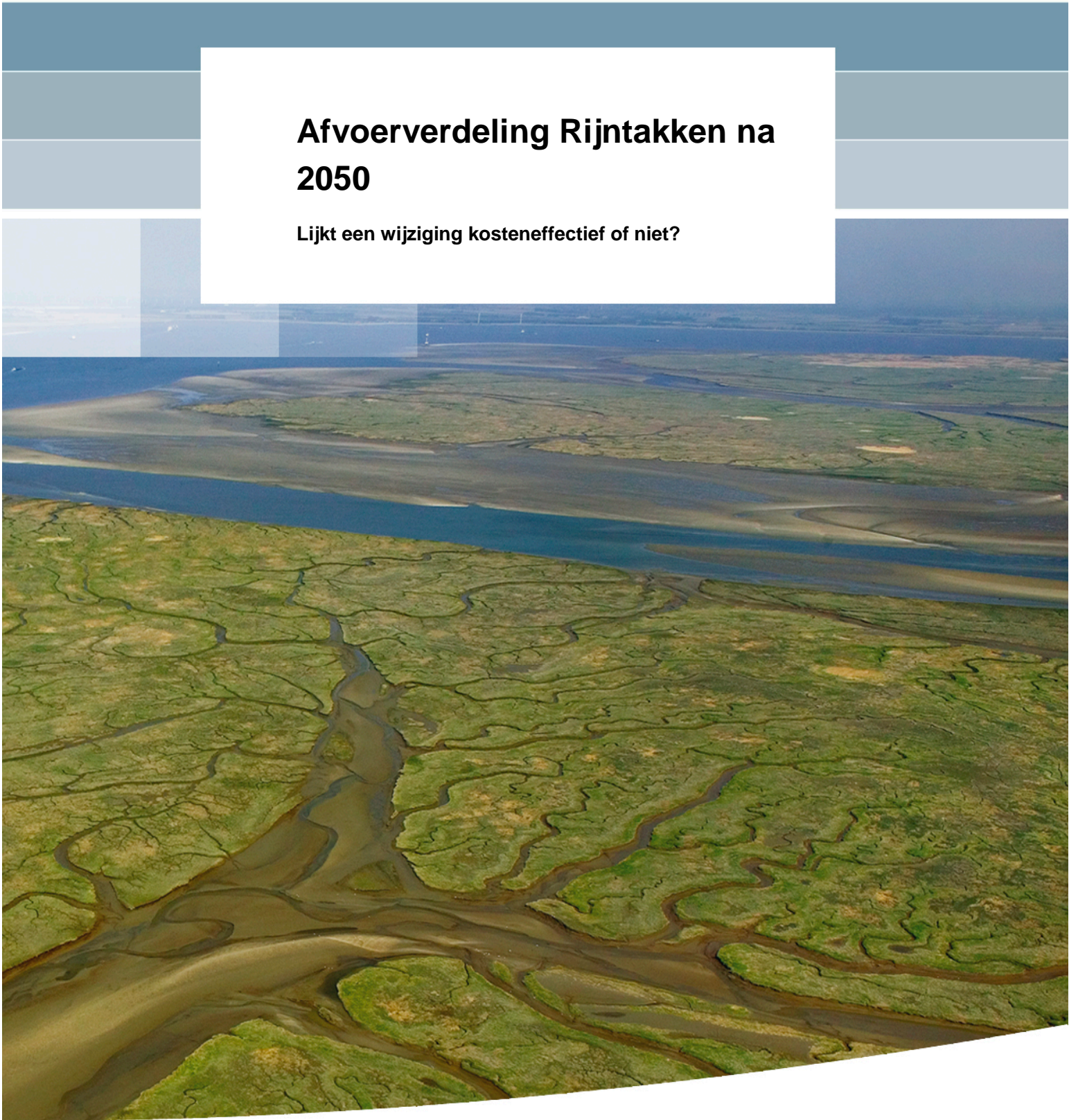


## **Afvoerverdeling Rijntakken na 2050**

Lijkt een wijziging kosteneffectief of niet?





## **Afvoerverdeling Rijntakken na 2050**

**Lijkt een wijziging kosteneffectief of niet?**

Nathalie Asselman  
Peter de Grave  
Dennis Wagenaar

11202191-000



**Titel**  
Afvoerverdeling Rijntakken na 2050

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat WV L	11202191-000	11202191-000-ZWS-0009	41

**Trefwoorden**  
Lange-termijn, afvoerverdeling, Rijntakken

**Samenvatting**

Tijdens het Deltaprogramma is gekeken naar nut en noodzaak om de afvoerverdeling over de Rijntakken op korte termijn te wijzigen, waarbij de huidige situatie het vertrekpunt was. Uit de analyses zijn toen geen varianten naar voren gekomen die aantoonbaar voordelen boden ten opzichte van de huidige afvoerverdeling. In het Nationaal Waterplan (NWP) is vervolgens besloten om de beleidsmatig vastgestelde afvoerverdeling over de Rijntakken in ieder geval tot 2050 te handhaven. Dit rapport gaat in op de vraag of er aanleiding is om de afvoerverdeling na 2050 te wijzigen.

Wanneer het klimaat zich ontwikkelt zoals momenteel wordt voorzien en er zich geen nieuwe inzichten voordoen in bijvoorbeeld de dijksterkte of het aftoppen van afvoeren op de Rijn bij Lobith, dan lijkt het niet kosteneffectief om de afvoer in 2050 te wijzigen. Het wijzigen van de afvoerverdeling kan leiden tot een (forse) kostenbesparing op dijkversterking langs de tak die wordt ontzien, maar deze besparing wordt vrijwel altijd teniet gedaan door een toename van de kosten op de riviertak die zwaarder wordt belast. Deze toename van de kosten komt voor een groot deel doordat de dijken op deze tak veel eerder opnieuw versterkt moeten worden.

Wanneer in de toekomst wel sprake is van nieuwe inzichten, dan is het raadzaam een nieuwe analyse uit te voeren naar de kosteneffectiviteit van de huidige afvoerverdeling. De gevoeligheidsanalyse uit deze studie laat zien dat zich in de toekomst omstandigheden kunnen voordoen waarin het kosteneffectief kan zijn om de afvoerverdeling wel aan te passen.

**Referenties**

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
04	mei 2018	Nathalie Asselman	NA	Frans Klijn	ba SH	Gerard Blom	ep

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>i</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Kader	1
1.2 Vraagstelling huidig onderzoek	1
1.3 Wat bedoelen we met kosteneffectief?	2
1.4 Te beschouwen situaties	3
1.5 Uitvoering van het onderzoek	3
1.6 Dit rapport	3
<b>2 Aanpak</b>	<b>5</b>
2.1 Kosten voor dijkversterking	5
2.2 Overstromingsrisico's	6
<b>3 Basisscenario – Nederrijn-Lek na 2050 extra ontzien bij middelhoge afvoeren</b>	<b>7</b>
3.1 Inleiding	7
3.2 Beschouwde varianten met verschillende verdeling van het surplus over Waal en IJssel	7
3.3 Resultaten	9
3.3.1 Investeringskosten en overstromingsrisico's	9
3.3.2 Effect verbetering kostenramingen Nederrijn-Lek	12
3.4 Conclusie	14
<b>4 Basisscenario – Nederrijn-Lek na 2050 meer of minder ontzien bij hoge afvoeren</b>	<b>15</b>
4.1 Inleiding	15
4.2 Beschouwde varianten	15
4.2.1 Varianten	15
4.2.2 Run R01	15
4.2.3 Runs A01 t/m A03	16
4.2.4 Runs B01 en B02	17
4.3 Resultaten	18
4.3.1 Runs A01 t/m A03	18
4.3.2 Runs B01 en B02	20
4.4 Conclusies	23
<b>5 Gevoeligheidsanalyse – wijziging afvoerverdeling in verband met onverwachte omstandigheden</b>	<b>25</b>
5.1 Inleiding	25
5.2 Mogelijk kosteneffectieve situaties na 2050	25
5.3 Berekeningen	26
5.3.1 Inleiding	26
5.3.2 R03: Referentie	26
5.3.3 G01 en G02: Geen aftopping	26
5.3.4 G03 en G04: Nieuwe normen	27
5.3.5 G05: Normen niet overal gehaald in 2050	28
5.4 Resultaten	28

5.4.1	Kosten dijkversterking	28
5.4.2	Veranderingen in overstromingsrisico	30
5.4.3	Potentiële baten aanpassing afvoerverdeling	31
5.4.4	Regelwerken	31
5.5	Conclusie	31
<b>6</b>	<b>Discussie</b>	<b>33</b>
6.1	Onzekerheden	33
6.2	Anticiperen op veranderende afvoerverdeling	34
6.3	Huidige verdeling handhaven lijkt meest kosteneffectief: toeval of niet?	36
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>41</b>
<b>Bijlage(n)</b>		
<b>A</b>	<b>Bandbreedte absolute kostenramingen en kostenreductie door waterstandsaling</b>	<b>A-1</b>
A.1	Bronnen van onzekerheid	A-1
A.2	Bevindingen	A-1
A.3	Conclusie	A-4
<b>B</b>	<b>Uitgangspunten kostenramingen en risicoberekeningen</b>	<b>B-1</b>
B.1	Kostenramingen	B-1
B.2	Overstromingsrisico	B-4



## Samenvatting

### Inleiding

Voor het water dat bij Lobith via de Rijn ons land binnenkomt, is door het beleid vastgesteld hoe de afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s verdeeld dient te worden over de riviertakken. Ook is vastgesteld dat bij afvoeren groter dan 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith de afvoer via de Nederrijn-Lek niet zou mogen toenemen (Lek ontzien) en dat het meerdere boven de 16.000 m<sup>3</sup>/s over Waal en IJssel verdeeld moet worden.

In het Deltaprogramma is gekeken naar nut en noodzaak om de afvoerverdeling op korte termijn te wijzigen (waarbij de huidige situatie het vertrekpunt was). Uit de analyses zijn toen geen varianten naar voren gekomen die vanuit waterveiligheidsoogpunt aantoonbaar voordelen boden ten opzichte van de huidige afvoerverdeling. In het Nationaal Waterplan (NWP) is vervolgens besloten om de door het beleid vastgestelde afvoerverdeling over de Rijntakken in ieder geval tot 2050 te handhaven. In het Deltaprogramma 2015 is voorgesteld dat het Rijk in 2017, in overleg met provincies en waterschappen, zal onderzoeken of er aanleiding is om de afvoerverdeling na 2050 mogelijk te wijzigen.

In 2016 is de basisvraag voor dit onderzoek geformuleerd: Is er aanleiding en welke argumenten zouden er zijn om de afvoerverdeling na 2050 te wijzigen, er van uitgaande dat het klimaat en de programma's zich ontwikkelen zoals momenteel wordt voorzien? Mocht er geen aanleiding gevonden worden, dan blijft de huidige beleidsmatige afvoerverdeling ook na 2050 het uitgangspunt. Uiteraard betekent dat niet dat er in de toekomst door nieuwe inzichten niet alsnog iets aan de afvoerverdeling gewijzigd zou kunnen (of moeten) worden.

De vraag of er aanleiding is om de afvoerverdeling na 2050 te wijzigen, is heel breed. Er kunnen immers vele aanleidingen zijn, en er kunnen veel verschillende argumenten worden aangevoerd. In een beantwoording van dit complexe maatschappelijke vraagstuk zal echter zeker een rol spelen hoe de overstromingsrisico's zich langs de verschillende Rijntakken zullen ontwikkelen en wat de totaalkosten voor de maatschappij van een bepaalde keuze over wijziging van de afvoerverdeling zullen zijn. Dit rapport gaat daarom vooral in op de vraag of een wijziging van de afvoerverdeling na 2050 kosteneffectief is.

### Wat wordt bedoeld met kosteneffectief?

Wijziging van de afvoerverdeling na 2050 is potentieel kosteneffectief wanneer de afname van de kosten voor dijkversterkingen<sup>1</sup> die daarmee gepaard gaan langs de tak waarbij de afvoer afneemt groter zijn dan de toename van de dijkversterkingskosten langs de tak die meer afvoer te verwerken krijgt en dus een positief saldo ten opzichte van de referentie ontstaat. Wijziging van de afvoerverdeling heeft echter ook effect op het overstromingsrisico langs de rivieren. En overstromingsrisico kan als kosten voor de maatschappij worden opgevat, en moet dus worden ingecalculeerd in een kosteneffectiviteitsanalyse. Door hogere waterstanden op een riviertak kunnen de gevolgen van een overstroming toenemen, zelfs wanneer de dijken direct worden versterkt om aan dezelfde overstromingskansnorm te blijven voldoen.

---

<sup>1</sup> In de praktijk zou een deel van de waterveiligheidsopgave kunnen worden opgelost met rivierverruiming. Echter, omdat rivierverruiming duurder is dan dijkversterking en omdat de kosteneffectiviteit van rivierverruimende maatregelen sterk uiteenloopt, is in deze studie uitgegaan van dijkversterking.

Dit kan door lagere waterstanden op andere riviertakken natuurlijk ook weer gecompenseerd worden. Een eventuele toename in het totale overstromingsrisico moet kleiner zijn dan de kostenbesparing op dijkversterking. Vervolgens moet dit nog worden afgezet tegen de eventuele kosten voor het bouwen/aanpassen van regelwerken om een gewenste afvoerverdeling te kunnen realiseren.

### Beschouwde situaties

Het handhaven van de huidige afvoerverdeling na 2050 is de referentie. Naast deze referentiesituatie zijn twee situaties beschouwd:

- 1 Basisscenario
- 2 Onverwachte omstandigheden

Voor iedere situatie is een aantal varianten, met gewijzigde afvoerverdeling, doorgerekend.

Bij het basisscenario is aan genomen dat het klimaat (zeespiegelstijging en toename van de kans op hoge afvoeren bij Lobith) zich ontwikkelt zoals momenteel wordt voorzien en dat zich geen nieuwe inzichten voordoen in bijvoorbeeld de dijksterkte<sup>2</sup>. Dat betekent dat de dijken uiterlijk in 2050 overal aan de nieuwe norm voldoen en zijn ontworpen op de huidige, door het beleid vastgestelde, afvoerverdeling. Ook is een deel van de klimaatopgave tot 2100 al opgelost. De mate waarin de klimaatopgave is opgelost is afhankelijk van het moment waarop de dijken versterkt zijn en de tijdshorizon die daarbij is aangehouden (in dit geval 50 jaar). Wanneer het klimaat verandert zoals nu wordt aangenomen, blijft ook na 2050 sprake van een toename van de belastingen op de waterkeringen. Dit geldt zeker voor de benedenloop van de Lek, waar naast een toename van de kans op een hoge rivierafvoer ook sprake is van doorgaande zeespiegelstijging en bodemdaling. Daardoor is ook na 2050 sprake van een ingrijpende versterkingsopgave. Deze opgave kan mogelijk worden voorkomen, uitgesteld of verkleind door de Nederrijn-Lek te ontzien.

Het ontzien van de Nederrijn-Lek is verkend door de volgende varianten door te rekenen:

- Ontzien van de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren
  - Bovenrijnafvoer kleiner dan 10.000 m<sup>3</sup>/s
  - Bovenrijnafvoer kleiner dan 13.000 m<sup>3</sup>/s
- Ontzien van de Nederrijn-Lek bij hoge afvoeren
  - Ontzien vanaf 15-, 16- of 17-duizend m<sup>3</sup>/s te Lobith

Bij alle genoemde varianten is de extra afvoer (die niet over de Nederrijn-Lek wordt afgevoerd) op verschillende wijzen verdeeld over Waal en IJssel. Dit resulteerde in een totaal van 12 varianten.

Er is sprake van onverwachte omstandigheden wanneer zich in de toekomst nieuwe inzichten voordoen, bijvoorbeeld in de sterkte van de waterkeringen, het aftoppen van de afvoeren op de Rijn door overstromingen in Duitsland, of de gewenste beschermingsnorm. Door de afvoerverdeling te wijzigen kan dijkversterking op één of meer takken worden voorkomen of uitgesteld, wat mogelijk een kosteneffectieve oplossing is.

---

<sup>2</sup> De huidige nieuwe inzichten in de sterkte van waterkeringen zijn meegenomen bij de versterkingen die voor 2050 plaatsvinden.

De volgende onverwachte situaties zijn als gevoeligheidsanalyse meegenomen:

- Er blijkt geen, of in veel mindere mate, sprake te zijn van aftopping op de Rijn: Wanneer de afvoeren op de Rijn toch hoger worden dan nu gedacht, dan resulteert dit in een (beperkte) extra hoogteopgave langs alle Rijntakken.
- Een nieuwe ronde met normaanscherping: Wanneer sprake is van economische groei dan neemt de economische waarde van het te beschermen gebied achter de keringen toe, wat een strengere norm rechtvaardigt.
- Als de dijken in 2050 nog niet langs alle Rijntakken aan de norm voldoen.

### **Aanpak en uitgangspunten**

Voor alle varianten zijn de kosten voor dijkversterking berekend met de OKADER<sup>3</sup> tool (Van der Meij et al., 2016; De Grave et al., 2017). Kosten voor dijkversterking zijn berekend voor de periode 2025-2125. In de berekeningen is gewerkt met een abrupte wijziging van de afvoerverdeling in 2050. In de versterkingen die vóór 2050 plaatsvinden is met deze wijziging nog geen rekening gehouden. In de contante waarde berekeningen worden de kosten ná 2050 contant gemaakt naar het basisjaar 2050 (discontovoet 4,5%). Dus alsof we nú in 2050 staan, en we dan gaan besluiten om de afvoerverdeling al dan niet te wijzigen. De kosten worden gecorrigeerd voor de restwaarde die de versterkingen nog hebben in 2125. Het kan immers zijn dat in het ene scenario de dijk net versterkt is in 2124, terwijl deze in het andere scenario net in 2126 aan de beurt zou zijn. Dit zou een oneerlijke vergelijking opleveren.

Een abrupte wijziging in de afvoerverdeling heeft ook gevolgen voor de overstromingsrisico's. Een plotselinge verandering in de belasting tegen de dijk beïnvloedt de overstromingskans. Ook de gevolgen van een overstroming kunnen anders zijn wanneer de belasting op een riviertak verandert. Beide aspecten (verandering in overstromingskans en verandering in de gevolgen in geval van overstromen) worden beschouwd bij het berekenen van de overstromingsrisico's. De overstromingsrisico's zijn berekend met dezelfde methode en uitgangspunten die zijn gebruikt bij de MKBA Lange-termijnambitie rivieren. Een uitgebreide beschrijving van de methode is onder meer te vinden in Asselman et al. (2017).

### **Ontzien van de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren**

Het ontzien van de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren leidt tot een significante afname van de contante kosten voor dijkversterking en van het overstromingsrisico langs deze riviertak. De investeringskosten op deze riviertak vallen 30 M€ tot 160 M€ lager uit (op een totaal van 550 M€). De risicoreductie bedraagt ook nog eens 15 M€ tot 100 M€.

Langs de riviertak die meer afvoer te verwerken krijgt nemen de kosten voor dijkversterking en het risico echter toe. De toename is het grootst wanneer de Nederrijn-Lek over een groter bereik wordt ontzien en kan oplopen tot meer dan 440 M€ (op een totaal van ruim 700 M€). De toename van de kosten komt vooral doordat de dijken langs de riviertak die meer water af moet voeren eerder versterkt moeten worden.

Er is een variant die (beperkt) kosteneffectief is, namelijk het ontzien van de Nederrijn-Lek bij Bovenrijnafvoeren tot 10.000 m<sup>3</sup>/s en de extra afvoer volledig afvoeren over de Waal. De totale kosten (dijkversterking en risico) vallen dan 30 M€ lager uit (op een totaal van 1,3 miljard euro). Bij alle andere varianten nemen de totale kosten toe met minimaal 60 M€ en maximaal 320 M€.

<sup>3</sup> Opgave en Kostenanalyse Dijkversterking en Rivierverruiming

### **Ontzien van de Nederrijn-Lek bij hoge afvoeren**

De doorgerkende varianten laten zien dat de kosten voor dijkversterking *altijd* hoger uitvallen wanneer in 2050 wordt besloten om de afvoerverdeling te wijzigen. Dit komt vooral doordat op de tak waar de afvoer vanaf dat moment toeneemt, de dijken eerder versterkt moeten worden. Wanneer investeringen eerder in de tijd moeten worden gedaan heeft dat een negatief effect op de contante kosten. Bij het contant maken van de kosten tellen de kosten die vroeg in de tijd worden gemaakt namelijk zwaarder mee dan de kosten die later in de tijd worden gemaakt. Het naar voren halen van investeringen leidt daardoor tot een toename van de contante kosten, terwijl uitstel van investeringen leidt tot een afname. De toename van de contante kosten voor dijkversterking varieert tussen de 40 M€ en 220 M€ (op een totaal van 1,3 miljard euro). Wanneer wordt gekeken naar de totale contante kosten (kosten voor dijkversterking en overstromingsrisico) dan is de toename vergelijkbaar van omvang: 50 M€ tot 200 M€. Wanneer in een eerder stadium geanticipeerd wordt op een wijziging van de afvoerverdeling (bijvoorbeeld vanaf 2040), dan leidt dit tot een beperkte afname van de meerkosten. Deze afname is zo beperkt omdat veel dijken langs de Rijntakken al voor 2040 versterkt worden. Met name langs de Waal worden de dijken al snel versterkt. Dit betekent dat nu al geanticipeerd zou moeten worden op een wijziging van de afvoerverdeling om de kostentoeename te voorkomen.

### **Gevoeligheidsanalyse voor onverwachte omstandigheden**

De resultaten uit deze studie tonen aan dat er zich in de toekomst (na 2050) mogelijk omstandigheden kunnen voordoen waarin het kosteneffectief kan zijn om de afvoerverdeling aan te passen. De onderzochte kosteneffectieve omstandigheden zijn:

- Er blijkt geen, of in veel mindere mate, sprake te zijn van aftopping op de Rijn. Ontzien van de IJssel en alle 'extra' afvoer afvoeren via de Waal lijkt een kosteneffectieve oplossing.
- Nieuwe ronde met normaanscherping. Wanneer na 2050 alle normen als gevolg van doorgaande economische groei, een normklasse strenger worden, dan is het kosteneffectief om minder water af te voeren via de IJssel en meer via de Waal.

