



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

Deltares

Afvoerverdeling Rijntakken bij hoogwater

Meer afvoer veilig van Lobith naar zee



 enabling delta life

Afvoerverdeling Rijntakken bij hoogwater

Meer afvoer veilig van Lobith naar zee

Auteur(s)

Frans Klijn
Max Schropp
Emiel Kater
Sylvia van Doorn
Wouter Rozier
Bert Voortman

Partners

Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad
Rijkswaterstaat Oost-Nederland, Arnhem

Afvoerverdeling Rijntakken bij hoogwater

Meer afvoer veilig van Lobith naar zee

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon	Marco Taal
Referenties	Integraal RivierManagement (IRM)
Trefwoorden	Hoogwater, Rijn, afvoerverdeling, afvoercapaciteit, klimaatverandering

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	10-10-2024
Projectnummer	11210367-002
Document ID	11210367-002-ZWS-0006
Pagina's	66
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Frans Klijn	

Samenvatting

Eén van de kernbesluiten in het programma Integraal RivierManagement (IRM) gaat over het vergroten van de afvoercapaciteit van de grote rivieren voor een robuust en toekomstbestendig riviersysteem met het oog op de klimaatverandering. De vraag hoeveel de afvoercapaciteit moet worden vergroot is voor de Rijnakken niet alleen afhankelijk van de snelheid van de klimaatverandering en de doorwerking op het afvoerregime, maar ook van hoe een hoogwaterafvoer wordt verdeeld over de drie Rijnakken.

Tegen deze achtergrond heeft het ministerie een verkenning gevraagd met de volgende hoofdvraag:

Wat is voor de lange termijn de maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling over de Rijnakken bij hoge afvoeren, vanuit het perspectief van een veilige afvoer van hoogwaters naar zee, met het oog op de doelstellingen van IRM?

Deze hoofdvraag is nader uitgewerkt in een aantal deelvragen, en wel als volgt:

- Is het beleid 'Lek ontzien' nog altijd valide?
- Wat zijn belangrijke argumenten (criteria) om over de maatschappelijk meest gewenste verdeling te beslissen?
- Welke alternatieve afvoerverdelingen naast 'Lek ontzien' en het verdelen van het meerdere boven 16.000 m³/s over Waal en IJssel volgens een verdeling 80: 20 zijn 'redelijkerwijs in beschouwing te nemen'?
- Met welke fysieke ingrepen kunnen de verschillende alternatieve afvoerverdelingen in het splitsingspuntengebied worden gerealiseerd?
- Wat zijn de voor- en nadelen van die andere verdelingen, en welke consequenties hebben die, ook meer stroomafwaarts langs de riviertakken?

Dit onderzoek heeft het karakter van een vooronderzoek en is ruimtelijk beperkt tot het splitsingspuntengebied. Naar aanleiding ervan zullen nog hydraulische modelsimulaties worden gedaan om de voorlopige bevindingen meer kwantitatief te kunnen funderen.

Hoofdstuk 8 betreft de conclusies, die heel kort als volgt luiden:

- Er lijken nog steeds vele goede redenen om de Lek te willen ontzien. En er zijn vrijwel geen redenen daarop terug te komen.
- Er zijn ook goede redenen om de Waal te ontzien of om de IJssel te ontzien, maar eveneens om juist één van beide alle extra hoogwaterafvoer toe te delen. Daarom wordt voorgesteld vijf alternatieve afvoerverdelingen nader kwantitatief te onderzoeken: van alle surplus over de Waal tot alle surplus over de IJssel. Uit eerste rekenkundige vingeroefeningen lijkt het *technisch* niet onmogelijk al deze afvoerverdelingen tot stand te brengen met behulp van de regelwerken in combinatie met rivierverruiming.
- Om uiteindelijk vast te kunnen stellen welk alternatief *maatschappelijk* het meest gewenst is, is een beoordeling noodzakelijk van hun voor- en nadelen. Daarvoor zijn relevante criteria geïdentificeerd die in hoofdstuk 8 nogmaals op een rij zijn gezet. Deze betreffen niet alleen het splitsingspuntengebied, maar hebben betrekking op de volle lengte van de riviertakken en de ontvangende wateren tot aan zee.
- Met deze criteria is ook al een eerste indruk verkregen van de voor- en nadelen van de verschillende verdelingen (maar omdat de uiteindelijke afweging principieel een normatief karakter heeft, wordt daar in dit rapport van afgezien).

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Vraagstelling	8
1.2.1	Deelvragen	8
1.2.2	Scope	9
1.3	Aanpak/ werkwijze	10
2	Waarom alternatieve afvoerverdelingen verkennen?	12
2.1	Ten geleide	12
2.2	Hoe verdeelt een (extreem) hoge Rijnafvoer zich momenteel over de takken bij verschillende afvoeren?	12
2.3	Nieuwe inzichten over het afvoerverdelingsvraagstuk	13
2.3.1	Afknijpen en opstuwning door de verdeelwerken	13
2.3.2	Verschillen in robuustheid: decimeringshoogtes	15
3	Lek ontzien, toenemende hoogwaterafvoer over Waal en IJssel afvoeren	17
3.1	Achtergrond	17
3.2	Oorspronkelijke argumentatie voor Lek ontzien	17
3.3	Veranderingen in de context	18
3.4	Aanleiding tot herziening van deze beleidskeuze?	20
3.5	Hoe 'Lek ontzien' te realiseren?	20
4	Relevante criteria voor de afweging wat maatschappelijk het meest gewenst is	22
4.1	De al eerder genoemde criteria	22
4.2	Recente suggesties voor extra criteria	22
4.3	Kostenoverwegingen	23
4.4	Eerste grofstoffelijke reflectie in de Systeembeschouwing	23
5	Verdeling van 'extra afvoer' over Waal en IJssel	25
5.1	Hoeveel extra afvoer is te verwachten?	25
5.2	Wat stelde de PKB-Ruimte voor de Rivier over de toekomstige verdeling van die hogere afvoeren?	26
5.3	Welke alternatieven zijn relevant om te verkennen?	27
6	Met welke ingrepen kunnen we de afvoerverdeling beïnvloeden?	32
6.1	Geometrie van de Rijntakken in het splitsingspuntgebied en de verdeelwerken	32
6.2	Het regelbereik van de regelwerken	33

6.3	Wat kan er met rivierverruiming?	33
6.3.1	Verruiming van de Boven-Waal	34
6.3.2	Verruiming van Pannerdens Kanaal en Boven-IJssel	36
7	Overige overwegingen en implicaties van aanpassingen aan de afvoerverdeling	38
7.1	Dijkverhoging/-verzwaring bij minder uiteenlopende verhanglijnen nabij de splitsingspunten?	38
7.2	En meer stroomafwaarts?	39
7.3	... en voor de ontvangende wateren?	40
8	Bevindingen van het vooronderzoek	42
8.1	Lek ontzien nog steeds gewenst	42
8.2	Nader te onderzoeken alternatieve afvoerverdelingen	42
8.3	Relevante criteria voor de beleidsafweging verdeling Waal/ IJssel	43
	Literatuur	45
	Bijlage 1: Enige geschiedenis van de afvoerverdeling	48
	Bijlage 2: De huidige 'beleidsmatige' afvoerverdeling	49
	Bijlage 3: Geschiedenis van discussie over de afvoerverdeling	53
	Bijlage 4: Kostenverschillen tussen verschillende afvoerverdelingen?	58
	Bijlage 5: Blokkendoos PKB en afvoerverdeling	60

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De klimaatverandering zal naar verwachting leiden tot vaker grote rivierafvoeren en mogelijk grotere rivierafvoeren, en gaat gepaard met zeespiegelstijging. Dat noopt tot anticiperen, hetgeen de Nederlandse overheid terdege beseft. Daarvoor hebben we een Deltaprogramma, met regionale uitwerkingen (voor het rivierengebied het Deltaprogramma Rivieren). Voor het rivierengebied is dat inmiddels verbreed tot het programma Integraal RivierManagement (IRM). Voor IRM ligt er inmiddels een ontwerp-programma IRM (december 2023) en naar verwachting najaar 2024 een definitief programma Programma onder de Omgevingswet (POW-IRM). Eén van de kernbesluiten daarin is het vergroten van de afvoercapaciteit van de grote rivieren voor een robuust en toekomstbestendig riviersysteem met het oog op de klimaatverandering.

Een belangrijke vraag daarbij is *hoeveel* de afvoercapaciteit moet worden vergroot, gevolgd door de vragen: *hoe dan* en *waar dan* precies? De vraag naar *hoeveel* is vanzelfsprekend allereerst afhankelijk van de snelheid van de klimaatverandering en de doorwerking daarvan op het afvoerregime van de rivieren, met name de zeer hoge (extreme) afvoeren en hun kans van optreden (Sperna-Weiland et al., 2015; Klijn et al., 2015). Maar voor de Rijntakken geldt ook nog eens dat de capaciteitsvraag afhankelijk is van *hoe* de afvoer wordt *verdeeld* over de drie Rijntakken: Waal, Nederrijn-Lek en IJssel (zie ook Bijlage 1). Daarom was in de Systeembeschuwing IRM (Klijn et al., 2022) al betoogd dat voor de Rijn eerst over de toekomstige afvoerverdeling moet worden beslist, alvorens nader kan worden gespecificeerd hoeveel extra afvoercapaciteit voor elke Rijntak moet worden gerealiseerd.

Nu kan weliswaar worden teruggevallen op een besluit uit 2006, toen in het kader van de Planologische Kernbeslissing (PKB) Ruimte voor de Rivier een afvoerverdeling is vastgelegd voor de toen 'maatgevende afvoer' van 16.000 m³/s (zie Bijlage 2), en tevens is gesteld dat bij verdergaande klimaatverandering de Nederrijn-Lek zou worden ontzien en 'het meerdere' zou moeten worden verdeeld over Waal en IJssel. Volgens de memorie van toelichting bij het PKB-besluit zou dat dan moeten naar rato van ongeveer 80:20. Daarbij was verondersteld dat in ongeveer 2050 de afvoerverdeling zou worden aangepast aan een 'maatgevende afvoer' van 17.000 m³/s, en in 2100 aan één van 18.000 m³/s.

Maar inmiddels is herhaaldelijk een pleidooi gehouden voor een brede beleidsanalyse van *de op lange termijn maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling* (vanaf de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000 tot ENW, 2021; zie Bijlage 3), nadat steeds duidelijker was geworden dat de gevolgen van klimaatverandering voor het afvoerregime van de grote rivieren op lange termijn mogelijk ingrijpende besluiten over de inrichting van Nederland zou vragen. Ook werden door het ENW vraagtekens gezet bij de stapsgewijze aanpassing en de jaartallen: waarom niet geleidelijker en naar bevind van zaken?

Daar kwam recentelijk nog bij dat Nederland sedert 2017 nieuwe normen voor hoogwaterbescherming heeft, waardoor het begrip 'maatgevende afvoer' niet langer 'de maat der dingen' is, en dat tevens de inzichten over de toestand van het riviersysteem zijn toegenomen. Waaronder die over de wenselijkheid en maakbaarheid van de huidige en voorgenoemde afvoerverdeling van hoogwater over de diverse Rijntakken (zie Klijn et al., 2022). En dus tot bevraging van de indertijd voorgestelde verdeling van extra afvoer boven die 16.000 m³/s over Waal, Lek (ontzien) en IJssel volgens een verhouding 80: 0 : 20, waar in de Systeembeschuwing een aantal nadelen van zijn vastgesteld (die worden besproken in hoofdstuk 2).

Tegen deze achtergrond bepleitte het ExpertiseNetwerk Waterveiligheid (ENW, 2021) een herbeoordeling van de beleidsuitspraak 'Lek ontzien' en een brede verkenning van wat op lange termijn de maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling zou moeten zijn. Vanuit de gedachte dat het handelen in het nu zou moeten zijn afgeleid van een visie over de lange termijn. Aan die oproep geeft het ministerie gehoor door – onder meer – het onderhavige onderzoek te laten uitvoeren.

De relevantie ervan wordt verder ondersteund doordat het Concept POW-IRM inmiddels tot een vergelijkbare oproep van de Commissie MER heeft geleid, terwijl ook de regionale en lokale overheden aan IRM, c.q. het ministerie, vragen om sneller meer duidelijkheid te bieden over de gewenste afvoercapaciteit; en in het bijzonder dus over het *hoeveel* en *waar* die afvoercapaciteit te realiseren? Want men beschouwt dit als een (potentiële) ruimteclaim voor water.

1.2 Vraagstelling

De hoofdvraag voor het onderzoek is de volgende:

Wat is voor de lange termijn de maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling over de Rijntakken bij hoge afvoeren, vanuit het perspectief van een veilige afvoer van hoog water naar zee, met het oog op de doelstellingen van IRM?

De vraag is dus niet beperkt tot uitsluitend rivierkunde, of een kosten-batentechnische vraag. Hoewel evident is dat hoogwaters veilig naar zee voeren alles te maken heeft met de kans op overstromingen en hun gevolgen (overstromingsrisico). Maar daarvoor hebben we in Nederland risico-gebaseerde beschermingsnormen en een hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Dat HWBP is echter volgend op de vraag hoe we 'goed functionerende riviersystemen' kunnen borgen, die hoogwaters veilig naar zee kunnen voeren. Want die vraag gaat over de inrichting van de rivieren als systeem. Voor een meervoudige doelstelling, zoals verwoord in de doelen van IRM.

Door de nadruk te leggen op 'maatschappelijk gewenst', is het nodig 'alle relevante' voor- en nadelen van alternatieve oplossingsrichtingen te beschouwen; ook al zal dat noodgedwongen vaak kwalitatief moeten of niet meer dan een redeneerlijn kunnen betreffen. En vanwege het gevraagde tempo om met richtinggevende uitspraken te komen, is de scope van het vooronderzoek op veel punten nog verder ingeperkt: zie hieronder.

1.2.1 Deelvragen

In overleg met de opdrachtgever is de hoofdvraag nader uitgewerkt in een aantal deelvragen, en wel als volgt:

- Is het beleid 'Lek ontzien' nog altijd valide? Dit is door het ENW onderschreven, maar met de aanbeveling er nog eens goed naar te kijken.
- Wat zijn belangrijke argumenten (criteria) om over de maatschappelijk meest gewenste verdeling te beslissen?
- Welke alternatieve afvoerverdelingen naast 'Lek ontzien' en het verdelen van het meerdere boven 16.000 m³/s over Waal en IJssel volgens een verdeling 80:20 zijn 'redelijkerwijs in beschouwing te nemen'?
- Met welke fysieke ingrepen kunnen de verschillende alternatieve afvoerverdelingen in het splitsingspuntengebied worden gerealiseerd (waaronder Lek ontzien)? Wat kan met de huidige verdeelwerken worden gestuurd, en met welke rivierverruimende maatregelen kan het extra debiet in de gewenste richting(en) worden geleid?
- Wat zijn de voor- en nadelen van die andere verdelingen, en welke consequenties hebben die, ook meer stroomafwaarts langs de riviertakken?

- Wanneer zou een besluit over één en ander wenselijk zijn en wanneer implementatie?

1.2.2 Scope

Integraal RivierManagement (IRM) beoogt de grote rivieren duurzaam goed te laten functioneren. Daarom wordt uitgegaan van **een blik op de verre toekomst (2100 en daarna)** om daaruit af te kunnen leiden wat nog voor en wat na 2050 moet worden gerealiseerd. Die lange-termijneriëntatie is vooral belangrijk om in het ruimtelijk beleid te kunnen anticiperen – en spijt van verkeerde keuzes over bijvoorbeeld woningbouw op ongelukkige locaties te kunnen voorkomen –, maar ook omdat planvorming en implementatie van grootschalige systeemaanpassingen (mogelijke binnendijkse rivierverruiming) decennia vergen.

De geografische focus van het onderzoek ligt vooralsnog op **het splitsingspuntengebied**, waar de geometrie van het winterbed en de verdeelwerken doorslaggevend zijn voor de afvoerverdeling. Dat betekent dat de nadruk ligt op de Boven-Waal (tot grofweg Nijmegen), het Pannerdens Kanaal en de Nederrijn (tot iets voorbij Arnhem), en de Boven-IJssel (tot ongeveer Lathum/ Doesburg).

Praktisch betekent dit dat – om een eerste indruk te krijgen van maakbaarheid – qua interventies wordt gekeken naar **rivierverruimingsmaatregelen** zoals geïdentificeerd en doorgerekend voor de Blokkendoos Ruimte voor de Rivier/ Spankracht. Dat wil zeggen dat kribverlaging, uiterwaardverlaging, het verwijderen van obstakels, dijkverleggingen en bypasses kunnen worden gebruikt om de afvoerverdeling te beïnvloeden. Maar dat **geen** ingrepen worden overwogen die leiden tot een wezenlijk ander riviersysteem zoals een **nieuwe riviertak** door de Boven-Betuwe of de Liemers. Rijnstrangen als 'bypass' past hier nog wel in, maar retentie niet, omdat dit geen effect heeft op de afvoerverdeling. Zomerbedverdieping is uitgesloten, omdat dit strijdig is met andere IRM-doelen.

Aangezien de belangrijkste argumenten om een tak te ontzien meer stroomafwaarts langs de Rijntakken – denk aan de Lek – of zelfs in de ontvangende grote wateren (IJsselmeer, Rijn-Maasmonding) kunnen liggen, worden de **consequenties** van de te verkennen afvoerverdelingen voor die meer **stroomafwaarts** gelegen gebieden wel geschetst. Maar er wordt (nog) niet gekeken naar welke interventies nodig zouden zijn om die te adresseren. Noch hoe de alternatieven zich op dat punt tot elkaar verhouden, anders dan in kwalitatieve zin.

Dat betekent dat deze studie als een **verkenning** moet worden beschouwd naar de maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling. Maar zo mogelijk wel een **richtinggevende**.

Alvorens tot werkelijke implementatie over te gaan is ook het volgende nog noodzakelijk (mede gebaseerd op het advies van het ENW (2021):

- een kritische beschouwing van de set mogelijke maatregelen die in Ruimte voor Rijntakken en Spankracht zijn verkend (wat hebben we nog gemist/ zit nog niet in de Blokkendoos?); en
- een nieuwe verkenning van de maximale afvoercapaciteit ('spankracht') van de diverse takken in hun volle lengte (in ieder geval Waal en IJssel) **met** rivierverruiming (ook binnendijkse).

1.3 Aanpak/ werkwijze

We zijn het onderzoek begonnen met een **vooronderzoek**, dat bestond uit literatuuronderzoek, alsmede het aanboren van de ervaringskennis en het vragen van een deskundigenoordeel van vele collega's van Rijkswaterstaat en Deltares. Dit vooronderzoek betreft dus een **bureaustudie**, waarvan de resultaten zijn vastgelegd in dit rapport.

Waar mogelijk is ook afgetapt uit relevant lopend onderzoek, onder meer naar de gevolgen van klimaatveranderingsscenario's (KNMI'23) op het afvoerregime, in het bijzonder op de zeer hoge (extreme) hoogwaters, en naar die van zeespiegelstijging. En naar maatregelen om de uitschuring van het zomerbed te verminderen of zelfs de rivierbodem weer omhoog te brengen.

Op basis van dit vooronderzoek zullen **hydraulische simulaties** worden uitgevoerd met D-HYDRO om de veronderstellingen te toetsen. Deze verkennende berekeningen zullen worden uitbesteed aan een adviesbureau, met als uitgangspunten:

- Voor de bodemligging uitgaan van vasthouden huidige bodem (dat is 2018 conform recente model en conform Nulalternatief IRM).
- Eerste berekeningen met de huidige situatie en de verdeelwerken in middenstand respectievelijk uiterste standen voor een reeks hoge afvoeren (10.000 – 14.000 – 16.000 – 17.000 – 18.000 – 20.000 m³/s bij Lobith).
- Daarna berekeningen met een aantal combinaties van maatregelen die de afvoerverdeling sterk richting Waal of juist Pannerdens Kanaal en IJssel kunnen trekken. De te overwegen maatregelen worden in dit vooronderzoek geïdentificeerd.

Het onderhavige rapport gaat uitsluitend over het **vooronderzoek**. Dit vooronderzoek is richtinggevend voor de genoemde kwantitatieve toetsing.

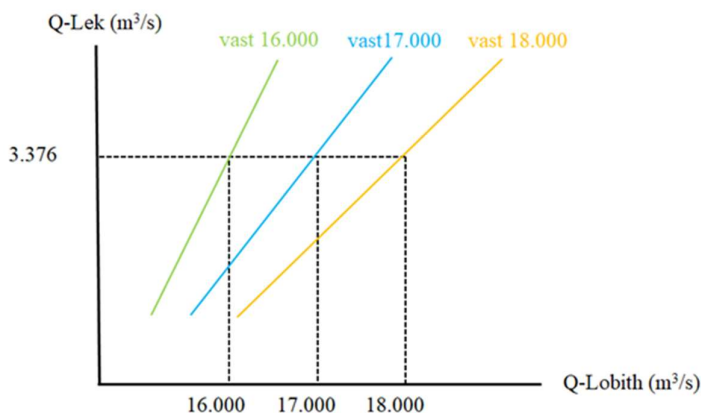
Hoe werkt de afvoerverdeling bij hoogwater eigenlijk, in relatie tot 'Lek ontzien'?

Er is tegenwoordig sprake van een door het beleid vastgestelde gewenste afvoerverdeling (zie Bijlage 2). Die geldt bij een bepaalde referentie-afvoer – voorheen de 'maatgevende afvoer' genoemd. Die referentie-afvoer is momenteel 16.000 m³/s, met een geschatte kans van optreden van 1: 10.000 per jaar. Bij die afvoer wordt een Rijnafvoer met behulp van de regelwerken bij de Pannerdense Kop en de IJsselkop (Hondsbroekse Pleij) als volgt verdeeld:

Bovenrijn	16.000	Waal	10.165	Waal	10.165
		Pannerdens Kanaal	5.835	Nederrijn- Lek	3.376
				IJssel	2.459

Maar als de afvoer groter is, gaat er in absolute hoeveelheden vanzelfsprekend meer water naar elke tak; en als de afvoer kleiner is, minder. Dat betekent dat het begrip 'Lek ontzien' niet in absolute termen mag worden geïnterpreteerd, maar in procentuele termen moet worden begrepen. Want het is niet zo dat de Nederrijn-Lek nooit meer kan krijgen dan die 3376 m³/s die door het beleid voor de huidige referentie-afvoer is vastgesteld. Hoewel dat soms wel – ten onrechte – wordt verondersteld.

Als wordt uitgegaan van een procentuele verdeling (met enige marges overigens, door verschillen in geometrie), zal de afvoer naar de Lek als functie van de Bovenrijnafvoer bij Lobith *ongeveer* zo zijn als is weergegeven in onderstaande Figuur 1. Dat wil zeggen, met de kleuren groen, blauw en geel. In Tabelvorm ziet dat eruit zoals in Tabel 1. Ongeveer, want hier is lineair geëxtrapoleerd, waar de werkelijkheid echter van afwijkt: zie paragraaf 2.2.



Figuur 1 Deel van de afvoer die volgens het besluit 'Lek ontzien' naar de Lek zal stromen bij verschillende referentie-afvoeren voor de Bovenrijn (respectievelijk 16.000, 17.000 en 18.000 m³/s; naar Schropp & Jansen, 2020)

Tabel 1 Afvoer per tak bij een instelling van de verdeelwerken conform beleid 'Lek ontzien' en verdeling 80:20 voor het meerdere over Waal en IJssel, bij instelling voor 3 referentie-afvoeren (in de groene vakken) en dan lineair geëxtrapoleerd naar de naastgelegen witte cellen.

		Afvoer per tak bij 16.000 Lobith			Afvoer per tak bij 17.000 Lobith			Afvoer per tak bij 18.000 Lobith			
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.376		6.200	3.587		6.564	3.798
		IJssel			2.459			2.613			2.766
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.325	10.325	17.000	10.970	10.970	18.000	11.616	11.616
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.675	3.177		6.030	3.376		6.384	3.575
		IJssel			2.498			2.654			2.810
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.467	10.467	17.000	11.121	11.121	18.000	11.775	11.775
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.533	3.001		5.879	3.188		6.225	3.376
		IJssel			2.532			2.690			2.849

2 Waarom alternatieve afvoerverdelingen verkennen?

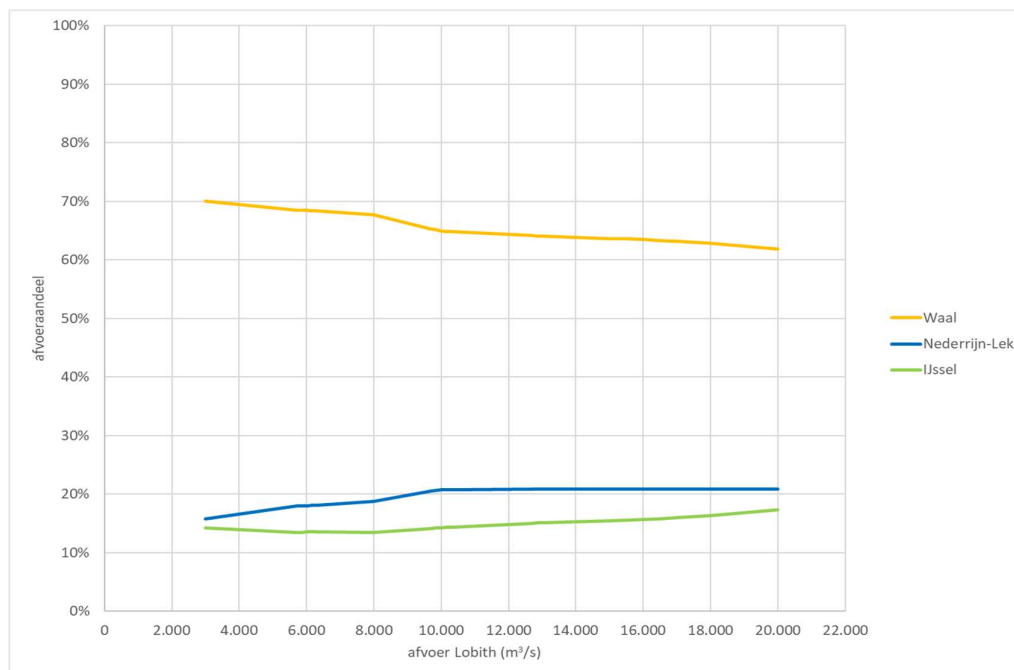
2.1 Ten geleide

Al sedert eind vorige eeuw is verscheidene malen gewezen op de noodzaak bij de inrichting van het land – en meer specifiek het rivierengebied – te anticiperen op de waarschijnlijke gevolgen van klimaatverandering (zie Bijlage 3). En daarbij rekening te houden met de grote regionale verschillen van een eventuele overstroming, zoals die voortvloeien uit enerzijds het verschillend overstromingsgevaar langs de drie Rijnakken en anderzijds de verschillende kwetsbaarheid van de gebieden waar deze rivieren langs of doorheen stromen (o.a. WL | delft hydraulics, 1997; Kors et al., 2000; Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000).

