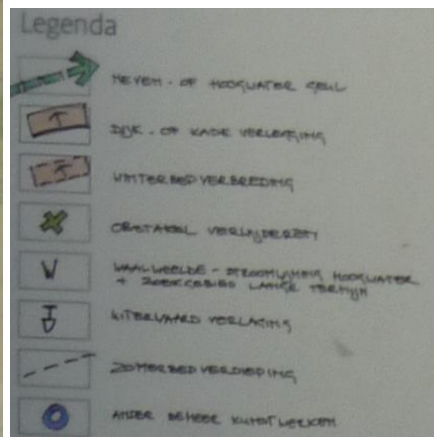
Voor de invulling van deze zoekrichting is gebruik gemaakt van maatregelen die zijn verkend vanuit Spankracht, de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (PKB RvdR) Integrale Verkenning Maas 2 (IVM2) en Waalweelde. De maatregelen zijn ingetekend op kaart (Figuur 2.1 t/m Figuur 2.3). De maatregelen betreffen alle maatregelen die aanvullend, op het Basispakket van de PKB Ruimte voor de Rivier (korte termijn) en de lange termijn reserveringen uit de PKB, kunnen worden genomen.

Gezien de investering in –en intensiteit van de omgevingsprocessen, die in het kader van bovengenoemde studies hebben plaatsgevonden, wordt er vanuit gegaan dat met de verzameling van de maatregelen uit deze studies, 95% van de mogelijkheden is afgedekt. Er kan aanleiding zijn voor aanpassingen en/of aanvullingen. Dit zal dan in het regioproces ontstaan.

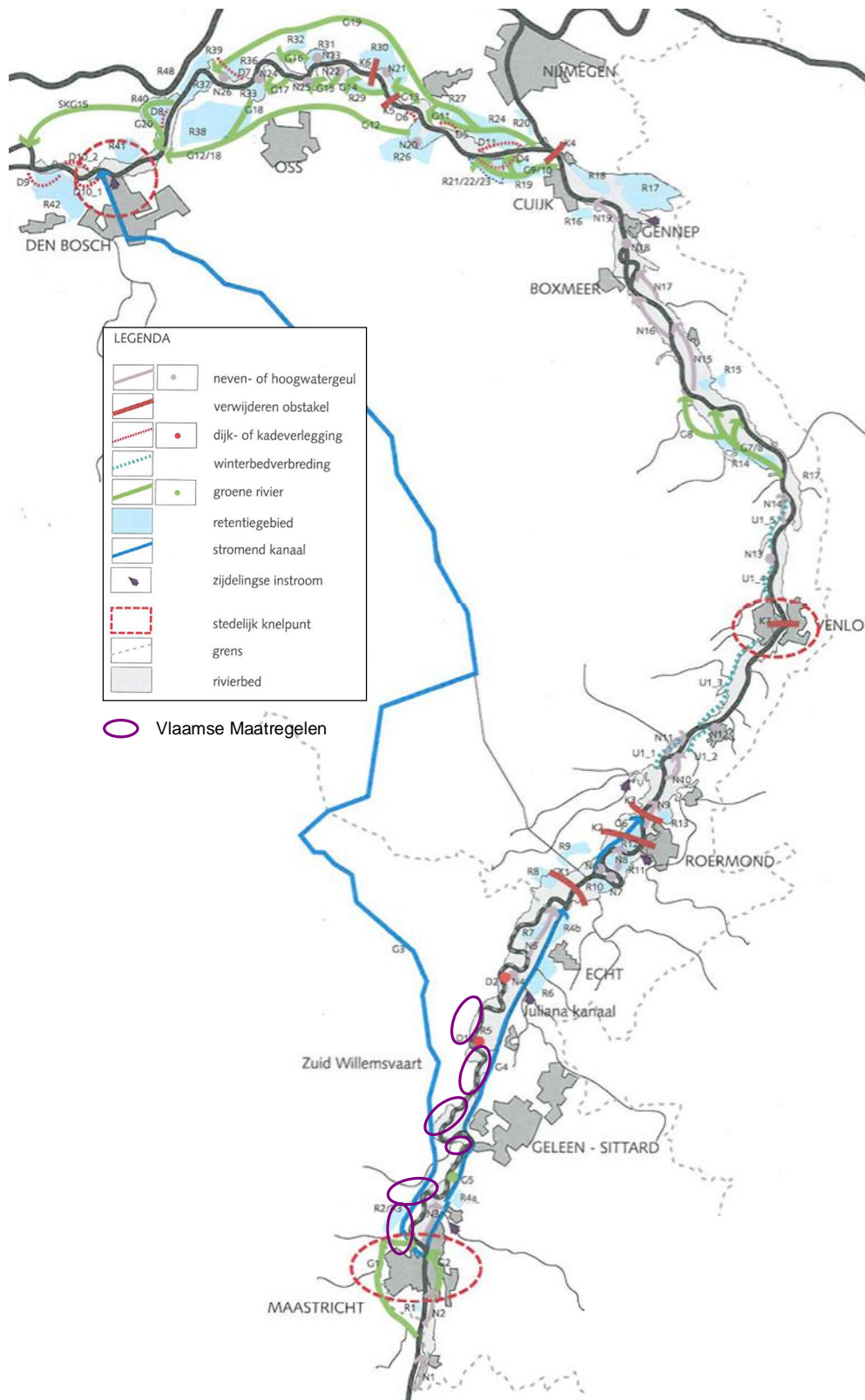
Voor bijna elke uiterwaard is wel een maatregel in de vorm van uiterwaardverlaging, dijkverlegging of aanleg van een nevengeul beschikbaar. Voor alle maatregelen geldt dat ze als doel hebben meer ruimte te geven aan de rivier, waardoor een grotere hoeveelheid water door het rivierbed kan worden afgevoerd zonder dat dit tot hogere waterstanden leidt. Daarnaast spelen bij dit type maatregel ook meekoppelkansen vanuit andere functies (o.a. natuur) een belangrijke rol.



Figuur 2.1 Mogelijke RvdR+ maatregelen voor Nederrijn, Lek, Waal en Beneden Maas (legenda zie Figuur 2.2)



Figuur 2.2 Mogelijke RvdR+ maatregelen voor de IJssel



Figuur 2.3 Mogelijke RvdR+ maatregelen voor de Boven Maas

## 2.3 Analyse

Rivierverruiming is vooral in het bovenrivierengebied een aantrekkelijke maatregel. In het beneden rivierengebied heeft dit type maatregel vrijwel geen effect aangezien daar de invloed van de zee te groot is. De invloed van de zee wordt op de Waal tussen Zaltbommel en Dordrecht bijvoorbeeld dusdanig groot dat de zoekrichting RvdR+ hier de LT hoogwateropgave, in termen van verwachte toename van de maatgevende waterstand, niet meer kan oplossen.

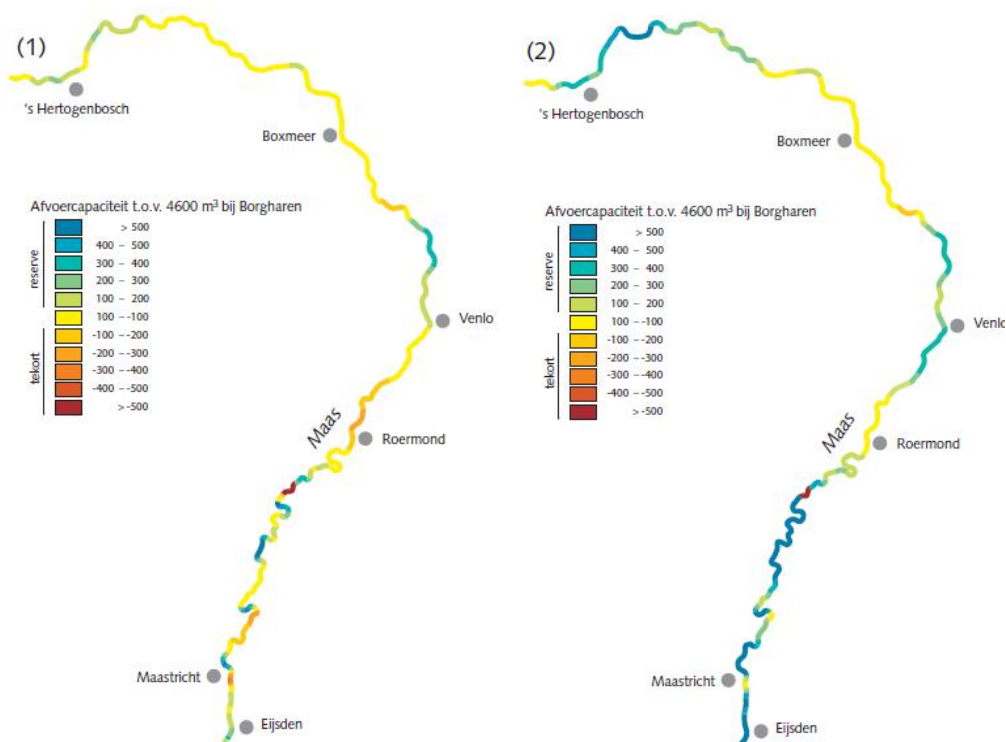
Rivierverruiming is vaak ook moeilijk inpasbaar in bebouwd gebied, simpelweg omdat hier vaak weinig ruimte beschikbaar is, en het vrijmaken of vrijhouden van ruimte hier relatief duur is.

### *Effectiviteit*

Zoals eerder opgemerkt liggen aan de PKB-studie en de IVM-studie hydraulische analyses ten grondslag. Dit betekent dat voor alle ruimtelijke maatregelen het waterstandsverlagend effect is vastgesteld. In het kader van het Deltaprogramma rivieren is de verwachte stijging van de maatgevende waterstand bepaald. Voor de Maas is deze het gevolg van een verwachte toename van de maatgevende afvoer van 3.800 m<sup>3</sup>/s naar 4.600 m<sup>3</sup>/s. De opgave is gedefinieerd in de rapportage Gebiedsopgave. Op het moment van verschijnen van onderliggende rapportage, stond de rapportage Gebiedsopgave geagendeerd voor bespreking en vaststelling in de stuurgroepvergaderingen van januari 2012. Door de verwachte waterstandsdeling van alle ruimtelijke maatregelen te vergelijken met de berekende waterstandstijging, als gevolg van een toename van de maatgevende afvoer, wordt inzichtelijk gemaakt of het effect van klimaatverandering op het overstromingsrisico teniet kan worden gedaan met behulp van ruimtelijke maatregelen. Een dergelijke analyse is ook uitgevoerd door Silva en Van der Linde (2008). De resultaten zijn te zien in Figuur 2.4 en Figuur 2.5. Dit betreft een analyse ten opzichte van de wateropgave in cm.

Figuur 2.4 toont de resultaten voor de Maas uit deze rapportage. Uit de linkerfiguur blijkt dat het IVM2 pakket voldoende is om de verwachte waterstandstijging ongedaan te maken (alle gele trajecten). Op de groene en de blauwe trajecten is zelfs nog sprake van enige overcapaciteit. De waterstand is hier lager dan strikt noodzakelijk. Op alle oranje en rode trajecten wordt onvoldoende waterstandsdeling gerealiseerd.

De rechter figuur geeft dezelfde informatie weer. Alleen is hier sprake van het IVM2 pakket aangevuld met een aantal aanvullende maatregelen. In dat geval is op meer locaties sprake van overcapaciteit.



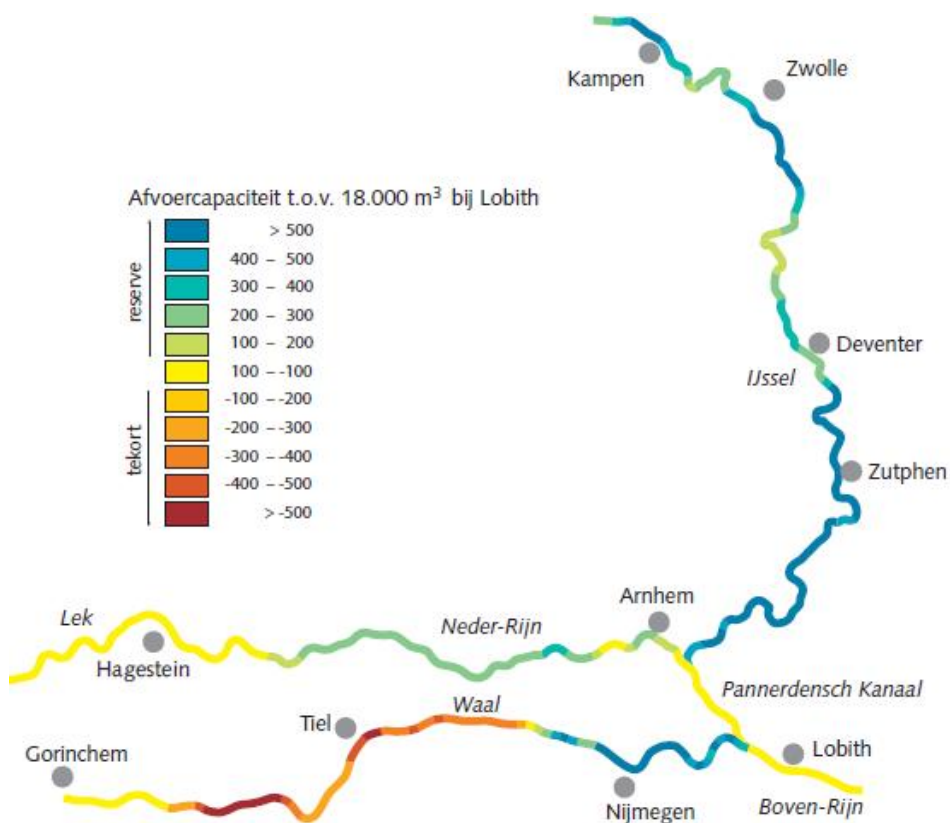
Figuur 2.4 Tekort en reserve afvoercapaciteit (indicatief in  $m^3/s$ ) t.o.v.  $4600 m^3/s$  bij Borgharen (1) na verruiming van het rivierbed volgens IVM 2 (2) als (1) plus overige maatregelen (Bron: Silva en Van der Linden, 2008)

Figuur 2.5 toont de resultaten voor de Rijntakken. Zichtbaar is dat het lange termijn pakket aan PKB maatregelen op veel plaatsen voor voldoende waterstandsdaling zorgt. Alleen op de Middenwaal bieden ruimtelijke maatregelen onvoldoende mogelijkheden.

## 2.4 Conclusie

Voor de zoekrichting Ruimte voor de Rivier plus komen alle maatregelen in aanmerking die verkend zijn in het kader van o.a. de Spankrachtstudie, de PKB RvdR, IVM en Waalweelde. In het regioproces zullen hier nog maatregelen aan toe worden gevoegd.

Toepassing van dit type maatregelen is vooral kansrijk in het bovenrivierengebied, op locaties waar voldoende ruimte beschikbaar is (brede uiterwaarden, riviertrajecten zonder bebouwing nabij de rivier), en waar geen belemmeringen zijn vanuit bijvoorbeeld hoge landschappelijke en cultuurhistorische waarden. Op basis van de conclusies uit de rapportage van Lobith en Eijsden naar Zee kan de wateropgave, uitgedrukt in cm en exclusief een opgave als gevolg van deltabeslissingen, naar verwachting op de Middenwaal niet alleen met Ruimte voor de Rivier maatregelen worden gerealiseerd. Het IVM2 pakket is naar verwachting voldoende om de benodigde waterstanddaling te realiseren (opgave in cm. exclusief de doorwerking van Deltabeslissingen).



Figuur 2.5 Tekort en reserve afvoercapaciteit (indicatief in m<sup>3</sup>/s) t.o.v. 18.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith en verruiming van het rivierbed volgens het PKB-LT pakket met aanvullende maatregelen en inzet van het Rijnstrangengebied (aftopping 500 m<sup>3</sup>/s) (Bron: Silva en Van der Linden, 2008)

## 3 Grote gebaren

### 3.1 Inleiding

Onder Grote Gebaren worden de maatregelen geschaard die effect sorteren op systeemniveau, op bovenlokale schaal. Over het algemeen betreft het ingrepen die de huidige waterstaatkundige systeeminrichting wijzigen. Voor een eerste verkenning van mogelijke maatregelen die passen binnen de zoekrichting "Grote gebaren" is gebruik gemaakt van een groot aantal studies. Een samenvatting van al deze studies (inclusief weergave van de maatregelen op kaart) is gegeven in Levelt en Asselman (2011). Onderstaande tekst geeft een beknopt overzicht van de meest in het oog springende maatregelen en/of maatregelen die in meer dan 1 studie zijn voorgesteld. Het gaat hierbij om de volgende type maatregelen:

- Alternatieve afvoerroutes (bijvoorbeeld via kanalen en andere kleinere waterlopen)
- Groene rivieren
- Natuurlijk rivierdal (ruime jas)
- Aanpassing van de afvoerverdeling
- Retentie en detentie
- Begrensde rijksbescherming

Naar aanleiding van de WerkABG van 6 oktober 2011 is aan de zoekrichting Grote Gebaren nog de maatregel 'integraal verlagen van de Maaskades' toegevoegd en 'verhogen van de Maaskades tot een niveau van 1/1250'. Deze maatregelen zijn ondergebracht bij de grote gebaren aangezien deze een significante invloed hebben op de waterstanden benedenstrooms.