De besparingen bedragen enkele honderden miljoenen euro's. Een van de redenen waarom wijziging van de afvoerverdeling kosteneffectiever is bij onverwachte omstandigheden, is dat de levensduur van de dijkversterkingen in dat geval minder dan 50 jaar bedraagt. De onverwachte omstandigheden leiden er toe dat waterkeringen eerder worden afgekeurd en opnieuw versterkt moeten worden. Dit leidt in de referentievariant al tot relatief hoge contante kosten. Een eventuele wijziging van de afvoerverdeling kan dan tegen verhoudingsgewijs geringe meerkosten worden meegenomen.

### **Conclusie**

Wanneer het klimaat zich ontwikkelt zoals momenteel wordt voorzien en er zich geen nieuwe inzichten voordoen in bijvoorbeeld de dijksterkte of het aftoppen van afvoeren op de Rijn bij Lobith, dan lijkt het niet kosteneffectief om de afvoerverdeling in 2050 te wijzigen. Het wijzigen van de afvoerverdeling kan leiden tot een (forse) kostenbesparing op dijkversterking langs de tak die wordt ontzien, maar deze besparing wordt vrijwel altijd teniet gedaan door hogere kosten op de riviertak die zwaarder wordt belast. Deze hogere kosten komen voor een groot deel doordat de dijken op deze tak veel eerder opnieuw versterkt moeten worden. Het plotseling wijzigen van de afvoerverdeling leidt er namelijk toe dat veel waterkeringen op de tak die zwaarder wordt belast, niet meer aan de norm voldoen. Zonder plotselinge wijziging zou de levensduur van deze keringen minimaal 25 jaar langer zijn geweest.

Slechts in een beperkt aantal doorgerekende situaties is de afname van het overstromingsrisico zo groot dat de totale kosten (kosten voor dijkversterking en overstromingsrisico samen) afnemen. Opgemerkt wordt dat de relatieve verandering in totale kosten klein is: de totale kosten van de meeste doorgerekende varianten zijn slechts enkele procenten hoger dan de totale kosten in de referentiesituatie.

Wanneer in de toekomst wel sprake is van nieuwe inzichten, dan is het raadzaam een nieuwe analyse uit te voeren naar de kosteneffectiviteit van de huidige afvoerverdeling. De resultaten uit deze studie tonen namelijk aan dat zich in de toekomst omstandigheden kunnen voordoen waarin het kosteneffectief kan zijn om de afvoerverdeling aan te passen.



# 1 Inleiding

## 1.1 Kader

Voor het water dat bij Lobith via de Rijn ons land binnenkomt, is door het beleid vastgesteld hoe de afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s verdeeld dient te worden over de riviertakken. Ook is vastgesteld dat bij afvoeren groter dan 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith de afvoer via de Nederrijn-Lek niet zou mogen toenemen ('Lek ontzien') en dat het meerdere boven de 16.000 m<sup>3</sup>/s over Waal en IJssel verdeeld wordt.

In het Deltaprogramma is gekeken naar nut en noodzaak om de afvoerverdeling op korte termijn te wijzigen. Daarbij is de situatie, zoals aangenomen in de hydraulische modellen, als vertrekpunt genomen. Dat wil zeggen dat is uitgegaan van dynamische regelwerken bij de splitsingspunten, die het water zo kunnen sturen dat de Nederrijn-Lek bij alle afvoeren boven de 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith wordt ontzien<sup>4</sup>. Uit de analyses, die zijn vastgelegd in Deltaprogramma Rivieren (2013) en Ten Brinke (2013), zijn toen geen varianten naar voren gekomen die aantoonbaar voordelen boden ten opzichte van de huidige afvoerverdeling. In het Nationaal Waterplan (NWP) is vervolgens besloten om de door het beleid vastgestelde afvoerverdeling over de Rijntakken in ieder geval tot 2050 te handhaven.

In het Deltaprogramma 2015 is voorgesteld dat het Rijk in 2017, in overleg met provincies en waterschappen, zal onderzoeken of er aanleiding is om de afvoerverdeling na 2050 mogelijk te wijzigen.

## 1.2 Vraagstelling huidig onderzoek

In 2016 is de basisvraag voor dit onderzoek geformuleerd: Is er aanleiding en welke argumenten zouden er zijn, om de afvoerverdeling na 2050 te wijzigen, er van uitgaande dat het klimaat en de programma's zich ontwikkelen zoals momenteel wordt voorzien? Mocht er een aanleiding zijn, dan komt de vervolgvraag hoe we daar mee omgaan.

Mocht er geen aanleiding gevonden worden dan blijft de huidige beleidsmatige afvoerverdeling ook na 2050 het uitgangspunt. Uiteraard betekent dat niet dat er in de toekomst door nieuwe inzichten niet alsnog iets aan de afvoerverdeling gewijzigd zou kunnen (of moeten) worden.

Deze vraag is heel breed en het antwoord kan dat dus ook zijn. In een beantwoording van dit vraagstuk zal echter zeker een rol spelen hoe de risico's zich langs de verschillende Rijntakken zullen ontwikkelen en wat de totaalkosten voor de maatschappij van een bepaalde keuze over wijziging van de afvoerverdeling zullen zijn. De bestuurlijke aanleiding voor de onderzoeksvraag is ook voortgekomen uit een kostenoverweging of het niet goedkoper zou zijn de Nederrijn-Lek verder te ontzien dan de dijken langs deze tak nog verder te versterken. Dit rapport gaat daarom vooral in op de vraag of een wijziging van de afvoerverdeling na 2050 kosteneffectief is.

---

<sup>4</sup> Inmiddels worden vraagtekens geplaatst bij deze aanname: de huidige regelwerken zijn niet dynamisch regelbaar, maar worden aan het begin van het hoogwaterseizoen vast ingesteld. Dit leidt tot een andere afvoerverdeling dan is aangenomen in de KEA.

### 1.3 Wat bedoelen we met kosteneffectief?

Voor de vraag die in het huidige onderzoek voorligt, is het handhaven van de ‘huidige’ afvoerverdeling na 2050 de referentie (zie Tabel 1.1). Tevens is het uitgangspunt dat de dijken in 2050 overal aan de nieuwe norm voldoen en zijn ontworpen op de bestaande beleidsmatige afvoerverdeling. De nieuwe inzichten in de sterkte van waterkeringen zijn meegenomen bij de versterkingen. Ook is een deel van de klimaatopgave tot 2100 al opgelost. De mate waarin de klimaatopgave is opgelost is afhankelijk van het moment waarop de dijken versterkt zijn.

Tabel 1.1 Afvoerverdeling gebruikt in OKADER (Bron: berekeningen uitgevoerd met het Deltamodel S10, 2050 W+, in het kader van het Deltaprogramma Rivieren, 2013).

Afvoer te Lobith (m <sup>3</sup> /s)	Waal (m <sup>3</sup> /s)	Lek (m <sup>3</sup> /s)	IJssel (m <sup>3</sup> /s)
6.000	4.097	1.082	803
7.988	5.370	1.488	1.050
9.999	6.635	2.018	1.350
13.002	8.607	2.619	1.774
16.001	10.449	3.236	2.307
17.003	10.981	3.383	2.626
18.001	11.742	3.408	2.849
20.002	12.698	3.895	3.404

Wijziging van de afvoerverdeling na 2050 is potentieel kosteneffectief wanneer de lagere kosten voor dijkversterkingen<sup>5</sup> na 2050 langs de tak waarbij de afvoer afneemt opwegen tegen de hogere dijkversterkingskosten langs de tak die meer afvoer te verwerken krijgt en dus een positief saldo ten opzichte van de referentie ontstaat.

Wijziging van de afvoerverdeling heeft ook effect op het overstromingsrisico langs de rivieren. Door hogere waterstanden op een riviertak kunnen de gevolgen van een overstroming toenemen ondanks dat dijken worden aangepast om aan dezelfde overstromingskansnorm te blijven voldoen. Dit kan door lagere waterstanden op andere riviertakken natuurlijk ook weer gecompenseerd worden. Het overstromingsrisico kan als kosten voor de maatschappij worden opgevat, en moet dus worden ingecalculeerd in een kosteneffectiviteitsanalyse. Een eventuele toename in het totale overstromingsrisico moet kleiner zijn dan de kostenbesparing op dijkversterking.

Vervolgens moet dit nog worden afgezet tegen de kosten voor het bouwen/aanpassen van regelwerken om een gewenste afvoerverdeling te kunnen realiseren. Deze kosten zijn in voorliggende studie nog niet beschouwd, omdat de kosten die na 2050 gemaakt moeten worden sterk afhankelijk zijn van de eventuele aanpassingen aan de regelwerken die op de korte-termijn al worden doorgevoerd.

<sup>5</sup> In de praktijk zou een deel van de waterveiligheidsopgave kunnen worden opgelost met rivierverruiming. Echter, omdat rivierverruiming duurder is dan dijkversterking en omdat de kosteneffectiviteit van rivierverruimende maatregelen sterk uiteenloopt, is in deze studie uitgegaan van dijkversterking



## 1.4 Te beschouwen situaties

In deze studie zijn twee situaties beschouwd:

- 1 Basisscenario;
- 2 Onverwachte omstandigheden.

Bij het basisscenario is aan genomen dat het klimaat en de dijkversterkingsprogramma's zich ontwikkelen zoals momenteel wordt voorzien. Dat wil zeggen dat sprake is van doorgaande zeespiegelstijging en bodemdaling langs de benedenloop van de Lek, waardoor ook na 2050 sprake is van een versterkingsopgave. Deze opgave kan mogelijk worden voorkomen, uitgesteld of verkleind door de Nederrijn-Lek nog meer te ontzien.

De invloed van onverwachte omstandigheden is verkend in gevoeligheidsanalyses. Een onverwachte omstandigheid doet zich bijvoorbeeld voor wanneer sprake is van nieuwe inzichten in de sterkte van de waterkeringen, wanneer de aftopping van de zeer hoge afvoeren op de Rijn minder is dan nu gedacht, of wanneer sprake is van een nieuwe ronde met normaanscherping. Door de afvoerverdeling te wijzigen kan dijkversterking op één of meer takken worden voorkomen of uitgesteld, wat dan mogelijk een kosteneffectieve oplossing is.

## 1.5 Uitvoering van het onderzoek

De kosten voor dijkversterking zijn voor de referentiesituatie en de alternatieven berekend met het instrument OKADER (zie De Grave et al., 2017 en Van der Meij et al., 2017). Omdat dit instrument in 2016 nog niet beschikbaar was voor de Nederrijn-Lek, is in 2016 begonnen met de gevoeligheidsanalyses. Nadat het instrument in de zomer van 2017 ook geschikt was gemaakt voor de Nederrijn-Lek, zijn in het najaar van 2017 de analyses uitgevoerd om antwoord te geven op de vraag of het mogelijk kosteneffectief is om na 2050 de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren extra te ontzien. In het voorjaar van 2018 is vervolgens ingegaan op de vraag of het mogelijk kosteneffectief is om na 2050 de Nederrijn-Lek bij hoge afvoeren extra te ontzien, of om het surplus anders over Waal en IJssel te verdelen.

Tussentijds opgedane inzichten hebben soms aanleiding gegeven tot kleine aanpassingen in de gehanteerde uitgangspunten. Deze wijzigingen hebben geen invloed op de conclusies, maar zorgen er wel voor dat berekeningsresultaten uit 2016 niet een-op-een vergeleken kunnen worden met die uit 2018. Zo is de doorgerekende periode in het onderzoek uit 2018 langer dan die in het onderzoek van 2016. Dit leidde tot een extra ronde dijkversterking en dus tot hogere kosten.

## 1.6 Dit rapport

In verband met de verschillende uitgangspunten is er voor gekozen om de drie onderzoeken in drie afzonderlijke hoofdstukken te rapporteren, met een nadere specificatie van de daarvoor gehanteerde uitgangspunten. Maar eerst wordt in hoofdstuk 2 de algemene aanpak besproken, die voor alle analyses hetzelfde is.

Hoofdstuk 3 gaat daarna in op het basisscenario – Nederrijn-Lek na 2050 extra ontzien bij middelhoge afvoeren.

Hoofdstuk 4 staat in het teken van het basisscenario – Nederrijn-Lek na 2050 meer of minder ontzien bij hoge afvoeren.

En in hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de gevoeligheidsanalyses – wijziging afvoerverdeling in verband met onverwachte omstandigheden.

In hoofdstuk 6 worden de bevindingen uit de 3 studies kort samengevat en worden conclusies getrokken.

## 2 Aanpak

### 2.1 Kosten voor dijkversterking

Voor alle varianten zijn de kosten voor dijkversterking berekend met het instrument OKADER (Opgave en Kostenanalyse Dijkversterking en Rivierverruiming). In Bijlage B staat een beknopt overzicht van de belangrijkste aannames en uitgangspunten die gehanteerd worden in dit instrument. Een gedetailleerde omschrijving van de methode en alle uitgangspunten is te vinden in Van der Meij et al. (2016). Een beschrijving van de werking van het instrument is te vinden in De Grave et al. (2017).

Omdat de verschillende deelonderzoeken in verschillende jaren zijn uitgevoerd, is gebruik gemaakt van verschillende versies van OKADER:

- De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd in 2016. De kostenramingen voor dijkversterking zijn uitgevoerd met een voorloper van het OKADER-instrument. Er is gebruik gemaakt van de *matlab scripts* waarin de methode van Van der Meij et al. (2016) is geprogrammeerd, maar deze komen niet één-op-één overeen met het huidige instrument OKADER. Zo ontbraken gegevens voor de Nederrijn-Lek. Ook is gebruik gemaakt van een oudere afvoerstatistiek van de Rijn te Lobith.
- De berekeningen voor de basisscenario's zijn uitgevoerd in het najaar van 2017 en het voorjaar van 2018. Deze basisscenario's zijn later doorgerekend, omdat de beschikbaarheid van gegevens voor de Nederrijn-Lek essentieel was voor deze analyses. Deze gegevens zijn pas in de zomer van 2017 beschikbaar gekomen.

Naast de algemene uitgangspunten die gehanteerd zijn bij het opstellen van de methode van Van der Meij et al. (2016), zijn de volgende specifieke uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de basisscenario's zijn de kosten voor dijkversterking berekend voor de periode 2025-2125. Dit komt overeen met de periode die is gehanteerd voor de MKBA Lange-TermijnAmbitie Rivieren (LTAR). Voor de gevoeligheidsanalyses (die eerder zijn uitgevoerd) is een afwijkende periode aangehouden, van 2020 tot 2100.
- In de berekeningen is gewerkt met een plotselinge wijziging van de afvoerverdeling in 2050. In de versterkingen die vóór 2050 plaatsvinden wordt op deze wijziging dus nog niet geanticipeerd.
- De ontwerplevensduur van dijken is in het instrument gesteld op 50 jaar.
- In alle analyses worden alleen de kosten ná 2050 beschouwd.
- In de contante-waardeberekeningen worden de kosten ná 2050 contant gemaakt naar het basisjaar 2050 (discontovoet 4,5%), dus alsof we nú in 2050 staan, en we dan gaan besluiten om de afvoerverdeling al dan niet te wijzigen.
- Uitgegaan wordt van prijspeil 2013.
- De kosten worden gecorrigeerd voor de restwaarde die de versterkingen nog hebben aan het einde van de doorgerekende periode<sup>6</sup>. Het kan immers zijn dat in het ene scenario de dijk net versterkt is in 2124, terwijl deze in het andere scenario net in 2126 aan de beurt zou zijn. Dit zou een oneerlijke vergelijking opleveren.

---

<sup>6</sup> 2125 bij de basisscenario's en in 2100 bij de gevoeligheidsanalyses

## 2.2 Overstromingsrisico's

### Kans

Een plotselinge wijziging in de afvoerverdeling heeft ook gevolgen voor de overstromingsrisico's. Wanneer de belasting op een riviertak plots groter wordt, dan leidt dit tot een toename van de overstromingskans. De dijken waren immers ontworpen op een situatie met lagere belastingen. Omgekeerd zullen de overstromingskansen op de riviertak die wordt ontzien afnemen. Dit leidt tot een toename van het overstromingsrisico op de ene tak en een afname op de andere tak.

Voor de basisscenario's zijn de overstromingskansen berekend met OKADER. De overstromingsrisico's zijn dus berekend met dezelfde methode en uitgangspunten die zijn gebruikt bij de MKBA Lange-TermijnAmbitie Rivieren. Een uitgebreide beschrijving van de methode is onder meer te vinden in Asselman et al. (2017).

Bij de gevoeligheidsanalyses konden de veranderingen in overstromingskans nog niet berekend worden met OKADER. Daarom is bij die analyses gebruik gemaakt van de decimeringshoogte van de waterkering<sup>7</sup>. Stel dat de decimeringshoogte van de waterkering 50 cm bedraagt, en een wijziging van de afvoerverdeling leidt tot een toename van de belasting met 50 cm, dan is aangenomen dat dit leidt tot een 10 keer grotere kans op falen.

### Gevolgen

Ook de gevolgen van een overstroming kunnen veranderen wanneer de belasting op een riviertak verandert. Een hogere buitenwaterstand resulteert in grotere waterdieptes en/of een groter overstroomd oppervlak. Beide aspecten (verandering in overstromingskans en verandering in de gevolgen in geval van overstromen) worden beschouwd bij het berekenen van de overstromingsrisico's.

Veranderingen in de gevolgen in geval van overstromen zijn berekend met behulp van eerder uitgevoerde overstromingssimulaties (in het kader van VNK), waarbij het verschil in schade is bepaald als functie van de buitenwaterstand door gebruik te maken van overstromingssimulaties bij (1) een buitenwaterstand gelijk aan toetspeil en (2) een buitenwaterstand die een decimeringshoogte<sup>8</sup> hoger is (zie Asselman en Wagenaar, 2016). Daartussen is lineair geïnterpoleerd en erbuiten is geëxtrapoleerd. Bij het bepalen van de gevolgen is rekening gehouden met zowel de economische schade als met de aantallen slachtoffers en getroffen. Deze zijn, net als bij WV21 en het Deltaprogramma Veiligheid, gemonetariseerd (zie Bijlage B voor meer informatie).

De kosten en baten als gevolg van een verandering in het overstromingsrisico zijn in de tijd verdisconteerd. Daarbij is aangenomen dat ook na 2050 sprake is van economische groei (1,5%). Voor de discontovoet is een waarde van 4,5% gebruikt.

---

<sup>7</sup> Dit is het verschil in kruinhoogte dat leidt tot een 10x kleinere danwel grotere kans op falen

<sup>8</sup> Dit is een waterstand met een 10 keer kleinere kans van voorkomen,

### 3 Basisscenario – Nederrijn-Lek na 2050 extra ontzien bij middelhoge afvoeren

#### 3.1 Inleiding

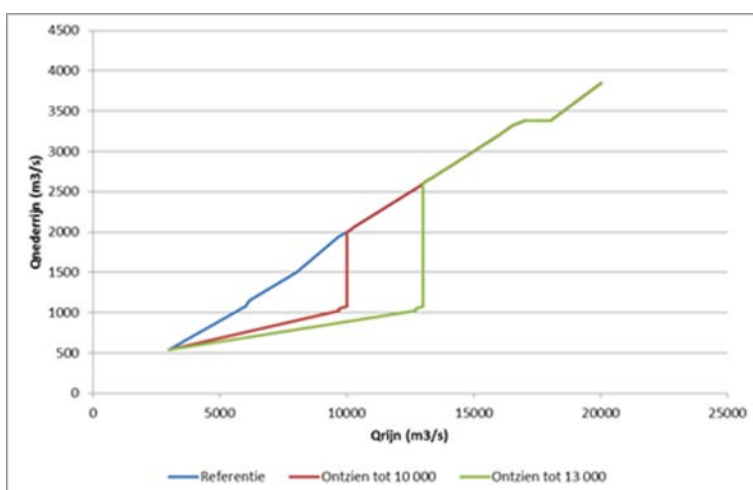
In dit hoofdstuk wordt gekeken of het kosteneffectief is om de Nederrijn-Lek, in de periode na 2050, bij middelhoge afvoeren extra te ontzien. De gedachte hierachter is dat zeespiegelstijging leidt tot een zwaardere belasting van de dijken langs de Lek. Hierdoor moeten de dijken na 2050 opnieuw worden versterkt. Wanneer men dit zou willen uitstellen of beperken, zou de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren moeten worden ontzien. Het is immers de combinatie van het relatief frequent voorkomen van middelhoge afvoeren en de kans dat dit samenvalt met storm die voor hoge waterstanden zorgen langs de Lek. Aangenomen is dat het water dat niet via de Nederrijn wordt afgevoerd, op verschillende manieren kan worden verdeeld over de Waal en de IJssel.

#### 3.2 Beschouwde varianten met verschillende verdeling van het surplus over Waal en IJssel

In deze verkenning worden naast een referentiescenario twee varianten voor het ontzien van de Nederrijn-Lek beschouwd:

1. De Nederrijn-Lek wordt ontzien voor afvoeren tot 10.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.
2. De Nederrijn-Lek wordt ontzien voor afvoeren tot 13.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith.

In Figuur 3.1 wordt het debiet op de Nederrijn-Lek gegeven als functie van het debiet bij Lobith voor deze twee opties.



Figuur 3.1 Afvoer op de Nederrijn-Lek als functie van de afvoer te Lobith bij de doorgerekende varianten.