Met andere woorden – in IRM-terminen –: hoe een duurzaam veilige hoogwaterafvoer naar zee te borgen?

2.2 Hoe verdeelt een (extreem) hoge Rijnafvoer zich momenteel over de takken bij verschillende afvoeren?

De afvoerverdeling wordt bepaald door de geometrie en de hydraulische ruwheid van het zomer- en winterbed, alsmede door de regelwerken op de splitsingspunten.



Figuur 2 Procentuele verdeling over de 3 Rijnakken bij de huidige configuratie en instelling van de regelwerken, zoals berekend met WAQUA (brondata: De Jong, 2020).

Als we kijken naar de afvoerverdeling bij oplopende Bovenrijn-afvoeren en instelling van de regelwerken conform huidig beleid (Figuur 2), dan zien we het volgende:

- Tussen ongeveer 3000 en 8000 m³/s gaat bijna 70% naar de Waal. Bij 3000 m³/s zijn de stuwen op de Nederrijn-Lek geheel geopend en bij oplopende afvoer gaat de groene rivier naar Meinerswijk steeds meer meestromen, hetgeen het oplopen van het percentage afvoer door de Nederrijn verklaart ('de Nederrijn gaat meedoen').
- Tussen 8000 en 10.000 m³/s gaat steeds meer water door het regelwerk te Pannerden stromen, zodat meer via het Pannerdens Kanaal naar de Nederrijn-Lek en IJssel kan. Dan neemt het aandeel Waal af.
- In het bereik van 10.000 tot ruim 12.000 m³/s verandert de verdeling nauwelijks, maar komt de afvoer daar boven dan neemt het percentage dat over de IJssel gaat stromen geleidelijk steeds meer toe. Dat is grotendeels het gevolg van het relatief grote verhang van de Boven-IJssel in verhouding tot het geringe verhang van de Nederrijn ter hoogte van Arnhem.
- Bij verder toenemende afvoeren zet die verschuiving geleidelijk door, waarbij de Waalafvoer afneemt van aanvankelijk ruim 64% naar minder dan 63% en die van de IJssel toeneemt van aanvankelijk 15% naar ruim 16%.
- Mocht de afvoer boven die 18.000 m³/s uitkomen, dan wordt het opstuwingseffect van de Boven-Waal en de beperkte afvoercapaciteit van de flessenhals Arnhem zo merkbaar, dat de Waal minder dan 62% overhoudt en de IJssel meer dan 17% gaat afvoeren. De lijn van de Waal buigt aan de rechterzijde van Figuur 2 dan ook naar beneden, die van de IJssel naar boven.

De hier getoonde verdeling is berekend met het WAQUA-model voor de bodemhoogte van 2018 en met de verdeelwerken ingesteld zoals dat volgens de huidige 'beleidsmatige verdeling' zou moeten. Nieuwe hydraulische analyses met het nieuwe D-HYDRO-model moeten uitwijzen of deze verdeling ook dan nog geldt.

2.3 Nieuwe inzichten over het afvoerverdelingsvraagstuk

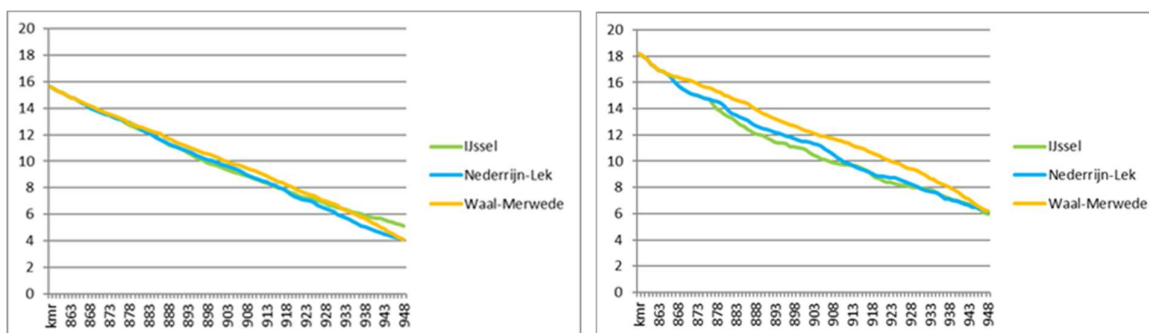
Uit recent onderzoek zijn intussen nog twee nadelen van de huidige en voorgenomen toekomstige afvoerverdeling gebleken, die eerder niet zo prominent in beeld waren. De Systeembeschouwing-IRM (Klijn et al., 2022) wijst daar als volgt op:

- de noodzaak het Pannerdens Kanaal en de IJssel sterk af te knippen ter hoogte van de splitsingspunten om het water maar over de Waal te kunnen sturen (met opstuwing tot in Duitsland als gevolg);
- en de relatief hoge hoogwaterstanden in de Waal (in vergelijking met de Nederrijn en IJssel) plus de zeer grote decimeringshoogten als gevolg van die 'onevenredige belasting' – ook wel aangeduid als geringe hydraulische robuustheid (Klijn et al., 2019) of 'hyperventileren'.

2.3.1 Afknippen en opstuwing door de verdeelwerken

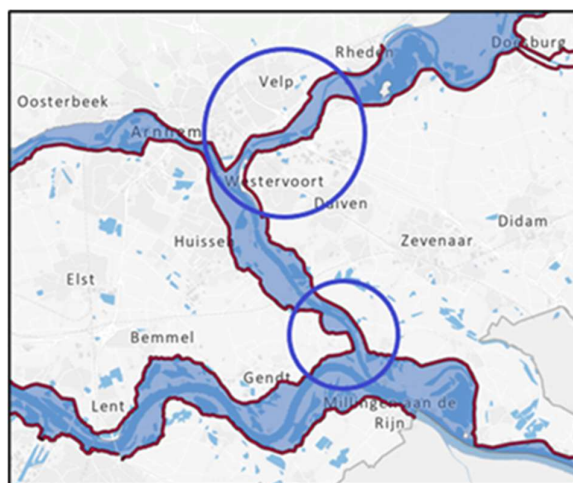
De beleidsmatige afvoerverdeling bij 16.000 m³/s wordt vooral gerealiseerd door de geometrie rond de splitsingspunten en met de regelwerken. Om de gewenste grote portie afvoer naar de Waal te sturen zijn de respectieve aftakkingen naar het Pannerdens Kanaal en de IJssel relatief krap gemaakt.

Om daar een goed beeld van te krijgen, is het relevant te kijken naar de verhanglijnen van de drie Rijntakken voor steeds hogere Rijnafoeren, bijvoorbeeld een 1:10 per jaar en een 1:10.000 per jaar afvoer (Figuur 3).



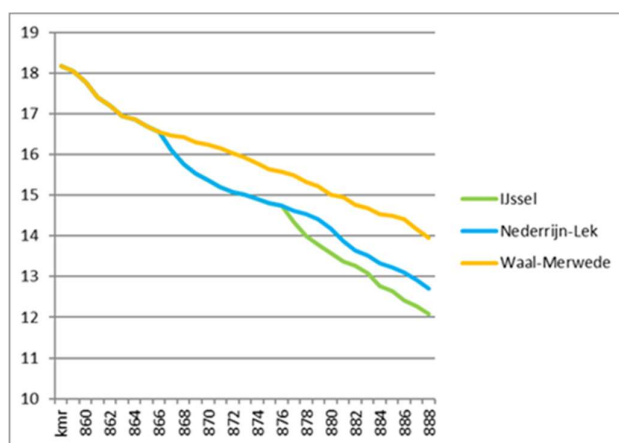
Figuur 3 Verhanglijnen van de drie Rijntakken bij een Rijnafvoer met een kans van optreden van ongeveer 1:10 per jaar (links) en 1: 10.000 per jaar (rechts). De verschillen worden pregnanter. (op de x-as rivierkilometers, y-as NAP + m).

Waar deze verhanglijnen bij matig hoge rivierafvoeren ongeveer gelijk lopen, komt de Waal bij extremere afvoeren verhoudingsgewijs sterk omhoog (en wordt zelfs convex, omdat het water verder stroomafwaarts niet goed door het smalle winterbed past). Met als gevolg dat het water naar het noorden wil stromen. Om het water toch door de Waal te kunnen sturen – respectievelijk de Nederrijn – moeten bij de splitsingspunten respectievelijk het Pannerdens Kanaal en de IJssel sterk worden afgeknepen. Daartoe zijn de uiterwaarden bij beide afsplitsingen extra smal gemaakt (Figuur 4) en moeten de regelwerken bij toenemende ‘referentie-afvoeren’ steeds verder worden dichtgezet.



Figuur 4 De planvorm van het splitsingspuntengebied toont duidelijke flessenhalzen bij de aftakkingen van het Pannerdens Kanaal en de IJssel, teneinde het aandeel hoogwaterafvoer via die takken te beperken (uit Klijn et al., 2022)..

Het opstuwingseffect van de Waal en Nederrijn blijkt heel duidelijk als we op de verhanglijnen rond de splitsingspunten inzoomen (Figuur 5). Dan blijkt dat bij een afvoer van $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$ de Waal binnen 5 km van het splitsingspunt al 1,0 m *hoger* staat dan het Pannerdens Kanaal en voor het water Nijmegen passeert zelfs meer dan 1,3 m hoger. De IJssel staat binnen 1 km van het splitsingspunt 0,5 m *lager* dan de Nederrijn en het verschil loopt binnen nog een kilometer verder op tot $> 0,6 \text{ m}$.



Figuur 5 De verhanglijnen van de drie Rijntakken in het splitsingspuntengebied bij een Rijnaflow van 16.500 m³/s, met een kans van optreden ongeveer 1: 10.000 per jaar.

Samengevat zien we dus dat de Boven-Waal opstuwt en dat het water liever door het Pannerdens Kanaal wil. Vervolgens zien we dat het smalle stuk Nederrijn ter hoogte van Arnhem eveneens opstuwt en het water liever de IJssel in wil.

Het gevolg is dat – tenzij dit wordt verhinderd door de verdeelwerken nog verder dicht te zetten – de *procentuele* afvoer door de Waal bij toenemende afvoeren¹ afneemt en die door de IJssel toeneemt, zoals getoond in Figuur 2. Uit de precieze getallen achter Figuur 2 blijkt dat van het surplus boven 16.000 m³/s *bij de huidige geometrie en instelling van de regelwerken* bij Bovenrijn-afvoeren van 17.000 en 18.000 m³/s *door deze verhangverschillen* nu slechts ongeveer 58% van het meerdere naar de Waal stroomt en 43% door het Pannerdens Kanaal gaat, waarvan weer meer dan de helft naar de IJssel. Bij 20.000 m³/s wordt dat zelfs slechts 55% naar de Waal en 45% door het Pannerdens Kanaal (21% Nederrijn en 24% IJssel).

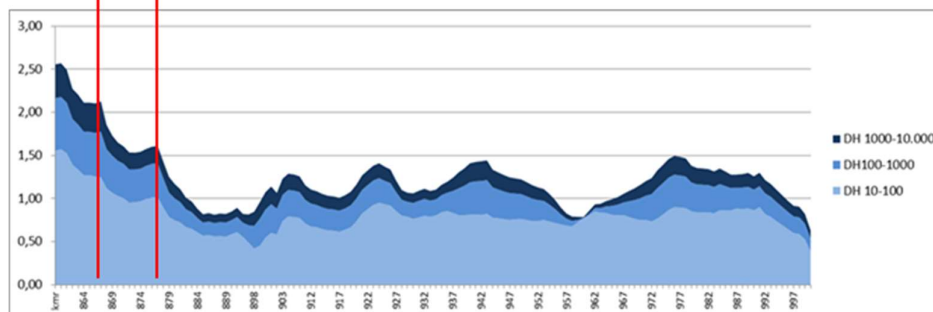
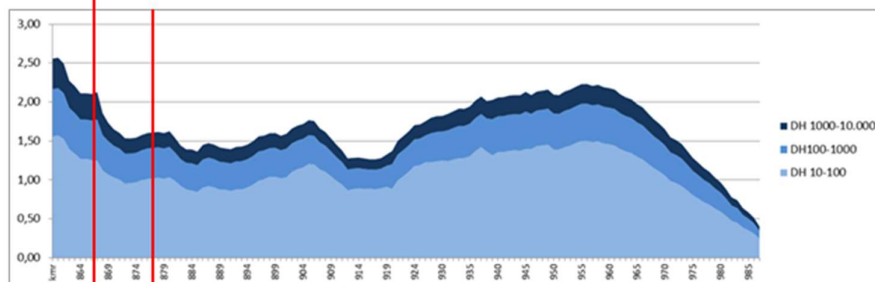
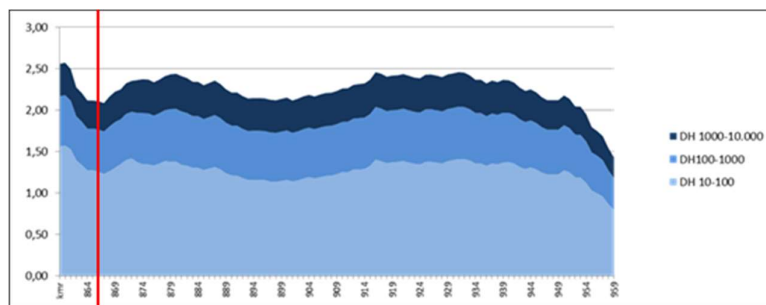
2.3.2 Verschillen in robuustheid: decimeringshoogtes

De oorzaak van de beschreven fenomenen zit (deels) in de verschillen in winterbedbreedte van de diverse takken. Het winterbed van de IJssel is ongeveer net zo breed als dat van de Waal (hoewel het zomerbed natuurlijk veel smaller is). Bij toenemende afvoer leidt dat ook tot een verschillend ‘ademgedrag’ bij hoge rivierafvoeren, zoals dat blijkt uit de decimeringshoogtes (Qh-relaties) – met een ‘hyperventilerende’ Waal en een relatief rustig ademende IJssel (Figuur 6).

Bij toenemende Rijnaflow wordt de waterstand op de Waal veel hoger (2 tot 2,5 m verschil tussen een 1:10 en een 1: 10.000 afvoer), waar dat op de IJssel slechts 1 à 1,5 m is. De Nederrijn-Lek zit daar tussen, maar het meest stroomafwaarts gelegen traject (de Lek, dus, stroomafwaarts van Wijk bij Duurstede, kmr 928) vertoont ook grote verschillen door relatieve krapte².

¹ En veronderstellende dat de bodemligging en andere hydraulisch relevante geometrische en ruwheidsfactoren gelijk blijven.

² Voor een verklaring vanuit de geomorfologische ontstaansgeschiedenis, zie Kleinhans et al., 2013.



Figuur 6 Decimeringshoogten (cumulatieve waterstandsverschillen) tussen 4 verschillende hoge afvoeren (kans van optreden 1:10 t/m 1:10.000 per jaar) op de drie verschillende Rijntakken, als maat voor robuustheid (Klijn et al., 2019). Boven: Waal; midden: Nederrijn-Lek; onder: IJssel. De rode lijnen geven de locatie van de splitsingspunten aan.

3 Lek ontzien, toenemende hoogwaterafvoer over Waal en IJssel afvoeren

3.1 Achtergrond

In de PKB-Ruimte voor de Rivier (deel 4, Ministerie Verkeer & Waterstaat, 2006) is vastgelegd dat – mocht de ‘maatgevende’ Rijnafvoer door klimaatverandering verder toenemen – de Nederrijn-Lek zou worden ontzien; en dat de extra afvoer boven de 16.000 m³/s zou worden verdeeld over de Waal en de IJssel:

“De procentuele afvoerverdeling over de verschillende Rijntakken bij de maatgevende rivierafvoer, geldend voor 15.000 m³/s, wordt ook bij de in 2001 vastgestelde maatgevende afvoer van 16.000 m³/s gehandhaafd. Bij een verdere toename van de maatgevende rivierafvoer boven 16.000 m³/s wordt de extra afvoer verdeeld over de Waal en de IJssel.”

Dit betekent dat de afvoer van de Nederrijn-Lek bij een steeds hoger wordende ‘maatgevende afvoer’ bij de nieuwe hogere ‘maatgevende afvoer’ gelijk of kleiner moet zijn dan die 3376 m³/s.

Maar – zoals het ENW (2021) opmerkt – de crux van deze beleidsuitspraak zit in het woord ‘procentuele’. Want dit impliceert dat het percentage van de totale Bovenrijn-afvoer afvoer dat over de Nederrijn-Lek afstroomt, afneemt, van 21% naar 20% respectievelijk 19% als de maatgevende afvoer (vanaf 2017: referentie-hoogwaterafvoer) zou worden bijgesteld naar 17.000 resp. 18.000 m³/s (Schropp & Jansen, 2020; ENW-advies Lek ontzien/ Afvoer-verdeling Rijntakken, 2021; Klijn et al., 2022).

3.2 Oorspronkelijke argumentatie voor Lek ontzien

Argumenten om de Lek in de toekomst te gaan ontzien waren volgens de PKB Ruimte voor de Rivier (zie PKB-deel 1, 2005) de volgende:

1. Vooral bij de Lek liggen de dijken dicht langs de rivier, uiterwaarden zijn er niet of zijn slechts zeer smal. Rivierverruiming in de vorm van uiterwaardverlaging is daarom niet of nauwelijks mogelijk.
2. Omdat de dijken dicht langs de rivier liggen heeft ook zomerbedverdieping forse nadelen, voor de macro-stabiliteit van de waterkeringen en omdat doorlatende zandlagen worden aangesneden, waardoor kwelstromen naar binnendijks gebied zullen versnellen met gevaar voor piping en opdrijven van de afdekkende veenpakketten als gevolg.
3. Dijkversterking langs de Lek is niet onmogelijk maar vraagt wel om uitgekende en vaak kostbare oplossingen, want:
 - over grote lengten ligt (lint)bebouwing dichtbij, of tegen de dijk aan.
 - de dijken liggen in een omgeving met een dikke slappe veenondergrond, die weinig tot geen zijdelingse steun biedt.
4. Maatregelen langs de Lek brengen vooral op lange termijn veel grotere problemen met zich mee dan maatregelen langs de Waal en de IJssel.

Het ENW meende dat de eerste drie argumenten nog steeds geldig zijn, maar kon het laatste argument niet goed duiden. Ook meende het ENW dat deze argumenten mogelijk niet langer doorslaggevend zijn, omdat de context is veranderd. Daarover gaat de volgende paragraaf.

In achterliggende documenten over de afvoerverdeling – of die de afvoerverdeling ter discussie stelden (zie Bijlage 3) – zijn de eerste drie argumenten eveneens terug te vinden. Maar uit die documenten kunnen nog wel meer argumenten worden afgeleid, die dus al eerder naar voren zijn gebracht en mogelijk enig licht werpen op wat met het vierde argument in de PKB bedoeld kan zijn. Dan gaat het – naast de al genoemde **mogelijkheden** de afvoercapaciteit te vergroten met rivierverruiming en/of dijkverhoging – deels om vaststellingen (feiten) en deels om veronderstelling (hypothesen), namelijk:

- **Lengte** van de Rijntak naar zee/ verhang: de Lek is de langste van de drie Rijntakken, zodat deze het minst goed afstroomt (genoemd door WL | delft hydraulics, 1997; Baan & Klijn, 1998; Klijn, 1999; Van der Most, 2000; Kors et al., 2000; Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000).
- **Kosten** (kosten-effectiviteit) van het vergroten van de afvoercapaciteit, door hetzij rivierverruiming hetzij dijkverzwaring (Klijn, 1999; Van der Most, 2000; Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000). De veronderstelling was dat drie riviertakken aanpassen duurder is dan slechts twee of één, en dat aanpassing van de langste dan waarschijnlijk het duurste zou uitvallen.
- **Gevaarlijkheid** van de riviertak, zoals af te leiden uit het hoogteverschil tussen de hoogwaterstand op de rivier en het maaiveld binnendijs (Silva et al., 2000). Nu is de Nederrijn-Lek niet de gevaarlijkste van de drie Rijntakken (dat is de Waal), maar hoogwaters op de smalle Lek stroomafwaarts van stuw Hagestein rijzen wel hoog boven de Alblasserwaard en Krimpenerwaard uit; veengebieden waar forse bodemdaling toch al een probleem was en is.
- **Kwetsbaarheid** van de aanliggende dijkkringgebieden, zowel vanuit potentiële schade als slachtoffers (incl. evacueerbaarheid van de aangrenzende of door rivieren omsloten gebieden) (WL | delft hydraulics, 1997; Baan & Klijn, 1998; Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000). Een doorbraak van de Lekdijken zou een overstroming kunnen veroorzaken die tot Amsterdam reikt (indien doorbraak bij Amerongen) of grote delen van de Randstad kunnen overstroomden. In vergelijking met de IJssel gaat het dan om veel kwetsbaarder gebieden.
- **Kombergingscapaciteit** van het **ontvangende water**, waarin bij hoge zeestand door beperkte spuumogelijkheden tijdelijke opslagcapaciteit moet worden gevonden: het Noordelijk deltabekken (Rijn-Maasmonding) heeft een veel kleiner oppervlak dan het IJsselmeer (Baan & Klijn, 1998; Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000). De Lek stroomt bij Krimpen uit in de Nieuwe Maas (Rotterdam), waar je het niet wilt hebben.

3.3 Veranderingen in de context

Hoewel het ENW vaststelde dat de argumenten voor 'Lek ontzien' die in de PKB waren genoemd nog geldig waren, werd betwijfeld of ze doorslaggevend waren. Het ENW merkte namelijk op dat de nieuwe hoogwaterbeschermingsnormen de zaak in een ander daglicht zouden kunnen plaatsen. En dat daarom Lek ontzien herbevestiging behoefde. Daarover werd door het ENW het volgende naar voren gebracht:

“Ten opzichte van de PKB-formulering en de toen geldende denkwijze zijn twee zaken veranderd. Ten eerste is de overstromingsrisicobenadering ingevoerd met de bijbehorende nieuwe normen (...). Daardoor kent het 'hoogwaterbereik' nu een grote verscheidenheid aan normen en bijbehorende kansen op optredende afvoeren met bijbehorende waterstanden in het rivierengebied.

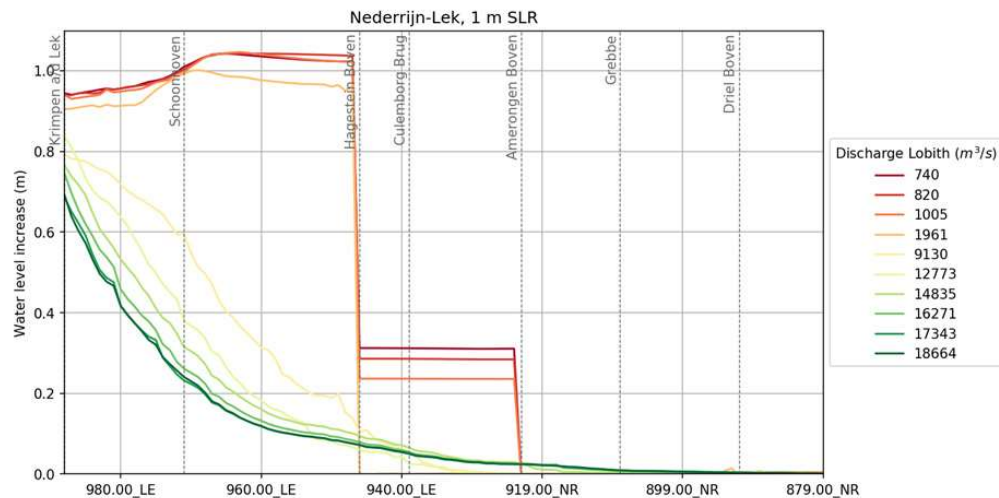
Ten tweede was ten tijde van de PKB het uitgangspunt over dijkverhoging: 'nee, tenzij...', ofwel als terugvaloptie als rivierverruiming te moeilijk zou blijken. In de praktijk van Ruimte voor de rivier zijn langs de Nederrijn-Lek al over grote lengtes dijken versterkt en is daar waar mogelijk rivierverruiming uitgevoerd. In het Deltaprogramma is nu voorgesteld dat de nieuwe normen behaald moeten worden met een 'krachtig samenspel tussen

rivierverruiming en dijkversterking'. Daarmee wordt de optie opengelaten om verbetering (of verhoging) toe te passen."

Het eerste, de overstap naar de risicobenadering, heeft geleid tot verschillende beschermingsnormen voor verschillen dijktrajecten, die zijn afgeleid van de verwachte gevolgen van een dijkdoorbraak. Dat is een fundamenteel verschil met de situatie in het recente verleden. Het betekent dat verschillen in kwetsbaarheid van het beschermde gebied worden ondervangen door verschillende overstromingskansnormen vast te stellen. Zo is ten eerste vanaf 2050 iedere burger achter een waterkering even goed beschermd tegen verdrinking (basisveiligheid). En zo wordt nu tevens 100 miljoen euro schade eens per 1000 jaar equivalent geacht aan 10 miljard euro schade eens per 100.000 jaar. Dat maakt dat *rekenkundig* verschillen in **gevaarlijkheid** van de rivier en **kwetsbaarheid** van de omgeving niet meer differentiëren, omdat hun product (risico) gelijk is. Dan zouden ze mogelijk niet langer relevant zijn als argument voor het ontzien van de Lek³.

