

Nieuwe Hollandse Bosvariant

Toekomstvastе robuuste drievoudige bescherming: Brede zeelinie, diepe leemkade en hoge grensrivieren

Robuuste toekomstvastе bescherming van Nederland bij zeespiegelstijging van tenminste 10 meter is het uitgangspunt van de Nieuwe Hollandse Bosvariant. Het masterplan voorziet in drievoudige bescherming tegen:

- de stijgende zeespiegel aan de zeezijde;
- de wassende rivieren uit het achterland;
- verzilting en opbarsting van de bodem door zoute kweldruk.

1.0 Masterplan

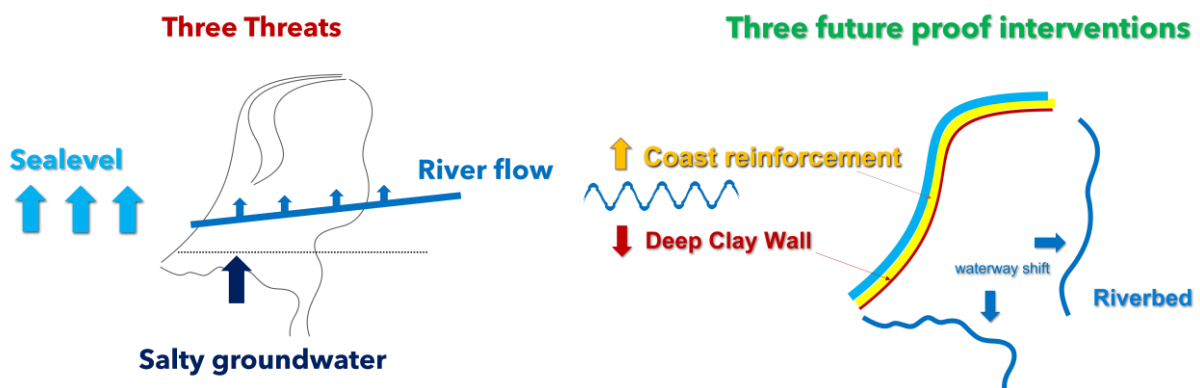
Het Masterplan Nieuwe Hollandse Bosvariant wordt in dit hoofdstuk geschetst waarna een adaptiepad voor de komende decennia beschreven wordt in het volgende hoofdstuk.

1.1 Zeespiegelstijging van 10 meter

Het masterplan Nieuwe Hollandse Bosvariant voorziet in een drievoudige bescherming van Nederland tegen een extreme stijging van de zeespiegel van tenminste 10 meter.

Ons land wordt bij zeespiegelstijging uiteraard bedreigd direct door de zee die kan binnendringen in de lagere delen van het land. Verzilting is een tweede bedreiging door de toenemende druk van de zee met het zoute grondwater dat onderlangs onze duinen ook de polderbodem kan laten opbarsten. En een derde bedreiging is de grotere afvoer van de rivieren die steeds lastiger onder vrij verval kan afwateren naar de stijgende zeespiegel.

Het masterplan borduurt voort op de Nieuwe Hollandse Zeelinie uit 1998 die voorzag in grootschalige kustverbreding van de Zeeuwse en Hollandse kust, van Burgh Haamstede tot Den Helder. De nadruk lag op kustuitbreiding, in die tijd was de dreiging kleiner van een snel stijgend zeeniveau. Het nieuwe masterplan adapteert op de gevolgen van een stijging van de zeespiegel van tenminste 10 meter als projectie op de toekomst waarvan de horizon nog onbekend is.



1.2 Gesloten robuuste kustlijn

Bij een extreme zeespiegelstijging dient de gehele kustlijn van Westerschelde tot Dollard beschermd te worden. De Waddeneilanden worden geïntegreerd in de nieuwe robuuste gesloten kustlijn waarbij Dollard en Westerschelde in open verbinding blijven met de zee.

De grote zeehavens van Rotterdam en Amsterdam alsmede de Waddenzee blijven met schutsluizen connectie houden met de zee. Desgewenst kan nieuwe uitbreiding van de Maasvlakte gelijke tred houden met de zeespiegelstijging bijvoorbeeld door drijvende havenkades.

Zeewering van zachte duinen of harde dijk

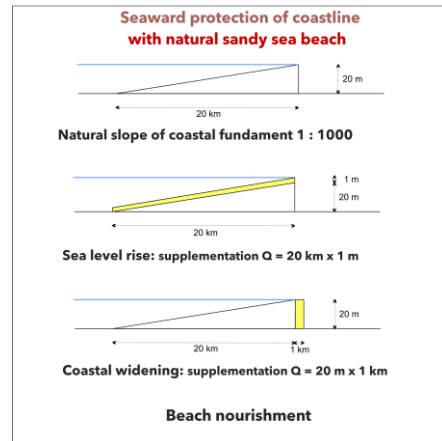
Robuuste kustversterking is elementair in dit plan door zeewaartse verschuiving van de kustlijn met tenminste 500 meter tot desgewenst 5 km of meer. Deze nieuwe verhoogde kustlijn kan bestaan uit

een zandige zeewering waarbij het natuurlijke kustfundament dient mee te groeien met de stijgende zeespiegel. Het kustfundament heeft een forse breedte van 20 km vanaf de kustlijn dat om een forse zandsuppletie vraagt. Vanwege deze hoge kosten is eventueel een harde zeedijk te prefereren die uit oogpunt van recreatie en beleving aan te vullen is met zandstrand op de vooroever.

Bij forse kustuitbreiding is te opteren voor zoetwatermeren bij onze mondaine badplaatsen die tevens als zoetwaterbel de zeebeleving verderop aan het strand recreatief aanvullen. Met meerwaarde van zoet water en zilte lucht gevat in een duinachtig landschap. Het klassieke verschoven zeestrand blijft op duinworp afstand liggen van de historische badplaatsen.

Coast Reinforcement

Enclosed coastline
Coastal widening
Upward beachrise



Waddenzee transformatie naar bufferbekken

Het verdrinken van de Waddenzee is inherent aan een sterke snelle zeespiegelstijging waardoor de natuurlijke habitat grotendeels verloren gaat. Desondanks zou de robuuste kustlijn langs de Friese en Groningse kunnen te leggen zijn om tenminste de getijden te handhaven.

Echter, een zeespiegelstijging van 5 meter of meer vraagt om een robuuste korte kustlijn gelet op de grote gevolgen bij eventuele doorbraak. In de zee-engten tussen de Waddeneilanden is te voorzien in afsluitbare Oosterscheldedammen waarmee een brak watergebied in stand te houden is.

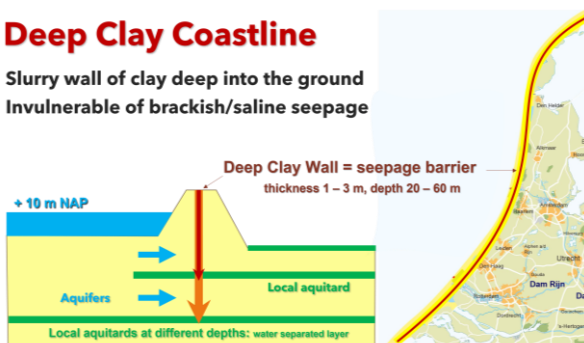
Gelet op de grote impact die een zeespiegelstijging van 5 tot 10 meter heeft op de veiligheid van ons land, wordt de voorkeur gegeven aan een volledig gesloten korte kustlijn. Bij de hoge zeespiegel zal door de sterkere zoutspiegel meer behoefte zijn aan zoetwaterbekkens waarin de oude Waddenzee kan voorzien. De Waddenzee is ook te compartimenteren gericht op zoetwater én brakwater regiem.

1.3 Leemkade diep in de grond

Een sterke stijging van de zeespiegel zorgt ook voor een onderhuids probleem. De zee dreigt door de waterdruk met het zoute grondwater onder onze voeten omhoog te sijpelen en de dunne kleibodem te doen openbarsten. Onze voordeur met hoge en brede duinen en dijken dichthouden is niet voldoende. Ook onze kelder dient bij een zeespiegelstijging van 10 meter gedicht te worden tegen een waterdruk van meer dan 15 meter die toeslaat in de 5 meter min-NAP gelegen polders. Een waterdichte badkuip is voor ons land de remedie.

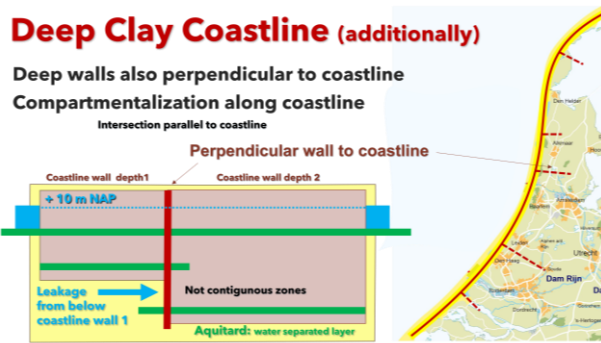
Deep Clay Coastline

Slurry wall of clay deep into the ground
Invulnerable of brackish/saline seepage



Deep Clay Coastline (additionally)

Deep walls also perpendicular to coastline
Compartmentalization along coastline



Waterdichte NL badkuip met leemkaden

De waterdichte badkuip wordt verkregen door een diepe leemkade die onderlangs onze kustlijn loopt. Deze verticale kleiwand steekt tot in de aanwezige waterdichte bodemlagen die op enkele tientallen meters diepte liggen. Tussen deze natuurlijke waterdichte dunne kleilagen bevinden zich bredere watervoerende pakketten van zand e.d. die het zoute grondwater vrije doorgang geven onderlangs de duinen. Deze pakketten dienen aan de zeezijde gedicht te worden met de leemkaden.