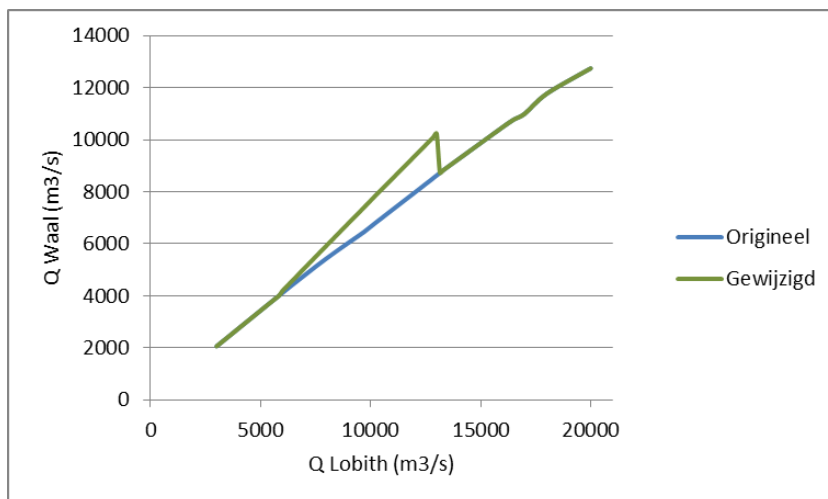
Binnen deze verkenning worden vervolgens voor beide varianten drie verdeelopties beschouwd voor de herverdeling van het debiet:

- a. De extra afvoer gaat volledig naar de Waal, geen wijzigingen op de IJssel;
- b. De extra afvoer gaat volledig naar de IJssel, geen wijzigingen op de Waal;
- c. De extra afvoer wordt 50/50 verdeeld over de Waal en de IJssel.

Aldus hebben we 6 varianten om te analyseren verkregen.

In OKADER wordt gewerkt met een QT (debiet-terugkeertijd) relatie bij Lobith. Een debiet bij Lobith wordt vervolgens aan de hand van zogenaamde QH (debiet-waterstand) relaties voor ieder dijkvak vertaald naar lokale waterstanden. Uiteindelijk leidt combinatie van de QT en QH tot een lokale HT relatie (waterstand-terugkeertijd). In de QH relaties in OKADER wordt uitgegaan van een vaste afvoerverdeling. Ontzien van de Nederrijn-Lek in een bepaald frequentiebereik wordt in het instrument gesimuleerd door de QT relatie bij Lobith aan te passen. Omdat de hoge waterstanden op de Lek mede bepaald worden door stormopzet, kunnen bij een veranderende kans op hoge afvoeren, andere combinaties van rivierafvoer en stormopzet bepalend worden. Om dit effect goed mee te kunnen nemen, is voor iedere aangepaste QT relatie (debiet-terugkeertijd) een nieuwe berekening met het HYDRA-instrumentarium uitgevoerd. Dit instrumentarium berekent in feite nieuwe HT relaties, waarbij rekening wordt gehouden met de nieuwe QT relatie en de kans op stormopzet. Dit is de enige manier om voor het overgangsgebied (waar rivierafvoer en stormopzet beide bepalend zijn voor het optreden van hoge waterstanden) correcte belastingen af te leiden. Deze belastingen worden vervolgens in OKADER gebruikt om de kosten voor dijkversterking te ramen.

Bij de berekeningen is aangenomen dat de Nederrijn-Lek over een bepaald afvoerbereik wordt ontzien en dat dit bij nog hogere afvoeren abrupt ophoudt. In Figuur 3.2 is weergegeven hoe de afvoer op de Waal als functie van de afvoer te Lobith verandert wanneer de Nederrijn-Lek wordt ontzien tot  $13.000 \text{ m}^3/\text{s}$  en de extra afvoer volledig wordt afgevoerd via de Waal (groene lijn). De knik in de lijn ontstaat doordat de statistiek in HYDRA uit gaat van een abrupte overgang tussen wel en niet ontzien van de Nederrijn-Lek.



Figuur 3.2 Effect van het ontzien van de Nederrijn-Lek tot een Rijnafvoer van  $13.000 \text{ m}^3/\text{s}$  op de afvoer over de Waal, als functie van de afvoer bij Lobith

Voor iedere variant wordt voor de Waal, de IJssel en het Pannerdensch Kanaal een (fictieve) QT relatie bij Lobith opgesteld om het effect op de betreffende riviertak te kunnen berekenen met het OKADER instrument.

Op de Nederrijn-Lek zijn twee versies van de berekeningen gedraaid:

- Eén set berekeningen waarin de invoer (QT relaties in samenhang met de QH relaties en de *fragility curves*) is *aangepast* om recht te doen aan de invloed van de zee. De belastingen op de Lek worden immers maar voor een deel bepaald door de kans op hoge Rijnafvoeren. De invloed van stormopzet is in dit deel van het rivierengebied ook erg belangrijk. In de referentiesituatie is met HYDRA bepaald hoe combinaties van hoge Rijnafvoeren en stormopzet op zee kunnen leiden tot hoge waterstanden op de Lek. Wanneer de Nederrijn-Lek wordt ontzien, dan kunnen andere combinaties van afvoer en stormopzet leiden tot hoge waterstanden op de Lek. Dit effect kan alleen worden meegenomen wanneer voor iedere door te rekenen variant ook berekeningen worden uitgevoerd met HDYRA. Bij deze set berekeningen is dat gedaan.
- Een tweede set berekeningen waar deze instellingen *standaard* zijn, dat wil zeggen, enkel de QT relatie is aangepast, de QH relaties en de *fragility curves* zijn niet gewijzigd ten opzichte van de referentiesom. Er zijn dus geen nieuwe analyses uitgevoerd met HYDRA om in detail na te gaan hoe de combinatie van afvoer en stormopzet leidt tot andere belastingen op de Lek. Deze set berekeningen is dus minder nauwkeurig en had tot doel vast te stellen of het niet in detail aanpassen van de belastingen op de Lek tot grote fouten in de kostenramingen leidt. Wanneer de verschillen in kostenramingen klein zijn, kan bij andere (toekomstige) analyses worden volstaan met de standaard versie van OKADER, zonder dat de belasting voor de Lek voor iedere berekening opnieuw met HYDRA moet worden bepaald.

### 3.3 Resultaten

#### 3.3.1 Investeringskosten en overstromingsrisico's

##### Nominale kosten voor dijkversterking voor alle varianten voor alle riviertakken

Een overzicht van de nominale kosten voor dijkversterking langs alle riviertakken is gegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nominale kosten voor dijkversterking (M€) voor de referentiesituatie en situaties waarbij de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren wordt ontzien

rivier	referentie	ontzien tot 10.000 m <sup>3</sup> /s			ontzien tot 13.000 m <sup>3</sup> /s		
		Waal 100%	IJssel 100%	Waal/IJssel 50/50	Waal 100%	IJssel 100%	Waal/IJssel 50/50
Nederrijn-Lek	1712	1654	1654	1654	1353	1353	1353
Waal	1432	1452	1432	1448	1742	1432	1601
IJssel	611	611	729	709	611	943	919
PK	87	81	87	83	51	87	64
<b>totaal</b>	<b>3842</b>	<b>3798</b>	<b>3902</b>	<b>3893</b>	<b>3757</b>	<b>3815</b>	<b>3937</b>
verandering (M€)	-	-44	+60	+51	-85	-27	+95
verandering (%)	-	-1%	2%	1%	-2%	-1%	2%

Wanneer de Nederrijn-Lek wordt ontzien bij afvoeren onder de 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith, nemen de kosten voor dijkversterking langs de Nederrijn-Lek af met bijna 60 M€. Wanneer de extra afvoer volledig over de Waal wordt afgevoerd, dan nemen de kosten langs deze tak met 20 M€ toe. Langs het Pannerdensch kanaal is dan een beperkte afname van de kosten te zien. De totale nominale kosten (na 2050) voor dijkversterking langs alle riviertakken nemen bij deze variant af met 44 M€.

Voor de varianten waarbij het water geheel of gedeeltelijk over de IJssel wordt afgevoerd, liggen de nominale kosten juist hoger dan in de referentie. De meerkosten bedragen 50 M€ tot 60 M€.

Wanneer de Nederrijn-Lek wordt ontzien tot een Bovenrijnafvoer van 13.000 m<sup>3</sup>/s, nemen de kosten voor dijkversterking op deze tak nog verder af. In dat geval bedraagt de kostenbesparing op deze tak 360 M€. De extra kosten op de andere takken nemen echter ook veel sterker toe. Wanneer de extra afvoer geheel wordt afgevoerd over de IJssel, dan nemen de totale nominale kosten af met ca. 30 M€. Wanneer de extra afvoer geheel wordt afgevoerd over de Waal is de afname nog iets groter: 85 M€. Wanneer de extra afvoer gelijk over Waal en IJssel wordt verdeeld nemen de nominale kosten echter toe met 95 M€.

De doorgerekende varianten laten zien dat extra ontzien van de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren kan leiden tot een verandering in de nominale kosten voor dijkversterking van enkele tientallen miljoenen. Omdat de totale dijkversterkingskosten ongeveer 4 miljard euro bedragen, blijven de relatieve veranderingen in nominale kosten beperkt tot 1% à 2%.

### Contante kosten voor dijkversterking voor alle varianten voor alle riviertakken

Tabel 3.2 toont de contant gemaakte investeringskosten voor dijkversterking voor de referentiesituatie en situaties waarbij de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren wordt ontzien.

Tabel 3.2 Contante kosten voor dijkversterking (M€) voor de referentiesituatie en situaties waarbij de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren wordt ontzien

rivier	referentie	ontzien tot 10.000 m <sup>3</sup> /s			ontzien tot 13.000 m <sup>3</sup> /s		
		Waal 100%	IJssel 100%	Waal/IJssel 50/50	Waal 100%	IJssel 100%	Waal/IJssel 50/50
Nederrijn-Lek	546	517	517	517	388	388	388
Waal	405	419	405	415	724	405	556
IJssel	307	307	428	400	307	747	712
PK	27	24	27	25	13	27	16
<b>totaal</b>	<b>1285</b>	<b>1266</b>	<b>1378</b>	<b>1357</b>	<b>1432</b>	<b>1568</b>	<b>1672</b>
verandering (M€)	-	-19	+93	+72	+147	+283	+387
verandering (%)	-	0%	2%	2%	4%	8%	10%

In de referentiesituatie bedragen de kosten voor dijkversterking na 2050 1285 M€. De meeste kosten worden gemaakt langs de Nederrijn-Lek: ca 550 M€.

Wanneer de Nederrijn-Lek wordt ontzien bij afvoeren onder de 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith, nemen de kosten voor dijkversterking langs de Nederrijn-Lek af met 30 M€. Wanneer de extra afvoer volledig over de Waal wordt afgevoerd, dan nemen de kosten langs deze tak met 14 M€ toe. Langs het Pannerdensch kanaal is een beperkte afname van de kosten te zien. De totale contante kosten (na 2050) voor dijkversterking langs alle riviertakken nemen af met ca. 20 M€ wanneer het extra water volledig wordt afgevoerd over de Waal. Indien de extra afvoer over de IJssel wordt afgevoerd is sprake van een toename met ruim 90 M€. Indien de extra afvoer wordt verdeeld over Waal en IJssel nemen de contant gemaakte kosten toe met ruim 70 M€.

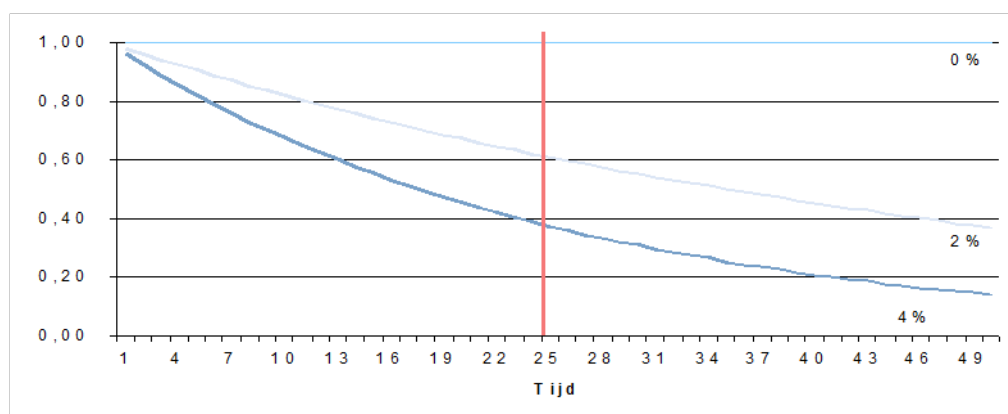
Wanneer de Nederrijn-Lek wordt ontzien tot een Bovenrijnafvoer van 13.000 m<sup>3</sup>/s, nemen de kosten voor dijkversterking op deze tak veel verder af.



De kostenbesparing bedraagt op deze tak in dat geval 160 M€ (contante waarde). De kosten op de andere takken nemen echter veel sterker toe. Dit komt vooral doordat het plotselinge ontzien van de Nederrijn-Lek na 2050 tot een toename van de belastingen op de Waal en de IJssel leidt. Dit heeft tot gevolg dat dijkversterking langs de Nederrijn-Lek weliswaar iets wordt uitgesteld, maar dat de dijken langs de Waal en de IJssel al veel eerder weer versterkt moeten worden. Onderstaand tekstbox legt uit hoe dit komt.

Afhankelijk van de verdeling van de extra afvoer over Waal en/of IJssel, nemen de totale contante kosten voor dijkversterking toe met 150 M€ tot 390 M€. De relatieve toename bedraagt maximaal 10%.

Disconteren impliceert dat men een bepaald gewicht toekent aan kosten (of baten) nu en in de verre toekomst. Zonder discontering wegen toekomstige kosten en baten even zwaar als kosten en baten die zich nu aandienen. Disconteren zorgt er voor dat toekomstige kosten en baten minder zwaar meetellen. Hoe hoger de discontovoet, hoe minder kosten en baten in de verre toekomst meetellen. Contant gemaakte kosten zijn dus uiterst gevoelig voor de fasering (wanneer de kosten gemaakt worden) en de gehanteerde discontovoet. Figuur 3.3 illustreert de wegingsfactor in de tijd bij verschillende discontovoeten. Wanneer wordt uitgegaan van een discontovoet van 4%, dan telt een investering van € 1,0 nog maar voor € 0,4 mee wanneer deze over 25 jaar wordt gedaan. Dit verklaart waarom contante kosten snel oplopen wanneer dijken, als gevolg van een plotselinge wijziging van de afvoerverdeling na 2050, eerder versterkt moeten worden. De investeringskosten tellen dan immers zwaarder mee dan in de referentie.



Figuur 3.3 Weging van kosten en baten bij verschillende discontovoeten

### Totaalkosten en risicoreductie

Tabel 3.3 toont de kosten voor dijkversterking en de overstromingsrisico's langs de verschillende Rijntakken (beide als contante waarden, voor peiljaar 2050).

Het ontzien van de Nederrijn-Lek leidt niet alleen tot lagere investeringskosten op deze riviertak, maar ook tot kleinere overstromingsrisico's. De risico's nemen af met 15 M€ wanneer de Nederrijn-Lek alleen bij afvoeren lager dan 10.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith wordt ontzien. Als de Lek tot Bovenrijnafvoeren van 13.000 m<sup>3</sup>/s wordt ontzien bedraagt de afname van het overstromingsrisico meer dan 100 M€.

Langs de riviertak die meer afvoer te verwerken krijgt neemt het risico echter toe. Over alle riviertakken samen is echter sprake van een afname van het risico. Deze afname varieert van ca 5 M€ tot ca 90 M€.

De afname van het risico weegt echter niet op tegen de hogere kosten. De enige variant die (beperkt) kosteneffectief is, is het ontzien van de Nederrijn-Lek bij Bovenrijnafvoeren tot 10.000 m<sup>3</sup>/s en de extra afvoer volledig afvoeren over de Waal. De totale kosten (dijkversterking en risico) vallen dan 30 M€ lager uit (afname met 1%). Bij alle andere varianten nemen de totale kosten toe, variërend van 60 M€ tot 320 M€. De relatieve toename van de kosten bedraagt maximaal 11%.

Tabel 3.3 Contante kosten voor dijkversterking en risico's (M€) voor de referentiesituatie en situaties waarbij de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren wordt ontzien

rivier	referentie	ontzien tot 10.000 m <sup>3</sup> /s			ontzien tot 13.000 m <sup>3</sup> /s		
		Waal 100%	IJssel 100%	Waal/IJssel 50/50	Waal 100%	IJssel 100%	Waal/IJssel 50/50
<b>Nederrijn-Lek</b>							
dijkversterking	546	517	517	517	388	388	388
risico's	835	819	819	819	729	729	729
<b>totaal NRL</b>	<b>1381</b>	<b>1336</b>	<b>1336</b>	<b>1336</b>	<b>1117</b>	<b>1117</b>	<b>1117</b>
<b>Waal</b>							
dijkversterking	405	419	405	415	724	405	556
risico's	381	384	381	384	402	381	395
<b>totaal Waal</b>	<b>786</b>	<b>803</b>	<b>786</b>	<b>799</b>	<b>1126</b>	<b>786</b>	<b>951</b>
<b>IJssel</b>							
dijkversterking	307	307	428	400	307	747	712
risico's	379	379	390	386	379	409	405
<b>totaal IJssel</b>	<b>686</b>	<b>686</b>	<b>818</b>	<b>786</b>	<b>686</b>	<b>1156</b>	<b>1117</b>
<b>PK</b>							
dijkversterking	27	24	27	25	13	27	16
risico's	63	64	63	64	60	63	63
<b>totaal PK</b>	<b>90</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>89</b>	<b>73</b>	<b>90</b>	<b>79</b>
<b>Totaal</b>							
<b>totaal dijkverst.</b>	<b>1285</b>	<b>1267</b>	<b>1377</b>	<b>1357</b>	<b>1432</b>	<b>1567</b>	<b>1672</b>
<b>totaal risico's</b>	<b>1658</b>	<b>1646</b>	<b>1653</b>	<b>1653</b>	<b>1570</b>	<b>1582</b>	<b>1592</b>
<b>Totaal</b>	<b>2943</b>	<b>2913</b>	<b>3030</b>	<b>3010</b>	<b>3002</b>	<b>3149</b>	<b>3264</b>
<b>Totaal</b>							
verandering dijkverst. (M€)		-18	92	72	147	282	387
verandering dijkverst. (%)		-1%	7%	6%	11%	22%	30%
verandering risico's (M€)		-12	-5	-5	-88	-76	-66
verandering risico's (%)		-1%	0%	0%	-5%	-5%	-4%
verandering totaal (M€)		-30	87	67	59	206	321
verandering totaal (%)		-1%	3%	2%	2%	7%	11%

### 3.3.2 Effect verbetering kostenramingen Nederrijn-Lek

In de voorgaande analyses is binnen OKADER gewerkt met een schematisatie van de Nederrijn-Lek die op diverse punten is aangepast (*OKADER aangepast*). Deze aanpassing was nodig omdat hoogwaterstanden op de Lek niet alleen afhankelijk zijn van de rivierafvoer, maar ook van de kans dat een hoogwater samenvalt met stormopzet.

De belastingen zijn opnieuw bepaald met HYDRA en de *fragility curves* voor overslag/overloop zijn ook aangepast. De vraag die voorligt is of deze aanpassingen tot andere kostenramingen leiden.

In onderstaande tabellen is weergegeven welke kosten worden berekend wanneer de belastingen niet opnieuw met HYDRA zouden worden berekend en de *fragility curves* voor overloop/overslag niet zouden zijn aangepast (*OKADER standaard*). Tabel 3.4 toont de nominale kosten. Tabel 3.5 toont de contante kosten (peiljaar 2050).

Tabel 3.4 Nominale kosten voor dijkversterking langs de Nederrijn-Lek (M€) berekend met de aangepaste en de standaardversie van OKADER

Traject	NRL ontzien tot 10.000 m <sup>3</sup> /s			NRL ontzien tot 13.000 m <sup>3</sup> /s		
	OKADER aangepast	OKADER standaard	Fractie	OKADER aangepast	OKADER standaard	Fractie
15-1	154	154	1.00	146	146	1.00
15-2	323	329	1.02	278	287	1.03
16-2	204	205	1.00	174	187	1.08
16-3	316	318	1.01	302	315	1.04
16-4	152	151	1.00	143	144	1.01
43-1	110	110	1.00	79	79	1.00
43-2	145	145	1.00	76	76	1.00
43-3	54	54	1.00	26	26	1.00
44-1	134	134	1.00	78	78	1.00
45-1	20	20	1.00	16	16	1.00
47-1	43	43	1.00	36	36	1.00
<b>Totaal</b>	<b>1654</b>	<b>1664</b>	<b>1.01</b>	<b>1353</b>	<b>1390</b>	<b>1.03</b>

Tabel 3.5 Contante kosten voor dijkversterking langs de Nederrijn-Lek berekend met de aangepaste en de standaardversie van OKADER

Traject	NRL ontzien tot 10.000 m <sup>3</sup> /s			NRL ontzien tot 13.000 m <sup>3</sup> /s		
	OKADER aangepast	OKADER standaard	Fractie	OKADER aangepast	OKADER standaard	Fractie
15-1	52	52	1.00	48	49	1.01
15-2	98	99	1.01	76	84	1.10
16-2	59	61	1.02	45	52	1.17
16-3	100	103	1.03	93	101	1.08
16-4	50	50	1.00	46	46	1.01
43-1	33	33	1.00	22	22	1.00
43-2	45	45	1.00	18	18	1.00
43-3	16	16	1.00	7	7	1.00
44-1	43	43	1.00	17	17	1.00
45-1	6	6	1.00	5	5	1.00
47-1	14	14	1.00	11	11	1.00
<b>Totaal</b>	<b>517</b>	<b>522</b>	<b>1.01</b>	<b>388</b>	<b>412</b>	<b>1.06</b>

Met de standaard invoer van OKADER worden, op rivierniveau, nagenoeg dezelfde nominale kosten berekend als met de aangepaste versie. Bij het ontzien van de NRL tot 13.000 m<sup>3</sup>/s bedraagt het verschil zo'n 3%. Op trajectniveau kunnen de verschillen in nominale kosten oplopen tot 8%. Duidelijk is te zien dat de verschillen alleen optreden in het benedenrivieren- en overgangsgebied (rode getallen).

Bij het ontzien van de Nederrijn-Lek tot 13.000 m<sup>3</sup>/s bedraagt het verschil in contante waarde tussen de aangepaste versie van OKADER en de standaard invoer zo'n 6% voor de hele riviertak. Op trajectniveau lopen de verschillen op naar 17%.

Wanneer kosten voor dijkversterking geraamd worden voor het hele rivierengebied, dan is de fout die ontstaat door de belastingen langs de Lek niet steeds opnieuw met HYDRA te berekenen, klein. Echter, wanneer men geïnteresseerd is in de kosten voor dijkversterking voor specifieke normtrajecten langs de Lek, dan verdient het aanbevelingen de belastingen wel met HYDRA te bepalen.