De nieuwe normen – en nieuwe inzichten over faalmechanismen – hebben wel geleid tot de noodzaak van ingrijpende dijkverzwaringen langs alle rivieren, ook langs de Lek. Want hoewel de dijken maar zelden te laag blijken, zijn ze inmiddels heel vaak als te zwak beoordeeld. Daarom zijn en worden ze de komende decennia op grote schaal versterkt. En langs de Lek blijkt dat op z'n zachtst gezegd 'niet eenvoudig'. Waarbij ook nog geldt dat ook de faalmechanismen piping, opdrijven en macro-instabiliteit worden 'aangedreven' door waterdruk, dus door hogere rivierwaterstanden. Waterhoogte doet er dus toe.

Het tweede door het ENW naar voren gebrachte, namelijk de mogelijkheid tot dijkverzwaring en/of -verhoging in plaats van de rivier te verruimen, was voor de Lek ook al in de PKB voorzien. Want men zag ook toen al in dat de zeespiegelstijging in het overgangsgedebied (dat wil zeggen benedenstrooms van stuw Hagestein) dijkverhoging *sowieso* noodzakelijk zou maken (zie ook Figuur 7). Met een grotere rivierafvoer over de Lek zou die 'opgave' nog groter worden.



Figuur 7 Verhoging van de waterstanden op de Nederrijn-Lek bij verschillende rivierafvoeren als gevolg van een 1 m hogere zeespiegel. Bij hoge en zeer hoge afvoeren (> 10.000 m³/s) is het effect beperkt tot het stroomafwaartse deel van de rivier (tussen Krimpen en Hagestein) (uit Klijn et al., 2022, overgenomen uit memo J. de Jong, Deltares, 2020).

³ Psychologisch kan het overigens anders liggen, want door zowel de bevolking als de politiek worden frequent enkele slachtoffers geheel anders gepercipieerd dan heel zelden een groot aantal slachtoffers: 'Een ramp!. Dit mag nooit weer!'

3.4 Aanleiding tot herziening van deze beleidskeuze?

De Systeembeschouwing IRM (Klijn et al., 2022) stelde over Lek ontzien het volgende:

“In het kader van Ruimte voor Rivier is de beleidskeuze gemaakt om – na uitvoering van het rivierverruimingsprogramma – de Lek in de toekomst bij verdere klimaatverandering te ontzien. De argumenten daarvoor waren onder meer:

- De afvoer via Nederrijn-Lek is de langste weg naar zee (memo Klijn, 1999), dus onlogisch.
- De Lek is, als relatief jonge zijrivier van de oorspronkelijke (Oude) Rijn, relatief smal en kent vrijwel geen uiterwaarden, waardoor buitendijkse rivierverruiming lastig is.
- De Lek loopt door veenweidegebieden, waar de ontsluiting over de oeverwallen, later dijken, is geregeld en lintbebouwing kenmerkend is. Door de lintbebouwing en de zeer slappe grond (tot plaatselijk 8 m dik laagveen) is zowel dijkverlegging (binnendijkse rivierverruiming) als dijkverzwarende technisch lastig, maatschappelijk zeer ingrijpend en verhoudingsgewijs duur.

Deze argumenten zijn nog grotendeels valide, hoewel met de nieuwe normen (sedert 2017) – die berusten op een risicobenadering – een maatgevende waterstand als maat der dingen is vervallen. Het ENW heeft de validiteit van deze argumenten onlangs nog bevestigd en er tevens op gewezen dat de maatgevende waterstand de facto is vervangen door een maatgevend waterstandsregime; waarin matig hoge, hoge en zeer hoge waterstanden alle relevant zijn. Maar dat betekent ook dat waterstand – als hydraulische randvoorwaarde voor dijkenbouwers – nog steeds een zeer relevante parameter is.”

Na een uitgebreidere beschouwing concludeerde de Systeembeschouwing over ‘Lek ontzien’ tenslotte:

‘Alles in beschouwing nemend, de oorspronkelijke argumenten en de hier nieuw aangedragen argumenten, is er nog steeds veel voor te zeggen om de Lek te willen ontzien bij afvoeren boven de 16.000 m³/s die – na Ruimte voor de Rivier – in theorie door de Rijntakken past.’

Kortom: er lijken vele redenen om de **Lek** te willen **ontzien**. En er zijn vrijwel geen redenen daarop terug te komen.

3.5 Hoe ‘Lek ontzien’ te realiseren?

Om de Lek te ontzien moet bij de Hondsbroekse Pleij verhoudingsgewijs meer naar de IJssel en minder naar de Nederrijn stromen. Maar daarbij is het ook relevant hoeveel extra water door het Pannerdens Kanaal stroomt. Dus de afvoerverdeling bij Pannerden is medebepalend.

In de Rivierkundige Studie Splitsingspuntengebied (Rijkswaterstaat, 2017) wordt vermeld dat door het openzetten van het verdeelwerk Hondsbroekse Pleij waarschijnlijk een verschuiving van ongeveer 175 m³/s richting IJssel valt te realiseren. Bij 16.000 m³/s.

Al eerder (Schropp, 1999) was vastgesteld dat met gerichte rivierverruiming nabij de splitsingspunten de afvoerverdeling eenvoudig kan worden beïnvloed. Dat is makkelijker in de richting van de tak met het steilste verhang dan in andere richting. Dus makkelijker richting IJssel dan richting Nederrijn. En dat wordt bevestigd in de studie van Rijkswaterstaat (2017) naar de invloed van maatregelen die werden overwogen voor RivierKlimaatPark-IJsselpoort; die trekken namelijk meer water naar de IJssel dan volgens het vigerend beleid

gewenst is. Ook is vastgesteld dat 'correctie' daarvan met verruimingen op de Nederrijn iets lastiger was dan eerder verondersteld. Hetgeen verklaard kan worden uit de flauwe verhanglijn in de flessenhals tussen Arnhem- Centrum en Malburgen.

Recente simulaties met D-HYDRO door Witteveen & Bos ten behoeve van de meer gedetailleerde planvorming voor RivierKlimaatPark- IJsselpoort wezen zelfs uit dat de afvoerverdeling door maatregelen op de Boven-IJssel sterk verschuift richting IJssel. Dat betekent dat 'Lek ontzien' bij de IJsselkop waarschijnlijk relatief eenvoudig valt te realiseren.

Maar het hangt dus af van hoeveel extra afvoer over het Pannerdens Kanaal wordt afgevoerd, hoeveel bijsturing noodzakelijk is. Als voor de gedachtenvorming wordt uitgegaan van de voorgestelde verdeling Waal: Nederrijn-Lek: IJssel = 80: 0: 20, dan zou dat bij overgang van 16.000 naar 17.000 m³/s een extra debiet van ongeveer 200 m³/s zijn en bij verdere verschuiving naar 18.000 m³/s nog eens zoveel; dus samen ongeveer 400 m³/s als 'bij te sturen debiet' op de IJsselkop (Tabel 1).

Maar als voor een andere afvoerverdeling over Waal en IJssel zou worden gekozen, gaan deze hoeveelheden natuurlijk schuiven. Met nog meer over de Waal, wordt het bij IJsselkop 'bij te sturen debiet' kleiner. Met meer over de IJssel wordt het groter. Zie daarvoor hoofdstuk 5.

4 Relevante criteria voor de afweging wat maatschappelijk het meest gewenst is

4.1 De al eerder genoemde criteria

Het voorafgaande hoofdstuk over 'Lek ontzien' samenvattend, kunnen de volgende criteria al worden genoemd als relevant voor een beoordeling van wat de voor de lange termijn maatschappelijk meest gewenste afvoerverdeling zou kunnen zijn:

- **Lengte** van de Rijntak naar zeeniveau c.q. IJsselmeerpeil, ofwel het verhang.
- **Mogelijkheden** (moeilijkheidsgraad) om de afvoercapaciteit van de gehele riviertak te vergroten met hetzij rivierverruiming hetzij dijkverhoging of een combinatie van die beide.
- **Kosten** (kosten-effectiviteit) van het vergroten van de afvoercapaciteit.
- **Kombergingscapaciteit** van het **ontvangende water**.
- **Gevaarlijkheid** van de riviertak, zoals af te leiden uit het hoogteverschil tussen de hoogwaterstand op de rivier en het maaiveld binnendijks, omdat dat bepalend is voor de snelheid van instroom, de snelheid van bresgroei en de einddiepte van een overstroming.
- **Kwetsbaarheid** van de aanliggende dijkringgebieden, zowel vanuit potentiële schade als slachtoffers (incl. evacueerbaarheid van de aangrenzende of door rivieren omsloten gebieden).

4.2 Recente suggesties voor extra criteria

In een studie door de Universiteit Utrecht (Kleinans et al., 2013) is onder de titel '*Wat wil de rivier zelf eigenlijk?*' beschreven hoe onze rivieren zich van nature zouden willen ontwikkelen, als de mens niet steeds zou ingrijpen. Zo blijkt uit reconstructies van de geologische geschiedenis dat bij hoge afvoeren een veel groter percentage naar het noorden is gestroomd en dat ook nu nog veel meer afvoer graag (liever?) naar het noorden zou stromen. Met de toenemende aandacht voor '*nature-based solutions*' en het beleid Water en Bodem Sturend (WBS), kan ook daar nog wel een argument aan worden ontleend, namelijk het water zoveel mogelijk z'n eigen weg te laten zoeken. Kort gezegd: **wat de rivier zelf wil**.

Recenter is ook nog het criterium **robuustheid** (relatieve ongevoeligheid voor onzekerheden) aangedragen (Klijn et al., 2019). Dat verwijst naar het 'ademgedrag' van de verschillende riviertakken in respons op afwijkende of hogere rivierafvoeren. Dat ademgedrag blijkt bij de huidige afvoerverdeling sterk te verschillen tussen de drie Rijntakken, zoals besproken in paragraaf 2.3.2.

En al eerder is gewezen op **meekoppelkansen** in de vorm van bijvoorbeeld natuurontwikkeling of – breder – ruimtelijke kwaliteit. Dat past bij de ambities van IRM om meerdere doelen te dienen. Maar het kan óók worden beschouwd als tegenhanger van moeilijkheidsgraad. Want rivierverruiming is vaak makkelijker als er meekoppelkansen zijn; en er andere lokale of regionale partijen zijn die graag een gebied willen ontwikkelen.

Alle in de vorige paragraaf genoemde argumenten en zelfs enkele van de hier opgevoerde recente toevoegingen zijn ook door het ENW (2021) weer genoemd als relevant voor een beleidsafweging. En in de Systeembeschuwing IRM (Klijn et al., 2022) zijn er al enkele grofstoffelijke kwantificeringen aan gekoppeld, die hieronder zullen worden aangehaald.

Tenslotte is voor de rivierbeheerder, Rijkswaterstaat, de **maakbaarheid** c.q. handhaafbaarheid van de gewenste afvoerverdeling natuurlijk een belangrijk criterium. En dat is dus niet alleen in de huidige situatie, maar ook in de toekomst als externe omstandigheden, zoals het afvoerregime van de rivier of de rivierbodem, veranderen.

Dan gaat het dus om aanpasbaarheid/ uitbreidbaarheid, of – met een nog bredere connotatie – flexibiliteit.

4.3 Kostenoverwegingen

Naar kostenverschillen is vrij kort geleden relevant onderzoek gedaan, dat nadrukkelijk de vraag stelde of ‘in het licht van de risicobenadering’ anders tegen Lek ontzien en de afvoerverdeling in het algemeen moet worden aangekeken (Asselman et al., 2018; 2019). Daarbij is verkend in hoeverre verschillende afvoerverdelingen zouden leiden tot verschillen in maatschappelijke kosten, opgebouwd uit investerings- en onderhoudskosten voor dijkverzwaring enerzijds en gemonetariseerde overstromingsrisico's anderzijds. De conclusie was dat de kostenverschillen maximaal enkele honderden miljoenen euro's zijn. Maar dat dat overeen komt met slechts maximaal 2% van de totale maatschappelijke kosten. Dat betekent dat geen sprake is van significante verschillen tussen de verschillende alternatieve afvoerverdelingen. Dat wil zeggen, als wordt **uitgegaan van** besluitvorming nu en van **dijkverzwaring** als maatregel.

In dit verband is ook een oudere studie voor WV21 nog interessant (Van der Most, 2000), die eveneens de vraag naar de gewenste afvoerverdeling op lange termijn stelde, maar waarbij **werd uitgegaan van rivierversuiming**, aangevuld met dijkverhoging in de benedenstroomse gebieden en rond de ontvangende wateren (Noordelijk Deltabekken, IJsselmeer). Dat onderzoek geconcludeerde eveneens dat *de verschillen tussen de beschouwde opties ... klein en niet onderscheidend' zijn en het gelet op de onzekerheden in de verschillende kostenschattingen ... moeilijk is een duidelijke voorkeursoptie aan te wijzen.'*

Beide onderzoeken wijzen dus uit dat kostenverschillen niet – of in ieder geval niet doorslaggevend – differentiëren tussen verschillende afvoerverdelingen.

Ofwel: ook als van rivierversuiming wordt uitgegaan zijn kostenverschillen tussen verschillende afvoerverdelingen waarschijnlijk niet doorslaggevend. We zouden zelfs, in navolging van Van der Most (2000), kunnen aanbevelen niet langer veel tijd en energie te besteden aan gedetailleerde kostenschattingen, gezien de onzekerheden daarover.

4.4 Eerste grofstoffelijke reflectie in de Systeembeschouwing

Tegen de hiervoor geschetste achtergrond en ook over recentelijk voorgestelde additionele criteria is in de Systeembeschouwing IRM (Klijn et al., 2022) al één en ander gezegd. Als volgt:

“Als we de breed ondersteunde risicobenadering van het waterveiligheidsbeleid als grondslag accepteren, zijn de volgende additionele overwegingen relevant bij de vraag welke eventuele verandering van de afvoerverdeling maatschappelijk het meest gewenst is:

- Hoe verhouden de Rijntakken zich qua **gevaarlijkheid**? Ofwel: hoe hoog rijst een rivier bij hoogwater boven het beschermde achterland uit? En hoeveel water wordt langs die tak aangevoerd?
 - *Een eerste indruk is dan dat de Waal het gevaarlijkst is, gevolgd door de Nederrijn- Lek en tenslotte de IJssel.*
- Hoe zit het met de kwetsbaarheid van de beschermde gebieden langs de Rijntakken? Ofwel: ...”. “Hoeveel mensen wonen er? Is evacuatie moeilijk of makkelijk (te verwachten stijgsnelheid van het water, nabijheid hoge gronden)? Hoe groot is het directe schadepotentieel? Is bij overstroming maatschappelijke ontwrichting van het gehele land te verwachten?

- Hier is de eerste indruk dat:
 - de gebieden langs de Nederrijn-Lek het kwetsbaarst zijn (Betuwe + Gelderse Vallei + delen Randstad; schadepotentieel en potentieel aantal getroffen en bij de huidige rivierwaterstanden ca 140 miljard euro resp. 1,75 miljoen⁴),
 - dan die langs de Waal (ca 110 miljard euro schadepotentieel resp. 690.000 potentieel getroffen en),
 - en tenslotte die langs de IJssel (34 miljard euro schadepotentieel resp. 365.000 potentieel getroffen en).
- Hoe zit het met de bergingscapaciteit van het ontvangende gebied en de kwetsbaarheid van de dijkringen daaromheen (Rijn-Maasmondgebied versus IJsselmeer)?
 - Enkele grove kentallen: het Noordelijk Deltabekken (zonder de Zeeuwse wateren) heeft een buitendijks niet-hoogwaterdij oppervlak van ong. 36.000 ha, het (noordelijk) IJsselmeer is met meer dan 110.000 ha zeker drie maal zo groot.
- Hoe verhoudt zich de **robuustheid** van de Rijntakken? Ofwel: Is de waterstand op de rivier erg gevoelig voor afwijkingen in de afvoer, zowel relatief (in procenten toename) als in absolute zin?
 - Eerste indruk: zoals betoogd (in paragraaf 2.3.2) reageert de Waal het sterkst op een toename van de Rijnafvoer, maar daar staat tegenover dat 100 m³/s extra op de wijde en – bij hoogwater – diepe Waal veel minder betekent dan 100 m³/s extra op de smalle en ondiepere IJssel. Op de Waal levert 100 m³/s extra een bijna 5 cm hogere waterstand, maar op de IJssel is dat 10 cm (Silva et al., 2001).

Over 'de kortste en geologisch ... meest **logische weg naar zee?** (zuiverder: welke rivier heeft het steilste verhang?)' stelt de Systeembeschouwing:

De IJssel is – ondanks de inkorting met 17 km – weliswaar bij lage afvoer langer, maar bij hoge afvoer – als de bochten door het water worden afgesneden – even lang als de Waal-Merwede (Klijn, 1999).

We geven voor de volledigheid daarom ook de getallen waar deze uitspraak op is gebaseerd (Tabel 2). De afvoerroute via de Nederrijn-Lek is duidelijk het langst, Waal en IJssel zijn beide kortere routes naar zeeniveau/ (IJssel)meerpeil en zijn praktisch even lang. Maar we merken tevens op dat de afvoerverdeling natuurlijk wordt bepaald door verhangverschillen bij het splitsingspunt en niet door verschillen tussen het gemiddelde verhang over gehele riviertakken.

Tabel 2 Lengte van de Rijntakken bij lage afvoer en bij hoge; gecorrigeerd voor 'verdwenen rivierkilometers' op de IJssel en bochtafsnijding tijdens hoogwater (uit Klijn, 1999)

Tak	laagwaterlengte	hoogwaterlengte
Waal	120	117
Nederrijn/Lek	129	127
IJssel	133	119

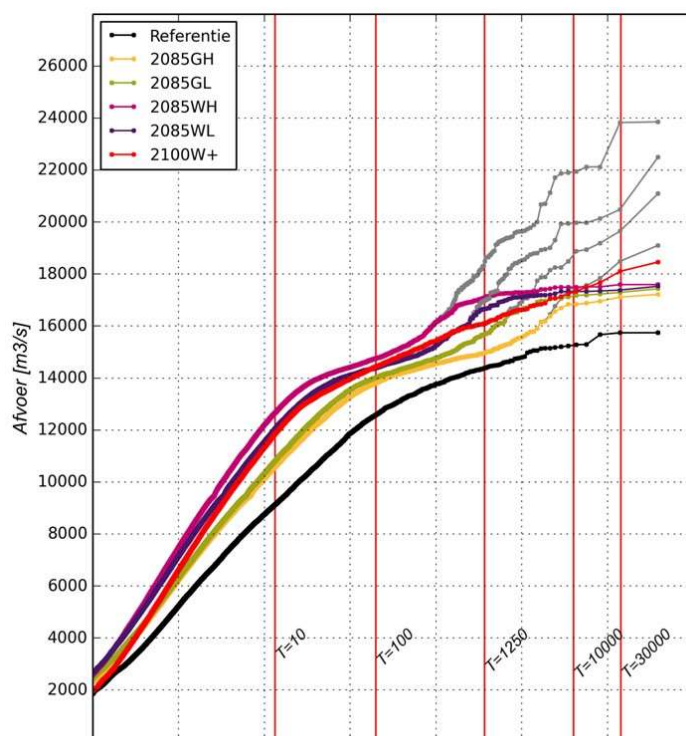
⁴ Afgeronde getalswaarden op basis van simulaties voor het Deltaprogramma Waterveiligheid (Slootjes & Wagenaar, 2016). Deze zijn slechts indicatief, want 1) het is onmogelijk alle gebieden langs een riviertak tegelijk onder te laten lopen (daarvoor is er niet genoeg water), 2) de getalswaarden hebben betrekking op de breslocatie met de grootste gevolgen (het kan ook elders fout gaan) en 3) de berekende getalswaarden zijn mede bepaald door de waterhoogte in de verschillende rivieren (de Waal staat het hoogst ten opzichte van het land, de IJssel het laagst). Hoewel de absolute getallen dus slechts indicatief zijn, lijkt het zeer onwaarschijnlijk dat de rangorde van de drie Rijntakken hierdoor zou veranderen.

5 Verdeling van 'extra afvoer' over Waal en IJssel

5.1 Hoeveel extra afvoer is te verwachten?

Volgens alle klimaatscenario's (KNMI '14) leidt de klimaatverandering tot nattere winters. Vooral nog wijzen de prognoses erop dat de Rijn (en de Maas) te maken zullen krijgen met frequentere en grotere hoge rivierafvoeren (Sperna-Weiland et al., 2015). Voor de Rijn gaat het om toenames die in het extreme bereik 10-20% grotere afvoeren opleveren (Figuur 8), maar in het middelhoge afvoerbereik is de procentuele toename veel groter (eerder 20-40%). De reden voor dit significante verschil is dat de dijken in Duitsland bij afvoeren boven 17.000 á 18.000 m³/s op grote schaal gaan overlopen en de afvoergolf als het ware wordt afgetopt (Hegnauer et al., 2015). Dat verklaart het sterk afbuigen van de lijnen bij hoge rivierafvoeren met kleine kans van optreden, tot bijna horizontaal. Dat wordt weleens 'het fysisch maximum' genoemd (een ongelukkige term).

In grijs is weergegeven hoeveel afvoer het stroomgebied intussen genereert, in de verschillende klimaatscenario's. Die afvoeren – tot ver boven de 20.000 m³/s – kunnen dus al wel worden verwacht bij Keulen en Dusseldorf, tenzij ze deels door de vernauwing van de Duitse middelgebergten worden afgeknepen. Maar ze kunnen op dit moment de Nederlandse grens niet bereiken, althans niet tussen de dijken.



Figuur 8 Prognoses voor de hoogwaterafvoeren van de Rijn (Lobith) (afgezet tegen kans van optreden) tegen het eind van deze eeuw in 5 klimaatscenario's (Klijn et al., 2015; naar Sperna-Weiland et al., 2015).

Voor het hogere afvoerbereik werd in de Systeembeschuwing IRM voorgesteld als verdedigbaar uitgangspunt *vooral/nog* uit te gaan van 10- 15% hogere extreme afvoeren tegen het eind van de eeuw. Dat uitgangspunt is dus afhankelijk van veronderstellingen over de respons van Duitsland op de klimaatverandering, meer in het bijzonder van Nordrhein-Westfalen.

Dit uitgangspunt levert toevallig ook als 'referentieafvoeren' 17.000 en 18.000 m³/s op in respectievelijk ongeveer 2050 en 2100. Dat komt mooi overeen met de verwachtingen uit de tijd van de vaststelling van de 'beleidsmatige afvoer' (in 2005).

In hoeverre dit uitgangspunt nog overeind blijft staan als de consequenties van de scenario's van KNMI'23 voor extreme hoogwaters zijn doorgerekend, zal eind 2024 duidelijk worden (werk in uitvoering). Hoewel dat vanzelfsprekend geen duidelijkheid zal geven over een eventuele beleidsrespons in Duitsland – met mogelijk relevante consequenties voor het aftoppingseffect.

5.2 Wat stelde de PKB-Ruimte voor de Rivier over de toekomstige verdeling van die hogere afvoeren?

Over de verdeling van hoogwaterafvoeren op de Rijn die boven 16.000 m³/s uitgaan is geen *formele* beleidskeuze geformuleerd, alleen dat deze over de Waal en IJssel zou moeten worden verdeeld. De PKB Ruimte voor de Rivier, deel 4, stelde daarover:

'De procentuele afvoerverdeling over de verschillende Rijntakken bij de maatgevende rivierafvoer, geldend voor 15.000 m³/s, wordt ook bij de in 2001 vastgestelde maatgevende afvoer van 16.000 m³/s gehandhaafd. Bij een verdere toename van de maatgevende rivierafvoer boven 16.000 m³/s wordt de extra afvoer verdeeld over de Waal en de IJssel.'

Maar in de memorie van Toelichting (PKB, deel 5) staat: *'Dit zal gebeuren volgens de huidige verhouding waarin de afvoeren over Waal en IJssel worden verdeeld.'*

Dat kan worden gelezen als een beleidskeuze. En daarom wordt bij de meeste studies tot nu toe aangenomen dat *de afvoer die anders extra over de Nederrijn zou gaan* verdeeld wordt over Waal en IJssel cf. hun huidige onderlinge verhouding van 64% : 15% (dat is dus in een verhouding van ongeveer 4: 1 ofwel 80-20). Tevens wordt aangenomen dat sowieso 63% van de extra Rijnafvoer naar de Waal zou gaan en 15% naar de IJssel. Dit werd (en wordt) als de meest voor de hand liggende interpretatie van de PKB-uitspraak gezien.

Maar in hoofdstuk 2 hebben we vastgesteld dat die verdeling nog niet zo eenvoudig is te realiseren en er nieuwe inzichten zijn over de (on)wenselijkheid van die verdeling, zoals de noodzaak het Pannerdens Kanaal nog verder af te knippen, met opstuwung tot in Duitsland als gevolg.

In het verlengde van de vaststelling dat er goede argumenten zijn voor 'Lek ontzien', zijn er ook goede argumenten om de IJssel te ontzien: dat is nu immers de kleinste rivier (en: de Waal is nu het grootst, extra afvoer tikt daar procentueel minder hard aan).

Maar er zijn ook goede argumenten om juist de Waal te ontzien: de Waal stroomt langs en naar de kwetsbaarste delen van het land, steekt het hoogst boven z'n omgeving uit en 'hyperventileert' (en: de IJssel stroomt door een natuurlijk rivierdal, en het is waar de rivier nu naar neigt (Kleinhans et al., 2013).

Al met al voldoende aanleiding voor een brede afweging van alternatieven.

5.3 Welke alternatieven zijn relevant om te verkennen?

Aangezien de Rijntakken met Ruimte-voor-de-Rivier in principe 16.000 m³/s veilig kunnen afvoeren volgens de huidige verdeling, gaat het alleen om de verdeling van extra Rijnafvoer *boven* die 16.000 m³/s.