Voor de leemkade valt te denken aan een gegraven smalle sleuf die opgevuld wordt met stevige klei. De sleuf wordt tijdens het graven ondersteund door een steunvloeistof van bentoniet. Een dikte van slechts 1 tot 3 meter is ruim voldoende voor de waterdichte werking. Deze diepwand loopt onderlangs de kustlijn van 350 km lengte die Nederland “kwelvrij” houdt. De gronddruk aan weerszijden van de wand houdt de leemkade op zijn plaats.

Compartimentering vanwege fragmentatie waterdichte grondlagen

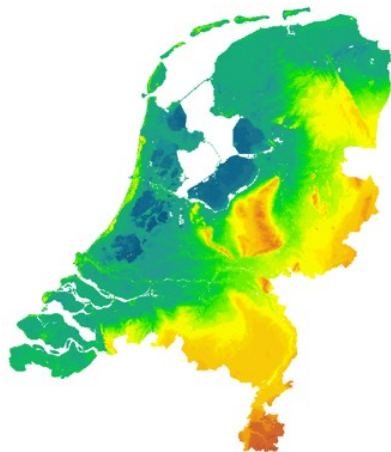
Onze natuurlijke grondlagen zijn gefragmenteerd als los gelegde pannenkoeken op een te groot bord. Het gevolg van deze schakering is dat onze waterdichte grondlagen niet onder de gehele nederlandse bodem doorlopen en ook niet op dezelfde diepte liggen. De laagdiepte varieert grotendeels tussen de 10-20 meter en 50-60 meter onder maaiveld.

Door de schakering en fragmentatie van grondlagen is niet te volstaan met slechts één diepwand van gelijke diepte evenwijdig aan de kustlijn. Tussen de lokaal gelegen waterdichte grondlagen bevinden zich verticale gaps loodrecht op de kustlijn die gedicht dienen te worden ter vermindering van indringing van zout grondwater.

De waterdichtheid is te herstellen door compartimentering met behulp van secundaire diepwanden die het binnenland insteken loodrecht op de kustlijn. Een beperkt aantal secundaire diepwanden volstaan die enkele tientallen kilometers ondergronds het binnenland induiken.

1.4 Grensrivieren

Een sterke stijging van de zeespiegel heeft ook gevolgen voor onze grote rivieren Rijn en Maas. Bij de uitmonding zorgt het hogere zeepil voor hogere waterstanden in de benedenrivieren. Dit geeft een kleiner verhang met het Duitse achterland dat de afvoer vertraagt en bij hoogwater van de rivieren leidt tot opstuwung met hogere waterstanden in onze grote bovenrivieren. Door klimaatverandering wordt ook meer extreme aanvoer vanwege hoosbuien verwacht.



Riverbed shifting

Shift to high-land trajectory

National border as natural location

Rijn-to-Dollard and Maas-to-Westerschelde



Hogere dijken en bredere beddingen

Onze grote rivieren dienen dus mee te bewegen met de zeespiegelstijging dat leidt tot hogere dijken en bredere beddingen in geval van vrije afvoer van het rivierwater. Alternatief is het afsluiten van de open riviermonding met de zee, en het rivierwater op te pompen naar het hogere zeepil dat vraagt om bufferbekkens bij de monding.

Het behoud van een vrije afvoer van de rivieren heeft gevolgen voor het landschap en voor de steden en dorpen en buitendijkse havens en industrieën langs de huidige rivierloop. Een zeespiegelstijging

van 5 tot 10 meter geeft praktisch een evenredige verhoging en verbreding van de dijken in de vlakke Delta van de benedenrivieren. Door het kleinere verhang van de rivieren met de zee dient de rivierbedding ook breder te worden om gelijke afvoercapaciteit te behouden.

Door de rivierverbreding en verhoging van de dijken zullen historische havensteden als Hellevoetsluis, Gorinchem, Arnhem, en Nijmegen vermoedelijk de directe verbinding met de rivieren kwijtraken.

Verlegging rivieren naar hoger land

Relevante planologische verkenning is een verlegging van de grote rivieren naar hoger gelegen delen van ons land dan wel een situatie waarbij de rivieren buiten ons land omgeleid worden. Deze hoger gelegen regio's kunnen zich in hoogte meten met de gestegen zeespiegel.

De eerste geografische verkenning is verlegging van de rivieren naar de landsgrenzen. Rijn en Maas worden geleid langs de oostelijke en zuidelijke grensstreken daar waar het landschap enkele tientallen meters hoger ligt dan de laaggelegen rivierdelta.

De estuaria van Westerschelde en Dollard liggen in de lijn van de landsgrenzen die beide bijzonder geschikt zijn als nieuwe riviermondingen. Beide estuaria zijn te benutten als bufferbekken in tijden van stormvloed in geval de zeemonding extra beschermd wordt met een stormvloedkering.

Riverbed Maas



Regionale economische impuls en impact

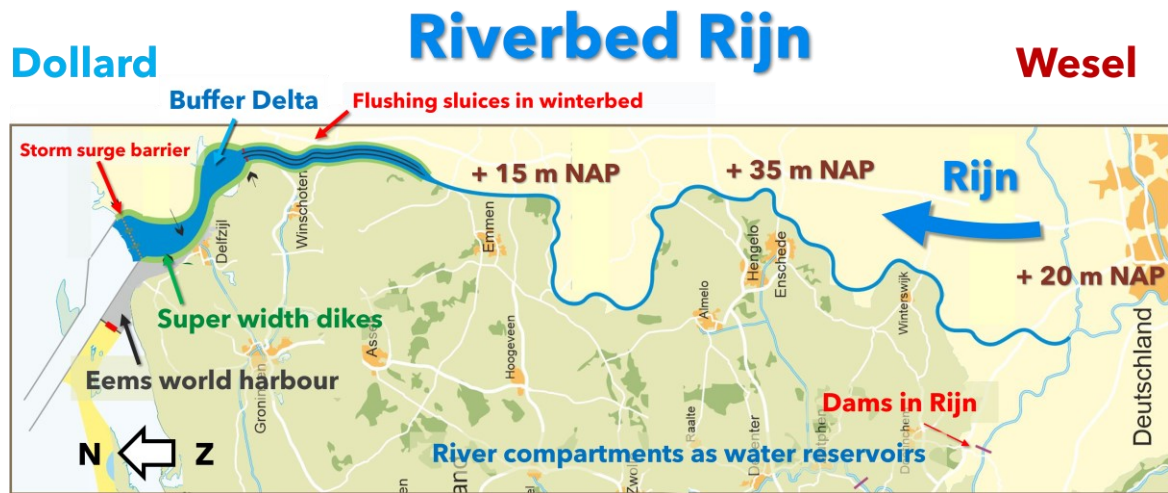
De nieuwe riviermondingen Westerschelde en Dollard geven een regionale economische impuls aan deze grensregio's met bedrijvigheid en havens. Tegelijkertijd blijft de vervoersfunctie van de huidige grote rivieren naar Rotterdam en Amsterdam voor de scheepvaart behouden door kanalisatie. Enkele nieuwe stuwpanden in Waal en IJssel volstaan conform de gekanaliseerde Maas en Rijn. De monding van de Schelde bij Antwerpen wordt voorzien van schutsluizen.

De grensregio's met België en Duitsland zijn relatief dun bevolkt dat van belang is bij de afweging van de ruimtelijke impact van de nieuwe rivieren. De grillige grensvormen sluiten aan bij het natuurlijk en bufferende patroon van meanderende rivieren en de kosten zijn wellicht te delen met buurlanden.

Anderzijds is een snelle afwatering bij hoogwater van de rivieren gewenst mede gelet op het kleinere verhang met het stijgend zeeniveau dat juist vraagt om het rechttrekken van de rivieren. De precieze geografische tracés van de twee grote rivieren in de grensstreken is uiteraard de slotsom van een ruimtelijk en waterhuishoudelijk ordeningsproces met complexe belangenafwegingen.

Superveilige dijken bij monding

De estuaria Westerschelde en Dollard zijn beide omzoomd door laag gelegen land dat vraagt om extreem veilige dijken vanwege de grote gevolgen bij eventuele doorbraak. Inherent veiligheid is te bieden met superdijken voorzien van kruinbreedten van enkele honderden meters die een factor vijf tot tien breder zijn dan reguliere dijken. Een stormvloedkering bij de monding van Westerschelde en Dollard is vanwege deze inherent veilige dijken langs de estuaria wellicht overbodig.



1.5 Zoetwatervoorziening en intergetijdengebieden

Behalve het zeker stellen van de veiligheid van ons land is ook de zoetwatervoorziening een punt van aanhoudende zorg. De verzilting vergt op dit moment al ruim 40 % van de waterbehoefte in de zomer dat nodig is voor doorspoeling van polders en tegendruk te bieden tegen indringend zout water via de Nieuwe Waterweg. Een groot deel van het zoete rivierwater wordt dan ook verspild.

De zomers worden door klimaatverandering warmer met meer verdamping en minder regenval, terwijl in de winters meer natigheid te verwachten is. Het masterplan voorziet dan ook in een toekomstvaste zoetwatervoorziening.

Doorspoeling tegen verzilting niet meer nodig

De leemkade sluit de gehele kust waterdicht af tegen indringend zout grondwater zodat doorspoeling van laaggelegen polders en de Nieuwe Waterweg tegen verzilting overbodig is. Deze waterdichte badkuip bespaart in droge zomers ruim 40 % van de huidige waterbehoefte. Zonder de doorspoeling is de zoetwaterhuishouding ook in de droogste zomers ruimschoots in evenwicht te brengen.

De jaarlijkse neerslag van circa 35 miljard m³ aan regenwater is - zonder doorspoeling - in principe al voldoende om de gehele zoetwaterbehoefte jaarrond te dekken, te weten verdamping, peilbeheersing voor de landbouw en het huishoudelijk en industrieel gebruik. Aanvoer van rivierwater is in principe niet strikt meer nodig voor dekking van onze waterbehoefte.