### 3.4 Conclusie

Het ontzien van de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren leidt tot een significante afname van de contante kosten voor dijkversterking en van het overstromingsrisico langs deze riviertak. De contante investeringskosten op deze riviertak vallen 30 M€ tot 160 M€ lager uit. De risicoreductie bedraagt ook nog eens 15 M€ tot 100 M€.

Langs de riviertak die meer afvoer te verwerken krijgt nemen de contante kosten voor dijkversterking en het risico echter toe. De toename is het grootst wanneer de Nederrijn-Lek over een groter bereik wordt ontzien en kan oplopen tot meer dan 440 M€. De toename van de contante kosten komt vooral doordat de dijken langs de riviertak die meer water af moet voeren eerder versterkt moeten worden.

De enige variant die over het geheel genomen (beperkt) kosteneffectief is, is het ontzien van de Nederrijn-Lek bij Bovenrijnafvoeren tot 10.000 m<sup>3</sup>/s en de extra afvoer volledig afvoeren over de Waal. De totale kosten (dijkversterking en risico) vallen dan 30 M€ lager uit; op een totale investering van circa 4 miljard euro komt dat neer op een afname van 1%. Bij alle andere varianten nemen de totale kosten toe met bedragen tussen 60 M€ en 320 M€.

Wanneer de kosten voor dijkversterking worden berekend met de standaardversie van OKADER (waarin veranderingen in de kans op het samenvallen van een hoge afvoer en stormopzet niet in detail worden meegenomen) leidt dit tot een overschatting van de dijkversterkingskosten op de Nederrijn-Lek met maximaal enkele procenten. Voor individuele dijk- en normtrajecten kan de overschatting groter zijn (10 tot 20%).

## 4 Basisscenario – Nederrijn-Lek na 2050 meer of minder ontzien bij hoge afvoeren

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt gekeken of het kosteneffectief is om de Nederrijn-Lek, in de periode na 2050, meer of minder te ontzien in het hoge bereik aan afvoeren. Het surplus aan water dat dan níet via de Nederrijn wordt afgevoerd, kan op verschillende manieren verdeeld worden over de Waal en de IJssel.

### 4.2 Beschouwde varianten

#### 4.2.1 Varianten

Per variant is verkend of het kosteneffectief is om na 2050 de afvoerverdeling te wijzigen. De doorgekende varianten zijn weergegeven in Tabel 4.1. Per kolom is de volgende informatie weergegeven:

- Run: codering van de doorgekende varianten;
- Afvoer Bovenrijn: vanaf welke afvoer de Nederrijn is ontzien. Bij R01 en A01 t/m A03 is dat vanaf 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith. Bij B01 en B02 is hiermee gevarieerd, en wordt de Nederrijn ontzien bij een lagere afvoer (15.000 m<sup>3</sup>/s) of juist een hogere (17.000 m<sup>3</sup>/s);
- Maximum afvoer Nederrijn: maximum afvoer die de Nederrijn te verwerken krijgt;
- Surplusverdeling Waal/IJssel: geeft aan hoe het surplus van de afvoer (boven het niveau waarop de Nederrijn wordt ontzien) wordt verdeeld over respectievelijk Waal en IJssel.

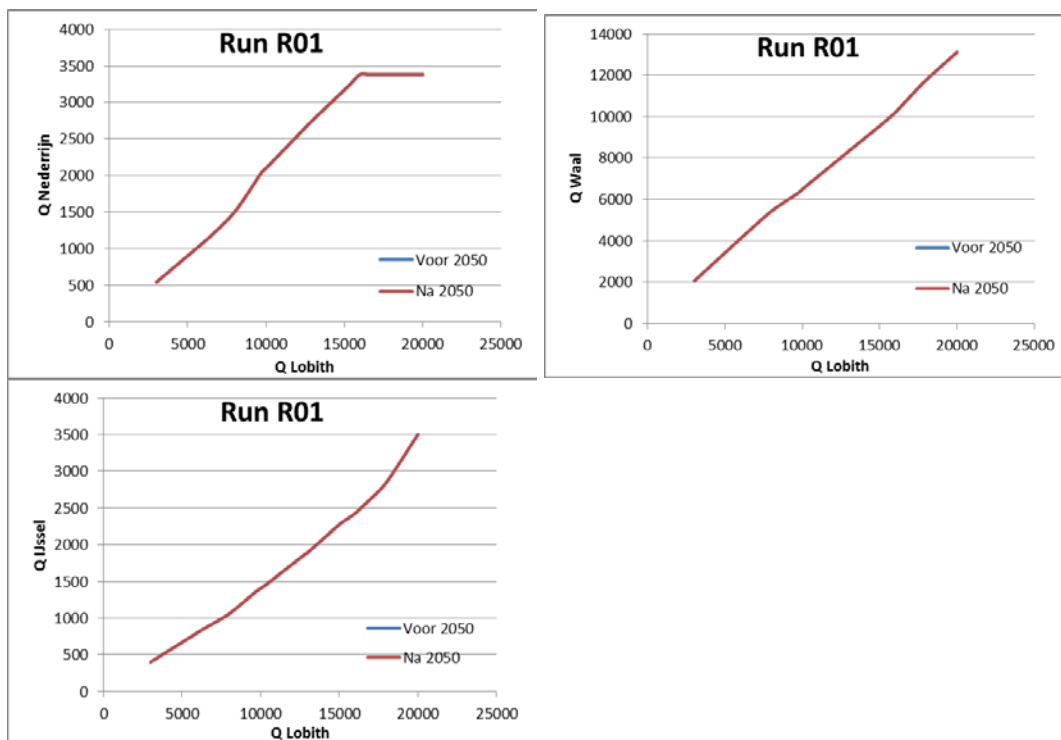
Tabel 4.1 Doorgekende varianten

Run	Ontzien bij afvoer Bovenrijn (m <sup>3</sup> /s)	Maximum afvoer Nederrijn (m <sup>3</sup> /s)	Surplus-verdeling Waal/IJssel (%)	opmerking
R01	16.000	3.376	80,52/19,48	Referentie, beleidsmatige verdeling <sup>1</sup>
A01	16.000	3.376	100 / 0	
A02	16.000	3.376	50 / 50	
A03	16.000	3.376	0 / 100	
B01	15.000	3.174	80,52/19,48	
B02	17.000	3.577	80,52/19,48	

<sup>1</sup> De afvoerverdelingspercentages zijn gebaseerd op de beleidsmatige afvoerverdeling uit de PKB deel 4 en conform de berekeningen die zijn uitgevoerd door het Deltaprogramma Rivieren.

#### 4.2.2 Run R01

In de referentieberekening (**Run R01**) wordt de afvoer over de Nederrijn zowel voor als na 2050, voor alle afvoeren boven 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith, gemaximeerd op 3.376 m<sup>3</sup>/s. De afvoerverdelingen voor en na 2050 voor run R01 worden weergegeven in Figuur 4.1.

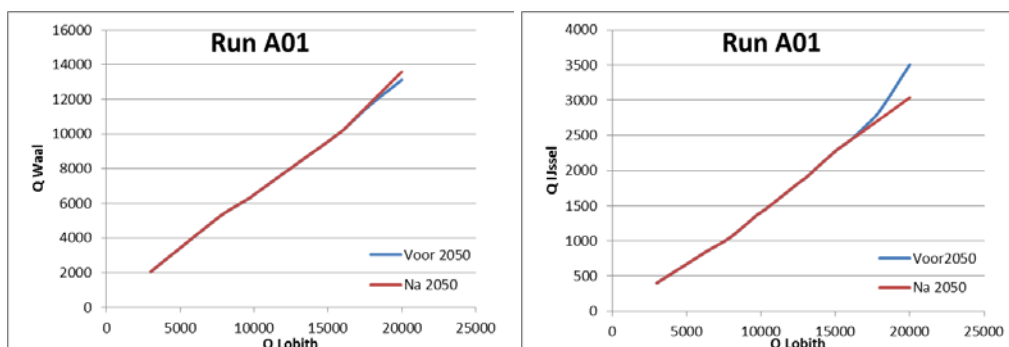


Figuur 4.1 Afvoerverdeling over de verschillende Rijntakken als functie van de afvoer te Lobith, aangehouden bij de referentierun R01

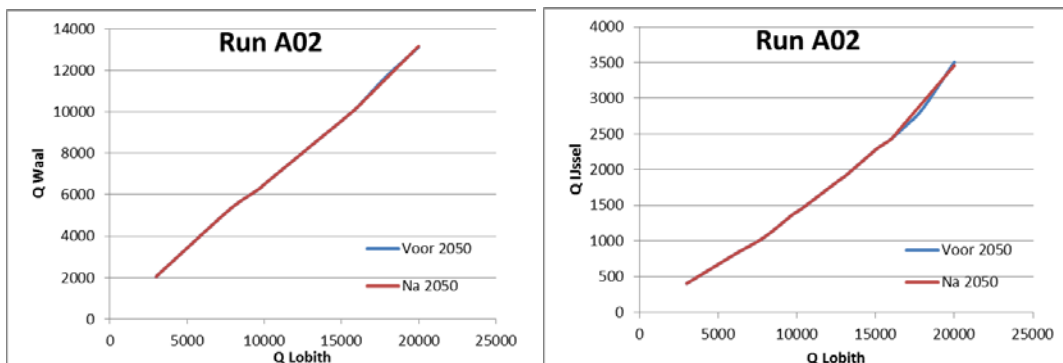
### 4.2.3 Runs A01 t/m A03

In de runs A01 t/m A03 is de afvoer via de Nederrijn in alle gevallen hetzelfde als in de referentie. Er wordt alleen gevarieerd met de verdeling van het surplus aan water dat niet via de Nederrijn wordt afgevoerd. Bij A01 gaat alle extra afvoer naar de Waal, terwijl bij A03 alle extra afvoer naar de IJssel gaat. Bij A02 is een gelijke verdeling aangehouden tussen Waal en IJssel. Omdat de afvoer op de Nederrijn niet anders is dan in de referentiesituatie (R01) is in Figuur 4.2 t/m Figuur 4.4 in rood alleen de andere afvoer op de Waal en de IJssel weergegeven:

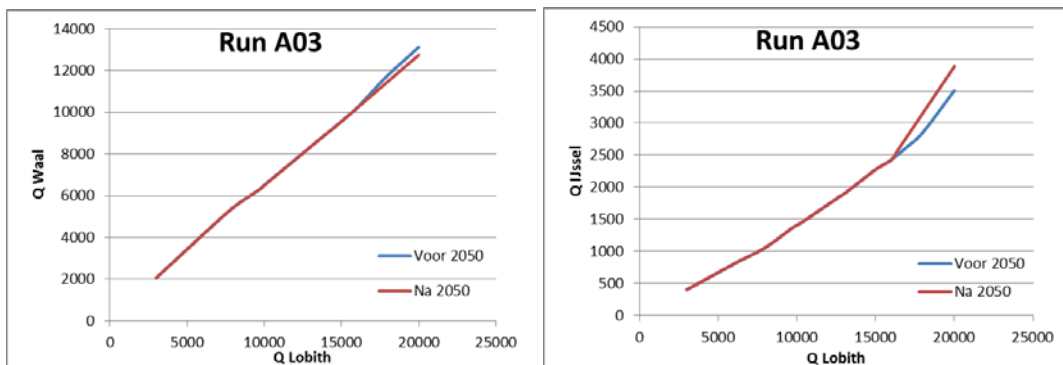
- Bij A01 nemen de afvoeren op de Waal in het hoogste afvoerbereik (>16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith) na 2050 iets toe. Op de IJssel nemen de afvoeren in het hoogste bereik juist af.
- Bij A02 zijn de veranderingen in de afvoeren op de Waal en de IJssel beperkt.
- Bij A03 nemen de afvoeren op de Waal in het hoogste afvoerbereik (>16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith) na 2050 iets af, terwijl deze op de IJssel juist toenemen.



Figuur 4.2 Afvoer op de Waal en de IJssel als functie van de afvoer te Lobith, aangehouden bij de run A01



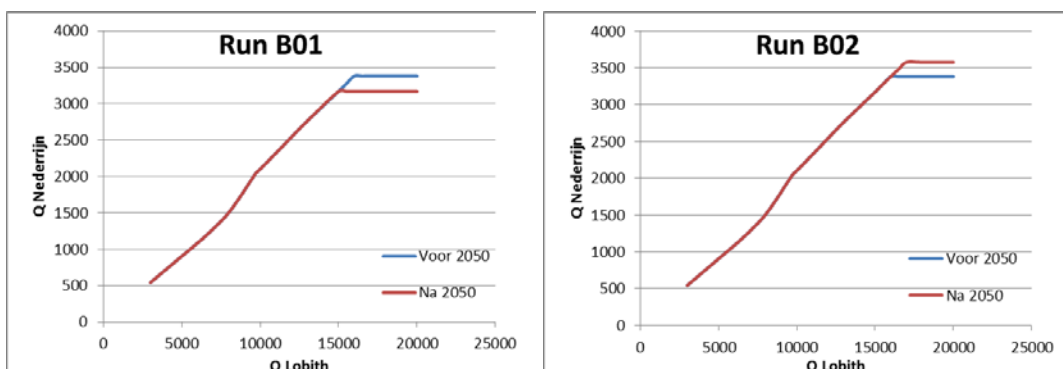
Figuur 4.3 Afvoer op de Waal en de IJssel als functie van de afvoer te Lobith, aangehouden bij de run A02



Figuur 4.4 Afvoer op de Waal en de IJssel als functie van de afvoer te Lobith, aangehouden bij de run A03

#### 4.2.4 Runs B01 en B02

In de runs B01 en B02 wordt bij een lagere resp. hogere Bovenrijnafvoer begonnen om de Nederrijn te ontzien. De bijbehorende Nederrijnafvoer is ca. 200 m<sup>3</sup>/s lager resp. hoger dan in de referentiesom. Omdat de afvoeren op de Waal en IJssel slechts zeer beperkt toe danwel afnemen, is in Figuur 4.5 alleen het effect voor de Nederrijn getoond.



Figuur 4.5 Afvoer op de Nederrijn als functie van de afvoer te Lobith, aangehouden bij de runs B01 en B02

## 4.3 Resultaten

### 4.3.1 Runs A01 t/m A03

In de runs A01 t/m A03 wordt het surplus dat normaliter over de Nederrijn-Lek zou zijn afgevoerd (maar nu wordt afgetopt) ná 2050 volgens verschillende verhoudingen afgevoerd over de Waal en de IJssel. De afvoer op de Nederrijn-Lek verandert dus niet. In de periode vóór 2050 en in de referentieberekening wordt het surplus voor 80.52% over de Waal gevoerd, en voor 19.48% over de IJssel. Met de versterkingen die vóór 2050 worden uitgevoerd op de riviertakken, wordt hiermee dus rekening gehouden. Door wijziging van de verdeling na 2050 wordt de levensduur van een versterking die voor 2050 is uitgevoerd verkort dan wel verlengd. De afvoeren op de Waal en IJssel als functie van de Bovenrijnafvoer zijn te zien in Figuur 4.2 t/m Figuur 4.4. Bij A01 wordt na 2050 het gehele surplus afgevoerd via de Waal. Bij A02 wordt het surplus gelijk verdeeld over Waal en IJssel en bij A03 gaat alle extra afvoer naar de IJssel.

De nominale kosten voor de referentie R01 en de varianten A01 t/m A03 zijn te zien in Tabel 4.2. De contante waarden van deze kosten staat in Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Totale nominale kosten, gecorrigeerd voor restwaarde voor de periode 2050-2125

Nominale kosten - Restwaarde (M€) na 2050							
	Run R01	RunA01	Fractie	RunA02	Fractie	RunA03	Fractie
Verdeling Waal/IJssel	80.52/19.48	100/0		50/50		0/100	
Waal	1360	1667	1.23	1339	0.98	1068	0.79
IJssel	665	506	0.76	739	1.11	1008	1.52
Pannerdensch Kanaal	88	87	0.99	85	0.97	84	0.95
Nederrijn-Lek	1610	1610	1.00	1610	1.00	1610	1.00
<b>Totaal</b>	<b>3723</b>	<b>3871</b>	<b>1.04</b>	<b>3773</b>	<b>1.01</b>	<b>3769</b>	<b>1.01</b>
Verskil met R01	-	148		51		46	

De totale nominale kosten over de verschillende beschouwde varianten A01 t/m A03 vallen steeds iets hoger uit dan die in de referentieberekening. Het anders verdelen van het surplus tussen Waal en IJssel leidt tot hogere nominale kosten, 46 tot 148 miljoen euro hoger. Dit komt overeen met maximaal 4% hogere totaalkosten.

Met het in 2050 plotseling wijzigen van de verdeling van het surplus, is een forse verschuiving van kosten over de riviertakken Waal/IJssel te zien. Door 100% van het water over de Waal af te voeren nemen de nominale kosten op de Waal met 308 M€ (23%) toe ten opzichte van de referentie. Voor de IJssel gaan de kosten met 158 M€ (24%) naar beneden. Door 100% van het water over de IJssel af te voeren nemen de kosten op de Waal af met bijna 300 M€ (21%). Op de IJssel nemen de kosten in dit geval met ongeveer 500 M€ (52%) toe.

Tabel 4.3 Contante kosten voor periode 2050-2125, contant gemaakt naar basisjaar 2050

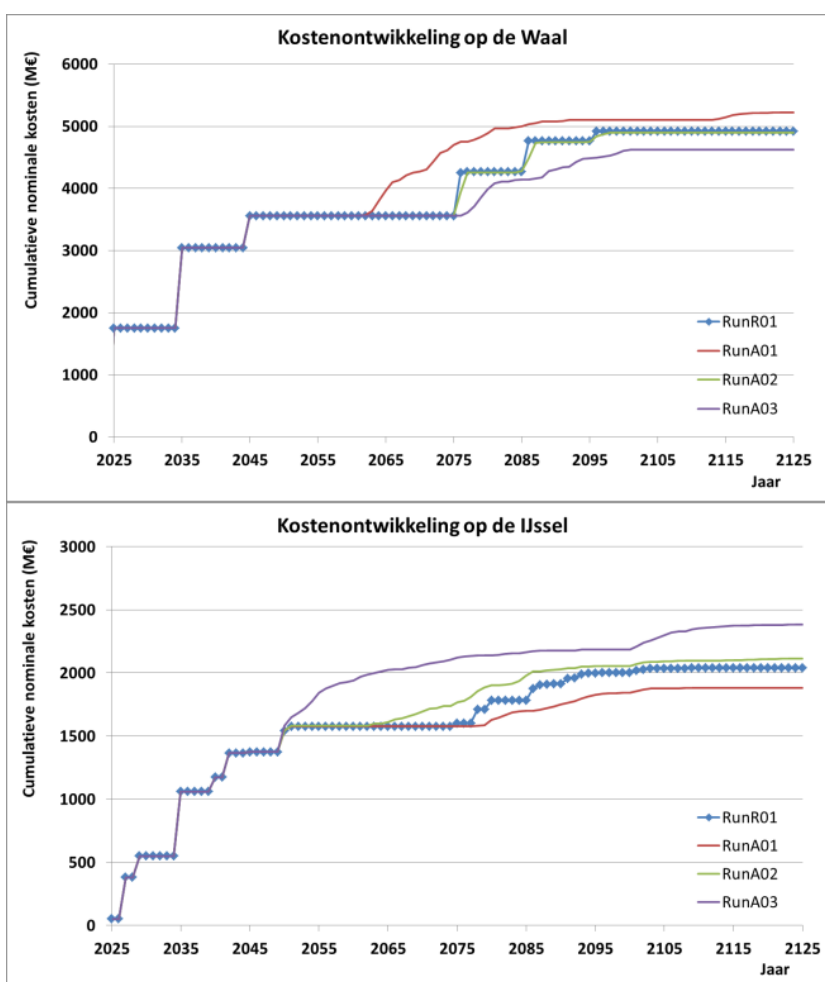
Contante waarde - Restwaarde (M€) na 2050, basisjaar 2050							
	Run R01	RunA01	Fractie	RunA02	Fractie	RunA03	Fractie
Verdeling Waal/IJssel	80.52/19.48	100/0		50/50		0/100	
Waal	386	648	1.68	376	0.97	276	0.72
IJssel	323	274	0.85	375	1.16	643	1.99
Pannerdensch Kanaal	28	28	0.99	27	0.95	27	0.96
Nederrijn-Lek	537	537	1.00	537	1.00	537	1.00
<b>Totaal</b>	<b>1274</b>	<b>1486</b>	<b>1.17</b>	<b>1314</b>	<b>1.03</b>	<b>1483</b>	<b>1.16</b>
Abs. verschil met R01	-	213		40		209	



De totale contante kosten voor de periode na 2050 (peiljaar 2050) nemen met maximaal 213 M€ (17%) toe ten opzichte van de referentie wanneer na 2050 het surplus volledig wordt afgevoerd over de Waal.

Deze toename komt slechts ten dele doordat de nominale kosten toenemen (4%), maar worden vooral veroorzaakt doordat de toename van de afvoer op de Waal leidt tot een verkorting van de levensduur van de keringen langs de Waal. Figuur 4.6 laat zien dat bij variant A01 de dijken langs de Waal al veel eerder versterkt moeten worden. Dit leidt tot hogere contante kosten.

Het surplus volledig afvoeren over de IJssel leidt tot een bijna even grote toename van de contante kosten (209 M€, 16%). Dit komt doordat de dijkversterkingen op de Waal slechts zeer beperkt worden uitgesteld, terwijl veel keringen op de IJssel al vlak na 2050 versterkt moeten worden (zie Figuur 4.6).