Allereerst is het vanzelfsprekend relevant om de in de memorie van toelichting bij de PKB voorgestelde afvoerverdeling goed te verkennen, al is het maar bij wijze van **referentie**. Dat is dus:

- Waal: IJssel = 80:20 (de Nederrijn-Lek verdelen over de beide andere takken naar hun respectieve aandeel).

Vervolgens zijn in het verleden verscheidene alternatieve afvoerverdelingen geopperd, waaronder de twee uitersten:

- alle extra boven 16.000 m³/s over de Waal
- alle extra boven 16.000 m³/s over de IJssel

Dan zijn nog twee tussenoplossingen goed denkbaar, waaronder die is geopperd in de Systeembeschouwing IRM (Klijn et al., 2022). Die komt neer op alles wat anders naar de Nederrijn-Lek zou gaan via de IJssel, ook wel aan te duiden als **alle extra Pannerdens Kanaal over de IJssel**. Tenslotte zou ook voor een 50:50-verdeling kunnen worden gekozen, omdat die ook het verschil tussen de verhanglijnen van Waal en Pannerdens Kanaal sterker verkleint – dat wil zeggen: als dijkverhoging langs het Pannerdens Kanaal niet wordt uitgesloten. Zo krijgen we ook nog:

- Waal: IJssel = 2/3 : 1/3
- Waal: IJssel: 50 : 50

Referentie-alternatief (80-20)

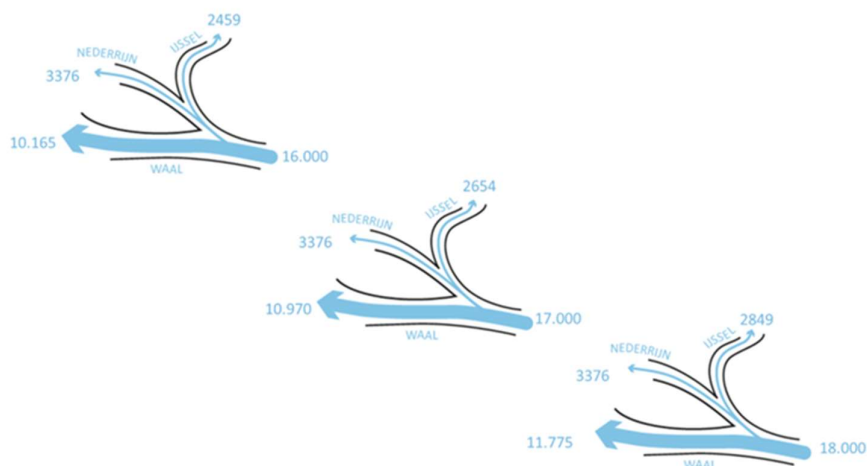
Dit is het huidig beleid zoals vastgelegd in de PKB, dat wil zeggen **Lek ontzien** en alle extra afvoer boven 16.000 m³/s verdelen volgens de bestaande verhouding tussen Waal en IJssel.

Dat betekent dat het percentage van de totale Rijnafvoer dat door de Nederrijn-Lek gaat geleidelijk afneemt; en het percentage dat door de Waal en IJssel gaat *geleidelijk en proportioneel* iets toeneemt. Beide rivieren moeten worden verruimd om vanaf 2050 circa 8% meer af te kunnen voeren en eind van de eeuw elk circa 16% meer⁵.

⁵ Alle in dit hoofdstuk genoemde percentages 'verruiming' gaan uit van 'extra boven 16.000 m³/s'. Gezien het feit dat bij de dijkversterkingen in het kader van het HWBP al wordt geanticipeerd op enige klimaatverandering, kan het ook worden geïnterpreteerd als: voor de 1^e extra 1000 m³/s, een eventueel 2^e, etc. Want misschien past 17.000 m³/s in 2050 al veilig door de Rijntakken.

Tabel 3 Afvoer per tak bij een instelling van de verdeelwerken conform beleid 'Lek ontzien' en verdeling 80:20 voor het meerdere over Waal en IJssel, bij instelling voor 3 referentie-afvoeren (in de groene vakken en grafisch weergegeven in de figuur eronder) en dan lineair geëxtrapoleerd naar de naastgelegen witte cellen.

			Extra Rijnafvoer verdeeld cf. PKB (Waal: IJssel = 80:20)									
			Afvoer per tak bij 16.000 Lobith			Afvoer per tak bij 17.000 Lobith			Afvoer per tak bij 18.000 Lobith			
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436	63,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.376		6.200	3.587		6.564	3.798	21,1
		IJssel			2.459			2.613			2.766	15,4
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.325	10.325	17.000	10.970	10.970	18.000	11.616	11.616	64,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.675	3.177		6.030	3.376		6.384	3.575	19,9
		IJssel			2.498			2.654			2.810	15,6
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.467	10.467	17.000	11.121	11.121	18.000	11.775	11.775	65,4
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.533	3.001		5.879	3.188		6.225	3.376	18,8
		IJssel			2.532			2.690			2.849	15,8



Alle extra Bovenrijnafvoer over de Waal (100-0)

Dit alternatief leidt ertoe dat de Waal procentueel steeds meer krijgt (van 63,5% naar 67,6 procent tegen het eind van de eeuw) en Lek en IJssel beide steeds minder (Tabel 4). Het vergt dat de Waal sterk wordt verruimd om bijna 20% meer afvoer veilig te kunnen verwerken dan deze nu aankan.

Tabel 4 Afvoer per tak bij een zodanige inrichting van het splitsingspuntengebied dat alle extra afvoer boven 16.000 m³/s over de Waal wordt afgevoerd, bij de huidige instelling en bij instelling voor 2 referentie-afvoeren (17.000 en 18.000 m³/s in de groene vakken) en dan lineair geëxtrapoleerd naar de naastgelegen witte cellen.

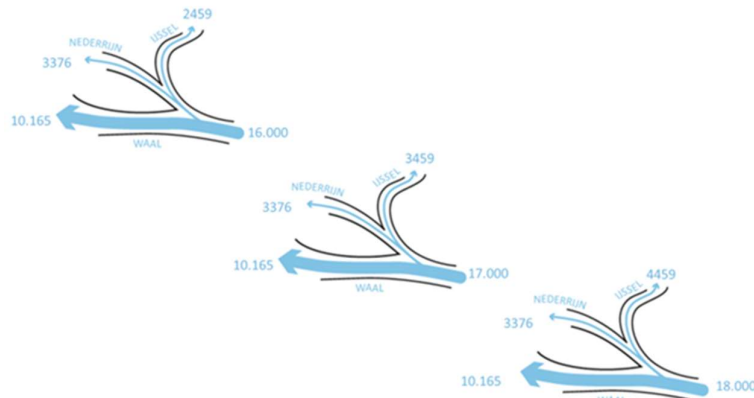
			Alle extra Rijnafvoer over de Waal (100-0; Lek en IJssel ontzien)									
			Afvoer per tak bij 16.000 Lobith			Afvoer per tak bij 17.000 Lobith			Afvoer per tak bij 18.000 Lobith			
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436	63,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.376		6.200	3.587		6.564	3.798	21,1
		IJssel			2.459			2.613			2.766	15,4
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.508	10.508	17.000	11.165	11.165	18.000	11.822	11.822	65,7
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.492	3.177		5.835	3.376		6.178	3.575	19,9
		IJssel			2.314			2.459			2.604	14,5
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.813	10.813	17.000	11.489	11.489	18.000	12.165	12.165	67,6
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.187	3.001		5.511	3.188		5.835	3.376	18,8
		IJssel			2.186			2.322			2.459	13,7

Alle extra Bovenrijnafvoer over de IJssel (0-100)

Het omgekeerde leidt ertoe dat de kleine IJssel in de toekomst bijna 25% van de Bovenrijnafvoer te verwerken krijgt (zoals ooit in het verleden het geval was) en de Waal *procentueel* significant minder te verwerken krijgt (maar in absolute hoeveelheid evenveel, natuurlijk). Deze optie was ook al in de Systeembeschuwing geopperd. Het vraagt zeer forse verruiming van alleen de IJssel, die rond 2050 ongeveer 40% en eind van de eeuw ruim 80% meer water veilig moet kunnen afvoeren dan nu mogelijk is.

Tabel 5 Afvoer per tak bij een zodanige inrichting van het splitsingspuntengebied dat alle extra afvoer boven 16.000 m³/s over de IJssel wordt afgevoerd, bij de huidige instelling en bij instelling voor 2 referentie-afvoeren (17.000 en 18.000 m³/s in de groene vakken) en dan lineair geëxtrapoleerd naar de naastgelegen witte cellen. In de figuur eronder is de instelling ook grafisch weergegeven.

			Alle extra Rijnafvoer over de IJssel (0-100; Lek en Waal ontzien)									
			Afvoer per tak bij 16.000 Lobith			Afvoer per tak bij 17.000 Lobith			Afvoer per tak bij 18.000 Lobith			
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436	63,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.376		6.200	3.587		6.564	3.798	21,1
		IJssel			2.459			2.613			2.766	15,4
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	9.567	9.567	17.000	10.165	10.165	18.000	10.763	10.763	59,8
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		6.433	3.177		6.835	3.376		7.237	3.575	19,9
		IJssel			3.256			3.459			3.662	20,3
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	9.036	9.036	17.000	9.600	9.600	18.000	10.165	10.165	56,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		6.964	3.001		7.400	3.188		7.835	3.376	18,8
		IJssel			3.964			4.211			4.459	24,8



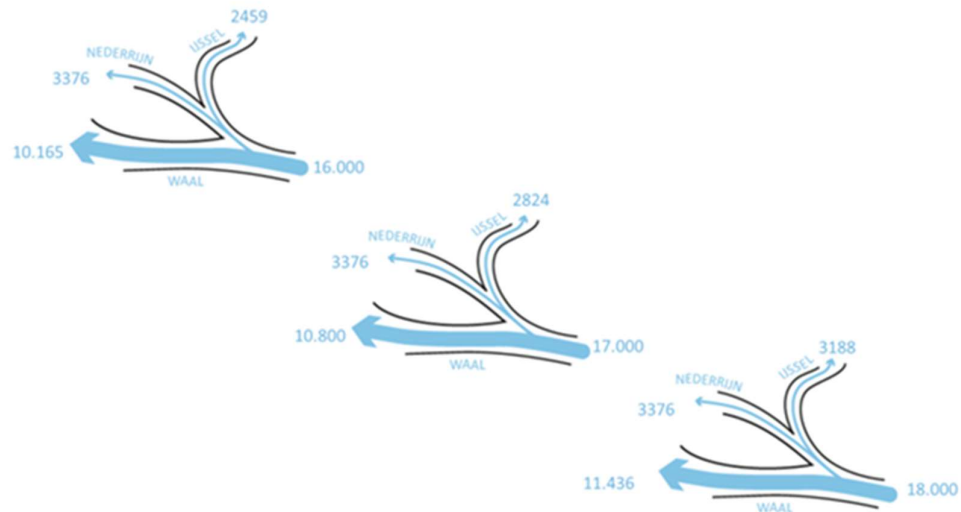
Alle extra afvoer van het Pannerdens Kanaal over de IJssel (2/3-1/3)

Een tweede optie, die in de Systeembeschuwing is geopperd, is de verdeling bij Pannerdense Kop procentueel gelijk houden (Waal houdt huidig percentage), maar de extra afvoer die anders naar de Lek zou zijn gegaan naar de IJssel laten afstromen. Voor de extra Bovenrijnafvoer komt dat neer op ongeveer Waal: IJssel = 2/3 : 1/3 (of preciezer: 63,5: 36,5). In de Systeembeschuwing is dit aangeduid als **alle extra Nederrijn-Lekafvoer óók over de IJssel**. Maar het zou misschien beter **alle extra afvoer van het Pannerdens Kanaal over de IJssel** genoemd kunnen worden, zoals in het tekstkopje hierboven.

Dan zien we (Tabel 6) dat de Waal procentueel gelijk blijft, maar in absolute hoeveelheid natuurlijk meer krijgt door de hogere 'maatgevende' referentie-afvoer; de Nederrijn-Lek wordt ontzien en krijgt procentueel minder; en de IJssel neemt procentueel wat toe, maar veel minder sterk dan in het vorige alternatief. Het vraagt enige verruiming van de Waal (met 6 en later 13%) en forse verruiming van de IJssel (met 15 en later 30%) (zie Klijn et al., 2022, blz. 79). Qua afvoerverdeeling zit deze dichterbij tegen wat de huidige configuratie en instelling van de verdeelwerken al bewerkstelligen: zie Figuur 2.

Tabel 6 Afvoer per tak bij een zodanige inrichting van het splitsingspuntengebied dat de extra afvoer boven 16.000 m³/s voor 2/3 over over de Waal wordt afgevoerd en voor 1/3 over de IJssel, bij de huidige instelling en bij instelling voor 2 referentie-afvoeren (17.000 en 18.000 m³/s in de groene vakken) en dan lineair geëxtrapoleerd naar de naastgelegen witte cellen. In de figuur eronder is de instelling ook grafisch weergegeven.

			Alle extra Nederrijn-Lek naar IJssel (Waal: IJssel = 64: 36)									Procentueel
			Afvoer per tak bij 16.000 Lobith			Afvoer per tak bij 17.000 Lobith			Afvoer per tak bij 18.000 Lobith			
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436	63,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.376		6.200	3.587		6.564	3.798	21,1
		IJssel			2.459			2.613			2.766	15,4
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436	63,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.177		6.200	3.376		6.564	3.575	19,9
		IJssel			2.658			2.824			2.990	16,6
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436	63,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.001		6.200	3.188		6.564	3.376	18,8
		IJssel			2.834			3.011			3.188	17,7



Fifty-fifty (50-50)

Tenslotte is een verdeling van de extra Bovenrijnafvoer volgens 50/50 nog een goed denkbaar alternatief. Want bij Lek ontzien betekent dat een gelijke verdeling van het extra debiet in een extreem hoogwater tussen naar West- en naar Noord-Nederland. Daar zou vanuit een soort simpel *gelijkheidsprincipe* voor kunnen worden gekozen, maar het is ook in meer opzichten een soort middenweg:

- het verkleint enigszins het ongewenste opstuwings-effect van de Boven-Waal (want verdeelwerk Pannerden kan deels open);

- evenals de verruimingsopgave van de Waal, die ook meer stroomafwaarts heel lastig is;
- het volgt een klein beetje 'wat de rivier zelf wil' (namelijk naar het noorden);
- terwijl de IJssel ook meer stroomafwaarts makkelijker te verruimen lijkt;
- en het maakt het minder nodig de beide verdelingswerken af te knippen⁶.

Het leidt ertoe dat de afvoer over de IJssel dan procentueel iets meer toeneemt dan in het vorige alternatief, terwijl die over de Waal een fractie afneemt (Tabel 7). Maar in absolute zin moet er wel meer water doorheen, dus een flinke verruiming van de Waal blijft nodig (met 5% resp. 10% in 2050 en 2100). De IJssel moet vanzelfsprekend veel meer worden verruimd (met 20% resp. 41% in 2050 en 2100); en de Lek dus niet, want die wordt in alle alternatieven 'ontzien'.

Tabel 7 Afvoer per tak bij een zodanige inrichting van het splitsingspuntengebied dat de helft van alle extra afvoer boven 16.000 m³/s over de Waal wordt afgevoerd en de helft over de IJssel, bij de huidige instelling en bij instelling voor 2 referentie-afvoeren (17.000 en 18.000 m³/s in de groene vakken) en dan lineair geëxtrapoleerd naar de naastgelegen witte cellen.

		Alle extra Rijnafvoer 50-50 verdeeld over Waal en IJssel										
		Afvoer per tak bij 16.000 Lobith			Afvoer per tak bij 17.000 Lobith			Afvoer per tak bij 18.000 Lobith				
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.165	10.165	17.000	10.800	10.800	18.000	11.436	11.436	63,5
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.835	3.376		6.200	3.587		6.564	3.798	21,1
		IJssel			2.459			2.613			2.766	15,4
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	10.038	10.038	17.000	10.665	10.665	18.000	11.292	11.292	62,7
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		5.962	3.177		6.335	3.376		6.708	3.575	19,9
		IJssel			2.785			2.959			3.133	17,4
Bovenrijn	Waal	Waal	16.000	9.924	9.924	17.000	10.545	10.545	18.000	11.165	11.165	62,0
	Pannerdens Kanaal	Nederrijn		6.076	3.001		6.455	3.188		6.835	3.376	18,8
		IJssel			3.075			3.267			3.459	19,2

Samengevat levert het de volgende 5 nader te onderzoeken alternatieven, in volgorde van meer Waal naar meer IJssel:

Alternatief	Riviertak	Huidig (16.000)	17.000		18.000	
		% absoluut	% absoluut	% extra tov huidig	% absoluut	% extra tov huidig
Alle extra over Waal	Waal	63,5	65,7	10	67,6	20
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	14,5	0	13,7	0
80-20	Waal	63,5	64,5	8	65,4	16
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	15,6	8	15,8	16
2/3: 1/3	Waal	63,5	63,5	6	63,5	13
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	16,6	15	17,7	30
50-50	Waal	63,5	62,7	5	62,0	10
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	17,4	20	19,2	41
Alle extra over IJssel	Waal	63,5	59,8	0	56,5	0
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	20,3	40	24,8	80

⁶ Mogelijk kunnen ze zelfs ergens tussen open en half dicht worden gezet. Maar dit kan alleen worden vastgesteld op basis van de voorgenomen verkennende berekeningen met D-Hydro.

6 Met welke ingrepen kunnen we de afvoerverdeling beïnvloeden?

6.1 Geometrie van de Rijntakken in het splitsingspuntengebied en de verdeelwerken

De afvoerverdeling bij verschillende hoge afvoeren wordt hoofdzakelijk bepaald door de geometrie van het gehele rivierbed, inclusief de uiterwaarden. Dat is het geval bij afvoeren groter dan ongeveer 5.000 a 7.000 m³/s, als de uiterwaarden mee gaan stromen. Omdat de dimensie van het zomerbed van alle Rijntakken over grote lengtes nauwelijks verschilt in breedte en diepte (want de rivieren zijn genormaliseerd), is vooral de geometrie van het winterbed bepalend: de breedte van de uiterwaarden, de hoogte ervan, de aanwezigheid van kades, hoge terreinen, langsdammen. En natuurlijk de regelwerken op de splitsingspunten.

In Figuur 4 hebben we gezien dat de uiterwaarden bij zowel de ingang van het Pannerdens Kanaal als de IJssel bij Hondsbroekse Pleij erg smal zijn. Het zijn flessenhalzen, ook als de groene rivieren volledig kunnen meestromen. Stroomafwaarts van die flessenhalzen worden de uiterwaarden weer veel breder, zonder dat er grote verschillen in maaiveldhoogte zijn. Daardoor dalen de hoogwaterstanden na passage van de flessenhalzen snel, zoals te zien aan de verhanglijnen (Figuur 5).

In die groene rivieren bepalen de regelwerken hoeveel water erdoorheen kan. Daarmee kan de afvoerverdeling worden fijngeregeld, afhankelijk van tijdelijke of permanente ontwikkelingen in de morfologie (erosie, sedimentatie) en hydraulische ruwheid (ontwikkeling en beheer van vegetatie in de uiterwaarden).

De regelwerken zijn gebouwd met als doel meer afvoer naar links of meer naar rechts te kunnen sturen door schotten bij te plaatsen of te verwijderen. Daartoe bestaan ze uit betonnen schotbalken die op elkaar kunnen worden gestapeld (zie Figuur 11). Bij de aanleg was beoogd dat het regelbereik van het regelwerk bij Pannerden ongeveer 500 m³/s zou zijn (tussen volledig open en volledig dicht) en van dat bij Hondsbroekse Pleij ongeveer 200 m³/s.

In reactie op de per riviertak verschillende uitschuring van het zomerbed, diverse rivierverruiming en natuurontwikkelingen in de afgelopen decennia, staat het regelwerk bij Hondsbroekse Pleij inmiddels volledig dicht (Treurniet et al., 2024). Om te voorkomen dat er meer water naar de IJssel stroomt dan volgens huidig beleid gewenst is.

En regelwerk Pannerden is gesloten tot een hoogte⁷ van NAP +14m. Eveneens om te voorkomen dat er meer water dan gewenst naar en door het Pannerdens Kanaal stroomt. Dat is zover als momenteel 'juridisch is toegestaan' volgens het Projectbesluit (zie Treurniet et al., 2024), maar technisch kan het verdeelwerk tot een hoogte van NAP +17 m worden gesloten.

Hieruit is zonneklaar met welke interventies de afvoerverdeling kan worden beïnvloed. Allereerst met de instelling van de **regelwerken**, vervolgens met de **dimensies van het winterbed**, dus dijkverlegging, uiterwaardverlaging (en/of geulen), kribverlaging, zomerkadeverlaging of -verwijdering, obstakelverwijdering, of vergroting van de natte

⁷ De 'mate van geslotenheid/openheid' is in het projectbesluit gerelateerd aan een hoogte, in aansluiting op de voorheen aanwezige overlaatconstructie. In discussies over de verdeling van debieten is dat een wat onhandige eenheid.

doorsnede van de groene rivieren en verdeelwerken zelf (lagere drempels, meer secties, e.d.).

Tenslotte kan een andere afvoerverdeling **hogere dijken** nodig maken als meer afvoer naar het Pannerdens Kanaal of de Boven-IJssel zou worden geleid.

6.2 Het regelbereik van de regelwerken

Het regelwerk Pannerden is indertijd aangelegd in het kader van Ruimte voor de Rivier, met volgens het projectbesluit een regelbereik tussen NAP +12 m en +14 m, overeenkomend met een verschil van 190 m³/s (RWS-ON, 2012). Technisch kan het worden gesloten tot NAP + 17 m, wat een totaal regelbereik van 480 m³/s oplevert.

Aangezien het regelwerk nu op NAP +14 m dicht staat, kan het door sluiting nog 290 m³/s meer naar de Waal persen (maar met significante opstuwing tot gevolg). Dat is niet genoeg om bij 17.000 m³/s afvoer 50% van de extra Bovenrijn-afvoer naar de Waal te geleiden, laat staan meer zoals nodig voor alternatieven met een grotere Waalbijdrage. Door volledige opening (tot 12 m) kan 190 m³/s meer door het Pannerdens Kanaal worden afgevoerd (bij 16.000 m³/s ; bij 17.000 mogelijk iets meer). Met enige waterstandsval tot gevolg (omvang nader vast te stellen).

Het regelwerk Hondsbroekse Pleij is gemaakt voor een regelbereik (tussen volledig dicht en volledig open) van 200 m³/s. In dat verband is het volgende citaat uit de Systeembeschouwing alvast relevant:

Uit de verkennende berekeningen van Asselman et al. (2019; 2020) en Schropp (2020) blijkt dat als nu beide regelwerken zouden worden open gezet (om ten eerste opstuwing naar de Bovenrijn (en Duitsland) te voorkomen en ten tweede toch de Nederrijn-Lek zoveel mogelijk te ontlasten) er bij een afvoer van 17.000 m³/s te Lobith ongeveer 400 m³/s extra naar de IJssel zou stromen; ...”.

Dat is al 40% van wat er in het uiterste alternatief (**alle extra Bovenrijnafvoer over de IJssel**) bij 17.000 m³/s extra die kant op zou moeten. En het is ruim wat er in alternatief **Alle extra afvoer van het Pannerdens Kanaal naar de IJssel** bij 17.000 m³/s die kant op zou moeten. Ofwel: door alleen de instelling van verdeelwerk Hondsbroekse Pleij is dat alternatief al deels te realiseren, mits dat extra debiet ook bij Pannerden de juiste kant op wordt geleid. Gezien het regelbereik van het Pannerdense regelwerk lijkt dat mogelijk. Maar als meer water naar het Pannerdens Kanaal zou moeten lijkt enige verruiming van de flessenhals noodzakelijk ((zie paragraaf 6.3).

Voor het alternatief Fifty-fifty moet er bij 17.000 m³/s nog 100 m³/s extra naar de IJssel, maar daarvoor is enige rivierverruiming op de Boven-IJssel mogelijk al snel voldoende (zie paragraaf 6.3). En ook in dit geval ligt de sleutel dan bij de ingang van het Pannerdens Kanaal, waar met alleen de instelling van het regelwerk de afvoerverdeling waarschijnlijk niet voldoende kan worden beïnvloed.

6.3 Wat kan er met rivierverruiming?

Met rivierverruiming kan de afvoercapaciteit van een riviertak worden vergroot. Dan kan die tak ook meer afvoer trekken. Dat is natuurlijk het meest effectief als de verruiming ter plaatse van een flessenhals plaatsvindt, want die beperkt de afvoer. Verruiming stroomafwaarts van een flessenhals is minder effectief, omdat de flessenhals niet wordt weggenomen. Daardoor werkt de verruiming niet ver stroomopwaarts door.

Nu is de Waal ter hoogte van het splitsingspunt het tegendeel van een flessenhals, want de Millingerwaard is zeer breed. Verruiming van de Millingerwaard – en nabijgelegen uiterwaarden, zoals de Klompenwaard en Gendtse waard – ligt dan ook voor de hand als het doel is meer water naar de Waal te trekken. De beperking van de afvoercapaciteit van de Waal ligt echter in de ‘relatieve nauwheid’ van de gehele Boven-Waal, tot voorbij Nijmegen. Dat blijkt uit de verhanglijnen (Figuur 3 en Figuur 5). Doordat de Waal nu tot opstuwung ter hoogte van Pannerdense Kop leidt (en het regelwerk daar steeds verder dichtgezet moet worden om het water naar de Waal te krijgen), zal **alle extra Bovenrijnafvoer over de Waal** (100-0) een stevige inspanning vereisen. Volgens een ‘rekenkundige vingeroefening’ (zie Bijlage 5) zou de waterstand op de Waal bij het splitsingspunt daarvoor 0,43 m moeten worden verlaagd. Als dat lukt zijn minder vergaande alternatieven zeker mogelijk.