Sweet water balance

Sweet water Dutch household demand - supply (capacity in billions m3)									
Masterplan in worst case even without supply Rijn and Maas									
supply	year period		driest summer		driest summer		year period		demand
	autonomous	masterplan	autonomous	masterplan	masterplan	autonomous	masterplan	autonomous	
Rijn	70	-	21	-	0,6	0,6	1	1	housekeeping
Maas	8	-	0,7	-	2,7	2,7	5	5	industrial
divers	3	5	3	5	3,3	3,3	3	3	level control
Oosterschelde				2	-	6,1	-	12	flushing of rivers
Waddenzee				10	-	4,7	-	9	salinaziation
rain	35	35			8,6	8,6	20	20	evaporation
total	116	40	25	17	15	26	30	51	total

divers: small rivers 0,5; draining -> NL 0,5; ground water extraction 0,8; waterpurification 1,2; reservoir IJsselmeer/weirs (dams, stuwpanden) 2,0

Oosterschelde and Waddenzee: sweet water basins: 350 + 2400 km²; maximum level difference 4 m

Source: De Waterhuishouding van Nederland 1^a nota, 1968 met vooruitzicht naar 2000.

Zoetwaterbalans zonder aanvoer van rivierwater

Relevante verkenning in de zoetwatervoorziening is de hypothetische vraag of Nederland kan voldoen aan de zoetwaterbehoefte in de droogste zomers zonder aanvoer van enig rivierwater.

De 95% droogste zomers vragen zonder verziltingsissue om 15 miljard m³ water waarvan grondwater en gereinigd afvalwater 3 miljard dekken en de rest te voeden is uit de grote rivieren of spaarbekkens. De huidige rivieren worden afgedamd tot stuwpanden die ook inzetbaar zijn als spaarbekken voor zoet water. Met rivierpeilregulatie van 2 meter is de opslagcapaciteit gelijk aan die van het IJsselmeer met een peilregiem van 60 cm. Dat leidt tot een opslagcapaciteit van 2 miljard m³.

Het huidige beleid van het IJsselmeer is dat dit zoetwaterreservoir tot - 0,20 m NAP niet aangesproken wordt behalve het surplus door aanvoer en regen erbovenop.

Het masterplan voorziet aanvullend in afsluiting van de volledige kustlijn van Zeeland tot Groningen. Inherent aan de afsluiting is een forse toename van zoetwaterbekkens, zoals de Oosterschelde en met name ook de Waddenzee.

De twee zoetwaterbassins zouden met 10 tot 12 miljard m³ aan capaciteit tweederde kunnen dekken van de zoetwaterbehoefte in de droogste zomers, uitgaande van 3,5 tot 4 meter peilregulatie. De bassins worden dan jaarrond gevuld met de regenval. Dit betreft uiteraard een hypothetische situatie waarbij de grote rivieren volledig buiten ons land omgeleid worden.

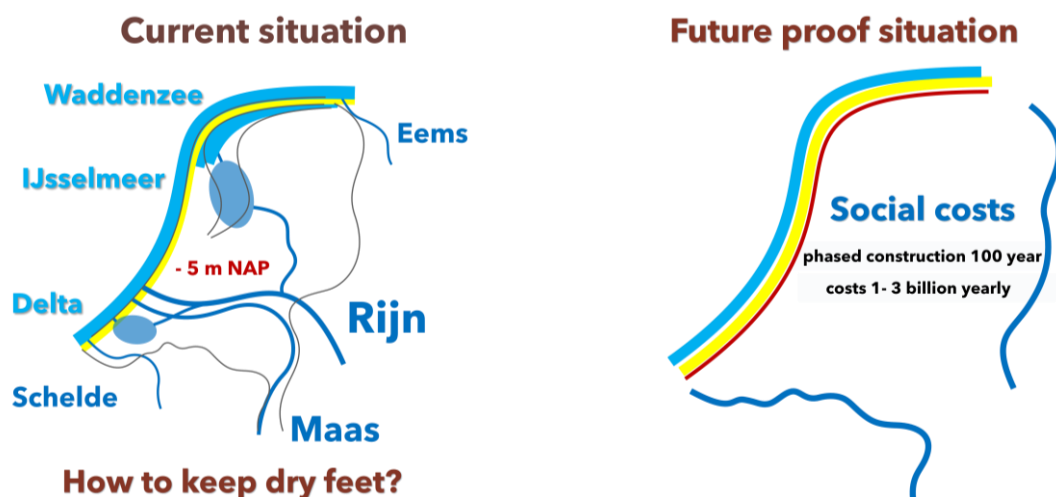
Intergetijdengebieden en brakwaterregiem

Concluderend voorziet het masterplan in een bijzonder grote opslagcapaciteit aan zoetwater. Aanvoer van rivierwater zou in principe niet meer strikt nodig zijn voor de zoetwaterhuishouding. Onze grote rivieren zouden voor zover nodig volledig buiten ons land om te leiden zijn.

Uiteraard betreft dit een worst-case scenario daar internationale afspraken in principe altijd de aanvoer van rivierwater naar ons land kunnen blijven garanderen. Dergelijke afspraken geven ook ruimte om de overcapaciteit aan zoetwater in de Waddenzee te bestemmen voor een brakwater regiem.

Het intergetijdengebied van de Waddenzee verliest daarbij vanwege de afsluiting tussen de eilanden haar betekenis in het masterplan. In een gecompartmenteerde Waddenzee is gereguleerde inlaat van zoutwater te overwegen dat een interessant brakwatergebied kan geven.

De estuaria Westerschelde en Dollard blijven beide behouden als intergetijdengebieden waaraan bijvoorbeeld kleinschalige elementen in de verbrede kustzone toe te voegen zijn, zoals lagunes, schoorwallen en wadplaten.



1.6 Toekomstvast in kosten

Extreme zeespiegelstijgingen zijn uiteraard niet geheel vrijblijvend voor onze schatkist. Ingrijpende maatregelen dienen getroffen te worden ter bescherming van ons land waaraan prijskaartjes hangen die maatschappelijk gezien echter niet onaanvaardbaar hoog zijn.

Uitgaande van een realistisch gestage zeespiegelstijging van circa 1 tot 2 meter per eeuw bestrijkt een totale stijging met 10 meter niet minder dan een periode van enkele honderden jaren. Ook ingekort tot een versnelde korte periode van 100 jaar zou de investering niet meer bedragen dan enkele miljarden

euro's per jaar. Deze investeringen zijn relatief bescheiden op een rijksbegroting van vele honderden miljarden euro's, mede gelet op de sociaal-economische belangen voor ons land.

Robuuste zeewering

De robuuste gesloten zeewering is over een lengte van 350 km uit te voeren als natuurlijke zandige zeewering of als harde zeedijk. Het bouwen met de natuur heeft uiteraard de voorkeur, maar het gehele kustfundament van 20 km breedte dient daartoe opgehoogd te worden evenredig aan de zeespiegelstijging. Deze ophoging is enkele schaalordes groter dan de gebruikelijke zandsuppletie op de vooroevers van het strand.

Een zeespiegelstijging van 10 meter vergt circa 50 tot 70 miljard m³ aan zandsuppletie over het gehele kustfundament waardoor de kosten ruimschoots boven de honderd miljard uitstijgen. Anders dan bij een harde brede zeedijk waarvan de kosten bijna een factor tien lager liggen.

De estuaria van Westerschelde en Dollard vragen om superveilige dijken waarvan de lengte aan weerszijden van deze bassins gezamenlijk 200 km beslaat. De kosten van deze zeedijken langs de estuaria zijn aanvullend begroot op circa 15 tot 20 miljard.

Leemkade

De waterdichte badkuip met de diepe leemkade langs de gehele kustlijn is een relatief bescheiden ingreep ten opzichte van de robuuste verhoging van de kust en de verlegging van de rivieren. De leemkade voorziet in een diepwand gevuld met klei en een diepte van 20 tot 60 meter en breedte van 3 meter. De kosten blijven over 350 km lengte beperkt tot enkele miljarden euro's.

De gefragmenteerde en geschakeerde waterdichte grondlagen vragen om compartimentering waarin is te voorzien met leemkades die loodrecht op de kustlijn het binnenland insteken met een lengte van enkele tientallen kilometers. Met deze secundaire leemkades zijn ook enkele miljarden gemoeid.

Cost menu (indication)

Conclusion: deep clay wall 1- 2 billion; sandshore 200 billion or seawall 25 billion; estuaria 13 billion shifting Maas 17 billion; shifting Rijn 145 billion or with limited discharge 30 billion

Cost menu Nieuwe Hollandse Bosvariant 10 meter sea level rise (in euro)								
cost element		length	specification	quantity		costs		
		km	dimensioning (H x Br) in m	per km	total	unit	per km	total
Deep Wall	clay wand	350	40 x 3	120 10 ³	42 10 ⁶	30 /m3	3,6 10 ⁶	1,3 10 ⁹
seasluices			R'dam, A'dam, D'Helder 3 st			1 10 ⁹ /st		3 10 ⁹
Sandshore	sand talud	350	20 km fundament: 10 x 20.000	200 10 ⁶	70 10 ⁹	3 /m3	600 10 ⁶	210 10 ⁹
Seawall	stone talud	350	slope 1 : 20: ½ x 15 x 300	2,25 10 ⁶	0,8 10 ⁹	13 /m3	29 10 ⁶	10 10 ⁹
Land gain	sandcrown	350	per 500 m seaward: 20 x 500	10 10 ⁶	3,5 10 ⁹	3 /m3	30 10 ⁶	11 10 ⁹
Estuaria	sealeevee	200	Westerschelde + Dollard				65 10 ⁶	13 10 ⁹
IJsselvlecht	digging	125	summer/winterbed: 2x(5 x 100 / 5 x 500)	5 10 ⁶	0,6 10 ⁹	10 /m3	50 10 ⁶	6 10 ⁹
Maas	digging	180	summer/winterbed: 5 x 80 / 6 x 600	6,1 10 ⁶	1,1 10 ⁹	10 /m3	61 10 ⁶	11 10 ⁹
Maas	divers	180	landpurchase, riverbed, infra	0,6 10 ⁶	108 10 ⁶	50 /m2	30 10 ⁶	6 10 ⁹
Rijn	digging	225	summer/winterbed: 12 x 500 / 12 x 2500	52 10 ⁶	11,7 10 ⁹	10 /m3	520 10 ⁶	117 10 ⁹
Rijn	divers	225	landpurchase, riverbed, infra	2,5 10 ⁶	562 10 ⁶	50 /m2	125 10 ⁶	29 10 ⁹