Figuur 4.6 Kostenontwikkeling op Waal en IJssel bij referentie R01 en varianten A01 t/m A03

Wanneer ook de overstromingsrisico's in beschouwing worden genomen blijft het beeld ongeveer gelijk (zie Tabel 4.4):

- Wanneer na 2050 het surplus volledig wordt afgevoerd over de Waal leidt dit hogere kosten voor dijkversterking op de Waal en een kleine toename van het risico. Op de IJssel nemen de kosten en het risico af. Netto blijft echter sprake van hogere totaalkosten (dijkversterkingskosten en overstromingsrisico samen), namelijk 143 M€ (5%) hoger.
- Wanneer het surplus volledig wordt afgevoerd via de IJssel leidt dit tot lagere kosten en een kleiner risico langs de Waal. Echter, omdat de toename van de kosten en het risico op de IJssel groter zijn dan de afname op de Waal, is ook bij deze variant sprake van hogere totale contante kosten. In dit geval bedraagt de toename 195 M€ (6%).
- De hogere totale kosten worden vooral veroorzaakt door hogere kosten voor dijkversterking over alle Rijntakken samen (toename met 3% tot 17%). De overstromingsrisico's nemen bij 2 van de 3 varianten beperkt af (maximale afname 4%).

Tabel 4.4 Contante kosten voor periode 2050-2125, contant gemaakt naar basisjaar 2050, inclusief risico's

Contante waarde incl. risico's - Restwaarde (M€) na 2050, basisjaar 2050							
Verdeling Waal/IJssel	Run R01	RunA01	Fractie	RunA02	Fractie	RunA03	Fractie
Waal	80.52/19.48	100/0		50/50		0/100	
Dijkkosten	386	648	1.68	376	0.97	276	0.72
Risico's	432	455	1.05	428	0.99	350	0.81
Totaal Waal	818	1103	1.35	803	0.98	626	0.76
IJssel							
Dijkkosten	323	274	0.85	375	1.16	643	1.99
Risico's	514	422	0.82	546	1.06	583	1.13
Totaal IJssel	838	696	0.83	920	1.10	1226	1.46
Pannerdensch Kanaal							
Dijkkosten	28	28	0.99	27	0.95	27	0.96
Risico's	65	66	1.00	65	1.00	66	1.01
Totaal PK	93	93	1.00	92	0.98	93	1.00
Nederrijn-Lek							
Dijkkosten	537	537	1.00	537	1.00	537	1.00
Risico's	870	870	1.00	870	1.00	870	1.00
Totaal NRL	1407	1407	1.00	1407	1.00	1407	1.00
Totaal dijkkosten	1274	1486	1.17	1314	1.03	1483	1.16
Totaal risico's	1882	1813	0.96	1909	1.01	1868	0.99
<b>Totaal</b>	<b>3156</b>	<b>3299</b>	<b>1.05</b>	<b>3222</b>	<b>1.02</b>	<b>3351</b>	<b>1.06</b>
Verskil met R01	-	143		66		195	

## Conclusie

Uit bovenstaande analyses kan worden geconcludeerd dat een herverdeling van het surplus over Waal en IJssel, na 2050, leidt tot hogere totale contante kosten. Dit verschil wordt vooral veroorzaakt door hogere kosten voor dijkversterking, doordat op de tak die meer afvoer te verwerken krijgt de dijken eerder versterkt moeten worden. De toename van de totale kosten varieert van 66 M€ tot 195 M€, afhankelijk van de gekozen verdeling over Waal en IJssel. Op totaalkosten van ruim 3 miljard euro komt dit neer op een toename van 2% tot 6%.

### 4.3.2 Runs B01 en B02

In de runs B01 en B02 wordt de Nederrijnafvoer afgetopt op 3.174 m<sup>3</sup>/s bij een Bovenrijnafvoer van 15.000 m<sup>3</sup>/s, respectievelijk op 3.577m<sup>3</sup>/s bij een Bovenrijn afvoer van 17.000 m<sup>3</sup>/s. Het effect hiervan op de afvoer op de Nederrijn-Lek is te zien in Figuur 4.5.

Het effect van het bij lagere of hogere afvoer ontzien van de Nederrijn-Lek op de kosten voor dijkversterking zijn te zien in Tabel 4.5 (nominale kosten) en Tabel 4.6 (contant gemaakte kosten).

Het eerder aftoppen van de Nederrijn-Lek (vanaf 15.000 m<sup>3</sup>/s in plaats van 16.000 m<sup>3</sup>/s) leidt tot 233 M€ hogere nominale kosten (6% van de totale nominale kosten). Dit komt doordat de versterkingskosten op Waal en IJssel fors toenemen.

Het later aftoppen van de Nederrijn-Lek (vanaf 17.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith) leidt tot een kleine afname van de totale nominale kosten (22 M€, ofwel 1%). De afname van de dijkversterkingskosten op Waal en IJssel is iets groter dan de toename van de kosten op de Nederrijn-Lek.

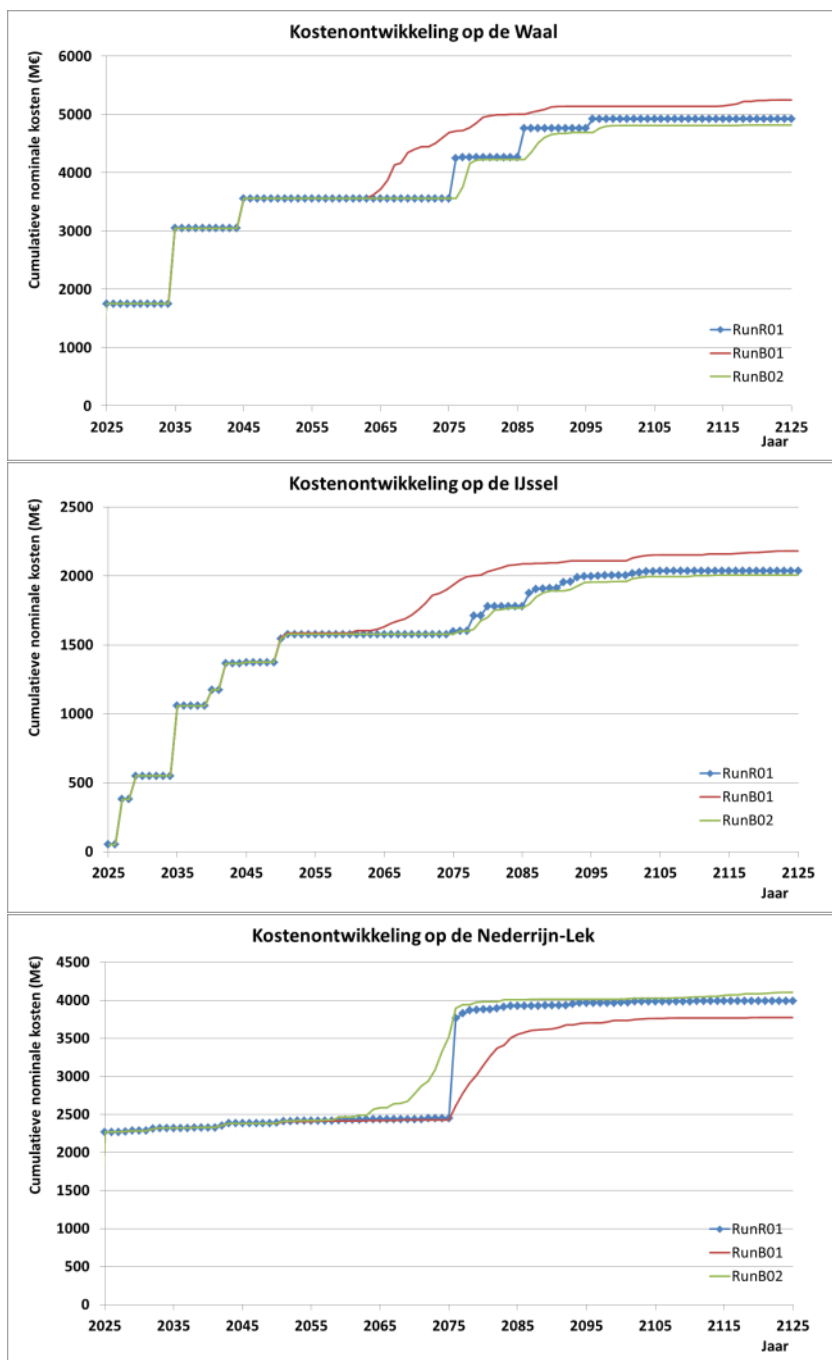
Tabel 4.5 Totale nominale kosten, gecorrigeerd voor restwaarde voor periode 2050-2125

Nominale kosten - Restwaarde (M€) na 2050					
	Run R01	RunB01	Fractie	RunB02	Fractie
Waal	1360	1688	1.24	1259	0.93
IJssel	665	808	1.22	631	0.95
Pannerdensch Kanaal	88	71	0.81	88	1.00
Nederrijn-Lek	1610	1389	0.86	1722	1.07
<b>Totaal</b>	<b>3723</b>	<b>3956</b>	<b>1.06</b>	<b>3700</b>	<b>0.99</b>
<b>Verschil met R01</b>	<b>-</b>	<b>233</b>		<b>-22</b>	

Tabel 4.6 Contante kosten voor periode 2050-2125, contant gemaakt naar basisjaar 2050

Contante waarde - Restwaarde (M€) na 2050, basisjaar 2050					
	Run R01	RunB01	Fractie	RunB02	Fractie
Waal	386	641	1.66	342	0.89
IJssel	323	421	1.30	311	0.96
Pannerdensch Kanaal	28	19	0.68	29	1.03
Nederrijn-Lek	537	416	0.78	650	1.21
<b>Totaal</b>	<b>1274</b>	<b>1497</b>	<b>1.18</b>	<b>1331</b>	<b>1.04</b>
<b>Verschil met R01</b>	<b>-</b>	<b>223</b>		<b>57</b>	

Wanneer de kosten contant worden gemaakt, dan leidt het aftoppen van de Nederrijnafvoer op 3.174 m<sup>3</sup>/s bij 15.000 m<sup>3</sup>/s op de Bovenrijn nog steeds tot een forse toename van de totale kosten voor dijkversterking (223 M€, 18%). Dit komt doordat het eerder ontzien van de Nederrijn er voor zorgt dat de dijken op de Waal en de IJssel veel eerder opnieuw versterkt moeten worden, terwijl de dijkversterking op de Nederrijn-Lek nauwelijks wordt uitgesteld. Het later ontzien van de Nederrijn leidt tot een beperkte afname van de nominale kosten. Echter, wanneer de kosten contant worden gemaakt, dan nemen de totale kosten ook bij deze variant toe. Dit komt doordat er bijna geen sprake is van uitstel van dijkversterking op de Waal en IJssel, terwijl de keringen langs de Nederrijn-Lek wel eerder versterkt moeten worden (zie ook Figuur 4.7).



Figuur 4.7 Kostenverloop op Waal, IJssel en Nederrijn-Lek bij de referentie R01 en de varianten B01 en B02

Wanneer ook de veranderingen in overstromingsrisico worden meegenomen (Tabel 4.7) dan wijzigt het beeld niet:

- Het eerder ontzien van de Nederrijn-Lek leidt tot een toename van de risico's langs de Waal en de IJssel en een afname langs de Nederrijn-Lek.
- Het later ontzien van de Nederrijn-Lek leidt tot een afname van de risico's langs de Waal en de IJssel en een toename langs de Nederrijn-Lek.
- Alles bij elkaar genomen, leidt het eerder ontzien van de Nederrijn-Lek tot een toename van de contante kosten met ruim 200 M€. Het later ontzien leidt tot een toename van de totale contante kosten met 50 M€.

Tabel 4.7 Contante kosten voor periode 2050-2125, contant gemaakt naar basisjaar 2050, inclusief risico's

Contante waarde - Restwaarde (M€) na 2050, basisjaar 2050 incl. risico's					
	Run R01	B01	Fractie	B02	Fractie
<b>Waal</b>					
Dijkkosten	386	641	1.66	342	0.89
Risico's	432	470	1.09	405	0.94
<b>Totaal Waal</b>	<b>818</b>	<b>1111</b>	<b>1.36</b>	<b>746</b>	<b>0.91</b>
<b>IJssel</b>					
Dijkkosten	323	421	1.30	311	0.96
Risico's	514	555	1.08	496	0.96
<b>Totaal IJssel</b>	<b>838</b>	<b>976</b>	<b>1.16</b>	<b>807</b>	<b>0.96</b>
<b>Pannerdensch Kanaal</b>					
Dijkkosten	28	19	0.68	29	1.03
Risico's	65	56	0.86	67	1.02
<b>Totaal PK</b>	<b>93</b>	<b>75</b>	<b>0.80</b>	<b>95</b>	<b>1.02</b>
<b>Nederrijn-Lek</b>					
Dijkkosten	537	416	0.78	650	1.21
Risico's	870	784	0.90	908	1.04
<b>Totaal NRL</b>	<b>1407</b>	<b>1200</b>	<b>0.85</b>	<b>1557</b>	<b>1.11</b>
Totaal dijkkosten	1274	1497	1.18	1331	1.04
Totaal risico's	1882	1865	0.99	1875	1.00
<b>Totaal</b>	<b>3156</b>	<b>3362</b>	<b>1.07</b>	<b>3206</b>	<b>1.02</b>
<b>Verschil met R01</b>	<b>-</b>	<b>206</b>		<b>50</b>	

### Conclusie

Het eerder ontzien van de Nederrijn-Lek (vanaf 15.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith) leidt tot een toename van de totale kosten met ruim 200 M€. Later ontzien van de Nederrijn-Lek leidt tot een kleine toename van de totale kosten met 50 M€. Deze toename wordt vooral veroorzaakt doordat de dijken op de riviertak die meer afvoer toebedeeld krijgt, eerder versterkt moeten worden.

### 4.4 Conclusies

De doorgerekende varianten laten zien dat de kosten voor dijkversterking altijd hoger uitvallen wanneer na 2050 wordt besloten om de afvoerverdeling te wijzigen. Dit komt vooral doordat op de tak waar de afvoer vanaf dat moment toeneemt, de dijken eerder versterkt moeten worden. De toename van de contante kosten voor dijkversterking varieert tussen de 40 M€ en 223 M€. De toename van de totale contante kosten (kosten voor dijkversterking en de overstromingsrisico's) is ongeveer even groot en varieert van 50 M€ tot 206 M€.



## 5 Gevoeligheidsanalyse – wijziging afvoerverdeling in verband met onverwachte omstandigheden

### 5.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is gekeken of het kosteneffectief kan zijn om na 2050 de afvoerverdeling te wijzigen, ervan uitgaande dat de toekomst zich zo ontwikkelt als nu wordt aangenomen. Er kan in de toekomst (na 2050) echter sprake zijn van 'onvoorziene' omstandigheden; de toekomst is immers ongewis. Het aftopniveau van de Rijn bij Lobith zou anders kunnen zijn dan nu wordt aangenomen, of er kan sprake zijn van een nieuwe ronde normaanscherping. Doel van dit deelonderzoek is om na te gaan of deze onverwachte omstandigheden aanleiding kunnen geven om de afvoerverdeling, na 2050, te wijzigen.

### 5.2 Mogelijk kosteneffectieve situaties na 2050

De nieuwe inzichten in kostenbesparing op dijkversterking als gevolg van waterstandsdeling doen vermoeden dat wijziging van de afvoerverdeling mogelijk vooral interessant is wanneer sprake is van een relatief kleine versterkingsopgave omdat (1) een relatief beperkte waterstandsdeling door middel van wijziging van de afvoerverdeling volstaat en (2) dijkversterking dan helemaal voorkomen kan worden. De vraag is dus of zich na 2050 situaties voor kunnen doen waarbij sprake is van een beperkte versterkingsopgave die voorkomen kan worden door de afvoerverdeling te wijzigen.

In de volgende situatie zou wijziging van de afvoerverdeling na 2050 mogelijk kosteneffectief kunnen zijn:

- 1 Er blijkt geen, of in veel mindere mate, sprake te zijn van aftopping op het Duitse deel van de Rijn: Wanneer de afvoeren op de Rijn bij Lobith toch hoger worden dan nu gedacht, bijvoorbeeld doordat de overstromingen in Duitsland minder zijn dan gedacht, dan resulteert dit in een (beperkte) extra versterkingsopgave langs alle Rijntakken.
- 2 Nieuwe ronde met normaanscherping: Wanneer sprake is van economische groei dan neemt de economische waarde van het te beschermen gebied achter de keringen toe, wat een strengere norm rechtvaardigt. Een aantal dijktrajecten zou hierdoor in een strengere normklasse terecht kunnen komen. Dijkversterking moet er in dat geval voor zorgen dat de overstromingskans met ongeveer een factor 3 afneemt.
- 3 De dijken in 2050 voldoen nog niet langs alle Rijntakken aan de norm: Aangenomen mag worden dat de trajecten die als laatste versterkt worden een klein risico en dus ook een zeer kleine versterkingsopgave hebben (de nieuwe norm wijkt hier weinig af van de actuele faalkans). Juist voor deze trajecten kan een wijziging van de afvoerverdeling de versterkingsopgave mogelijk teniet doen. Dit betekent wel dat de dijken langs de Waal (veronderstellende dat de Waal de extra afvoer voor zijn rekening neemt) eerder opnieuw versterkt moeten worden, maar mogelijk niet dat daar niet meer aan de norm wordt voldaan. Indien bij de huidige dijkversterkingen uit wordt gegaan van een levensduur van 50 jaar, dan is rekening gehouden met het effect van klimaatverandering tot 2075 (indien de dijk in 2025 al versterkt wordt) of later (indien de versterking na 2025 plaatsvindt). In 2050 zit dus nog wat 'ruimte' in het systeem. Deze 'ruimte' zorgt ervoor dat riviertrajecten waarlangs de keringen allemaal versterkt zijn (tijdelijk) wat extra water af kunnen voeren. De vraag is dus of deze verschuiving in

de afvoerverdeling voldoende is om nog niet versterkte dijktrajecten langs een andere riviertak alsnog aan de norm te laten voldoen.

- 4 Nieuwe inzichten in de sterkte van de waterkering, waardoor (beperkte) aanvullende versterkingen nodig zijn.

Voor de situaties 1 t/m 3 wordt in deze studie nagegaan of wijziging van de afvoerverdeling een kosteneffectieve maatregel is. Situatie 4 kan niet worden doorgerekend omdat de benodigde informatie ontbreekt. Nieuwe inzichten in dijksterkte zouden immers resulteren in nieuwe regels voor het toetsen en ontwerpen van dijken. Deze zijn niet beschikbaar.

## 5.3 Berekeningen

### 5.3.1 Inleiding

Allereerst is een berekening uitgevoerd voor de referentiesituatie; de situatie waarin de versterkingsopgave zo verloopt als we nu veronderstellen. Dat wil zeggen dat sprake is van aftoppen van de hoogwaterafvoer op de Rijntakken, dat er geen nieuwe ronde van normaanscherping is en dat alle keringen in 2050 aan de norm voldoen.

Vervolgens zijn de versterkingsopgaven, bijbehorende investeringskosten en veranderingen in overstromingsrisico's berekend voor drie van de in paragraaf 5.2 genoemde mogelijke omstandigheden:

- 1 geen, of veel minder, aftopping op de Rijn;
- 2 nieuwe ronde met normaanscherping;
- 3 een situatie waarbij nog niet alle dijken in 2050 aan de norm voldoen.

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de doorgerekende situaties.

Tabel 5.1 Uitgevoerde berekeningen

	Beleidsmatige afvoerverdeling	Gewijzigde afvoerverdeling
<b>Alles naar verwachting (referentie)</b>	R03 (referentie)	n.v.t.
<b>Geen aftopping</b>	G01	G02
<b>Nieuwe normen</b>	G03	G04
<b>Normen niet gehaald</b>	n.v.t.	G05

### 5.3.2 R03: Referentie

In deze som is aangenomen dat sprake is van aftopping en dat de normen na 2050 niet worden verhoogd. De beleidsmatige afvoerverdeling blijft gehandhaafd. Deze som dient daarmee als een referentiesituatie waarin 'alles volgens de huidige inzichten verloopt' en er geen aanleiding is om die reden de afvoerverdeling te wijzigen.

### 5.3.3 G01 en G02: Geen aftopping

In alle analyses tot nu toe is gerekend met aftopping conform GRADE/KNMI'06-W+ (ofwel met de werklijn die nu in OI wordt toegepast). Voor berekeningen G01 en G02 wordt daarentegen aangenomen dat de inzichten over aftopping in 2050 veranderen.

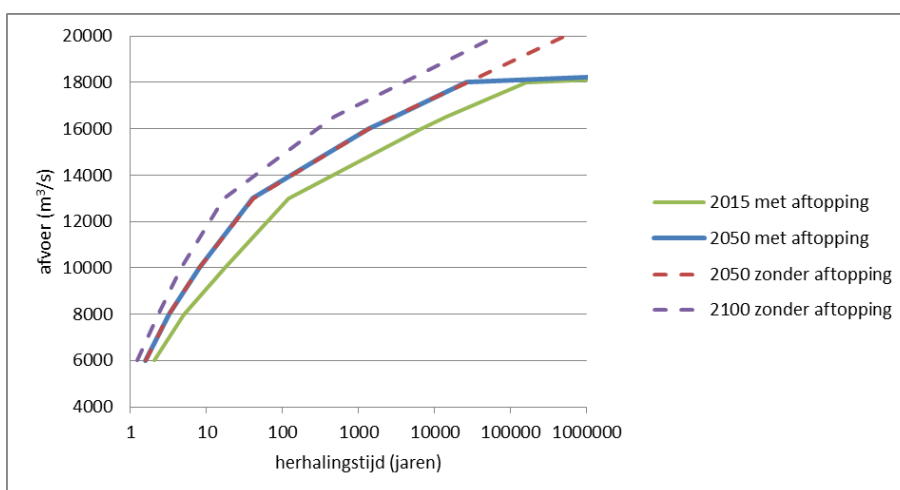
Dit kan komen doordat de overstromingen in Duitsland minder zijn dan gedacht, doordat de dijken in Duitsland verder zijn verhoogd of de rivier is verruimd. Omdat bij de



dijkversterkingen tot 2050 wel is uitgegaan van aftopping, zijn de uitgevoerde dijkversterkingen langs de Rijntakken in dat geval net wat te beperkt geweest en zijn nieuwe dijkversterkingen eerder nodig dan voorzien.