Een soortgelijke redenering geldt ten aanzien van: als **alle extra Bovenrijnafvoer naar de IJssel** lukt, dan En daar is de situatie dat de aftakkingen naar het Pannerdens Kanaal en de Boven-IJssel juist wel flessenhalzen zijn en de verruiming van die flessenhalzen dus in veel extra afvoer door die takken kan resulteren. Daar staat dan weer tegenover dat verruiming *stroomafwaarts* van die flessenhalzen qua effect op de splitsingspunten en stroomopwaarts daarvan relatief beperkt blijft; want dan blijven de flessenhalzen bestaan en zullen de verschillen tussen de verhanglijnen alleen maar groter worden⁸. Volgens de ‘rekenkundige vingeroefening’ (Bijlage 5) zou in dat geval de waterstand op het Pannerdens Kanaal daarvoor 1,21 m moeten worden verlaagd en die op de Boven-IJssel bij de splitsing wel 1,35 m⁹.

Nu zijn er tot op heden geen voorstellen gedaan om specifiek de flessenhalzen bij de splitsingspunten te verruimen, omdat vooralsnog alleen is gekeken naar het handhaven van de huidige afvoerverdeling of een verdeling waarbij de Waal 80% van de extra afvoer voor z’n rekening zou nemen¹⁰.

Dat *noopt ons op dit moment* tot het verkennen van rivierverruimingsmaatregelen meer stroomafwaarts van de flessenhalzen, in het Pannerdens Kanaal en op de Boven-IJssel. Daarbij kunnen we gebruik maken van de kennis die is vastgelegd in de Blokkendoos Ruimte voor de Rivier (met maatregelen die zijn voorgesteld voor hetzij de verkenning voor de PKB, hetzij in de Spankrachtstudie). Daarbij kan natuurlijk geen gebruik meer worden gemaakt van maatregelen die inmiddels al uitgevoerd zijn.

In de sub-paragrafen hierna noemen we een aantal nog niet ingezette maatregelen, die als zodanig behoorlijk effectief zijn (meer dan een paar centimeter waterstandsverlaging) en doorwerken tot tenminste de splitsingspunten. Van hun gezamenlijk effect op de splitsingspunten is al een schatting gemaakt in de ‘vingeroefening’ die in Bijlage 5 is beschreven.

6.3.1 Verruiming van de Boven-Waal

Over het eerste uiterste alternatief (**alle extra Bovenrijnafvoer over de Waal**) is vluchtig gekeken welke (nog niet uitgevoerde!) maatregelen uit de Blokkendoos Ruimte voor de

⁸ Eigenlijk zijn het daarmee minder gewenste oplossingen. Principieel beter is verruiming van de flessenhalzen .

⁹ Maar men bedenke daarbij dat het verschil tussen de verhanglijnen van Waal en Pannerdens Kanaal wel 1,0 m bedraagt op 5 km vanaf Pannerdense Kop en dat tussen Nederrijn en IJssel 0,6 m binnen 2 km vanaf IJsselkop (zie paragraaf 2.4).

¹⁰ De enige maatregel die hier dan *im Frage* komt is het weer aantakken van het Rijnstrangengebied en dit – via een herstelde Spijkse overlaat – te laten meestromen als groen-blaue bypass. Vergelijkbaar met het Reevediep bij Kampen; of met de situatie van voor 1959 (Klijn, 2003).

Rivier¹¹ op het traject Pannerden-Nijmegen een significant effect op de waterstand hebben en hoe hun gezamenlijk effect doorwerkt op het splitsingspunt.

De volgende maatregelen zijn nog 'beschikbaar' in de Blokkendoos (denkbaar; met hun lokaal maximaal waterstandsverlagend effect):

- Krib W1a Kribverlaging Waalbochten = 0,084 m (kan ook met langsdammen)
- W08_1_L Gendtse waard/ Suikerdam = 0,070 m
- 10 voormalige steenfabriek Bommel: 0,071 m
- 11 (bebouwing) Vliedberg: 0,077 m

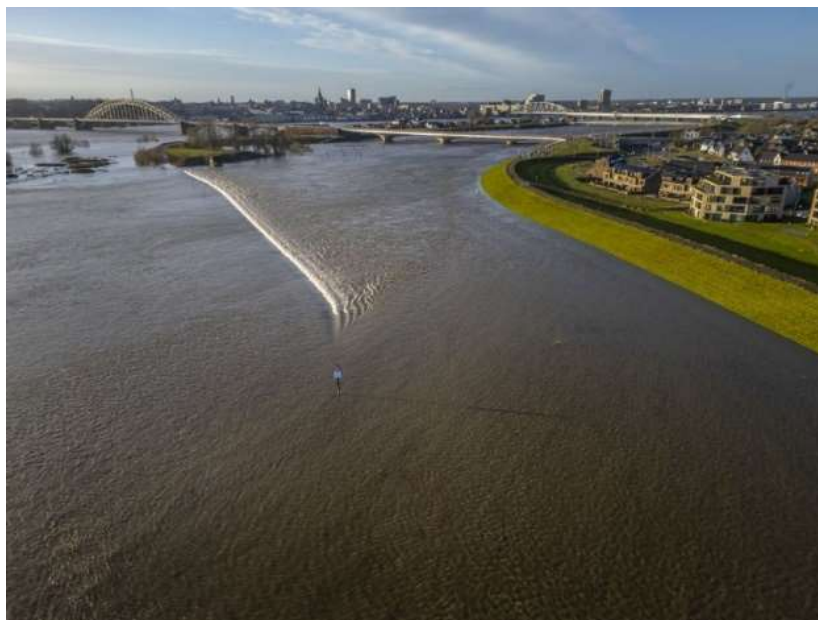
Niet al deze maatregelen hebben op hetzelfde punt effect, maar ze lijken (op het oog) op te tellen tot ongeveer 20 cm bij Pannerdense Kop. De kosten volgens de Blokkendoos: 328 miljoen euro (prijspeil 2005!).

Met ook nog de veel ingrijpender:

- 20201 dijkverlegging Ooij-Nijmegen: 0,201 m

telt het op tot meer dan 30 cm bij Pannerdense Kop (zie Bijlage 5) en worden de kosten 412 miljoen euro.

Tenslotte is wel geopperd de drempel voor de Spiegelwaal (= dijkverlegging Lent; Figuur 9) nog wat te verlagen. Hoeveel waterstandsverlaging dat oplevert is – naar wij weten – nog niet eerder berekend.



Figuur 9 Bij midden-hoge afvoeren is het opstuwend effect van de drempel voor de Spiegelwaal bij Lent goed zichtbaar. Bij hogere afvoeren is deze geheel 'verdrongen'.

Wat alles tezamen precies betekent voor de waterstanden op de Bovenrijn bij Pannerden en voor de afvoerverdeling kan niet worden vastgesteld zonder een hydraulische simulatie met vrije afvoerverdeling, want in de Blokkendoos staat de afvoerverdeling vast. Maar het geeft al

¹¹ Een blokkendoos die later is gemaakt voor het Deltaprogramma Rivieren (DP-R) is gedurende enkele jaren online geweest, maar inmiddels niet meer toegankelijk/ benaderbaar..

wel de indruk dat een substantiële portie extra Rijnafvoer naar de Waal richting Nijmegen kan worden verleid. Maar of dat 1000 en later zelfs 2000 extra m³/s kan zijn ...?

6.3.2 Verruiming van Pannerdens Kanaal en Boven-IJssel

Over de alternatieven waarbij er verhoudingsgewijs meer over de IJssel zou moeten gaan, is alvast relevant dat door beide regelwerken op en te zetten er volgens Asselman et al. (2019; 2020) en Schropp (2020) bij een afvoer van 17.000 m³/s te Lobith ongeveer 400 m³/s extra naar de IJssel zou stromen. Dat is al 40% van wat er het uiterste alternatief (**alle extra Bovenrijnafvoer over de IJssel**) dan extra die kant op zou moeten. En het is ruim wat er in alternatief **alle extra afvoer van het Pannerdens Kanaal naar de IJssel** bij 17.000 m³/s referentie-afvoer die kant op zou moeten. Ofwel: door alleen de instelling van de verdeelwerken aan te passen is dat alternatief al te realiseren, althans: bij een referentie-afvoer van 17.000 m³/s, niet bij 18.000; en vanzelfsprekend ook ten koste van het gewenste regelbereik.

Gezien de verhanglijnen lijkt het ook niet moeilijk met enige rivierverruiming **Fifty-fifty** te realiseren, want bij de planvorming rond RivierKlimaatPark IJsselpoort werd al vastgesteld dat alle verruimingsplannen daar (kadeverlagings en uiterwaardverlaging met nevengeulen) leiden tot zoveel extra afvoer naar de IJssel, dat deze niet meteen vergunbaar waren. Dat betekent dat met enige verruiming van de IJssel mogelijk ook **Alle extra over de IJssel** te realiseren is. Dat wil zeggen; bij 17.000 m³/s als referentie-afvoer. Voor 18.000 m³/s is meer nodig, maar (ook) dan zitten de beperkingen vermoedelijk meer stroomafwaarts.

Maar eerst moet de extra afvoer door het Pannerdens Kanaal geleid, dus goed om eerst te bezien welke waterstandsverlagende maatregelen daar nog mogelijk zijn die verhoudingsgewijs meer afvoer naar het Pannerdens Kanaal zouden kunnen trekken. En vervolgens welke op de Boven-IJssel.

Als we eerst bekijken wat nog aan niet-uitgevoerde maatregelen in de Blokkendoos zit voor het **Pannerdens Kanaal**, dan zien we het volgende. Met alleen de kadeverlagings die zijn samengevoegd onder de noemer:

- (kadwegPK): 0,017

bereiken we niet veel. Die zijn weinig effectief, maar ook goedkoop (5 Meuro). In het licht van de alternatieven lijkt er echter weinig reden om ze verder te onderzoeken.

Met 4 veel effectievere – maar deels ook kostbare – *buitendijkse* maatregelen zijn de volgende waterstandsverlagings op het Pannerdens Kanaal te bereiken:

- 4500 Bekading na Pannerdense Kop = 0,072 m
- 23 idem, met ook steenfabrieken, toegangswegen en kades Foornenburgse buitenpolder = 0,196 m
- 24 bekading De Keel, voorm. Steenfabriek Loowaard en tussenliggende kades = 0,061 m
- 25 Veerstoep Loo – Huissen, fabrieksterrein, etc. = 0,065 m

Op het splitsingspunt lijken deze samen een waterstandsverlaging van ongeveer 0,15 m op te leveren.

Omdat hiervoor nogal wat fabrieksterreinen en veerstoepen moeten worden verwijderd/ uitgeplaatst/ uitgekocht, werden de kosten van deze 4 maatregelen samen vrij hoog geschat: 601,9 Meuro (prijsspeil 2005). Waarbij opgemerkt kan worden dat de kosten van de eerste (4500) op slechts 1,6 Meuro werden geschat en die van de derde (24) op pakweg 25 Meuro. Dat kan een reden zijn de beide zeer kostbare maatregelen (23 en 25) niet in beschouwing te nemen

Met *dijkverleggingen* kan tegen geringere kosten mogelijk meer bereikt worden. Met twee dijkverleggingen:

- 20301 Sterreschans = 0,112 m
- 20302 Roswaard = 0,162 m

kan de waterstand op het splitsingspunt bijna diezelfde 0,15 m verlaagd worden, tegen 111,4 Meuro (prijspeil 2005).

Voorstel voor eventuele nadere verkenning met het hydraulisch-simulatiemodel (als het openen van de verdeelwerken niet voldoende zou zijn) op het Pannerdens Kanaal:

- 4500 Bekading na Pannerdense Kop
- 24 bekading De Keel, voorm. Steenfabriek Loowaard en tussenliggende kades
- 20301 Sterreschans
- 20302 Roswaard

Volgens de rekenkundige 'vingeroefening' (Bijlage 5) zou hiermee ongeveer 0,22 m waterstandsverlaging op het splitsingspunt kunnen worden bereikt.

Voor maatregelen die op de **Boven-IJssel** meer afvoer naar de IJssel kunnen trekken geldt iets vergelijkbaars: doordat de verhanglijnen op de Boven-IJssel relatief steil zijn, is niet heel veel nodig. Het openen van verdeelwerk Hondsbroekse Pleij doet immers al veel water naar het noorden stromen. Uit de Blokkendoos kunnen nog enkele maatregelen worden afgeleid, die extra water naar de IJssel trekken, maar die zijn mogelijk ook al onderdeel van het project IJsselpoort/ RivierKlimaatPark (RKP; tevens IRM-pilot), waarnaar momenteel een MIRT-verkenning loopt waarvoor ook hydraulische simulaties worden uitgevoerd.

Uit de Blokkendoos zijn heel veel maatregelen mogelijk en effectief om de waterstand op de Boven-IJssel te verlagen en zo de afvoerverdeling te beïnvloeden richting IJssel – en aldus de Nederrijn-Lek te ontzien. We beperken ons daarom tot de eerste 5 à 7 km en de meest kosten-effectieve. Dat wil zeggen dat aanpassingen aan het landhoofd van de A12 en het opkopen van florierende bedrijven even niet zijn beschouwd. Dat levert voor alleen uiterwaardmaatregelen bijvoorbeeld het volgende:

- Y03_Y05_1 Westervoort en IJsseldijkerwaard = 0,201 m
- Y06_1 Velperwaarden = 0,192 m
- Y07_3 Koppenwaard = 0,453 m

Samen verlagen deze 3 maatregelen de waterstand op het splitsingspunt al met 0,4 m, tegen overzichtelijke kosten (251,2 Meuro, prijsspeil 2005).

Daarbij blijft de instroom van de IJssel bij het splitsingspunt nog wel een flessenhals. Met twee dijkverleggingen bij Hondsbroekse Pleij (plus Schans) en Lathum kan circa 0,2 m waterstandsverlaging worden bereikt voor 72,8 Meuro, maar die nemen de flessenhals niet weg want zitten er net bovenstrooms respectievelijk enige kilometers benedenstrooms van. Ze laten wel zien dat er ook nog andere (extra?) mogelijkheden zijn om (een deel) van hetzelfde doel (meer naar de IJssel) te bereiken.

Maar aangezien project IJsselpoort al vergevorderd is qua planvorming, lijkt het verantwoord voor deze verkenning vooralsnog alleen simulaties te doen voor de drie genoemde uiterwaardplannen.

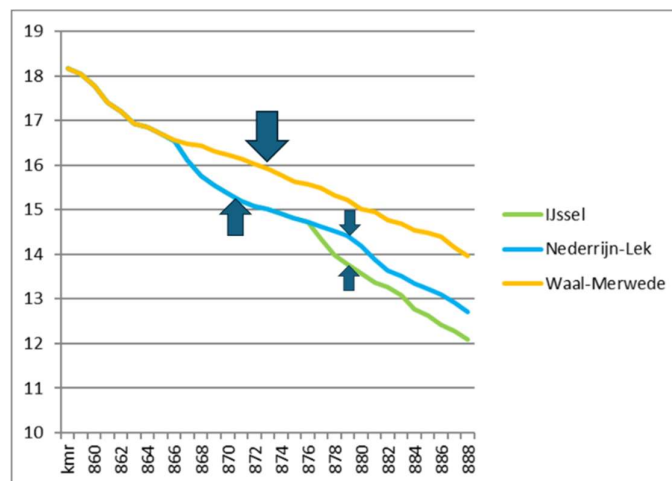
7 Overige overwegingen en implicaties van aanpassingen aan de afvoerverdeling

7.1 Dijkverhoging/-verzwaring bij minder uiteenlopende verhanglijnen nabij de splitsingspunten?

In paragraaf 2.3.1 is aandacht besteed aan het uiteenlopen van de verhanglijnen van de verschillende Rijntakken en is vastgesteld dat de Waal op 5 km vanaf Pannerdense Kop wel 1,0 m hoger staat dan het Pannerdens Kanaal, en de IJssel binnen 2 km vanaf IJsselkop 0,6 m lager dan de Nederrijn. Het is evident dat die verschillen in waterhoogte worden weerspiegeld in de dijkhoogten langs die betreffende takken. Ofwel: de Boven-Waaldijken zijn noodzakelijkerwijs hoger dan de dijken langs het Pannerdens Kanaal en die langs de Nederrijn weer hoger dan die langs de IJssel.

Als we het uiteenlopen van de verhanglijnen beschouwen als minder gewenst (omdat daardoor de afvoerverdeling een grotere onzekerheid kent, want door stroomsnelheidsverschillen kwetsbaarder is voor morfologische ontwikkelingen in het rivierbed of partieel falen van het verdeelwerk), dan zou een algemeen streven kunnen zijn:

1. *Sowieso* verlaging van de hoogwaterstanden op de Waal, opdat het regelwerk Pannerden niet nog verder hoeft te worden dichtgezet (dichtknijpen flessenhals) en om grotere rivierafvoeren af te kunnen voeren zonder dat de hoogwaterstanden veel hoger worden.
2. Acceptatie van iets hogere waterstanden op het Pannerdens Kanaal om het verhangverschil te verkleinen.
3. Geen verhoging (of liever verlaging) van de hoogwaterstanden op de Nederrijn in Arnhem, waar nu nog sterke opstuwing plaatsvindt.
4. Acceptatie van iets hogere waterstanden op de eerste paar kilometers van de Boven-IJssel, eveneens om het verhangverschil te verkleinen.



Figuur 10 Naar een minder kwetsbare afvoerverdeling door te streven naar minder uiteenlopende verhanglijnen?

Dat zou dan betekenen dat kan worden geopteerd voor een afvoerverdeling met meer water via de IJssel¹² om een afvoerverdeling te realiseren zonder extra opstuwung als gevolg van dichtgeregelde verdeelwerken. En dat zou dan kunnen worden gerealiseerd door de flessenhalzen zelf te verruimen.

En dat op de hogere waterstanden die daarvan het gevolg zijn op het Pannerdens Kanaal en de Boven-IJssel worden gereageerd met dijkverhoging. En wel zo, dat de 'kuilen' in de verhanglijnen daar verdwijnen, terwijl op de Boven-Waal de 'bult' in de verhanglijn juist wordt weggewerkt met rivierverruiming (Figuur 10).

7.2 En meer stroomafwaarts?

Een grote extra hoeveelheid afvoer over de **Waal** zal tot **veel hogere waterstanden** leiden meer stroomafwaarts op de Waal – tenzij de rivier sterk wordt verruimd. Naar schatting – gebaseerd op Silva et al. (2000) – zou 2000 m³/s extra op de Waal zonder rivierverruiming circa 0,9 m hogere waterstanden betekenen. Met de in paragraaf 6.3.1 genoemde rivierverruimingsmaatregelen op de Boven-Waal zou de hoogwaterstand bij Pannerden misschien met 30 cm kunnen worden verlaagd, maar dan is wel alle 'rivierverruimingsmunitie' daar opgebruikt. En valt te verwachten dat de voormalige flessenhals Nijmegen-Lent zich weer pregnanter zal manifesteren in de verhanglijnen.

Dit vraagt verificatie met hydraulische simulaties, van de te verwachten waterstandverhogingen op de Waal bij:

- + 0 m³/s (alle extra over IJssel)
- + 1000 m³/s (50/50) deze ook met maatregelen Boven-Waal
- + 1271 m³/s (Nederrijn → IJssel) deze ook met maatregelen Boven-Waal
- + 1610 m³/s (cf. PKB = 80-20) deze ook met maatregelen Boven-Waal
- + 2000 m³/s (alle extra over Waal) deze ook met maatregelen Boven-Waal

Voor een extra 2000 m³/s over de **IJssel** geldt – net als voor de Waal – dat deze **fors hogere hoogwaterstanden** zal veroorzaken, tenzij gecompenseerd met grootschalige rivierverruimingen. Silva et al. (2000; blz. 131) noemen een verhoging van de hoogwaterstanden op de IJssel van 1,0 m voor 1000 m³/s extra IJsselafoer – maar vóór uitvoering van Ruimte voor de Rivier¹³. Dat zou kunnen betekenen dat 2000 m³/s extra over de IJssel – indien niet door extra rivierverruimingen gecompenseerd – wel bijna 2 m hogere waterstanden oplevert. Niet verwonderlijk als men bedenkt dat de afvoer over de IJssel dan ook 80% groter zou zijn dan in de huidige situatie.

Ook dit vraagt verificatie met hydraulische simulaties (voor alle alternatieven):

- + 2000 m³/s (alle extra over IJssel)
- + 1000 m³/s (50/50)
- + 729 m³/s (Nederrijn → IJssel)
- + 390 m³/s (cf. PKB = 80-20)
- + 0 m³/s (alle extra over Waal)

Vervolgens kan de vraag gesteld worden of deze extra afvoeren over de Waal en/of IJssel kunnen worden gecompenseerd met rivierverruimingen. Daarvoor kan in eerste instantie nog de oude PKB/Spankracht-Blokkendoos worden gebruikt, maar uiteindelijk zijn nieuwe simulaties nodig met de werkelijk geïmplementeerde maatregelen en nog beschikbare opties.

¹² Bijvoorbeeld 1/3: 2/3 of fifty-fifty.

¹³ Inmiddels is de IJssel ruimer gemaakt, plaatselijk zelfs met het oog op een hogere Bovenrijnafoer dan 16.000 m³/s. Dat geldt met name voor de bypasses Veessen-Wapenveld en Reevediep, die met het oog op de lange termijn zijn gedimensioneerd.

7.3 ... en voor de ontvangende wateren?

Voor de ontvangende wateren kunnen kwalitatief vast enkele overwegingen worden genoemd, die alle samenhangen met de noodzaak hoge rivierafvoeren tijdens storm tijdelijk te bergen, alvorens het water naar zee kan worden gespuid dan wel (deels) gepompt (IJsselmeer).

Dat geldt des te meer in de toekomst, als de zeespiegel significant hoger zal staan dan nu. Tot de relevante overwegingen horen in ieder geval:

1. Bergend oppervlak van het betreffende water.
2. Toelaatbare verticale fluctuatie (verticale component in bergingscapaciteit).
3. Uitbreidbaarheid van bergingscapaciteit?
4. Verwachte kosten en overige implicaties van een eventueel noodzakelijke vergroting van de (tijdelijke) bergingscapaciteit (spui- en pompcapaciteit)?

Ad 1)

Uit Rijn op Termijn (Baan & Klijn, 1998; ook aangehaald in de Systeembeschouwing-IRM) zijn de volgende getallen afgeleid, maar deze zijn grofstoffelijk bepaald en misschien niet meer actueel¹⁴:

- Noordelijk Deltabekken (zonder de Zeeuwse wateren): buitendijks niet-hoogwatervrij oppervlak van ong. 36.000 ha,
- (Noordelijk) IJsselmeer is met meer dan 110.000 ha zeker drie maal zo groot.

Ad 2)

Voor het Noordelijk Deltabekken geldt dat de Maeslantkering sluit bij een voorspelde lokale waterstand van NAP + > 3,0 m of verwachte waterstanden in Dordrecht van NAP + > 2,9 m. Dat betekent dat een flinke waterschijf kan worden geborgen boven NAP.

Voor het IJsselmeer geldt dat het peilbesluit meerpeilen boven NAP -0,05 m al als verhoogd beschouwt, hoewel in werkelijkheid een meerpeil van NAP + 0,5 m geregeld wordt bereikt (en afgelopen winter nog hoger). Dat lage streefpeil heeft te maken met de verwachte windopzet bij storm, die een scheefstand van meerdere meters kan veroorzaken. Bij de opgetreden meerpeilen (en wind) in 1998 en begin 2024 ondervond men in buitendijkse gebieden (sic!) wel enige wateroverlast¹⁵.

Ad 3)

Het waterbergend oppervlak van het Noordelijk Deltabekken is in het kader van Ruimte voor de Rivier al uitgebreid met het Volkerak-Zoommeer (waar eveneens tot ongeveer tussen NAP + 2,3 m en NAP + 2,85 m water kan worden geborgen). Verdere uitbreiding naar de Oosterschelde en/of Grevelingen is nog denkbaar. Daarna zal op land moeten worden gekeken (Baan & Klijn, 1998).

Rond het IJsselmeer is uitbreiding van het bergend areaal lastiger. Het Markermeer is weliswaar groot, maar kent helemaal een zeer geringe toelaatbare fluctuatie door de vele buitendijkse bebouwing (Amsterdam IJburg) en dat moet ook de regionale aanvoer van overtollig water in natte perioden al verwerken (hetgeen in 2024 lastig bleek). Wel kan op land 'iets gemakkelijker' watergingsruimte worden gevonden, bijv. in de IJsseldelta (Kampereiland en langs het Zwarte Water/ Zwarte Meer); maar ook dat is zeer ingrijpend.

¹⁴ Nauwkeuriger bepaling en actualisatie gewenst; ook berging Volkerak-Zoommeer meetellen?

¹⁵ NB: de oude dijken rond het IJsselmeer dateren nog uit de tijd van de Zuiderzee en kunnen dus waterstanden tot enkele meters boven NAP aan; de havens van de oude stadjes zijn echter geleidelijk steeds meer ingericht op geringe peilfluctuaties, evenals recente buitendijkse (verblijfs)recreatieterreinen.

Voor het IJsselmeer is inmiddels gekozen voor het realiseren van extra spui- en gemaalcapaciteit om het meerpeil vooralsnog te kunnen handhaven bij stijgende zeespiegel. Die capaciteit zal bij een stijgende zeespiegel sowieso steeds verder uitgebreid (moeten) worden tenzij – alsnog – voor gedeeltelijk meestijgen met de zeespiegel wordt gekozen.

Ad 4)

Het Noordelijk Deltabekken kent een grote dijk lengte in verhouding tot het buitendijks oppervlak. Het IJsselmeer juist een relatief korte. Dat maakt dijkverhoging daar verhoudingsgewijs goedkoper; maar hoogwaterbescherming van de oude havensteden en stadsfronten zal veel creativiteit vergen.

8 Bevindingen van het vooronderzoek

8.1 Lek ontzien nog steeds gewenst

Er lijken nog steeds vele goede redenen om de Lek te willen ontzien. En er zijn vrijwel geen redenen daarop terug te komen.