Grensrivieren

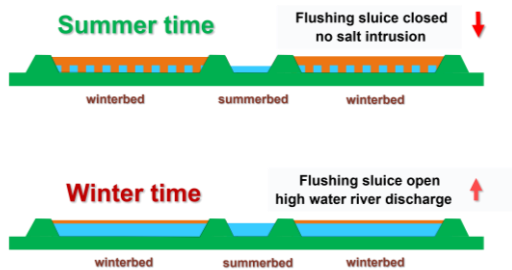
Omliegging van de grote rivieren Maas en Rijn is uiteraard niet gratis. De kosten voor de GrensMaas zijn met circa 20 miljard nog relatief bescheiden vergeleken met de Rijn die een schaalorde groter is. De kosten van de GrensRijn zou bij volledige vrije afvoer kunnen oplopen naar 150 miljard.

De zeespiegelstijging geeft een kleiner verhang waardoor de stroomsnelheid afneemt dat leidt tot een bredere en diepere bedding. Het zomer- en winterbed van de GrensRijn is ruim gedimensioneerd met een totale breedte van 2,5 km en rivierdiepte van gemiddeld 12 meter. Deze dimensionering leidt tot een ruime overcapaciteit met 27.000 m³/s.

Het winterbed wordt anders dan gebruikelijk is bij uiterwaarden even diep gehouden als het zomerbed dat de afvoercapaciteit vergroot bij minder rivierbreedte. In de zomer wordt het afvoerdeel van het

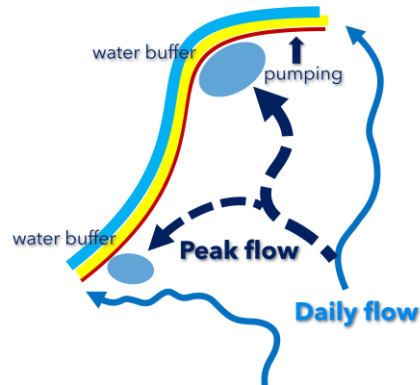
winterbed bij de monding gesloten met spuisluizen zodat voldoende diepgang voor de scheepvaart behouden blijft in het zomerbed.

Flushing sluices in winterbed



winterbed as deep as summerbed: maximum water discharge at minimal landuse

Hybrid river system



Opgemerkt wordt dat de bovenstaande kosten betrekking hebben op bouwkosten voor de aannemers, waarbij de totale investeringskosten met ongeveer een factor twee kunnen oplopen vanwege ontwerp, begeleiding, vastgoed, onvoorzien en BTW. Grondaankoop is wel verdisconteerd in de bouwkosten.

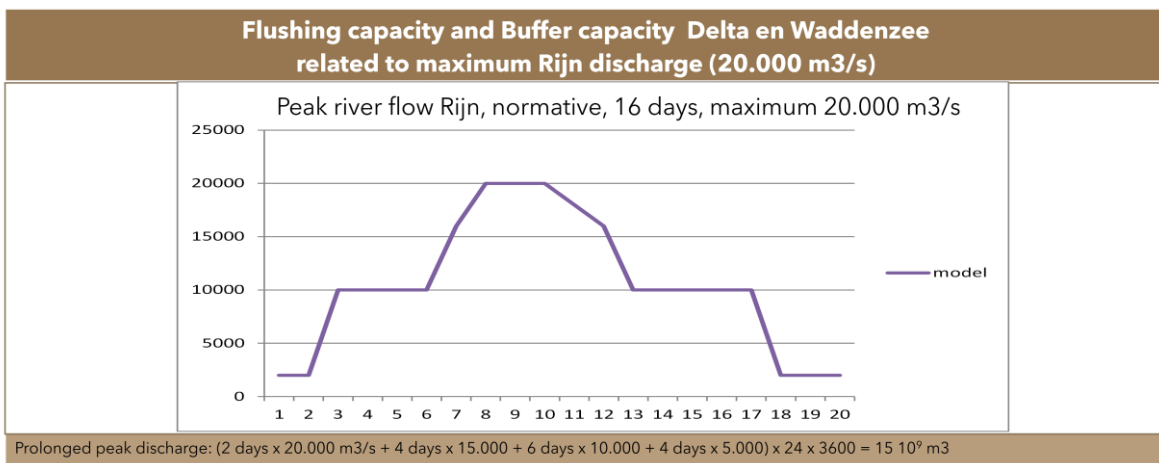
1.7 Hybride riviersysteem voor kostenreductie

Een sterke kostenbesparing is realistisch denkbaar door te kiezen voor een hybride riviersysteem. De reguliere jaarronde afvoer wordt in het hybride riviersysteem gescheiden van de piekafvoer bij extreme hoogwaterstanden die beperkt is tot enkele weken per jaar.

De reguliere jaarronde afvoer kent vrije afwatering naar zee via de GrensRivieren terwijl de piekafvoer eerst wordt afgeleid naar laaggelegen bufferbekkens om vervolgens vertraagd weggepompt te worden naar de hoger gelegen zee. De kosten voor de rivierbeddingen zijn met een factor vijf te reduceren.

Flushing and Buffer capacity

Conclusion: prolonged peak Rijn discharge 16 days -> discharge total $15 \cdot 10^9 \text{ m}^3$



Buffering piekafvoer

Gedurende twee tot drie weken per jaar kent de Rijn extreem hoogwater. De piekafvoer is normatief gesteld op circa 20.000 m³/s die normatief toeneemt en afneemt in 16 dagen tijd.

In het hybride systeem is de reguliere vrije afwatering naar zee indicatief begrensd op 4500 m³/s waarbij het meerdere afgevoerd wordt naar de laaggelegen bufferbekkens. Vanuit deze bekkens is het rivierwater in een lange rustige periode na de hoogwaterstanden omhoog te pompen naar de zee.

Uitgaande van bufferbekkens in de Waddenzee en Oosterschelde-Haringvliet is de opslagoppervlakte gelijk aan circa 2850 km². Hieraan is de Grevelingen van 100 km² toe te voegen. Het IJsselmeer wordt vooralsnog buiten beschouwing gelet op de beperkte dijkhoogten.

Bij het opslaan van de extreme hoogwater toevoer groter dan 4500 m³/s stijgt de waterspiegel in de bufferbekkens niet meer dan 12 cm in 6 uur tijd en 70 cm in 36 uur en circa 3,3 meter in 16 dagen. De periode van 6 uur is de tijd tussen reguliere eb en vloed, en de periode van 36 uur overlapt de tijd van een zware stormopzet op zee. De periode van 16 dagen bestrijkt de gehele normatieve afvoer.

Buffer effect in Waddenzee and Oosterschelde with peak flow Rijn				
	total peak flow to buffer		peak flow > 4.500 m ³ /s to buffer	
period	total charge	buffer rise	total charge	buffer rise
6 hours	0,43 10 ⁹ m ³	0,15 m	0,33 10 ⁹ m ³	0,12 m
36 hours	2,6 10 ⁹ m ³	0,90 m	2,0 10 ⁹ m ³	0,70 m
16 days	15,0 10 ⁹ m ³	5,30 m	9,3 10 ⁹ m ³	3,30 m
peak river flow scheme	(2d x 20 + 4d x 15 + 6d x 10 + 4d x 5) 10 ³ x 24 x 3600 m ³		(2d x 15,5 + 4d x 10,5 + 6d x 5,5 x 4d x 0,5) 10 ³ x 24 x 3600 m ³	
Total buffer area: 2850 km ² = area Waddenzee 2400 km ² + area Oosterschelde-Haringvliet 450 km ²				

Pompcapaciteit

De bufferbekkens dienen als tijdelijke opslag van hoogwaterafvoer waarna het opgeslagen water dient te worden weggemalen. Uitgangspunt is opslag behorende bij hoogwaterafvoer van 16 dagen.

De benodigde pompcapaciteit volgt uit de gewenste maximale gemaalperiode. In een gemaalperiode van 30 dagen is 3600 m³/s pompcapaciteit nodig, en bij 60 dagen is te volstaan met 1800 m³/s dat gelijk is aan 7 maal de huidige capaciteit van de gemalen in IJmuiden.

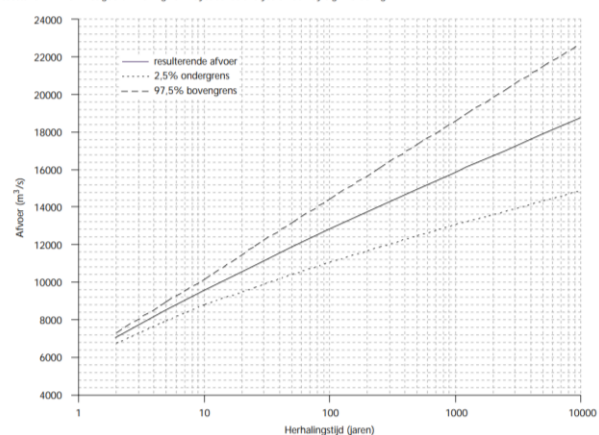
De maximale gemaalperiode is af te stemmen op de kans dat twee piekafvoeren elkaar binnen enkele maanden opvolgen. Herhaalde afvoergolven met een piekafvoer van circa 10.000 m³/s hebben zich tenminste twee keer in de afgelopen eeuw voorgedaan in 1920 en 1983.