### 3.2 Alternatieve afvoerroutes

Bij de maatregel "alternatieve afvoerroute" gaat het om bestaande waterlopen, anders dan de bestaande grote rivieren, die worden benut om een deel van de rivierafvoer af te voeren. Hierbij valt te denken aan afvoer via het Amsterdam-Rijnkanaal (nummer 1 in Figuur 3.1), de Kromme Rijn en de Vecht (nummer 2) en de Oude Rijn (nummer 3).



Figuur 3.1 Alternatieve afvoerroutes

### Analyse:

De hoeveelheid water die door deze waterlopen kan worden afgevoerd is beperkt. Uit aanvullende berekeningen die in het kader van DPR zijn uitgevoerd (memo van Buren en Asselman, 2011) blijkt dat het Amsterdam-Rijnkanaal een afvoer van ongeveer 300 m<sup>3</sup>/s zou kunnen afvoeren. Bij hogere afvoeren overstromen gebieden ten zuiden van Utrecht. Bij deze simulaties is alleen gekeken naar de hoogte van de kering. Er is geen rekening gehouden met de stabiliteit en eventuele problemen gerelateerd aan de stroomsnelheid. Dit betekent

dat in werkelijkheid al bij lagere afvoeren sprake zou kunnen zijn van problemen. De afmetingen van de Kromme Rijn en de Vecht zijn nog beperkter. Zij hebben naar verwachting een geringere capaciteit. Baan en Klijn (1998) merken op dat deze waterlopen ook als nadeel hebben dat zij ver benedenstrooms aantakken. Deze systemen bieden daardoor verlichting aan een relatief klein gebied. Daarmee komen zij alleen in beeld om het meest benedenstroomse deel van de Lek te ontlasten. Op dit traject is weinig ruimte beschikbaar voor ruimtelijke maatregelen en is dijkversterking relatief kostbaar in verband met lintbebouwing langs de dijk en een slappe ondergrond.

Langs de Maas zou de Zuid Willemsvaart (nummer 4 in Figuur 3.1) kunnen worden benut om een deel van de Maasafvoer naar het noorden af te voeren. Dit water komt bij Den Bosch terug in de Maas terecht. Net als bij eerder genoemde systemen heeft ook dit systeem een beperkte capaciteit in de huidige situatie. Zeker onder maatgevende omstandigheden mag worden aangenomen dat er dermate veel neerslag is gevallen, dat de waterstanden op het kanaal al vrijwel maximaal zijn. Daarnaast is de terugstroom naar de Maas een aandachtspunt in verband met het mogelijk samenvallen met de piekafvoer benedenstrooms.

### 3.3 Groene rivieren

Onder groene rivieren worden aanvullende riviersystemen verstaan die ingezet worden bij hoge rivierafvoeren. Dit betekent dat deze elementen voor een groot deel van de tijd 'groen' zijn.

De inventarisatie van eerder uitgevoerde studies (Levelt en Asselman, 2011) levert een scala aan verkende tracés op. Bij sommige groene rivieren is sprake van een aangepast landgebruik, bijvoorbeeld om de hydraulische ruwheid te verlagen. In veel gevallen is echter sprake van het huidige landgebruik, waarbij eventueel aanvullende maatregelen worden getroffen om bebouwde gebieden te beschermen. Met name in de dieper gelegen komgebieden dienen groene rivieren te worden begrensd door (hoge) dijken. Zo wordt de afvoercapaciteit vergroot en wordt voorkomen dat aangrenzende gebieden overstromen. In hoger gelegen gebieden (zoals het bovenstroomse deel van dijkkring 36 en de onbedijkte Maas) zijn geen of veel lagere dijken nodig om het water te leiden.

Verkende tracés zijn aangegeven in Figuur 3.2. Ze zijn o.a. gelegen aan de westkant van de IJssel (nummer 1 in Figuur 3.2) en door de Gelderse vallei (nummer 2). In de studie Rijn op Termijn (Baan en Klijn, 1998) wordt over het tracé door de Gelderse Vallei opgemerkt dat zich in het laagste deel twee grote plaatsen bevinden (Amersfoort en Veenendaal) en dat de doorstroming ook wordt gehinderd door een aantal oost-west georiënteerde dekzandruggen.

Ook in de Betuwe en de Tieler- en Culemborgerwaarden zijn groene rivieren verkend (locatie 3a t/m 3e). De tracés lopen in veel gevallen langs de Linge, maar er zijn ook varianten verkend waarbij alleen de bovenloop van de Linge wordt gevolgd om het water vervolgens af te leiden via de Gelderse Vallei (Baan en Klijn, 1998) of via het Land van Maas en Waal (Rietveld, 2003).

Verkende tracés in het Land van Maas en Waal (nummer 4) en de Bommelerwaard (nummer 5) hadden zowel tot doel het afvoeren van Maaswater als van Rijnwater. De meest stroomafwaarts gelegen tracés bevinden zich in de Alblasserwaard en het Land van Altena (nummers 6 en 7).

Naast het tracé door de Betuwe (nummer 3) worden ook de tracés via de Beerse Maas (nummer 8) en door de dijkkring Rijn en IJssel (nummer 9) veelvuldig genoemd. Op het tracé van de Beerse Maas is een aantal varianten verkend. In sommige gevallen stroomt het water al nabij Grave uit de Maas naar de groene rivier (8a). In andere gevallen gebeurt dat pas verder benedenstrooms, bijvoorbeeld bij Keent (8b) of Lithoijen (8c). Ook de locatie waar het water terugstroomt naar de Maas verschilt. Soms is sprake van terugstroming nabij Den Bosch, maar het water kan ook verder worden afgevoerd naar het westen (8d). In de tijd dat de Beerse Maas nog volledig werd ingezet (tot 1880) had deze een overstroombaar oppervlak van bijna 26.000 ha (Asselman en Klijn, 2002), en een afvoercapaciteit van ongeveer 1300 m<sup>3</sup>/s tot 1400 m<sup>3</sup>/s (Lely, 1926; Peters & Van Rens (2000). In 1942 is de Beerse Maas definitief gesloten.

In Rijn en IJssel is het meest genoemde tracé dat via de Rijnstrangen (9a). Maar ook het tracé via de Oude IJssel, ten oosten van Montferland, wordt genoemd (9b).

De groene rivieren langs de onbedijkte Maas zijn minder omvangrijk en kunnen daarom ook gezien worden als maatregel binnen de zoekrichting Ruimte voor de Rivier plus. De enige tracés die hier als voorbeeld zijn ingetekend zijn die nabij Maastricht (10) en Ooijen-Wanssum (11).

#### *Analyse:*

Over het algemeen kan worden gesteld dat groene rivieren vooral verkend worden langs de bedijkte Maas en de drie Rijntakken.

De meeste groene rivieren zijn slechts zeer globaal verkend. Bij de meeste studies is het tracé op kaart aangegeven, maar zijn er geen sommen gemaakt om na te gaan wat de exacte capaciteit is van de groene rivier en hoe de in- en uitlaatwerken er uit moeten zien om de juiste capaciteit te waarborgen.

In het algemeen kan worden gesteld dat groene rivieren in het benedenrivierengebied geen verlichting bieden, omdat het verhang hier te gering is. Langs de onbedijkte Maas is het aantal mogelijkheden voor grootschalige groene rivieren beperkt in verband met de beperkte breedte van het rivierdal.



Figuur 3.2 Groene rivieren

### Natuurlijk rivierdal (ruime jas)

Klijn et al. (2002) spreken in hun rapport “Ruimte voor de Rivier, Ruimte voor de Natuur?” over de mogelijkheid om een natuurlijk rivierdal te ontwikkelen door dijken zeer ver terug te leggen, of zelfs weg te nemen. Dit zou kunnen worden gezien als een vergaande vorm van een groene rivier. Mogelijkheden voor een natuurlijk rivierdal zijn er vooral Langs de IJssel (combinatie van onder andere tracé 1a en 1b) en de Maas (tracé 8a t/m 8c) in verband met de aanwezigheid van hoge gronden. Klijn et al. (2002) merken in dit kader ook op dat de benedenloop van de IJssel pas sinds 1960 volledig bedijkt is. Het laatste deel van de Beerse Maas is ook pas in 1942 gesloten.

### 3.4 Sleutelen aan de afvoerverdeling - extra afvoer via één tak?

In een aantal studies wordt voorgesteld om niet vast te houden aan de beleidsmatige afvoerverdeling zoals vastgesteld in de PKB, maar meer water af te voeren over één tak, waardoor andere takken ontzien worden. In de meest extreme variant kan er voor gekozen worden om alle extra afvoer af te voeren via één bestaande tak. Ook hierbij is de achterliggende gedachte dat het wellicht aantrekkelijker is om één tak rigoureus aan te pakken en de andere takken geheel te ontzien.

#### **Extra afvoer naar het noorden via de IJssel**

Bij de studie Rijn op Termijn is er voor gekozen om alle extra afvoer via de IJssel (1 in Figuur 3.3) af te voeren (Baan en Klijn, 1998; Kwadijk, 1998). De redenen hiervoor waren de beschikbare bergingscapaciteit op het IJsselmeer, het grote verval, en het beperkt aantal stedelijk knelpunten (minder dan langs de overige takken en/of eenvoudiger afzonderlijk te beschermen). Ook leent de IJssel zich door de geomorfologische setting (natuurlijk rivierdal met geleidelijk oplopende oevers en geringe inundatiedieptes) het meest voor de ontwikkeling van een nagenoeg natuurlijke rivier.

Bij de berekeningen, die zijn uitgevoerd (Kwadijk, 1998), is aangenomen dat tussen Doesburg en Deventer het bestaande winterbed van de IJssel sterk wordt verbreed door verlegging van de winterdijken. Tussen Deventer en Zwolle wordt de afvoercapaciteit van de IJssel vergroot door de westelijke rivierdijk te verwijderen. In dit riviertraject kan de rivier bij hoogwater het gehele IJsseldal benutten tot aan het Apeldoorns Kanaal. Benedenstrooms van Zwolle wordt de bestaande uitlaat naar het IJsselmeer sterk verbreed en een extra uitlaat via het Zwarte Water gecreëerd.

Naar verwachting is de voorgestelde maatregel voldoende om de waterstanden over nagenoeg de hele IJssel te doen afnemen tot het huidige MHW. Bij de berekeningen in het kader van Rijn op Termijn werd uitgegaan van een extra afvoer van 5000 m<sup>3</sup>/s over de IJssel (verschil 15.000 m<sup>3</sup>/s – 20.000 m<sup>3</sup>/s). In dat geval was de voorgestelde maatregel onvoldoende om de waterstanden over de hele IJssel te doen afnemen tot het huidige MHW: op het traject Doesburg-Deventer was een verder waterstandsdeling nodig van 0,4 tot 0,8 m. In het kader van PDR wordt echter gekeken naar een extra afvoer van 2000 m<sup>3</sup>/s in plaats van 5000 m<sup>3</sup>/s (verschil 16.000 m<sup>3</sup>/s – 18.000 m<sup>3</sup>/s in plaats van 15.000 m<sup>3</sup>/s – 20.000 m<sup>3</sup>/s).

#### **Alle afvoer naar het westen via de Maas en de Waal**

De optie om al het water naar het westen af te voeren is onderdeel van het Plan Beaufort Beaufort (idee Gé Beaufort). Dit plan gaat uit van de formatie van twee super dijkringen: één ten noorden van de Waal en één ten zuiden van de Maas (2 in Figuur 3.3). Deze dijken worden extra sterk aangelegd. Verreweg het meeste water wordt afgevoerd via deze nieuwe rivier. De IJssel en de Nederrijn-Lek worden ontlast door middel van een regelwerk bij de Pannerdensche Kop. In het benedenrivierengebied wordt een stelsel van dammen en/of sluizen aangelegd voor de scheepvaart. De hoofdafvoer vindt plaats via het Haringvliet naar zee. Ook hier moet een kering worden aangelegd om het zeewater tijdens een stormvloed buiten te houden.



Figuur 3.3 Aanpassing van de afvoerdeling

### Sturen op splitsingspunten

Bovenstaande maatregelen betreffen een verregaande wijziging van de afvoerdeling zoals die is vastgelegd in de PKB. Minder omvangrijke aanpassingen zijn ook mogelijk. In theorie is een scala aan afvoerdelingen te realiseren door maatregelen te treffen bij de splitsingspunten (Pannerdensche kop en IJsselkop locaties 4 en 5 in Figuur 3.3).

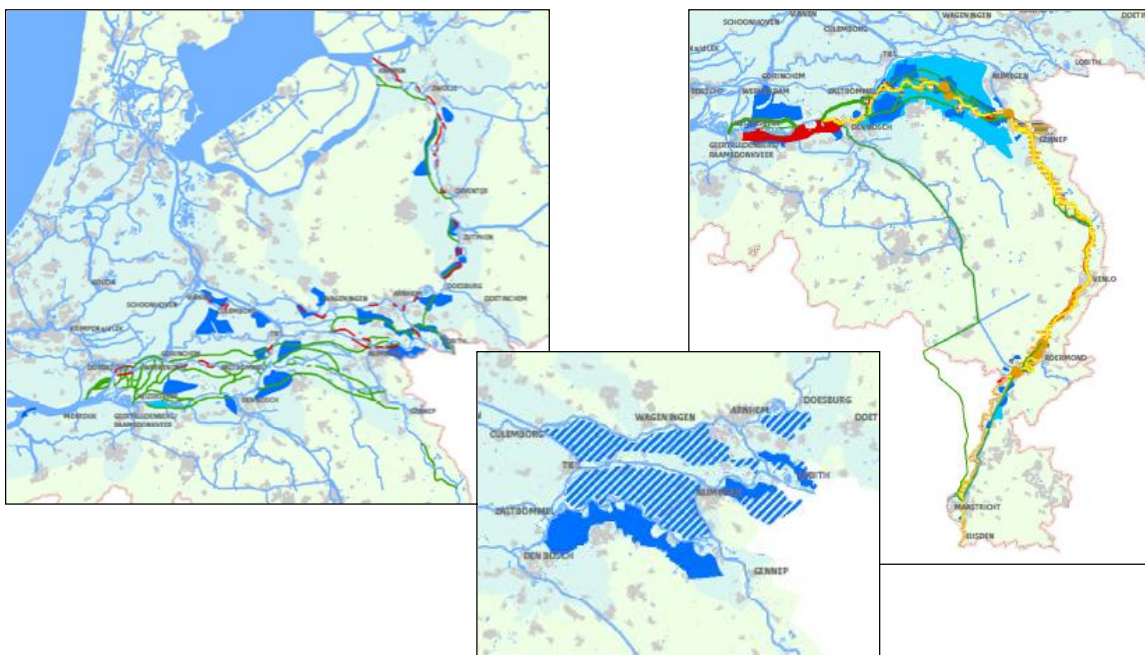
### Heerewaardensche Overlaat

Een laatste manier om de afvoerdeling aan te passen is het in ere herstellen van de Heerewaardensche overlaat (locatie 6). Hier stroomde in het verleden een deel van de afvoer van de Waal naar de Maas. Schattingen van de hoeveelheden water die over de overlaat stroomden variëren van orde 1200 tot meer dan 1300 m<sup>3</sup>/s (Klijn, 2002). De belangrijkste reden voor de sluiting van de overlaat was de sterke toename van de waterstand op de Maas. Sinds de afsluiting is echter sprake van een daling van de hoogwaterstanden, hoofdzakelijk door de verbeterde afvoer via de Bergsche Maas en door de normalisatie en de kanalisatie van de Maas. Klijn (2002) geeft aan dat er in dit kader wellicht mogelijkheden zijn voor het terug in werking stellen van een (geregelde) overlaat.

## 3.5 Retentie en detentie (of: vasthouden en bergen)

In het verleden zijn meerdere studies uitgevoerd naar de mogelijkheid om retentiegebieden in te zetten. Een overzicht van alle onderzochte gebieden is te vinden in Levelt en Asselman (2011). Figuur 3.4 geeft een aantal voorbeelden. Door de Commissie Luteijn zijn de Ooijpolder, het Rijnstrangengebied en de Beerse Maas als meest kansrijk bestempeld.

Langs de IJssel en de Maas is ook de lokale wateraanvoer naar het hoofdsysteem van belang (zijdelingse toestroming). Er is in het verleden gekeken naar mogelijkheden om water vast te houden in de stroomgebieden van de zijrivieren langs deze rivierlopen om de afvoer op het hoofdsysteem te ontlasten. Opgemerkt wordt dat het mogelijk verstandiger is om aan het begin van een hoogwater juist versneld af te voeren. Dit om er zeker van te zijn dat de afvoerpiek vanuit de zijrivieren voor de afvoerpiek op de hoofdriever valt.



Figuur 3.4 Bestudeerde retentiegebieden in de Spankrachtstudie (links), IVM (rechts) en door de Commissie Luteijn (midden)

Om een zo groot mogelijk gebied te ontzien is het raadzaam retentiegebieden zo ver mogelijk bovenstrooms aan te wijzen. In dit kader kan ook retentie in Duitsland overwogen worden. Gedacht wordt in dat geval aan grote bekkens en stuwmeren, maar ook aan het vasthouden van water in de haarvaten.

In het kader van het project IRMA-SPONGE (Hooijer et al., 2002) is eveneens gekeken naar de mogelijkheden om water vast te houden (*retention*) of te bergen (*detention*) in de stroomgebieden van de Rijn en de Maas. Het vasthouden van water gebeurt vooral aan het begin van een hoogwater. Wanneer het totale bergingsvolume benut is, moet het overtollige water alsnog worden afgevoerd. Geconcludeerd werd dat *retention* in het bovenstroomse deel van het Rijnstroomgebied niet effectief is bij het aftoppen van extreme hoogwaters in het benedenstroomse deel. De belangrijkste reden hiervoor is de complexiteit in de timing van de afvoerpieken uit de zijrivieren ten opzichte van die op de hoofdriever: in sommige gevallen kan het vasthouden van water leiden tot vertraging van de afvoergolf uit de zijrivieren, zodat deze vervolgens samenvalt met de piek op de hoofdriever. In dit geval neemt de piekafvoer benedenstrooms toe in plaats van af.

In het geval van *detention* wordt een bergingsgebied ingezet om een deel van het hoogwater af te toppen. De belangrijkste reden waarom bergingsgebieden als weinig kansrijk werden beoordeeld is de tegenstelling in belangen. Het moment waarop een bergingsgebied moet worden ingezet om het risico benedenstrooms te verminderen kan afwijken van het moment

waarop het gebied ingezet zou moeten worden om het lokale risico te verkleinen. Dit vergt een zeer sterke communicatie en coördinatie tussen de verschillende regio's.

### **3.6 Basisveiligheid plus**

De maatregel "basisveiligheid plus" houdt in dat de overheid zorgt voor een basisveiligheid die gebaseerd is op de huidige maatgevende afvoer (16.000 m<sup>3</sup>/s voor de Rijn en 3.800 m<sup>3</sup>/s voor de Maas). Om ook bij hogere afvoeren veilig te zijn dient de regio zelf initiatief te nemen (samen met burgers en bedrijven).

#### *Analyse:*

Deze maatregel leidt tot een goed klimaat voor innovatieve oplossingen. Ook zorgt het voor een aangepaste verdeling van de verantwoordelijkheden. Eventueel kan er voor worden gekozen om het geld dat wordt uitgespaard (doordat geen maatregelen worden getroffen die het mogelijk maken om hogere afvoeren veilig af te voeren naar zee) in te zetten voor het 'afkopen' van gelede schade (in Nederland, maar ook in bovenstrooms gelegen landen).



## 4 Doe meer met de dijken

Bij het invullen van de zoekrichting “doe meer met de dijken” is gekeken naar deltadijken, maar ook naar “traditionele” dijkversterking. Als onderdeel van de zoekrichting ‘doe meer met de dijken’, worden deltadijken toegepast ten behoeve van preventie. In deze context worden deltadijken gedefinieerd als doorbraakvrije keringen, al dan niet tevens ontworpen voor meervoudig ruimtegebruik.

### 4.1 Traditionele dijkversterking

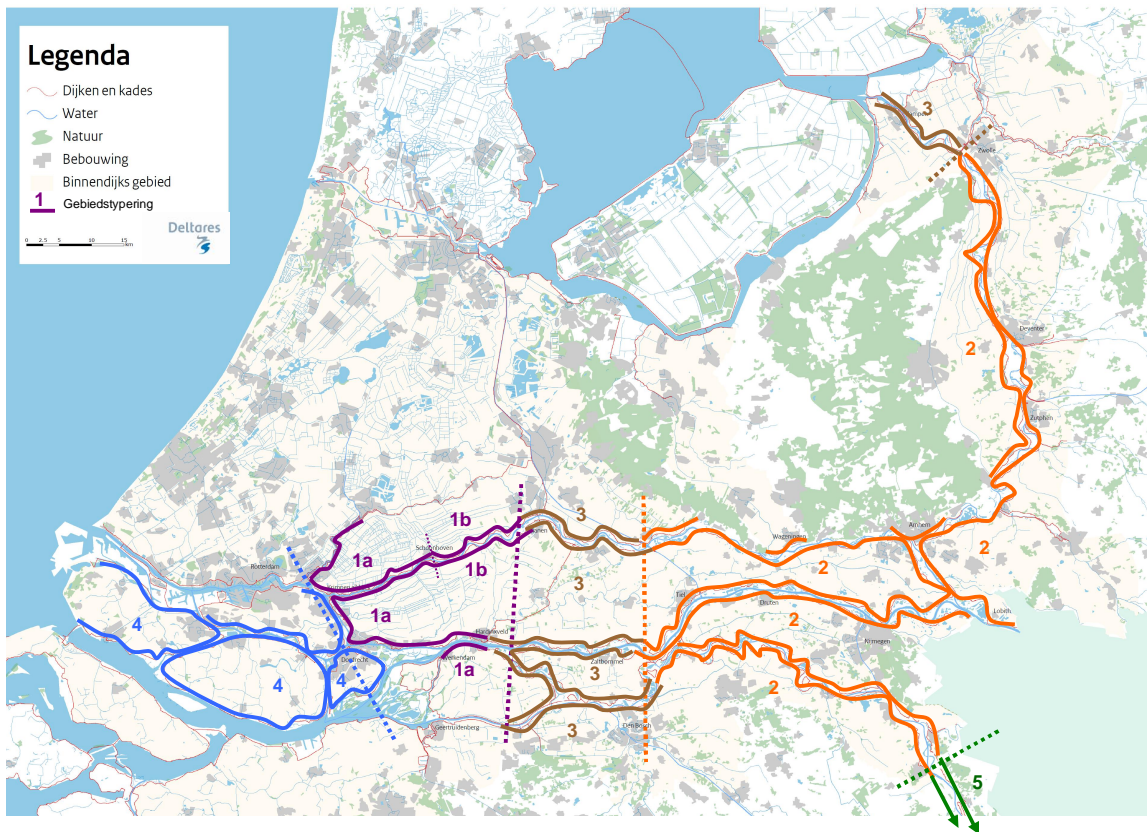
#### 4.1.1 Inleiding

Voor de verkenning van mogelijkheden voor dijkversterking, is in eerste instantie getracht het rivierengebied op te delen in een aantal “homogene” gebieden, waarbinnen gebruik kan worden gemaakt van vergelijkbare oplossingen om dijken aanvullend te versterken. De wens om het aantal typen gebieden beperkt te houden, heeft tot gevolg dat de ruimtelijke detaillering beperkt is. Bij een meer diepgaande verkenning (bijvoorbeeld op dijkkring niveau), kan gebruik worden gemaakt van aanvullende informatie.

Voor een globale typering van de dijken in het rivierengebied is gebruik gemaakt van kennis over de ondergrond en over eventuele bebouwing langs de dijk. Dit resulteerde in de indeling zoals weergegeven in onderstaande tabel en in Figuur 4.1. Opgemerkt wordt dat hierbij nadrukkelijk om een globale indeling gaat en dat de grenzen niet in detail zijn bepaald.

Tabel 4.1 Globale indeling rivierengebied op basis van bodemopbouw

nr in Figuur 4.1	Deelgebied	Bodemopbouw	belangrijkste standzekerheid	probleem
1	Westelijk rivierengebied	dikke Holocene deklaag (orde 10 m) bestaande uit veen en slappe klei	diepe afschuiving door oprijven	
2	Oostelijk rivierengebied	dunne deklaag (max. enkele meters)	piping	
3	Overgangsg gebied tussen 1 en 2	matig dikke deklaag	variabel	
4	Estuaria/kust	dikke Holocene deklaag, maar met ondiepere zandlagen en minder slap dan 1	variabel	
5	Onbedijkte Maas	zand en grind op zeer geringe diepte	kwel	



Figuur 4.1 Globale indeling rivierengebied op basis van geotechnische kenmerken

In Bijlage B worden de belangrijkste dijkversterkingstechnieken besproken die in de verschillende deelgebieden worden toegepast. In het westelijke rivierengebied, waar het opdrijven van slappe lagen (klei en veen) het grootste probleem is, kan men naast versterking in grond, gebruik maken van de volgende technieken:

- Damwanden
- Diepwanden
- Kistdam
- Dijkdeuvels
- Vernageling

In het oostelijk deel van het rivierengebied waar piping het grootste probleem is, kunnen dijken versterkt worden door de aanleg van een of meer van de volgende maatregelen:

- Pipingberm
- Bentonietscherm
- Filterconstructies
- Kwelkades
- Opkisting

Deze laatste twee maatregelen worden doorgaans alleen als noodmaatregel toegepast. Het ruimtebeslag en de kosten van dijkversterking wordt in belangrijke mate bepaald door de keuze voor bovenstaande maatregelen.

## 4.2 Aanleg deltadijken of overstroombare dijken

De term deltadijk wordt sinds kort gebruikt als aanduiding van dijken waarin geen bres zal ontstaan wanneer er water overheen stroomt of er golven overheen slaan. Op die eigenschappen hebben de beschouwingen betrekking van de 2e Deltacommissie (Commissie Veerman) (Deltacommissie, 2008). Van de naam van die commissie is de term deltadijk ook afgeleid, ook al is het concept van de deltadijk al in 1954 beschreven naar aanleiding van de watersnoodramp in 1953, waarbij zeer veel en enorme bressen ontstonden.

In het Nationaal Waterplan (Min. V&W, 2009) wordt onder een deltadijk verstaan: een dijk die niet doorbreekt als er onder extreme omstandigheden een beperkte hoeveelheid water overheen stroomt en die berekend is op de thans geschatte effecten van klimaatverandering tot 2100-2200. Deze omschrijving omvat verschillende eigenschappen van dijken: niet alleen erosiebestendigheid en stabiliteit, maar ook hoogte.

Voor de eerste twee eigenschappen gebruikt het NWP de term 'doorbraakbestendig', hetgeen we hier gelijk veronderstellen aan doorbraakvrij (Silva & Van Velzen, 2008). Een dijk is 'doorbraakvrij' als de dijk zo hoog, breed en sterk is dat onder extreme omstandigheden de kans op een doorbraak door overloop, golfoverslag, erosie van taluds, piping of binnenwaartse macro-instabiliteit honderd keer kleiner is dan volgens de huidige beschermingsnormen (Silva & Van Velzen, 2008). Dit betekent dat een deltadijk in ieder geval sterker moet zijn dan nu vereist is bij conventionele dijken. In de praktijk zullen deltadijken ook vaak breder zijn dan veel huidige dijken, omdat de taludhelling tenminste 1: 3 moet zijn en/of een binnen- of buitenberm nodig is (Klijn & Bos, 2010). Soms zijn deltadijken veel breder om meervoudig ruimtegebruik van het dijklichaam mogelijk te maken. Zulke multifunctionele deltadijken bieden ook ruimte voor recreatie, wonen, of andere functies. Ze zijn dan soms veel breder dan voor veiligheid strikt noodzakelijk is (zie Figuur 4.2).



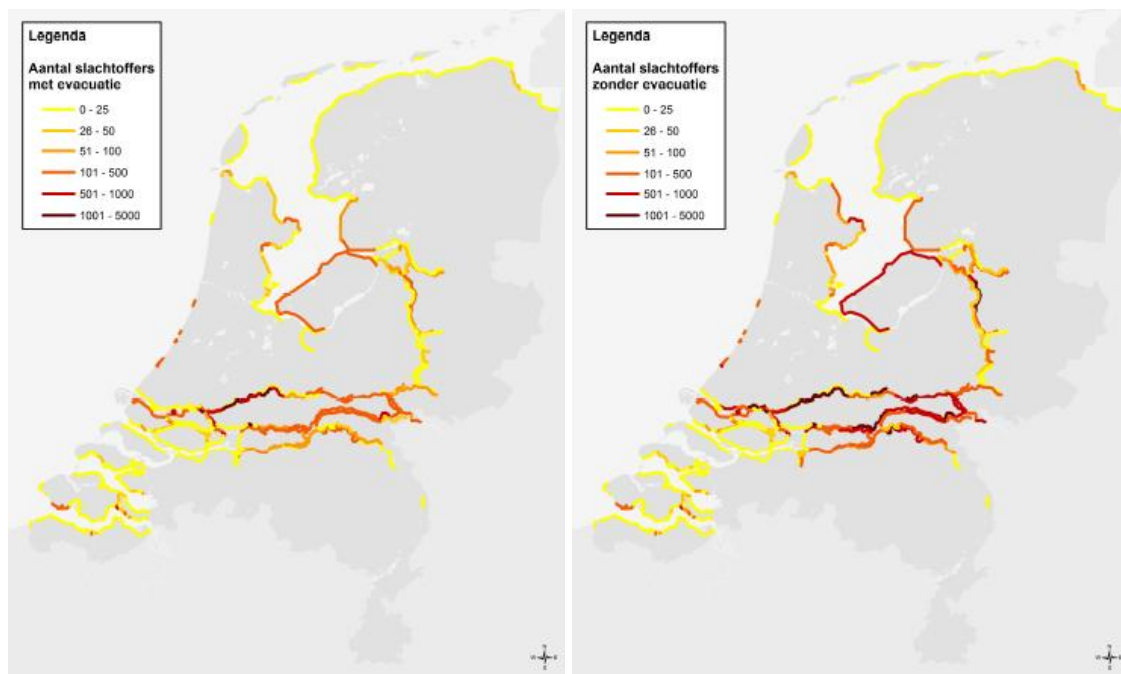
Figuur 4.2 Deltadijk in vergelijking met de huidige dijk, een verhoogde dijk en de multifunctionele brede Deltadijk (bron: De Bruijn en Klijn, 2011)

### Overwegingen bij de toepassing van deltadijken:

Een belangrijke reden voor de aanleg van een deltadijk is naast een reductie van de economische schade, vooral een reductie van het slachtofferrisico. Vanuit dit oogpunt lijkt de aanleg van een deltadijk zinvol op locaties waar stedelijk gebied direct aan de rivier grenst. Langs de IJssel is dit ondermeer het geval bij Zwolle, Deventer en Zutphen. Langs de Nederrijn kan Arnhem extra worden beschermd met een deltadijk. En langs de Waal komt het bebouwd gebied ter hoogte van Lent, Zaltbommel en Gorinchem in aanmerking.

De Bruijn en Klijn (2011) hebben onderzoek gedaan naar de effectiviteit van deltadijken bij het verkleinen van slachtofferrisico's. Figuur 4.3 toont de aantallen verwachte slachtoffers bij een doorbraak op een bepaald dijktraject. De trajecten die donkerrood gekleurd zijn leiden tot

de grootste aantallen slachtoffers. Op deze trajecten lijkt een deltadijk het meest kansrijk, aangezien het de kans op doorbraak verwaarloosbaar klein maakt.



Figuur 4.3 Verwacht aantallen slachtoffers (met en zonder evacuatie) als gevolg van een doorbraak in een specifiek dijktraject (De Bruijn & Van der Doef, 2011)

Op een aantal plaatsen is de huidige waterkering mogelijk al nagenoeg doorbraakvrij. Voor Dordrecht dient te worden nagegaan in hoeverre de huidige waterkering langs de Beneden Merwede en Oude Maas al doorbraakvrij zijn. Het verhoogd aangelegde havengebieden en straten (Voorstraat) maken hier deel uit van de primaire waterkering die al veel weg heeft van een overstroombare dijk. Gezien de grote gevolgen van een doorbraak bij de Kop van 't land (doorgetrokken lijn aan de noordoost kant van het Eiland van Dordrecht) lijkt ook hier de aanleg van een deltadijk voor de hand te liggen.

Tot slot wordt opgemerkt dat de aanleg van een deltadijk weliswaar duur is, maar op basis van kosten/baten afwegingen mogelijk toch op een aantal locaties een aantrekkelijk alternatief is voor "gewone" dijkversterking. Een van deze locaties is de Grebbedijk aan de zuidkant van de Gelderse Vallei. De schade bij een doorbraak op deze locatie is groot, terwijl slechts een beperkt aantal kilometer dijk hoeft te worden verbreed. Dit leidt tot een gunstige baten/kostenverhouding.

In bovenstaande afweging is het uitgangspunt gehanteerd dat preventie de primaire pijler is. De keringen voorzien dus in de wettelijk vastgelegde bescherming. De door de deltadijken gecreëerde bescherming komt daar feitelijk bovenop en heeft tot doel in gebieden met hoge slachtofferrisico's de kans op doorbraak tot het minimum terug te brengen. Dit betekent niet dat daarmee de wettelijk vastgelegde veiligheid in de rest van de dijkkring naar beneden gaat.

## 5 Anders kijken naar water

### 5.1 Inleiding

Overstromingsrisico's worden over het algemeen gedefinieerd als (de integraal van) de kans op overstroming vermenigvuldigd met de gevolgen van die overstroming. Of eenvoudiger: kans x gevolg (FLOODsite, 2009; Klijn et al., 2007).

De kans op een overstroming wordt bepaald door:

- de hydraulische belasting van de waterkering in termen van waterstanden en golfoploop;
- de hoogte en sterkte van de dijk met betrekking tot verschillende faalmechanismen (overloop, overslag, piping, opdrijven, etc.).

De gevolgen van een overstroming zijn afhankelijk van:

- de blootstelling aan de overstroming (overstroomd oppervlak, waterdieptes, stroomsnelheden, stijgsnelheden, etc.);
- de kwetsbaarheid voor overstromingen, afhankelijk van o.a type landgebruik (economische waarde) en aantallen inwoners.

Door zeespiegelstijging en een toename van de maatgevende afvoer van de Rijn en de Maas, zullen de overstromingskansen en de blootstelling, en daarmee het overstromingsrisico, in de toekomst toenemen. Deze toename van het overstromingsrisico kan worden beperkt door de kans op een overstroming te verkleinen. Het verkleinen van de kans op een overstroming kan door de hydraulische belasting te verminderen (verlaging van de buitenwaterstand of vermindering van de golfoploop) of door de dijken te versterken. Maatregelen die in dit kader getroffen kunnen worden zijn uitgewerkt in de zoekrichtingen "ruimte voor de rivier plus", "doe meer met de dijken" en "grote gebaren".

De zoekrichting "anders kijken naar water" richt zich niet op het verkleinen van de kans, maar op het verkleinen van de gevolgen van een overstroming. Dit kan door de blootstelling of de kwetsbaarheid te verkleinen.

#### *Verkleinen van de blootstelling:*

Bij het verkleinen van de blootstelling kan men denken aan het aanleggen van deltadijken in de definitie van overstroombare dijken. Daarnaast kan het compartimenteren van dijkeringen, of het geleiden van water middels geleidedijken overwogen worden.

In het geval van overstroombare dijken, is de dijkhoogte dusdanig dat een gebied bij een bepaalde hoogwaterstand gecontroleerd en gelijkmatig overstroomt. De hoeveelheid water die het gebied in stroomt is vele malen kleiner dan bij de huidige dijken omdat geen sprake is van bresvorming. Het geringere instroomvolume leidt tot een kleiner overstroomd oppervlak en geringere waterdieptes.

In het geval van compartimentering worden grote dijkeringen onderverdeeld in kleinere gebieden. Dit heeft tot gevolg dat bij een doorbraak in de primaire waterkering een kleiner gebied overstroomt.

#### *Verminderen van de kwetsbaarheid:*

Vermindering van de kwetsbaarheid kan worden gerealiseerd bijvoorbeeld door aangepast te bouwen (de schade aan gebouwen zal dan kleiner zijn) of door de zelfredzaamheid van de bewoners te vergroten.

Veel gevolgbeperkende maatregelen zijn verkend binnen de gebiedspilots WV21. Voor het doel van onderliggend rapport gaat de mate van detaillering die is gehanteerd bij de gebiedspilots, te ver. Zo kan optimaliseren van de calamiteitenbeheersing, waaronder preventieve evacuatie, worden verbeterd door het trainen van hulpverleners, professionalisering van de rampenbeheersing, risico- en crisiscommunicatie, versterken zelfredzaamheid, en vergroten van de bewustwording. Deze mate van detail gaat te ver voor onderliggende studie. Wij hebben er daarom voor gekozen om een aantal maatregelen samen te voegen.

De volgende maatregelen zijn onderzocht in het kader van deze verkenning:

- Aanleg overstroombare dijken met oog op gevolgbeperking;
- Compartimentering van dijkkringen;
- Aanleg van geleidedijken;
- Constructie van uitlaatwerken;
- Anders (aangepast) bouwen;
- Elders bouwen (beperking RO);
- Verplaatsing van functies;
- Vergroten (preventieve) evacuatie en zelfredzaamheid;
- Aanleg shelters;
- Aanleg bruggen en wegen gericht op evacuatie en redding van mensen tijdens hoogwater;
- Bescherming kwetsbare infrastructuur;
- Inundatie van dijkkringen tijdens crisissituatie.

## 5.2 Aanleg overstroombare dijken gericht op gevolgbeperking

Een belangrijke reden voor de aanleg van een deltadijk, in de definitie van een kleinere kans op bezwijken, is reductie van het **slachtofferrisico**. Vanuit dit oogpunt lijkt de aanleg van een dergelijke deltadijk zinvol op locaties waar stedelijk gebied direct aan de rivier grenst (locaties 1 t/m 9 in Figuur 5.1). Deze dijken moeten voldoende hoog zijn en mogen, wanneer ze toch overstromen, niet bezwijken. In dit geval is de aanleg van een deltadijk primair gericht op preventie (zie ook het vorige hoofdstuk).

Een overstroombare dijk kan echter ook verlaagd worden aangelegd. De dijk mag in dat geval al in een relatief vroeg stadium overstromen, maar er mag geen bresvorming optreden. Het primaire doel is dan **gevolgbeperking** in plaats van preventie. Een dergelijke dijk is denkbaar op de kop van dijkkring 43 (Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden). In Figuur 5.1 staat dit traject aangegeven met een stippellijn (tussen locaties 4 en 5). Vanwege de grote gevolgen van een doorbraak in het bovenstroomse deel van deze dijkkring kan een deltadijk op dit traject worden overwogen. Deze dijk levert tevens extra bescherming op voor het KAN-gebied. Langs de Waal zou deze dijk verder naar benedenstrooms kunnen worden doorgetrokken dan langs de Nederrijn. Dit in verband met de grotere gevolgen van een doorbraak vanuit de Waal dan vanuit de Nederrijn-Lek. Indien het bebouwd gebied (Arnhem Zuid, Lent, etc.) wordt beschermd door geleidedijken (zie verderop in dit hoofdstuk) kan de

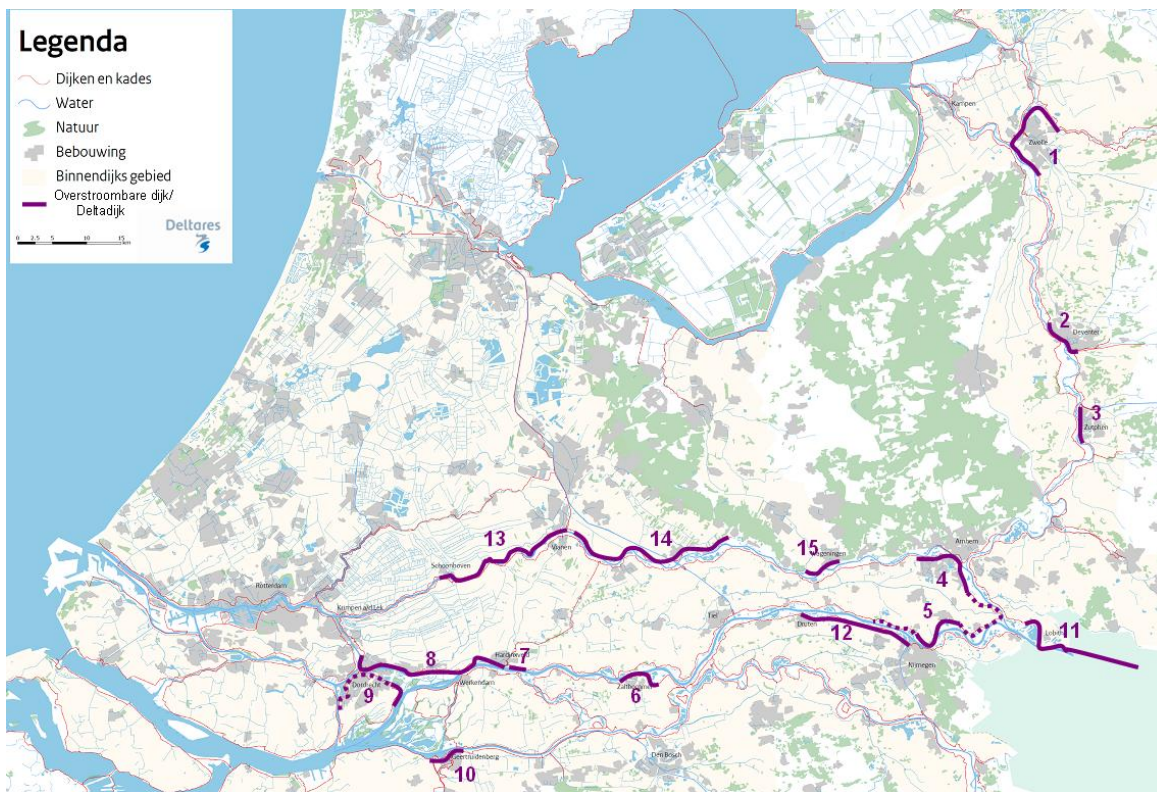
dijk op de kop van dijkkring 43 overstroombaar en wat lager worden aangelegd. In dat geval vindt instroming gecontroleerd plaats en worden de gevolgen beperkt.

Een overstroombare dijk kan de gevolgen binnen een dijkkring verkleinen, maar kan dat ook doen voor meerdere dijkkringen tegelijk. Het primaire doel is dan het voorkomen van **systeemwerking**. In sommige gevallen kan zo veel water door een bres de dijkkring instromen dat het water over andere dijken heen verder stroomt naar aangrenzende dijkkringen. Dit verschijnsel doet zich ondermeer voor langs de noordkant van de Boven Rijn (zowel in Nederland als in Duitsland, locatie 11 in Figuur 5.1). Wanneer hier een bres optreedt in de primaire waterkering kan het water via het Rijnstrangengebied verder stromen naar de IJssel. Waardoor hier sprake zal zijn van bovenmaatgevende omstandigheden. Om dit tegen te gaan kan op dit traject (deels in Duitsland) een overstroombare dijk worden aangelegd.

Systeemwerking treedt ook op bij een doorbraak van de zuidelijke Waaldijk benedenstrooms van Nijmegen (Land van Maas en Waal, locatie 12). Bij een doorbraak van deze dijk kan water uit de Waal over de zuidelijke dijk van deze dijkkring naar de Maas stromen. Dit leidt verder benedenstrooms langs de Maas tot boven maatgevende omstandigheden, met mogelijk aanvullende dijkdoorbraken tot gevolg.

Een derde locatie waar sprake is van systeemwerking is het oostelijke deel van de dijk van Schieland en de Krimpenerwaard (locatie 13 in dijkkring 15). Bij een doorbraak in deze dijk stroomt het water over de C-kering langs de Hollandsche IJssel naar dijkkring 14 (Centraal Holland). Dit geldt ook voor de primaire waterkering aan de zuidkant van dijkkring 44 (locatie 14). Van hieruit stroomt water over de C-kering langs het Amsterdam-Rijnkanaal naar dijkkring 15 en 14.

Wanneer een overstroombare dijk wordt aangelegd met het primaire doel om systeemwerking tegen te gaan, kan overwogen worden om de dijk lager aan te leggen. Bij het verhoogd aanleggen van een overstroombare dijk (of deltadijk) wordt impliciet afgewenteld op de aangrenzende dijken (benedenstrooms of aan de overkant van de rivier). Op een aantal van de genoemde locaties in Figuur 5.1 is de gevolgschade relatief beperkt (kleiner dan bij stedelijk gebied). Een geringe instroom van water kan daardoor geaccepteerd worden, zeker wanneer dit betekent dat aangrenzende dijkkringen worden ontlast en de kans op een doorbraak daar afneemt.



Figuur 5.1 Locaties voor aanleg van een deltadijk (preventie) of overstrombare dijk (gevolgbeperking)

### 5.3 Compartimentering van dijkringen en aanleg van geleidedijken

**Compartimenteren betekent letterlijk onderverdelen.** Zoals men een schip met watervaste schotten compartimenteert om te voorkomen dat het zinkt als het lek slaat, kan men een dijkring compartimenteren om te voorkomen dat het gehele gebied onder water loopt. In strikte zin is compartimentering van een dijkring dan ook het opdelen van een grote dijkring in (een aantal) kleinere dijkringen.

In de meest zuivere vorm van compartimenteren staat het keren van water centraal, met een dijk die net zo hoog is als de primaire waterkering. Maar hierop bestaan variaties. Een eerste variatie op het simpelweg in kleinere delen opdelen van dijkringen is die waarbij de compartimenten niet meer ongeveer even groot ('evenwaardig') zijn, maar er eerder sprake is van een **2e waterkering**, die het water tegenhoudt als de primaire waterkering faalt (Asselman, 2006; De Bruine, 2006). In dit geval loopt slechts een klein – aan de buitenkant gelegen – deel van de dijkring onder, en blijft een groot deel droog; dit sluit aan bij het principe van een **getrapte kering** zoals we die kennen uit het verleden met waker-, dromer- en slaperdijken; en het sluit ook aan bij de vergelijking met dubbelwandige olietankers. Een tweede variatie betreft het aanleggen van ringdijken rond kwetsbare gebieden. Steden of economisch belangrijke infrastructuur worden zo extra beschermd, terwijl een groot – meestal landelijk – deel van de dijkring onder water loopt.

Een variatie op het keren ziet men waar het **beïnvloeden van het overstromingsverloop** meer voorop staat. Dit is onder meer het geval wanneer men de verspreiding van het water wil vertragen door lagere dijken en kades aan te leggen (Asselman, 2006) of wil geleiden of

sturen langs kwetsbare (bebouwde) delen van dijkeringen (Alberts, 2006; De Bruine, 2006). In dit laatste geval spreekt men ook wel van geleidedijken.

Tenslotte is compartimentering te overwegen om een bepaald hydraulisch effect te bewerkstelligen, ook wel **stroomwerking** genoemd. Hiervan kan sprake zijn wanneer een overstroming van een dijkkring tot een groter gevaar elders kan leiden – bijvoorbeeld doordat het water op een andere rivier komt waarvan de maximale afvoercapaciteit wordt overschreden.

De Compartimenteringstudie (Asselman et al., 2009) leidde tot de conclusie dat compartimenteren op veel terreinen een beproefd concept is om de gevolgen van een ramp te beperken en ook in het geval van een overstroming kan bijdragen aan het beperken van de gevolgen. Vanuit een economisch perspectief is compartimentering slechts in een beperkt aantal gevallen een effectieve maatregel. Dit komt vooral door het hoge beschermingsniveau van de dijkeringen in Nederland. Immers, de jaarlijkse verwachte baat van een compartimenteringsdijk is lineair gerelateerd aan de kans op een overstroming. Hierbij dient overigens te worden opgemerkt dat slachtoffers en getroffen en in de Compartimenteringstudie niet zijn gemonetariseerd. Indien dit wel wordt gedaan (conform de aanpak in WV21) zou compartimentering (vanuit economische perspectief) op meer locaties een zinvolle maatregel zijn.

### **Overwegingen bij mogelijke locaties voor compartimenteringsdijken**

Mede op basis van bevindingen uit de compartimenteringstudie is een aantal mogelijke locaties voor de aanleg van een compartimenteringsdijk of geleidedijk aangegeven in Figuur 5.2.

Binnen de Compartimenteringstudie zijn meerdere mogelijke tracés voor een compartimenteringsdijk in dijkkring 43 (Betuwe, Tiel- en Culemborgerwaarden) onderzocht (Ter Maat en Klijn, 2009). In het bovenstroomse deel leek het tracé langs de westkant van het Amsterdam-Rijnkanaal het meest kansrijk (locatie 1a in Figuur 5.2). De verhouding tussen de baten en de kosten was voor dit tracé positief. Landschappelijk is de dijk hier ook goed inpasbaar. Twee van de overige onderzochte tracés zijn aangegeven met een rode stippellijn (locaties 1b en 1c). Verder benedenstrooms kan compartimentering worden overwogen om Gorinchem oost te beschermen (locatie 2). In de huidige situatie loopt dit gebied diep onder water. Bij de compartimenteringstudie bleek dit tracé overigens vanuit economisch perspectief niet aantrekkelijk te zijn. Daarbij dient te worden opgemerkt dat slachtoffers en getroffen niet in de KKBA zijn meegewogen.

In dijkkring 36 (Land van Heusden, de Maaskant) lijkt het tracé langs de Hertogswetering de beste locatie voor een compartimenteringsdijk (locatie 3a). Uit de Compartimenteringstudie bleek een reductie, afhankelijk van het tracé, van de economische schade en het aantal getroffen met 50 - 80% (Van der Most, 2008). Eventueel kan worden overwogen deze kering ten oosten van Oss te laten lopen (locatie 3b). Bij de gebiedspilot die in het kader van het project WV21 is uitgevoerd (Oranjewoud & HKV, 2011), is geconcludeerd dat compartimentering langs dit tracé niet zinvol was. De baten bleken in deze studie veel lager te zijn dan de eerder berekende baten in de compartimenteringstudie (Van der Most, 2008). De reden hiervoor is niet duidelijk. Mogelijk speelt het wel/niet meenemen van een uitlaatwerk een rol.

Bij de WV21 gebiedspilot voor dijkkring 22 (Eiland van Dordrecht) wordt voorgesteld om de Oude Zeedijk een functie te geven als compartimenteringsdijk (locatie 3). Zo wordt het stedelijk gebied beschermd tegen overstromingen vanuit de Nieuwe Merwede.

In de overige dijkkringen in het benedenrivierengebied lijkt compartimentering geen zinvolle maatregel. De dijkkringen zijn zeer laaggelegen, waardoor een hoge dijk nodig is om het water te keren (vaak meer dan 5 meter hoog). Bovendien dient de dijk te worden aangelegd op een slappe bodem en zijn meekoppelmogelijkheden beperkt.

De kust dijkkringen zijn nu al sterk gecompartmenteerd. Voormalige waterkeringen, boezemkaden en hoog aangelegde infrastructuur zorgen er voor dat deze dijkkringen slechts gedeeltelijk onder water lopen. Aanvullende compartimentering lijkt (economisch gezien) niet aantrekkelijk. Wel kan overwogen worden een of meer van deze voormalige en regionale waterkeringen formeel vast te leggen als compartimenteringsdijk en standzekerheid ervan nader te onderzoeken.

Langs de IJssel is op een drietal locaties een compartimenteringsdijk ingetekend. Locatie 5 betreft een compartimenteringsdijk bovenstrooms van Zwolle. Deze dijk voorkomt dat Zwolle bij een doorbraak van de rechter IJsseldijk diep onder water komt te staan.

### **Systemwerking**

Compartimenteringsdijken bovenstrooms van Zutphen en Deventer (locaties 6 en 7) kunnen worden overwogen om systeemwerking aan de oostkant van de IJssel te voorkomen. Op deze locaties liggen al keringen, maar uit overstromingssimulaties blijkt dat desondanks het water van de ene dijkkring naar de volgende kan stromen.

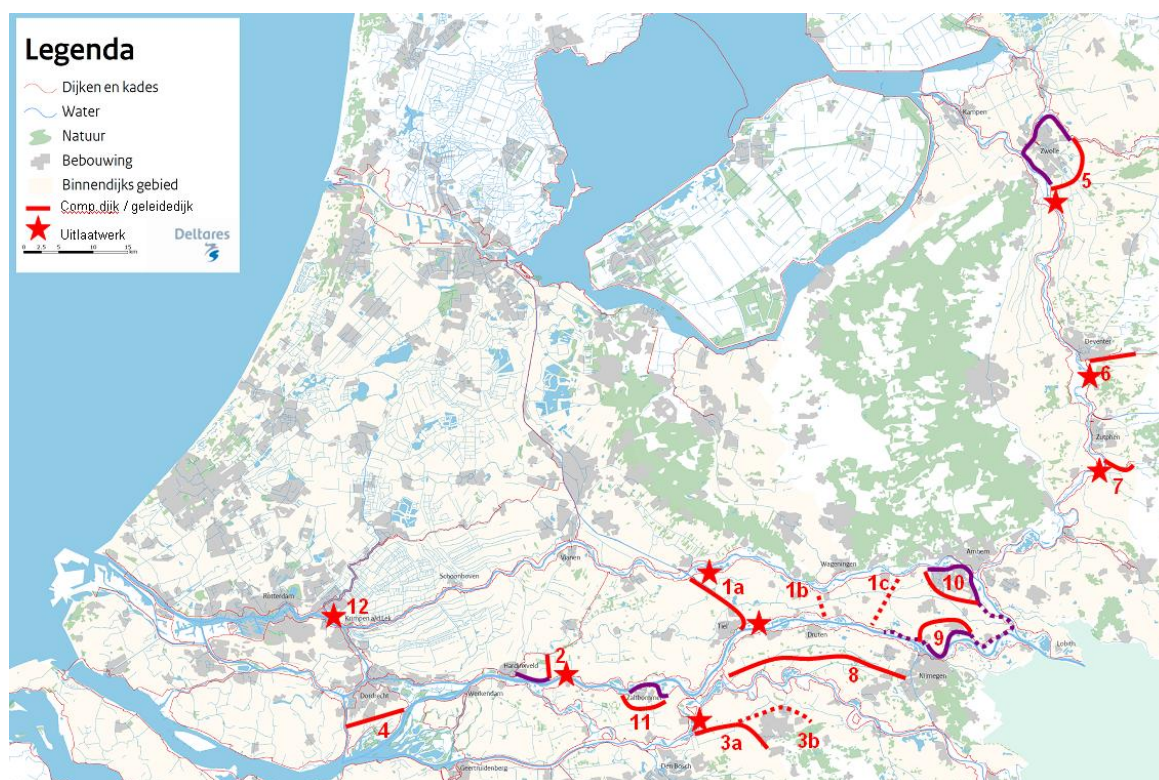
Het voorkomen van systeemwerking is ook de belangrijkste overweging voor de compartimenteringsdijk die is ingetekend in het Land van Maas en Waal (locatie 8). Deze dijk voorkomt dat water uit de Waal naar de Maas kan stromen.

### **Water geleiden**

De overige tracés die zijn aangegeven in Figuur 5.2 kunnen worden gerealiseerd als een compartimenteringsdijk (doel: water keren), of als geleidingsdijk (doel: water langs bebouwd gebied leiden). Voorbeelden van dergelijke locaties zijn Lent en omgeving, Arnhem zuid en Zaltbommel. De aanleg van een dijk leidt er op deze locaties wel toe dat de bebouwde gebieden in een klein "bakje" komen te liggen. Om te voorkomen dat de dijk juist ter hoogte van deze "bakjes" breekt, moet de primaire waterkering bij deze plaatsen extra worden versterkt. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van een deltdijk.

### **Uitlaatwerk**

Een bekend nadeel van compartimentering is dat de waterdiepte bovenstrooms van de kering toeneemt (het water kan niet meer zo makkelijk wegstromen). Om dit effect ongedaan te maken moeten vrijwel alle compartimenteringsdijken worden gecombineerd met een uitlaatwerk. Een uitlaatwerk kan ook zonder compartimenteringsdijk van nut zijn om de waterstanden in het overstroomde gebied te verlagen. Een voorbeeld hiervan is aangegeven op locatie 12, bij Krimpen aan de Lek.



Figuur 5.2 Mogelijke locaties voor aanleg compartimenteringsdijk of geleidedijk

#### 5.4 Overwegingen bij anders (aangepast) bouwen

Aangepast bouwen kan op vele manieren. Te denken valt onder meer aan drijvend bouwen, bouwen op palen, of het *wet proof* of *dry proof* maken van de begane grond. Meer voorbeelden zijn onder andere te vinden in de Handreiking overstromingsrobuust bouwen, uitgegeven door de provincie Utrecht en in Veerbeek et al. (2008).

Aangepast bouwen is vooral zinvol in gebieden die niet diep onder water lopen (maximaal orde 1,5 m) en/of die regelmatig overstromen. In gebieden die niet diep onder water komen te staan kunnen relatief beperkte maatregelen al leiden tot een grote schadereductie. Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn het verhoogd aanleggen van de begane grond, het gebruik van minder kwetsbare materialen (plavuizen in plaats van parket), bouwen op palen of eventueel het *dry proof* maken van de begane grond. Daar tegenover staat dat in gebieden die vaak overstromen de kosten/baten verhouding voor het treffen van maatregelen gunstiger is, wat betekent dat er meer geïnvesteerd kan worden in aanpassingen om economisch rendabel te zijn. Mogelijk kan meegekoppeld worden met aanpassingen voor wateroverlast, bijv. als gevolg van hevige neerslag, of overstromingen met beperkte waterdieptes vanuit het regionale systeem. Dezelfde maatregelen komen hiervoor in aanmerking.

Figuur 5.3 toont de locaties in het rivierengebied waar aangepast bouwen een zinvolle maatregel kan zijn.



Figuur 5.3 Mogelijke locaties voor aangepast (anders) bouwen (a) langs de Rijntakken en de bedijkte Maas, (b) langs de onbedijkte Maas

De locaties waar aangepast bouwen mogelijk een zinvolle maatregel is bevinden zich langs de IJssel tegen de hoge gronden van de Veluwe (locatie 1), het KAN gebied (locatie 2), Tiel

en omgeving (locatie 3), langs de bedijkte Maas tegen de Brabantse zandgronden en langs de onbedijkte Maas in Limburg. Dit zijn alle gebieden die niet diep onder water komen te staan.

Buitendijkse gebieden langs de rivieren en in de Rijn-Maasmonding zijn niet op kaart aangegeven, maar in deze gebieden is aangepast bouwen bij uitstek een geschikte maatregel om het risico te reduceren.

Uit eerder onderzoek (zie o.a. Klijn et al. 2010) is gebleken dat aangepast bouwen in bestaand bebouwd gebied pas op zeer lange termijn serieus bijdraagt aan reductie van de gevolgen van een overstroming. Dit komt vooral doordat aanpassen van bestaande gebouwen te duur is en herontwikkeling en grootschalige renovaties vaak over vele decennia plaatsvinden

Aangepast bouwen kan wel worden overwogen op locaties waar de komende jaren veel geïnvesteerd gaat worden in infrastructuur en bebouwing. Een voorbeeld hiervan is dijkkring 48 (locatie 6 in Figuur 5.3). In dit gebied wordt de komende decennia veel gebouwd. Ook wordt er veel infrastructuur aangelegd. Door dit op een aangepaste manier te doen, wordt een sterke toename van het overstromingsrisico voorkomen. Wanneer de woonwijk Rijnenburg nabij Utrecht (niet op kaart) aangelegd gaat worden is hier ook te overwegen dit op een aangepaste manier te doen.

Opgemerkt wordt dat onderzoek onder potentiële bewoners van aangepaste woningen in buitendijkse gebieden heeft aangetoond dat aanpassingen alleen gewenst zijn wanneer ze economisch aantrekkelijk zijn en de lusten opwegen tegen de lasten. Wonen op palen (hoog boven de tuin) is alleen aantrekkelijk wanneer het gebied regelmatig overstroomt. Is dit niet het geval dan wegen de lasten van het hoger wonen niet op tegen de lusten. Figuur 5.4 toont de belangrijkste conclusie van het onderzoek.



Figuur 5.4 uitkomsten marktonderzoek naar aangepast bouwen (bron: Dorresteijn, 2008)

## 5.5 Overwegingen bij elders bouwen (beperking RO)

### Grote waterdiepte

In gebieden die diep onder water komen te staan is aangepast bouwen erg lastig. “Elders bouwen” lijkt hier de enige mogelijkheid. Een dergelijke beperking aan de ruimtelijke ordening kan worden overwogen in de meest stroomafwaarts gelegen delen van hellende dijkkringen in het rivierengebied of in de diepe dijkkringen in het overgangsgebied. Als voorbeeldlocaties zijn in Figuur 5.5 Gorinchem-oost (locatie 1) en het westen van de Albasserwaard (locatie 2) aan gegeven. In het geval van Gorinchem-oost kan worden overwogen ten oosten van de huidige bebouwingsgrens een compartimenteringsdijk aan te leggen en nog verdere uitbreiding naar het oosten te verbieden.

Om een beter beeld te krijgen van locaties waar op basis van overstromingskenmerken (o.a. waterdiepte en stijgsnelheid) “beter niet gebouwd kan worden”, kunnen risicozoneringsskaarten worden toegepast. Dergelijke risicozoneringsskaarten worden momenteel door Deltares ontwikkeld (opdracht I&M in kader van Deltaprogramma Nieuwbouw en herstructurering).



Figuur 5.5 Mogelijke locaties voor maatregel “elders bouwen”

### Weg van de rivier

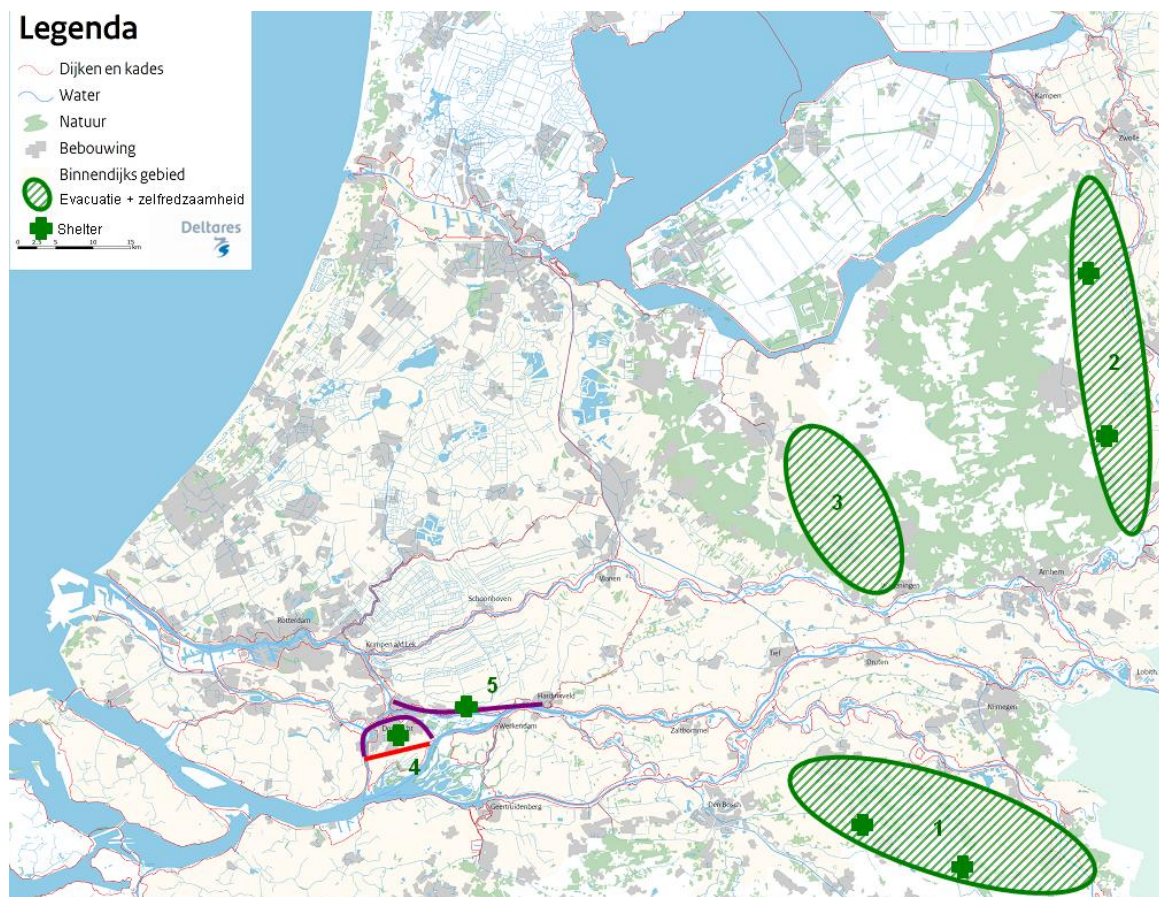
Een tweede overweging voor elders bouwen kan de aanwezigheid van hoge gronden zijn. Voorbeelden van locaties waar dit speelt zijn Deventer en Zutphen langs de IJssel (locatie 3 en 4). Het voorkomen van uitbreiding van de stad naar de overkant van de rivier (IJsselsprong) heeft meerdere voordelen. Ten eerste voorkomt men een toename van de gevolgschade door op de hogere gronden te bouwen. Ten tweede kan men er voor kiezen om in dit geval de rechter IJsseldijk extra te beschermen, terwijl aan de linkerzijde geen extra

bescherming nodig is. Ook het vrijhouden van ruimte ten westen van de IJssel voor toekomstige maatregelen kan een reden zijn voor het opleggen van restricties aan de RO.

## 5.6 Vergroten (preventieve) evacuatie en zelfredzaamheid

Verbetering van rampenbestrijdingsplannen, verdere optimalisering van calamiteiten-beheersing door o.a. het trainen van hulpverleners, en verhoging van het risicobewustzijn van burgers dragen bij aan een reductie van met name het slachtofferrisico. Bij de gebiedspilots die zijn uitgevoerd voor het project WV21 is onderscheid gemaakt naar preventieve evacuatie voorafgaand aan een mogelijke ramp en zelfredzaamheid tijdens een ramp. Omdat preventieve evacuatie overal in het rivierengebied een zinvolle maatregel is, hebben wij dit niet apart op kaart weergegeven. Wij hebben er voor gekozen om vooral overwegingen mee te geven voor locaties waar verhoging van de zelfredzaamheid een nuttige en haalbare maatregel is.

Locaties waar zelfredzaamheid (zowel vooraf als tijdens een overstroming) het eenvoudigst te vergroten is, zijn gebieden waar de waterdiepte gering is en die gelegen zijn nabij hoge gronden. Voorbeelden van dergelijke gebieden zijn de buitendijkse gebieden langs de bedijkte rivieren en de Rijn-Maasmonding en de onbedijkte Maas (niet op kaart aangegeven). Ook in het oosten van dijkkring 36 (Land van Heusden de Maaskant, locatie 1 in Figuur 5.6) en ten westen van de IJssel (locatie 2) lijkt verbeteren van de zelfredzaamheid een logische maatregel. Dit zelfde geldt voor delen van de Gelderse Vallei (locatie 3).



Figuur 5.6 Mogelijke locaties voor maatregel "evacuatie en zelfredzaamheid"

## 5.7 Shelters en bruggen

### Shelter

Hoewel shelters bijdragen aan de zelfvoorzienendheid van een gebied en de aanleg van bruggen een bijdrage levert aan de evacuatiemogelijkheden, worden zij hier toch nog kort apart genoemd.

In de WV21 gebiedspilot voor het eiland van Dordrecht wordt de griendheuvel als metafoor gebruikt voor een zelfredzaam eiland. Griendheuvels zijn kleine terpen met hierop zogenaamde griendketen: huisjes waar griendwerkers uit de Biesbosch vroeger konden schuilen in geval van hoogwater. De griendheuvels zijn nog steeds aanwezig op het eiland (Figuur 5.7a).



Figuur 5.7 Shelters op het eiland van Dordrecht: links de Griendheuvel als metafoor voor een zelfvoorzienend eiland, rechts het principe van een shelterennetwerk (overgenomen uit Van Herk et al., 2011)

Shelters kunnen bestaan uit (openbare) gebouwen, waar mensen tijdelijk kunnen verblijven. Het gaat hierbij om hulpbehoevenden en personen die bijvoorbeeld medicatie moeten ontvangen. Het is nadrukkelijk niet de bedoeling om de gehele bevolking op te vangen in shelters. Figuur 5.7b toont een voorbeeld van een shelterennetwerk in Dordrecht, bestaande uit een centrale hub (in Dordrecht bijvoorbeeld het ziekenhuiscomplex) en verschillende kleinere opvangmogelijkheden in de wijken.

Omdat een shelter vrijwel niet te bereiken is wanneer de waterdiepte groot is, is een shelterennetwerk in Dordrecht vooral beschouwd in combinatie met een Deltadijk en een compartimenteringsdijk (locatie 4 in Figuur 5.6). Deze maatregelen beperken immers de instroming van water en zorgen er zo voor dat de waterdiepte beperkt is. In delen van Dordrecht is de overstromingsdiepte nu ook al dermate gering dat ook zonder Deltadijk gedacht wordt aan de aanleg van shelters.

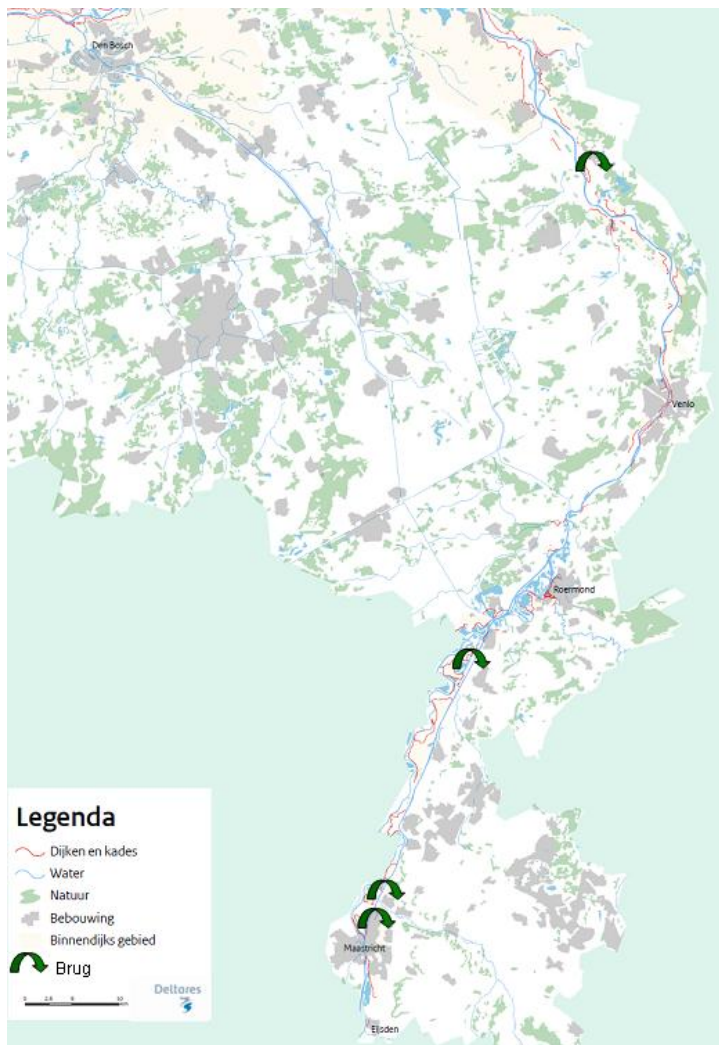
Andere locaties waar shelters mogelijk zijn, zijn alle eerder genoemde locaties waar maatregelen die gericht zijn evacuatie en zelfredzaamheid nuttig zijn. Ook kunnen shelters worden toegepast op multifunctionele dijken (zoals eerder “bedacht” voor de zuidkant van de Alblasserwaard, locatie 5).

### Evacuatiebrug

Tijdens een bijeenkomst voor het bespreken van de gebiedspilots WV21 werd geopperd voor de bekende gebieden langs de onbedijkte Maas de kades niet verder te verhogen, maar in plaats daarvan het overstromingsrisico te beperken door evacuatiemogelijkheden via een

brug te verbeteren. Tijdens hoogwater is een aantal bekade gebieden niet meer via de weg te bereiken. Evacuatie van mensen is in een laat stadium dus niet goed meer mogelijk. Wanneer de afvoer verder toeneemt dan vooraf voorspeld, stromen de kades over. Om slachtoffers te voorkomen kan worden overwogen in te zetten op preventieve maatregelen (verhoging van de kades), of op het verbeteren van de evacuatiemogelijkheden tijdens een overstroming. Een brug naar de hogere gronden kan hierbij helpen. Voorbeelden van kades waarbij dit kan spelen zijn aangegeven in Figuur 5.8. Afhankelijk van het aantal inwoners dat gebruik zal maken van de brug kan ook voor een andere optie worden gekozen zoals een boot of amfibievoertuig.

Een andere locatie waar nagegaan dient te worden of aanvullende voorzieningen nodig zijn om inwoners tijdig te kunnen evacueren is dijkkring 43a (Geertruidenberg). Deze kleine dijkkring is tijdens hoogwater omringd door water. Wanneer de dijk breekt loopt het gebied snel en diep onder water. Dit kan leiden tot grote aantallen slachtoffers.



Figuur 5.8 Mogelijke locaties voor aanleg evacuatiebrug

## 5.8 Inundatie van dijkringen als noodmaatregel

Als laatste maatregel wordt hier genoemd het benoemen van gebieden die gecontroleerd onder water komen te staan, op het moment dat elders een dijkdoorbraak dreigt. Deze gebieden typeren zich als relatief 'lege', voormalige overstromingsvlaktes, die dusdanig zijn gelegen dat zij ten gunste van een gebied met een relatief ongunstig risicoprofiel kunnen worden ingezet. Als voorbeelden hiervan kunnen in dit kader de Ooijpolder en het Rijnstrangengebied worden genoemd. Om steden aan de oostkant van de IJssel te ontlasten kan dijkkring 52 (Oost-veluwe) ten westen van de IJssel (gedeeltelijk) worden ingezet.

In het benedenrivierengebied kan extra water worden geborgen in het Volkerak, de Grevelingen of de Oosterschelde. Als deze waterberging niet toereikend is zou kunnen worden overwogen om achtereenvolgens gebruik te maken van Goeree Overflakkee, de Hoekse waard en het noordwesten van Brabant.

De keuze voor deze maatregelen komt nadrukkelijk voort uit een noodsituatie, een onvoorziene gebeurtenis, of te wel een dreigende ramp. Het is een noodmaatregel om deze dreigende ramp af te wenden en de gevolgen te beperken. Hoewel discussie en besluitvorming over dergelijke maatregelen in het verleden gevoelig is gebleken, kan er aanleiding zijn in het kader van meerlaagsveiligheid te kiezen voor tijdelijke berging van water door gecontroleerd overstromen. Bovenstaande redenering geeft hiervoor overwegingen mee.



Figuur 5.9 Volgorde voor waterberging en inundatie van dijkringen in crisissituatie

## 5.9 Maatregelen gericht op herstel

De gevolgschade van een overstroming en daarmee het risico, is niet alleen afhankelijk van de maximale waterdiepte die optreedt, maar ook van de duur van de overstroming. Hoe langer het gebied onder water staat, des te langer bedrijven uit de running zullen zijn. Dit leidt tot een grotere indirecte economische schade. Door maatregelen te treffen die gericht zijn op het herstel van het gebied, kan deze indirecte schade worden verkleind. Voorbeelden van dergelijke maatregelen zijn inzet van noodpompen om het gebied sneller droog te malen, het op orde hebben van een calamiteitenplan dat ook de herstelfase beslaat, en beveiligen of snel herstel van vitale infrastructuur (inclusief de gemalen).



## 6 Vervolgproces en overwegingen

### 6.1 Vervolgproces

Onderliggende rapportage wordt, samen met de rapportage 'Eerste aanzet Gebiedsopgave', gebruikt voor verdere analyse en synthese ten behoeve van het voorstel voor de mogelijke strategieën.

De verkenning van de zoekrichtingen heeft geresulteerd in de volgende producten:

- a. onderliggende rapportage Verkenning Zoekrichtingen
- b. de rapportage Effectprofielen Zoekrichtingen (in concept gereed)

In de laatste rapportage zijn de zoekrichtingen getypeerd/gekarakteriseerd op de volgende kenmerken:

- Waterveiligheid
- Watersysteem
- Integraliteit
- Leefomgeving
- Flexibiliteit van de investering
- Mate waarin passend binnen huidige sturingsmodel
- Mate waarin innovatie en nieuwe techniek nodig/mogelijk is

### 6.2 Overwegingen

Uit de rapportage Verkenning Zoekrichtingen en de *expert judgement* gesprekken, die in die context binnen het Deltaprogramma Rivieren en met de ABG zijn gevoerd, lijkt een aantal overwegingen naar voren te komen, dat relevant is voor de stap naar mogelijke strategieën. Deze overwegingen zijn de opmaat voor de analyse, die in het kader van de vraagspecificatie voor de mogelijke strategieën zal plaatsvinden. Onderstaande tekst geeft een overzicht van een aantal van deze overwegingen.

#### *Overwegingen uit de zoekrichting Ruimte voor de Rivier Plus*

Ruimte voor de Rivier Plus ligt in het verlengde van de huidige beleidspraktijk van Ruimte voor de Rivier. Daarmee komt de vraag naar voren of dit niet tot de Huidige Strategie behoort.

Op basis van de conclusies uit de rapportage van Lobith en Eijsden naar Zee kan de wateropgave, uitgedrukt in cm stijging van de maatgevende waterstand, en exclusief een opgave als gevolg van deltabeslissingen, naar verwachting op de Middenwaal niet alleen met Ruimte voor de Rivier maatregelen worden gerealiseerd. Het IVM2 pakket is naar verwachting voldoende om de benodigde waterstanddaling te realiseren (opgave in cm. waterstands daling exclusief de doorwerking van Deltabeslissingen).

## *Overwegingen uit de zoekrichting Grote Gebaren*

Deze zoekrichting kan een op zichzelf staande strategie zijn, maar maatregelen uit deze zoekrichting kunnen bij de stap naar kansrijke strategieën, ook goed gecombineerd worden met Ruimte voor de Rivier plus maatregelen. Dat geldt onder meer voor maatregelen als 'Groene Rivieren' en retentie.

De hoeveelheid water die via (bestaande) alternatieve afvoerroutes, als het Amsterdam-Rijnkanaal of de Kromme Rijn en Vecht, kan worden afgevoerd is beperkt en gaat altijd gepaard met ingrepen aan keringen (of nieuw aan te leggen keringen). Een dergelijke keuze heeft bovendien als nadeel dat de systemen altijd relatief ver benedenstrooms weer aantakken en daar dus de opgave vergroten. De Kromme Rijn en de Vecht komen alleen in beeld om het meest benedenstroomse deel van de Lek te ontlasten. Op dit traject is weinig ruimte beschikbaar voor ruimtelijke maatregelen en is dijkversterking relatief kostbaar in verband met lintbebouwing langs de dijk en een slappe ondergrond.

In het algemeen kan worden gesteld dat groene rivieren in het benedenrivierengebied geen verlichting bieden, omdat het verhang hier te gering is. Langs de onbedijkte Maas is het aantal mogelijkheden voor grootschalige groene rivieren beperkt in verband met de beperkte breedte van het rivierdal.

Toepassing van retentiegebieden is alleen zinvol als deze bovenstrooms worden gerealiseerd.

Hoewel op dit moment veel gesproken wordt over het beregen en vasthouden van water in regionale systemen om het hoofdwatersysteem te ontlasten (vasthouden van water in de zijrivieren), zou het verstandiger kunnen zijn het regionale water versneld af te voeren. Dit om er zeker van te zijn dat de afvoerpiek vanuit de zijrivieren niet samenvalt met de afvoerpiek van het hoofdsysteem (de grote rivieren).

Tot slot wordt opgemerkt dat de inzet van dit type maatregelen moeilijker te 'doseren' is. De maatregelen lossen immers in één keer een groot deel van de opgave op. Dit kan zowel een kans (bijvoorbeeld 1 grote ingreep in plaats van vele kleine) zijn, als een bedreiging (bijvoorbeeld onomkeerbaarheid grote investering die zich in een kort tijdsbestek manifesteert, of 'spijt' wanneer klimaatverandering minder ernstig blijkt te zijn dan gedacht).

De noodzaak of potentie van grote gebaren komt eerder naar voren als de afvoer over de Waal en IJssel zou toenemen, als resultaat van 1 van de deltabeslissingen (bijv. om de Nederrijn-Lek nog verder te ontzien). In dit verband kan gedacht worden aan maatregelen als het ontwikkelen van een natuurlijk rivierdal door dijken zeer ver terug te leggen, of zelfs weg te nemen, maar ook aan nieuwe rivieren of het reactiveren van oude overlaten.

## *Overwegingen uit de zoekrichting Anders kijken naar Water*

Er lijkt een sleutelkeuze naar voren te komen. Vanuit de staf Deltacommissaris is geopperd dat preventie centraal staat en dat met betrekking tot gevolgenbeperking geldt dat de maatregelen in 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> laag een aanvulling vormen op preventiemaatregelen t.b.v. het restrisico. Ofwel: met de preventiemaatregelen wordt het wettelijk vereiste veiligheidsniveau gerealiseerd, aanvullend wordt een deel van het restrisico verder verkleind door aanvullende maatregelen in de 2<sup>e</sup> of 3<sup>e</sup> laag. De Staf Deltacommissaris geeft echter ook aan dat uitzonderingen mogelijk zijn: in sommige specifieke gevallen kan (o.a. afhankelijk van

gebiedskarakteristieken) het mogelijk zijn om maatregelen in de 2<sup>e</sup> (en 3<sup>e</sup>) laag onderdeel te laten zijn van het pakket preventiemaatregelen waarmee de veiligheidsnorm wordt gerealiseerd. Deze maatregelen kunnen ten opzichte van preventiemaatregelen worden beschouwd als een soort ‘inwisselbesluit’. Dit dient vanuit de gebiedsgerichte deelprogramma’s zorgvuldig onderbouwd te worden (“bewijslast” ligt bij de regio). Binnen DPR kan op vergelijkbare wijze worden omgegaan met meerlaagsveiligheid. De volgende opties doen zich voor:

- a. Primair preventie en maatregelen uit de 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> laag allen ter beheersing van restrisico’s;
- b. Primair preventie, maar daar waar preventie tot dusdanige investeringen en maatschappelijke effecten leidt dat het realisme en de wenselijkheid ervan twijfelachtig wordt verdelen over de drie lagen
- c. (regiospecifieke) verdeling over de drie lagen

Uit de praktijk blijkt dat gevolgbeperkende maatregelen niet kosteneffectief zijn wanneer sterk wordt ingezet op preventie. Preventie verkleint de kans op een overstroming en daarmee het risico. De baat van aanvullende gevolgbeperking is in dat geval klein waardoor grote investeringen in gevolgbeperking niet logisch zijn. Om deze reden bleek compartimentering bijvoorbeeld economisch niet aantrekkelijk in dijkkring 14 (Centraal Holland).

Aanvullende gevolgbeperkende maatregelen kunnen wel gewenst zijn vanuit het oogpunt van de maximaal aanvaardbare gevolgen. Klijn en de Grave (2008) stelden zichzelf de vraag of een kosten-batenanalyse wel de meest aangewezen basis voor besluitvorming inzake overstromingsrisicobeheersing. Omdat de kans op een overstroming in de bedijkte delen van Nederland klein is, is het risico uitgedrukt in euro’s of slachtoffers per jaar vaak ook klein. De gevolgen bij een overstroming kunnen echter zeer groot zijn. Dit doet de vraag rijzen of er misschien ook grenzen zitten aan de maximale omvang van gevolgen van overstromingen die we maatschappelijk nog aanvaardbaar achten en die gevolgenbeperking principieel wenselijk maken? Klijn en de Grave (2008) stellen dat het mogelijk wenselijk is om náást een norm voor het beschermingsniveau (kans op overstroming) ook een normatieve uitspraak te doen over de maximaal aanvaardbare gevolgen (in termen van slachtoffers, getroffen en/of economische waarde). De discussie die momenteel loopt over een zogenaamde basisveiligheid (maximaal toelaatbare Lokaal Individueel Risico, ofwel LIR) sluit hier ook bij aan: ook dit kan aanleiding zijn om aanvullende gevolgbeperkende maatregelen te treffen.

Een manier om de gevolg te beperken is toepassing van deltadijken. Deze maatregel is in deze rapportage op 2 manieren geduid:

- 1) Als onderdeel van de zoekrichting ‘doe meer met de dijken’, in de vorm van een doorbraakvrije dijk. Primair sturen op preventie is hierbij het uitgangspunt. De toepassing er van wordt gebaseerd op relatief hoge slachtofferrisico’s.
- 2) Als onderdeel van de zoekrichting ‘anders kijken naar water’, in de vorm van een overstroombare dijk. Daarbij is de risicobenadering het uitgangspunt. De toepassing er van heeft tot doel de slachtofferrisico’s te verkleinen of systeemwerking te voorkomen, maar dan middels gevolgbeperking door gecontroleerd te overstromen.

In de toepassing zoals gedefinieerd onder 1 kan de aanleg van Deltadijken leiden tot normdifferentiatie. Bijvoorbeeld, wanneer een deltadijk wordt aangelegd nabij stedelijk gebied, wordt het veiligheidsniveau lokaal verhoogd. Voor wat dat betreft heeft de afweging ‘of’ en ‘waar’ een deltadijk aan te leggen direct verband met de discussie over de nieuwe normering. Ook daar is differentiatie van normen een discussiepunt.

De toepassing van deltadijken zoals gedefinieerd onder 2. gaat naar verwachting gepaard met maatschappelijke discussie. Hoewel de veiligheid feitelijk vergroot wordt, zal deze in de beleving van veel bewoners en gebruikers van het desbetreffende gebied, afnemen. Dit is overigens een aspect dat ook bij een aantal oplossingen uit de zoekrichting grote gebaren naar voren komt, en bij andere oplossingsrichtingen uit de zoekrichting 'anders kijken naar water'.

Aangepast bouwen lijkt een afgeleide keuze te zijn. Het is alleen zinvol in gebieden die met enige regelmaat overstromen. Dat zijn in elk geval de uiterwaarden en onbedijkte gebieden langs de Maas en het benedenrivierengebied, maar dit kan ook locaties betreffen waar gekozen wordt voor 'regelmatig overstromen'. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer een deltadijk wordt aangelegd zonder de kruin te verhogen. De frequentie waarmee wateroverlast achter de deltadijk voorkomt kan in de toekomst toenemen. Dit maakt aangepast bouwen een aantrekkelijke maatregel.

Rampenbeheersing (3<sup>e</sup> laag meerlaagsveiligheid ) gebeurt nu ook al en is ook wettelijk vastgelegd. Het verbeteren ervan lijkt echter een zinvolle maatregel. Het is een maatregel die altijd en overal getroffen moet en kan worden. Hij kan daarmee onderdeel uitmaken van iedere strategie.

Het aanwijzen van gebieden, voor waterberging, om elders een ramp te voorkomen ligt gevoelig (discussie Noodoverloopgebieden).

### *Overwegingen uit de zoekrichting Doe meer met de Dijken*

Vanuit het perspectief en de uitgangspunten van de huidige normering en toetsing wordt feitelijk geen invulling gegeven aan de component 'Doe meer met...'. Maatregelen liggen dan al snel in het verlengde van het huidige beleid: gebaseerd op overschrijdingskans en programmering van dijkversterking op basis van de resultaten van de 6-jaarlijkse toetsrondes.

Ook hier komt de vraag naar voren of 'Doe meer met de dijken', zonder de 'Doe meer' component niet feitelijk een voortzetting is van het huidige beleid en daarmee dus tot de referentie behoort. Gaat het om Doe MEER met de dijken of om Doe meer met de DIJKEN?

Een mogelijke strategie, sec ingevuld vanuit 'doe meer met de dijken' zou met name in gebieden met een slappe ondergrond en wellicht ook in gebieden met grote piping-effecten kunnen leiden tot de noodzaak andere en/of innovatieve technieken toe te passen. Dit zou het perspectief op het kostenniveau en het ruimtebeslag kunnen wijzigen, ten opzichte van de huidige situatie.

Wel is het bij het uitwerken van een strategie gebaseerd op deze zoekrichting van groot belang om stil te staan bij de vraag of aanpassing van de dijken in 1x goed moet gebeuren, of dat wordt aangesloten bij de huidige werkwijze met 6-jaarlijkse toetsrondes en dijkverbeteringsprogramma's.

### *Algemene overwegingen:*

Op basis van een confrontatie van de oplossingsrichtingen aan de topografische ondergrond, fysieke omstandigheden (bijv. bodemopbouw) en gebiedskenmerken kan een ordening

worden aangebracht in de mate van geschiktheid van oplossingsrichtingen, geografisch geduid. Naar verwachting vloeit hieruit een aantal sleutelkeuzes voort. Bijvoorbeeld:

- Dijkversterking langs de Lek stuit op een aantal beperkingen. Het lijkt logisch dit als sluitstuk te benoemen.
- Of de bestaande landschappelijke, natuur en cultuurhistorische waarden langs de IJssel richtinggevend moeten zijn, bepaalt in belangrijke mate de (on)wenselijkheid en het spectrum aan oplossingsrichtingen.
- De wateropgave is langs de Middenwaal moeilijk/niet te realiseren met alleen ruimte voor de rivier maatregelen.

Deze aspecten gaan een belangrijke rol spelen bij de stap van mogelijke naar kansrijke strategieën.



## 7 Referenties

- Asselman, N. en Klijn, F. (2002) Vroegere ruimte voor de Maas. WL rapport Q2975.21.
- Asselman, N., Klijn, F. en Van der Most, H. (2008) Verkenning van nadere compartimentering van dijkringgebieden - Hoofdrapport Compartimenteringstudie. Deltares rapport T2513 (ISBN 978 90 369 1454 3)
- Asselman, N. en De Wit, A. (2009) Nadere verkenning waterveiligheid Centraal Holland: Waterveiligheidsproblematiek dijkkring 14 in relatie tot dijkkring 15 en 44. Deltares rapport 1200052.001
- Baan, P. en Klijn, F. (1998) De Rijn op Termijn - een veerkrachtstrategie. WL rapport R3124.10
- Barneveld, H. J., Verhoef, F. C. (2005), Reductie zijdelingse toestroom IJssel (een nadere verkenning)
- Bruijn, K. en Klijn, F. (2011) Deltadijken: locaties waar deze het meest effectief slachtofferrisico's reduceren. Deltares rapport 1202628-000-VEB-0005
- CSO, HydroLogic en Infram (2011) Pilot integrale verkenning waterveiligheid Limburgse Maas - Rapportage van een gebiedspilot, gericht op de toepasbaarheid van meerlaagsveiligheid voor dijkkringen 68 (Venlo-Velden) en 90 (Geulle-Maastricht oostoever).
- De Jong, S.A. et al. (2000), Vergroting van de afvoercapaciteit en berging in de benedenloop van Rijn en Maas. Bestuurlijk advies aangeboden aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat door de Stuurgroep integrale Verkenning Beneden rivieren. Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Holland, Rotterdam (2000)
- Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (2002), De spankracht van ons rivierenland - eindrapport Spankracht
- Dorresteijn, J. (2008) Marktonderzoek Floodproofbouwen. Presentatie van Jos van Dorresteijn (woningbouwcoöperatie Progrez) in het kader van UFM.
- Gemeente Amsterdam en Waternet (2011) FactsheetsWater
- Hooijer, A. Klijn, F., Kwadijk, J., Pedroli, B. (Eds). Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse River basins – main results of the IRMA SPONGE research program. NCR-publication 18-2002.
- Hydrologic (2008) Quick scan gevolgbeperking overstromingen in dijkkring 44 – Eindrapport.
- Innovatienetwerk Groene Ruimte en Agrocluster (2004), Ruimte voor Nieuwe rivieren: een nieuwe rivier als ruggengraat voor ruimtelijke ontwikkeling en waterbeheer- Een eerste verkenning.

- Klijn, F. (2002) Heerewaardense overlaten. Memo WL|delft hydraulics, dd 18 april 2002
- Klijn, F. en Stone, K. (2001) Vroegere ruimte voor Rijntakken. WL rapport R3294.67
- Klijn, F., S.A.M. van Rooij, M. Haasnoot, B.L.W.G. Higler en B.S.J. Nijhof (2002) Ruimte voor de Rivier, Ruimte voor de Natuur? Fasen 2 en 3: Analyse van alternatieven en contouren van een lange-termijnvisie. Alterra rapport 513, WL-rapport Q2824.10
- Klijn, F. en De Grave, P. (2008), Grenzen aan de gevolgen van een overstroming? - Een reflectie op de uitkomsten van de Compartimenteringstudie. Deltares rapport T2513.50
- Klijn, F., Kwadijk, J., De Bruijn, K. en Hunink, J. (2010) Overstromingsrisico's en droogterisico's in een veranderend klimaat – verkenning avn wegen naar een klimaatveranderingsbestendig Nederland. Deltares rapport 1002565-000-VEB-0005.
- Levelt, O. en Asselman, N. (2011) Verkenning zoekrichting grote gebaren
- Ministerie van V&W, Rijkswaterstaat directie Limburg (2003). Integrale verkenning Maas, Advies, Hoofdrapport, en Achtergronddocumenten (2003)
- Oranjewoud & HKV (2011) Gebiedsgerichte Pilot Meerlaagsveiligheid Dijkkring 36 (Noordoost Brabant).
- Provincie Gelderland en Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2010), Verkenning waterveiligheid Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (dijkkring 43) - Rapportage van een gebiedspilot, gericht op de toepasbaarheid van meerlaagsveiligheid.
- Provincie Utrecht (2010) Handreiking Overstromingsrobuust Inrichten – Samen maken we Utrecht mooier.
- Rietveld, R. (2003), Deltawerken 2.0 – van Dijk naar liniepark. Afstudeeropdracht Landschapsarchitectuur
- Rijkswaterstaat (2009), Toekomstvastheid van de hoogwatergeul in de IJsseldelta: Quick scan naar de consequenties van het advies van de Deltacommissie voor de hoogwatergeul bij Kampen, rapportnummer 2009.005
- Silva, W. en Van der Linden, T. (2008) Van Lobith en Eijsden naar zee: Aanspraak op ruimte op de lange termijn voor de veiligheid tegen overstroming. RWS rapport 2008.015.
- Staatsbosbeheer (2003) Lonkend Rivierenland, klaar voor de toekomst
- Ter Maat, J., Klijn, F., De Koning, R. en Wijbenga, A. (2008) Compartimenteringstudie - casestudie Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden. Deltares rapport T2513.35.
- Ter Maat, J. (2009) Compartimentering of robuuste primaire kering: Verkennend onderzoek naar beperking overstromingsrisico in Gelderse Vallei (dijkkring 45). Deltares rapport T2519.

- Van der Most, H. (2008) Compartimenteringstudie - casestudie Land van Heusden / De Maaskant. Deltares rapport T2513.36.
- Van Herk, S., E. Kelder, J. Bax, E. van Son, H. Waals, C. Zevenbergen, K. Stone, B. Gersonius (2011) Gebiedspilot meerlaagsveiligheid Eiland van Dordrecht: Concept – tussenrapportage ter inspiratie en ter overleg met Project Groep MARE.
- Van der Vat, M. Van Buren, R., De Grave, P., Van der Zwan, I. (2011) Gebiedspilot Centraal Holland – Eindrapport. Deltares rapport 1203964-000-ZWS-0003
- Van der Zwan, I. en Tromp E. (2010) Inventarisatie concepten Innovatief Waterkeren. Deltares rapport 1200595-003
- Van Rooij, S., Klijn, F. en Higler, L. (2002) Ruimte voor de Rivier, ruimte voor de Natuur? Fase 1 – verkenning. Alterra rapport 190, WL rapport Q2824.10.
- Veerbeek, W., B. Gersonius, C. Zevenbergen, N. Puyan, M. Billah, R. Fransen (2008) Urban Flood Management Dordrecht. Proceedings of workpackage 3: resilient building and planning. Leven met Water rapport UFMWP301 Resilient Building and Planning.



## A Gebruikte studies

De eerste verkenning naar de invulling van de zoekrichtingen heeft plaats gevonden op basis van resultaten van eerdere studies, aangevuld met de resultaten van een sessie met experts. Per zoekrichting worden hier de belangrijkste achtergronddocumenten vermeld. De belangrijkste bevindingen van de genoemde studies zijn meegenomen in de analyse. De resultaten worden in dit rapport niet individueel besproken.

### Ruimte voor de rivier plus

Voor de eerste invulling van de zoekrichting “ruimte voor de rivier plus” is gebruik gemaakt van kennis opgedaan in het kader van de volgende studies en rapporten:

- Lange termijn verkenning PKB.
- Lange termijn verkenning IVM (Ministerie van V&W, Rijkswaterstaat directie Limburg, 2003)
- Beschouwende rapportage over deze eerdere verkenningen “van Lobith en Eijsden naar Zee” (Silva en Van der Linden, 2008).

### Grote gebaren

Voor de zoekrichting “Grote gebaren” is onder meer gebruik gemaakt van:

- Spankrachtstudie (Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, 2002)
- Ruimte voor de Rivier
- Integrale Verkenning Maas (Ministerie van V&W, Rijkswaterstaat directie Limburg, 2003).
- Integrale Verkenning Benedenrivieren (De Jong et al., 2000).
- Ruimte voor de Rivier, ruimte voor de Natuur? (Van Rooij et al. 2002 en Klijn et al. 2002)
- Lonkend Rivierenland (Staatsbosbeheer, 2003)
- Rijn op Termijn (Baan en Klijn, 1998)
- Ruimte voor Nieuwe Rivieren (Innovatienetwerk Groene Ruimte en Agrocluster, 2004)
- Plan Beaufort
- Vroegere ruimte Rijn en Maas: vergelijking 1850 – heden (Klijn en Stone, 2001; Asselman en Klijn, 2002)
- Toekomstvastheid Hoogwatergeul IJsseldelta (Rijkswaterstaat, 2009)
- Reductie Zijdelingse toestroming (Barneveld, et al. 2005)

Een samenvatting van al deze studies (inclusief weergave van de maatregelen op kaart) is gegeven in Levelt en Asselman (2011).

### Andere kijk op water

Voor de zoekrichting “Andere kijk op water” is geput uit resultaten van de volgende studies:

- Gebiedspilots WV21 uitgevoerd voor dijkkring 14 - Centraal Holland (Van der Vat et al., 2011), dijkkring 22 – Eiland van Dordrecht (Van Herk et al., 2011), dijkkring 36 - Land van Heusden, de Maaskant (Oranjewoud en HKV, 2011), dijkkring 43 - Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (Provincie Gelderland en Ministerie van Verkeer en Waterstaat,

2010), Amsterdam (Gemeente Amsterdam en Waternet) en dijkringen 68 en 90 (CSO et al., 2011);

- Compartimenteringstudie: studie naar nut en noodzaak van compartimentering van dijkringen in Nederland (Asselman et al., 2008), met case studies voor o.a. dijkkring 36 - Land van Heusden, de Maaskant (Van der Most, 2008), dijkkring 14 - Centraal Holland (Asselman, 2008) en dijkkring 43 - Betuwe, Tieler- en Culemborgerwaarden (Ter Maat et al., 2008);
- Afweging compartimentering versus versterking van de primaire waterkering voor dijkkring 45 - Gelderse Vallei (Ter Maat, 2009);
- Studies naar gevolgbeperkende maatregelen voor dijkkring 14 – Centraal Holland, dijkkring 15 – Schieland en de Krimpenerwaard en dijkkring 44 – Kromme Rijn (Hydrologic, 2008; Asselman en de Wit, 2009);

### **Doe meer met de dijken**

De bijdrage van Deltares voor de zoekrichting “doe meer met de dijken” is gebaseerd op gebiedskennis (resultaten van meerdere toetsingen en dijkversterkingen) en jarenlange expertise op het gebied van dijken (traditionele en innovatieve technieken). Relevante achtergronddocumenten zijn:

- Inventarisatie concepten Innovatief Waterkeren (Van der Zwan, I. en Tromp E., 2010)
- Rapportages over Deltadijken (zie o.a. De Bruijn en Klijn, 2011)

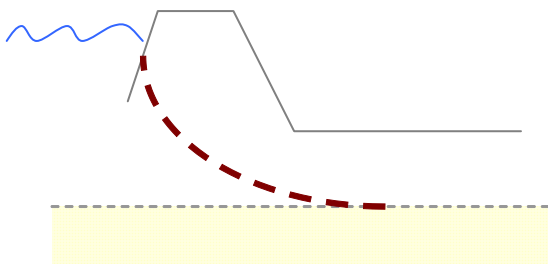
## B Dijkversterkingstechnieken

### B.1 Westelijk rivierengebied – opdrijven

#### Opdrijven

De bodemopbouw in het westelijk rivierengebied wordt gekenmerkt door een dikke Holocene deklaag, bestaande uit veen en slappe klei. Deze deklaag is op veel plaatsen ruim 10 m dik. Onder de deklaag bevindt zich het Pleistocene zand.

Het belangrijkste probleem in dit gebied is het opdrijven van de slappe lagen. Wanneer de waterstand in de rivier stijgt, neemt de waterdruk in het Pleistocene zand toe. Dit heeft tot gevolg dat de slappe klei en veen lagen omhoog worden geduwd: opdrijven. Dit verschijnsel resulteert doorgaans in diepe afglijding.



Figuur B.1 Afglijding langs diep glijvlak als gevolg van opdrijven slappe lagen

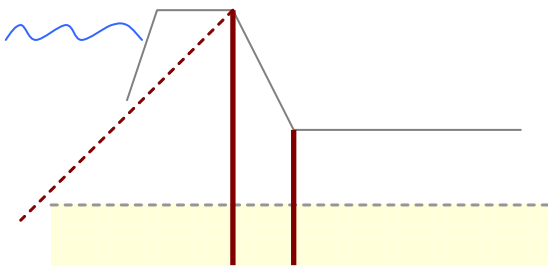
Maatregelen die in dit gebied worden getroffen om de dijk te versterken dienen er op gericht te zijn om afglijding via diepe glijvlakken tegen te gaan. De voorkeur gaat hierbij uit naar versterking in grond, omdat dit goedkoper is en makkelijker uitbreidbaar is wanneer in de toekomst verdere versterking nodig mocht blijken. Echter, omdat in het westelijk rivierengebied veel lintbebouwing aanwezig is op of vlak achter de dijk, is versterken in grond op veel plaatsen niet mogelijk. In de praktijk blijkt dat om deze reden in het meest westelijke deel (locatie 1a in Figuur 4.1) meer dan 50% van de dijken moet worden versterkt met constructies. In de meer oostelijk gelegen trajecten (locatie 1b) is de bebouwing minder dicht, waardoor over 10% tot 25% van de totale lengte versterkt moet worden met andere constructies dan grondconstructies.

#### Traditionele constructies

Bij dijkversterkingsprojecten in het westelijk rivierengebied wordt op plaatsen met bebouwing gebruik gemaakt van een drietal traditionele zware constructies:

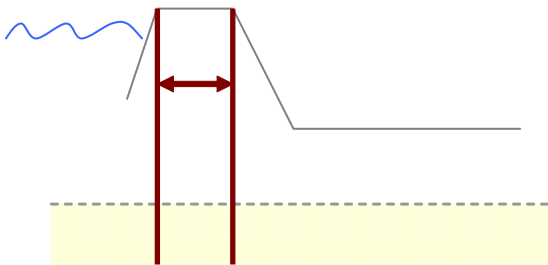
- Damwanden
- Kistdammen
- Diepwanden

Damwanden bestaan uit dikke metalen platen die de grond in worden getrild. In dit deel van het rivierengebied zijn de damwanden vaak zo'n 20 m lang. Om voldoende stabiliteit te bieden moeten de damwanden worden verankerd met dikke ankerkabels. Verankering vindt plaats onder een hoek van 45° naar de rivier toe. Damwanden kunnen worden geplaatst in de kruin van de dijk, maar ook in de dijkteen (Figuur B.2).



Figuur B.2 Damwand

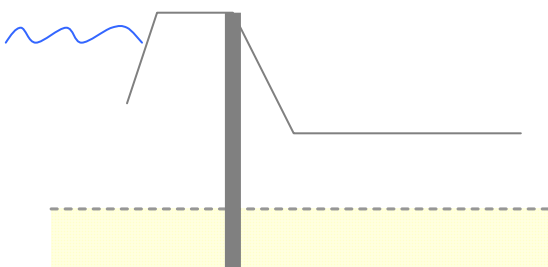
Bij kistdammen worden twee stalen schermen, op een afstand van ongeveer 5 m, in de grond geplaatst. Tussen deze schermen bevindt zich een verankering (Figuur B.3).



Figuur B.3 Kistdam

Bij beide constructies is sprake van plaatsing van stalen platen. Deze moeten via trillen of heien in de grond worden aangebracht. Dit kan problemen opleveren met de aanwezige bebouwing. Een diepwand kan in dat geval uitkomst bieden.

Diepwanden bestaan uit ongeveer 1 meter dikke wanden van gewapend beton (Figuur B.4). Deze betonnen wand wordt aangebracht door een gat te graven dat wordt opgevuld met bentoniet. Op deze manier blijft het gat open en kan het later met beton worden gevuld. Het grootste voordeel van deze techniek is dat de kans op schade aan gebouwen gering is. Deze techniek kan ook worden toegepast bij bebouwing tegen de dijk. Het belangrijkste nadeel van deze techniek is dat de kosten hoog zijn (orde € 10.000 per m).



Figuur B.4 Diepwand

## Innovatieve constructies

In het kader van het Rijkswaterstaat programma "INSIDE", is een aantal innovatieve technieken verkend. Doel van deze technieken was om de dijk van binnenuit te versterken zonder dat het uiterlijk van de dijk zou veranderen. De drie meest belovende technieken waren:

- Dijkdeuvels
- Vernageling
- Mixed in place

Bij toepassing van dijkdeuvels worden om de paar meter holle stalen staven in de dijk aangebracht tot een diepte van ongeveer 15 meter. Om deze staven zit een soort kous die wordt opgeblazen/gevuld met grout. Het idee achter deze techniek is dat de staven het diepe glijvlak onder de dijk doorkruisen en zo de stabiliteit vergroten.

Bij vernageling is eveneens sprake van stalen stangen met een omhulling. In dit geval worden de staven echter meer horizontaal aangebracht (onder een flauwe hoek).

Bij de techniek *mixed in place* worden met een grote boormachine gaten geboord in de dijk. Deze gaten hebben een doorsnede van ongeveer 0,8 m en een diepte van ongeveer 20 m. In dit gat wordt cement met bestaande grond gemengd. Hierdoor wordt de bestaande grond versterkt. De met cement vermengde grondkolommen worden zowel in de lengte als in de dwarsrichting geplaatst. Dit gebeurt in blokken van 6 x 10 palen. Ook bij deze techniek is het primaire doel het tegengaan van een diepe afglijding. Een nadeel van deze techniek is dat afhankelijk van de aanwezige grondsoort veel cement moet worden bijgemengd om de gewenste stevigheid te behalen. Met name in veen is zo veel cement nodig dat de techniek toch erg duur wordt en er bovendien vervormingen optreden, wat weer leidt tot problemen met aanwezige bebouwing. Er worden momenteel pilots uitgevoerd met deze techniek in het beheergebied van Waterschap Rivierenland.

Bij Deltares is een idee gelanceerd om gebruik te maken van korte damwanden. Damwanden hebben immers tot doel het stabiliseren van diepe glijvlakken. Het bovenste deel van de damwand is niet nodig voor de stabiliteit. Het plaatsen van een diepe damwand ter hoogte van het glijvlak tot in het onderliggende zand is daarmee goedkoper. Nadeel van deze techniek is dat de damwand tot een meter of 6 beneden maaiveld moet worden aangebracht. Dit kan alleen via trillen gebeuren.

Een overzicht van bovenstaande en andere innovatieve technieken is te vinden in Van der Zwan en Tromp (2010).

### **Toepassing**

Deze technieken worden vooral toegepast in het gebied aangeduid met 1a en 1b in Figuur 4.1. Op trajecten aangeduid met 1a gebeurt dit in meer dan 50% van de gevallen. Op het traject 1b is de bebouwing minder dicht en kan meer met grondconstructies worden gewerkt. Hier wordt in 10 tot 25% van de gevallen gewerkt met damwanden, diepwanden en soortgelijke constructies.

In oostelijke richting (3 in Figuur 4.1) wordt bovendien de ondergrond steeds gunstiger. De Holocene deklaag is minder dik en minder slap. Hierdoor is versterking van de dijk in grond beter mogelijk en hoeven damwanden bovendien minder diep te worden aangebracht. Dit leidt tot een geringe complexiteit en geringere kosten.

Naar het westen toe (locatie 4 in Figuur 4.1) is de Holocene deklaag weliswaar dik, maar minder slap. Ook bevinden zich in de Holocene deklaag zandpakketten die er voor zorgen dat damwanden en andere constructies minder diep hoeven te worden aangebracht.

## B.2 Oostelijk en centraal rivierengebied – piping

### Piping

In het oostelijke rivierengebied bevinden zich zandpakketten relatief dicht aan het oppervlak. Daar waar zandbanen de dijk kruisen, kan tijdens hoogwater sprake zijn van geconcentreerde stroming van water onder de dijk door. Vooral wanneer door deze stroming zand mee gevoerd wordt kan dit leiden tot het bezwijken van de dijk. Dat dit in het verleden veelvuldig is voorgekomen is te zien aan de wielen die in het landschap waar te nemen zijn. Deze liggen vaak op plaatsen waar zich in de ondergrond een oude stroomrug (zandbaan) bevindt. Zie bijvoorbeeld de wielen in de Meidijk in Figuur B.5.



Figuur B.5 Wielen bij de Meidijk, ontstaan als gevolg van een dijkdoorbraak op locatie waar oude stroomrug de dijk kruist (b) (bron: Rhine – Meuse Delta studies, <http://www.geo.uu.nl/fg/palaeogeography/results/flooding>)

### Technieken om piping tegen te gaan

Om piping tegen te gaan wordt meestal gewerkt met een zogenaamde berm. Dit is een grondlichaam dat binnendijs aan de teen van de dijk wordt aangebracht. De meest eenvoudige manier om een indruk te krijgen van de bermlengte die nodig is, is toepassing van de regel van Bligh. Deze regel luidt:

$$L \geq C_B * (H - 0,3D)$$

Waarbij:

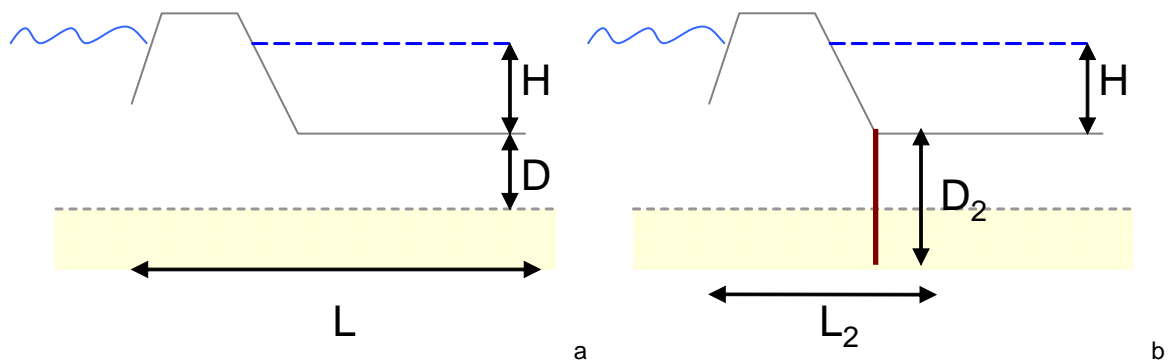
L = bermlengte

$C_B$  = constante van Bligh (waarde variërend van 15 tot 18)

H = kerende hoogte, ofwel verschil waterstand buitendijs en maaiveld binnendijs

D = verticale stroomlengte, ofwel dikte van het slappe lagen pakket (verwaarloosbaar wanneer  $D < 1$  m)

Hoewel bovenstaande regel alleen toegepast mag worden om een eerste indruk te krijgen van de omvang van het probleem, maakt hij wel inzichtelijk hoe maatregelen bijdragen aan de reductie van het pipingprobleem. Een voorbeeld is gegeven in figuur B.6.



Figuur B.6 Benodigde berm lengte  $L$

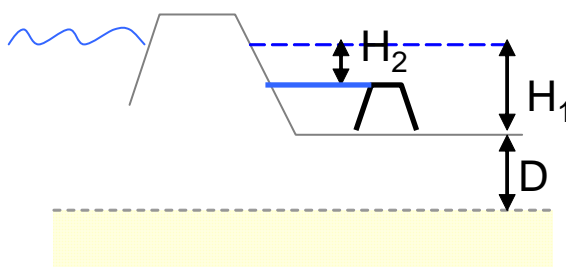
Figuur B.6. a. toont de benodigde berm lengte  $L$  bij een kerende hoogte  $H$  en een verticale opstroomlengte  $D$  in een situatie zonder maatregelen. In figuur B.6. b is sprake van een kwelscherm. Dit kwelscherm zorgt er voor dat de opstroomlengte toeneemt ( $D_2$ ). Toepassing van de regel van Bligh laat zien dat als gevolg hiervan de benodigde berm lengte  $L_2$  af neemt.

### Maatregelen

Zoals eerder aangegeven wordt dijkversterking het liefst in grond uitgevoerd. Dit is goedkoper, maar ook makkelijker uitbreidbaar (bijvoorbeeld i.v.m. een toename van de maatgevende waterstand). Het aanleggen van een pipingberm heeft daarmee de voorkeur boven andere constructies en technieken. Wanneer onvoldoende ruimte beschikbaar is om een berm aan te leggen kan worden gekozen voor de aanleg van een kwelscherm. Dit kwelscherm kan bestaan uit een damwand, diepwand of bentonietscherm dat tot doel heeft het vergroten van de opstroomlengte  $D$  in Figuur B.6. De damwand hoeft niet zo dik te zijn als in het westelijk rivierengebied omdat het primaire doel niet is het vergroten van de stabiliteit. De belangrijkste eis die men in het geval van piping stelt is dat de wand ondoorlatend is.

Als alternatieve maatregel zou men kunnen denken aan filterconstructies. Deze filterconstructies zijn waterdoorlatend, maar voorkomen dat het zand meegevoerd wordt. De kans op een doorbraak neemt dan af.

Als noodmaatregel kan gedacht worden aan de aanleg van een kwelkade (figuur B.7). Deze maatregel verkleint de kerende hoogte (van  $H_1$  tot  $H_2$  in Figuur B.7), waardoor de piping afneemt. Het opdijken van een (zandvoerende) wel of het opkisten met zandzakken heeft het zelfde doel. Nadeel van deze minder omvangrijke maatregel is dat er naast de opkisting makkelijk een nieuwe wel kan ontstaan.

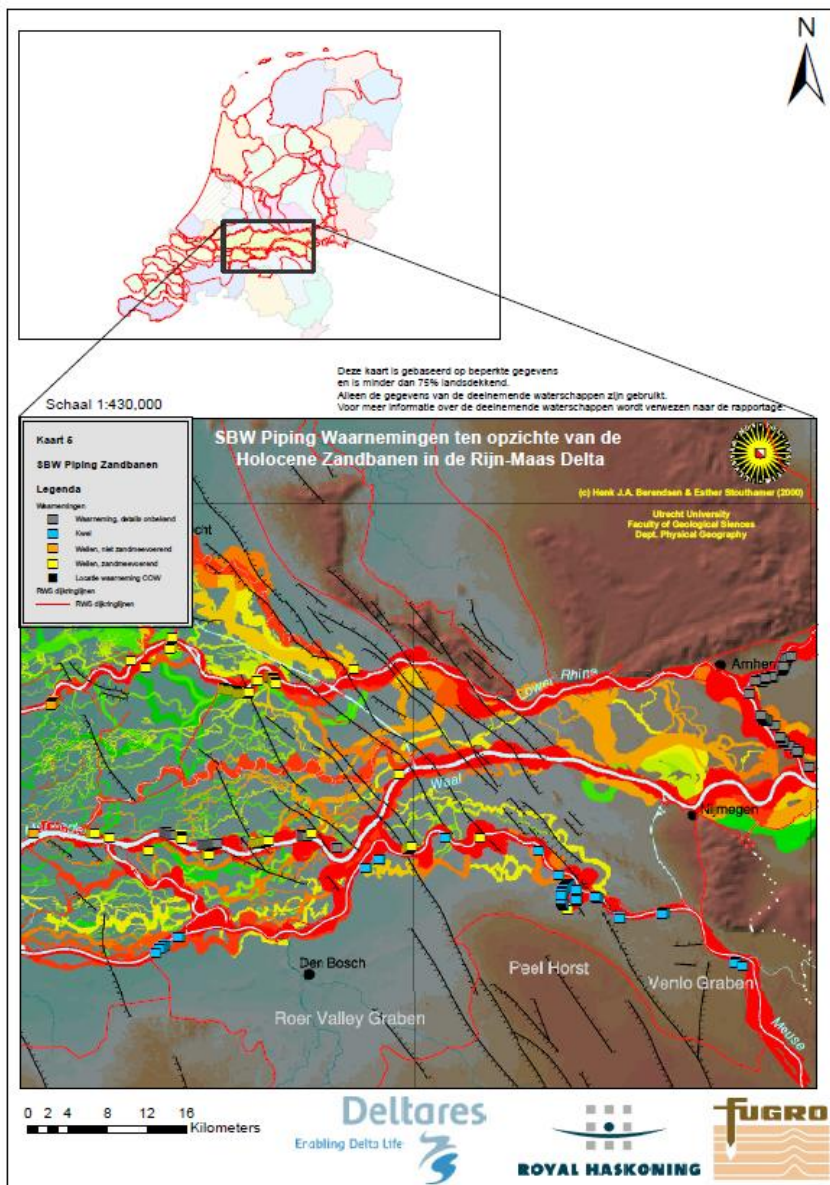


Figuur B.7 principe van een kwelkade

Een laatste noodmaatregel is het aanbrengen van geotextiel. Geotextiel is waterdoorlatend, maar gaat het meevoeren van zand tegen.

## Toepassing

Het gebied dat het meest gevoelig is voor piping is het oostelijke rivierengebied (locaties aangeduid met een 2 in Figuur 4.1). De deklaag in dit gebied is dun (een paar meter of minder). Verder naar het westen neemt de dikte van de deklaag toe. In het overgangsgebied aangeduid met een 3 in Figuur 4.1 speelt piping nog steeds een belangrijke rol, maar kan ook opdrijven een rol gaan spelen. Dat piping ook in dit overgangsgebied van belang is blijkt uit onderstaande figuur. Deze figuur maakt deel uit van een studie uitgevoerd in het kader van SBW en toont locaties welke door waterschappen zijn aangemerkt als pipinggevoelig.



Figuur B.8 SBW piping waarnemingen ten opzichte van Holocene zandbanen in de Rijn-Maas delta

## B.3 Maaskaden in Limburg

Het gebied van de Maaskaden in Limburg wordt hier apart vermeld (locatie 5 in Figuur 4.1). Ook hier is sprake van zand- en grindpakketten die dicht aan het oppervlak liggen. Bij de SBW studie naar de gevoeligheid voor piping is een aantal locaties als pipinggevoelig

aangemerkt. Toch is de situatie hier naar verwachting minder dreigend dan in het centrale en oostelijke rivierengebied. De reden hiervoor is dat het materiaal grover is en er hogere stroomsnelheden nodig zijn om dit materiaal mee te voeren. Daar staat wel weer tegenover dat door het grove materiaal wel zeer geconcentreerde stroming plaats kan vinden. Dit leidt tot hogere stroomsnelheden en vergroot de kans op zandvoerende wellen. Echter, omdat de kerende hoogte bij de kades gering, zullen de problemen toch veel kleiner zijn dan in het oostelijke en centrale rivierengebied. Wanneer de kades verder worden opgehoogd kan kwel en piping onder de kades door een groter probleem worden.