De redenen om de Lek te ontzien zijn besproken in hoofdstuk 3. Hier sommen we ze alleen nog puntgewijs op:

- De Nederrijn-Lek is de langste Rijntak met het geringste verhang richting zee: een onlogische afvoerroute.
- De Nederrijn-Lek stroomt langs de meest kwetsbare dijkeringen van het rivierengebied (waaronder Centraal Holland).
- Rivierverruiming van de Nederrijn-Lek is zeer lastig/ vrijwel onmogelijk, door de fysisch-geografische gesteldheid, met name die van de Lek (zeer smalle uiterwaarden, dijken langs gebieden in dikke veenpakketten).
- Dijkverzwarende langs de Lek is eveneens zeer lastig door de fysische eigenschappen van de ondergrond (dikke veenpakketten → relatieve instabiliteit van de dijken) en de dichte (lint)bebouwing, en stroomafwaarts van stuw Hagestein toch al noodzakelijk in verband met de zeespiegelstijging. Een nog zwaardere belasting door hogere rivierafvoeren is ongewenst.
- Het smalle winterbed maakt de Lek weinig robuust ('ademgedrag'), hetgeen sneller leidt tot gevaarlijk hoge waterstanden bij kwetsbare dijkengebieden (Alblasserwaard, Krimpenerwaard+ Centraal Holland).
- De Lek mondt uit in het relatief kleine Noordelijk Deltabekken, waar de tijdelijke opslagcapaciteit gedurende een sluiting van de stormvloedkeringen relatief beperkt is (wat overigens ook geldt voor de Waal), maar ...
- ... de Lek mondt daarbij ook nog eens direct uit in de Nieuwe Maas, middenin Rotterdam; en kan daar niet of alleen met zeer ingrijpende aanpassingen langs/ buitenom geleid worden (Anonymus, 2012).

8.2 Nader te onderzoeken alternatieve afvoerverdelingen

Er zijn ook goede redenen om de Waal te ontzien ('de gevaarlijkste rivier, over de gehele linie (veel) hogere hoogwaterstanden dan de andere Rijntakken, minst robuust (hyperventilatie), moeilijk te verruimen') en om de IJssel te ontzien ('de kleinste van de drie'). Maar er zijn ook redenen om juist *één van beide alle* extra hoogwaterafvoer toe te delen, zoals 'toch al de grootste en dus procentueel minste toename van de referentie-afvoer' (over de Waal), of 'dat wat de rivier zelf zou willen' (over de IJssel).

Daarom is het zinvol zowel deze beide uitersten als een aantal tussenvarianten te onderzoeken, waaronder als referentie de 80: 0: 20 (Waal: Nederrijn: IJssel) waar in de PKB op is voorgesorteerd, maar waar inmiddels de nadelen van worden ingezien (zie paragraaf 2.3).

De volgende 5 alternatieve afvoerverdelingen van het door klimaatverandering te verwachten *extra debiet* (van circa 1000 respectievelijk 2000 m³/s in 2050 en tegen 2100) worden daarom voorgesteld (voor nadere toelichting van de overwegingen over het waarom van ieder alternatief, zie hoofdstuk 5).

Tabel 8 Voorstel voor nader te onderzoeken alternatieve afvoerverdelingen van het surplus boven de huidige referentieafvoer van 16.000 m³/s te Lobith, met in blauwtinten een indicatie van de omvang van de resulterende 'opgave' voor extra afvoercapaciteit

Alternatief	Riviertak	Huidig (16.000)	17.000		18.000	
		% absoluut	% absoluut	% extra tov huidig	% absoluut	% extra tov huidig
Alle extra over Waal	Waal	63,5	65,7	10	67,6	20
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	14,5	0	13,7	0
80-20	Waal	63,5	64,5	8	65,4	16
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	15,6	8	15,8	16
2/3: 1/3	Waal	63,5	63,5	6	63,5	13
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	16,6	15	17,7	30
50-50	Waal	63,5	62,7	5	62,0	10
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	17,4	20	19,2	41
Alle extra over IJssel	Waal	63,5	59,8	0	56,5	0
	Nederrijn-Lek	21,1	19,9	0	18,8	0
	IJssel	15,4	20,3	40	24,8	80

Om deze verschillende afvoerverdelingen te realiseren kan in het splitsingspuntengebied gebruik worden gemaakt van (een combinatie van) een andere instelling van de regelwerken – of ingrijpender aanpassingen daaraan – of rivierverruiming van de tak(ken) waarover verhoudingsgewijs meer afvoer wordt gewenst.

Uit eerste rekenkundige vingeroefeningen lijkt het niet onmogelijk alle genoemde alternatieve afvoerverdelingen tot stand te brengen (zie hoofdstuk 6). Maar uit – nog uit te voeren – simulaties moet blijken of dat werkelijk het geval is en hoe moeilijk dat is. De resultaten van deze berekeningen komen naar verwachting in het voorjaar van 2025 beschikbaar.

8.3 Relevante criteria voor de beleidsafweging verdeling Waal/ IJssel

Om uiteindelijk van deze alternatieven vast te kunnen stellen welke maatschappelijk het meest gewenst is, is een beoordeling noodzakelijk van hun voor- en nadelen. Daarvoor zijn in deze voorverkenning in hoofdstuk 4 een aantal criteria geïdentificeerd (mede op basis van eerder onderzoek). Die worden hieronder nogmaals op een rij gezet.

Daaraan voorafgaand merken we echter op dat over **kostenverschillen** tussen de alternatieven (investering, onderhoud en beheer en mate van economisch-risicoreductie) in recent eerder onderzoek al is vastgesteld dat de verschillen in kosten zodanig klein zijn, dat deze niet differentiëren. Dat geldt in ieder geval voor dijkverzwaring, maar – voorzover nu bekend – waarschijnlijk eveneens voor rivierverruiming (zie paragraaf 4.3).

De volgende beoordelings-/ afwegingscriteria zijn relevant:

- **Lengte** van de Rijntak naar zee, c.q.verhang (meest logische weg naar zee)
- **Gevaarlijkheid** van de riviertak, zoals af te leiden uit het hoogteverschil tussen de hoogwaterstand op de rivier en het maaiveld binnendijks en de hoeveelheid water in de rivier. Dit criterium is bijzonder relevant, ten eerste omdat hogere hoogwaterstanden non-lineair kunnen doorwerken in de gevolgen van een eventuele overstroming (Klijn et al., 2018) en ten tweede omdat toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen de kwetsbaarheid van het achterland onbedoeld kunnen doen toenemen.

- **Robuustheid**, hetgeen verwijst naar het ‘ademgedrag’ (de Qh-relatie) van de verschillende riviertakken in respons op afwijkende of hogere rivierafvoeren (gevoeligheid voor onzekerheden).
- **Kwetsbaarheid** van de **aan de riviertak grenzende** dijkkringgebieden, zowel vanuit potentiële schade als slachtoffers (rekening houdend met evacueerbaarheid). En zowel in de huidige situatie als in mogelijk toekomstige als gevolg van demografische en economische ontwikkelingen.
- **Kombergingscapaciteit** van het **ontvangende water**, hetgeen weer consequenties heeft voor de gevaarlijkheid van de betreffende grote wateren.
- **Kwetsbaarheid** van de **aan het ontvangende water grenzende** dijkkringgebieden, zowel vanuit potentiële schade als slachtoffers (rekening houdend met evacueerbaarheid).
- **Mogelijkheden** (moeilijkheidsgraad) om de afvoercapaciteit van de gehele riviertak met de vereiste hoeveelheid te vergroten met hetzij rivierverruiming hetzij dijkverhoging of een combinatie van die beide.
- En – als directe tegenhanger – **meekoppelkansen** daarbij, in de vorm van bijvoorbeeld natuurontwikkeling of integrale gebiedsontwikkeling, in lijn met de ambities van IRM om meerdere doelen te dienen.
- **Het voorkomen van extra opstuwing** door de noodzaak de verdeelwerken dicht te zetten en de flessenhalzen op de splitsingspunten nog verder te vernauwen – in plaats van te verruimen.

En samenhangend met het laatste punt, maar pas in paragraaf 7.1 expliciet benoemd: de wens de mate van uiteenlopen van de verhanglijnen in het splitsingspuntengebied te verkleinen, teneinde de hoogwaterverdeling **minder kwetsbaar** te maken voor ontwikkelingen in het rivierbed of afwijkingen in de instelling van het verdeelwerk of partieel falen: **kleinere gevoeligheid voor onzekerheden** (*safe-fail* in plaats van *fail-safe*).

Tenslotte is voor de verantwoordelijk beheerder (Rijkswaterstaat) ook de **maakbaarheid/** beheerbaarheid en **uitbreidbaarheid** van de oplossingsrichting als geheel (en de technische maatregelen afzonderlijk) relevant. Maar aangezien IRM streeft naar een ‘duurzaam goed functionerend riviersysteem dat zo z’n diensten voor de maatschappij kan vervullen’ zou dat geborgd moeten zijn in de voorselectie van te overwegen interventies; wat daar strijdig mee is, zou bij voorbaat moeten afvallen.

Literatuur

- Anonymus (Programmteam Rijnmond-Drechtsteden), 2012. *Verkenning mogelijke strategieën voor Rijnmond-Drechtsteden. Achtergrondrapport bij het Deltaprogramma 2013*. Deltaprogramma, Den Haag.
- Asselman, N., P. de Grave & D. Wagenaar, 2018. *Afvoerverdeling Rijntakken na 2050. Lijkt een wijziging kosteneffectief of niet?* Deltares-rapport 11202191-000, Delft.
- Asselman, N., A. Becker, S. Giri, 2020. *Aanvullende simulaties afvoerverdeling Rijn*. Deltares-rapport 1203684-001, Delft.
- Asselman, N., P. de Grave, O. Weiler & A. Spruyt, 2019. *Verkenning varianten afvoerverdeling Rijntakken in de context van de overstromingsrisicobenadering*. Deltares-rapport 11202191-000
- Baan, P. & F. Klijn, 1998. *De Rijn op termijn: een veerkrachtstrategie*. WL-rapport R3124.10, Delft. iii + 65 pp.
- Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000. *Waterbeleid voor de 21e eeuw. Geef water de ruimte en de aandacht die het verdient*. Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw.
- De Jong, J., 2020. *Effect van een nieuwe bodemhoogte 2050 op de waterstanden en afvoeren op de Rijntakken*. Memo Deltares, 11203738-005-BGS-0011
- Deltares, 2022. *Bodem en water als basis. Beslisregels, onderbouwing, kartering*. Deltares-rapport 11208014-025-BGS-0001
- ENW (Expertisenetwerk Waterveiligheid), 2021. *Advies: Toekomst van het beleid 'Lek ontzien'*. ENW-advies nummer 21-04 van 27 juli 2021.
- Ferrand, J.H., 1847. *Memorie over de verdeling der wateren van den Boven-Rijn, tusschen de Waal, den Neder-Rijn en den IJssel*. Algemeene lands drukkerij, 's Gravenhage.
- Kleinhans, M. G., F. Klijn, K.M. Cohen & H.J.H. Middelkoop, 2013. *Wat wil de rivier zelf eigenlijk?* Deltares-rapport 1207829, Universiteit Utrecht & Deltares, Utrecht. 50 pp.
- Klijn, F., 1999. *Afvoerverdeling Rijntakken: een vast gegeven?* WL| delft hydraulics rapport R3294.95, Delft
- Klijn, F., S.A.M. van Rooij, M. Haasnoot, L.W.G. Higler & B.S.J. Nijhof, 2002. *Ruimte voor de rivier, ruimte voor de natuur? Fasen 2 en 3: Analyse van alternatieven en contouren van een lange-termijnvisie*. Alterra-rapport xxx/ WL-rapport Q2824.10, Wageningen.
- Klijn, F., 2003. Groene rivieren en blauwe bypasses; rivierverruiming van formaat. *H2O* 36(2003)/ 24 (5 december): 38-40
- Klijn, F, M. Hegnauer, J. Beersma & F. Serna Weiland, 2015. Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren. KNMI & Deltares-rapport 1220042, Delft. DOI: 10.13140/RG.2.1.4399.5601

- Klijn, F., N.E.M. Asselman & D. Wagenaar (2018). [Room for Rivers: risk reduction by enhancing the flood conveyance capacity of the Netherlands' large rivers.](#) *Geosciences* 2018, 8, 224 (20 pp.); doi:10.3390/geosciences8060224
- Klijn, F., N.E.M. Asselman & E. Mosselman, 2019. [Robust river systems: on assessing the sensitivity of embanked rivers to discharge uncertainties, exemplified for the Netherlands' main rivers.](#) *Journal of Flood Risk Management* 2019; 12 (Suppl. 2): e12511; doi 10.1111/jfr3.12511
- Klijn, F., H. Leushuis, M. Treurniet, W. van Heusden & S. van Vuren (2022). *Systeembeschouwing Rijn en Maas ten behoeve van ontwerp en besluitvorming*. Programma Integraal RivierManagement, ministerie van Infrastructuur en Water, Den Haag.
- Kors, A.G., L.C.P.M. Stuyt, H. van der Most, 2000. *WB21: Samenhang watersystemen. Eindrapport thema 1&2*. RWS, Alterra, WL.
- Ministerie Verkeer & Waterstaat, 2005. *Planologische Kernbeslissing (PKB) Ruimte voor de Rivier. Deel 1: Ontwerp Planologische Kernbeslissing/ Nota van Toelichting*. Den Haag.
- Ministerie Verkeer & Waterstaat, 2006. *Planologische Kernbeslissing (PKB) Ruimte voor de Rivier. Deel 4: Vastgesteld besluit*. Den Haag.
- Projectgroep Spankrachtstudie (Kors, A. & F. Alberts), 2002. *De spankracht van ons rivierenland. Eindrapport Spankracht*. RIZA, Lelystad
- Projectgroep Spankrachtstudie (Bomas, B., A. Nienhuis, P. van der Molen & F. Alberts), 2002a. *Bouwstenennota. Een overzicht van beschikbare ruimtelijke en technische maatregelen voor veilige verwerking van toekomstige maatgevende Rijnwaterafvoeren*. RIZA, Lelystad
- Rijkswaterstaat, 2007. *Rivierkundig beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren*. Versie 1.0.
- Rijkswaterstaat (Voortman, B & R. Schielen), 2017. *Rivierkundige studie Splittingspuntengebied. Effecten en consequenties van rivierverruimende maatregelen uit de Voorkeursstrategie voor het Deltaprogramma*. Ministerie van Infrastructuur & Milieu, Den Haag.
- Schropp, M., 1999. *Regelbereik afvoerverdeling Rijntakken, een verkenning bij Maatgevend Hoogwater*. RIZA rapport 99.022, Lelystad.
- Schropp, M., 2002. *Onzekerheden in de afvoerverdeling bij Maatgevend Hoogwater*. RIZA-rapport 2002.047, Arnhem.
- Schropp, M. & T. Jansen, 2020. *Opties afvoerverdeling hoogwater Rijntakken*. Memo RWS-WVL/ DGWB
- Silva, W., F. Klijn & J.P.M. Dijkman, 2000. *Ruimte voor Rijntakken; wat het onderzoek ons heeft geleerd*. RIZA nota 2000.026, Arnhem/ WL-rapport R3294, Delft. 162 blz.
- Silva, W. & T. van der Linden, 2004. *Van Lobith naar zee, een beknopte analyse van de afvoercapaciteit*. PKB Ruimte voor de Rivier. Werkdocument 2004.225x, RWS-RIZA Lelystad
- Sperna Weiland, F., J. Beersma, M. Hegnauer & L. Bouaziz, 2015. *Implications of the KNMI'14 climate scenarios on the future discharge of the Rhine and the Meuse; comparison with earlier scenarios*. Deltares report 1220042

- Treurniet, M., C. de Leeuw, D. Beyer & E. Kater, 2024 (concept 9 juli). *Regelbereik afvoerverdeling hoogwater. De inzet van regelwerken Pannerden en Hondsbroekse Pleij in RWS-ON*. Memo RWS-ON, Arnhem.
- Tutein Nolthenius, R.P.J., 1886. Onderzoek omtrent de waarde en de bruikbaarheid der oudere stroommetingen op den onverdeelden Rijn en op zijne takken. *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, instituutsjaar 1885-1886.
- Van der Most, H., 2000. *Afvoerverdeling van de Rijn bij hoge afvoeren: de samenhang nader verkend*. Rapport Onderzoek thema 2 WB2I.
- Van Heezik, A.A.S., 2007. *Strijd om de rivieren. 200 jaar rivierbeleid in Nederland*. HNT Historische producties/ Rijkswaterstaat. Den Haag/Haarlem.
- Van Rooij, S.A.M., F. Klijn & L.W.G. Higler (2000). *Ruimte voor de rivier, ruimte voor de natuur? Fase 1: Verkenning*. Alterra-rapport 190, Wageningen.
- WL | delft hydraulics, 1997. [De Rijn op Termijn](#). Brochure

Bijlage 1: Enige geschiedenis van de afvoerverdeling

In 1745 werd tussen de provincies Gelderland, Utrecht, Holland en Overijssel de afvoerverdeling die toen verondersteld werd te bestaan bij conventie vastgelegd. Eigenlijk een merkwaardige afspraak, omdat de eerste afvoermetingen pas eind 18^e eeuw plaatsvonden (door Brunings). Sommige auteurs denken dan ook dat de afspraak eigenlijk betrekking had op de breedte of het doorstroomprofiel, die men wel kon meten (Tutein Nolthenius, 1886).

Ferrand (1847) schreef hierover:

*“Nergens heb ik eenige bepaling gevonden nopens de evenredigheid, in welke de wateren van den onverdeelden Boven-Rijn, tusschen de Waal en den Neder-Rijn, regtens verdeeld behoorden te worden; noch wat **wenschelijk** was, vóórdat*”

En dat gaat verder onder verwijzing naar uitgebreide discussie over de hoogwaterverdeling tussen de hiervoor genoemde 4 provincies (of nee: *Soevereine Staten*, in de woorden van Ferrand – toen nog!).

Ook het volgende citaat komt uit Ferrand (1847), die daarom een voorstel deed voor een verdeling die ongeveer sedert halverwege de 18^e eeuw *de facto* de afvoerverdeling omschreef; en vervolgens voorschreef¹⁶:

“Dat gelyk gerekent word, dat jegenwoordig omtrent twee derde parten van 't waeter van den Boven-Rhyn langs de Whaal, en een derde part langs den Neder-Rhyn, Leck en Yssel worde affgeleyd, het bùt¹⁷ altoos sal zyn, die proportie te doen stand grypen, en voor zooveel doenlyk te conserveeren.”

Hij baseerde dat op 1) de overeenkomst tussen de 4 provincies en 2) de feitelijke afvoerverdeling (voor zover vast te stellen). Wat die feitelijke verdeling betreft zou de Gelderse gecommiteerden in 1745 zijn gebleken:

“dat het Pannerdense Canaal circa een derde van de Whaal nae sigh neemt, dat ingelyx den Yssel weder een derde van den Neder-Rhijn nae sigh trekt, sulx dat het booven Rhijnwaeter ongevheer 6/9 de Whaal, 2/9 de Neder-Rhyn en Leck , en 1/9, den Yssel komt aff te stroomen.”

Sinds midden 18e eeuw gold daarom een na te streven verhouding van 2/3 Waal - 1/3 Pannerdens Kanaal, en sinds eind 18e eeuw dezelfde verhouding tussen Nederrijn en IJssel, maar die gold *bij min of meer gemiddelde afvoer*. Daar lagen dus weinig inhoudelijke argumenten aan ten grondslag.

Tegenwoordig heeft die 2/3-1/3 regel geen beleidsmatige betekenis meer; maar hij duikt (nog) op in bijna alle verhalen over de afvoerverdeling voor groter publiek (ook op [wikipedia](https://nl.wikipedia.org/wiki/Afvoerverdeling)). Niet geheel verwonderlijk, want voor een grote bandbreedte aan middelhoge en hoge afvoeren klopt deze ongeveer.

¹⁶ Inmiddels was Nederland onder de Fransen één geworden en bestond (de voorloper van) Rijkswaterstaat.

¹⁷ Voor wie onvoldoende bekend is met het oud-Nederlands (of de Franse taal): dit betekent *doel*

Bijlage 2: De huidige 'beleidsmatige' afvoerverdeling

De beleidsmatige afvoerverdeling bij 16.000 m³/s zoals we die nu aanhouden, is ontwikkeld en vastgelegd in het kader van de PKB-Ruimte voor de Rivier (Ministerie Verkeer & Waterstaat, 2006) met een aanloop in WB'21 (Kors et al., 2000). Voordien bestond er geen norm voor de afvoerverdeling bij extreem hoogwater. Het water zocht eenvoudigweg de weg van de minste weerstand.

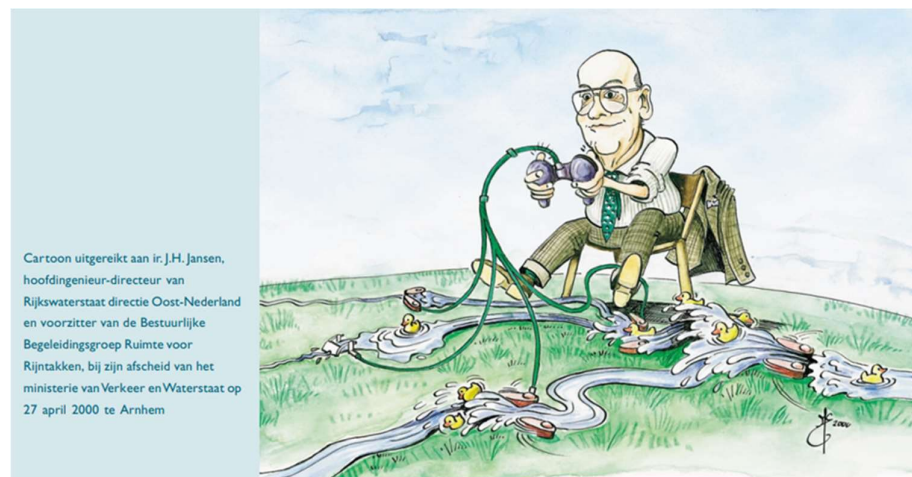
In de jaren '60 en '70 werd wel erkend dat de afvoerverdeling bij extreem hoogwater (toen nog 18.000 m³/s) onzeker is, maar werd dat vertaald in een toeslag op de afvoer per tak. Silva et al. (2000) schreven later over dergelijke onzekerheden het volgende:

En de afvoerverdeling bij de splitsingspunten: die is toch wel zeker?

Nou, dat is te zeggen. De afvoerverdeling waar vanuit wordt gegaan berust op berekeningen, waarbij de geometrie van het rivierbed (vorm van zomerbed en uiterwaarden) en de hydraulische ruwheid van het zomerbed en van de vegetatie in de uiterwaarden belangrijke factoren zijn. Omdat echter nog nooit in het verleden een afvoer van 15.000 m³/s is opgetreden, is het niet mogelijk geweest deze berekeningen te verifiëren. Omdat de procentuele verdeling van het water bij ieder afvoer verschilt, is het nog maar de vraag of de berekende waterverdeling wel precies zo zal optreden. Bovendien is bekend dat de golfvorm van invloed is op de verdeling over de takken. Bij een steile afvoergolf gaan enkele tientallen m³/s meer water over de Waal, bij een bredere iets meer over het Pannerdensch Kanaal en daarna over IJssel en Neder-Rijn. Een tweede onzekerheid hangt samen met de snelle veranderingen in de bodemligging van het zomerbed tijdens het passeren van een hoogwater. Uit verkennend modelonderzoek is gebleken dat ook hierdoor de afvoerverdeling nog iets kan verschuiven.

Nu is het gevolg van een kleine afwijking voor een relatief grote rivier als de Waal mogelijk niet zo heel groot, maar 100 m³/s extra naar een kleine rivier als de Neder-Rijn of IJssel betekent een verhoging van de waterstanden met zo'n 10 cm. Helaas is de afvoerverdeling dus wel degelijk ook met onzekerheden omgeven.

In het eindrapport van de Integrale Verkenning Rijntakken (IVR; Silva et al., 2000) is ook veel aandacht besteed aan de *omgang* met onzekerheden en 'adaptieve planning' *avant la lettre*. Hieronder een kopie van een relevante passage. Ook is een prent opgenomen die Wim Silva heeft laten maken van de HID-Oost Nederland die de afvoerverdeling beheerde/beheerste; voor diens afscheid (zie figuur hieronder).



Betekent dit niet dat voor een goede fasering van maatregelen de afvoerverdeling op de splitsingspunten moet (kunnen) worden aangepast?

Jazeker. Omdat het haast onmogelijk is de afvoercapaciteit van één riviertak te vergroten zonder de afvoerverdeling te beïnvloeden, is het gewenst dat met compenserende maatregelen of een regelwerk de afvoerverdeling kan worden 'gestuurd'. Vooral maatregelen nabij een splitsingspunt beïnvloeden de afvoerverdeling sterk. Dat betekent dat onder meer vanuit een oogpunt van fasering – bijvoorbeeld door eerst de afvoercapaciteit van één tak te vergroten – een 'flexibele' vorm van sturing van de afvoerverdeling zeer gewenst is. Dit vereist dat de afvoerverdeling tijdelijk kan worden gewijzigd, opdat deze overeenkomt met de gewenste afvoerverdeling. Nu is uit een verkenning van de 'stuurbaarheid' van de afvoerverdeling gebleken dat deze inderdaad kan worden gewijzigd binnen bepaalde grenzen. Het 'regelbereik' bij Pannerdense Kop is ongeveer 1000 m³/s, dat bij IJsselkop veel kleiner zonder aanpassingen aan de breedte van het winterbed. Daar staat tegenover dat aanpassing op dit moment wel enige jaren vergt, omdat er nieuwe (harde) civieltechnische constructies rond de splitsingspunten moeten worden aangelegd of er (zachte) rivierverruimende maatregelen in de uiterwaarden moeten worden genomen.

Los van aanpassing van de afvoerverdeling op middellange en/of lange termijn kan het wenselijk zijn de afvoerverdeling tijdens een hoogwater te kunnen beïnvloeden, bijvoorbeeld als de afvoerverdeling niet blijkt overeen te stemmen met de berekende – een onzekerheid die hiervoor is besproken –, in verband met een veranderende afvoerverdeling tijdens passage van een hoogwater, of om te bewerkstelligen dat een onverwacht hoge afvoer – boven de maatgevende afvoer – gericht langs één tak wordt afgevoerd, in plaats van ongericht langs drie takken met alle problemen van dien. Daarom wordt in de komende tijd verder onderzoek verricht naar 'flexibel' sturen.