De kans op de veel grotere maximale normatieve afvoer van 20.000 m³/s is slechts 1 op 10.000 jaar waarmee het risico op korte herhaling vele malen kleiner is. Uitgangspunt voor het hybride systeem is dan ook één maatgevende piekafvoer van 20.000 m³/s óf een herhaalde afvoer van 10.000 m³/s wat tot het inzicht leidt dat de gemaalperiode ook langer mag duren dan enkele maanden.

Datum piek	Piekafvoer [m ³ /s]	Datum piek	Piekafvoer [m ³ /s]
2 januari 1920	10000	27 februari 1970	9850
18 januari 1920	11365	9 februari 1980	8811
7 november 1924	9300	15 april 1983	9323
4 januari 1926	12280	31 mei 1983	9707
27 november 1930	9075	11 februari 1984	8697
3 december 1939	8610	31 maart 1988	10476
23 maart 1942	8475	25 december 1993	11158
30 november 1944	8295	1 februari 1995	11965
17 februari 1945	8585	4 november 1998	9487
12 februari 1946	9140	26 februari 1999	7974
4 januari 1948	9785	27 maart 2001	8701
21 januari 1955	9510	2 maart 2002	8073
1 maart 1958	9120	6 januari 2003	9451

Tabel 3-1 Geselecteerde afvoergolven voor de Rijn bij Lobith weergegeven door de datum en piekafvoer.

Figuur 3.4 Resulterende afvoer en 95%-betrouwbaarheidsinterval behorende bij variant 4, gehomogeniseerde meentreeks van afvoermaxima voor de toestand 1977 en met gebruikmaking van Bayesiaanse analyse en de Rayleigh verdeling



Vrije jaarronde afwatering

De reguliere rivierafvoer kent een vrije uitmonding naar zee. De GrensRijn wordt gedimensioneerd op een capaciteit van 4.500 m³/s die tweemaal zo hoog is als de huidige gemiddelde jaarlijkse afvoer van 2.400 m³/s. Bij deze capaciteit beginnen de kribben in de huidige Rijn en Waal te overstromen.

Jaarlijks wordt gemiddeld 75 miljard m³ Rijnwater afgevoerd, waarbij de gemiddelde piekafvoer niet hoger is dan 7.000 m³/s. Rekening houdende met de vrije afvoer van 4.500 m³/s komt gedurende de hoogwaterperiode van 16 dagen jaarlijks circa 0,6 miljard m³ terecht in het bufferbassin.

Met de dimensionering op 4.500 m³/s stroomt circa 99 % van het Rijnwater direct naar zee. Terwijl de kosten voor de hybride GrensRijn met een factor vijf reduceren naar circa 30 miljard euro.

Kleinere dimensionering van het rivierbed is denkbaar dat de kosten verder reduceert. Probabilistische studies geven duiding aan de optimale verhouding tussen vrije afwatering en tijdelijke opslag.

Hybride riviersysteem versus volledige afsluiting

Volledige afsluiting zou wellicht tot een groter kostenvoordeel leiden. Aan het hybride riviersysteem is echter ook een voordeel van intrinsieke veiligheid toe te kennen. Nederland blijft verzekerd van vrije afwatering ook in geval van worst-case scenario's als langdurige uitval van het pompsysteem.

Aan deze intrinsieke en redundante veiligheid van vrije afwatering ten opzichte van volledige afsluiting is naast een rationele benadering ook een subjectief gevoel van veiligheid verbonden.

2.0 Adaptie en Fasering

Het masterplan Nieuwe Hollandse Bosvariant beschrijft het geschetste eindplaatje dat correspondeert met een zeespiegelstijging van tenminste 5 tot 10 meter. Door verdere adaptie kan het masterplan ook antwoord geven op een voortgaande zeespiegelstijging naar 15 tot 20 meter.

De ernst en snelheid van de zeespiegelstijging zijn met veel onzekerheden omkleed. Op korte termijn zou de zeespiegel bijvoorbeeld een of twee meter kunnen stijgen om daarna te stabiliseren of juist versneld door te stijgen. De grote mate van onzekerheden vraagt bij het masterplan om stapsgewijze adaptie en fasering die ingevuld wordt met no-regret ingrepen.

2.1 Nul-fase: huidige zeespiegel en dijkbescherming

De waterkeringen worden in principe belast door drie fenomenen: rivierafvoeren, getijden en wind waarbij de wind tot golfopzet, deining en andere kleinere specifieke aspecten leidt.

Bij de waterkeringen wordt hier onderscheid gemaakt tussen de verdediging van de kustlijn en de dijkkeringen langs de grote rivieren die te verdelen zijn in Benedenrivieren en Bovenrivieren.

Waterstanden langs zeekust bij stormopzet en astronomisch getij (peil t.o.v. NAP)							
fase waterstand vanaf eb	Vlissingen		Hoek v Holland		Den Helder		
	zeepeil	periode	zeepeil	periode	zeepeil	periode	
eb	- 2,0	0 h	- 0,8	0 h	- 0,8	0 h	
neutraal	+ 0,0	3 h	+ 0,2	3 h	+ 0,1	3 h	
vloed	+ 2,0	6 h	+ 1,2	6 h	+ 0,6	6 h	
storm-eb 1	+ 0,0	12 h	+ 0,8	12 h	+ 0,5	12 h	
storm-neutraal	+ 3,0	15 h	+ 3,0	15 h	+ 3,0	15 h	
storm-vloed 1	+ 6,0	18 h	+ 5,0	18 h	+ 4,0	18 h	
storm-eb 2	+ 3,0	24 h	+ 3,0	24 h	+ 3,5	24 h	
storm-vloed 2	+ 6,0	30 h	+ 4,0	30 h	+ 5,5	30 h	
storm-neutraal	+ 3,0	33 h	+ 2,0	33 h	+ 3,5	33 h	
storm-eb 3	+ 1,0	36 h	- 0,2	36 h	+ 2,0	36 h	

bron: Waterstandsverlopen kust, Deltares, 2015; gestileerd bewerkt

Kustlijn

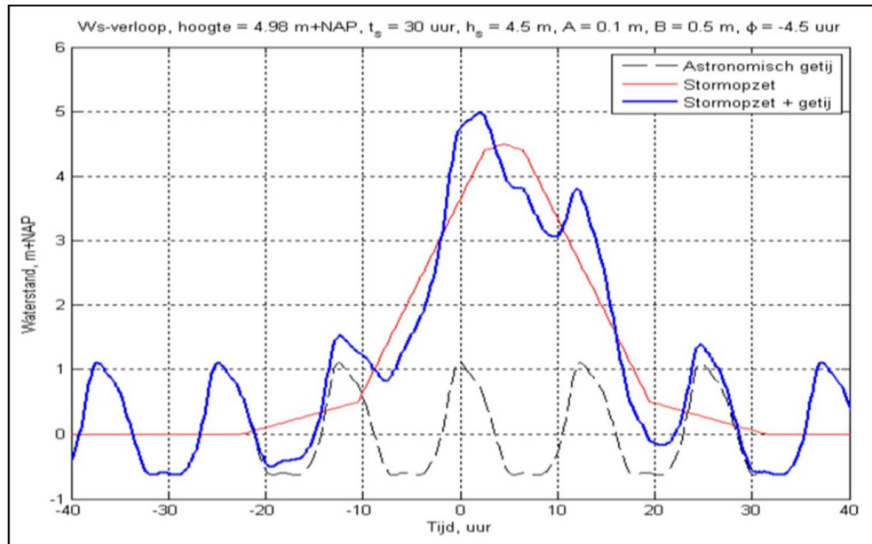
De Deltahoogte van de kustlijn is gericht op een storm hoogwaterstand HWS van + 5 m NAP. Aan de Noordzeekust wordt rekening gehouden met een golfloop van 7 meter, zodat de dijkhoogte uitkomt op + 12 m NAP. In de Waddenzee is de golfloop geringer, bijvoorbeeld aan de oostzijde van Texel ligt de dijk op + 7,5 m NAP.

De HWS (hoogwaterstand) is een combinatie van met name astronomisch getij en stormopzet. Langs de kustlijn varieert het astronomisch getij dat in Vlissingen het grootst is en langs de Hollandse kust afneemt richting Den Helder om daarna weer iets groter te worden.

Bij Vlissingen is het verschil tussen eb en vloed gemiddeld 4 meter en bij Hoek van Holland vermindert het getij tot 2 meter en bij Den Helder resteert nog 1,5 meter. In combinatie met de stormopzet leidt dit

tot twee scherpe hoogwaterpieken van + 6 m NAP bij Vlissingen die richting Den Helder afvlakken en verbreden tot circa 4 tot 5 meter hoge plateaus.

De Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg en Haringvlietdam gaat dicht op + 3 m NAP. Bij een hele lage Rijnaflow van minder dan 1.500 m³/s is de tegendruk tegen het zoute zeewater te klein zodat de Haringvlietdam ook gesloten wordt.



Figuur 6.4 Waterstandsverloop Hoek van Holland behorende bij een waterstand van 5.0 m (bron (Chbab, 2012)).

Benedenrivieren en bovenrivieren

Bij de grote rivieren wordt onderscheid gemaakt tussen de Benedenrivieren en Bovenrivieren met een totale lengte van circa 1400 km aan rivierdijken.

De Benedenrivieren van Werkendam tot de kust hebben een waterbed dat veel ruimer is dan bij de Bovenrivieren tot de Duitse en Belgische grens. Vergeleken met de Waal is het Hollands Diep drie keer zo breed met een diepte van 15 meter. Hoogwater rivierafvoer is hier nauwelijks merkbaar en ten hoogste enkele decimeters bij meer dan 5.000 m³/s rivierafvoer.

De zee daarentegen heeft veel invloed in de Benedenrivieren. Het peil in de rivieren stijgt en daalt vertraagd mee met de beweging van vloed en eb.