Bij berekening G01 zijn de versterkingskosten berekend wanneer de dijken worden versterkt zodra ze worden afgekeurd en met handhaving van de afvoerverdeling conform het beleid (zie Tabel 1.1). Doordat geen sprake is van aftopping kan de afvoer groter zijn dan 18.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith (rode stippellijn in Figuur 5.1). Bij de beleidsmatige afvoerverdeling zou de extra afvoer boven de 18.000 m<sup>3</sup>/s verdeeld worden over de IJssel en de Waal in een verhouding van ongeveer 1:4. Bij G01 is de extra afvoer (verschil tussen de blauwe lijn en de gestippelde rode lijn in Figuur 5.1) dan ook inderdaad verdeeld over de Waal en de IJssel.

Bij G02 wordt ook het 'extra water' dat naar de IJssel zou gaan naar de Waal gestuurd. Bij G03 is aangenomen dat de IJssel boven de 18.000 m<sup>3</sup>/s wordt ontzien en dat alle extra afvoer (verschil tussen blauwe lijn en rode stippellijn in Figuur 5.1) via de Waal wordt afgevoerd. Hierdoor zijn er alleen nog langs de Waal eerder dan voorzien nieuwe dijkversterkingen nodig en niet meer langs de IJssel.



Figuur 5.1 Werklijnen voor de afvoer bij Lobith, zichtjaar 2050, met en zonder aftopping

#### 5.3.4 G03 en G04: Nieuwe normen

Bij deze berekeningen wordt de vereiste overstromingskans na 2050 verkleind in verband met een nieuwe ronde normaanscherping. Aangenomen is dat de norm overal een normklasse strenger wordt. Een traject met een norm van bijvoorbeeld 1:3.000 per jaar krijgt na 2050 dus een norm van 1:10.000 per jaar. Aangezien bij de dijkversterkingen voor 2050 geen rekening is gehouden met deze nieuwe normen, zijn vroegtijdig nieuwe dijkversterkingen nodig langs zowel de IJssel als de Waal<sup>9</sup>. In berekening G03 wordt hierop gereageerd met dijkversterking langs zowel IJssel als Waal.

In berekening G04 wordt echter weer een afvoervijziging ingezet om de dijkversterkingsopgave langs de IJssel zoveel mogelijk te beperken. Hierdoor gaat er bij

<sup>9</sup> Ook langs de Nederrijn-Lek zouden in dit geval de dijken versterkt moeten worden, maar omdat ten tijde van dit deelonderzoek geen gegevens voor deze riviertak beschikbaar waren, is dit niet meegenomen in de analyse. Voor de conclusies is dit niet erg. De dijkversterkingskosten langs de Nederrijn-Lek zouden bij berekening 4 en 5 immers gelijk zijn en tegen elkaar wegvallen.

16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith 16% minder water over de IJssel en daarmee ongeveer 4% meer over de Waal (400 m<sup>3</sup>/s meer over de Waal en minder over de IJssel).

### 5.3.5 G05: Normen niet overal gehaald in 2050

In deze sommen is aangenomen dat in 2050 nog niet alle dijken aan de nieuwe normen voldoen. Bij de prioritering van de dijkversterkingen wordt gekeken naar het verschil in huidige overstromingskans en de maximaal toelaatbare overstromingskans conform de nieuwe norm. Dijktrajecten met een klein verschil worden later versterkt. Aangenomen is dat enkele dijktrajecten met een relatief lage prioriteit (10-3, 11-1, 50-1, 50-2, 51-1) langs de IJssel in 2050 nog niet versterkt zijn. Ook is aangenomen dat de dijktrajecten langs de Waal ongeveer in 2025 versterkt zijn waarbij rekening is gehouden met het effect van klimaatverandering tot 2075 (levensduur 50 jaar). Dit betekent dat de Waal tijdelijk wat ruimte heeft om extra water af te voeren terwijl nog steeds aan de norm wordt voldaan. Deze 'ruimte' zou tijdelijk gebruikt kunnen worden om de IJssel te ontlasten zodat hier ook aan de nieuwe normen voldaan wordt. In berekening G05 wordt dit idee getoetst door een afvoerwijziging te zoeken waarbij gedurende een aantal jaren zowel langs de Waal als langs de IJssel aan de norm wordt voldaan. Hiervoor zijn 2 verkennende berekeningen gemaakt. Bij de eerste wordt 250 m<sup>3</sup>/s van de IJsselafvoer naar de Waal gestuurd. Bij de tweede berekening wordt 400 m<sup>3</sup>/s van de IJsselafvoer naar de Waal gestuurd.

## 5.4 Resultaten

### 5.4.1 Kosten dijkversterking

Een overzicht van alle kostenramingen voor dijkversterking na 2050 is te zien in Tabel 5.2 en Tabel 5.3. Tabel 5.2 toont de nominale kosten voor dijkversterking na 2050. Tabel 5.3 toont dezelfde kosten, maar dan contant gemaakt. Bij het contant maken is verdisconteerd naar het jaar 2050 en is uitgegaan van een discontovoet van 4,5%.

Tabel 5.2 Nominale kosten dijkversterkingen (na 2050) voor verschillende situaties.

Berekening	Omschrijving	Waal (M€)	IJssel (M€)	Totaal (M€)
R03	Referentie	577	260	782
G01	Geen aftopping na 2050, beleidsmatige verdeling	832	422	1253
G02	Geen aftopping en afvoerwijziging na 2050	839	260	1099
G03	Nieuwe normen in 2050, beleidsmatige verdeling	991	635	1626
G04	Nieuwe normen en afvoerwijziging in 2050	1119	31	1150

Tabel 5.3 Contante waarde kosten dijkversterkingen (vanaf 2050) voor verschillende situaties.

Berekening	Omschrijving	Waal (M€)	IJssel (M€)	Totaal (M€)
R03	Referentie	354	158	479
G01	Geen aftopping na 2050, beleidsmatige verdeling	661	318	979
G02	Geen aftopping en afvoerwijziging na 2050	670	158	828
G03	Nieuwe normen in 2050, beleidsmatige verdeling	879	638	1517
G04	Nieuwe normen en afvoerwijziging in 2050	1074	28	1102

Het verschil in berekende kosten voor dijkversterking is te zien in Tabel 5.4. In beide situaties leidt wijziging van de afvoerverdeling tot een afname van de contante kosten voor dijkversterking.

Tabel 5.4 Verschil in contante waarde van kosten voor dijkversterkingen (vanaf 2050) voor verschillende situaties (negatieve waarden duiden op een afname van de totale kosten).

Berekening	Omschrijving	Waal (M€)	IJssel (M€)	Totaal (M€)
G02- G01	Geen aftopping na 2050	9	-160	-151
G04- G03	Nieuwe normen in 2050	195	-610	-415

Hieronder worden de resultaten nader toegelicht.

### R03: Referentie

De referentieberekening betreft de totale kosten voor dijkversterking langs de Waal en de IJssel wanneer er sprake is van aftopping van de hoogwaterafvoer bij Lobith zoals momenteel aangenomen en zonder nieuwe normaanscherping. De nominale kosten voor dijkversterking langs de Waal bedragen in dat geval ongeveer 580 miljoen euro (contante waarde 350 miljoen euro). Langs de IJssel bedragen de nominale kosten 260 miljoen euro (contante waarde 160 miljoen euro). De totale versterkingskosten voor Waal en IJssel bedragen 780 miljoen euro (contante waarde 480 miljoen euro).<sup>10</sup>

### G01 en G02: Geen aftopping

Wanneer niet langer uitgegaan kan worden van aftopping, bijvoorbeeld doordat in Duitsland de dijken worden verhoogd, dan betekent dit dat in 2050 de belasting groter kan worden dan nu gedacht. De dijken moeten dus meer en eerder opnieuw worden versterkt. Dit leidt tot hogere kosten. Wanneer de afvoerverdeling wordt gehandhaafd (G01) bedragen de nominale kosten voor de dijkversterkingen lang de Waal en de IJssel 1,25 miljard euro in plaats van 780 miljoen euro (contante waarde 980 miljoen in plaats van 480 miljoen euro). Dat is een verschil van 500 miljoen euro.

Wanneer er voor wordt gekozen om de afvoerverdeling te wijzigen en de IJssel te ontzien, dan nemen de dijkversterkingskosten langs de Waal iets toe, maar blijven de kosten langs de IJssel gelijk aan die in de referentiesituatie (zie resultaten berekening G02). De totale nominale dijkversterkingskosten langs de Waal en de IJssel bedragen in dat geval 1,1 in plaats van 1,25 miljard euro (contante waarde 830 miljoen in plaats van 980 miljoen euro).

De baat (in termen van kostenbesparing op dijkversterking) van een wijziging van de afvoerverdeling is dus beperkt, maar wel positief: besparing nominale kosten 154 miljoen euro (contante waarde 151 miljoen euro). Dit komt neer op 15% lagere contante kosten voor dijkversterking.

### G03 en G04: Nieuwe normen

Wanneer na 2050 geïntervenieerd moet worden vanwege verdere normaanscherping waarbij de normen voor alle trajecten een normklasse strenger worden, dan nemen de nominale kosten voor dijkversterking langs de Waal en de IJssel toe tot 1,6 miljard euro (contante waarde 1,5 miljard euro; zie resultaten voor berekening G03).

<sup>10</sup> De totale kosten in deze tabellen zijn lager dan bij de basisscenario's. Dit komt door verschil in uitgangspunten. Bovendien zit in de gevoeligheidsanalyses maar 1 ronde dijkversterking na 2050, bij de basisscenario's worden veel dijken na 2050 twee maal versterkt.

Wanneer echter gelijktijdig de afvoerverdeling gewijzigd wordt om de IJssel te ontzien en dijkversterking langs deze tak te voorkomen, dan bedragen de nominale kosten slechts 1,2 miljard euro (contante waarde 1,1 miljard euro). De kostenbesparing van een wijziging van de afvoerverdeling bedraagt in dat geval ongeveer 480 miljoen euro (nominale kosten) (contante waarde 415 miljoen euro). Dit komt neer op meer dan 25% lagere kosten voor dijkversterking.

#### **G05: Normen niet overal gehaald in 2050**

Voor deze variant zijn geen kostenramingen gemaakt, maar is gekeken (1) hoe veel minder water er via de IJssel afgevoerd moet worden om daar de minst prioritaire trajecten toch aan de norm te laten voldoen en (2) of de Waal deze extra afvoer aankan zonder dat daar trajecten niet meer aan de norm voldoen.

Bij de berekening van 250 m<sup>3</sup>/s extra over de Waal gebeurt er op de IJssel te weinig om de trajecten aan de norm te laten voldoen en moeten er langs de Waal al binnen enkele jaren opnieuw dijken versterkt worden. Zou er 400 m<sup>3</sup>/s meer over de Waal worden afgevoerd dan zijn hier direct dijkversterkingen nodig, terwijl een aantal trajecten op de IJssel nog steeds niet aan de nieuwe normen voldoen.

Er lijkt dus geen afvoerwijziging mogelijk waarbij uitstel gevonden kan worden voor dijkversterkingen langs de IJssel zonder hiermee direct dijkverzwaring langs de Waal noodzakelijk te maken.

#### 5.4.2 Veranderingen in overstromingsrisico

In de door gerekende situaties met minder aftopping en een nieuwe ronde normaanscherping leidt een wijziging van de afvoerverdeling tot een afname van de dijkversterkingskosten. Tabel 5.5 toont dat een wijziging van de afvoerverdeling in die situaties ook leidt tot een kleiner overstromingsrisico.

Wanneer geen sprake is van aftopping en de afvoerverdeling wordt gewijzigd (ontzien IJssel, meer afvoer via Waal), dan leidt dit tot een waterstandsval op de IJssel. Hierdoor neemt het risico langs de IJssel door geringere blootstelling met 55 miljoen euro af. Omgekeerd leidt de toename van de afvoer op de Waal tot hogere waterstanden op deze tak. Het risico op de Waal neemt door grotere waterdieptes bij overstroming met 8 miljoen euro toe. Netto betekent dit een afname van het risico met 47 miljoen euro.

Wanneer de normen na 2050 worden aangescherpt en men er voor kiest om de IJssel te ontzien zodat de dijken hier niet of minder versterkt hoeven te worden, dan leidt dit tot een afname van het overstromingsrisico met 51 miljoen euro. De risicoafname langs de IJssel bedraagt ruim 60 miljoen, terwijl de toename langs de Waal bijna 10 miljoen euro bedraagt.

Tabel 5.5 Verandering in overstromingsrisico bij wijziging van de afvoerverdeling (Contante Waarde in 2050 in miljoen euro).

Situatie	Waal	IJssel	Totaal
Geen aftopping van de afvoer	+8,3	-55,1	<b>-46,8</b>
Nieuwe ronde normaanscherping	+9,5	-60,9	<b>-51,4</b>

### 5.4.3 Potentiële baten aanpassing afvoerverdeling

Bij twee van de drie doorgerekende situaties levert een wijziging van de afvoerverdeling een positieve baat op. Wanneer geen sprake is van aftopping en de afvoerverdeling wordt gewijzigd dan is de som van kosten en baten gelijk aan ongeveer 198 miljoen euro (Tabel 5.6). Wanneer sprake is van een nieuwe ronde normaanscherping kunnen de baten nog verder oplopen. In de hier door gerekende situatie bedraagt de totale baat 470 miljoen euro.

Tabel 5.6 Potentiele baat wijziging afvoerverdeling bij twee mogelijk toekomstige situaties

Situatie	Kostenbesparing dijkversterking (M€)	afname risico (M€)	Totaal (M€)
Geen aftopping van de afvoer	151	47	198
Nieuwe ronde normaanscherping	415	54	469

Bij de derde doorgerekende situatie (waarbij de dijken in 2050 nog niet overal aan de nieuwe normen voldoen; berekening G05), bleek een wijziging van de afvoerverdeling geen oplossing te zijn. Om overal aan de norm te voldoen zou zo veel extra water via de Waal moeten worden afgevoerd dat hier vervolgens niet meer overal aan de norm zou worden voldaan.

### 5.4.4 Regelwerken

De kosten voor aanpassing van de regelwerken zijn niet meegenomen in deze studie. Wijziging van de afvoerverdeling blijft kosteneffectief zolang de kosten voor aanpassing of bouwen van de regelwerken substantieel lager zijn dan de totale baten vermeld in Tabel 5.6. Hierbij is het belangrijk om op te merken dat het gaat om **meerkosten ten opzichte van de aanpassingen die sowieso nodig zijn om in 2050 aan de beleidsmatige afvoerverdeling te kunnen voldoen**. Met de huidige regelwerken is het namelijk niet mogelijk om de Nederrijn-Lek bij alle afvoeren boven de 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith te ontzien. Om dit in de toekomst mogelijk te maken zijn aanpassingen van de regelwerken nodig.

## 5.5 Conclusie

De resultaten uit deze studie tonen aan dat er zich in de toekomst (na 2050) mogelijk omstandigheden kunnen voordoen waarin het kosteneffectief kan zijn om de afvoerverdeling aan te passen. Deze omstandigheden zijn onder andere:

- Er blijkt geen, of in veel mindere mate, sprake te zijn van aftopping op de Rijn in Duitsland. Ontzien van de IJssel en alle 'extra' afvoer afvoeren via de Waal is dan mogelijk de meest kosteneffectieve oplossing.
- Nieuwe ronde met normaanscherping. Wanneer na 2050 alle normen als gevolg van doorgaande economische groei, een normklasse strenger worden, dan is het eveneens kosteneffectief om minder water af te voeren via de IJssel en meer via de Waal.

De besparingen bedragen enkele honderden miljoenen euro's.



## 6 Discussie

### 6.1 Onzekerheden

Bij de verschillende beleidsstudies die zijn uitgevoerd met OKADER is uitgegaan van een bandbreedte rondom de kostenramingen van plus of min 50%. In eerste instantie was die bandbreedte niet gebaseerd op een uitgebreide gevoeligheidsanalyse. Deze bandbreedte werd vooral aangehouden omdat dit voor MIRT-onderzoeken een gangbare bandbreedte is, waar de kostenramingen met OKADER waarschijnlijk binnen zouden vallen.

Deze bandbreedte is later met behulp van gevoeligheidsanalyses gecontroleerd (Van Vuren et al., 2016; Levelt et al., 2016). Deze analyses gaven geen aanleiding de bandbreedte voor kostenreductie door dijkversterking aan te passen. Bij beleidsstudies wordt daarom uit gegaan van een maximale en minimale kostenreductie met een bandbreedte van plus en min 50%. Voor de *absolute* dijkversterkingskosten geldt dat deze met de gekozen uitgangspunten waarschijnlijk de bovengrens vormen en dat de 50% bandbreedte aan de bovenkant te groot is en de 50% aan de onderkant mogelijk te klein is.

Omdat de gehanteerde onzekerheidsmarge ook voor deze studie relevant is, is nogmaals gekeken naar de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses. Een overzicht van de belangrijkste bevindingen is te zien in Tabel 6.1. Een uitgebreidere beschrijving van de uitgevoerde analyses is te vinden in Bijlage A.

Tabel 6.1 laat zien welke uitgangspunten door Van Vuren et al. (2016) en Levelt et al. (2017) zijn gevarieerd. Vervolgens is het effect op de absolute kostenramingen gegeven en ook op de berekende kostenreductie als gevolg van waterstandsdeling (in dit geval door rivierverruiming). Deze laatste kolom betreft dus een verschilberekening: kosten voor dijkversterking zonder en met rivierverruiming. Zo is nagegaan wat het effect zou zijn indien de hydraulische belasting tegen de dijk fout zou zijn ingeschat. Indien de belasting in werkelijkheid 0.5 m lager zou zijn, dan leidt dit tot 8% lagere kosten voor dijkversterking. Voor de verschilberekeningen (kostenreductie door rivierverruiming) geldt dat de berekende kostenreductie 0 tot maximaal 20% hoger uitvalt. Grotere verschillen worden gevonden wanneer aangenomen wordt dat bepaalde faalmechanismen van belang zijn, terwijl dit mechanisme in werkelijkheid niet of nauwelijks bijdraagt aan de faalkans. Het meenemen van bewezen sterkte heeft een beperkt effect op de kostenramingen (orde 3%). Het in meer detail bepalen van de pipingopgave leidt tot beduidend lagere kosten. Het meenemen van voorlanden leidt tot ongeveer 30% lagere kosten. Wanneer ook de aanwezige dikte van de deklaag en de mogelijkheid om innovatieve maatregelen te nemen worden beschouwd, dan kunnen de kosten zelfs 50% lager uitvallen. De kostenreductie door waterstandsdeling viel in dat geval echter 10% hoger uit.

De verkende onzekerheidsbronnen leiden tot onzekerheden in de absolute ramingen van de kosten voor dijkversterking die op kunnen lopen tot 50% of soms nog meer. Voor de meeste uitgangspunten geldt dat aanpassing leidt tot lagere kostenramingen. Alleen gebruik van een lagere discontovoet leidt in Tabel 6.1 tot hogere kosten.

Wanneer vervolgens gekeken wordt naar de baat van waterstandsverlaging (bijvoorbeeld door rivierverruiming of door het ontzien van een riviertak), dan blijkt dat onzekerheid in de absolute kostenraming zich niet één-op-één laat doorvertalen in een onzekerheidsmarge rond de berekende baat. Niet alleen zijn de relatieve verschillen anders, ze kunnen zelfs tegengesteld zijn. Waar het meenemen van voorlanden bij piping bijvoorbeeld zorgt voor een forse afname van de absolute kostenramingen, leidt dit bij de berekende kostenreductie door lagere waterstanden (de baat) tot een toename.

Tabel 6.1 Effect van onzekerheden in uitgangspunten op berekende kosten voor dijkversterking en kostenreductie (gebaseerd op Van Vuren et al., 2016; Levelt et al., 2016 en Levelt et al., 2017)

uitgangspunt	absolute kostenramingen	kostenreductie
Lagere hydraulische belasting (max. 50 cm lager)	-8%	0 tot +20%
faalmechanisme verwaarlozen	-10% tot -80%	-55% tot +15%
meenemen bewezen sterkte	-3%	+3%
verlagen discontovoet	+3 tot +30%	+3 tot +30%
ontwerp levensduur	-3%	<1%
piping en voorlanden	-33%	+50%
piping, voorlanden en deklaag	-37%	+50%
piping, voorlanden, deklaag innovatieve maatregelen	-50%	+10%

Wat wel opvalt, is dat de orde van grootte van de baten niet wezenlijk verandert. Een berekende baat van enkele tientallen miljoenen euro's blijft altijd van die orde van grootte en neemt niet af tot een baat van enkele miljoenen euro's, maar neemt ook niet toe tot honderd miljoen euro of meer.

Voor de getallen die gepresenteerd worden in dit rapport betekent dit dat ze niet tot op de miljoen euro nauwkeurig geïnterpreteerd moeten worden. Een kostenbesparing van 50 M€ kan ook best 60 M€ of maar 40 M€ zijn. Het gaat vooral om de orde van grootte. Een berekende kostenbesparing van 50 M€ duidt op een besparing van enkele tientallen miljoenen euro's.

## 6.2 Anticiperen op veranderende afvoerverdeling

In deze studie is aangenomen dat de afvoerverdeling in 2050 'plotseling' wordt gewijzigd. Dit leidt tot relatief hoge kosten, omdat men hier bij de dijkversterkingen niet op heeft geanticipeerd. In werkelijkheid zal er enige tijd aan voorafgaan voordat wordt besloten om de afvoerverdeling te wijzigen. In deze periode zou men bij het versterken van waterkeringen kunnen anticiperen op de aanstaande wijziging. Mogelijk vallen de meerkosten dan lager uit.

Anticiperen op een andere afvoerverdeling leidt alleen tot lagere kosten wanneer de dijken op dat moment nog niet versterkt zijn. Dus stel dat rond 2040 duidelijk wordt dat de afvoerverdeling na 2050 gewijzigd gaat worden, dan kan dat inzicht alleen worden meegenomen bij de dijkversterkingen die na 2040 plaatsvinden.

De tabel hieronder geeft informatie over de programmering van de dijkverbeteringen voor de dijken langs de Rijntakken conform het HWPB. Er zijn kleine wijzigingen in aangebracht door de waterschappen. Dit overzicht is opgesteld in het kader van de MKBA lange-termijn ambitie rivieren (LTAR). De ligging van de normtrajecten is te zien in Figuur 6.1.



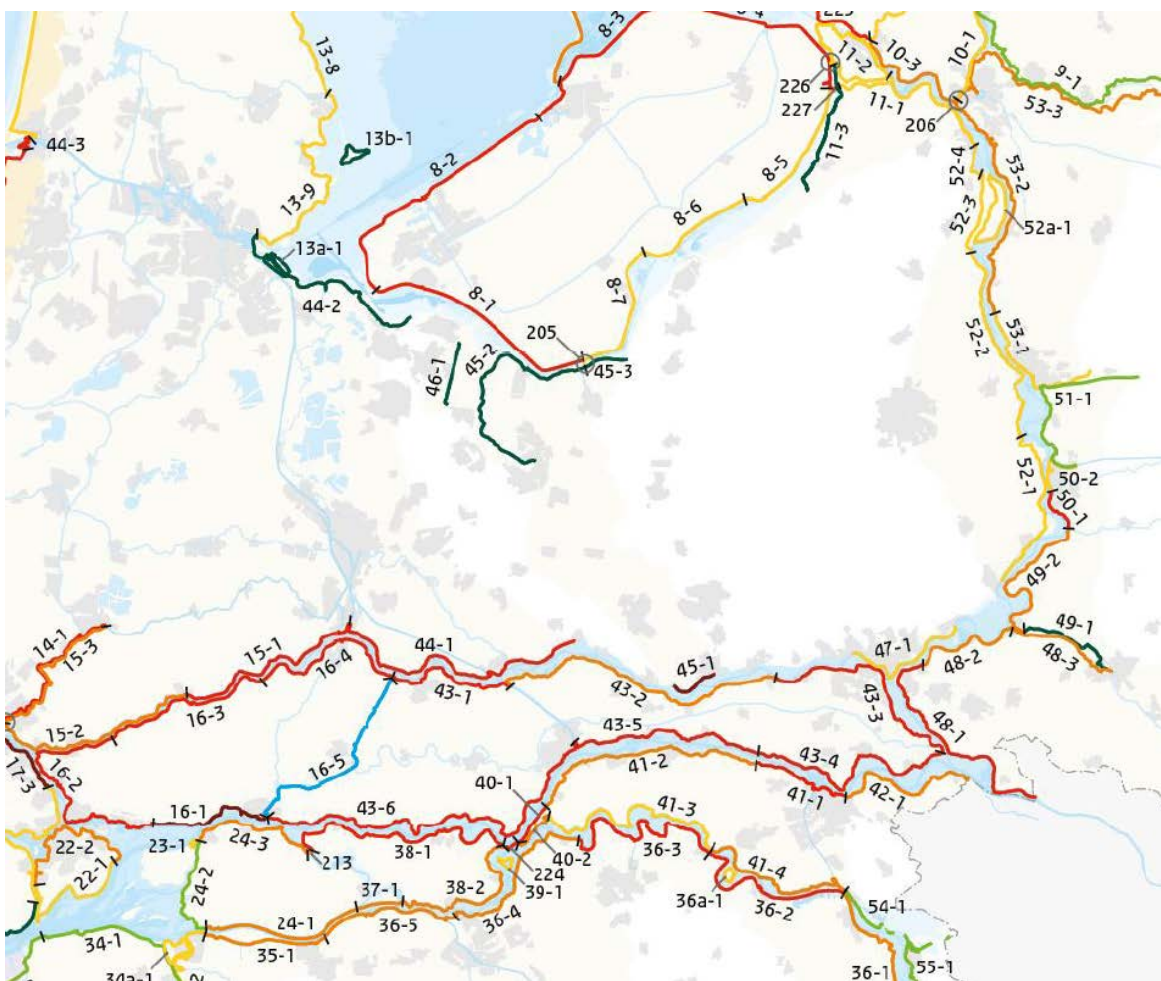
Tabel 6.2 Indicatie fasering dijkversterking langs de Rijntakken zoals aangeleverd door HWBP en waterschappen voor de MKBA-LTAR

Normtraject	Waterschap	fasering	Mogelijk te versterken na 2040
11-1 (Hattem-provinciegrens)	V&V	2021-2029	
11-1 (provinciegrens-Reeve)	DOD	2034-2045	+
16-1	WSRL	2025-2035	
11-2	DOD	2034-2045	+
10-3	DOD	2022-2029	
24-3	WSRL	2035-2045	+
38-1	WSRL	2025-2035	
40-1	WSRL	2025-2035	
41-1	WSRL	2035-2045	+
41-2	WSRL	2025-2035	
42-1	WSRL	2025-2035	
43-3	WSRL	2015-2025	
43-4	WSRL	2015-2025	
43-5	WSRL	2015-2025	
43-6	WSRL	2015-2025	
47-1	R&IJ	2040-2050	++
48-1	R&IJ	2020-2029	
48-2	R&IJ	2033-2042	?
48-3	R&IJ	2033-2042	?
49-1	R&IJ	-	
49-2	R&IJ	2026-2035	
50-1	R&IJ	2026-2035	
50-2	R&IJ	2040-2050	++
51-1	R&IJ	2040-2050	++
52-1	V&V	2026-2035	
52-2	V&V	2026-2035	
52-3	V&V	2033-2042	?
52-4	V&V	2020-2024	
52a-1	V&V	2041-2050	++
53-1	DOD	2030-2040	
53-2	DOD	2020-2027	

Uit de tabel blijkt dat volgens de nu gehanteerde plannings de dijken langs de Waal vrijwel allemaal (ruim) voor 2040 versterkt zullen zijn. Alleen geheel benedenstrooms in dijkkring 24 en nabij Nijmegen (41-1) is er een kans dat een aantal dijktrajecten nog niet versterkt is. Vanaf 2040 anticiperen op een wijziging in de afvoerverdeling zal voor de kosten voor dijkversterking langs de Waal dus weinig effect hebben. Om de meerkosten langs de Waal te reduceren zou men eigenlijk nu al zicht moeten hebben op een eventuele wijziging.

Langs de IJssel bevinden zich meer dijktrajecten die minder prioritair zijn en die mogelijk pas na 2040 versterkt zullen worden. Het gaat dan om 47-1 (bij Arnhem), 50-2 (benedenstroomse deel bij Zutphen), 51-1 (Gorssel) en 52a-1 (Veessen-Wapenveld). En mogelijk ook om dijkkring 11 (nabij Kampen). Ook voor de IJssel geldt dat verreweg de meeste dijken al voor 2040 versterkt zullen zijn. Anticiperen zal hier mogelijk tot iets lagere kosten leiden, maar niet significant.

Voor de Nederrijn-Lek is geen planning beschikbaar. Omdat veel dijktrajecten prioritair zijn, is de verwachting dat ook langs deze riviertak de meeste trajecten al voor 2040 versterkt zullen zijn.



Figuur 6.1 Ligging normtrajecten

### 6.3 Huidige verdeling handhaven lijkt meest kosteneffectief: toeval of niet?

De uitgevoerde analyses laten zien dat handhaven van de huidige afvoerverdeling het meest kosteneffectief is. Dit is waarschijnlijk geen toeval. De nieuwe normen die sinds 2017 van kracht zijn, zijn immers gebaseerd op de economisch optimale overstromingskans, het lokaal individueelrisico (LIR) en het groepsrisico. Voor de meeste normtrajecten in het rivierengebied was de economisch optimale overstromingskans bepalend.

Bij het bepalen van de economisch optimale overstromingskans stond het minimaliseren van de totale kosten centraal. Deze kosten bestonden, net als in deze studie, uit investeringskosten voor dijkversterking en overstromingsrisico's. De huidige beleidsmatig afgesproken afvoerverdeling vormde daarbij een belangrijk uitgangspunt. Dit betekent dat we, gegeven de huidige inzichten in de kans op hoge afvoeren bij Lobith en uitgaande van de huidige afvoerverdeling, het systeem via de nieuwe normen hebben geoptimaliseerd. Wanneer we, net nadat de dijken aan deze nieuwe normen voldoen, besluiten om iets in dit systeem te wijzigen, en daarmee (beperkt) afwijken van de situatie waarop het hele systeem (qua normering) is geoptimaliseerd, dan leidt dat tot een (beperkte) toename van de kosten. Wanneer honderden jaren geleden besloten was om de afvoer anders te verdelen, en het hele systeem was vervolgens op die verdeling geoptimaliseerd (qua normering en bijbehorende dijkversterking), dan zou handhaven van die verdeling waarschijnlijk het meest kosteneffectief zijn geweest. Er is in die zin sprake van een *lock-in* situatie. Het is in die zin niet vreemd dat het bij 'onverwachte omstandigheden' wel effectief kan zijn om de afvoerverdeling te wijzigen. Die onvoorziene omstandigheden zorgen er voor dat het systeem mogelijk niet meer helemaal optimaal is ingericht (beschermingsnormen zijn niet optimaal of de keringen voldoen niet aan het gewenste beschermingsniveau). In dat geval kan een wijziging van de afvoerverdeling wel kosteneffectief zijn.



## 7 Conclusies

De vraag die centraal stond in dit rapport is of er aanleiding is om de afvoerverdeling na 2050 te wijzigen, er van uitgaande dat het klimaat en de uitvoeringsprogramma's zich ontwikkelen zoals momenteel wordt voorzien. Deze vraag is niet in volle omvang geadresseerd, maar versmald tot de vraag of wijziging van de afvoerverdeling kosteneffectief is. De beschouwde maatschappelijke kosten bestaan uit de kosten voor dijkversterking en het overstromingsrisico. De kosten voor het bouwen/aanpassen van regelwerken om een gewenste afvoerverdeling te kunnen realiseren zijn in voorliggende studie niet beschouwd. Deze stap was niet meer nodig zodra duidelijk werd dat geen van de beschouwde alternatieven voor de afvoerverdeling financieel aantrekkelijk was, zelfs zonder aanpassing van de regelwerken.

De beschouwde varianten hebben vooral betrekking op het ontzien van de Nederrijn-Lek bij middelhoge of bij hoge rivierafvoeren te Lobith, omdat een toenemende kans op hoge rivierafvoeren, doorgaande zeespiegelstijging en bodemdaling langs de benedenloop van de Lek zullen leiden tot een doorgaande en ingrijpende versterkingsopgave. Deze opgave kan mogelijk worden voorkomen, uitgesteld of verkleind door de Nederrijn-Lek bij middelhoge of bij hoge afvoeren te ontzien.

Aanvullend hierop is ook nagegaan of onverwachte omstandigheden in de toekomst aanleiding kunnen zijn om de afvoerverdeling te wijzigen. Onverwachte omstandigheden kunnen zich voordoen wanneer het aftoppen van de rivierafvoer op de Rijn in Duitsland minder is dan verwacht, of wanneer na 2050 sprake is van een nieuwe ronde met normaanscherping.

### **Het ontzien van de Nederrijn-Lek (na 2050) bij middelhoge afvoeren is niet kosteneffectief.**

Het ontzien van de Nederrijn-Lek bij middelhoge afvoeren leidt tot significant lagere kosten voor dijkversterking en een kleiner overstromingsrisico langs deze riviertak. De contante kosten voor dijkversterking op deze riviertak vallen 30 M€ tot 160 M€ lager uit. De risicoreductie bedraagt ook nog eens 15 M€ tot 100 M€.

Langs de riviertak die meer afvoer te verwerken krijgt, zijn de kosten voor dijkversterking en het risico echter hoger. Het verschil is het grootst wanneer de Nederrijn-Lek over een groter bereik wordt ontzien en kan oplopen tot meer dan 440 M€. De hogere kosten komen vooral doordat de dijken langs de riviertak die meer water af moet voeren eerder versterkt moeten worden. Wanneer investeringskosten contant worden gemaakt tellen kosten die vroeg in de tijd worden gemaakt zwaarder mee.

De enige variant die (beperkt) kosteneffectief is, is het ontzien van de Nederrijn-Lek bij Bovenrijnafvoeren tot 10.000 m<sup>3</sup>/s en de extra afvoer volledig afvoeren over de Waal. De totale contante kosten (dijkversterking en overstromingsrisico) vallen dan 30 M€ lager uit. Bij alle andere varianten zijn de totale kosten minimaal 60 M€ en maximaal 320 M€ hoger. Op totale contante kosten (dijkversterking en rivierverruiming samen) van 3,3 miljard euro betekent dit een toename met maximaal 11%.

**Het ontzien van de Nederrijn-Lek (na 2050) bij hoge afvoeren is evenmin kosteneffectief.**

Het ontzien van de Nederrijn-Lek bij afvoeren boven de 16.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith en het 'anders' herverdelen van deze extra afvoer over Waal en IJssel, leidt tot hogere totale contante kosten. Dit wordt vooral veroorzaakt door hogere kosten voor dijkversterking, doordat op de tak die meer afvoer te verwerken krijgt de dijken eerder versterkt moeten worden. De totale contante kosten zijn tussen 66 M€ en 195 M€ hoger, afhankelijk van de gekozen verdeling over Waal en IJssel.

Het eerder ontzien van de Nederrijn-Lek (vanaf 15.000 m<sup>3</sup>/s te Lobith) leidt ook tot hogere totale kosten, in dit geval ruim 200 M€ hoger. Later ontzien van de Nederrijn-Lek leidt tot een kleinere verhoging van de totale kosten: 50 M€ meer. Dit verschil wordt eveneens vooral veroorzaakt doordat de dijken op de riviertak die meer afvoer toebedeeld krijgt, eerder versterkt moeten worden.

**Bij een aantal onverwachte omstandigheden kan het wel kosteneffectief zijn om de afvoerverdeling te wijzigen.**

De resultaten uit deze studie tonen aan dat er zich in de toekomst (na 2050) mogelijk omstandigheden kunnen voordoen waarin het kosteneffectief kan zijn om de afvoerverdeling aan te passen. Deze omstandigheden zijn onder andere:

- Er blijkt geen, of in veel mindere mate, sprake te zijn van aftopping op de Rijn. Ontzien van de IJssel en alle 'extra' afvoer via de Waal afvoeren lijkt een kosteneffectieve oplossing.
- Nieuwe ronde met normaanscherping. Wanneer na 2050 alle normen als gevolg van doorgaande economische groei een normklasse strenger worden, dan is het kosteneffectief om minder water af te voeren via de IJssel en meer via de Waal.

De besparingen bedragen maximaal enkele honderden miljoenen euro's.

De eindconclusie is dus dat het niet kosteneffectief lijkt om de afvoerverdeling na 2050 te wijzigen, er van uitgaande dat het klimaat en de uitvoeringsprogramma's zich ontwikkelen zoals momenteel wordt voorzien. Wanneer de toekomst anders uitpakt dan nu voorzien (en sprake is van onverwachte omstandigheden) kan het raadzaam zijn een nieuwe analyse uit te voeren naar de kosteneffectiviteit van wijziging van de afvoerverdeling. De resultaten uit deze studie tonen namelijk aan dat zich in de toekomst (onvoorziene) omstandigheden kunnen voordoen waarin het kosteneffectief kan zijn om de afvoerverdeling aan te passen.

## 8 Referenties

- Asselman, N., S. van Vuren, J. Pol, O. Levelt, D. Wagenaar, R. Wortelboer, J. Vieira da Silva, C. Wegman (2017) Waterveiligheidskosten & baten en baten voor natuur van maatregelpakketten Rijn – achtergrondrapportage MKBA. Deltares, HKV lijn in water en Rijkswaterstaat WVL.
- Asselman, N. en D. Wagenaar (2016) Afvoerverdeling Rijntakken bij hoogwater: Moet de optie om de afvoerverdeling na 2050 te wijzigen openblijven? Deltares rapport 1230044-000-ZWS-0037,
- De Grave, P., O. Levelt, J. Pol, G. Pleijter (2017) Gebruikershandleiding Rivierentool Kostenreductie Dijkversterking door Rivierverruiming (OKADER). Deltares rapport 11200539-000-ZWS-0001.
- Deltaprogramma Rivieren (2013) Kosteneffectiviteitsanalyse afvoerverdeling Rijn – Quicksan.
- Levelt, O., S. van Vuren, J. Pol en P. de Grave (2017) Resultaten analyse verkleinen pipingopgave en –kosten. Deltares memo 11200539-002-ZWS-0014.
- Ten Brinke, W (2013) Fact finding afvoerverdeling Rijntakken. Blueland Consultancy. Rapport B13.01
- Spruyt, A. en N. Asselman (2017) Afvoerverdeling Rijntakken: Eenvoudig regelbaar of niet? Deltaresrapport 11200539-000-ZWS-0007.
- Van der Meij, R., W. ter Horst, S. van Vuren, J. Pol, R. Koopmans, P. van der Scheer, O. Levelt, N. Asselman, P. de Grave & A. de Kruif (2016). Uitwerking methode voor bepaling kostenreductie rivierverruiming, kostenreductie dijkverbeteringen door uitvoering rivierverruiming. Deltares, HKV lijn in water en Rijkswaterstaat WVL.
- Van Vuren, S. J. Pol, W. ter Horst, G. Pleijter, R. van der Meij, O. Levelt, N. Asselman, P. de Grave, I. van der Zwan, A. de Kruif, R. Vos (2015) Analyse effectiviteit rivierverruiming Waal: Bypass Varik-Heesselt en nevengeul Sleeuwijk.
- Van Vuren, S., O. Levelt, J. Pol, R. van der Meij, P. de Grave, D. Nugroho, W. ter Horst, R. Koopmans, P. van der Scheer, N. Asselman en A. de Kruif (2016) Beleidsstudie Kostenreductie Dijkversterking door Rivierverruiming: Toepassing op Rijntakken.





## A Bandbreedte absolute kostenramingen en kostenreductie door waterstandsaling

### A.1 Bronnen van onzekerheid

In 2015 en 2016 zijn analyses uitgevoerd naar de kosteneffectiviteit van rivierverruimende maatregelen. Daarvoor is de OKADER tool gebruikt. Om een beeld te krijgen van de invloed van onzekerheden op de resultaten is een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. De volgende onzekerheidsbronnen zijn verkend (Van Vuren et al. 2015; Van Vuren et al., 2016; Levelt et al., 2016):

- Overschatting van de hydraulische belasting, als gevolg van een overschatting van de onzekerheidstoeslag, de werklijn bij Lobith en/of het effect van klimaatverandering. Er zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, waarbij is aangenomen is dat de belastingen met respectievelijk 30 en 50 cm is overschat.
- Het wel/niet meenemen van geotechnische faalmechanismen: hoe veranderen de kosten wanneer geen rekening wordt gehouden met overloop/overslag, of juist niet met piping en macrostabiliteit?
- Bewezen sterkte: de faalkans bij waterstanden die 1x per 50 jaar of vaker voorkomen wordt gelijk gesteld aan nul.
- Lagere discontovoet: in de basisberekeningen van Van Vuren et al. (2015) is uitgegaan van een discontovoet van 5,5%. In de gevoeligheidsanalyses is gebruik gemaakt van een discontovoet van 2% en 3%.
- Ontwerplevensduur: dijken worden meestal ontworpen met een levensduur van 50 jaar. Verkend is wat de invloed is van een kortere ontwerplevensduur van 30 jaar.

In 2017 is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar het effect van onzekerheden in de versterkingsopgave voor het faalmechanisme piping (Levelt et al., 2017). Daarbij is gekeken naar:

- Het wel/niet meenemen van voorlanden;
- Het wel/niet meenemen van voorlanden in combinatie met een deklaag;
- Het toepassen van innovatieve maatregelen zoals geotextiel.

### A.2 Bevindingen

#### Afname hydraulische belastingen

Van Vuren et al. (2015) toont de resultaten voor de Waal. In de referentiesituatie zijn de contante kosten voor dijkversterking 2,1 miljard euro. Door verschillende rivierverruimingsmaatregelen kunnen deze kosten afnemen met 11, 36 of 47 miljoen euro. Wanneer de belasting 30 cm lager uitvalt, dan zijn de contante kosten in de referentiesituatie ruim 100 miljoen euro lager. De afname van de belasting heeft echter nauwelijks effect op de berekende baten voor de 3 rivierverruimende maatregelen: deze bedragen respectievelijk 13, 37 en 47 miljoen euro. Wanneer de belasting 50 cm lager uitvalt, nemen de kosten voor dijkversterking met ongeveer 160 M€ af. De baat van de rivierverruimende maatregelen blijft echter gelijk, of neemt toe.

Tabel A.1 Verandering in kostenramingen dijkversterking Waal bij lagere waterstanden als gevolg van overschatting onzekerheidstoeslag, de werklijn bij Lobith en/of het effect van klimaatverandering (naar Van Vuren et al., 2015).

	geen verlaging belasting		30 cm verlaging		50cm verlaging	
	contante kosten	afname kosten door RvR	contante kosten	afname kosten door RvR	contante kosten	afname kosten door RvR
	Referentie	2106	-	2004	-	1947
Sleeuwijk	2095	11	1991	13	1934	13
Varik	2070	36	1967	37	1911	36
Varik & Sleeuwijk	2060	46	1958	46	1885	62

Van Vuren et al. (2016) en Levelt et al. (2016) laten een vergelijkbaar beeld zien. Wanneer de belastingen systematisch worden overschat, dan leidt dit tot een overschatting van de absolute kosten voor dijkversterking (langs de Maas orde 4% zie Levelt et al., 2016). De kostenreductie veranderde ook maximaal met enkele procenten (2 tot 4% in Levelt et al., 2016).

### Faalmechanismen

Van Vuren et al. (2016) laten zien dat de totale kosten voor dijkversterking langs Waal, Pannerdensch Kanaal en IJssel 5,4 miljard euro bedragen. Wanneer geen rekening wordt gehouden met een opgave voor piping en macrostabiliteit, dan nemen de kosten af tot iets minder dan 1 miljard euro (afname met meer dan 80%). Wanneer geen rekening wordt gehouden met een eventuele opgave voor overloop/overslag, dan nemen de kosten af tot 5,0 miljard euro.

De berekende baat van 30 cm integrale waterstandsvaling varieert echter minder: 380 M€ in de referentiesituatie, 440 M€ wanneer er geen opgave is voor piping en macrostabiliteit (toename van de baat met 15%) en 174 M€ wanneer er geen opgave is voor overloop en overloop (afname met 55%).

Omdat de opgaven voor 1 of meer faalmechanismen in deze analyses volledig is verwaarloosd, gelden deze veranderingen als (niet realistische) boven en ondergrenzen.

### Bewezen sterkte

De kosten voor dijkversterking nemen af van 5,4 miljard naar 5,3 miljard euro (afname van 3%) wanneer de conditionele faalkans bij waterstanden die gemiddeld vaker dan eenmaal per 50 jaar voorkomen op nul wordt gezet. De baat voor rivierverruiming neemt echter zeer beperkt toe van 380 M€ tot 390 M€ (toename van 3%).

### Discontovoet

In Van Vuren et al. (2015) leidt verlaging van de discontovoet, leidt tot een toename van de contante kosten. Wanneer de discontovoet verlagen van 5,5%<sup>11</sup> naar 2% leidt tot een toename van de contante kosten met 600 M€ (30%). De baten nemen eveneens toe (20% tot 30%).

<sup>11</sup> In de huidige studie werken we met een discontovoet van 4,5%.

Tabel A.2 Effect van veranderingen in discontovoet op kostenramingen voor dijkversterking en kostenbesparing door rivierverruiming (naar Van Vuren et al., 2015)

	Discontovoet					
	5,5%		3%		2%	
	contante kosten	afname kosten door RvR	contante kosten	afname kosten door RvR	contante kosten	afname kosten door RvR
Referentie	2106		2495		2706	
Sleeuwijk	2095	11	2483	12	2692	14
Varik	2070	36	2454	41	2663	43
Varik & Sleeuwijk	2060	46	2441	54	2649	57

In Van Vuren et al. (2016) is echter ook naar het effect van de discontovoet gekeken. In die studie is het effect veel kleiner. Verlaging van de discontovoet leidt tot een verandering in zowel de absolute kostenramingen als de berekende kostenreducties (baten) van waterstandsdaling in de orde van enkele procenten. Deze conclusie werd ook getrokken door Levelt et al. (2016) bij toepassing van de methode op de Maas.

### Ontwerplevensduur

Wanneer een kering wordt versterkt op basis van een kortere ontwerplevensduur, dan nemen de kosten voor dijkversterking toe met ongeveer 50 miljoen euro. Op de baten van rivierverruiming heeft dit echter nauwelijks effect.

Tabel A.3 Effect ontwerplevensduur op kostenramingen voor dijkversterking en kostenreductie door rivierverruiming. Gebaseerd op Van Vuren et al. (2015)

	50 jaar		30 jaar	
	contante kosten	afname kosten door RvR	contante kosten	afname kosten door RvR
Referentie	2106		2154	
Sleeuwijk	2095	11	2144	10
Varik	2070	36	2118	36
Varik & Sleeuwijk	2060	46	2108	46

### Piping en voorlanden

Uit de analyses van Levelt et al. (2017) bleek dat de totale contante kosten voor dijkversterking langs de Rijntakken 4,2 miljard euro bedragen. Wanneer rekening wordt gehouden met de aanwezige voorlanden, neemt de versterkingsopgave af, wat resulteert in een kostenvermindering van 1,4 miljard euro (afname van ongeveer 35%). De baat van een integrale verlaging van de waterstanden op de Rijntakken met 5 cm neemt echter toe van 47 M€ tot 72 M€ (50%). Dit komt doordat in de referentiesituatie op veel plekken gebruik wordt gemaakt van een constructieve maatregel om piping op te lossen. Dat is relatief duur, en waterstandsdaling heeft er weinig invloed op. Het meenemen van voorlanden verkleint de opgave dusdanig dat op veel plaatsen gebruik kan worden gemaakt van een versterking in grond. Dat is goedkoper, maar zorgt er ook voor dat waterstandsdaling wel degelijk effect heeft op de versterkingsopgave. De absolute kosten voor dijkversterking nemen dus af, maar de baat van waterstandsdaling neemt toe.

### Piping en voorlanden + deklaag

Wanneer naast de voorlanden ook rekening wordt gehouden met de dikte van de aanwezige deklaag, dan nemen de kosten voor dijkversterking nog verder af. De afname bedraagt dan 1,5 miljard euro. De baat van waterstandsdaling neemt echter niet verder toe.

## **Piping, voorlanden deklaag en innovatieve maatregelen**

Wanneer naast voorlanden en dikte van de deklaag ook rekening wordt gehouden met de mogelijkheid om innovatieve maatregelen toe te passen, dan nemen de kosten nog verder af van 4,2 miljard euro tot 2,2 miljard euro (afname bijna 50%). De baat van 5 cm integrale waterstandsdaling neemt echter toe van 47 M€ tot 52 M€ (toename van 10%). De toename van de baat is kleiner dan bij de analyses waarbij geen rekening is gehouden met innovatieve maatregelen (alleen voorlanden en deklaag). Dat komt doordat innovatieve maatregelen minder gevoelig zijn voor waterstandsdaling.

## **A.3 Conclusie**

De verkende onzekerheidsbronnen leiden tot onzekerheden in de absolute ramingen van de kosten voor dijkversterking die op kunnen lopen tot 50% of soms nog meer. Wanneer vervolgens gekeken wordt naar de baat van waterstandsdaling (bijvoorbeeld door rivierverruiming of door het ontzien van een riviertak), dan blijkt dat onzekerheid in de absolute kostenraming zich niet één-op-één laat doorvertalen in een onzekerheidsmarge rond de berekende baat. Niet alleen zijn de relatieve verschillen anders, ze kunnen zelfs tegengesteld zijn. Waar het meenemen van voorlanden bij piping bijvoorbeeld zorgt voor een forse afname van de absolute kostenramingen, leidt dit bij de berekende kostenreductie door waterstandsdaling (de baat) tot een toename. Wat wel opvalt, is dat de orde van grootte van de baten niet wezenlijk verandert. Een berekende baat van enkele tientallen miljoenen euro's blijft altijd van die orde grootte en neemt niet af tot een baat van enkele miljoenen euro's, maar neemt ook niet toe tot honderd miljoen euro of meer.

## B Uitgangspunten kostenramingen en risicoberekeningen

### B.1 Kostenramingen

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de kostenramingen voor dijkversterking:

- De waterstanden in de referentiesituatie zijn berekend met het Deltamodel S10 (2015, 2050W+ en 2100W+). Zo is de relatie tussen lokale waterstanden en Boven-Rijnafvoeren bij Lobith voor verschillende zichtjaren (2015, 2050 en 2100) afgeleid.
- De GRADE afvoerstatistiek is gebruikt (versie zomer 2015 voor OI2014-vs3, zie Figuur 5.1).
- Voor het vaststellen van de toekomstige hydraulische belasting is het klimaatscenario W+ gebruikt, waarbij bij afvoeren boven de 18.000 m<sup>3</sup>/s wordt afgetopt.
- Er wordt rekening gehouden met een vaste onzekerheidstoeslag. De onzekerheidstoeslag bovenop de berekende waterstanden voor de normtrajecten langs de Rijntakken is gelijk aan 30 cm over het gehele afvoerbereik. Dit betekent dat de onzekerheden als gevolg van model- en statistische onzekerheden niet worden uitgeïntegreerd.
- De sterkte van de dijk is bepaald op basis van gegevens uit VNK2 aangevuld met gedetailleerdere of recentere data beschikbaar bij de waterschappen. De faalkans wordt berekend voor de drie meest belangrijke faalmechanismen: overloop/overslag, piping en macrostabiliteit. Hierbij is zo goed mogelijk aangesloten op de nieuwste inzichten en rekenregels uit WBI2017. Deze rekenregels zijn ook gebruikt om de benodigde kruinverhoging te bepalen alsmede de benodigde versterking voor piping en macrostabiliteit. Voor het moment van versterking tot 2050 is aangesloten op de planning van de waterschappen.
- De geometrie van de dijk die ook in de eerdere Rijn-studies gebruikt is, wordt ook hier gebruikt als basis voor de dijkdimensies. Veelal zijn dit de dijkprofielen uit VNK2. Daarnaast is specifieke informatie verkregen van de waterschappen
- De bepaling van de faalkanseisen voor de doorsnedes/profielen gebeurt conform OI2014 (zoals begin 2016 beschikbaar). Voor het lengte-effect voor het faalmechanisme Overloop/Overslag wordt uitgegaan van N=1 (gelijk aan Bovenrivieren). Het aantal uitvoerpunten wordt niet verdicht, maar middels een interpolatieprocedure die in uitbreiding op OI2014\_vs3 ter toelichting aan WPM of andere gebruikers wordt beschreven, is uitvoer voor het HBN op elke locatie mogelijk (A. Smale, Deltares, december 2015). We maken gebruik van de vakindeling uit VNK2.
- Er wordt geen rekening gehouden met bewezen sterkte

Voor het faalmechanisme Overloop/Overslag zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Bij het berekenen van de totale dijkversterkingsopgave is uitgegaan van de standaard faalkansboekhouding. Dat betekent dat rekening is gehouden met 24% faalkansruimte voor het faalmechanisme Overloop/Overslag
- Fragility curves zijn afgeleid met Hydra-Zoet (semi-probabilistisch) versienummer OI2014\_vs3 en de Hydra-database van het Deltamodel (S10) (zichtjaar 2015).
- Er is een kritiek overslagdebiet van 5 l/m/s gehanteerd.

Voor het faalmechanisme Piping zijn in de eerste ronde MKBA de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Conform WTI/OI is de herziene regel van Sellmeijer gebruikt voor het berekenen van de opgave voor het faalmechanisme Piping. Toepassing van deze regel resulteert in omvangrijke pipingbermen. De pipingberm die volgt uit de toepassing van de herziene regel van Sellmeijer is per dijkvak afgekapt op basis van een maximale creepfactor. De creepfactor is de verhouding tussen de maximaal benodigde kwelweglengte (L) en het verval over de waterkering (verschil tussen binnen- en buitenwaterstand) ( $\Delta H$ ). De methode om de afkapwaarden te bepalen is uitgebreider beschreven in Van der Meij et al. (2016). Als maximale creepfactoren zijn de volgende waarden aangehouden:
  - Bovenrijn: 50  $\Delta H$ ;
  - Pannerdensch Kanaal: 40  $\Delta H$ ;
  - IJssel: 40  $\Delta H$ ;
  - Waal: 50  $\Delta H$ .
- Bij de uitwerking is uitgegaan dat het slootpeil gelijk is aan het maaiveld.
- De benodigde gegevens voor het faalmechanisme Piping komen uit VNK2 aangevuld met informatie vanuit de regio. Bij VNK2 gegevens is bij de constructie van de fragility-curves rekening gehouden met spreiding voor de D70 en KD-waarde conform WTI SOS.

Voor het faalmechanisme Macrostabieliteit zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De methodes Spencer en Lift-Van (ongedraineerd) zijn gebruikt om de opgave voor het faalmechanisme Macrostabieliteit te bepalen. Er is daarbij gebruik gemaakt van dwarsdoorsnedes die op basis van de aanwezige ondergrond representatief zijn voor een grotere strekking langs de rivier. De selectie van de dwarsdoorsnedes en de inschatting van de bijbehorende ongedraineerde parameters is gedaan op basis van expert-judgement (zie Levelt et al. (2017)). Daarbij zijn deze zo gekozen dat deze in de huidige situatie semi-probabilistisch tot een reële opgave leiden.

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd om de omvang van de dijkverbetering (versterking en verhoging) te bepalen:

- Uitgangspunt is dat de dijken voor een periode van 50 jaar worden verbeterd
- Dijken worden niet verbeterd voor het jaar 2025
- Dijken worden tot 2050 verbeterd conform de planning van de HWBP programmering en de waterschappen.
- We hebben informatie ontvangen over het moment van uitvoering van de dijkverbeteringen. Zie hierboven. Uit de methodiek kan blijken dat een dijkverbetering eerder of later nodig is dan het versterkingsjaar dat door de waterschappen is aangegeven. We houden desondanks vast aan de toegeleverde fasering. Mocht aangegeven worden dat een dijktraject tot 2050 niet verbeterd worden, en dit wordt wel met de methodiek berekend, dan gaan we uit van geen verbetering tot 2050 (dit is bijvoorbeeld het geval voor dijktraject 49-1).
- De planning van de dijkverbeteringen van het HWBP en de waterschappen loopt tot 2050. Na 2050 gaan we weer uit van de dijkverbeteringsmomenten die uit de methodiek volgen.
- Alle dijken moeten in 2050 aan de norm voldoen

- We rekenen tot 2125. Dit betekent dat er gekeken wordt naar twee i.p.v. één versterkingsronde. Dit brengt een aantal 'problemen' met zich mee:
  - De kosten voor de tweede versterkingsronde zijn onzekerder.
  - Voor die tweede versterking wordt dezelfde kostendatabase gebruikt als bij de eerste, terwijl de uitgangssituatie anders is (dijken zijn hoger en breder). Dit geeft waarschijnlijk een onderschatting van de kosten, omdat je bij de tweede versterking minder ruimte hebt.
  - Daarnaast zal de levensduur van constructieve oplossingen in de praktijk langer zijn. In de tool wordt een constructieve maatregel voor piping na de ontwerplevensduur weer afgekeurd op piping, en is een nieuwe piping-maatregel nodig. Dit geeft waarschijnlijk een overschatting van de kosten.

Voor de kostenramingen zijn de volgende uitgangspunten relevant:

- Voor het berekenen van de dijkverbeteringskosten maakt de methodiek gebruik van het KOSWAT instrumentarium versie 2.3 (KOSTen voor versterken WATerkeringen) (Deltares, 2014).
- KOSWAT maakt gebruik van de Standaardsystematiek voor kostenramingen in de GWW (SSK-2010):
  - raming van **Benoemde Directe Bouwkosten** en **Benoemde Directe Vastgoedkosten** op basis van hoeveelheden in de berekende versterkingsmaatregelen en lengtes van de dijksectie waarop deze van toepassing zijn (bottom-up!)
  - eenheidsprijzenbestand ontwikkeld en onderhouden door RWS GPO
  - opslagfactoren voor berekening totale investeringskosten
- Uitgangspunten kostenbepaling dijkverbeteringen
  - aanpassing van bestaande keringen ('business as usual'): dijkverleggingen en andere (innovatieve) maatregeltypen zijn niet beschouwd
  - toepassing van grondmaatregelen op plaatsen waar voldoende ruimte beschikbaar is.
  - gebruik van constructieve maatregelen op plaatsen waar bebouwing, spoorwegen en grote waterlichamen in de weg liggen. Dit betekent dat bebouwing, spoorwegen e.d. NIET wordt gesloopt
  - wanneer de ruimte tussen twee constructieve delen minder dan 50 meter bedraagt wordt ook het tussenliggende deel constructief uitgevoerd
  - bestaande weginfrastructuur in invloedszone maatregel wordt vervangen. Wanneer een weg op de kruin aanwezig is, en de dijk hoeft niet verhoogd te worden, zal dit deel van de infrastructuur worden hersteld in plaats van vervangen.
  - versterking vindt plaats aan binnendijkse zijde.
  - meekoppelkansen zijn niet beschouwd
- Bij een berekende berm van 100 m of meer wordt in de berekeningen een constructieve oplossing gebruikt (zie opmerking Faalmechanisme Piping).
- Kostenramingen muren, damwanden en demontabele keringen
  - op basis van kostenkental
  - kostenkental verbeteringen 10 M€/km (bij verhoging van meer dan 25 cm)
  - bij beperkte verhoging (tot 25 cm) is niet hele bedrag in rekening gebracht, aangezien dan met beperkte aanpassingen kan worden volstaan
  - Uitgangspunt: verbeteringskosten lopen lineair op van 0 M€/km tot 10 M€/km bij verhoging van 0 tot 25 cm
- Geen kostenramingen aanpassingen van kunstwerken (sluizen, duikers, etc.), want

- waterstandsdeling rivierverruiming zorgt hooguit voor verlengen levensduur: uitstel aanpassing
- kosten aanpassing ongevoelig voor minder waterstandsstijging
- Bij de kostenramingen van de dijkverbeteringen is gewerkt met prijspeil 2013.
- In analyse worden ook kosten voor het verlengen van dijken tot hoge gronden meegenomen (dit speelt in Limburg in de Maasvallei en bij de Brabantse dijkringen 36 en 58).

## B.2 Overstromingsrisico

Het overstromingsrisico wordt berekend als het product van de kans op een overstroming en de gevolgen in geval van overstromen. Het risico wordt uitgedrukt in miljoen euro per jaar.

### Overstromingskans

Het verloop van de overstromingskans in de tijd wordt berekend per normtraject. Dit gebeurt als volgt:

- De overstromingskans wordt berekend met het tool dat ook gebruikt is om de kosten voor dijkversterking te ramen (OKADER).
- Wanneer de initiële (huidige) overstromingskans groter is de kans berekend in VNK2, is uitgegaan van de VNK2-kans.
- De overstromingskans neemt toe in de tijd door klimaatverandering en kan afnemen door dijkverbetering of rivierverruiming. Dijkverbetering zorgt er voor dat de overstromingskans (fors) afneemt. Rivierverruiming zorgt voor een verlaging van de belasting tegen de dijk en heeft dus ook een lagere overstromingskans tot gevolg. De klimaatverandering zorgt voor een geleidelijke toename van de overstromingskans. Informatie over de ontwikkeling van de overstromingskans in de tijd door dijkverbeteringen, rivierverruimende maatregelen en klimaatverandering is overgenomen uit het instrument dat gebruikt is voor het berekenen van de dijkverbeteringsopgave en de bijbehorende kosten (OKADER, zie vorige hoofdstuk).
- Voor normtrajecten waarbij de huidige (initiële) overstromingskans gelijk is gesteld aan de kans uit VNK2 is aangenomen dat de overstromingskans op dezelfde wijze verandert als door OKADER is berekend. Ofwel, wanneer de huidige kans berekend met OKADER gelijk is aan 1:50 per jaar en deze neemt door klimaatverandering toe tot 1:40 per jaar (toename van 20%) dan is aangenomen dat de huidige overstromingskans gelijk is aan die berekend bij VNK2 (stel 1:100 per jaar), en dat deze toeneemt tot 1:80 per jaar.
- Zodra de overstromingskans kleiner is dan de kans berekend door VNK2 wordt uitgegaan van de absolute overstromingskans zoals berekend door de kostenreductietool OKADER. Meestal is dit vanaf het moment dat de dijken in het normtraject versterkt zijn. In sommige gevallen, met omvangrijke rivierverruiming, gebeurt dit al voordat de dijken versterkt zijn.
- Vlak na versterking zijn de overstromingskansen veel kleiner dan volgens de norm noodzakelijk is. Pas 50 jaar na versterken is de overstromingskans weer gelijk aan de maximaal toelaatbare overstromingskans zoals vastgelegd in de norm.



- In varianten waarbij in de toekomst sprake is van rivierverruiming wordt bij het versterken van de dijk rekening gehouden met deze rivierverruiming. Dat betekent dat de dijk minder wordt versterkt dan in de referentiesituatie. De overstromingskans blijft na dijkversterking dus groter in de variant met toekomstige rivierverruiming dan in de referentie. Dit uitgangspunt kan een grote invloed hebben op de berekende risicoreductie (met name wanneer de dijken vroeg worden versterkt terwijl rivierverruiming pas relatief laat wordt gerealiseerd).

### **Uitgangspunten gevolgbeplanning**

De gevolgen zijn berekend conform de methode uit WV21. Deze set aan gevolgen vormden ook de basis voor DPV. De volgende uitgangspunten zijn relevant:

- Voor de gevolgen van overstroming wordt gebruik gemaakt van de database die is opgesteld voor WV21 en DPV. Gebaseerd op de VNK2 overstromingssimulaties.
- Economische schade, aantallen slachtoffers en getroffen en getroffen zijn per potentiële breslocatie berekend (op basis van HIS-SSM, basisjaar 2000, bedragen excl. BTW).
- De schadebedragen gegenereerd door HIS-SSM zijn geïndexeerd om de inflatie en de toename van de reële schade tussen 2000 en 2011 in rekening te brengen. Deze indexering wordt uitgevoerd door de schadebedragen van HIS-SSM te vermenigvuldigen met factor 1,4 (zie Gauderis en Kind, 2011);
- Het bedrag van de schade wordt vermenigvuldigd met factor 1,5 om rekening te houden met schadeposten die niet of onvolledig in het schadebedrag van HIS-SSM begrepen zijn. De onderbouwing van de hoogte van de opslag is te vinden in Gauderis en Kind (2011);
- Bij deze opslagfactor wordt een risicopremie van 10% bijgeteld (d.w.z. de factor wordt verhoogd van 1,5 tot 1,6) om risicoaversie in rekening te brengen (zie Gauderis en Kind, 2011).
- Aantallen slachtoffers en getroffen zijn geïndexeerd met een factor 1,05 (gelijk aan de bevolkingstoename in die periode)
- Bij het berekenen van de slachtoffers is uitgegaan van 75% evacuatie. Alleen in dijkringen 10, 11, 15 en 16 is een lagere evacuatiefractie gehanteerd van 15%. Dit is conform de fracties zoals gehanteerd bij DPV.
- In de economische schade is ook rekening gehouden met slachtoffers en getroffen. Voor ieder slachtoffer is een bedrag van 6,7 miljoen euro in rekening gebracht. Per getroffen is 12.500 euro schade berekend.
- Per normtraject zijn overstromingssimulaties gebruikt voor 1 of meerdere potentiële doorbraaklocaties. Per potentiële doorbraaklocatie zijn de gevolgen van overstroming berekend in termen van economisch schade, slachtoffers en getroffen. De gevolgen zijn berekend bij toetspeil (de oude maatgevende afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s op de Rijntakken en 3.800 m<sup>3</sup>/s op de Maas) en bij afvoeren met een 10x groter en 10x kleinere kans van voorkomen. Tussen deze afvoeren in worden gevolgen bepaald door lineaire interpolatie.
- Per jaar wordt gekeken hoe veel waterstands daling wordt gerealiseerd met rivierverruiming. De gevolgen worden aangepast met behulp van de lineaire relatie zoals in het vorige punt beschreven.
- Dezelfde waterstandsverandering als gebruikt voor de kostenraming voor dijkversterking worden ook gebruikt bij het bepalen van de gevolgbeperking;
- De schade neemt toe als gevolg van economische groei (1,5% per jaar).

Het verloop van het overstromingsrisico in de tijd is berekend door de kans en de gevolgen per jaar te combineren.