Er is in IVR (Integrale Verkenning Rijntakken) en RvR (Ruimte voor Rijntakken) wel uitgebreid gekeken naar andere afvoerverdelingen (o.a. Klijn, 1999), maar uiteindelijk is alles min of meer bij het oude gebleven: de procentuele verdeling bij de indertijd *maatgevende* afvoer van 15.000 m³/s werd in 2006 tot norm verklaard voor 16.000 m³/s en er werd besloten de Lek te ontzien wanneer de *maatgevende* afvoer nog verder zou toenemen.

In het kader van de Spankrachtstudie (Projectgroep Spankrachtstudie, 2002) is – als vervolg op IVR en aanpalend aan RvR – ook nog verkend in hoeverre de afvoercapaciteit per Rijntak kon worden opgerekt voor als de 'maatgevende afvoer' verder zou toenemen. En met welke maatregelen dat zou kunnen (Projectgroep Spankrachtstudie, 2002a). Vooral op die analyse baseerde Silva zijn notitie Van Lobith naar Zee, die na enkele concepten (2000 en 2002) in 2004 voor de PKB definitief is gemaakt (Silva & Van der Linden, 2004).

Met de vaststelling van de PKB werd ook besloten de vaste overlaten bij Pannerdense Kop en Hondsbroekse Pleij te vervangen door regelbare verdeelwerken. Enerzijds omdat die overlaten aan vervanging toe waren (de stalen damwand roestte erg; en het zag er ook niet uit, trouwens); maar vooral ook om de afvoerverdeling *minder aan het toeval over te laten*, c.q. te kunnen beheersen. Dat strookte met wat Silva et al. (2000) daarover hadden geopperd.

Met de nieuwe 'verdeelwerken' werd het mogelijk de afvoerverdeling voor het hoogwaterseizoen zodanig in te stellen dat een 'beleidsmatige' afvoerverdeling kon worden gerealiseerd (op jaarbasis, niet op dag- of uurbasis; dus niet situationeel) (RWS, 2017; Schropp & Jansen, 2020). Het gaat om een fijnregeling met enkele 100-en m³/s naar weerszijden – althans, zo was beoogd.



Figuur 11 De oorspronkelijk overlaat bij Pannerden met een damwandconstructie met zijdelingse begrenzing (boven), falen als gevolg van een hoogwater (linksonder) en de nieuwe instelbare constructie met betonnen schotbalken (rechtsonder), die zowel bij Pannerden als Honsbroekse Pleij is toegepast.

De 'beleidsmatige afvoerverdeling' is dus op nauwelijks navolgbare wijze tot stand gekomen, want in HR2001¹⁸ is gesteld dat (voor 16.000 m³/s) is uitgegaan van dezelfde procentuele verdeling als die bestond ten tijde van de uitgave van HR1996 (Hydraulische-Randvoorwaardenboek voor de voordien maatgevende 15.000 m³/s); en over die verdeling: die 'is hiermee in overeenstemming met die volgens het regeringsstandpunt Ruimte voor de

¹⁸ HR staat voor Hydraulische Randvoorwaarden, het boek met de maatgevende hoogwaterstanden voor onder andere alle locaties langs de grote rivieren.

Rivier'. Kennelijk was er in 2001 dus al zoiets als een beleidsmatige afvoerverdeling, gebaseerd op de HR1996.

Op grond van de simulaties die daarvoor waren uitgevoerd (met de bodem en ruwheden van circa 2001) werd in de PKB¹⁹ de na te streven afvoerverdeling voor een maatgevende afvoer van 16.000 m³/s nauwkeuriger als volgt vastgesteld:

			Afvoer per tak bij 16.000 Lobith in m ³ /s			In procenten		
Bovenrijn	Waal	Waal	16000	10165	10165	100	63,5	63,5
	Pannerdens	Nederrijn		5835	3376		36,5	21,1
		IJssel			2459			15,4

Pas hiermee werd de afvoerverdeling over de Rijntakken 'beleidsmatig' vastgelegd voor een afvoer van 16.000 m³/s . In 2006 dus.

Met de verdeelwerken kan van jaar tot jaar worden gecorrigeerd voor langjarige veranderingen in het rivierbed als gevolg van verschillende snelheden van uitschuring/sedimentatie, door vegetatieontwikkeling, of door rivierinrichting (verruiming). Er kan *niet* worden gereageerd op veranderende ruwheid door bodemontwikkeling tijdens een hoogwater (mega-stroomribbels c.q. 'bodemuinen'), laat staan op afwijkingen door harde wind of een vastgelopen schip (zoals tijdens het hoogwater van eind 2023).

Deze afvoerverdeling is in 2006 (zie Rijkswaterstaat, 2007: RBK 1.0) ook al verankerd in het Rivierkundig Beoordelingskader (inmiddels RBK 6.0). Zelfs zo precies, dat het in principe slechts een afwijking van max. 5 m³/s toelaat bij 16.000 m³/s Rijnafvoer (= 0,3 promille!)²⁰. Dat geldt dus bij een afvoer zoals die nog nooit is waargenomen. En het komt – naar schatting – overeen met slechts 1 schot teveel of te weinig in het verdeelwerk. Zodat die verdeling alleen in de modeluitkomst kan kloppen, maar niet in werkelijkheid.

Met andere woorden: er blijft in werkelijkheid een aanzienlijke onzekerheid over de actuele afvoerverdeling tijdens een hoogwater bestaan door windopstuwing, opstuwing vanuit zijdelingse toestroming, verschillen in de vorm van de afvoergolf, morfologische veranderingen bij passage van een hoogwatergolf, e.d. (zie de analyse van Schropp, 2002; en voor morfologie ook de waarschuwing van Kleinhans et al., 2013). Het maximaal gezamenlijk effect van alle onzekerheden kan zo'n 400 m³/s bedragen, maar een realistische veronderstelling voor afwijkingen om rekening mee te houden zou eerder 200-300 m³/s moeten zijn (Schropp, 2002).

¹⁹ In de memorie van toelichting (PKB, deel 5) staat: Dit zal gebeuren volgens de huidige verhouding waarin de afvoeren over Waal en IJssel worden verdeeld. Daarom wordt bij de meeste studies tot nu toe aangenomen dat de afvoer die anders extra over de Nederrijn zou gaan verdeeld wordt over Waal en IJssel cf. hun huidige onderlinge verhouding van 64% : 15% (dat is dus in een verhouding van ongeveer 4: 1 ofwel 80-20). Tevens wordt aangenomen dat sowieso 63% van de extra Rijnafvoer naar de Waal zou gaan en 15% naar de IJssel. Dit werd (en wordt) als de meest voor de hand liggende interpretatie van de PKB-uitspraak gezien.

²⁰ Enkele citaten uit RBK 6.0 die afwijken mogelijk maken:

In uitzonderlijke gevallen kan de rivierbeheerder een grotere afwijking toestaan: in het geval een ingreep leidt tot een verandering van de afvoerverdeling welke positief bijdraagt aan beleidsmatig vastgestelde uitgangspunten. Voor alle rivierverruimingsprojecten moeten, indien nodig, (tijdelijke) maatregelen worden getroffen om ongewenste tussentijdse verandering van de afvoerverdeling (tijdelijk) te corrigeren. Deze inspanning is ter beoordeling van het bevoegd gezag (Rijkswaterstaat).

Bijlage 3: Geschiedenis van discussie over de afvoerverdeling

De afvoerverdeling bij hoogwater is in het verleden herhaaldelijk ter discussie gesteld. Als we daar naar kijken, is het wel essentieel daarbij onderscheid te maken tussen discussies in de verre geschiedenis en die in het zeer recente verleden ('heden').

Want die in de verre geschiedenis zijn voor de toekomst niet meer zo heel relevant, *behalve waar ze bijdragen aan het identificeren van relevante criteria voor de beoordeling* van wat voor de toekomst maatschappelijk het meest gewenst zou zijn. Daarom toch ook een inkijkje in discussies in het verdere verleden, zoals bepleit door Lely (1890, geciteerd door Van Heezik, 2007):

“De kennis van de voornaamste voorstellen tot rivierverbetering in vroeger jaren, alsmede hun voor- en nadeelen, blijft dan ook steeds belangrijk, en is haast onmisbaar, om grondig te kunnen oordeelen over de mogelijkheid tot afdoende verbetering onzer rivieren”.

... in het 'verre' verleden

In de tweede helft van de 18^e eeuw stroomde vaak veel water via de Nederrijn en IJssel en vreesden vooral de staten Utrecht en Holland overstromingen. Vanaf 1771 werd daarom de afvoerverdeling tussen de Rijntakken geleidelijk vastgelegd; na moeizaam overleg (Van Heezik, 2007). Dit is vooral daarom intrigerend, aangezien het Pannerdens Kanaal al in 1707 was opgeleverd, met als *doel de waterverdeling over de Rijntakken te beheersen*. Het lijkt erop dat niet zozeer naar een helder doel werd toegewerkt, maar dat men veeleer deed wat toen in het vermogen lag.

Inzake het overleg over de gewenste afvoerverdeling wordt in de Systeembeschuiving IRM (Klijn et al., 2022) een citaat van Buysingh aangehaald, die in 1845 bepleitte bij hoogwater het **'teveel'** vooral af te leiden naar de IJssel. Met name om het kwetsbaarder centraal rivierengebied en het laaggelegen westen van overstromingen te vrijwaren (zie uitknipsel hier onder).

Intussen moet men, de zaak uit het oogpunt van algemeen belang beschouwend, erkennen dat geen enkele van onze riviertakken langs zulke gunstig gelegen landerijen stroomt als de IJssel in Gelderland en Overijssel. Al deze landerijen, hoezeer zij ook met water belast mogen worden, kunnen zonder kunstmatige en kostbare bemaling opdrogen. Bij eventuele inundatie zullen de beneden liggende landerijen dus veel sneller van het water verlost worden dan de lage polders lang de Lek en de Waal, zoals de jongste overstroming als gevolg van de doorbraken bij Rees (onder Emmerich, aan de Rijn) nog overtuigend heeft laten zien. Want ondanks de grote massa water die uit de ongesplitste Rijn naar de IJssel stroomde en de hoogte van de inundatie, was toch voor eind maart het water uit Gelderland en Overijssel alweer afgevoerd, en dus vroeg genoeg om de landerijen te kunnen bebouwen. De schade die op enkele punten aan bruggen, gebouwen enz. is geleden, staat niet in verhouding tot de schade die de landerijen bij dergelijke rampen langs de Waal en de Lek ondergaan. Op grond van deze gesteldheid langs de IJssel en de korte afstand tot de zee, heeft men dan ook bij de meeste ontwerpen een afleiding van de bovenrivieren langs deze weg gezocht.

Duco Johannes Storm Buysingh, 1845

Figuur 12 Citaat uit Buysingh, 1845, met argumentatie voor 'meer over de IJssel'.

Het doorslaggevende **criterium** in dit betoog lijkt te zijn geweest: **de kwetsbaarheid van de aanpalende overstroombare gebieden**.

Voor wat betreft de **laagwaterverdeling** in relatie tot het IJsselmeer en het voorkomen van zoutindringing in het westen van het land, is gekozen voor het kanaliseren van de Nederrijn. Dat werd (in 1940) voorgesteld door Thijssen (oud-directeur van het Waterloopkundig Laboratorium) als alternatief voor het kanaliseren van de IJssel, onder meer opdat het IJsselmeer genoeg zoetwater zou krijgen (Van Heezik, 2007; blz. 48)²¹, maar wat pas mogelijk werd na de deltawerken.

Met – naar we vermoeden – mede hetzelfde doel²², namelijk meer water naar het IJsselmeer afleiden, werd tussen 1951 en 1954 de IJssel verkort door bij Doesburg een eerste bocht af te snijden. In de 60-er jaren werd ook de bocht bij Rheden verwijderd (nu het Rhederlaag, dat door de rivierverlegging is gescheiden van het dorp waaraan het z'n naam dankt) en nog wat later die bij De Steeg.

Met de stuwen in de Nederrijn wordt nu de afvoerverdeling bij lage afvoeren geregeld²³ volgens een verdeelsleutel die in de 80-er jaren als optimaal werd gekwalificeerd in de zogeheten PAWN-studie (van de RAND-corporation en het Waterloopkundig Laboratorium; Pulles, 1985). Of deze verdeling anno nu nog steeds de meest optimale is – bij lage rivierafvoeren – is *verondersteld* in de Systeembeschoouwing IRM (Klijn et al., 2022). Maar deze veronderstelling wordt nog geverifieerd – of ontkracht – door het Deltaprogramma Zoetwater samen met een parallelle verkenning aan de onderhavige naar de afvoerverdeling bij hoogwater²⁴ (in voorbereiding).

... en in het recente verleden ('heden')

De eerste suggestie dat bij een sterke toename van de extreme hoogwaters op de Rijn door *klimaatverandering* misschien een andere afvoerverdeling minder nadelig zou uitpakken, werd gedaan door WL | delft hydraulics (1997) in de studie **De Rijn op Termijn**. In die studie werd verkend *of en hoe* Nederland een extreme afvoer van 20.000 m³/s in de (verre) toekomst aan zou kunnen. Na een grofstoffelijke verkenning van alternatieven werd uiteindelijk voorgesteld om dan *alle extra afvoer boven* de toen maatgevende 15.000 m³/s – dus wel zo'n 5.000 m³/s – door het IJsseldal af te voeren, door daar veel ruimte buitendijks te maken (Baan & Klijn, 1998).

Als belangrijkste criterium voor die keuze gold de makkelijker te vergroten bergingscapaciteit van het IJsselmeer in verhouding tot die in West-Nederland (**criterium: waar berg je het water bij spuibeperking door hoge zeestand?**) en de makkelijker te vergroten afvoercapaciteit van het natuurlijke – en dus veiliger – IJsseldal in vergelijking met een route naar het westen door laaggelegen komkleigebieden (**criterium: kwetsbaarheid naastliggende dijkringgebieden**). Dat laatste was dus vrijwel hetzelfde criterium als Buijsingh in 1845 opvoerde.

De studie De Rijn op Termijn keek ver vooruit en schuwde 'ingrijpende oplossingen' niet. Maar schetste daar ook enkele voordelen van, waaronder duidelijkheid/ perspectief. Iets waar IRM nu op wordt aangesproken.

²¹ Thijssen en Van Veen behoorden volgens Van Heezik (2007; blz.47-48) met Wentholt (DG-RWS van 1940-1945) bij de eersten die aan integraal waterbeleid deden, *avant la lettre*, na de termen 'waterhuishouding' en 'waterhuishoudkundig beleid' te hebben geïntroduceerd.

²² Naast een kortere vaarweg.

²³ Althans, dat was de bedoeling, maar door de ongelijke uitschuring klopt die niet meer; zie Klijn et al., 2022.

²⁴ De afvoerverdeling bij hoge afvoeren kan vrijwel onafhankelijk worden gestuurd van die bij lage.

Voor het programma **Ruimte voor Rivier** was het vasthouden aan de afvoerverdeling na die agendering van het klimaatprobleem geen absoluut taboe meer. Voortuitlopend op de al voorziene verhoging van de maatgevende afvoer (officieel vastgesteld in 2001) is toen dan ook verkend of het niet goedkoper was – of anderszins gewenst – om niet 3 Rijntakken te verruimen, maar slechts twee of zelfs één (Klijn, 1999). Achterliggende gedachte: niet alle drie Rijntakken zijn even gemakkelijk – en dus kosten-effectief – te verruimen. Dit kan worden begrepen als toepassing van het **criterium: kosten-effectiviteit**.

De uitkomst van de verkenning met de Blokkendoos die was gemaakt voor de PKB-studie Ruimte voor de Rivier was dat het inderdaad goedkoper is niet alle drie takken te verruimen. En eveneens dat de Nederrijn-Lek de langste en de lastigste tak is om te verruimen (zie voor een deel van de verklaring Kleinhans et al., 2013: de Lek is pas laat ontstaan in een aaneengesloten dik laagveengebied). Er werd dus ook verwezen naar het hydraulisch **criterium: kortste/ steilste weg naar zee(niveau)**.

Met de PKB werd (in 2005) echter besloten dat het ontzien van de Nederrijn-Lek pas beleid zou worden als de 'maatgevende afvoer' nog verder zou toenemen (dat wil zeggen: verder dan van 15.000 naar 16.000 m³/s). Waarachter weer een **criterium van gelijke verdeling van lasten en lusten** schuil lijkt te gaan (eerst maar eens '*allemaal samen de schouders eronder*').

Intussen had de **Commissie WB'21** haar advies uitgebracht over de vraag of de waterhuishouding van Nederland wel toekomstbestendig was. Die 'commissie Tielrooij' schreef gedurende haar bestaan ook een advies over Ruimte voor de Rivier (brief 20 april 2000; Bijlage 1 (blz. 92 e.v.) in Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000) met daarin o.a. de volgende relevante passages:

Afvoerverdeling Rijntakken

Er wordt steeds uitgegaan van het aanhouden van de huidige afvoerverdeling op het splitsingspunt van de Rijntakken. Echter voor de langere termijn beschouwing, de toename van de Rijnafvoer van 16.000 m³/s naar 18.000 m³/s, zou volgens de Commissie WB21 absoluut een overkoepelende beschouwing moeten worden gehouden. Daarbij moet bekeken worden of deze toename in rivierafvoer het beste via de Waal of via de IJssel kan worden afgevoerd. De Lek lijkt geen verdere mogelijkheden meer te bieden voor hogere afvoeren. Vanuit kostenoverwegingen lijkt verdeling over Waal en IJssel ook niet aantrekkelijk.

Bij deze afweging spelen de volgende zaken een rol:

- De afvoerconsequenties voor de riviertakken zelf. Voor de Waal zijn de mogelijkheden uitvoerig reeds bekeken, voor de IJssel zijn de consequenties van grote afvoer toename (meer dan 2000 m³/s erbij) nog niet bekeken. Dit is enkele jaren geleden overigens wel op globale wijze gebeurd in de studie Rijn op termijn van WL/Delft Hydraulics.
- Een vergelijking van de mogelijkheden van waterberging tijdens hoge zeewaterstanden in de Delta van Zuid-West Nederland (Volkerak e.d.) met de bergingsmogelijkheden in het IJsselmeer. Ook een vergelijking van de lozingsmogelijkheden is van groot belang. De bergingsmogelijkheden in het IJsselmeer hangen weer af van de strategie die in WIN gekozen wordt. Waarschijnlijk kiest WIN op korte termijn voor extra spuicapaciteit bij de Afsluitdijk en op langere termijn (na 2025) voor hogere peilen en hogere dijken. De mogelijkheden van berging in Zuid-West Nederland zijn in IVB nog niet goed in beeld gebracht. De effecten van een substantieel hogere IJsselafvoer op de waterstanden van het IJsselmeer zijn ook nog niet goed onderzocht.
- De mogelijke meerwaarde voor o.a. de natuur. Er zullen daarbij verschillen zijn tussen de opties Waal en IJssel.
- Een risicobeschouwing. Het doorbreken van een Waaldijk heeft hoogstwaarschijnlijk veel grotere consequenties dan het doorbreken van een IJsseldijk. Het fenomeen calamiteitengebied heeft hier ook mee te maken. Als gekozen wordt het extra water onder extreme omstandigheden via de IJssel af te voeren zijn wellicht calamiteitengebieden langs de Waal minder noodzakelijk.

- Het maatschappelijk draagvlak. De consequenties voor de bevolking zullen voor de opties Waal en IJssel verschillen.
- De sturingsmogelijkheden bij de Pannerdense Kop. Naast de mogelijkheden en consequenties bij hoge afvoeren zal ook de verdeling bij lage afvoeren hierbij beschouwd dienen te worden.

De Commissie WB21 vindt dat bij deze analyse gekeken zou moeten worden naar het extreme lange termijn scenario in 2100 om de robuustheid van de kortere termijnoplossing te kunnen inschatten. Vanwege de bovenregionale belangen dient het afvoerverdelingsvraagstuk nationaal aangestuurd te worden.

Overigens beveelt RvR in haar advies ook aan om op heel korte termijn de verandering in de afvoerverdeling te bestuderen. Er wordt daarbij reeds verwezen naar het standpunt in het advies van de Commissie WB21. Ook IVB beveelt op korte termijn een dergelijk onderzoek aan in relatie tot berging in het Volkerak. WIN beveelt in concept teksten reeds aan om de problematiek van de IJsseldelta, waar WIN en RvR bij elkaar komen, nader te bestuderen.

Met het oog op de klimaatverandering en de voorbereiding van de PKB Ruimte voor de Rivier is vervolgens ook de **Spankrachtstudie** (2002) uitgevoerd. Want men zag wel in dat de maatgevende afvoer in de toekomst nog weleens verder zou kunnen toenemen en er dus meer nodig zou kunnen zijn dan tot dat moment aan maatregelen was geïdentificeerd.

Voor die Spankrachtstudie:

- zijn extra maatregelen bedacht voor alle 3 Rijntakken (Projectgroep Spankrachtstudie, 2002a), waaronder groene rivieren (Klijn et al., 2001) en een groot aantal retentiegebieden;
- zijn deze toegevoegd aan de Blokkendoos- PKB (lange-termijn, 18.000 m³/s);
- en is gekeken hoever iedere tak kon worden opgerek.

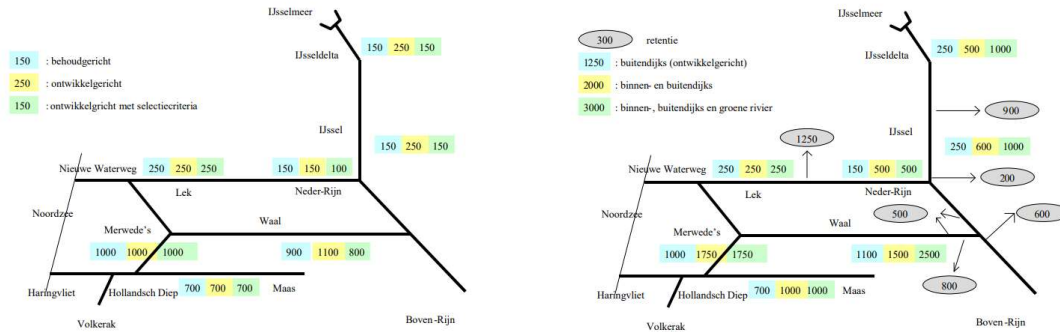
Ook zijn diverse **landschapsarchitectonische overwegingen** ingebracht door H+N+S, waaronder 'kralensnoer' e.d. Maar de **hydraulische functionaliteit** van het geheel aan maatregelen was voor het rijk het belangrijkste **criterium**: voldoende afvoercapaciteit zonder flessenhalzen. Dat dus, wat hierboven als derde aandachtspunt is genoemd; en waarvoor een analyse is gedaan met behulp van de Blokkendoos- PKB²⁵.

Wim Silva baseerde zijn notitie **Van Lobith naar Zee** (Silva & Van der Linden, 2004) grotendeels op die analyse in de Spankrachtstudie. Ten opzichte van de voormalige maatgevende afvoer van 15.000 m³/s kwam die uiteindelijk uit op:

Extra afvoercapaciteit (m ³ /s)*	Waal	Neder-Rijn/Lek	IJssel(delta)	totaal
(1) buitendijks behoudgericht	900	150	150	1200
(2) buitendijks ontwikkelgericht	1000	150	250	1400
(3) als (2) met selectiecriteria	800	100	150	1050
(4) buiten- en binnendijks	1600	250	500	2350
(5) als (4) met groene rivier	1750	250	1000	3000

* rekening houdend met afvoercapaciteit in benedenrivierengebied

²⁵ Die Blokkendoos kent ook de mogelijkheid maatregelen voor de lange termijn te selecteren, zoals die waren geïdentificeerd in de Spankrachtstudie. Via het knopje onder "Extra", kies Lange termijn (SPK = Spankracht).



Figuur 13 Grafische weergave van bevindingen uit Van Lobith naar Zee (Silva & Van der Linden, 2004). NB: De getallen in deze figuren wijken af van de samenvattende tabel hierboven, die een 'concluderende interpretatie' van deze figuren lijkt. Met minder fiducia in de effectiviteit of haalbaarheid van retentie.

Maar bij die analyse is uitsluitend gebruik gemaakt van de voor RvR en de Spankrachtstudie bedachte maatregelen, zoals die in de Blokkendoos waren opgenomen en *met uitsluiting van grootschalige groene rivieren* in het Centrale Rivierengebied (die werden alleen langs de IJssel in beschouwing genomen). Dat wil dus zeggen dat de lijst beschouwde maatregelen niet uitputtend was. Door wat grotere vrijheidsgraden te hanteren – zich minder door 'vermeende haalbaarheid' te laten beperken – kan er mogelijk wel meer door de Waal en/of de IJssel; maar dat wordt wel zeer ingrijpend.

Aanwijzingen dat er meer mogelijk is, kunnen worden gevonden in de vele (soms woeste) suggesties die zijn gedaan voor het rivierengebied²⁶, Maar bijvoorbeeld ook in de studie '**Is ruimte voor rivieren ook ruimte voor natuur?**' die Alterra met WL | delft hydraulics voor het ministerie van LNV heeft gedaan (Van Rooij et al., 2001; Klijn et al., 2002). Naar aanleiding van een workshop met deskundigen en beleidsmakers schetste die studie een perspectief met zo'n 1.000-1.500 m³/s extra door het IJsseldal en zo'n 2.500 m³/s extra door de komgebieden langs de Waal (t.o.v. een referentie van 15.000 m³/s, overigens); samen voldoende voor 18.000 m³/s Rijnafvoer of zelfs nog wat meer. Maar dan wel *mét* grootschalige groene rivieren door het centraal rivierengebied.