Gemiddelde hoogten van dijk en land langs kust en rivieren (t.o.v. NAP)					
Rijn/Waal tracé	achterland	dijkhoogte	IJssel tracé		dijkhoogte
Kustlijn		+ 12,0	Kustlijn		+ 12,0
Oosterscheldedam		+ 12,0	Afsluitdijk		+ 10,0
Oosterschelde westzijde	- 1,0	+ 8,0	Waddenzee Friesland		+ 9,0
Oosterschelde oostzijde	- 1,0	+ 6,5	Waddenzee Texel		+ 7,5
Haringvliet	- 0,5	+ 5,5	IJsselmeer polders		+ 5,0
Hollands Diep	+ 0,0	+ 6,0	Zwolle		+ 5,5
Werkendam	+ 0,0	+ 6,0	Deventer		+ 7,5
Zaltbommel	+ 2,0	+ 10,0	Zutphen		+ 10,5
Tiel	+ 5,0	+ 12,5	Doesburg		+ 12,0
Nijmegen	+ 9,0	+ 16,0	Arnhem		+ 15,0
Millingen	+ 12,5	+ 18,5	Millingen		+ 18,5

Bron: Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)

De Rijn als grootste Bovenrivier verdeelt zich over drie takken: Waal, Nederrijn en IJssel. De stuw bij Driel is de kraan van Nederland in de verdeling van het rivierwater over de takken bedoeld ook om de bevaarbaarheid van de IJssel op peil te houden.

Sinds 1995 zijn maatregelen genomen voor de rivieren gericht op een overschrijdingskans van 1 op 1250 jaar bij een hoogwaterafvoer van 15.000 tot 16.000 m³/s voor de Rijn en een piekafvoer van circa 3.380 m³/s voor de Maas.

Deze maatregelen onder de noemer Ruimte voor de rivieren voorzien ondermeer in nieuwe geulen in de uiterwaarden met minder remmende begroeiing evenals verlaging van de kribben dat effect geeft van enkele decimeters verlaging van het waterpeil. Waar mogelijk is het rivierbed ook verbreed door het terugleggen van dijken. Het zomerbed van de IJssel is verdiept bij Kampen waarbij dergelijke verdiepingen wel met baggeren op diepte dienen te worden gehouden.

Worst-case scenario van stormvloed en hoogwaterafvoer

De normatieve hoogwaterstand bij storm is + 5 m NAP waarbij Maeslantkering en Haringvlietdam zich sluiten op circa + 3 m NAP. Voor de gehele stormperiode wordt normatief gerekend met een tijdsduur van 36 uur waarbij het zeepil gedurende circa 16 uur hoger kan liggen dan + 3 m NAP.

In het worst-case scenario van stormvloed en hoogwaterafvoer zou het Haringvliet in 16 uur tijd stijgen met niet minder dan 10 meter rekening houdende met 20.000 m³/s aan piekafvoer. In dat geval zal de Haringvlietdam toch geopend moeten worden waarbij het peil minimaal stijgt naar het zeepil.

De HWS van de zeespiegel bij storm is + 5 meter NAP met als gevolg dat het water in het Haringvliet stijgt tot aan de kruin van de dijken. Het is duidelijk dat een beperkte zeespiegelstijging in ieder geval vraagt om een verhoging van de dijken in de Benedenrivieren.

2.2 Adaptiestap A: zeespiegelstijging van 1-2 meter

De eerste adaptiestap is gerelateerd aan een beperkte zeespiegelstijging met 1 tot 2 meter. Deze stap voorziet in no-regret maatregelen die zich richten op de zuidwestelijke delta.

Spuiopties bij stormopzet en hoogwaterafvoer met Oosterschelde-Haringvliet als bufferbekken							
	fase waterstand vanaf eb	zeezijde		bufferzijde		spuisluis	dijk
		zeepil	periode	bufferstijging	bufferpeil		
	eb	- 0,8	0 h	0	- 0,8	nee	5,8
	neutraal	+ 0,2	3 h	0,5	- 0,3	nee	5,3
	vloed	+ 1,2	6 h	0,9	+ 0,1	nee	4,9
	storm-eb 1	+ 0,8	12 h	1,8	+ 1,0	nee	4,0
	storm-neutraal	+ 3,0	15 h	2,3	+ 1,5	nee	3,5
	storm-vloed 1	+ 5,0	18 h	2,7	+ 1,9	nee	3,1
	storm-eb 2	+ 3,0	24 h	3,6	+ 2,8	nee	2,2
	storm-vloed 2	+ 4,0	30 h	4,5	+ 3,7	start	1,3
	storm-neutraal	+ 2,0	33 h	5,0	+ 4,2	ja	0,8
	storm-eb 3	- 0,2	36 h	5,4	+ 4,6	ja	0,4

Kruinhoogte dijk: + 6,0 m NAP; Rekenhoogte dijk: + 5,0 m NAP incl. correctie golfoploop; Rivierafvoer: 20.000 m³/s

Oosterscheldedam als spuisluis

De Nieuwe Waterweg wordt in deze adaptiestap afgesloten. Het rivierwater wordt in eb-tijd afgevoerd met spuisluizen die voldoende capaciteit dienen te hebben. Dat vraagt bij piekafvoer van rivieren in combinatie met stormtij om voldoende buffercapaciteit achter de spuisluizen.

De brede Oosterscheldedam gaat naast het Haringvliet dienen als spuisluis voor de rivieren. Bij vloed is de dam dicht en bij eb open voor het spuien. De Oosterschelde dient als grote opvangbuffer die met name van belang is bij de maximale Rijnaafvoer van 20.000 m³/s in combinatie met stormopzet.

Philipsdam en Volkerakdam die verbinding geven tussen Oosterschelde en de Benedenrivieren, dienen ook van voldoende brede spuisluizen voorzien te worden. Door het omgekeerde regiem van de Oosterscheldedam zou één van de dammen ook permanent opengelaten kunnen worden.

Het worst-case scenario van stormopzet en hoogwaterafvoer laat zien dat de dijkringen zwaar belast worden. Bij eb kan de Oosterschelde "leeg" getrokken worden, voorafgaande aan een verwachte

storm. Al ligt het startniveau door vertragende werking in de Oosterschelde wellicht enkele decimeters hoger dan het laagste ebpeil van – 0,8 m.

De Oosterschelde vult zich met de maximale rivierafvoer van 20.000 m³/s tot het moment dat het bufferpeil hoger wordt dan het alweer dalende stormpeil op zee. Dat is het geval na circa 30 uur waarbij het peil in de Oosterschelde stijgt naar circa + 3,5 tot + 4,0 m NAP.

Phased and adaptive process

Phase A Southwestern Delta no regret interventions limited sea level rise 1 - 2 meter

- . A1 Nieuwe Waterweg closing off including lock
- . A2 Oosterspui schelde
 - flushing sluices Oosterschel dedam
 - river buffer in Oosterschelde
 - sweet water reservoir Oosterschelde
- . A3 Deep clay wall along southwestern coastline



In het geschetste worst-case scenario is een beperkte zeespiegelstijging mogelijk voordat de dijken in de Oosterschelde en de Benedenrivieren versterkt dienen te worden. Het is wellicht verstandig om een beperkte dijkverhoging van 1 tot 2 meter door te voeren in deze gebieden.

Naast de Oosterschelde is ook de Grevelingen beschikbaar die als tijdelijke buffer kan dienen om het maximum peil in de andere buffers aanvaardbaar te houden.

Versterkte zandsuppletie

De gehele kustlijn dient voorts versterkt te worden om bestendig te zijn tegen de zeespiegelstijging van 1 tot 2 meter. Op veel locaties is vermoedelijk te volstaan met extra zandsuppletie, zonder dat het gehele kustfundament verhoogd wordt.

Bij verdergaande zeespiegelstijging dient een keuze te worden gemaakt tussen zandsuppletie of een voordeliger harde zeedijk. De kosten van zandsuppletie lopen op bij volledige ophoging van het natuurlijk kustfundament met zandsuppletie.

Locale leemkaden

Langs de zuidwestelijke delta kan gestart worden met de diepe leemkade in de ondergrond, met name op die locaties waar in het achterland al enige last is van zoute kwel. Voordeel van het afsluiten van de Nieuwe Waterweg is tevens dat de verzilting daar sterk vermindert, al dient rekening gehouden te worden met toevloeden van zout water vanwege de nieuwe sloopsluis in de Nieuwe Waterweg. Mitigerende maatregelen zoals bemaling en dichtheidsschermen zijn daarbij denkbaar.

2.3 Adaptiestap B: zeespiegelstijging van 2 - 5 meter

De tweede adaptiestap is gericht op een verdere zeespiegelstijging naar 2 tot 5 meter. De no-regret ingrepen verplaatsen zich naar de noordwestelijke delta, met name de Waddenzee en de IJssel.

Waddenzee als spuimeer

Bij een zeespiegelstijging van 2 tot 3 meter is de spuicapaciteit van de Oosterschelde niet toereikend in het steeds korter wordende ebtij. Het worst-case scenario van stormopzet en hoogwaterafvoer

wordt ook problematischer. Een beduidend grotere bufferbekken is wenselijk voor het bereiken van werkelijke toekomstvaste waterveiligheid.

Phased and adaptive process

Phase B Northwestern Delta far-reaching interventions advancing sea level rise 2 - 5 meter

- . B1 IJssel increasing of river capacity
 - artificial inland delta or inverted delta
 - interweaving of (braided) river branches
- . B2 Waddenbekken
 - enclosure of Waddenzee
 - flushing sluices
 - river buffer and sweet water reservoir
- . B3 Deep clay wall along northwestern coastline



In de noordwestelijke delta met de Waddenzee is beduidend meer spuicapaciteit te vinden die tevens als aanzienlijk grotere waterbuffer dient bij hoogwater en stormtij.

De spuisluzen zijn gedacht in de vijf tot zes stroomgaten tussen de Waddeneilanden. De Waddenzee krijgt de functie van grootschalig opvangbuffer. De peilstijging tussen eb en vloed blijft beperkt tot een decimeter in het geval dat de maximale Rijnafvoer van 20.000 m³/s volledig langs de IJssel naar de Waddenzee zou worden geleid.

Flushing and Buffer capacity

Conclusion: prolonged peak Rijn discharge 16 days -> discharge total 15 . 10⁹ m³
 -> area Waddenzee/IJsselmeer 2400 km² -> level rise 4 m without sea flushing

Flushing capacity and Buffer capacity Delta en Waddenzee related to maximum Rijn discharge (20.000 m ³ /s)							
6-hour period	flushing capacity		v = 3 m/s	low tide (6 hours)	buffer capacity (per 6 hour)		high tide (6 hours)
	b x h	opening	flow	discharge	area	level rise	charge
	m	m ²	m ³ /s	m ³	km ²	m	m ³
Haringvliet	960 x 6	5.760	17.280	0,4 10 ⁹	100	0,90	0,4 10 ⁹
Oosterschelde	2688 x 9	24.200	72.600	1,5 10 ⁹	350		
IJsselmeer	300 x 4	1.200	3.600	0,08 10 ⁹	1100	0,11	
Waddenzee	20.000 x 5	100.000	300.000	6,5 10 ⁹	2400		

Prolonged peak discharge: (2 days x 20.000 m³/s + 4 days x 15.000 + 6 days x 10.000 + 4 days x 5.000) x 24 x 3600 = 15 10⁹ m³

Door de grote omvang van de Waddenzee is ook bij een normatief stormgetij van 36 uur voldoende buffercapaciteit beschikbaar. Het peil in de Waddenzee stijgt bij piekafvoer van de Rijn gedurende deze anderhalve etmaal minder dan één meter.

Bij een volledige hoogwater Rijnafvoer van 16 dagen stroomt 15 miljard m³ water de Waddenzee in die zonder tussentijds spuien circa 4 meter in peil zou stijgen. Verwacht mag uiteraard worden dat er tussentijds voldoende spuicapaciteit is.

De dijken langs de Friese kust hebben een kruinhoogte van circa + 9 m NAP ofwel rekening houdende met een golfloop van enkele meters bestand tegen een waterstand van tenminste + 5 m NAP. Door het spuisysteem bij laag water zou bij een stijging van de zeespiegel tot 5 meter met de huidige dijken nog te volstaan zijn.

Spuiopties bij stormopzet en hoogwaterafvoer met Waddenzee als bufferbekken							
	zeespiegel tov NAP	normaal vloed	storm vloed	normaal eb	bufferstijging in 36 uur	bufferpeil	dijkhoogte reserve
	+ 0,0	+ 1,0	+ 5,0	- 1,0	0,70	- 0,30	4,70
	+ 1,0	+ 2,0	+ 6,0	+ 0,0	0,70	+ 0,70	4,30
	+ 2,0	+ 3,0	+ 7,0	+ 1,0	0,70	+ 1,70	3,30
	+ 3,0	+ 4,0	+ 8,0	+ 2,0	0,70	+ 2,70	2,30
	+ 4,0	+ 5,0	+ 9,0	+ 3,0	0,70	+ 3,70	1,30
	+ 5,0	+ 6,0	+ 10,0	+ 4,0	0,70	+ 4,70	0,30
Rekenhoogte dijk: + 5,0 m NAP incl. correctie golfloop; Rivierafvoer: 20.000 m ³ /s							

Bij verdergaande zeespiegelstijging is niet uitgesloten dat de spuisluizen hun functie verliezen door verlegging van de rivieren naar de grenzen dan wel het oppompen van het water. Rekening houdende met een gestage stijging van de zeespiegel met 1 tot 2 meter per eeuw zijn desondanks de tijdelijke functies van de spuisluizen in de Waddenzee te beschouwen als no-regret maatregelen gelet op de gebruikelijke levensduur van 100 jaar van kunstwerken.

Discharge distribution

Conclusion: peak capacity IJssel actual 3.500 m³/s -> masterplan 10.000 m³/s -> contribution 70 %
BovenRijn: discharge only 17 days/year > 4.500 m³/s; average discharge only 2.400 m³/s

Discharge distribution BovenRijn in m ³ /s (year average 2400 m ³ /s, year discharge 75 10 ⁹ m ³)								
River	length km	summer bed m	winter bed m	side riverbed falls dry	groyne-strand falls dry	groynes flooded	winterbed flooded	winterdike maximum
BovenRijn level				+ 7 m NAP	+ 9 m NAP	+ 12 m NAP	+ 15 m NAP	+ 18 m NAP
BovenRijn	10	400	850	1000 (100%)	2000 (100%)	4000 (100%)	8000 (100%)	16000 (100%)
Waal/Merwede	110	300	550	813 (81%)	1450 (73%)	2680 (67%)	5300 (67%)	10000 (64%)
NederRijn/Lek	120	150	400	30 (3%)	250 (12%)	756 (19%)	1500 (19%)	3500 (21%)
IJssel	125	100	500	157 (16%)	300 (15%)	561 (14%)	1100 (14%)	2500 (15%)
Bron: Watersysteem rapportage Rijntakken 1990 - 2015								

Zwaartepunt Rijnafvoer verschuift noordwaarts

Voor de afvoer van de Rijn dient het zwaartepunt verschoven te worden naar het noorden richting de Waddenzee die de grootste spuicapaciteit heeft. De huidige regulatie voorziet in een beperkte afvoer via de IJssel, te weten circa 2.500 m³/s bij het huidige maximum van 16.000 m³/s toevoer.

Doelstelling op termijn is een afvoerverhouding van tweederde via de IJssel richting Waddenzee en eenderde over de Waal richting Oosterschelde. De afvoer van de IJssel is met beperkte aanpassingen van 2.500 m³/s te verhogen naar 3.500 m³/s. De IJssel dient echter in het masterplan een drievoudige capaciteit te krijgen van 10.000 m³/s.

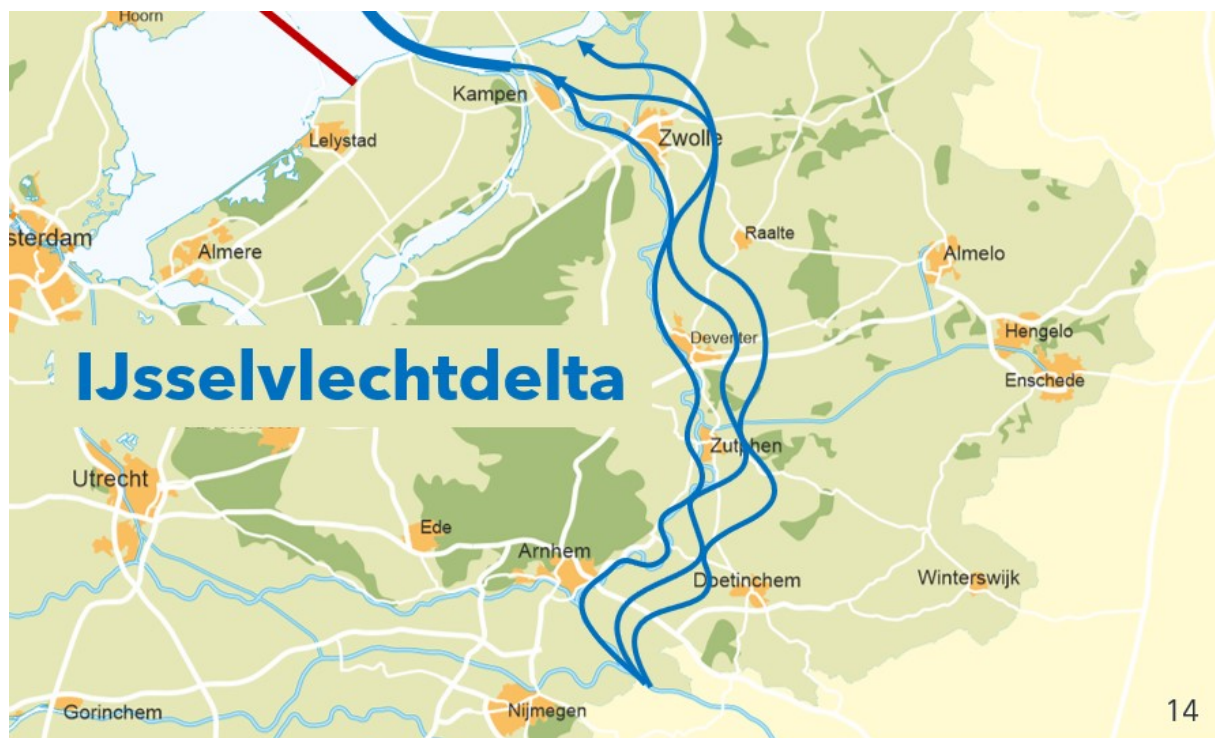
In de huidige situatie ontvangt de Waal bij hoogwater 10.000 m³/s. Het winterbed van de Waal is gemiddeld 1 km breed, met het smalste winterbed bij Nijmegen van circa 550 meter. Het winterbed van de ook veel ondiepere IJssel is circa 500 meter. Het kleinschalige landschap van de IJssel zelf lijkt zich echter minder goed te lenen voor een verdubbeling van het huidige bed.

IJsselvlechtdelta

Het adaptiepad van het masterplan voorziet in een IJsselvlechtdelta van fijnere vlechtstromen in plaats van één brede rivier. De vlechtstromen zijn nog rudimentair aanwezig in het Kampereiland. De nieuwe IJsselvlechtdelta strekt zich uit tussen de massieve heuvelruggen van Veluwe en Salland.

Het idee is dat enkele IJsselstromen aftakken bij de Rijn die zich voegen in de landschapsplooiën tussen Westervoort, Duiven en Zevenaar, en die zich stroomafwaarts vervlechten in het lage land ten oosten van Doesburg, Zutphen, Deventer en Zwolle, en die uiteindelijk uitmonden in het Zwarte water en het Ketelmeer. De IJsselvlechtdelta past aldus in het kleinschalige landschap.

Het debiet van de BovenRijn is slechts enkele weken per jaar hoger dan 4.500 m³/s, waarbij de brede uiterwaarden van de IJsselvlechtdelta overstromen. Het overgrote deel van het jaar is te volstaan met het zomerbed van de smalle vlechtstromen die met een breedte van circa 100 meter goed inpasbaar zijn in het mozaïek landschap.



Versterkte zandsuppletie of zeedijk

De zeewering dient langs de gehele kustlijn bestendig te worden tegen de zeestijging van 2 - 5 meter. Vermoedelijk kan nog volstaan worden met versterkte zandsuppletie die wel continue onderhoud vergt zolang het natuurlijk kustfundament niet over de volle breedte gesuppleerd is.

Bij verdere zeespiegelstijging is de verwachting dat een harde zeedijk voorrang krijgt die vele malen voordeliger is dan ophoging van het natuurlijk kustfundament met zandsuppletie. De zeedijk is af te werken met het bekende zandstrand voor de beleving en recreatieve doeleinden.

Locale leemkaden

Langs de gehele kustlijn kan de diepe leemkade in de ondergrond aangelegd en voltooid worden. Bij een zeestijging met 3 meter neemt de kwel sterk toe alsmede het risico op het opbreken van de grond. Ook met de perpendiculaire leemkaden die loodrecht op de kustlijn insteken in het achterland, is een start te maken.

2.4 Adaptiepad C1/2: zeespiegelstijging meer dan 5 meter

De derde adaptiestap gaat richting het eindplaatje van het masterplan Nieuwe Hollandse Bosvariant waarbij de zeespiegel beduidend meer dan 5 meter stijgt, en naar verwachting doorstijgt. De ingrepen richten zich op de verlegging van de grote rivieren Rijn en Maas naar de grensstreken.

Het hybride riviersysteem geeft een grote kostenbesparing waarbij de reguliere jaarronde afvoer via de GrensRijn vrij in zee stroomt, en de piekwaterafvoer via de IJsselvechtdelta wordt omgeleid naar de opslagbuffer van het Waddengebied.

Maas verlegging

Verlegging van de grote rivieren is te starten met de Maas als kleinste van de twee grote rivieren. De nieuwe GrensMaas langs de Belgische grens mondt uit in de Westerschelde. De investeringen voor de GrensMaas bedragen circa 15 tot 20 miljard dat een orde kleiner is dan van de Rijn.

Rijn verlegging

De verlegging van de Rijn is het grootste sluitstuk van het masterplan. De nieuwe GrensRijn langs de Duitse grens mondt uit in de Dollard. Uitgaande van een verwachte zeespiegelstijging van 10 meter kunnen de investeringen oplopen naar 150 miljard in geval de GrensRijn gedimensioneerd wordt op de volledige hoogwaterafvoer met 20.000 m³/s.

Bij een beperkte zeespiegelstijging van circa 3 meter liggen de aanlegkosten van de GrensRijn circa éénderde lager vanwege het grotere verhang en zodoende het kleinere dwarsprofiel (66 %).

Indachtig het uitgangspunt Bouwen met de natuur zouden de rivierstromen wellicht deels zelf in de tijd kunnen zorgen voor natuurlijke uitslijting van de rivierbedding. Deze futuristische insteek vraagt wel om instrumentalisatie van het wegspoelen en neerslaan van het slib.

Phased and adaptive process

Phase C East and Southside more drastic interventions advancing sea level rise > 5 meter

- . C1 Maasbed shifting to Belgian border
- . C2 Rijnbed shifting to German border
- Option I:** all discharge of Rijn to Dollard
 - maximum 20.000 m³/s
- Option II:** discharge to Dollard without peak flow
 - maximum 4.500 m³/s
 - peak flow temporary to Waddenzee



Hybride riviersysteem van vrije afvoer en bufferen

Een forse besparing op de kosten van de GrensRijn is - als eerder aangegeven - denkbaar door een hybride afvoersysteem. Dat vraagt om een scheiding tussen de reguliere jaarronde waterafvoer, en de extreme rivierafvoer bij hoogwaterstanden die beperkt blijft tot slechts enkele weken per jaar.

De GrensRijn is te dimensioneren op een vrije afvoercapaciteit van 4.500 m³/s dat tweemaal zo hoog is als de gemiddelde jaarlijkse afvoer van 2.400 m³/s. Bij hoogwaterstanden wordt het meerdere boven de capaciteit afgevoerd via de IJsselvechtdelta naar de buffer van het Waddengebied waar het in de rustige perioden weg te pompen is naar de hoog gelegen zee.

De kosten voor de GrensRijn zijn in het hybride riviersysteem naar verwachting met een factor vijf te reduceren naar circa 30 miljard euro.

2.5 Adaptiepad C3-Alternatief: snelwegrivier door het lage land

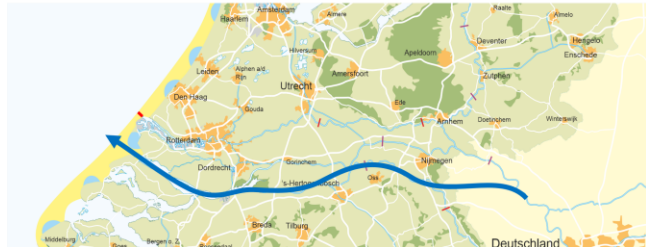
Alternatief scenario voor de derde adaptiestap met grensrivieren is een nieuwe brede snelwegrivier dwars door ons eigen lage land. De snelwegrivier stroomt buitenom havens en steden en geeft vrije afvoer van het Rijnwater naar de zee.

Phased and adaptive process

Phase C East and Southside more drastic interventions advancing sea level rise > 5 meter

- . C3 Highway Rijn river as Brabants by-pass (**alternative**)

Highway Rijn



Ons land biedt niet veel planologische ruimte meer voor een snelwegrivier. Bij een zeespiegelstijging van 5 tot 10 meter wordt het verhang klein dat een extra ruime bedding vraagt. Tevens dienen de dijken extra breed te zijn vanwege de grote gevolgen bij dijkdoorbraak. Het benodigde ruimtelijk profiel wordt al met al ingeschat op circa 3 kilometer.

Een voorlopig tracé is geprojecteerd op de noordelijke flanken van het Brabantse plateau waarbij de snelwegrivier stroomafwaarts uitmondt in het Hollands Diep en stroomopwaarts wordt omgeleid ten zuiden van Nijmegen en start als aftakking van de Duitse Rijn bij Kleef.

De huidige Waal wordt gekanaliseerd bij overheveling van de afvoer naar de nieuwe snelwegrivier waarbij de havens en kades van alle steden en dorpen langs de oude rivieren ongerept blijven.

Het hybride riviersysteem is ook toepasbaar op het alternatieve scenario met een snelwegrivier. De afvoercapaciteit is dan te reduceren naar 4.500 m³/s, zodat het profiel van de snelwegrivier met bijna een factor vijf te versmallen is tot een beperkte breedte van circa 500 meter.

3.0 Conclusie

Het masterplan van De Nieuwe Hollandse Bosvariant is zorgvuldig in de tijd gezien af te stemmen op snelheid in ernst van de zeespiegelstijging. Het masterplan voorziet in adaptiestappen en fasering met no-regret maatregelen gerekend over een tijdsbestek van honderden jaren.

Bij volledige uitvoering van het masterplan in een kortere periode van 100 jaar liggen de kosten op enkele miljarden per jaar. Deze uitgaven voor onze veiligheid mogen bescheiden genoemd worden gelet op de omvang van ons bruto nationaal product.

Bij een wellicht meer realistische gestage zeespiegelstijging van circa 1 tot 2 meter per eeuw is er een langdurige periode van enkele honderden jaren zo niet duizend jaar beschikbaar om de veiligheid van ons land te laten meegroeien met een zeespiegelstijging van 5 tot 10 meter. Het mag duidelijk zijn dat de jaarlijkse uitgaven aan waterveiligheid dan praktisch marginaal te noemen zijn.

Alternatief scenario voor de nieuwe grensrivieren is een snelstroomrivier die door ons eigen lage land geleid wordt via een nieuw tracé buitenom havens en steden. In te passen in het landschap voorzien van voldoende hoge en brede dijken voor waarborging van de waterveiligheid.

4.0 Epiloog

Onze voorouders hebben voor hetere vuren gestaan met beperktere middelen. Duizend jaar geleden werden moerassen ontgonnen. Veer oxideerde en klei klinkte in. Dijken, afwatering en spuilsuizen gaven soelaas, maar de bodem daalde verder. Het land werd prijsgegeven aan het water. Veer werd afgegraven als turf voor brandstof en zoutwinning. Grote plassen met smalle veendijken resteerden. Echter, de kleinkinderen zagen weer uitdagingen en nieuwe kansen. Dijken, ringsloten en windmolens legden de plassen droog waar wij goede landbouwgrond in onze polders aan te danken hebben.

Onze generatie en onze kleinkinderen staan voor nieuwe uitdagingen en kansen in het voortdurende waterbeheer van onze kustdelta. Over honderden jaren gezien mag verwacht worden dat de afsluiting van de Waddenzee en de verlegging van de rivieren minder weerstand zal oproepen dan in de huidige tijdgeest. De structurele verandering van de ruimtelijke ordening in ons land in de afgelopen eeuw met grootschalige infrastructuur en wijde stadsuitbreidingen is wellicht ingrijpender dan de noodzakelijke ingrepen die ons land te wachten staat in de volgende eeuwen voor het veilig waterbeheer.