Het belangrijkste **criterium** voor deze oplossing met de bijbehorende afvoerverdeling was van andere aard, namelijk **maximale ontwikkelingsruimte voor natuur (neven-baten)** waarbij een robuust netwerk van zo divers mogelijke habitats ontstond. Voor veilige hoogwaterafvoer bij uitstek een robuuste oplossing, die weinig gevoelig is voor onzekerheden.

²⁶ Verzameld op een interne digitale verzamelplaats bij Deltares voor het Deltaprogramma

Bijlage 4: Kostenverschillen tussen verschillende afvoerverdelingen?

Naar kostenverschillen is vrij kort geleden relevant onderzoek gedaan, dat nadrukkelijk de vraag stelde of 'in het licht van de risicobenadering' anders tegen Lek ontzien en de afvoerverdeling in het algemeen moet worden aangekeken (Asselman et al., 2018; 2019). Daarbij is verkend in hoeverre verschillende afvoerverdelingen zouden leiden tot verschillen in maatschappelijke kosten, opgebouwd uit investerings- en onderhoudskosten voor dijkverzwaring enerzijds en gemonetariseerde overstromingsrisico's anderzijds.

De conclusie was dat de kostenverschillen maximaal enkele honderden miljoenen euro's zijn. Maar dat dat overeen komt met minder dan 2% van de totale maatschappelijke kosten. Dat betekent dat geen sprake is van significante verschillen tussen de verschillende alternatieve afvoerverdelingen. En dat betekent weer dat kosten-effectiviteit niet – of in ieder geval niet doorslaggevend – differentieert tussen verschillende afvoerverdelingen.

Dat wil zeggen, als wordt **uitgegaan van** besluitvorming nu en van **dijkverzwaring** als maatregel. Want er kunnen twee kanttekeningen bij worden gemaakt, zoals ook al door het ENW genoemd.

Ten eerste dat nu veel kosten moeten worden gemaakt om de dijken aan sterkte-eisen te laten voldoen, zoals die voortvloeien uit de nieuwe normen. Die maken het HWBP *sowieso* een kostbare aangelegenheid (recente schatting ong. 24 miljard euro).

Maar als de dijken eenmaal op sterkte zijn gebracht, kan de hóógte van de dijk weer doorslaggevend worden. En dan is het mogelijk goedkoper slechts één of twee in plaats van drie riviertakken van hogere dijken te moeten voorzien – vaak aan weerszijden. En vooral de dijken langs de Lek – en in iets mindere mate de Merwede en Beneden-Waal – zullen in de toekomst *sowieso* verhoogd moeten worden om de invloed van de stijgende zeespiegel te compenseren. Als het IJsselmeerpeil niet al te veel meestijgt, is dat in de IJsseldelta minder het geval.

Ten tweede is uitgegaan van de kosten van dijkverzwaring en niet van die van rivierverruiming. Dijkverzwaring is langs alle rivieren ongeveer even kostbaar, als functie van de noodzakelijk mate van versterking. Zo'n eenvoudig verband tussen kosten en 'mate van' bestaat bij rivierverruiming waarschijnlijk niet. Zo leek en lijkt het lastig – en dus duur – om ruimte te maken langs de Lek (slappe grond, lintbebouwing), terwijl het langs de IJssel *relatief* het eenvoudigst zou kunnen zijn. En de relatief krappe Beneden-Waal verruimen zou ook weleens lastig en dus kostbaar kunnen blijken.

In dit verband is ook een oudere studie nog interessant, die eveneens de vraag naar de gewenste afvoerverdeling op lange termijn stelde. Want eind vorige eeuw is door Van der Most (2000) voor WV21 – in de context van een bredere beschouwing – ook op een rij gezet of er grote kostenverschillen te verwachten waren **als werd uitgegaan van rivierverruiming**, aangevuld met dijkverhoging in de benedenstroomse gebieden en rond de ontvangende wateren (Noordelijk Deltabekken, IJsselmeer). Daarbij werden kostenschattingen voor alternatieve inrichtingen van Ruimte voor Rijntakken (RvR), de Integrale Verkenning Benedenrivieren (IVB) en Water in het Natte Hart (WIN) gecombineerd, voor alternatieven 'huidig', dan wel waarbij alle extra afvoer²⁷ over de Waal, verdeeld over

²⁷ In dit geval extra boven 15.000 m³/s, want we spreken van ruim voor de PKB- Ruimte voor de Rivier

Waal en IJssel, of alles over de IJssel werd afgevoerd. In dat onderzoek werd geconcludeerd:

- 'dat (als alleen naar de Rijntakken zelf werd gekeken; Tabel 9, alleen de linker kolom) er ten opzichte van de huidige afvoerverdeling kostenbesparingen mogelijk zijn door de afvoer langs één of twee takken te concentreren. **De verschillen tussen de beschouwde opties zijn klein en niet onderscheidend**'; en
- 'dat (als ook naar de ontvangende wateren werd gekeken; **Error! Reference source not found.**, laatste kolom) het concentreren van de toename in maatgevende afvoer langs één of twee takken uit kosten oogpunt aantrekkelijker is dan de huidige afvoerverdeling. **Gelet op de onzekerheden in de verschillende kostenschattingen is het moeilijk een duidelijke voorkeursoptie aan te wijzen. De optie Waal/IJssel lijkt nog het minst gunstig, maar dit wordt voor een deel veroorzaakt door relatief hoge kosten langs de IJssel ten gevolge van de beperkingen van de RvR-gereedschapskist. Voor de aantrekkelijkheid van de optie IJssel is heel bepalend welke kosten worden aangehouden voor de herinrichting van het IJsseldal. Conclusie is dan ook dat het noodzakelijk is om de verschillende opties nader te onderzoeken alvorens een definitieve beslissing te nemen over een eventuele wijziging van de afvoerverdeling over de Rijntakken.**'

Ofwel: ook als van rivierverruiming wordt uitgegaan zijn kostenverschillen tussen verschillende afvoerverdelingen waarschijnlijk niet doorslaggevend.

Tabel 9 Overzicht van de totale kosten voor het instandhouden van de veiligheid van het Bovenrivierengebied, Benedenrivierengebied en IJsselmeergebied bij 18.000 m³/s (letterlijk uit Van der Most, 2000; NB1: kosten in **guldens**, prijspeil circa 1999).

Afvoerverdeling	Kosten voor instandhouden veiligheid (in miljarden guldens)			
	Boven-rivieren	Beneden-rivieren	IJsselmeer-gebied	Totale kosten
huidige afvoerverdeling	5.3	14.7 - 16.8	3.1	23.1 - 25.2
optie Waal	4.0	10.5	2.3	16.8
optie Waal/IJssel	7.3	8.4	3.9	19.6
optie IJssel	6.0 - 10.0	4.2	6.2	16.4 - 20.4

Als we ook de hierboven geciteerde opmerking van Van der Most (2000) over de onzekerheden in de kostenschattingen veralgemeniseren – aangezien het bij dijkversterking dus ook al niet blijkt te differentiëren –, zouden we zelfs kunnen aanbevelen niet langer veel tijd en energie te besteden aan gedetailleerde kostenschattingen.

Bijlage 5: Blokkendoos PKB en afvoerverdeling

Inleiding

In het kader van onderzoek en planvorming voor de PKB Ruimte voor de Rivier²⁸ is in de jaren 2001- 2006 een zogeheten Blokkendoos ontwikkeld. Dit is een gereedschap (computer-programma) waarin rivierverruimingsmaatregelen kunnen worden aangeklikt die opgeteld tot een gewenste waterstandsdeling leiden.

De Blokkendoos kan ook gebruikt worden ten behoeve van het afvoerverdelingsvraagstuk. Met de Blokkendoos is namelijk een schatting te verkrijgen welke waterstandsdeling op een riviertak haalbaar is met rivierverruiming; maar daarmee is het nog niet meteen duidelijk welk effect dat heeft op de afvoerverdeling, omdat de Blokkendoos uitgaat van een constante afvoer over de tak, zonder herverdeling van de afvoer als de waterstand op een splitsingspunt daalt.

In deze bijlage wordt met een grafische methode de beoogde verdeling van het surplus boven 16.000 m³/s uitgedrukt in een benodigde verlaging van de hoogwaterstand op het splitsingspunt, zoals berekend met de Blokkendoos.

Benodigde rivierverruiming

De methode maakt gebruik van de QH-relaties op de splitsingspunten en het gegeven dat bijvoorbeeld door ingrepen op het Pannerdens Kanaal de afvoer over de Waal weliswaar verandert, maar dat de QH-relatie voor de Waal hetzelfde blijft zolang op de Waal geen ingrepen plaatsvinden. Op de tak waar wel ingrepen plaatsvinden is de veronderstelling dat de QH-relatie verticaal verschuift: omlaag bij verruiming, omhoog bij vernauwing.

Er gelden de volgende uitgangspunten en aandachtspunten:

1. De waterstanden en afvoeren voor de QH-relaties zijn ontleend aan WAQUA-berekeningen die Deltares (Asselman e.a. 2019, Asselman e.a. 2020) heeft uitgevoerd voor een vorige studie naar de afvoerverdeling. De berekeningen zijn uitgevoerd met de WAQUA-schematisatie beno15_5-v2.
2. De referentie is de beleidsmatige afvoerverdeling bij 16.000 m³/s (Vast 16000). Hierbij staat (in deze schematisatie) regelwerk Pannerden nagenoeg helemaal open en regelwerk Hondsbroek nagenoeg helemaal dicht.
3. Bij de beleidsmatige afvoerverdeling bij 18.000 m³/s (Vast 18000) staat Pannerden nagenoeg helemaal dicht en Hondsbroek nagenoeg helemaal open.
4. De beleidsmatige afvoerverdelingen bij Vast 16000 en Vast 18000 worden door het model niet precies gereproduceerd. Het is niet duidelijk hoe dit komt, maar de afwijkingen zijn voor het doel van deze notitie voldoende klein (enkele 10-tallen m³/s).
5. Alleen voor berekeningen voor Vast 16000 en Vast 18000 zijn waterstandsgegevens beschikbaar. Voor berekeningen met de 4 combinaties van volledig open en dichte regelwerken zijn alleen afvoerverdelingen beschikbaar maar geen waterstanden. Deze berekeningen kunnen voor de analyse dus niet gebruikt worden. De relevante combinaties worden echter voldoende nauwkeurig benaderd door Vast 16000 en Vast 18000.

²⁸ Later is op basis hiervan een blokkendoos voor het Deltaprogramma Rivieren ontwikkeld. Deze is actueler dan de blokkendoos voor de PKB maar niet meer eenvoudig beschikbaar.

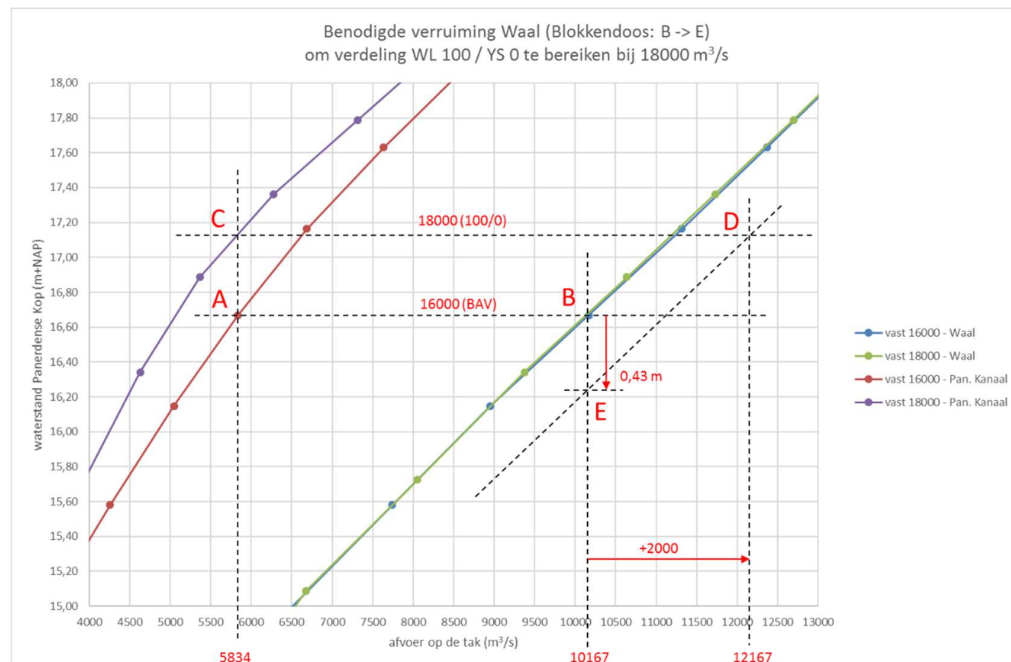
In deze uitwerking wordt gekeken naar de benodigde rivierverruiming voor de meest extreme alternatieven, te weten de verdelingen over Waal en IJssel van 100/0 en 0/100 bij 18.000 m³/s. In die gevallen moet er ten opzichte van de huidige situatie (Vast 16000) 2.000 m³/s extra naar respectievelijk Waal of IJssel.

De berekening van de benodigde waterstandsdeling door rivierverruiming wordt in een aantal stappen opgedeeld gedacht. Die stappen zijn hieronder beschreven. De uitgangssituatie is steeds de beleidsmatige verdeling bij 16.000 m³/s (Vast 16000).

Benodigde verruiming Waal bij verdeling surplus 100% Waal / 0% IJssel (Figuur 14)

Redeneerlijn:

1. De afvoeren via Waal en Pannerdens Kanaal voor Vast 16000 zijn gegeven²⁹. De waterstand op de Pannerdense Kop is via de QH-relaties daarmee ook bekend (lijn AB).
2. Om het surplus naar de Waal te drukken wordt om te beginnen het regelwerk Pannerden (nagenoeg) dicht gezet. Hierdoor gaat de waterstand op de Pannerdense Kop omhoog (punt C). De afvoer via het Pannerdens Kanaal blijft gelijk want het surplus gaat immers volledig naar de Waal.
3. De Waal krijgt er 2.000 m³/s bij (verschil 18.000 – 16.000 m³/s). Samen met de waterstand uit de vorige stap is hiermee 1 punt van de QH-relatie voor de verruimde Waal bekend (punt D).
4. Verruimen van de Waal wil zeggen dat de QH-relatie zakt. De nieuwe QH-relatie (lijn DE) ligt parallel aan de oude.
5. Met de QH-relatie voor de verruimde Waal is de waterstand af te lezen die hoort bij de beleidsmatige Waalafvoer bij 16.000 m³/s (punt E).
6. Het verschil BE (0,43 m) is de benodigde waterstandsdeling op de Pannerdense Kop bij de beleidsmatige Waalafvoer bij 16.000 m³/s. Dit is wat de Blokkendoos berekent.



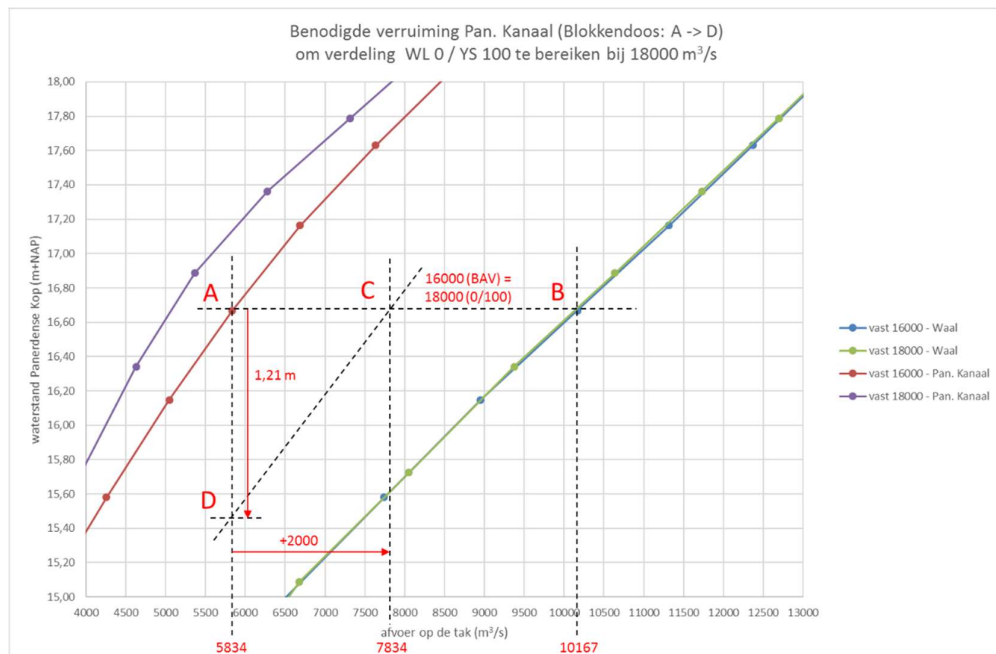
Figuur 14 Verruiming Waal voor 100/0 bij 18.000 m³/s.

²⁹ Zoals hierboven aangegeven zijn deze afvoeren dus niet precies gelijk aan de beleidsmatige afvoerverdeling.

Benodigde verruiming Pannerdens Kanaal bij verdeling surplus 0% Waal / 100% IJssel (Figuur 15)

Redeneerlijn:

1. De afvoeren via Waal en Pannerdens Kanaal voor Vast 16000 zijn gegeven. De waterstand op de Pannerdense Kop is via de QH-relaties daarmee ook bekend (lijn AB).
2. De Waal wordt niet verruimd en houdt dezelfde afvoer. De waterstand op de Pannerdense Kop blijft dus ook hetzelfde.
3. Het Pannerdens Kanaal krijgt er 2.000 m³/s bij (verschil 18.000 – 16.000 m³/s). Samen met de waterstand uit de vorige stap is hiermee 1 punt van de QH-relatie voor het verruimde Pannerdens Kanaal bekend (punt C).
4. Verruimen van het Pannerdens Kanaal wil zeggen dat de QH-relatie zakt. De nieuwe QH-relatie (lijn CD) ligt parallel aan de oude.
5. Met de QH-relatie voor het verruimde Pannerdens Kanaal is de waterstand af te lezen die hoort bij de beleidsmatige Pannerdens Kanaalafvoer bij 16.000 m³/s (punt D).
6. Het verschil AD (1,21 m) is de benodigde waterstandsddaling op de Pannerdense Kop bij de beleidsmatige Pannerdens Kanaalafvoer bij 16.000 m³/s. Dit is wat de Blokkendoos berekent.



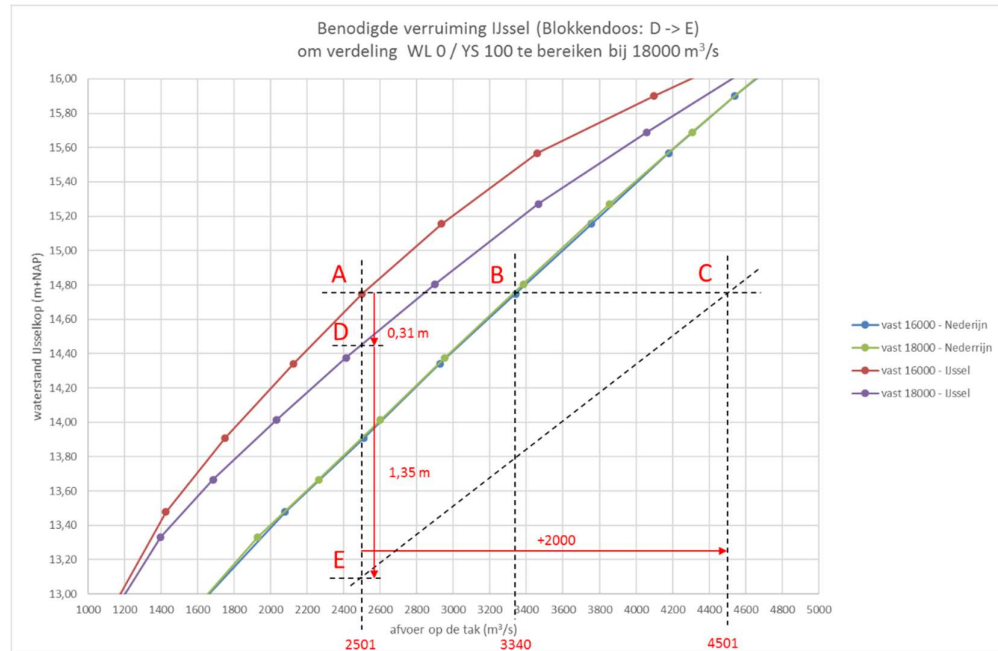
Figuur 15 Verruiming Pannerdens Kanaal voor 0/100 bij 18.000 m³/s.

Benodigde verruiming IJssel bij verdeling surplus 0% Waal / 100% IJssel (Figuur 16)

Redeneerlijn:

1. De afvoeren via Nederrijn en IJssel voor Vast 16000 zijn gegeven. De waterstand op de IJsselkop is via de QH-relaties daarmee ook bekend (lijn AB).
2. De Nederrijn wordt niet verruimd en houdt dezelfde afvoer. De waterstand op de IJsselkop blijft dus ook hetzelfde.

3. De IJssel krijgt er 2.000 m³/s bij (verschil 18/000 – 16/000 m³/s). Samen met de waterstand uit de vorige stap is hiermee 1 punt van de QH-relatie voor het verruimde IJssel bekend (punt C).
4. Verruimen van de IJssel wil zeggen dat de QH-relatie zakt. De nieuwe QH-relatie (lijn CE) ligt parallel aan de oude.
5. Met de QH-relatie voor de verruimde IJssel is de waterstand af te lezen die hoort bij de beleidsmatige IJsselafvoer bij 16/000 m³/s (punt E).
6. Om het surplus naar de IJssel te trekken wordt om te beginnen het regelwerk Hondsbroek (nagenoeg) open gezet. Dit zorgt voor een deel van de benodigde verruiming: verschil AD (0,31 m).
7. Het verschil DE (1,35 m) is de verder nog benodigde waterstandsdeling op de IJsselkop bij de beleidsmatige IJsselafvoer bij 16/000 m³/s . Dit is wat de Blokkendoos berekent.



Figuur 16 Verruiming IJssel voor 0/100 bij 18.000 m³/s.

Beschikbare rivierverruiming

De tabellen hieronder (Tabel 10 t/m Tabel 12) geven een indruk van de Blokkendoosmaatregelen die in het splitsingspuntengebied getroffen kunnen worden. De genoemde waterstandsdeling is de maximale verlaging die de maatregel lokaal (ter hoogte van de verruiming) bewerkstelligt, dus niet de waterstandsdeling die op het splitsingspunt overblijft. Deze is wel af te lezen uit de bijbehorende grafieken en bedraagt voor alle in de tabellen genoemde maatregelen samen (opgeteld bij het splitsingspunt dus):

- Waal (Pannerdense Kop) 0,33 m
- Pannerdens Kanaal (Pannerdense Kop) 0,22 m
- IJssel (IJsselkop) 0,41 m

Tabel 10 Rivierverruimingsmaatregelen uit de Blokkendoos Boven-Waal

Code	Omschrijving	Waterstandsdeling (m)
10	Voormalige steenfabriek Bommel plus bovenstrooms hoogwatervrij terrein	0,071
11	Bebouwing Vliedberg plus bovenstrooms hooggebied en kades	0,077
20201	Dijkverlegging Ooij-Nijmegen	0,206
Krib-W1a	Kribverlaging Waalbochten	0,084
W08_1_L	Gendtse Waard	0,070

Tabel 11 Rivierverruimingsmaatregelen uit de Blokkendoos Pannerdens Kanaal

Code	Omschrijving	Waterstandsdeling (m)
20301	Dijkverlegging Sterreschans	0,112
20302	Dijkverlegging Roswaard	0,162
24	Bekading De Keel, voorm. Steenfabriek Loowaard en tussenliggende kades	0,061
4500	Bekading na Pannerdense Kop	0,072

Tabel 12 Rivierverruimingsmaatregelen uit de Blokkendoos Boven-IJssel

Code	Omschrijving	Waterstandsdeling (m)
Y03_Y05_1	Uiterwaardvergraving Westervoort en IJsseldijkerwaard	0,201
Y06_1	Velperwaarden	0,192
Y07_3	Koppenwaard	0,453

Conclusies

Op basis van bovenstaande figuren en tabellen zijn de volgende conclusies te trekken:

- Om een verdeling 100/0 bij 18.000 m³/s te bereiken is verruiming van de Waal nodig die leidt tot een waterstandsdeling op de Pannerdense Kop van 0,43 m bij gelijkblijvende afvoer. Dat is aanzienlijk maar lijkt niet onhaalbaar.
- Om een verdeling 0/100 bij 18.000 m³/s te bereiken is verruiming van de IJssel nodig die leidt tot een waterstandsdeling op de IJsselkop van 1,35 m bij gelijkblijvende afvoer. Een deel van de waterstandsverlaging op de IJsselkop werkt door naar de Pannerdense Kop. Aanvullend is verruiming van het Pannerdens Kanaal nodig die samen met de verruiming van de IJssel leidt tot een waterstandsdeling op de Pannerdense kop van 1,21 m. Dit zijn zeer aanzienlijke waterstandsverlagingen die heel lastig te realiseren zullen zijn.
- De regelwerken staan in deze opties in hun uiterste stand (helemaal dicht c. helemaal open). Als we ook nog regelbereik willen overhouden/ creëren, dan moet er extra verruimd worden.
- De genoemde waterstandsverlagingen gelden voor de situatie 'Lek ontzien' bij een afvoer van 18.000 m³/s en dus een surplus van 2.000 m³/s. Bij een afvoer van 17.000 m³/s en dus een surplus van 1.000 m³/s:
 - Is bij 100/0 op de Waal geen verruiming nodig omdat regelwerk Pannerden voldoende bijsturing levert. Punt D in Figuur 14 schuift naar links op en valt boven de QH-relatie voor de Waal.

- Is bij 0/100 de benodigde verruiming op het Pannerdens Kanaal en de IJssel globaal de helft van wat hierboven is berekend.

De berekeningen zijn uitgevoerd met WAQUA. Met D-Hydro kunnen de resultaten anders zijn. Zo is bijvoorbeeld al bekend dat de optie Vast 18000 met D-Hydro niet is te realiseren doordat het regelbereik bij Pannerden tekort schiet.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl