



NAAR EEN TWEEDE KUSTLIJN

Bescherming van Noordwest-Europa tegen zeespiegelstijging en zoetwatertekorten

Foto: Kees Streefkerk

Dick Butijn,
De Haakse Zeedijk

11 maart 2021

Wil Borm,
Adviesgroep Borm & Huijgens

Synopsis

Dit rapport is een naslagwerk voor beleidsmakers, onderzoekers en voorbereiders in het kader van een te ontwikkelen visie en een gefaseerde planning voor de lange termijn op het gebied van hoogwaterbescherming en ruimtelijke ordening van Nederland.

Het behandelt de oorzaken en de mate van te verwachten zeespiegelstijging, weersextremen en bodemdaling en geeft in grote lijnen aan welke oplossingen denkbaar zijn voor de wateropgaven waarvoor Noordwest-Europa en in het bijzonder Nederland in de komende eeuwen komen te staan. Het rapport maakt op hoofdlijnen een voorlopige afweging tussen die oplossingen, waarbij waterveiligheid en zoetwatervoorziening de hoofddoelen zijn.

Een tweede kustlijn met achterliggende bufferbekkens komt in dit rapport naar voren als een mogelijk haalbare, integrale en faseerbare oplossing voor de middellange en lange termijn. Het rapport geeft om deze reden een onderbouwing en een conceptuele uitwerking voor een tweede kustlijn.

Een tweede kustlijn als adaptieve, faseerbare oplossing doet mee in het traject van plannenpitches waarmee het Kennisprogramma Zeespiegelstijging bouwstenen inventariseert en inspiratie opdoet voor de ontwikkeling van lange termijn opties voor de wateropgaven.

Om meer zekerheid over de haalbaarheid van een tweede kustlijn en overige kansrijke oplossingen te verkrijgen wordt aanbevolen nader onderzoek uit te voeren.

Managementsamenvatting

Het Nederlandse grondgebied is en wordt dynamisch beïnvloed door het water en de mens. Klimaatverandering en daarmee ook zeespiegelstijging bedreigen in toenemende mate onze huidige leefwijze door zowel tekorten aan zoet water als door wateroverlast als door een toename van zout water. Tijdige maatregelen zijn vereist om deze effecten te beperken en ons op de consequenties voor te bereiden.

Het is bekend dat de mondiaal stijgende temperatuur een klimaatverandering teweeg brengt, die zich uit in weersverandering en zeespiegelstijging. Langdurige periodes van droogte leiden tot waterschaarste in grote delen van de wereld, waaronder ook Nederland. De zeespiegelstijging is nu ongeveer 3 millimeter per jaar, anderhalf maal zoveel als in de vorige eeuw. De verwachting is dat het tempo van zeespiegelstijging exponentieel versnelt. Vanaf 2050 neemt de zeespiegelstijging aanmerkelijk toe en deze versnelde stijging zet zich gedurende meerdere eeuwen voort tot een stijging van 5 tot 10 m. Daarnaast houdt de bodemdaling aan en zullen de rivierafvoeren met +50% en -25% veranderen ten opzichte van respectievelijk de huidige maximum en minimumafvoeren.

In dit rapport wordt visie geformuleerd voor het omgaan met deze veranderingen.

- Het is technisch en economisch haalbaar de problemen het hoofd te bieden zonder re-locatie naar hoger gelegen gebieden
- Om de verwachte zeespiegelstijging aan te kunnen moeten de rivieren van zee worden afgesloten. Rivierwater moet op termijn via pompen op zee worden geloosd.
- Om de zoetwaterhuishouding op orde te krijgen dient de zoet/zout overgang naar het westen verschoven te worden.
- Er is een nieuwe, meegroeierende hoofdinfrastructuur water nodig die in staat is het tempo van zeespiegelstijging voor te blijven.

Bij het identificeren van oplossingen wordt voorgesteld te handelen vanuit een globaal geïdentificeerde eindsituatie, om van daaruit terug te redeneren naar de stappen die vanuit het heden genomen moeten worden (*backcasting* in plaats van *forecasting*). In verband met het onzekere tempo van klimaatverandering is een gefaseerde, adaptieve aanpak van belang.

Gezien de urgentie van 2050 wordt voorgesteld op korte termijn te starten met het voorbereiden van oplossingen.

Maatregelen voor klimaatbestendigheid zullen ingrijpend en veelomvattend zijn. Daar waar mogelijk zal naar synergie gezocht worden: de maatregelen staan niet op zichzelf, maar zullen vorm moeten krijgen in samenhang met andere transities zoals op het gebied van energie, scheepvaart, industrie, visserij en ruimtelijke ontwikkelingen, waaronder woningbouw, ecologie en recreatie.

Op het hoogste niveau zijn drie oplossingsscenario's denkbaar, die Deltares heeft benoemd:

	Scenario	Benaming scenario Deltares
1	Kust en rivierdijken versterken	Beschermen open
2	Kust versterken en riviermondingen afsluiten met sluizen	Beschermen gesloten
3	Een tweede kustlijn met eventueel achterliggende bekkens waarin de rivieren uitstromen	Zeewaartse oplossing

Uit een voorlopig vergelijk komt naar voren dat van de voorgestelde plannen een tweede kustlijn het meest lijkt te voldoen aan de eisen die hoogwaterbescherming, zoetwatervoorziening, landbouw, ecologie, demografie en economie stellen.

Binnen het concept van een tweede kustlijn wordt met name de variant verkend waarbij bekkens worden gerealiseerd achter een in zee aan te leggen nieuwe zeewering. De bekkens, met een blijvend peil van ca. 0 m NAP, dienen hierbij als buffer voor hoge rivierafvoeren waardoor zogeheten *passieve veiligheid* ontstaat d.w.z. minder afhankelijkheid van de goede werking van een (op zich onontkoombaar) stelsel van pompen, energievoorziening en (computer)besturing. 'De Haakse Zeedijk' voldoet aan het criterium van tweede kustlijn met achterliggende bekkens, is integraal, flexibel in uitvoering (uitbreidbaar langs de gehele Noordwest-Europese kust) en gefaseerd en adaptief realiseerbaar en wordt daarom nader uitgewerkt.

Aanbevolen wordt de zeewaartse oplossing grondig nader vergelijkend te onderzoeken en na te gaan in hoeverre andere voorgestelde plannen hierin zijn te integreren. Bij gebleken geschiktheid is het raadzaam de eindvisie met bijbehorende fasering als voorkeursscenario op te nemen in de Nederlandse wetgeving en te hanteren bij beslissingen voor de korte en middellange termijn. Dit om desinvesteringen in het hoofdwatersysteem en de ruimtelijke ontwikkelingen te voorkomen.

Vooruitlopend op de uitkomst van het nader onderzoek naar een tweede kustlijn wordt op uitvoeringsniveau als eerste voorgesteld de Nieuwe Waterweg af te sluiten met zeesluizen en de Zeeuwse wateren te verzoeten. Dit verzekert de nu reeds onder druk staande zoetwatervoorziening van Nederland. Gefaseerd volgt daarna de aanleg van bekkens voor de kusten. Hoewel de minimale uitvoeringstijd ca. 50 jaar bedraagt zal de werkelijke doorlooptijd mogelijk 75 tot 100 jaar zijn, afhankelijk van de werkelijke zeespiegelstijging. De investering is begroot op 91 miljard euro, wat met een jaarlijkse uitgave van 1,1 tot 1,5 miljard euro goed aansluit bij de kosten van het lopende Deltaprogramma.

Tenslotte wordt het belang aangegeven van enkele randvoorwaarden om tot realisatie van het project te komen, waaronder organisatie en draagvlak.

Een tweede kustlijn, met name 'de Haakse Zeedijk', is ingebracht als oplossing in het Kennisprogramma Zeespiegelstijging dat als onderdeel van het Deltaprogramma bouwstenen inventariseert en inspiratie opdoet voor de ontwikkeling van lange termijn opties voor de wateropgaven.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Historisch kader	8
2	Klimaatverandering	10
2.1	Reduceren emissies pure noodzaak	10
2.2	Zeespiegelstijging	11
2.3	Toename weersextremen	12
2.4	Gevolgen klimaatverandering	12
3	Omgevingsverkenning	13
3.1	Zoetwatervoorziening	13
3.1.1	Mondiaal	13
3.1.2	Zoet water in Nederland	13
3.1.3	Meer zoet water vasthouden	17
3.2	Rivieren	18
3.2.1	Berging is noodzakelijk	19
3.3	Kust	21
3.3.1	Kustaanwas en sedimenthuishouding	21
3.3.2	Houdbaarheid zandsuppletie	24
3.3.3	Waddenzee	25
3.4	Ecologie	26
3.4.1	Hoe zit het met Nederland?	26
3.5	Ruimtelijke inrichting	30
3.5.1	Ruimte, een schaars middel	30
3.5.2	Masterplan Klimaatbestendigheid	31
3.6	Havens en economie	32
3.7	Ruimtelijke ordening Noordzee	33
3.8	Agrarische sector	33
3.9	Energietransitie	34
4	Probleemstelling en oplossingsrichting	35
4.1	Probleemstelling	35
4.2	Oplossingsrichting	37
5	Visie op een klimaatbestendig Nederland en Europa	38
5.1	Uitgangspunten voor een nieuwe infrastructuur	38
5.2	Visie klimaatbestendig Nederland en Europa	41
6	Plannen	44

6.1	Inleiding	44
6.2	Voorgestelde plannen	45
6.2.1	Meebewegen	45
6.2.2	Beschermen open	46
6.2.3	Beschermen gesloten	47
6.2.4	Zeewaarts	48
6.3	Analyse en weging	49
6.3.1	Overzicht	49
6.3.2	Toelichting bij plannenvergelijk	50
6.3.3	Voorlopige conclusies	56
7	Een tweede kustlijn	57
7.1	Inleiding	57
7.2	Waarom een tweede kustlijn	57
7.2.1	Achtergrond en filosofie	57
7.2.2	Meegroeistrategie	64
7.3	Hoofdplan	65
7.3.1	Technisch concept	66
7.3.2	Terugdringen verzilting en zoetwaterhuishouding	72
7.3.3	Energieopslag in valmeren (optie)	73
7.3.4	Overige functies	74
7.3.5	Gefaseerde aanleg	76
8	Aanbevelingen, conclusies en randvoorwaarden	78
8.1	Aanbevelingen en conclusies	78
8.2	Randvoorwaarden	80
8.2.1	Sturing en organisatie	80
8.2.2	Draagvlak in de samenleving	81
9	Dankzegging en bibliografie	82
10	Bijlage: Uitwerking De Haakse en Europese Zeedijk	84
10.1	Inleiding	84
10.2	Dijken, bekkens en sluizen	84
10.2.1	Tweede kustlijn	84
10.2.2	Bekkens	87
10.2.3	Fasering en grootte pompcapaciteit	90
10.2.4	Optie: tweede nationale luchthaven	91
10.2.5	Duurzame energie	92
10.2.6	Kostenbegroting	95

1 Inleiding

Nederland leeft met het water en van het water. De verbinding via de zee met andere continenten en via de rivieren met het achterland is door de eeuwen heen van cruciaal belang geweest voor onze welvaart. Ook onze land- en tuinbouw floreert dankzij vruchtbare kleiafzetting door zee en rivieren en de aanwezigheid van zoet water.

We kunnen niet zonder water en niet met een teveel aan water.

Beide dreigen te gaan gebeuren door klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging.

Uitstoot van broeikasgassen verandert het klimaat en veroorzaakt een versnelde zeespiegelstijging en weersextremen. Het IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) doet onderzoek naar de snelheid van de te verwachten zeespiegelstijging. Duidelijk is dat Nederland voor een groot deel overstroomt als binnen enkele decennia geen beschermende maatregelen tegen zeespiegelstijging genomen worden. Het ligt niet in de aard van de mens om het land te laten overstromen en een veilig heenkomen te zoeken. Het zou voor Nederland vanuit economisch opzicht ook niet verstandig zijn het geïnvesteerd vermogen dat ons een aanzienlijke verdien capaciteit verschaft aan de golven prijs te geven.

Dit rapport inventariseert op hoofdlijnen welke oplossingen zijn voorgesteld voor de wateropgaven waarvoor Noordwest-Europa en in het bijzonder Nederland in de komende eeuwen komen te staan. Het rapport analyseert de oplossingen en maakt een globale afweging, waarbij waterveiligheid en zoetwatervoorziening de hoofddoelen zijn.

Uit die afweging en een ontwikkelde visie komt een tweede kustlijn naar voren als een mogelijk haalbare, integrale, faseerbare oplossing voor de middellange en lange termijn. Het rapport bespreekt de oplossing 'De Haakse Zeedijk' als invulling van dit concept.

Figuur 1.1 geeft het speelveld aan waarin 'water' zich bevindt. Het rode deel vormt de kern van dit rapport. Het blauwe deel, de omgevingsproblematiek en de verschillende raakvlakken, wordt behandeld in hoofdstuk 3: Omgevingsverkenning.



Figuur 1.1
Speelveld waarin de wateropgaven zich bevinden. Bron: Deltaprogramma

1.1 Historisch kader

In het begin van de jaartelling lag laag Nederland, 'het Land van de Friezen', boven de zeespiegel. Men woonde in de uitgestrekte veengebieden op donken en terpen.

"Omstreeks 800 had het huidige Nederland nog een vrijwel aaneengesloten kust, met alleen in het zuidwesten enkele zeearmen die over een afstand van enige tientallen kilometers het land binnendrongen. De Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden bestonden nog niet, en hetzelfde gold voor de Waddenzee." **Bron:** Twee eeuwen Rijkswaterstaat (Bosch, et al., 1998).

De Delta in Wording **Bron:** *De Delta in Wording* (Nijs, 2008) geeft een duidelijk en geïllustreerd overzicht van de ontwikkelingen door de eeuwen heen.



Figuur 1.2 'Belgii Veteris' (1617) van geograaf Abraham Otellii: een reconstructie van de Lage Landen

De bodem daalde door eeuwenlange veenwinning, ontwatering, inklinking en oxidatie. Kustafslag en militaire inundaties maakten Nederland nog kwetsbaarder voor de zee en voor verzilting. Onze geschiedenis kenmerkt zich door een aanhoudende reeks van watersnoodrampen, waarbij de meeste dijken bezweken door verweking als gevolg van ongewoon langdurige hoge waterstand bij stormopzet **Bron:** *Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen*, (Buisman, 1998 - 2019).

In het zuidwesten werden laag omdijkte moerpoldertjes vergraven voor veen en de voorlanden voor zoutwinning. Deze gebieden werden na exploitatie aan de zee prijsgegeven. In de middeleeuwen werden in dit waddengebied de opgewassen platen omdijkt tot aangroeiende eilandpolders **Bron: Polders in kaart, (Ham, et al., 2018).**

Nadat in het noorden van Nederland kwelders, moerassen en veen eveneens in wadden waren veranderd, ontstond vanaf de late middeleeuwen een enorm zeegat: de Zuiderzee. Windgolven zorgden voor sterke erosie van de oeverlanden van de Hollandse veenplassen en rond 1300 drongen drie zeegaten Noord-Holland binnen. De mens bleek vrij machteloos tegen het water. De zee had de kustlijn met honderden kilometers verlengd en vormde de grootste bedreiging voor Nederland en Vlaanderen.



Figuur 1.3 Cartografische weergave van het idee van Hendric Stevin uit 1667. Beeld: Rijkswaterstaat

Jan Adriaenszoon Leeghwater maalde begin 17^e eeuw de ontstane Noord-Hollandse meren leeg en twee eeuwen later volgde het Haarlemmermeer.

Maximaal kon de kustlijn 1000 km worden terug gebracht tot zo'n 450 km.

Hendric Stevin maakte in de 17^e eeuw al plannen om de Waddenzee te omdijken, maar het zou tot eind 19^e eeuw duren voordat men hiervoor de technische capaciteit had.

Dankzij Cornelis Lely en Johan van Veen, werd de kustlijn in de 20^e eeuw eindelijk verkort met de Zuiderzeewerken en de Deltawerken. Dit redde Nederland van de ondergang **Bron: Waterwolven, (Rooijendijk, 2009).**

Na deze grote stappen in waterveiligheid is essentiële kennis bij Rijkswaterstaat en kennisinstituten grotendeels verdwenen door het uitblijven van vraag ernaar. Er volgden verbetering van doorstroming in het kader van Ruimte voor de Rivier, dijkverbetering en zandsuppleties. Heersende trends in natuurbeheer en lokale wensen gingen meer en meer de richting van waterbeheer bepalen. Klimaatverandering en in het bijzonder zeespiegelstijging hebben de laatste jaren tot het inzicht geleid dat de bescherming van Nederland tegen hoog water primair sturend moet zijn. Bij het zoeken naar oplossingen is het goed te leren van het verleden, niet alleen van de fouten, maar vooral van de oplossingen die tot goede resultaten hebben geleid. Je moet het verleden kennen om het heden te kunnen begrijpen.

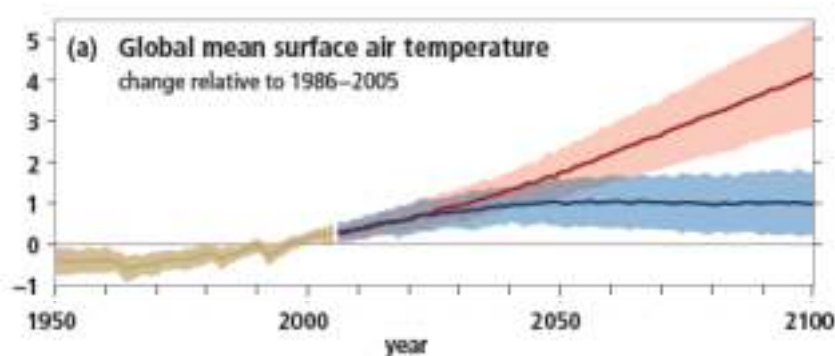
De strijd tegen het water, om onder meer de bevolking, infrastructuur, kapitaal en culturele waarden te beschermen, vergt een overkoepelende visie voor heel Nederland.

2 Klimaatverandering

2.1 Reduceren emissies pure noodzaak

De temperatuur op aarde stijgt onmiskenbaar. Vanaf de pre-industrialisatie (1850...1900) is de gemiddelde temperatuur met 1,1 graad gestegen. Dat lijkt misschien niet veel, maar zonder drastische maatregelen stevenen we af op meer dan 3 graden opwarming **Bron: Zes graden (Six Degrees)**, (Lynas, 2020) eind deze eeuw en hoger in de 22^e eeuw. Een dergelijk hoge temperatuur is op aarde sinds 30 miljoen jaar niet voorgekomen. Bij die temperatuur smelten op een termijn van ongeveer 1000 jaar de resterende gletsjers en ijskappen op aarde volledig af, waarbij de zeespiegel in dat geval 70 m stijgt.

Het IPCC waarschuwt voor deze aanzienlijke temperatuurstijging **Bron: SSROC final report**, (IPPC, 2019). Op de klimaatop van Parijs zijn vrijwel alle landen van de wereld met elkaar overeengekomen om de temperatuur niet verder te laten stijgen dan 1,5 graad ten opzichte van pre-industrialisatie (figuur 2.1). Wetenschappers en politici zijn het er zo goed als unaniem over eens dat uitstoot van broeikasgassen, met name CO₂, de grote veroorzaker is van temperatuurstijging.



Figuur 2.1
Werkelijke en verwachte temperatuurstijging bij scenario's: zonder maatregelen (RCP 8.5, rood) en gewenste maatregelen (RCP2.6, blauw)
Bron: (IPPC, 2019)

Om tot beperking van de temperatuurstijging te komen zijn strakke maatregelen nodig die leiden tot een zo goed als volledige reductie van de emissie van broeikasgassen. Het is echter zeer de vraag of de CO₂-doelstellingen gehaald gaan worden. Binnen de EU en de meeste EU landen zijn de reductieafspraken in klimaatakkoorden en wetten vastgelegd. Voor de EU en Nederland zijn deze als volgt:

Reductie emissie broeikasgassen	2030	2050
EU (t.o.v. 1990)	-40%	-80%
EU (herzien voorstel)	-55%	-100%
Nederland (t.o.v. 1995)	-49%	-95%

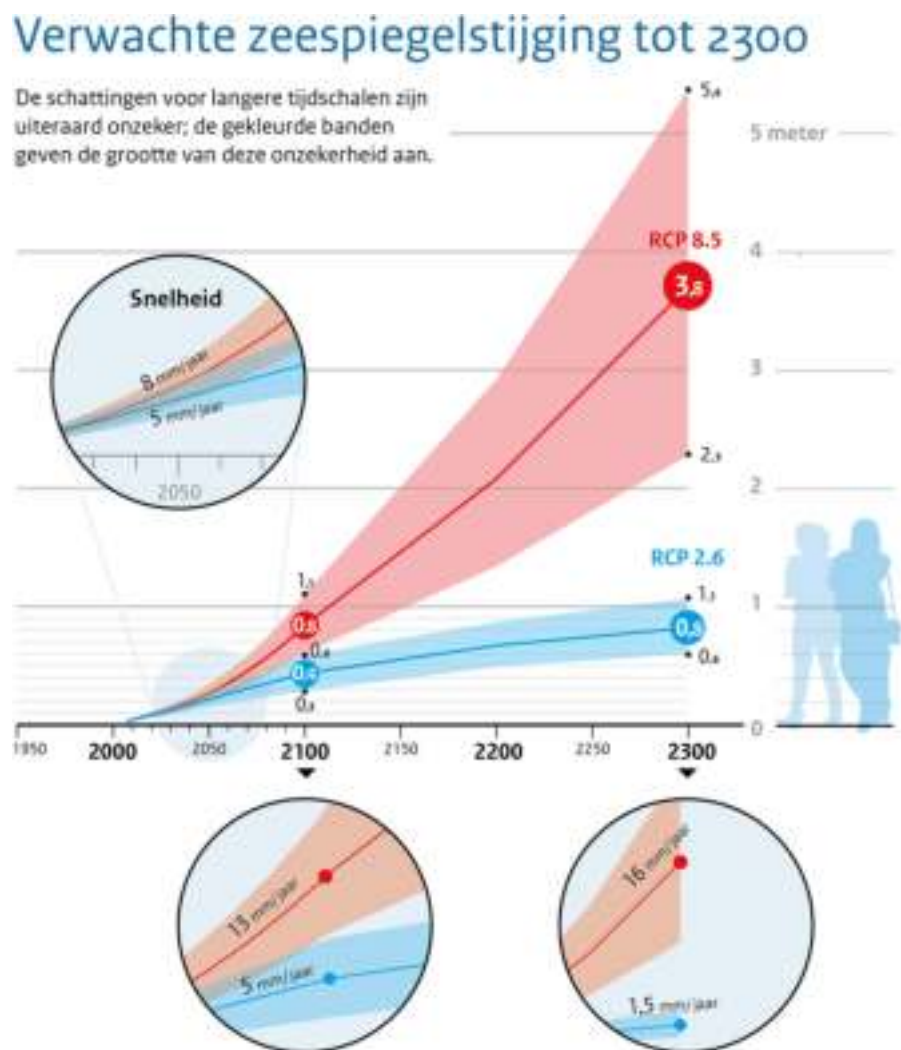
Tijdens de klimaatop van 2018 in Madrid waren landen niet bereid te garanderen dat de afgesproken nationale reducties gehaald zouden worden. Ook in Nederland ziet het er niet naar uit dat het doel van 2030 (-49% CO₂, mogelijk bij te stellen naar -55%) haalbaar is, zo blijkt uit talloze recente artikelen en publicaties, o.a. **Bron: Zeespiegelstijging, paniek leidt tot niets**, (H₂O, 2020). Het blijkt een bijna onmogelijke krachtsinspanning te vragen van zeer veel landen, in en buiten Europa, om uitstoot van broeikasgassen tot de afgesproken waarden terug te brengen. Gevolg is een hogere temperatuur op aarde en een snellere zeespiegelstijging.

2.2 Zeespiegelstijging

We leven momenteel in een interglaciaal, een relatief warme periode tussen twee ijstijden. Tijdens de laatste ijstijd, die duurde van ongeveer 100.000 tot 20.000 jaar geleden, was de gemiddelde temperatuur op aarde 6 graden lager en lag de zeespiegel 120 m lager dan nu. Aan het eind van de laatste ijstijd steeg de zeespiegel met 20 m per graad temperatuurverhoging, zij het met een vertraging van enkele duizenden jaren door de grote massa van het smeltend ijs en het opwarmend oceaanaanwater. De uiterste temperatuurverhogingen waar IPCC mee rekent (1,5 en 4 graden, figuur 2.1) leiden dus op termijn tot onhoudbare zeespiegelstijgingen van respectievelijk 30 m en 80 m! Dankzij de traagheid van het ijs- en watersysteem stijgt de zee veel langzamer dan de luchttemperatuur.

Het is van belang te realiseren dat de streefwaarde van 1,5 graad temperatuurverhoging leidt tot een langzamere zeespiegelstijging dan bij de 4 graden waar we op af stevenen als niet snel ingrijpende maatregelen genomen worden. De huidige verhoging van temperatuur van 1,1 graad komt overeen met 22 m zeespiegelstijging op termijn.

IPCC rekent, met nog veel onzekerheden, met stijgingen in 2300: maximaal 5,4 m bij weinig of geen maatregelen (RCP8.5) en 1,1 m bij ingrijpende maatregelen (RCP2.6), zie figuur 2.2.



Figuur 2.2

Verwachte zeespiegelstijging. Het IPCC houdt nog veel onzekerheid aan in uitspraken omtrent de verwachte zeespiegelstijging in de komende eeuwen.

2.3 Toename weersextremen

Temperatuurverhoging op aarde veroorzaakt naast de langzame stijging van de zeespiegel een veel snellere, zelfs directe, verandering in het neerslagpatroon. Nu reeds hebben we te maken met langere en heftigere perioden van regen, afgewisseld door langere perioden van droogte. Als de huidige temperatuurverhoging van 1,1 graad in deze eeuw doorstijgt naar 1,5 graad en zeker naar 4 graden nemen de weersextremen nog aanzienlijk toe.

2.4 Gevolgen klimaatverandering

Eén graad temperatuurverhoging leidt tot 20 m zeespiegelstijging op lange termijn. Zeespiegelstijging zou alleen te voorkomen zijn als de temperatuur niet verder stijgt of wordt gereduceerd. Temperatuurstabilisatie of -reductie op aarde binnen enkele decennia is realistisch niet haalbaar. Een absolute zeespiegelstijging van tientallen meters is op termijn dan ook onvermijdelijk. De enige 'ontsnappingsroute' zou zijn om het tempo waarin de zeespiegelstijging wordt bereikt te vertragen om daarmee tijd te winnen voor de ontwikkeling van broeikasgasreducerende maatregelen of wellicht te wachten tot de volgende ijstijd zich aandient. Vertragen van de zeespiegelstijging kan als alle landen er gezamenlijk in slagen de temperatuurverhoging deze eeuw te beperken tot 1,5 à 2 graden. Dat is dan ook de inzet van het IPCC. Maar, gezien de economische, demografische en politieke omstandigheden in een groot deel van de wereld, is het onwaarschijnlijk dat dit op tijd gaat lukken.

Daarom moet deze eeuw rekening gehouden worden met een temperatuurverhoging van meer dan 1,5 à 2 graden, mogelijk met meer dan 4 graden. Dat leidt tot een zeespiegelstijging in de orde van 1 m deze eeuw tot meerdere meters in de eeuwen daarna, tot meer droogte en natheid en tot grotere fluctuaties in rivierafvoeren.

3 Omgevingsverkenning

3.1 Zoetwatervoorziening

3.1.1 Mondiaal

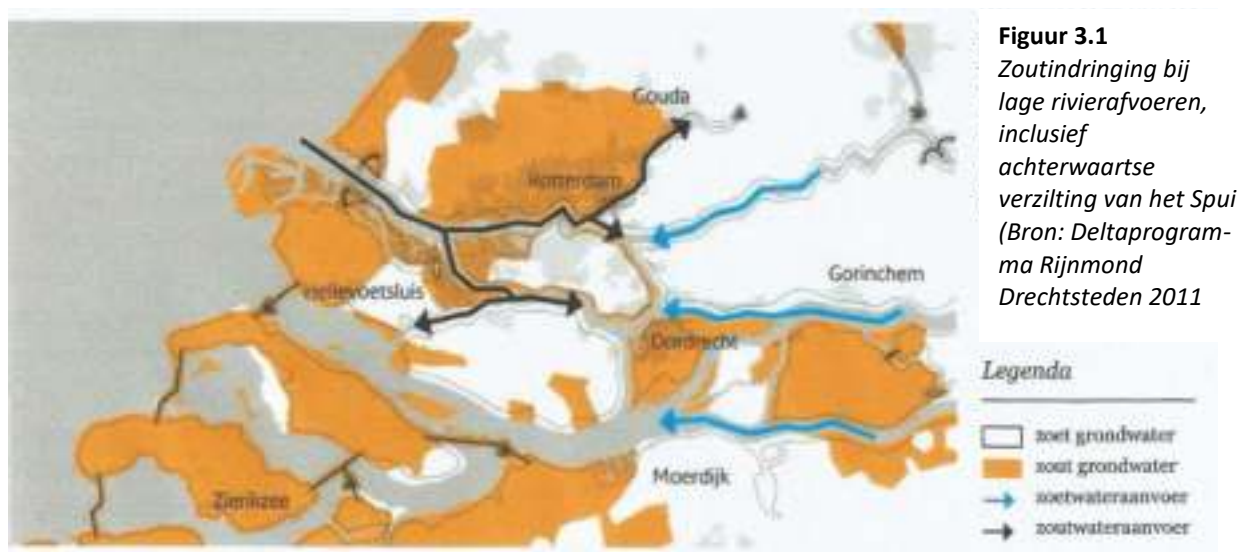
“Water. Het is een simpele chemische verbinding: twee waterstofatomen en één zuurstofatoom. Simpel, maar voor ons dagelijks leven van levensbelang, in velerlei opzichten. De aarde is rijk aan water, maar 97 procent is zouthoudend. 2 procent is zoet, maar ligt opgeslagen in sneeuw en ijs, minder dan 1 procent is voor de mens beschikbaar. Dat ene procent is ongelijk over de aarde verspreid en een gedeelte ervan is door slechte hygiënische omstandigheden een bedreiging voor de volksgezondheid. De verwachting is bovendien dat water in de komende decennia voor veel mensen nog kostbaarder wordt. In 2025 wonen 1,8 miljard mensen in gebieden waar waterschaarste heerst.” (citaat Aart Aarsbergen, National Geographic, 2010).

Het zoete oppervlaktewater, het water in rivieren en meren, is minder dan een tienduizendste van al het water op aarde en is wezenlijk voor het voortbestaan van mens en natuur. Het mismanagement in de vorm van verspilling en vervuiling is groot. Met dit intensief gebruikte en misbruikte milieu, dient de mens uiterst zorgvuldig om te gaan, aangezien daar veel leven en welvaart van afhankelijk is. Watersnoden leiden doorgaans tot samenwerking, terwijl zoetwatertekorten in deze eeuw de belangrijkste oorzaak zal zijn van militaire conflicten en humanitaire rampen.

Zoetwatervoorziening is een mondiaal probleem waar gemeenschappelijke afspraken over gemaakt moeten worden om verspilling te begrenzen en het water eerlijker te verdelen. Een samenleving in de letterlijke zin van het woord: ‘Think globally, act locally.’

3.1.2 Zoet water in Nederland

Waterhuishouding dient wateroverlast te voorkomen en tekorten aan zoet water naar behoefte aan te vullen. Daarbij dient de kwaliteit geborgd te zijn door het voorkomen van verontreiniging en verzilting.



Zoetwaterschaarste in Nederland, het mondingsgebied van de grote rivieren, kan dat? De gegraven Nieuwe Waterweg en de eerder gerealiseerde Nieuwe Merwede vroegen tezamen om teveel aanvoer van zoet water. Intussen is het Haringvliet afgesloten en worden de Haringvlietsluizen als regelkraan gebruikt om bij hoge afvoeren te spuien en om in de overige tijd zoet water naar het noorden te leiden om bij de Nieuwe Waterweg de verzilting tegen te gaan. Zoet water waarover in droge tijden niet kan worden beschikt.

Dit beleid houdt de landelijke zoetwatervoorziening in een wurggreep. Aangezien het profiel van de Nieuwe Waterweg door verdieping en verbreding fors is toegenomen, is er bij afname van de minimum rivierafvoeren naar zo'n 700 à 500 m³/s tijdelijk te weinig water om voldoende tegendruk te creëren voor veiligstelling van de zoetwaterinlaten en om achterwaartse verzilting van het Haringvliet te voorkomen (zie figuur 3.1).

De sluizen van het Haringvliet worden zodanig bediend dat de Nieuwe Waterweg zolang mogelijk 1500 m³/s kan afvoeren. Nederland loost dus oneindig veel zoet water ongebruikt in zee. Een doodlopend beleid. Momenteel verzilt Nederland met een tempo van zo'n 10.000 ha per jaar en verslechtert het vestigingsklimaat. Meer informatie is te vinden in **Bron:** Verzilting in voormalig zoet laag Nederland, (Diest, 2013) en De herijking van de landelijke waterverdeling, (B&H, 2009)



Figuur 3.2 Zoet oppervlaktewater. Foto: Cor Huijgens

Bij de hogere gronden werd de waterstaatkundige toestand pas gewijzigd bij de aanleg van kanalen en de oprichting van waterschappen in navolging van de lage delen van Nederland. Dit laatste met het doel om in de vaak te natte gebieden het overtollig water zo snel mogelijk weg te laten vloeien. De balans van de landelijke zoetwaterhuishouding vertoont daardoor een toenemend tekort. Er wordt meer opgepompt dan door neerslag aangevuld. Door de toenemende droogte wordt er de laatste decennia steeds meer grondwater onttrokken.

Het gevolg, waterschaarste, is grotendeels op te lossen door water in de winter vast te houden (retentie) om in de zomer aan te spreken. Mocht dit niet voldoende zijn, dan valt te overwegen om via persleidingen water vanuit het lagere deel van Nederland, het IJsselmeer of vanuit de rivieren aan te voeren naar hoge delen zoals de Veluwe, in plaats van de grondwatervoorraad aan te spreken. Retentie en aanvoer zijn ingrepen die geld kosten, maar onontkoombaar zijn nu de intensiteit en duur van droogteperioden voortdurend toenemen.

Door fusering zijn er van de 2500 waterschappen die Nederland in 1950 telde nog slechts 27 over en zorgt de Unie van Waterschappen voor samenhang. Na de 'Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren' van 1970 verbeterde de kwaliteit van het water sterk door de toegevoegde zuiveringstaak van de waterschappen. Oppervlaktewater wordt dan ook steeds meer geschikt voor zoetwatervoorziening, waarbij het milieu aanzienlijk verbetert. Toch voldoet in Nederland slechts 1 % van de rivieren en meren aan de eisen voor een goede ecologische toestand, zoals die zijn gesteld in de Kaderrichtlijn Water (KRW). Dat blijkt uit het rapport 'State of Water' dat het Europese milieuagentschap in 2018 publiceerde **Bron:** *State of water*, ((EAA), 2018).



Figuur 3.3 Het toekomstig Zeeuwse meer (visie 1962)

"In de Volkerakdam zal in de komende jaren nog een inlaatsluis worden gebouwd. Wanneer de grote voorjaarsafvoer ons land passeert, wordt deze in de toekomst geopend en het zuidelijk zoetwaterbekken achter de nieuwe Deltadammen tot een zodanig peil gevuld, dat uit dit spaarbekken in de zomer het verziltende gebied van de Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden naar behoefte kan tappen."

Afbeelding en tekst uit 'Nederland Deltaland', ing. W. Metzelaar, 1962.

Water kent geen landsgrenzen. In het vorige hoofdstuk (2.4) werd de invloed van klimaatverandering op hoge en lage rivierafvoeren beschreven. Maar er is meer: ook de mens beïnvloedt direct de rivierafvoeren. Zo is er sprake van ontbossing van de hellingen in de stroomgebieden, verstedelijking, verharding van grote oppervlaktes en versnelde hemelwaterafvoer. Veel regenwater wordt niet meer vastgehouden, maar onmiddellijk afgevoerd.

Het riviergedrag is zo onvoorspelbaar als het weer. Er dient steeds meer rekening te worden gehouden met grillige afvoeren, zowel extreem hoog als extreem laag, gepaard met hevige neerslag en lange periodes van droogte en hitte.

In tijden van zoetwaterschaarste is Nederland naast de eigen voorraden afhankelijk van de stuwmere in de Alpen. Het is van belang onze reserves aan te vullen met te verzoeten bekkens in het zuidwesten van Nederland en (deels) af te dammen zeegaten. De opvattingen dat in het verziltende Zeeland zoetwaterbekkens moeten worden opgegeven voor zoute natuur en rond het IJsselmeer dijken moeten worden verhoogd voor opslag van zoet water staan sterk onder druk. Terwijl bij de zwakke veendijken van het IJsselmeer verhoging van het waterpeil slechts met enkele decimeters lukt, kan dit beduidend meer tussen de hoge kleidijken van de voormalige zeegaten in het zuidwesten. Nederland mag in droge tijden niet afhankelijk worden van de beperkte capaciteit van het IJsselmeer. Bij zeespiegelstijging wordt de verziltingsdruk zo hoog, dat er een verzoetingbeleid ingezet zal moeten worden.

Niet alleen voor de zoetwatervoorraad en het tegengaan van verzilting, maar ook voor de noodberging van zoet water bij hoge rivierafvoeren is de capaciteit van het zuidwesten broodnodig. Deze capaciteit kan later met een bekken in zee verder worden uitgebreid.

Ir. Wil Lases, die over verzilting van Zeeland en Zuid-Holland publiceert, benadrukt: *“Het was de bedoeling van het Deltaplan om het Grevelingenmeer en de Oosterschelde te verzoeten. Dat is tot op heden niet gebeurd. Beide wateren zijn nu volledig afgesneden van de aanvoer van zoet rivierwater en zijn zouter dan ooit.”*



Figuur 3.4 Van het principe van het Deltaplan werd voor, tijdens en na de Deltawerken afgeweken.
Beeld: Adviesgroep Borm & Huijgens

Een van de doelen van het Deltaplan was

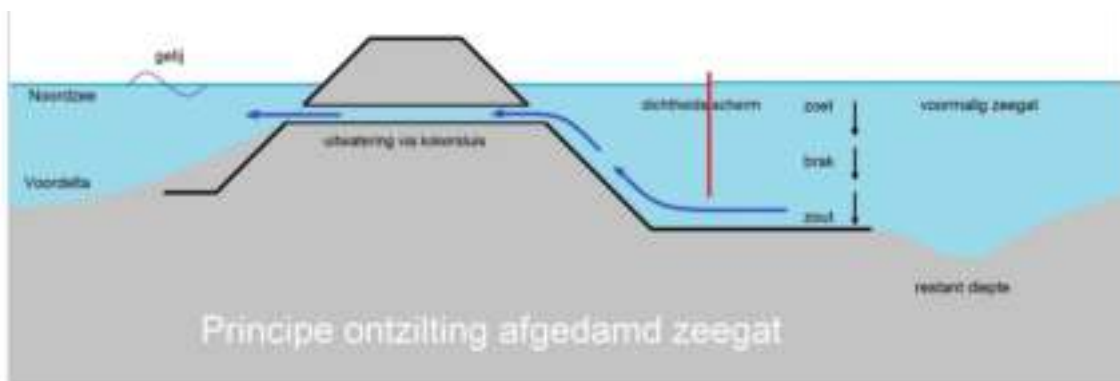
“Door kustverkorting betere aanpassingsmogelijkheden met betrekking tot op de lange termijn te verwachten rijzing van de zeespiegel en de verdere daling van de bodem.”

3.1.3 Meer zoet water vasthouden

De Zuiderzeewerken en Deltawerken beoogden beveiliging tegen hoog water en bestrijding van verzilting. Doelen die in toenemende mate worden nagestreefd. Zoetwatertekort wordt een groter probleem dan wateroverlast. Nederland moet meer water vasthouden.

“Om Nederland beter weerbaar te maken tegen droogte zullen we een omslag moeten maken naar een watersysteem dat op alle niveaus veel beter in staat zal zijn om water vast te houden.”, aldus minister van Nieuwenhuizen.

Met opeenvolgende droge zomers neemt de beschikbaarheid van zoet water sterk af. Ondanks de overvloedige aanvoer heeft Nederland duidelijk problemen om het zoete water vast te houden, te bergen en het grondwater aan te vullen. Nederland heeft twee gebieden voor grootschalige zoetwateropslag: het IJsselmeer en de Zuidwestelijke Delta. Het IJsselmeer wordt als zodanig al ingezet en met het recent in werking getreden peilbesluit is het maximum aan opslagmogelijkheden daar inmiddels bereikt. Als eerstvolgende mogelijkheid komt verzoeting van de Grevelingen in aanmerking, gevolgd door de Oosterschelde.



Figuur 3.5 Het ontzilten van een zout meer aan zee met behulp van een hevelconstructie met kokersluis en het getij op zee. Ontwerp ir. W. Lases

Op natuurlijke wijze wordt het zwaardere zoute water dat op de bodem ligt, tijdens de laagwaterperiode op zee, selectief onttrokken en naar zee afgevoerd, zonder aanvullende energiekosten (zie figuur 3.5). Een meer kan zo in een beperkt aantal maanden ontzilt worden.

Bij de indeling naar de vier adaptatie strategieën die Deltares in zijn rapport **Bron: Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging**, (Haasnoot, 2019) weergeeft is er, behalve bij de strategie waarbij we laag Nederland ontvolken, sprake van verzoeting van de oude zeegaten. De verzoeting van Zeeuwse wateren wordt in toenemende mate ter sprake gebracht. Rijkswaterstaat is waterkwaliteitsbeheerder en het Deltaprogramma gaat over waterveiligheid en zoetwatervoorziening. Afstemming tussen beiden is van belang.

Voor de hogere gronden ligt het problematischer bij toenemende droogteperiodes. Naast het optimaal vasthouden van oppervlaktewater, het beperken van oppompen van grondwater en dit aanvullen door inzijging, valt te bezien in hoeverre vanuit rivieren, aangevuld met persleidingen, aanvoer nodig is.

3.2 Rivieren

Rivieren zijn de grote levensaders van het landschap. Een rivier transporteert hemelwater, smeltwater en kwelwater uit haar stroomgebied naar zee en voert daarbij erosiemateriaal mee, dat langs oevers en op de bodem wordt afgezet.

Voor Nederland brachten ze handel en welvaart. Door bochtafsnijdingen verkortten we de rivierlengtes, om bevaarbaarheid te garanderen gaven we met kribben een passende breedte aan het zomerbed en om het verschil in stroomsnelheden te beperken streefden we naar een constant verhang. Geringe afvoeren in de zomer bedreigden de bevaarbaarheid, zodat de rivieren in panden werden verdeeld door stuwen met ernaast gelegen schutsluizen. Bij elke ingreep moet een rivier in zijn geheel worden gezien, vanwege de gevolgen boven- en benedenstrooms. Integraal waterbouwkundig en waterloopkundig onderzoek speelt daarbij een belangrijke rol **Bron: Nederland Deltaland, (Metzelaar, 1962).**

De Waal/Rijn is dankzij zijn geleidelijk verval over een lengte van 1000 km en zijn gemengd karakter goed bevaarbaar voor binnenvaartschepen. De goede bevaarbaarheid staat echter onder druk vanuit twee kanten:

1. De maxima van hoge en lage afvoeren worden extremer onder invloed van klimaatverandering, maar ook door direct menselijk ingrijpen in het stroomgebied zoals ontbossing en toename van harde infrastructuur, waardoor water minder lang wordt vastgehouden. Het

gemiddelde jaarlijkse aanbod van zoet water, door regenval en smeltwater, verandert vrijwel niet. Het is de verdeling over het jaar, die tot grotere extremen leidt. Direct menselijk ingrijpen is al eeuwen gaande en zal naar verwachting, ondanks goede initiatieven tot herbebossing en lokale opslag van regenwater, in zekere mate altijd doorgaan. In deze eeuw wordt een toename in hoge en lage waterafvoer van

Rijn en Maas verwacht van + 50% en – 25%. **Bron: Samen werken met water, (Veerman, 2008).** Het is onzeker in hoeverre klimaatverandering na 2100 voor een verdere toename van de rivierextremen zorgt.



Figuur 3.6 Zowel maximale als minimale afvoeren van Rijn en Maas worden extremer. *Bron: 2^e deltacommissie*

2. Met een doorgaande zeespiegelstijging wordt de vrije en vlote uitstroom van de rivieren in zee verstoord. Zonder ingrepen zou het peil in een groot deel van de benedenstroomse rivieren stijgen wat de doorstroming belemmert. De rivier zou buiten haar oevers treden, verzanden en onbevaarbaar worden.

Behalve voor handel en welvaart zijn de grote rivieren ook verantwoordelijk voor de aanvoer van zoet water. Op tal van inlaatpunten wordt zoet water uit de rivieren betrokken voor industrie, landbouw en drinkwater.

Daarnaast hebben rivieren een functie in het ecosysteem. Trekvisen zwemmen vanuit de Noordzee de rivier op om bovenstrooms te paaien. Hiervoor is het faciliteren van een permanente doorstroming met geleidelijke overgang van zoet naar zout noodzakelijk.

3.2.1 Berging is noodzakelijk

In tijden van hoge rivieraanvoer moet het water ergens heen. Het project Ruimte voor de Rivier heeft ervoor gezorgd dat het rivierwater deels langs de rivier wordt geborgen en grotendeels kan doorstromen richting zee. Echter, in geval van stormopzet, dat 40 uur kan aanhouden, kan er niet op zee geloosd worden en moet het rivierwater dat naar zee stroomt tijdelijk dicht bij zee geborgen kunnen worden. Met de verwachte toekomstige piekafvoeren door de grote rivieren is niet alleen de huidige bergingscapaciteit veruit ontoereikend, maar zelfs met de inzet van alle beschikbare deltawateren onvoldoende, aangezien het waterniveau dan in theorie nog kan stijgen tot een gevaarlijke hoogte van +5,2 m NAP.

Een 'standaard' hoogwatergolf vanuit de Rijn duurt 16 dagen:

3 dagen meer dan 10.000 m³/s

6 dagen meer dan 16.000 m³/s

4 dagen meer dan 18.000 m³/s

3 dagen meer dan 19.000 m³/s

Als gedurende deze hoogwatergolf niet op zee geloosd kan worden vanwege storm en hoog water dan geeft dit in een berging van 600 km² (oppervlak van de Zuidwestelijke Delta) een ontoelaatbare peilverhoging van 5.22 m.

Het bekkenpeil mag nooit boven +2.50 NAP uitkomen.

Dergelijke berekeningen geven aan hoe belangrijk voldoende bekkencapaciteit is.

In de huidige situatie komen gelijktijdig zeer hoge rivieraanvoer en storm op zee weinig voor en is de kans op overstroming als gevolg van ophoping van rivierwater klein. De doorgaande zeespiegelstijging zorgt er echter voor dat een relatief milde storm op zee al genoeg kan zijn om te verhinderen dat het rivierwater vrij kan afstromen. Bij 1 meter zeespiegelstijging stijgt de sluitingsfrequentie van de stormvloedkeringen in de Oosterschelde en Nieuwe Waterweg met een factor 30. **Bron:** *Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma*, (Haasnoot, 2018). Dit verhoogt de kans op overstroming en maakt ruimte voor extra waterberging noodzakelijk.

Op basis van het Deltares rapport uit 2018 moet rekening worden gehouden met een zeespiegelstijging van 2-3 meter (worst case scenario) aan het eind van deze eeuw. Rivierafvoeren die steeds extremer worden kunnen dan minder of zelfs helemaal niet geloosd worden. Door de huidige noodberging aan te vullen met de voormalige zeegaten vermindert de stijgsnelheid bij berging aanzienlijk en dit geeft de minste waterstandverhoging benedenstrooms.



Figuur 3.7

Verzoeting van Grevelingen en Oosterschelde geeft een zuidwestelijke zoetwatervoorraad, vergroot de noodberging, verkort de kustlijn en dringt verzilting van de eilanden terug.

Beeld: Adviesgroep Borm & Huijgens.

De tijd begint te dringen om tot gerichte toekomstplannen te komen. Oppervlakvergroting van noodberging geeft daarbij een sterke toename van de rivierwaterveiligheid.

Met 18.000 m³/s Rijnaafvoer zoals voorzien voor 2100 zal er meer bergingsruimte in het gebied van de bovenlooprivieren moeten komen. Probleem is alleen dat die ruimte beperkt is en steeds beperkter wordt. 15.000 m³/s kunnen de benedenrivieren tegenwoordig net aan. Dat volume komt van Maas, Waal en Lek. In 2100 is 20.000 m³/s voor deze rivieren voorzien. Om de som eenvoudig te houden kijken we even niet naar zeespiegelstijging. In 2100 moet dus de resterende 5.000 m³/s bovenstrooms geborgen worden. Dat is 1,9 miljard m³. Als bewoond land (uiterwaarden zijn dan al ondergelopen) zo'n meter onder water wordt gezet (bij meer dan 1 m wordt schade enorm) is er 1.900 km² nodig. Dat is ongeveer de oppervlakte van provincie Limburg. Zoveel ruimte onder water zetten is niet realistisch.

Als wel rekening gehouden wordt met zeespiegelstijging kunnen we door de tegendruk vanuit zee alleen maar minder dan 15.000 m³/s afvoeren. Maar ook het verlagen van het peil van de benedenrivieren door te pompen lost het probleem van zeer hoge rivierafvoer niet volledig op: de rivieren zelf, tussen boven- en benedenstrooms in, worden dan de bottleneck. Bovenstrooms langer vasthouden van water voor gespreide lozing in de rivieren kan dit gevaar verminderen.

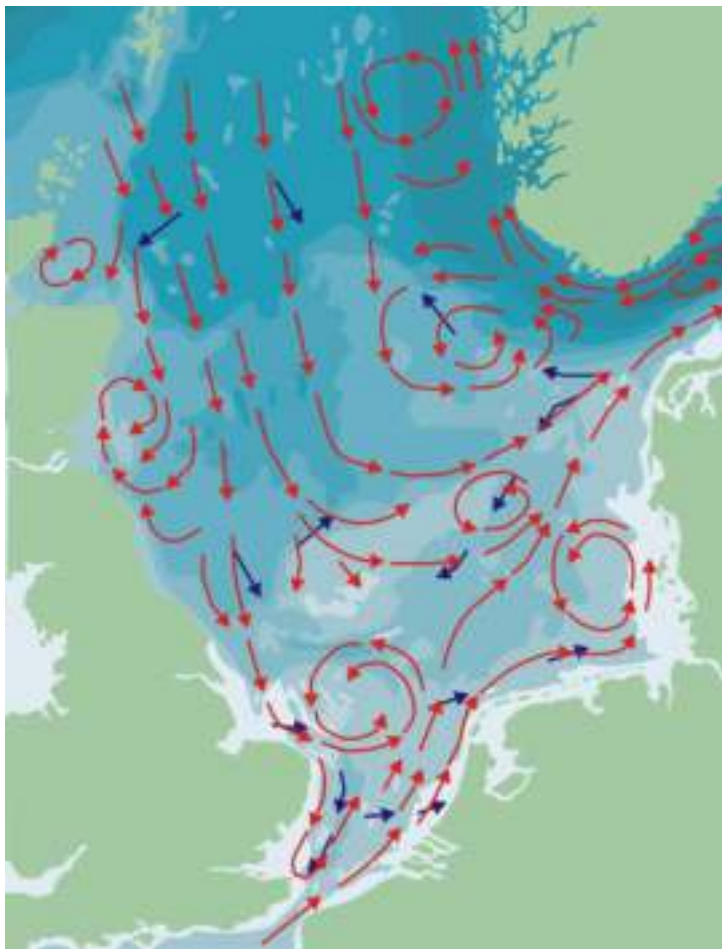
Een bekken in zee met een peil van rond de 0 NAP voorkomt de tegendruk vanuit zee en vergroot het bergingsvermogen. Gelijktijdige maatregelen in het gehele stroomgebied van de rivieren zijn nodig om ongecontroleerde rivieroverstromingen te voorkomen. Voor Nederland betekent dit nu vooral meer berging in de Zuidwestelijke Delta.

3.3 Kust

3.3.1 Kustaanwas en sedimenthuishouding

Met de realisatie van de Afsluitdijk kwam in 1932 een einde aan de uitholling van Holland door de zee. De uitschurende werking van in- en uitstromend getij verdween en maakte plaats voor een versnelde opslibbing van het wad. Nog altijd gaat de opslibbing van het wad met 2 cm per jaar veel sneller dan de zeespiegelstijging (2 à 3 mm/j) en de bodemdaling (0,3 mm/j) samen. Door de aanleg van de Afsluitdijk importeert de Nederlandse Waddenzee nu jaarlijks 10 tot 20 miljoen m³ zand.

Ook in zuidwest Nederland heeft de zee flink huisgehouden. Na afsluiting van de zeegaten veranderden de stromingen en vulden de diepe getijdengeulen zich met zand. Aan de kust parallelle stromingen werden dominant, waardoor zich een steilere vooroever kon handhaven. Zand vanuit zee werd door golven en stroming tegen de kust verplaatst. Dit werd de Voordelta.



Figuur 3.8

Noordzeestroming bij opkomend water (bron: Ecomare) is sterk bepalend voor de sedimentverplaatsing.

Zo geven de Afsluitdijk en de Deltawerken natuurlijke zandaanwas als gunstig bijeffect. Voor werkbare, betaalbare en klimaatbestendige oplossingen voor kustverdediging, is het slim om gericht sturing te geven aan natuurlijke zandaanwas voor de vorming van klimaatbuffers. Dit zijn gebieden waar natuurlijke processen kunnen meegroeien met klimaatverandering en de zeespiegelstijging.

Klimaat en waterveiligheid

Het Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW) adviseert in een rapport **Bron: Houdbaarheid Nederlandse waterveiligheidsstrategieën bij versnelde zeespiegelstijging** (Waterveiligheid, 2020) om niet tot 2050 te wachten met het nemen van maatregelen tegen de zeespiegelstijging. Dat geldt met name voor de kwetsbare plekken langs de Nederlandse kust, waar de grenzen van het huidige beleid het eerste bereikt worden. Dat zijn de locaties waar de zee in open verbinding staat met het achterland, zoals Rotterdam en de Zuidwestelijke Delta.

Er lijkt daarbij een einde te komen aan de tijd van ‘ideologische natuur’, waarbij gronden worden afgegraven en dijken worden doorgestoken.

Natuurlijke zandaanwas is altijd beter dan het alsmaar blijven opspuiten van de kust. Zacht materiaal als zand, dat de mens mechanisch aanbrengt, spoelt uiteindelijk weer weg. Het is als water naar de zee dragen. Wat de natuur uit zichzelf deponeert is blijvend en gaat geleidelijk, zonder verstoring van het bodemleven. Het is dan ook zaak te zoeken naar ‘harde’ maatregelen die stromingsprocessen, golfslag en sedimenthuishouding op een gunstige wijze blijvend beïnvloeden. Kostbare en CO₂-uitstotende noodmaatregelen als het opspuiten van zand kunnen daarbij worden verminderd of afgebouwd.

Ter illustratie enkele voorbeelden:

- Als gevolg van de Afsluitdijk is de hoeveelheid natuurlijke zandaanwas in de Waddenzee van dezelfde orde van grootte als de totale kustsuppleties en deze is bovendien duurzaam.
- Bij verdere sluiting van de kustlijn zal de zandaanwas vanuit zee toenemen. De Voordelta is hier een voorbeeld van.
- Gestuurd door drijvende golfdempers kan zand door de zee op natuurlijke wijze aangevoerd worden. Drijvende golfdempers zijn veelbelovend getest in het laboratorium voor vloeistofmechanica van de TU Delft en worden nader besproken in hoofdstuk 7.3.1. Na nader onderzoek en optimalisatie, kan hiermee aangevangen worden.
- Brede stranden en hoge duinen zijn zowel van belang voor zeewaterveiligheid als voor de vorming van een zoetwaterkolom als klimaatbuffer tegen verzilting van het achterland.
- Sluizen voor de Nieuwe Waterweg maken grotendeels een einde aan zoetwatertekorten en verbeteren met een gunstige landelijke zoetwaterverdeling het transport van rivierslib.

- Strategisch gelegen strekdammen in zee, zoals de Eierlandse Dam bij Texel, vangen veel zand.
- In de luwte van de Maasvlakte verbreden de stranden langs de Haringvlietmonding en verondiepen de Slikken van Voorne.
- Schorren of kwelders leveren belangrijke bijdrage aan kustverdediging.
Aan de kust van onze noordelijke provincies wordt natuurlijke landaanwinning door kweldervorming op het wad succesvol gestimuleerd door kades en strekdammen. Deze beproefde werkwijze kan men gebruiken om ook tegen de Afsluitdijk natuurlijke klimaatbuffers te vormen.
- Bij zowel bij de aanleg van migratierivieren voor vissen op ondiepe zeevlakten als bij de realisatie van bekkens in zee, is het raadzaam om eerst met dammen een luwte of lagune te vormen en deze gedurende meerdere jaren als zandvang te laten opslibben.



Figuur 3.9 Afsluitdijk met aan de waddenzijde een dijk met aangroeien- de klimaatbuffer en aan de zuidzijde een natuur- dijk. Beide beschermen tegen golfslag en kruisend ijs. Een lange geïntegreerde migratie- rivier zorgt tevens voor afvang van zoute indringing en overslag. Zo blijft het IJsselmeer zoet en is er een ecologische overgang van zout naar zoet.

Ontwerp: Adviesgroep Borm & Huijgens 2008

- Vergelijkbaar kunnen stroming en afzetting van zand en slib ingezet worden bij de problematiek van de landwaarts gevormde zoute cultuurlandschappen, zoals de zeegaten in het zuidwesten. Daar zou het beleid zich minder mogen richten op behoud van de ontstane situatie en meer op klimaatbestendig bouwen met de natuur (Building with Nature): omvorming en herbestemming voor waterveiligheid, verzoeting, zoetwatervoorraadvorming en noodberging van rivierwater in samenhang met natuurontwikkeling.

Rekening houden met de toekomst

Van de samenstellers van het Deltaprogramma en de Nationale Omgevingsvisie wordt verwacht dat zij in overleg met wetenschappers en deskundigen, vanwege *toenemende stijgsnelheden van het zeepeil*, samenhangende keuzes zullen maken voor klimaatbestendigheid. De nadruk komt te liggen bij waterveiligheid en zoetwatervoorziening, waarbij andere belangen zo goed als het kan mogen en kunnen meeliften. Een hoge mate van terughoudendheid bij het in uitvoering brengen van het vigerend beleid van de grote wateren is verstandig, aangezien de huidige plannen en suggesties bij nationale koersbepaling als sneeuw voor de zon kunnen verdwijnen. Dat neemt niet weg dat op de korte termijn alle ‘gratis’ en duurzame aanwas voor een robuuste en meegroeiende kust meer dan welkom blijft, ongeacht welke langetermijnvisie er in de komende jaren ontwikkeld gaat worden.

Een extra duwtje helpt

Samenvattend is het goed om in de komende periode waar mogelijk gewenste natuurlijke ontstaansprocessen te bevorderen met maatregelen zoals afsluitende dammen, strekdammen en golfdempers. Voor sommigen die nog werken volgens de slogan ‘Zacht waar het kan, hard waar het moet’ klinkt dat tegenstrijdig, maar klimaatbuffers komen meestal niet vanzelf op de voor ons gunstige plaats of op de voor ons benodigde sterkte. Een extra duwtje helpt. Zoals in de natuur gebruikelijk is het ook bij de aanleg van infrastructuur gewenst om stromingen en watermassa’s in evenwicht te laten zijn met hun functioneren. Meer informatie is te vinden in: **Bron:** *Sediment uit balans*, (Brils, et al., 2017) Uiteraard is niet alles maakbaar, ook wij zullen ons aan moeten passen.

3.3.2 Houdbaarheid zandsuppletie

Zandsuppletie is als symptoombestrijding altijd een tijdelijke overbruggingsmaatregel. Om de kust te onderhouden brengt Rijkswaterstaat jaarlijks zo’n 12 tot 15 miljoen m³ zand van de zeebodem tegen de kust. Blijft men met dit systeem doorgaan, dan is er volgens het Expertisenetwerk Waterveiligheid bij één meter zeespiegelstijging 3 tot 5 keer zoveel zand nodig. Dit gaat gepaard met aanzienlijke milieubelasting zoals CO₂-uitstoot en ernstige verstoring van het bodemleven. Bij een zeespiegelstijging van sneller dan 10 à 60 mm per jaar spoelt het opgebrachte zand zo snel weg dat voortzetting van zandsuppletie niet meer haalbaar wordt geacht **Bron:** *Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma*, (Haasnoot, 2018).



Figuur 3.10 Cutterzuiger Volvox Scaldia zand opspuitend.
Bron: beeldbank Rijkswaterstaat.

3.3.3 Waddenzee

De Waddenzee neemt een bijzondere positie in als het om kustaanwas gaat. Het is een betrekkelijk jong marien cultuurgebied, een relict van verdwenen venen en kwelders dat blijvend aan verandering onderhevig is.

Hierboven werd al de kweldervorming genoemd als kustverdediging, mogelijk gemaakt door een krachtige aanwas van zand en slib van enkele centimeters per jaar. Deze natuurlijke ontwikkeling kan weer teniet worden gedaan zodra een versnelde zeespiegelstijging dit tempo inhaalt. De Waddenzee kan dan veranderen in een binnenzee waarvan soms nog een enkele plaat droog staat. Het is duidelijk dat dit de ecologie van de Waddenzee, in het bijzonder als foerageergebied voor vogels, eveneens verandert.



Figuur 3.11 *Grijze zeehonden. Foto: Cor Huijgens*

Indien in de toekomst voor de waterveiligheid van de noordelijke provincies en de waddeneilanden afsluiting van de Waddenzee onontkoombaar is, dan zal dit gerealiseerd worden door de eilanden met een zeekerende dijk met elkaar te verbinden. Door de dijk te voorzien van spuisluizen en pompen kan naast het huidige peil ook een zeker zoutgehalte van de Waddenzee gehandhaafd blijven.

3.4 Ecologie

De wereldvermaarde natuurwetenschapper Alexander von Humboldt, die als eerste de verwoestende invloed van de mens op de natuur in beeld bracht, benadrukte in 1804 dat overal ter wereld waterbeheer leidt tot kortzichtige dwaasheden. Hij zag de natuur als een wereldomvattend ecosysteem en was de inspirator van onder meer Charles Darwin en de huidige ecologische opvattingen, waarbij de mens deel uitmaakt van een samenhangende natuur. Een wereldomvattende samenleving die door de menselijke soort en haar ongebreidelde toename steeds meer in gevaar wordt gebracht.

Maar de mens is in vrijheid gebonden. Alleen is hij niets. Hij is onderdeel van een groter geheel. Het gaat om leven met de aarde en niet om het uitmelken. Water is hierbij het sturende element, de bloedsomloop van het landschap, de verbinding tussen oceanen en continenten en de bron van alle leven.



Figuur 3.12 Kraanvogels - Foto: Cor Huijgens

3.4.1 Hoe zit het met Nederland?

Jan Buisman schrijft: *“Veel ‘natuurlijke’ processen hebben een antropogene oorzaak. Aantasting en verwoesting van onze leefomgeving en tegenmaatregelen zijn zo oud als de wereld. Maar in de meeste gevallen is de mens pas bereid om corrigerende maatregelen te nemen als hij direct schade ondervindt of als zijn leven wordt bedreigd. De wereld is overdekt met ontelbare, zij het gedempte putjes. Op de bodem ligt het ‘kalf’: verdronken!”* **Bron:** *Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen*, (Buisman, 1998 - 2019).

Overal in Nederland is de hand van de mens zichtbaar. Bodemdaling is daarbij veruit de meest grootschalige en tevens meest destructieve menselijke ingreep en vormt de oorzaak van vele waterproblemen. Doorbraken naar het dalende land maakten van de noordelijke kuststreek eilanden en wadden, waarna de Zuiderzee ontstond. In het zuidwesten veranderden veengronden in wadden, die vervolgens veranderden in zeegaten en eilandpolders.

Zoute gebieden die we doorgaans als puur natuurlijk ervaren, zoals de zeegaten en de Wadden, blijken bij nadere beschouwing cultuurlandschappen. Deze vormen samen met heide, weide, akker, haag, poel, plas en sloot een rijke variatie aan cultuurbiotopen.



Figuur 3.13 Na winning van de bovenste veenlaag, ging men verder met het delven vanaf de waterbodems

Bouwkundig ingenieur Christiaan Brunings, de grondlegger van Rijkswaterstaat, omschreef Nederland in 1798 dan ook als *'het telkenmale opnieuw overgeschilderde doek'*

Bron: *Twee eeuwen Rijkswaterstaat*, (Bosch, et al., 1998).

De ingrijpende en snelle veranderingen van de infrastructuur in de hierop volgende laatste twee eeuwen maken duidelijk dat het streven naar behoud en herstel van natuur in Nederland vrijwel altijd van cultuurhistorische aard is. Zonder een sterke kunstmatige waterhuishouding zou heel laag Nederland nu een waddengebied zijn. Natuur en cultuur zijn hier onlosmakelijk met elkaar verweven. Een herijking van de landelijke zoetwaterverdeling heeft invloed op alle verbonden wateren.

Het heeft geen zin om per deelgebied een eigen natuurdoel na te streven. Alles hangt met alles samen en veranderingen gaan voort. Gezien vanuit het belang van natuurontwikkeling is het begrenzen van gebieden dan ook vreemd. De natuur is overal en de invloed van de mens is overal.

Eeuwenlang heeft de natuur zich aangepast aan de menselijke ingrepen en diende de mens rekening te houden met de krachten van de natuur. Met de komende transitie naar een klimaatbestendig land is dat niet anders. Er komen meer en grotere veranderingen en daar zal de natuur zich weer aan aanpassen, een nieuw evenwicht zoeken en evolueren.

De Zeeuwse oppervlaktewateren scoren op veel punten 'slecht' of 'ontoereikend'. Het beste antwoord op problemen als vermesting, blauwalgen, zuurstofloosheid en zandhonger is doorstroming. Het rivierwater dient zoveel mogelijk door de delta te stromen. Wat beweegt sommigen om achter de kustlijn te streven naar het meest voorkomende milieu op aarde: zout water! Deze verziltingdrang kent alleen verliezers.

Aangezien dichtbevolkte delta's alleen met defensieve maatregelen bewoonbaar kunnen blijven, komen overal ter wereld trekvisroutes in de problemen. Zolang spuien mogelijk blijft,

vormen migratierivieren een oplossing. Bij stappen naar klimaatbestendigheid is het belangrijk om visintrek steeds mee te nemen.

Voorlopig is een overgang van zoet naar zout alleen mogelijk met migratierivieren. Door een visriool in de noordelijke Haringvlietdam aan te laten sluiten op een migratierivier via het Rak van Scheelhoek en door het gebied van Noord-Pampus en Ribben, kan al een permanente doorgangsroute ontstaan (figuur 3.14). Deze kan later westwaarts uitgebreid worden, tezamen met uitbreiding van de Maasvlakte.



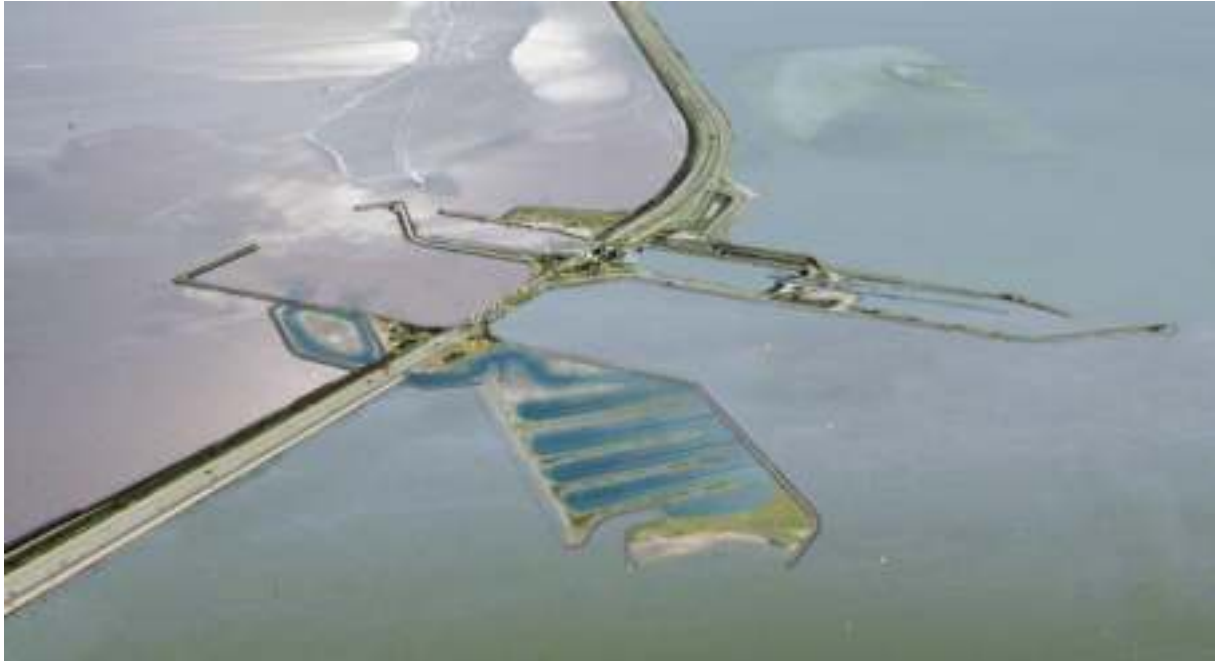
Figuur 3.14 Ontwerp voor een forse migratierivier met estuariene milieus van tientallen kilometers lengte tegen de kust gelegen op de Slikken van Voorne tussen de Maasvlakte en de monding van het Haringvliet. Deze 'gevouwen' variant kan worden uitgevoerd in uitgerechte vorm aan de zuidflank van de Maasvlaktes

Ontwerp: Adviesgroep Borm & Huijgens.

Pas bij realisatie van zeesluizen voor de Nieuwe Waterweg (Plan Spaargaren en anderen) komt meer water beschikbaar voor estuariene natuur.

Bezinning is een eerste stap naar een gezond en integraal ruimtegebruik. De overdaad aan 'beschermende' regelgeving werkt stagnatie, irritatie en bureaucratie in de hand. Meebewegen met de veranderingen voor klimaatbestendigheid betekent onder meer voor de natuurbeweging het deels herzien van vele in het verleden bevochten verworvenheden, zoals de natuurwetgeving, statussen en instandhoudingsdoelen, om ruimte te geven aan een natuur- en milieubeleid dat open staat voor transformatie en herbestemming.

Hoe de toekomstige architectuur van Nederland er ook uit gaat zien, voor de natuur is het van belang dat bij harde ingrepen de veranderingen zo geleidelijk mogelijk gaan en vormingsprocessen zich kunnen continueren in tijd en ruimte. Geen milieuschokken, maar voortgaande processen. Waterveiligheid en leefbaarheid bepalen de toekomstige lijnen van het klimaatbestendig waterbeheer. Er zal goed nagedacht moeten worden over hoe we denken dat de natuur zich daarbij gaat ontwikkelen, maar zeker weten doen we dat pas achteraf. Voor duurzaamheid is het samenwerken met water van groot belang. Zo kan de kustaanwas spoedig bevorderd worden met drijvende golfdempers voor de kust.



Figuur 3.15 *Artist impression vismigratierivier (bron: DeNieuweAfsluitdijk, copyright Feddes/Olthof).*

Tijdens en na de Deltawerken ondernam de opkomende milieubeweging pogingen tot natuurbehoud en -herstel. Dit bleek achteraf verkeerd ingeschat, aangezien de natuur zich altijd aanpast aan de gewijzigde situatie, zoals onder 3.4.1 beschreven. Verderop in dit rapport wordt een zeewaartse verschuiving bepleit. Daarbij mogen de Zeeuwse meren verzoeten en de harde grenzen tussen zout en zoet verdwijnen door opheffing van de compartimentering. Vismigratie blijft mogelijk met de aanleg van migratierivieren op ondiepe zeevlaktes.

Na realisatie van zeesluizen voor de Nieuwe Waterweg maakt een herziening van de zoetwaterverdeling het mogelijk dat met doorstroming, de aanvoer nutriënten en voortgaande sedimentatie er evoluerende en samenhangende natuurlijke wordingsprocessen ontstaan. Dit kan in de vorm van een estuarium, totdat de zeespiegelstijging dit verhindert.

Laat de natuur ditmaal de boot niet missen door te zorgen dat ze kan meeliften en samenwerken met de transitie die zich gaat voltrekken. Gooi het roer om naar een gezond waterbeleid. Go with the flow!

3.5 Ruimtelijke inrichting

3.5.1 Ruimte, een schaars middel

Nederland wordt steeds voller:

- Meer ruimte nodig voor wonen (1 miljoen woningen in komende 10 jaar), recreëren (meer tijd, meer toeristen), kantoren en industriegebieden (vooral logistieke functies: de 'dozen' langs de snelwegen), verbindingen (wegen, spoorwegen).
- Ruimte voor nieuwe ontwikkelingen: energietransitie, klimaatbestendigheid (figuur 3.16).

Deze vraag om toename van ruimte vindt plaats tegen de achtergrond van een reeds intensief gebruik van ruimte door functies waaronder landbouw en natuur. Het ruimtegebruik, met name in het westen, maar ook steeds meer in de rest van Nederland komt zo onder druk te staan dat een herbezinning op het gebied van de milieugebruiksruimte hard nodig is.



Figuur 3.16 Voorbeeld van een plan (WUR 2120), waarin voor klimaatbestendigheid veel ruimte wordt opgeëist. Ruimte die ten koste gaat van bestaande hoogwaardige ruimte waarvoor geen alternatief is voorzien

Dat betekent dat bij oplossingen voor klimaatbestendigheid gestreefd moet worden naar integraal en multifunctioneel ruimtegebruik van natuur en cultuur en dat meegewogen moet worden in hoeverre oplossingen ruimte opeisen ten koste van bestaande hoogwaardige ruimte, waar geen alternatief voor voorzien is. Zie rapport Sweco **Bron: Ruimte voor de toekomst**, (Sweco, 2021)

3.5.2 Masterplan Klimaatbestendigheid

Al deze ruimte beïnvloedende ontwikkelingen vragen om een primaire centrale coördinatie. De Nationale Omgevingsvisie (NOVI) en het Kennisprogramma Zeespiegelstijging kunnen in samenhang bijdragen aan een masterplan klimaatbestendigheid, dat de overheid de kans geeft om een stevig fundament voor de toekomst te leggen. Zie ook rapport Kamerling c.s.

Bron: *Hoogste tijd voor het maken van een masterplan waterveiligheid*, (Kamerling, et al., 2018).

Dit fundament dient tot stand te komen vanuit een gevormd beeld hoe Nederland er op hoofdlijnen in de verre toekomst uit zal zien en dient zich te richten op (inter)nationale belangen, die vervolgens vastgelegd worden in een wettelijk kader. Het bindt de overheid en geeft professionals, die nog vaak te sectoraal werken, een bredere uitvoeringsstrategie. Een doelstelling voor de lange termijn en sturing voorkomen hoofdpijndossiers in de vorm van impasses, lange procedures en eindeloze discussies. Het maakt het eenvoudiger om vanuit een overeengekomen toekomstbeeld in de breedte (interdepartementaal en integraal) samen te werken en daarbij meekoppelkansen te benutten.

3.6 Havens en economie

De Lage Landen hebben een groot deel van hun welvaart te danken aan de gunstige ligging aan de monding van de grote rivieren, waar bloeiende handelssteden ontstonden. De geschiedenis kent vervolgens vele voorbeelden van haventoeegangen die verzandden.

De ontwikkeling van zeehavens vroeg om diepere vaarwegen en grotere havens. Verdieping en verbreding betekende meer verzilting en meer binnendringende stormvloed met opstuwend rivierwater en resulteerde in hogere maximale landinwaartse waterstanden.

Bij de Deltawerken zijn de Nieuwe Waterweg en de Westerschelde niet afgesloten in verband met de havenbelangen van Rotterdam en Antwerpen. Bij beide toegangswegen werden de dijken op Deltahoogte gebracht. Deze open gebleven verbindingen veroorzaken de meest zwaarwegende landelijke waterproblemen. De Nieuwe Waterweg kreeg weliswaar de Maeslantkering, maar blijft in open verbinding met zee. De Westerschelde is het enige zeegat dat geen afsluitende waterkering heeft.

Het sluiten van de 'dijkring om het Waterschap Nederland' is voor waterveiligheid en zoetwatervoorziening van levensbelang.

Er zijn meerdere voorstellen gedaan voor afsluiting van de Westerschelde (figuur 3.17), die in lijn liggen met de vanaf de Tweede Wereldoorlog zeewaartse verschuiving van havenactiviteiten, zoals die ook bij Rotterdam plaatsvond.



Figuur 3.17
*De Westerscheldepoort:
Ontwerp Levien de Putter,
Architecten Alliantie 2009*

De vraag naar containertransferia in zee, als schakel tussen de intercontinentale zeevaart en de continentale riviervaart, neemt toe. Met een modern overslagsysteem, zoals het NGICT-concept, neemt de logistieke efficiëntie aanzienlijk toe. Het verladen op shuttleboten maakt dat alleen de vrachten bestemd voor de betreffende havens gericht worden vervoerd. Klimaatbestendigheid van bestaande havencomplexen en veiligstelling bij zeespiegelstijging van de internationale concurrentiepositie van werlthavens als Antwerpen en Rotterdam zijn zowel voor België als Nederland belangrijk. Een gunstig vestigingsklimaat biedt een economisch perspectief voor investeerders en draagt bij aan het behoud van de brede welvaart.

3.7 Ruimtelijke ordening Noordzee

De Noordzee lijkt groot en leeg, maar het tegendeel is waar: de beschikbare ruimte op de Noordzee wordt gedeeld en verdeeld door een groot aantal partijen met verschillende, soms tegengestelde en zich uitbreidende belangen, waaronder energie, natuur, visserij, scheepvaart, zandwinning en defensie.

Het is een belangrijk punt van aandacht voor het Programma Noordzee en voor een vervolg of aanpassing van het Overlegorgaan Fysieke Leefomgeving (OFL) adviesrapport Noordzeestrategie 2030 om bij de ruimtelijke ordening op zee opties voor strategische oplossingsrichtingen open te houden in de vorm van ruimtelijke reservering en herziene zonering. Dit in overleg met de aangrenzende Noordzeekustlanden. In het bijzonder is het van belang de optie voor ruimte voor hoogwaterbescherming in de ruimtelijke reserveringen met prioriteit mee te nemen.

Het rapport **Bron:** *Na wild west en sciencefiction op zoek naar de juiste film: Naar een nieuw sturingsconcept voor de inrichting van Nederland*, (Zeeuw, et al., 2020) vraagt om meer regie vanuit het Rijk.

3.8 Agrarische sector

De agrarische sector (landbouw, tuinbouw en veeteelt) levert met € 100 miljard exportwaarde een belangrijke bijdrage aan het Nederlands bruto product en is niet weg te denken uit de Nederlandse samenleving.

Deze sector heeft drie belangrijke raakvlakken met de nationale wateropgaven:

- vraag naar voldoende zoet water van goede kwaliteit,
- medeverantwoordelijk voor grondwaterpeil en daarmee voor bodemdaling,
- behoefte aan voldoende ruimte om de bedrijfsvoering naar behoren te kunnen uitoefenen, zeker daar waar sprake is van toenemende extensivering in de landbouw en veeteelt als gevolg van maatschappelijke veranderingen (o.a. biologische teelt, milieuwetgeving, waaronder PFAS).

3.9 Energietransitie

De omschakeling van fossiel opgewekte energie naar duurzame energie (energietransitie) is onlosmakelijk verbonden met de wateropgaven. De aanleiding van beide ligt bij het ongewenst vrijkomen van broeikasgassen in de atmosfeer bij het verbranden van fossiele brandstoffen, met klimaatverandering als gevolg.

De relatie tot het klimaatprobleem is van beide processen verschillend. De energietransitie heeft als doel de broeikasgasuitstoot te verminderen om daarmee de klimaatverandering af te remmen (mitigatie). De wateropgaven komen juist voort uit de klimaatverandering en de maatregelen om deze op te lossen hebben als doel ons te beschermen tegen de gevolgen van klimaatverandering (adaptatie).

Zowel de energietransitie als het oplossen van de wateropgaven hebben met elkaar gemeen dat de uitrol ervan de grote ingrepen van deze eeuw zullen zijn en dat zij grotendeels gelijktijdig tot uitvoering komen. Gezien de enorme reikwijdte van beide processen, de gedeeltelijke gelijktijdigheid in uitvoering en het voortdurend streven naar kosten-minimalisatie ligt het zeer voor de hand dat in de uitvoering en oplossings sfeer beide elkaar aanvullen en ondersteunen.

Hierbij valt te denken aan:

- Opslag van (groene) energie in valmeren voor de kust
- Plaats bieden aan windmolens, zonneparken, waterstofproductie- en opslaginstallaties, CO₂-opslag en wellicht kerncentrales
- Opwekken van golf- en getijdenenergie
- Alternatieve methoden voor huidige CO₂-vervuilende zandsuppleties

4 Probleemstelling en oplossingsrichting

In hoofdstuk 3 zijn een viertal actoren benoemd die ten grondslag liggen aan de kernproblemen die hierna worden beschreven:

1. Klimaatverandering
2. Bodemdaling
3. Gelijktijdigheid meerdere transities zoals energie, landbouw, ruimte en ecologie
4. Gewenste vrije vismigratie

4.1 Probleemstelling

Bovengenoemde actoren leiden tot de volgende kernproblemen:

1. Overstroming kust en rivieren

Er moet rekening mee gehouden worden dat de zeespiegel ten opzichte van 2000 in 2300 gestegen zal zijn met 3,8 tot 5,4 m (Bron: IPPC, zie figuur 2.2). Zonder maatregelen betekent dit dat het grootste deel van Nederland binnen 100 of 200 jaar zal overstromen, door overstroming van de kust ofwel door overstroming van opstuwend rivierwater tegen het indringende hoogwater van de zee.

2. Bodemdaling

Bodemdaling is een doorgaand proces. Grote delen van met name West-Nederland komen steeds lager te liggen. Dit geeft meer verzilting en kans op overstroming.

3. Zoetwatertekort en verzilting

Toenemend tekort tijdens droge perioden aan zoet water voor de land- en tuinbouw en veeteelt, industrie en drinkwater. Zowel in de hoge delen van Nederland, alsook in het lage deel waar het zoetwatertekort zich tevens manifesteert in verzilting. Specifiek probleem is hierbij dat tijdens lage rivierafvoeren zowel de beschikbaarheid als de kwaliteit van zoet water onder druk komt te staan. Lage rivierafvoeren veroorzaken ook problemen voor de scheepvaart.

4. Overtollig rivierwater

Naar de toekomst blijven de rivieren vragen om steeds meer ruimte voor doorvoer en berging. De kans op overstromingen in het Zuidwesten bij gelijktijdig hoge rivierafvoer en storm neemt bij stijgende zeespiegel snel toe.

5. **Vismigratie**

Nederland is gehouden aan Europese afspraken inzake de vis in- en uittrek naar en van de rivieren (vismigratie). Uitdaging hierbij zijn de harde zoet-zout scheidingen bij de mondingen van de rivieren en de locaties waar dagelijkse wisselingen van zoute en zoete milieus plaatsvinden, die de vismigratie bemoeilijken.

6. **Eindigheid zandsuppletie**

Bij een zeespiegelstijging van sneller dan 10 tot 60 mm per jaar wordt zandsuppletie niet meer haalbaar geacht.

7. **Bereikbaarheid havens**

Door zeespiegelstijging dreigen havengebieden, essentieel voor de economie, te overstromen of moeilijk bereikbaar te worden, vanuit zee en vanuit het achterland.

8. **Synergie met andere transitie**

a. **Ecologie**

De druk op de natuur, door de klimaatveranderingen en de ingrepen die de mens hoe dan ook zal doen om zich hiertegen te beschermen, zal toenemen. Ecologische systemen hebben het meest te lijden als de omgeving in korte tijd verandert. Bij geleidelijke veranderingen evolueert de natuur als vanzelf mee.

b. **Ruimte**

De druk op leefruimte zowel voor mens als natuur wordt verder opgevoerd. Oplossingen voor klimaatbestendigheid vragen onontkoombaar om extra ruimte, zowel op land als op zee.

c. **Energie**

De vraag is hoe de energietransitie en de bescherming tegen de gevolgen van zeespiegelstijging en weersextremen elkaar maximaal kunnen aanvullen en ondersteunen.

d. **Landbouw**

De agrarische sector ondergaat de komende decennia grote veranderingen als gevolg van veranderende maatschappelijke inzichten en wetgeving. Tegelijk blijft bij deze sector de afhankelijkheid van en de invloed op water en ruimte groot. Juist daarom is het van belang om met deze entiteiten gezamenlijk tot oplossingen te komen.

4.2 Oplossingsrichting

Hoofdprobleem is dat Nederland door klimaatverandering binnen enkele eeuwen grotendeels onbewoonbaar wordt als geen maatregelen worden genomen.

Bij het identificeren van oplossingen stellen wij voorop dat het huidige Nederland volledig bewoonbaar moet blijven. Verhuizen naar hoger gelegen gebied, ook voor delen van Nederland, is theoretisch denkbaar, maar is economisch niet nodig en daarom geen realistische optie binnen een tijds kader van enkele eeuwen. In hoofdstuk 6.3.2. wordt dit uitgangspunt verder toegelicht.

Bezien we de acht kernproblemen, opgesomd in 4.1, dan moet gezocht worden naar oplossingen die duurzaam de invloed van de zee en de rivieren op het land minimaliseren voor wat betreft toetreding van hoog water, ruimtegebruik en zoutindringing. Daarbij is het voor een goede vismigratie van belang dat er geleidelijke zoet-zoutovergangen worden voorzien tussen zee en rivieren.

De natuur moet 'vrij baan' krijgen, zowel in de zin van fysieke ruimte als in tijd om zich aan te passen aan een veranderende situatie.

Daarnaast zal een oplossing 'slim' moeten omgaan met ruimte. Dat houdt in dat de oplossing economisch omgaat met de ruimte die deze nodig heeft. Ruimte op de Noordzee kan een deel van de oplossing zijn.

De havens blijven goed bereikbaar vanuit zee en het achterland. De grootste bestaande havens dienen zo lang mogelijk in open verbinding met zee te blijven en nieuw te ontwikkelen havengebied wordt zo ontworpen dat open toegang tot zee altijd is gewaarborgd.

Ten slotte: gezien de veelheid aan gelijktijdig optredende aanpalende problemen naast zeespiegelstijging en klimaatverandering, waaronder ruimtelijke inrichting en woningbouw, energietransitie, landbouw en verduurzaming van de maatschappij, moet gestreefd worden naar een integrale, samenhangende oplossing waarbij zoveel mogelijk synergie wordt gezocht tussen de diverse deeloplossingen.

5 Visie op een klimaatbestendig Nederland en Europa

5.1 Uitgangspunten voor een nieuwe infrastructuur

De klimaatverandering, de voortgaande bodemdaling, de energietransitie, de toenemende druk op ruimte, ecologie en landbouw, de noodzakelijke bereikbaarheid van havens en de vereiste vrije vismigratie stellen Nederland voor een opgave van grote omvang. Zowel in tijdsduur als in fysieke en financiële impact.

Zeespiegelstijging

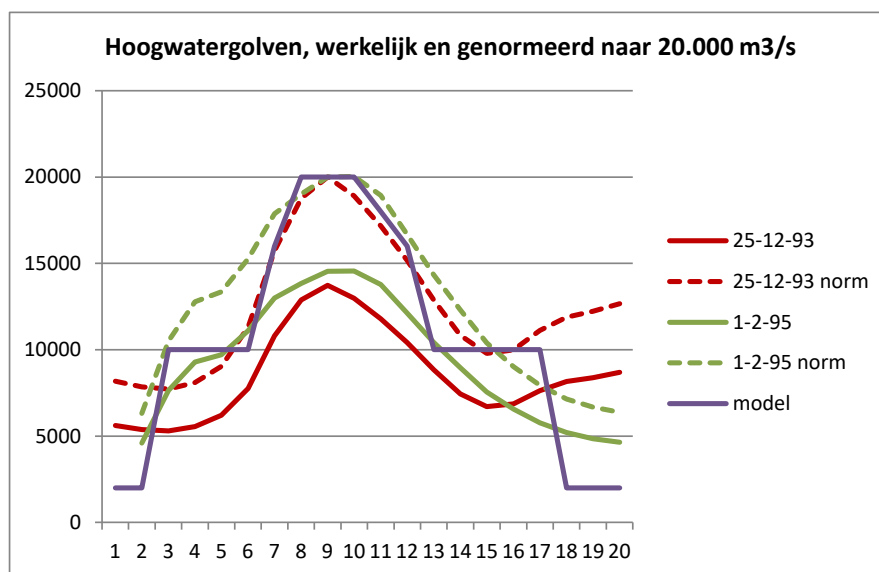
Afhankelijk van de mate waarin de doelen van Parijs worden gehaald zal, naar de huidige inzichten, eind deze eeuw de zeespiegel met ongeveer een meter gestegen zijn en, belangrijker, zal de stijging daarna niet afvlakken maar lineair of exponentieel toenemen. Dat betekent dat er rekening gehouden moet worden met een doorgaande versnelling van de zeespiegelstijging in de orde van 10 mm per jaar in 2100 tot 15 à 20 mm per jaar in 2300 (zie ook figuur 2.2; nu 3 mm per jaar), ofwel 1 tot 2 m per eeuw.

Rivieren

De weersextremen nemen toe. Uitgangspunt is dat tot 2100 de maximum rivierafvoer met 50% toeneemt en de minimumafvoer met 25% daalt en daarna zo blijven **Bron: Samen werken met water**, (Veerman, 2008), zie figuur 3.6.

Naast de hoogte van de rivierafvoeren speelt ook de tijdsduur van de rivier hoogwaterafvoer mee bij de bepaling van de impact op het watersysteem. Kamerling geeft debieten van maximaal 20.000 m³/s (exclusief de IJssel) gedurende 3 dagen binnen een 16 dagen durende hoogwatergolf. **Bron: Hoogste tijd voor het maken van een masterplan**, (Kamerling, et al., 2018). Deze debieten zijn gevalideerd aan de hand van de hoog water rivierafvoeren tijdens de bijna overstromingen uit 1993 en 1995, zie figuur 5.1. Gedurende een hoogwatergolf van 16 dagen van alle grote Nederlandse rivieren (Maas, Waal, Lek, IJssel en Schelde) wordt 22,6 miljard m³ water afgevoerd. In bijlage 10.1.2., tabel 10.2-4 wordt verder ingegaan op de rivierafvoeren.

Figuur 5.1
Rivierhoogwatergolf
Maas, Waal en Lek in
eindsituatie (paars)
gevalideerd t.o.v.
hoogwatergolven uit
1993 en 1995



De combinatie van zeespiegelstijging, storm op zee en verhoogde rivierafvoeren stelt eisen aan de berging en afvoer van het rivierwater. Tijdens hoge zeestand en gelijktijdig hoge rivierafvoer zal het rivierwater naar zee moeten worden weggepompt, in noodbergingen opgeslagen of een combinatie hiervan. Bij wegpompen moet de faalkans van het pompsysteem met inbegrip van de energievoorziening en elektrische (computer)besturing in rekening worden gebracht.

In bijlage 10.2.2 is berekend op basis van een maatgevende rivierafvoer van 20.600 m³/s en een toegestane peilstijging in de noodberging van 2,5 m dat de huidige noodberging, bestaande uit Biesbosch, Hollandsch Diep en Haringvliet gedurende 6 uur pomputval in noodberging kan voorzien. Wordt de noodberging uitgebreid met het Volkerak/Zoommeer, Grevelingen, Oosterschelde en Veerse Meer, dan kan bij pomputval gedurende 24 uur rivierwater worden opgeslagen.

Door de huidige noodberging aan te vullen met de voormalige zeegaten vermindert de stijgsnelheid bij berging van rivierwater tot 1/3 deel. Met een bekken in zee erbij, afhankelijk van de grootte tot 1/8 deel. Oppervlakvergroting geeft een sterke toename van de rivierwaterveiligheid.

Dat alles vraagt om een volledige herziening van het hoogwaterbeschermingssysteem en de zoetwaterhuishouding, kortom om een *nieuwe hoofdinfrastructuur water*.

Lange termijn horizon

De denkhorizon is hierbij 300 tot 500 jaar, een termijn die past bij een hoofdinfrastructuur. Vergelijk de aanleg in het verleden van spoorwegen, kanalen en grote inpolderingen, waarvan de 'houdbaarheid' vele eeuwen bedraagt (zie kader).

Een nieuwe hoofdinfrastructuur water moet bestand zijn om de komende eeuwen te overleven. Wat betreft de zeespiegel is bij een tijdshorizon van 500 jaar en een zeespiegelstijging van 1 à 2 m per eeuw, een stijging te verwachten van minimaal 5 m, wellicht 10 m. Technisch en economisch is het mogelijk om Nederland hiertegen te beschermen.

Verder kijken dan 3 of 5 eeuwen heeft geen zin. Mogelijk zijn er tegen die tijd technische of andere ontwikkelingen ontstaan waarvan we nu geen weet hebben: ontwikkelingen waarmee het weer is te beïnvloeden of de hoeveelheid vloeibaar water op aarde is te verminderen. Misschien ook heeft de volgende ijstijd zich dan aangediend, waardoor de zeespiegel een daling heeft ingezet

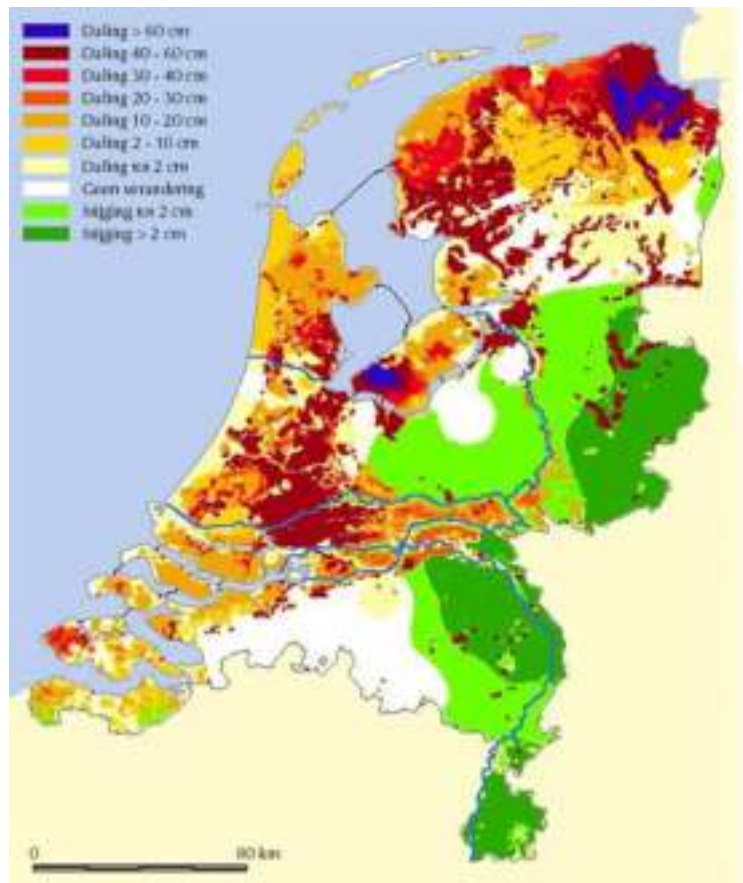
500 jaar lijkt een lange periode, maar de Nederlandse waterinfrastructuur heeft tal van voorbeelden met dit soort 'houdbaarheidstermijnen'. Zo zullen Flevoland in het IJsselmeer en het Julianakanaal, parallel aan de Maas in Limburg, over 500 jaar ongetwijfeld nog belangrijke elementen van de ruimtelijke hoofdstructuur zijn. Net zoals de Vliet van Leiden naar Delfshaven of de Purmer en de Beemster, die eeuwen geleden gerealiseerd zijn en nog steeds bepalend zijn voor de hoofdcontouren van ons land. Ook de terpen in het Noorden en het Zuidwesten zijn voorbeelden van waterinfrastructuur die 1000 jaar hun diensten hebben bewezen. In het buitenland zijn voorbeelden van grote waterwerken te over, zoals de Romeinse aquaducten, het Suez- en Panamakanaal of het kanaal van Korinthe. Allemaal uitgebreide waterkundige ingrepen die honderden jaren zijn meegegaan of nog zullen meegaan.

Bodemdaling

De bodemdaling in het westen van het land wisselt lokaal sterk, zie figuur 5.2. gemiddeld 25 cm per halve eeuw.

Dit proces zal zich naar verwachting voortzetten. Mede door de bodemdaling neemt in Nederland de gevoeligheid voor verzilting toe doordat het grotere hoogteverschil de zoutdruk verhoogt. Die manifesteert zich aan de kust, langs de verziltende rivieren en bij de zout gehouden voormalige zeegaten

Op verschillende plaatsen wordt geprobeerd de bodemdaling te beperken door het grondwaterpeil te verhogen, echter een dergelijke vernatting is vaak ongewenst of onmogelijk gezien het gebruik van de grond. Ophoging is in principe mogelijk, echter alleen voor nieuw te ontwikkelen gebieden. Over 500 jaar moet rekening gehouden worden met bodemdalingen in het westen van rond de 2,5 m ten opzichte van 2000.



Figuur 5.2 de bodemdaling varieert over het land. In het Westen bedraagt deze gemiddeld 25 cm per halve eeuw. Bron: RWS/NAM

Uitdagingen in water en ruimte gaan samen

De handel en industrie steunen op de aanwezigheid van diepe, goed bereikbare havens en op goede doorvoermogelijkheden zoals bevaarbare rivieren, spoorlijnverbindingen en een aangepast wegennet.

De Randstad blijft de kern van de economie. De bevolking neemt daar al jaren gestaag toe met 50.000 tot 100.000 per jaar. De behoefte aan ruimte voor wonen en recreëren neemt naar verhouding toe.

Genoemde waterproblemen doen zich ook buiten Nederland voor. Onze rivieren en kusten vormen een geheel met die van onze buurlanden. Wel is onze extreem lage ligging en bodemdaling uniek in Europa. Gezien de vergelijkbaarheid van problematiek is een Europese aanpak gewenst. Nederland zou voorop kunnen lopen, zowel in initiatief als in uitvoeringstermijn. Andere landen kunnen aanhaken op het moment dat de situatie er om vraagt.

5.2 Visie klimaatbestendig Nederland en Europa

De impact van de hiervoor genoemde veranderingen in zeespiegel, rivieraanvoeren en bodempeil op het watersysteem is enorm en vraagt om een alomvattende visie op dit watersysteem en direct daaraan gekoppeld op de ruimtelijke inrichting.

De tijd dringt

Daarbij dringt de tijd. Tot 2050 zal de zeespiegelstijging beperkt blijven tot enkele decimeters. Ook de rivierafvoeren zullen tot die tijd niet aanzienlijk veranderen. Een mogelijke temperatuurstijging van enkele graden kan betekenen dat vanaf 2050 essentiële beschermingssystemen, waaronder kust, dijken, stormvloedkeringen, sluizen en delen van het zoetwatersysteem niet meer voldoen. De voorafgaande tijd is hard nodig voor het voorbereiden en goedkeuren van plannen, die in de periode daarna geleidelijk geïmplementeerd kunnen worden.

Brede visievorming noodzakelijk

Voordat strategische plannen ontwikkeld kunnen worden is een brede visievorming noodzakelijk. Breed in de zin dat de denkhorizon in eerste instantie ver weg wordt gelegd en dat naast de wateropgaven ook aanpalende gebieden zoals natuur, recreatie, landbouw, woningbouw, economie en energietransitie in de visie worden betrokken. Breed ook in de zin dat deze visie breed gedragen zal moeten worden in de samenleving, in het parlement en in Europees verband.

De aldus gevormde visie voor de lange termijn vormt niet alleen de basis voor de te ontwikkelen, uit te werken en uit te voeren plannen, zij voorkomt ook dat investeringen op korte termijn gedaan worden die later voor niets blijken te zijn geweest.

Planvorming vanuit de toekomst (*backcasting*) is te prefereren boven planvorming vanuit het heden (*forecasting*), omdat, zuiver vanuit het heden geredeneerd, het niet goed mogelijk is om de (achteraf gezien) juiste richting te bepalen.

Visie

Hier beperken we ons tot een korte weergave van onze visie op het realiseren van een klimaatbestendig Nederland en de omringende landen aan de Noordzee. Deze zal uitgewerkt moeten worden tot een stevig en breed geaccepteerd document. Alleen op deze basis zijn haalbare plannen te maken.

Met de uitgangspunten van 5.1 noteren we de volgende hoofdisiepunten voor de laag gelegen landen aan de Noordzee:

- A. Wij blijven hier wonen, werken en recreëren. Er zijn daarvoor nog voldoende technische en financieel haalbare mogelijkheden. Het 'loont' dan ook om de eerstkomende eeuwen te investeren in het handhaven van de huidige vestiging. Op zeer lange termijn is terugtrekking mogelijk aan de orde, maar de onzekerheden hierover zijn zo groot dat het niet zinvol is hier nu rekening mee te houden.
- B. Het grootste risico voor overstroming vormen de grote rivieren. Omdat met het stijgen van de zeespiegel het peil van open rivieren meestijgt, is het noodzakelijk deze rivieren van de zee af te sluiten of hun loop te verleggen naar een hoger tracé.
- C. De huidige kust is vanaf een zeespiegelstijging van meer dan 10 tot 60 mm per jaar niet langer met zandsuppletie in stand te houden. De bestaande duinkust moet herzien worden voor een ander, klimaatbestendig concept, dat voorziet in een met de zeespiegel meegroeïend, overslagvrij verdedigingsmiddel dat niet noodzakelijkerwijs op dezelfde locatie is gepositioneerd als de bestaande kust.
- D. Om verzilting terug te dringen en de zoetwatervoorziening zeker te stellen wordt de zoutgrens naar het westen verschoven: vrijwel al het water in het momenteel aan zee grenzende land wordt verzoet.
- E. Hoge rivierafvoeren moeten te allen tijde verwerkt kunnen worden. Bij hoge zeestanden tijdens storm of zodra de zeespiegel meer dan ca. 0,5 m is gestegen moeten pompen met voldoende hoge capaciteit de rivierafvoer garanderen. Hierbij moet rekening gehouden worden met een mogelijke uitval van deze pompen ten gevolge van mechanische storing, energie-uitval of problemen in de (computer-)besturing. In dat geval moeten noodbergingsgebieden van voldoende bergingsvermogen beschikbaar zijn waarin het rivierwater onder vrij verval kan instromen en worden gebufferd.

- F. De voorgaande punten B t/m E vragen om een nieuwe hoofdinfrastructuur water. Een infrastructuur die zodanig robuust is dat deze niet bij elke geringe zeespiegelstijging aan vervanging toe is, maar die in staat is het tempo van zeespiegelstijging voor te blijven. Een *‘meegroeistrategie’* is efficiënter dan een *‘vervangingsstrategie’*.
- G. Havenactiviteiten vestigen zich in hoofdzaak zo dicht mogelijk bij zee, dicht bij de locaties waar zeeschepen zonder tussenkomst van sluizen toegang hebben tot de havens. Nieuwe havenkades worden voorzien of voorbereid op de hoogst mogelijke zeestijging, waarbij nieuwe concepten, zoals drijvende havens, voluit worden toegepast.
- H. Een nieuwe waterinfrastructuur vraagt om een integrale aanpak aangezien ze invloed heeft op vrijwel alle facetten van de samenleving. Het totaal van de landelijke infrastructuur, met onder meer wegen, spoorlijnen, luchthavens, leidingen, kabelverbindingen en energietransport, ondergaat ingrijpende veranderingen en verbeteringen, waarbij het zaak is om de primaire doelen waterveiligheid en zoetwatervoorziening voorrang te verlenen en tevens daar waar mogelijk andere belangen en sectoren zo goed mogelijk mee te laten liften.
- I. Als laagst gelegen land zou Nederland het initiatief moeten nemen tot het daadwerkelijk realiseren van een tweede kustlijn als opmaat naar een West-Europese samenwerking op het gebied van aanpassing aan zeespiegelstijging. Tussen nu en ca. 30 jaar krijgen alle kuststaten van Noordwest-Europa met deze problematiek te maken. In die zin kan Nederland leading zijn in Europa voor het bepalen van de beschermingsstrategie.

6 Plannen

6.1 Inleiding

Voortbouwend op de in het vorige hoofdstuk geformuleerde visie zijn, op strategisch niveau meerdere toekomstplannen af te leiden. Deltares heeft een lijst aangelegd met ingediende projecten, zie publicwiki.deltares.nl/display/kwi. Het ligt voor de hand bij het formuleren van toekomstplannen van deze lijst gebruik te maken.

Van deze projecten is een selectie gemaakt op basis van de bijdrage die zij leveren aan de wateropgaven die besproken zijn in hoofdstuk 4.

In de subhoofdstukken hierna worden de geselecteerde projecten geanalyseerd en gewogen op zowel hun bijdragen aan waterveiligheid en zoetwatervoorziening, als op eigenschappen als aanpassend vermogen, haalbaarheid, samenhang en duurzaamheid. Dit resulteert in een overzichtelijke beoordelingsmatrix, toelichting en conclusie.

Hierbij volgen we de indeling naar de vier adaptatie strategieën die Deltares in haar rapport **Bron: Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging**, (Haasnoot, 2019) heeft aangehouden:

1. Meebewegen
2. Beschermen open
3. Beschermen gesloten
4. Zeewaarts

Parallel aan het schrijven van dit rapport is binnen het Deltaprogramma het Kennisprogramma Zeespiegelstijging gestart. Enkele van de hierna te bespreken plannen doen mee in het traject van plannepitches waarmee het Kennisprogramma bouwstenen inventariseert en inspiratie opdoet voor de ontwikkeling van lange termijn oplossingen voor de wateropgaven.

6.2 Voorgestelde plannen

Hieronder worden de geselecteerde plannen kort inhoudelijk beschreven en voor- en nadelen benoemd ter voorbereiding op de analyse en beoordeling in 6.3

De nummering van de plannen hieronder verwijst naar genoemde Deltares wikidee lijst. De **vet** aangegeven plannen doen mee in de plannenpitches van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

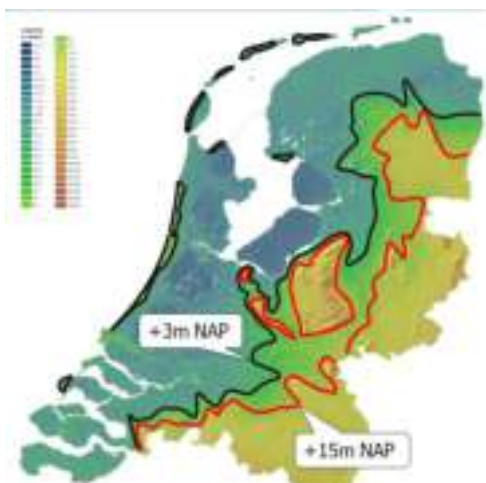
6.2.1 Meebewegen

In deze hoofdstrategie krijgt de stijgende zee de ruimte. Bestaande hoofdkeringen verdwijnen en worden vervangen door nieuwe keringen ver oostwaarts. Geheel West Nederland verdwijnt in zee met uitzondering van de duinen; enkele plannen sparen de Randstad of de historische binnensteden die worden droog gehouden door voldoende sterke ringdijken.



Figuur 6.1 Illustratieve voorstelling scenario Meebewegen (bron: Deltares)

Nummer	Naam project	Ontwerper	Toelichting
1.1.0.3.	Zee_delijkheid - het land verwatert en de zee verlandt	Annick van Tilburg	Het Groene Hart wordt het Blauwe Hart. Beide processen, verlanding en verwatering, zullen samen van Nederland een archipelago maken naar Stockholms voorbeeld.
1.1.0.7	Plan New Netherlands	ir Geert van der Meulen	Bij 10 m ZSS Noord en Zuidwest Nederland opgeven, maar de Randstad behouden
1.1.0.10	Plan B - Nederland 2200	LOLA Landscape Architecten	Geheel West Nederland prijs geven aan de zee met uitzondering van de duinen en de Waddeneilanden



Figuur 6.2 Overstroomde deel van Nederland bij een zeespiegelstijging van 3 m (zwarte lijn) en 15 m (rode lijn)

6.2.2 Beschermen open

In deze hoofdstrategie blijven de rivieren in open verbinding staan met zee. De rivierdijken in het benedenstroomgebied moeten versterkt en verhoogd worden, de buitendijkse gebieden worden opgegeven of moeten beschermd worden en het zoute zeewater heeft toegang tot het land: het trekt de rivieren op en zorgt voor toename van zoute kwel.



Figuur 6.3 Illustratieve voorstelling scenario Beschermen open (bron: Deltares)

Nummer	Naam project	Ontwerper	Toelichting
1.1.0.1.	De mooiste en Veiligste Delta 2010-2100	Diverse, waaronder A. Geuze, RWS, TNO en Unie van Waterschappen	Eilanden in zee, hoge dijken langs Maas en Waal, bouwrestricties in laag Nederland, stuwen bij Rotterdam en Dordrecht
1.1.0.9	Plan Beaufort	ir. Gé Beaufort	Nieuwe hoge dijken langs Maas en Waal. 'Kranen' bij Pannerden, Arnhem en Drechtsteden
4.3	Natuurlijke toekomst voor Nederland in 2120	Wageningen University & Research	Zandsuppleties opvoeren, dubbele dijken, nieuwe stormvloedkering in Oosterschelde, geleidelijke zoet-zout overgangen, brede rivierbeddingen. Plan zet vooral in op groen, verduurzaming, en ruimtegebruik.
geen	Doorgaan in huidige richting		Zandsuppleties intensiveren en zee- en rivierdijken blijven verhogen.

6.2.3 Beschermen gesloten

Deze hoofdstrategie houdt het peil van de rivieren op het huidig niveau door de rivieren af te sluiten en aan de mondingen zware pompen te plaatsen.



Figuur 6.4 Illustratieve voorstelling scenario Beschermen gesloten (bron: Deltares)

Nummer	Naam project	Ontwerper	Toelichting
1.2	Nieuwe Hollandse Bosvariant	Ir. Willem Bos	De hoofdriolen Rijn en Maas worden omgelegd, ongeveer langs de Duitse, resp. Belgische grens naar zee. Deze nieuwe beddingen worden gebruikt bij hoge rivierafvoeren. Bij lage en normale afvoeren worden de huidige rivieren gebruikt, die bij de mondingen worden afgesloten en voorzien van relatief kleine pompen.
2.3.3.3	Plan Sluizen	Ir. Frank Spaargaren	De rivieren op huidig peil houden door in de Nieuwe Waterweg sluizen en pompen te plaatsen. Ook pompen plaatsen in alle oude zeegaten die daartoe verzoet moeten worden.



Figuur 6.5 Weergave consequenties scenario Beschermen gesloten. (bron: de Haakse Zeedijk)

6.2.4 Zeewaarts

Eilanden voor de kust beschermen de huidige kust tegen zware golfaanval. Worden de eilanden met elkaar verbonden en wordt deze eilandenrij aan de uiteinden met de kust verbonden, dan ontstaat een gesloten tweede kustlijn met hier achter een afgesloten binnenzee. Deze binnenzee kan goed worden gebruikt om de rivieren vrij in te laten uitstromen en om als berging te dienen bij hoge rivierafvoer. Tevens dienen ze als ruimte voor nieuwe natuur, energietransitie en infrastructuur.



Figuur 6.6 Illustratieve voorstelling scenario Zeewaarts (bron: Deltares)

Nummer	Naam project	Ontwerper	Toelichting
1.1.1.02	Deltawerken van de Toekomst	prof. dr. J. Dronkers	Eilandenboog voor de Nederlandse kust. Sluizen in NWW en in oude zeegaten voor afvoer rivierwater. Nieuwbouwwijken alleen op verhoogde gronden.
1.1.1.12	Plan Emergo	Wouter van Dieren	Eilandenboog voor de Nederlandse kust. Lagune daarachter laten opslibben. Tegen de tijd dat rivieren water niet meer kwijt kunnen de eilanden verbinden en een gesloten binnenzee maken met verlaagd peil.
1.2.2.1	De Haakse Zeedijk	Rob van den Haak	Nieuwe dijk, ca. 25 km voor de kust, lopend van West-Kapelle tot Den Helder. Achter de dijk 3 bekkens op blijvend +/- 0 NAP, waarin de grote rivieren vrij uitstromen. Voor de dijk drijvende golfdempers die de nieuwe dijk beschermen tegen zware storm en voor zandaanwas zorgen. In een uitgebreidere variant (De Europese Zeedijk) loopt de dijk van Calais (Frankrijk) tot Gotenburg (Zweden) waarmee de gehele kust van het NW-Europese continent wordt beschermd.
1.3.2.0	Plan Boorsma	Ingenieursbureau Boorsma b.v.	Waddenzee met dijk langs Friesland en Groningen splitsen in zout en zoet deel. IJssel via het zoete meer laten uitstromen bij Delfzijl. Overige rivieren bij Hansweert i.v.m. lage ebstanden. Eilanden voor de kust ter bescherming van bestaande kust.
2.3.3.5	De Noordzeedijk / Northern European Enclosure Dam (NEED)	Sjoerd Groeskamp (NIOZ)	Gehele Noordzee en Kanaal afsluiten en op +/- 0 NAP houden door dijken aan te leggen van Schotland naar Noorwegen en van Zuid Engeland naar Bretagne. Noordzee langzaam laten verzoeten.

6.3 Analyse en weging

6.3.1 Overzicht

De plannen uit hoofdstuk 6.2 worden hier samengevat en vergeleken op het gebied van:

- Waterveiligheid bij zee
- Waterveiligheid bij rivieren
- Zoetwatervoorziening
- Aanpassend vermogen (faseerbaar en schaalbaar met verdere zeespiegelstijging of weersextremen)
- Haalbaarheid (technisch, economisch, sociaal)
- Samenhang (synergie met meerdere wateropgaven)
- Duurzaamheid (lange houdbaarheid of robuuste uitvoering)
- Ecologie en landbouw
- Ruimte en economie

De vergelijking is uitgevoerd door de auteurs van dit rapport. Op basis hiervan wordt in dit schema een totaalscore gegeven. Scoring: Groen = goed Oranje = matig Rood = slecht	Waterveiligheid bij zee	Waterveiligheid bij rivieren	Zoetwatervoorziening	Aanpassend vermogen (faseerbaar en schaalbaar met verdere ZSS of weersextremen)	Haalbaarheid (technisch, economisch, sociaal)	Samenhang (synergie met wateropgaven)	Duurzaamheid (lange houdbaarheid of robuuste uitvoering)	Ecologie en landbouw	Ruimte en economie	Totaal
Meebewegen										
Zee_delijkheid - het land verwatert en de zee verlandt	Rood	Groen	Oranje	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood	Rood
Plan New Netherlands	Oranje	Groen	Oranje	Oranje	Rood	Oranje	Rood	Rood	Rood	Rood
Plan B - Nederland 2200	Groen	Groen	Oranje	Groen	Rood	Groen	Groen	Rood	Rood	Rood
Beschermen open										
De mooiste en Veiligste Delta 2010-2100	Oranje	Oranje	Rood	Oranje	Oranje	Oranje	Rood	Oranje	Rood	Oranje
Plan Beaufort	Rood	Oranje	Rood	Oranje	Oranje	Rood	Rood	Oranje	Rood	Rood
Natuurlijke toekomst voor Nederland in 2120	Oranje	Oranje	Rood	Groen	Oranje	Oranje	Rood	Groen	Rood	Oranje
Doorgaan in huidige richting	Rood	Oranje	Rood	Oranje	Rood	Rood	Rood	Oranje	Rood	Rood
Beschermen gesloten										
Nieuwe Hollandse Bosvariant	Oranje	Groen	Groen	Rood	Rood	Groen	Groen	Groen	Oranje	Oranje
Plan Sluizen	Oranje	Oranje	Groen	Rood	Groen	Oranje	Oranje	Oranje	Oranje	Oranje
Zeewaarts										
Deltawerken van de Toekomst	Oranje	Groen	Groen	Oranje	Groen	Oranje	Oranje	Groen	Oranje	Oranje
Plan Emergo	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen
De Haakse Zeedijk	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen	Groen
Plan Boorsma	Oranje	Oranje	Groen	Oranje	Rood	Oranje	Rood	Oranje	Oranje	Rood
De Noordzeedijk / Northern European Enclosure Dam (NEED)	Groen	Groen	Groen	Oranje	Rood	Groen	Oranje	Rood	Oranje	Rood

6.3.2 Toelichting bij plannenvergelijk

1. Meebewegen

De plannen zijn beoordeeld vanuit de situatie dat de transitie (verhuizing naar het oosten) reeds heeft plaatsgehad. Zo is de waterveiligheid vanuit zee gegarandeerd als we allen wonen in de hoge delen van Nederland en wellicht omringende landen.

Het criterium 'haalbaarheid' is echter gezien vanuit de huidige toestand. De drie plannen zijn op dit aspect negatief beoordeeld, omdat naar onze overtuiging het maatschappelijk draagvlak om naar het Oosten te verhuizen zeer gering zal zijn zolang er andere realistische opties zijn die uitgaan van blijven wonen en werken op de huidige locatie.

Technisch en economisch is het mogelijk om Nederland te beschermen tegen een zeespiegelstijging van minstens 10 m. Naar verwachting wordt dat niveau grofweg over 500 jaar bereikt. De kosten van blijven wonen en beschermen (ordegrootte 100-250 miljard euro) zijn een orde lager dan de kosten waaronder die van kapitaalvernietiging van verhuizen (ordegrootte 1000-2000 miljard euro).

Daar komt bij dat het, denkend binnen de grenzen van Nederland, fysiek vrijwel onmogelijk en voor het milieu rampzalig is om 10 miljoen extra mensen en de economie waarvan zij afhankelijk zijn onder te brengen op minder dan de helft van het grondgebied. Evenmin zou het denkbaar zijn dat miljoenen mensen vanuit heel laag Noordwest-Europa een veilig heenkomen zoeken in de hogere delen van Europa.

2. Beschermen open

De plannen, die zijn beschreven onder het scenario *Beschermen open*, laten de riviermondingen open. Ons inziens is dit niet realistisch bij hogere zeestanden, die bij zeespiegelstijging steeds vaker en uiteindelijk continu zullen voorkomen. Voorbeelden van dit scenario zijn plan Beaufort (figuur 6.7) en plan 2120 van WUR (figuur 3.16).

Deze strategie is houdbaar tot maximaal 1 m zeespiegelstijging. De investering is hoog en heeft nut voor slechts een beperkt aantal jaren. Het continue aanpassen van de kust aan de zeespiegel en in het binnenland aan de oplopende rivierwaterstanden en aan het steeds verder binnendringende zout en getij lijkt een onmogelijke en risicovolle opgave. Temeer omdat de rivieren als gevolg van de indringende hoge zeespiegel, hun afvoer moeilijker kwijt kunnen en daardoor aanzienlijk meer ruimte op land zullen vragen.



Figuur 6.7 Plan Beaufort

3. Beschermen gesloten

Plan Spaargaren:

Het afsluiten van de Nieuwe Waterweg is een hoofdkeuze, die consequenties heeft voor het hele watersysteem.

Zeesluizen voorkomen grootschalig zoetwaterverlies in zee en maken het mogelijk om zoet water te bufferen. Ze verplaatsen het kantelpunt tussen zee en rivieren westwaarts naar een veiliger regio met meer bergingscapaciteit.

Ze dragen bij aan verbetering van de sedimenthuishouding, een stabielere rivierpeil en doorstroming voor een gezonde delta.

Deze structurele maatregel maakt een herijking van de landelijke zoetwaterverdeling mogelijk, waarbij alle bestaande inlaatpunten voor zoet water worden veilig gesteld en er voldoende zoet water vrij komt om de verzilting via de rivieren tegen te gaan door het zout zo ver mogelijk terug te dringen (bron: ir. F. Spaargaren 2014).

Het alsmaar vooruitschuiven van deze keuze maakt dat veel waterproblemen sterk zijn toegenomen, zoals het gebrek aan zoet water en voortgaande verzilting. Zoet water dient te zijn waar het nodig is.

Naast deze voordelen kleven ook nadelen aan dit scenario. Bij uitval van de (zeer grote) pompen door mechanische storing, uitval van de elektriciteitsvoorziening of de computerbesturing zullen de rivieren tijdens hoge afvoer moeten uitwijken naar waterbuffers. Deze zijn voorhanden in de Zuidwestelijke Delta. Echter bij de hoogste afvoer (Rijn/Waal 16.000 m³/s, Maas 4.600 m³/s) zijn deze binnen 6 uur vol. Dit gegeven trekt een zware wissel op de vereiste bedrijfszekerheid van pompen, energievoorziening en (computer-)aansturing. Met name de eisen voor bedrijfszekerheid van de computersystemen wegen zwaar, denk aan cyberaanvallen. De waterveiligheid leunt dus zwaar op techniek. In die zin is hier sprake van *actieve veiligheid*.

Daarnaast biedt het plan geen oplossing voor de verzilting en toenemende grondwaterdruk vanuit zee.

Plan Bos:

Dit plan komt met een geheel andere visie op de (rivier-)waterproblematiek. Door de afvoerroutes van de grote rivieren zodanig nabij de landsgrenzen te verleggen dat het verval van de rivieren aanvankelijk klein en pas betrekkelijk dicht bij zee groter wordt, zijn pompen niet nodig. Deze nieuwe rivieren vormen een permanente open afvoer naar zee en zijn daardoor ideale migratieroutes. Overigens zullen de Maas en vooral de Waal om economische redenen goed bevaarbaar en logistiek verbonden moeten blijven.

Omdat nieuwe rivierbeddingen moeten worden aangelegd, door grotendeels hoog en deels bewoond terrein, zal deze oplossing zeer veel ruimte vragen. Het peil van de Rijn bij Lobith ligt rond 12 m NAP. Bij een aangenomen zeespiegelstijging van 5 tot 10 m wordt het verval van de Rijn erg klein met slechts enkele meters over een afstand (tot Delfzijl) van 200 km. De rivier stroomt daardoor langzaam en heeft veel breedte en dus ruimte nodig. Het is de vraag of daar maatschappelijk draagvlak voor zal zijn. Ook zijn bepaalde uitvoeringsproblemen nog niet opgelost, zoals de kruising Schelde-Rijnkanaal en de (verhoogde) Maasmonding in de Westerschelde.

Het grootste bezwaar tegen dit plan is dat de mogelijkheid van schaalbaarheid grotendeels ontbreekt. Een rivier kan niet 'steeds meer' worden omgelegd. Weliswaar kan worden gestart met het verruimen van de IJsselbedding, maar de grote stap zal toch zijn het verleggen van de Rijn en Maas. In die zin is het een alles of niets oplossing.

4. Zeewaarts

De plannen **Emergo** en **De Haakse Zeedijk**, die beide uitgaan van een gesloten tweede kustlijn en hiermee de diverse wateropgaven in samenhang oplossen, zijn vrijwel identiek. Verschillen zijn dat Emergo meer inzet op opslibbing van de lagune voordat deze wordt gesloten tot een bekken. De Haakse Zeedijk stelt stuurbare drijvende golfdempers voor ter bescherming van de nieuwe zandige kust en kijkt verder dan de grens van Nederland: het concept is uitbreidbaar voor de gehele kust van het Noordwest-Europese vasteland.

Beide plannen kenmerken zich door bekkens voor de kust waarin de rivieren vrij uitstromen en die als nationale boezem dienst doen. Hierin onderscheiden deze plannen zich van de oplossing 'beschermen gesloten'. Doordat de rivieren op 0 NAP blijven uitstromen kan de gehele waterinfrastructuur van laag Nederland (bruggen, kaden, gemalen, etc.) in stand blijven.

Het grote belang van de bekkens ligt met name in de betrouwbaarheid van het systeem. Anders dan bij 'beschermen gesloten' bieden de bekkens een lange buffertijd. In de Europese variant van de Haakse Zeedijk zijn de bekkens groot genoeg om bij stilstaande pompen een totale 16 dagen durende hoogwatergolf van alle erin uitstromende rivieren te kunnen bergen. In bijlage 10.2.2 wordt dit toegelicht. Daarmee wordt volledig *passieve veiligheid* bereikt.

Ander voordeel van de bekkens is dat ten gevolge van de bufferwerking een aanzienlijk kleinere pompcapaciteit is vereist dan bij de optie 'beschermen gesloten' (orde van grootte: 6.000 m³/s voor de Haakse Zeedijk of plan Emergo en 20.000 m³/s voor plan Spaargaren).

Naast het belang voor de wateropgaven levert de zeewaarts verschoven kustlijn een belangrijke bijdrage aan oplossingen voor tal van ruimte gerelateerde vraagstukken, zoals ecologie, woningbouw, energietransitie en zee- en luchthaveninfrastructuur.

De plannen **Boorsma** en **Deltawerken van de Toekomst** leggen wel eilanden voor de kust, om daarmee golfslag te verminderen, maar komen voor de kust niet met een afdoende oplossing voor de zeespiegelstijging.

De Noordzeedijk waarmee de gehele Noordzee en het Kanaal worden afgesloten van de oceaan (**NEED**) is interessant, maar om verschillende redenen niet realistisch:

- Het bouwen van de twee dammen in diep water duurt volgens de plannenmakers 100 jaar. Als de zeespiegel misschien harder stijgt dan nu gedacht wordt zou dat wel eens te laat kunnen zijn en loopt West-Europa alsnog onder. Of de zeespiegelstijging valt mee en na die 100 jaar zijn de dammen eigenlijk nog lang niet nodig. In beide gevallen is er sprake van een desinvestering.
- Er wordt 100 jaar lang geïnvesteerd zonder dat er in al die tijd opbrengsten in de vorm van veiligheid tegenover staan. Pas als beide dammen af zijn kan er nuttig

gebruik van gemaakt worden. Het plan is in die zin niet faseerbaar: in termen van nuttig rendement heb je alles of niets.



Figuur 6.8 De Noordzeedijk / Northern European Enclosure Dam (NEED) (bron: Map4news:NEED. NRC)

- Bestuurlijk en politiek zitten er grote risico's aan dit project. Het vraagt een zeer langdurige en solide samenwerking tussen een groot aantal landen. In de relatief nog prille EU is het de vraag of dat lukt. Ook is bekend hoe het VK staat tegenover samenwerking met de EU en de landen om de Oostzee zullen hun voorkeur uitspreken voor afsluiting van het Kattegat. Tevens kan een ernstige crisis of economische recessie in een of meer landen leiden tot vertraging of stil leggen van het plan.
- Technisch zijn er grote nadelen. Zo is de diepte voor de kust van Noorwegen over grote lengte meer dan 300 m, waar het bouwen van een dam uitermate kostbaar en technisch risicovol is.
- Een ander probleem is de benodigde pompcapaciteit om het enorme stroomgebied van een groot deel van Europa en het halve VK weg te pompen. Hier speelt mee dat er onnodig veel water wordt weggepompt, namelijk het regenwater dat valt in de Noordzee en het Kanaal zelf. Het oppervlak van de Noordzee en het Kanaal is gezamenlijk 650.000 km². Dat is 20 keer zo groot als Nederland. In een jaar valt er 77

cm regen waarvan 10% direct verdampt. Om deze regen over 650.000 km² weg te pompen is een derde meer pompen nodig die al nodig waren om het rivierwater weg te pompen. We hebben het hier niet over kleine hoeveelheden: voor de rivieren (van Schelde tot Elbe, heel oostelijk Groot-Brittannië en alle Oostzee rivieren) moet continu 50.000 m³ per seconde worden verpompt. Dat is 200 keer zo veel als het gemaal dat nu in IJmuiden staat kan verwerken en dat de grootste van Europa is.

- Om alleen de regen, die in de Noordzee en het Kanaal valt, weg te pompen zijn nog eens 60 gemalen ter grootte van IJmuiden nodig (15.000 m³/s). Stel dat de zeespiegel ooit 7 m stijgt, dan zijn er 2 centrales, elk zo groot als kerncentrale Borssele, voor nodig om alleen het regenwater uit de Noordzee te pompen. Dit is letterlijk water naar de zee dragen.

Synergie en kruisbestuiving

Hierboven zijn plannen uit de Deltares lijst (zie 6.1) voorgeselecteerd op basis van de mogelijke bijdrage die zij leveren aan de wateropgaven hoogwaterbescherming en zoetwatervoorziening. Vervolgens zijn die plannen globaal vergeleken.

Dat betekent niet dat niet geselecteerde plannen geen bijdrage kunnen leveren.

Evenmin zijn plannen die in de beoordeling niet bovenaan staan onbruikbaar.

In een vervolgstudie zou het goed zijn te kijken in hoeverre 'kruisbestuiving' tussen de diverse plannen tot verbetering kan leiden. Het kan zijn dat daardoor een integraal voorkeursplan wordt aangevuld met sectorale plannen of dat een combinatie van plannen leidt tot een bruikbaar integraal plan.

6.3.3 Voorlopige conclusies

Meebewegen komt pas in aanmerking bij een zeespiegelstijging van meer dan ca. 10 m. Tot die tijd zijn er andere oplossingen die technisch haalbaar en economisch voordeliger zijn.

Beschermen open is een strategie die niet lang houdbaar is. Deze strategie vergt grote ruimtelijke aanpassingen, bijvoorbeeld aan buitendijkse gebieden en door aanleg van brede, hoge en eventueel verplaatste rivierdijken. Na ca. 1 m zeespiegelstijging, voorzien voor eind deze eeuw, is uitwijk naar een andere strategie nodig. Dat betekent dat gedurende een eeuw onnodig beslag gelegd is op geld en ruimte.

Beschermen gesloten is een denkbare strategie voor de korte en middellange termijn. Echter hier speelt de afhankelijkheid van techniek een cruciale rol: de zeer grote pompcapaciteit en de bijbehorende energievoorziening en computeraansturing moeten altijd beschikbaar zijn. In die zin is hier sprake van *actieve waterveiligheid*. Daarnaast lost deze strategie het toenemende probleem van de verzilting vanuit de kust niet op en geeft zij geen antwoord op de niet houdbare voortzetting van zandsuppleties op de kust. Omdat pompen geplaatst moeten worden in alle oude zeegaten zullen deze blijvend zoet worden waardoor geen geleidelijk overgang van zoet naar zout plaatsvindt, wat vismigratie tussen zee en rivieren bemoeilijkt of onmogelijk maakt.

Een speciale uitvoering van Beschermen gesloten vormt het plan Bos. Dit verlegt de afvoer van Rijn en Maas naar resp. de Dollard en de Westerschelde, is onafhankelijk van pompcapaciteit en heeft natuurlijke, geleidelijke zoet-zoutovergangen. Echter op het bestaande landschap heeft dit plan een zeer grote impact waardoor de vraag gesteld kan worden of er voldoende maatschappelijk draagvlak gevonden kan worden. Daarnaast zijn er nog onopgeloste uitvoeringsproblemen zoals de kruising van de zuidwaarts te verleggen Maas met het in peil lager liggende Schelde-Rijnkanaal. Het plan leent zich niet goed voor een gefaseerde en adaptieve uitvoering.

Zeewaartse oplossing. Twee plannen (De Haakse Zeedijk en Plan Emergo) komen tot een integrale en realiseerbare oplossing die antwoord geeft op alle wateropgaven: bescherming tegen hoog water vanuit zee en vanuit de rivieren, tegengaan verzilting vanuit zee en de rivieren en de zoetwatervoorziening. De bekkens voor de kust bieden waterveiligheid waarbij de technische systemen langdurig mogen uitvallen (er wordt *passieve waterveiligheid* gegarandeerd). De plannen zijn houdbaar op lange termijn en gefaseerd en adaptief te realiseren, waardoor snel nuttig effect wordt bereikt op de gedane investering. Tevens kan op de plaatsen worden gestart waar de noodzaak het hoogst is.

Deze plannen bieden goede mogelijkheden voor natuurontwikkeling en bieden ruimte voor landbouw, economie, recreatie en nieuwe woongebieden.

De Haakse Zeedijk geeft door uitbreiding in noordelijke en zuidelijke richting oplossingen voor de waterproblemen in alle landen van het Europese continent, gelegen aan de Noordzee en de Oostzee.

Deze twee plannen scoren als enige positief op al onze beoordelingscriteria.

7 Een tweede kustlijn

7.1 Inleiding

Een belangrijke conclusie van het vorige hoofdstuk is dat een zeewaartse oplossing (=‘tweede kustlijn’) met een buffer voor rivierwater in zee een kansrijke oplossing lijkt om Nederland in de komende eeuwen te beschermen en leefbaar te houden. De gedachte achter de tweede kustlijn wordt hier toegelicht en vervolgens, als mogelijke invulling hiervan, wordt het plan ‘De Haakse Zeedijk’ en de uitgebreide variant, de Europese Zeedijk, besproken.

Nader onderzoek zal nodig zijn naar kritische factoren van De Haakse Zeedijk. In hoofdstuk 8.1 worden enkele belangrijke onderzoekspunten genoemd.

7.2 Waarom een tweede kustlijn

7.2.1 Achtergrond en filosofie

Het zijn de fysische basiselementen:

- a) mate en tempo van zeespiegelstijging
- b) hoogte en tijdsduur van te verwachten rivier hoogwatergolf
- c) mate waarin bodemdaling zich voortzet
- d) de geografische ligging van Nederland in relatie tot de aanwezigheid van grote rivieren en de ondiepe Noordzee

aangevuld met de randvoorwaarden:

- e) het is in voldoende mate waarschijnlijk dat a) t/m c) zich zullen voordoen
- f) er moet een business case zijn
- g) de oplossing moet steunen op een stevig maatschappelijk draagvlak
- h) de oplossing moet kunnen ‘meegroeien’ met de voortschrijdende problematiek

die leiden tot een keuze voor een tweede kustlijn. Deze stelling wordt hierna toegelicht.

Lange termijn horizon

De keuze voor een toekomstig verdedigingssysteem is het beste te onderbouwen als de lange termijn situatie in ogenschouw wordt genomen. De te verwachten zeespiegelstijging en toename van rivierafvoeren zijn processen met een ongekeerde omvang en impact. Daar hoort een nieuwe waterinfrastructuur bij.

Hoe deze er ook uitziet, met zekerheid zal deze een ingrijpende verandering in de bestaande structuren betekenen en grote investeringen met zich meebrengen. Voor een nieuwe infrastructuur van deze orde moet men rekenen op een levensduur van drie tot vijf eeuwen. Daarna is het tijd voor een nieuwe afweging.

Gezien de grote opgave waarvoor Nederland staat is een robuust en kostbaar verdedigingsmiddel in de eindsituatie onontkoombaar. Of dat middel nu hoge dijken langs de rivieren, eilanden voor de kust, een tweede kustlijn of een onder water gelopen Nederland is, het zal ingrijpend zijn. Ongeacht of het middel in een keer wordt gerealiseerd (wat niet waarschijnlijk is) of dat het meegroeit met de werkelijke opgave, het zal zo ingrijpend zijn dat het gedurende vele eeuwen bepalend zal zijn voor het landschap en de hoofdinfrastructuur water.

Om een antwoord te kunnen geven op de vraag welk soort beschermingsmiddel geschikt is om dit land ook op lange termijn te beschermen moeten eerst deze vragen beantwoord worden:

- hoe ver is de zeespiegel globaal gestegen over ca. 500 jaar
- hoe hoog (en hoe laag) zijn de rivierafvoeren dan
- hoe lang duurt een rivier hoogwatergolf
- hoe ver is de bodem tegen die tijd gedaald

Vragen waarvoor de wetenschap nodig is om ze te beantwoorden. Hoewel op dit gebied nog veel onderzoek nodig is, is al wel bij benadering iets te zeggen over de lange termijn situatie. Hieronder een korte opsomming:

Zeespiegelstijging

In de vorige hoofdstukken is aangegeven dat de komende eeuwen rekening gehouden moet worden met een zeespiegelstijging van 1 tot 2 m per eeuw. Op genoemde termijn van 500 jaar lijkt een stijging van 8 m realistisch. Om de maximaal te verwachten zeestand te bepalen moet hier nog ca. 6 m stormopzet bij worden opgeteld. In de eindsituatie is dus een zeepeil te verwachten van tegen de 15 m. Het gaat hierbij om het denkproces om van achteren naar voren te redeneren. In termen van planvorming is latere bijstelling omlaag dan altijd mogelijk.

Rivierafvoeren

Wat betreft de rivierafvoeren spreekt het rapport van Deltacommissie 2 over een piek Rijnaafvoer van 18.000 m³/s en een piek Maasafvoer van 4.600 m³/s in 2100, een stijging van 50% ten opzichte van 2000. Zie figuur 3.6, **Bron: Samen werken met water**, (Veerman, 2008). Naast de hoogte van de afvoer is ook de duur van een rivier hoogwatergolf van belang. In hoofdstuk 5.1 werd aangegeven dat gedurende een hoogwatergolf van 16 dagen 22,6 miljard m³ door de Nederlandse rivieren in de Noordzee wordt geloosd.

Bodemdaling

De bodemdaling zal zich voortzetten. In het westen van het land met gemiddeld een halve meter per eeuw.

Soort van bescherming

Het geheel schetst een beeld van Nederland over 500 jaar met een Noordzeepeil dat bij storm +15 m NAP kan zijn, rivieren die tijdens een 16 dagen durende hoogwatergolf 22,6 miljard m³ water afvoeren en een bodemdaling in het Westen van gemiddeld 2,5 m.

Zoals eerder aangegeven stellen we voorop dat vluchten naar hoger gelegen land in de komende 500 jaar niet realistisch is. Technisch en economisch is het mogelijk om laag Nederland te beschermen.

Vraag is nu welk soort bescherming mogelijk is om Nederland onder deze omstandigheden veiligheid te bieden.

De opgave is tweeledig:

- 1) de enorme waterhoeveelheid van de rivieren veilig door het land te loodsen, tijdelijk te bufferen en 8 m omhoog naar zee af te voeren,
- 2) het zeewater niet tot het land toe te laten.

Rivieren open houden

In een oogopslag is duidelijk dat het open houden van de rivieren geen uitkomst biedt: de zee zou toegang houden tot de rivieren waardoor alle rivierdijken tot meer dan 8 m verhoogd zouden moeten worden (huidig: maximaal 7 m). In de dichtbevolkte gebieden langs de rivieren veroorzaakt dit op veel plaatsen een aanzienlijk ruimteprobleem. Niet alleen omdat het verhogen van een dijk een evenredige voetverbreding met zich meebrengt, maar veel meer omdat rivieren over grote lengte onder invloed komen te staan van de zee en verruimd moeten worden teneinde ruimte te bieden aan het rivierwater dat moeilijk een uitweg naar zee kan vinden. Daarnaast zouden alle bestaande havens afgesloten moeten worden van open water of buitendijks herbouwd moeten worden.

Beschermen open

Ook het afsluiten van sommige rivieren, bijvoorbeeld in de omgeving van Dordrecht (het *Beschermen open* scenario), biedt geen oplossing. Het gebied waar de grote rivieren doorheen stromen zou alsnog met onrealistisch hoge rivierdijken en rivierverruiming beschermd moeten worden.

Beschermen gesloten

In dit scenario worden de rivieren afgesloten. Dat betekent dat het rivierwater opgepompt moet worden. In principe is dat mogelijk (het *Beschermen gesloten* scenario).

De 22,6 miljard m³ rivierwater van een hoogwatergolf met een maximum aanbod van 25.000 m³/s (bijlage 10.2.2., tabel 10.4) moet in geval van het *Beschermen gesloten* scenario snel worden weggepompt. Dat stelt zeer hoge eisen aan het pompsysteem. Valt een deel van de pompen uit, waardoor niet het gehele rivieraanbod afgevoerd kan worden, dan is bufferruimte nodig om dit water op te vangen. In het Noorden kan het IJsselmeer functioneren als buffer voor de IJssel. In het Zuiden is de alsdan afgesloten Westerschelde de

aangewezen buffer voor het Scheldewater. Voor de rest van de rivieren (Maas, Waal, Lek) is de enige buffermogelijke de Zuidwestelijke Delta. Deze rivieren voeren tijdens een hoogwatergolf met een piekafvoer van ruim 20.000 m³/s, een volume af van 18,7 miljard m³. De Zuidwestelijke Delta heeft een wateroppervlak van 700 km², inclusief Haringvliet, Volkerak/Zoommeer, Grevelingen en Oosterschelde. Het water in dit gebied kan stijgen tot +2,5 m. Daarna ontstaan problemen in de buitendijkse gebieden, waaronder industrie- en woongebieden. Deze waterschijf van 700 km² bevat 1,75 miljard m³ water, minder dan 10% van de hoeveelheid water die de rivieren afvoeren. Als de pompen geheel of gedeeltelijk uitvallen ontstaan dus snel alsnog overstromingen, in het ergste geval overstroomen de rivierdijken wat tot fatale calamiteiten kan leiden.

Het is overigens niet ondenkbaar dat de pompen niet functioneren. De pompcapaciteit van in principe 25.000 m³/s wordt zelden gebruikt, maar moet wel als het nodig is, volledig beschikbaar te zijn. Dat eist een zeer hoge betrouwbaarheid: de pompen moeten werken! Niet alleen de pompen, ook de energievoorziening moet werken. Het is de vraag of de beheerder van het elektriciteitsnet een voldoende netbeschikbaarheid kan garanderen. Met de sluiting van kolen- en gascentrales en de toename van het aandeel duurzame energie in het elektriciteitsnet neemt de stabiliteit van het net af: kon een gascentrale altijd opstarten, bij duurzame energie is men afhankelijk van de beschikbaarheid van zon of wind.

Om 25.000 m³/s 8 m omhoog te pompen is 2000 MW aan pompvermogen nodig. Dat zijn drie grote elektriciteitscentrales. In theorie zou men dit vermogen aan reserve opwekcapaciteit kunnen opstellen, bijvoorbeeld diesel of LPG gestookt. Echter dit vermogen is zo groot dat er eigenlijk sprake is van drie complete centrales. Bovendien is het om efficiency- en betrouwbaarheidsredenen raadzaam om deze centrales aan het net te koppelen. Dan is men terug bij af, ofwel terug bij de netbeheerder aan wie levergarantie wordt gevraagd.

Een andere reden waardoor de pompen niet zouden starten of kunnen uitvallen is een (computer)besturingsprobleem. Een cyberaanval op dit systeem waarvan de veiligheid van Nederland afhankelijk is, is niet uit te sluiten.

Het *beschermen gesloten* scenario maakt de veiligheid van Nederland dus in hoge mate afhankelijk van de juiste en tijdige werking van techniek. Dit is ongewenst gezien het hoge risico van pompuitval: de kans er op is reëel en het effect (fatale overstroming) is zeer groot.

Naast de rivieren dient ook de kust bestand te zijn tegen de omstandigheden op lange termijn: een zeepeil, inclusief stormopzet van 15 m. Misschien zou het nog mogelijk zijn om het huidig kustfundament op te hogen met 8 m of meer om zeespiegelstijging op te vangen. Maar dan blijft er een probleem met grondwaterdruk wat tot uitgebreide verzilting in het Westen zou leiden en, wat erger is, op grote schaal opbarsting zou veroorzaken, wat betekent dat zout water in grote hoeveelheden onder de duinen door het steeds lagere deel van Nederland bereikt wat daardoor overstroomt of in ieder geval grote wateroverlast ervaart.

Zeewaarts

Hiervoor werd aangegeven dat het *beschermen gesloten* scenario sterk afhankelijk is van de juiste werking van de techniek (het scenario eist zogeheten *actieve veiligheid*). Deze afhankelijkheid is ongewenst: het risico van niet tijdig of onvolledig functioneren van de pompen is groot. Een realistische oplossing die voorziet in onafhankelijk van techniek (*passieve veiligheid*) is het *zeewaartse* scenario. De ultieme oplossing hiervan zou de Europese Zeedijk (figuur 7.1 en 7.4) kunnen zijn: buffering van rivierwater in bekken in zee. In deze oplossing zijn bekken voorzien langs de kust vanaf Calais (Frankrijk) tot Esbjerg (Denemarken).



Figuur 7.1 Bekkenoppervlakten van Europese Zeedijk bij 25 km afstand tussen oude en nieuwe kust

Ten Noorden van Esbjerg, waar nauwelijks rivieren uitmonden in zee, volgt de nieuwe dijk de bestaande kust (zie figuur 7.4).

De bekken hebben een basispeil van 0 m NAP. Overtollig water wordt de eerste decennia via uitwateringssluizen op de Noordzee geloosd, later via pompen. Bij hoge rivierafvoer mag het bekkenniveau stijgen tot + 2,5 m NAP. Deze bufferfunctie van de bekken reduceert de op te stellen pompcapaciteit. De bekken zijn zo gedimensioneerd dat ze in geval van pomputval een gehele rivier hoogwatergolf van 16 dagen (figuur 5.1) kunnen bufferen. Bezien we de situatie van Nederland op lange termijn (ver na 2100), dan voeren de Bovenrijn (ofwel Waal, Lek en IJssel) en de Maas gedurende deze 16 dagen gezamenlijk 20,7 miljard m³ af naar zee. Zie ook bijlage 10.2.2. Om deze waterhoeveelheid te bufferen is bij een verondersteld maximum peil van 2,5 m in de bekken een oppervlak nodig van 8.300 km².

In figuur 7.1 is te zien dat dit oppervlak (bij een kustafstand van 25 km) voor de Nederlandse kust niet voorhanden is, ook niet met inbegrip van IJssel-/Markermeer en Waddenzee. Om voldoende berging te bereiken is extra buffering nodig in het Vlaams bekken en een deel van de Duitse Waddenzee.

Gaat men er echter van uit dat de pompen uitvallen aan het begin van de hoogwatergolf dan is het mogelijk voorafgaand voor te pompen tot een bepaald laag peil van bijvoorbeeld -1m waardoor een te benutten waterschil ontstaat van 3,5 m. In dat geval is 5.900 km² bergingsoppervlak nodig. Deze oppervlakte is voor de Nederlandse kust met inbegrip van de binnenlandse buffers juist aanwezig bij een afstand tot de nieuwe kust van 25 km. Een risico analyse is nodig om de faalkans van het pompsysteem en de gevolgen van uitval te bepalen.

Het *zeewaartse* scenario laat de waterinfrastructuur van Nederland in principe ongemoeid. Omdat de rivieren blijven uitstromen op 0 m NAP behoeven de bruggen, gemalen en sluizen niet aangepast te worden. Door de hogere piekafvoeren van de rivieren zal wel gezien moeten worden in hoeverre rivierdijken verhoogd of verruimd moeten worden. De mate waarin dit eventueel nodig zal zijn, is van een veel kleinere orde dan in het geval de rivieren in open verbinding met de zee blijven (zie hiervoor).

Tevens zal de bodemdaling doorgaan, waardoor de boezemgemalen steeds aangepast moeten worden naar een hogere opvoerhoogte. De uitvoerhoogte blijft evenwel gelijk.

Business case

De haalbaarheid van het *zeewaartse* scenario zal getoetst moeten worden op betaalbaarheid en een economische kosten/baten analyse. Kortom: een positieve businesscase zal aangetoond moeten worden.

Kort wordt hier op ingegaan:

De kosten van de Haakse Zeedijk (Walcheren tot Den Helder) zijn begroot op 92 miljard euro (bijlage 10.1.6). Aan de Europese Zeedijk is nog nauwelijks gerekend, maar stel dat het Nederlandse deel (van Cadzand tot Rottumeroog) daarvan op het dubbele van de Haakse Zeedijk uitkomt: 180 miljard euro. De kosten worden gemaakt over een periode van minimaal 100 jaar. Dat betekent een uitgave van minder dan 2 miljard per jaar. Voor Nederland is dat zeer goed betaalbaar. De baten worden helder als men zich afvraagt wat er gebeurt als de Europese Zeedijk niet wordt gerealiseerd. In de eerste tientallen jaren komt de zoetwatervoorziening onder druk te staan wat onder meer omzetverlies in de landbouwsector en de industrie betekent. Maar dit is marginaal vergeleken met de schade van een grote overstroming die vanaf 0,5 of 1 m zeespiegelstijging kan plaatsvinden. De schade aan infrastructuur, kustherstel en economische terugval zal de kosten van aanleg van de Europese Zeedijk verre overtreffen.

De kosten/baten analyse van de zeewaartse oplossing zoals hierboven bedoeld zal niet alleen op zichzelf beoordeeld moeten worden, maar ook vergeleken moeten worden met die van andere oplossingen.

Maatschappelijk draagvlak

Noodzakelijk voor realisatie van de Europese Zeedijk is draagvlak in de maatschappij. De maatschappelijke discussie moet gevoerd worden, waarbij alle raakvlakken aan de orde moeten komen. Ruimte en ecologie zullen belangrijke aspecten van de discussie zijn. In de discussie moeten waterveiligheid en zoetwatervoorziening leidend zijn en niets doen is in die zin geen optie. Belangrijk aspect in de discussie is dat de overheid de verantwoordelijkheid heeft om de burger te beschermen tegen overstroming. Van belang is dat de overheid al generaties lang het absolute vertrouwen van de burger heeft gekregen dat hij voldoende is beschermd. De burger verwacht dan ook dat de overheid met een goed plan komt om de bestaande bescherming te bestendigen. Uiteraard is 'goed' niet voor iedereen hetzelfde. Daar waar het wringt zal discussie gevoerd moeten worden.

Faseerbaarheid en adaptiviteit

Essentieel voor de realiseerbaarheid van een beschermingsplan voor de toekomst is de faseerbaarheid ervan.

Argumenten voor een gefaseerde realisatie zijn:

- De kosten worden gespreid in de tijd.
- De inzet van materieel wordt beperkt.
- Met een volgende fase kan worden gestart op locaties waar de noodzaak het grootst is (adaptiviteit).
- Er ontstaat, ten opzichte van het geheel in een keer uitvoeren, een sneller effectief rendement op de investering.
- Door eventuele nieuwe inzichten kan een volgend deel zo nodig gewijzigd worden uitgevoerd.
- Bij meevallende zeespiegelstijging kan het project vertraagd of gedeeltelijk worden uitgevoerd, wat een positief financieel effect met zich meebrengt.

Gezien de lage ligging van Nederland en de invloed van de zeespiegelstijging op de grote rivieren ligt het voor de hand de uitvoering van de Europese variant te starten bij Nederland, met name bij de monding van de Rijn en de Maas. Vervolgens is de nieuwe kustlijn door te trekken langs Vlaanderen, daarna de Waddenzee, afsluiting Elbe en ten slotte naar het Noorden richting Zweden.

De Europese Zeedijk kan goed in fasen worden gerealiseerd en is in die zin een adaptief plan, dat meegroeit met de wateropgaven. In hoofdstuk 7.2.2. wordt hier verder op ingegaan. Een faseringsvoorstel is afgebeeld in figuur 7.9.

7.2.2 Meegroeistrategie

Om fysieke, economische en strategische redenen is het verstandig de Haakse (of Europese) Zeedijk in fasen te realiseren. Daarmee wordt bereikt dat te allen tijde aan de noodzakelijke bescherming wordt voldaan. Er wordt dus voorkomen dat te weinig, maar ook dat te veel en te dure bescherming optreedt. Aan de strategie zou op drie niveaus uitvoering gegeven moeten worden:

A. Lange termijn plan

1. Stel een zeer lange termijn plan vast (de Europese Zeedijk) zonder bindende termijnen en veranker dit plan in een Europees en wettelijk kader.
2. Stel dit plan bij als daar om zwaarwegende wetenschappelijke of maatschappelijke redenen aanleiding toe is.

B. Middellange termijn plan

1. Kijk periodiek, bijvoorbeeld elke 6 jaar, 30 tot 50 jaar (de middellange termijn) vooruit en stel op basis van wetenschappelijke inzichten vast welke worst case situatie (o.a. de hoogst te verwachten zeespiegelstijging, de hoogste en laagste rivierafvoeren, de zoetwaterschaarste) zich op die termijn kan voordoen.
2. Stel voor deze middellange termijn periodiek zichtplannen op, gebaseerd op de uitkomsten van 1 en in lijn met het lange termijn plan, die bescherming of oplossingen bieden tot aan het einde van de beschouwde termijn en neem hier voorlopige besluiten over.

C. Korte termijn plannen

1. Neem periodiek (dezelfde 6 jaar als bij B) definitieve besluiten over in uitvoering te nemen plannen met een looptijd tot ongeveer 20 jaar.

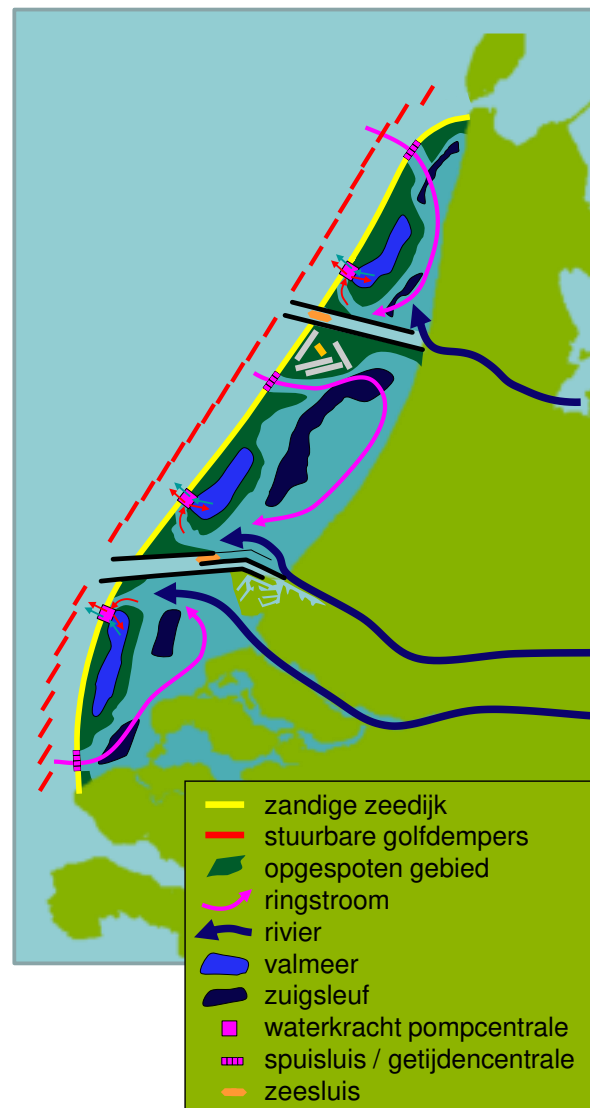
7.3 Hoofdplan

De basis van De Haakse Zeedijk werd gelegd in 2003 door Rob van den Haak Ing, (1929 – 2019).

Het plan 'De Haakse Zeedijk' (figuur 7.2, zie ook 6.2.4) streeft naar het gefaseerd creëren van een dijk voor de kust van Holland en Zeeland met drie tussenliggende bekkens waarin de rivieren vrij uitstromen. Het peil in de bekkens wordt, eerst met spuisluizen, later bij verder stijgende zeespiegel met pompen, op +/- 0 m NAP gehouden.



Rob van den Haak,
grondlegger van De Haakse Zeedijk



Figuur 7.2 Een variant van De Haakse Zeedijk

De **hoofddoelen** zijn:

- a) het beschermen van de huidige kust tegen aantasting en overstroming,
- b) het voorkomen van overstromen van de benedenloop van de rivieren,
- c) het op orde houden van de zoetwatervoorziening,
- d) het voorkomen van toenemende verzilting vanuit zee en de rivieren.

Subdoelen zijn:

- e) duurzame energieopwekking en -opslag,
- f) ruimte voor ecologie, landbouw en woningbouw
- g) ruimte voor infrastructuur zoals zeehavens en een nationale luchthaven.

7.3.1 Technisch concept

De 'Haakse Zeedijk' (figuur 7.2) is een 700 m brede in zand opgespoten duinenrij met een hoogte van + 19 m NAP met hierachter voor extra versteviging van de dijk een gemiddeld 3,5 km brede op +5m NAP opgespoten kuststrook. De ontwerpafmetingen zijn afgestemd op een zeespiegelstijging van 5 tot 8 m. Om kosten te besparen zou aanvankelijk voor een minder brede en lagere dijk, bijvoorbeeld 500 m breed en 16 m hoog, gekozen kunnen worden. De duinenrij ligt in het ontwerp op 25 km afstand van de huidige kust tussen Den Helder en Walcheren.

Ter vergelijking: de meest zeewaartse duinenrij van de huidige duinkust (de primaire zeewering) heeft een hoogte van +10 m NAP en hoger. Meer landinwaarts, in het oudere duingebied, komen door eeuwenlange opstuiving incidenteel hoogtes tot 50 m voor. De boulevards aan de Noordzeekust (o.a. Vlissingen, Scheveningen en Zandvoort) liggen op een hoogte tussen +8 en 10 m NAP.

Er is gekozen voor zand als bouw materiaal omdat dit aanzienlijk goedkoper is dan andere materialen waaronder klei. Een nadeel van zand is dat dit makkelijker doordringbaar voor water (piping) is dan klei of leem. Daarom is gekozen voor een brede dijk en mede om die reden is de zeewering voorzien van het 3,5 km brede zandlichaam. Uit eerste inschattingen blijkt dat bij die breedtes de mate van piping minimaal is, ook bij hogere zeespiegelstijgingen. Mocht uit nadere studies blijken dat zand toch minder geschikt is als materiaal voor deze zeewering, dan zal alsnog overwogen moeten worden (deels) voor klei of een ander materiaal te kiezen.

De glooiende vorm in noordzuidelijke richting van de dijk is overgenomen van de bestaande kust en is zo gekozen om een natuurlijke zandaanwas te bevorderen. Nader hydrologisch onderzoek moet de meest optimale vorm uitwijzen. Mogelijk is niet te voorkomen dat sommige delen van de dijk overmatige erosie zullen vertonen en beschermd moeten worden door harde elementen.

Door de dijk ontstaat een nieuwe kustlijn die wordt onderbroken door doorvaarten naar de Nieuwe Waterweg en het Noordzeekanaal zodat drie bekkens ontstaan: een Zuid-, Mid- en Noordbekken. Deze hebben primair als doel: het bergen van rivierwater bij hoge afvoeren tot een maximum peil van ca. + 2,5 m NAP. Het bekkenwater wordt via pompen afgevoerd naar zee (aanvankelijk via uitwateringssluizen).

Uitgangspunt bij de keuze van de afstand van de huidige naar de nieuwe kust is dat bij eventuele (gedeeltelijke) uitval van de pompen, bijvoorbeeld door energie uitval of problemen in de computerbesturing, een rivier hoogwatergolf van 16 dagen in zijn geheel opgevangen kan worden in de bekkens. Hiermee wordt waterveiligheid verkregen die onafhankelijk is van de goede werking van de techniek (passieve veiligheid). Nader onderzoek moet uitwijzen of een kleinere of grotere afstand tot een optimaler ontwerp leidt.

De doorvaarten naar de Nieuwe Waterweg en het Noordzeekanaal worden afgesloten met zeesluizen, maar de Maasvlakte en Europoort blijven zo lang mogelijk direct vanuit zee bereikbaar, afhankelijk van de snelheid van zeespiegelstijging.

De 'Haakse Zeedijk' beschermt Nederland tegen zeespiegelstijging en superstormvloed en wordt zelf beschermd door stuurbare drijvende golfdempers voor de nieuwe kust. Het

concept van drijvende golfdempers is toegelicht in figuur 7.3 en is beschreven in **Bron:** *Drijvende golfdempers, innovatief alternatief voor zandsuppletie*, (Butijn, 2014)

Als de golfdempers op afstand automatisch zo worden gestuurd dat de uiteinden op twee golftoppen rusten dempen ze de golven tot 30% à 50% van hun hoogte en beperken daarmee aantasting van duin en strand. Ze bevorderen de zandaanwas op het strand en houden zo het kustfundament in stand.



Figuur 7.3 Stimulering en sturing van zandafzetting aan de kust door kanteling van de hellingshoek door drijvende golfdempers.

Ontwerp: Rob van den Haak.

Kenmerken van de Haakse Zeedijk

- a) De bekkens in zee vormen, naast hun buffer voor rivierwater, een gebied waar een geleidelijke zoet-zout overgang wordt gecreëerd, wat de natuur een impuls geeft en de vismigratie bevordert (zie ook 7.3.2).
- b) De zoetwatervoorraad voor Nederland, die momenteel wordt gevormd door het IJsselmeer, wordt vergroot door toevoeging van de Zeeuwse wateren.
Om een dreigend tekort aan zoet water in de oostelijke delen van het land aan te vullen wordt zoet water vanuit het IJsselmeer, de IJssel en/of de bovenloop van de Rijn en de Maas via bestaande kanalen of zo nodig via persleidingen naar het oosten geleid en daar boven- of ondergronds gebufferd. Het huidige zoetwatersysteem wat met name in het Oosten is ingericht op waterafvoer zal op deze wijze worden

omgevormd naar waterafvoer en -aanvoer.

Eenzelfde omvorming geldt voor de Brabantse hoge zandgronden, die gebruik kunnen maken van de zoetwaterbuffer in de Zeeuwse wateren.

- c) De landbouw profiteert van het beschikbaar komen van meer zoet water, met name in het Zuidwesten. Initiatieven zoals zoute teelt krijgen voluit de kans zich door te ontwikkelen, met name in de gebieden waar een overgang van zoet naar zout water plaatsvindt.
- d) Toename van de bebouwing voltrekt zich momenteel met name in een strook tot 75 km achter de kust van Noord- en Zuid-Holland. In de toekomst blijft veel economische activiteit gekoppeld aan handel en de havens, dus aan de brede kuststrook. Met de realisatie van een nieuw gebied voor de kust zullen deze economische activiteiten zich gaandeweg verplaatsen in de richting van de nieuwe kust met woningbouw in hun kielzog. Dit ontlast de ruimtedruk in de huidige Randstad. Tegelijk worden rust- en natuurgebieden (groene hart, gebieden in de Zuidwestelijke Delta, Brabantse Wal) ontzien voor uitgebreide bebouwingstoename.
- e) Nieuw land in zee geeft talloze functies de mogelijkheid om mee te liften, zoals:
 - 1) Havenontwikkeling, gedeeltelijk direct aan zee, zonder tussenkomst van zeesluizen,
 - 2) Ruimte voor een nationale luchthaven, ver van de huidige kust maar met een vaste oeververbinding,
 - 3) Opwekking en opslag van duurzame energie en alle daaraan gekoppelde takken van industrie en innovatieve activiteiten, zoals bouw van offshore windparken, realisatie van CO₂- opslag en onderzoek en ontwikkeling van nieuwe vormen van energie zoals waterstofgas en osmose.
 - 4) De visserij krijgt extra kansen met de komst van brakke binnenmeren en geleidelijke zoet-zout overgangen. De nieuwe kust geeft vissershavens de kans zich hier te vestigen, direct aan zee.
 - 5) De unieke combinatie van land en water geeft ongekende ontwikkelkansen voor watersport en andere recreatievormen.
- f) De voorziene 'dijk in zee' neemt een centrale plaats in waar het gaat om de inrichting van de Noordzee. Verreweg de meeste functies die zich afspelen op de Noordzee zijn op enige wijze gekoppeld aan deze kustuitbreiding, zoals scheepvaart, visserij, energievoorziening waaronder windparken, gasvelden en mogelijk CO₂- opslag, kabels en pijpleidingen naar overzeese landen, militair oefengebied en zandwinning.
- g) Ten slotte beperkt deze visie zich niet tot Nederland, maar strekt zij zich uit tot het gehele Noordwest-Europese continent, dat met dezelfde problematiek te maken heeft als Nederland. Deze variant wordt hierna besproken.

De Europese Zeedijk

Een uitgebreide variant van het concept vormt de Europese Zeedijk (figuur 7.4).

In deze uitbreiding loopt de Haakse Zeedijk in het zuiden door tot de kliffen van Calais en in het Noorden tot het Zweeds gebergte bij Gotenburg. Deze hoog gelegen gebieden sluiten aan op het Europees middelgebergte en vormen zo een halve kom tegen de Noord- en Oostzee. Met deze 'Europese zeedijk' worden de kusten van alle landen op het Noordwest Europees continent die grenzen aan de Noordzee en van alle landen aan de Oostzee beschermd tegen de stijgende zeespiegel en hoge en lage rivierafvoeren.



Figuur 7.4 *Uitbreiding van De Haakse Zeedijk tot De Europese Zeedijk*

Bekkens als boezem

De rivieren stromen vrij uit in de bekkens: de Maas en Waal in het Zuidbekken, de Lek in het Midbekken en de IJssel gedeeltelijk, via het Noordzeekanaal, in het Noordbekken.

Elk van de bekkens zal in eerste instantie worden voorzien van spuisluizen naar zee, die gedeeltelijk ook water inlaten. Als de zeespiegelstijging dit noodzakelijk maakt worden de uitlaat spuisluizen vervangen door pompen.

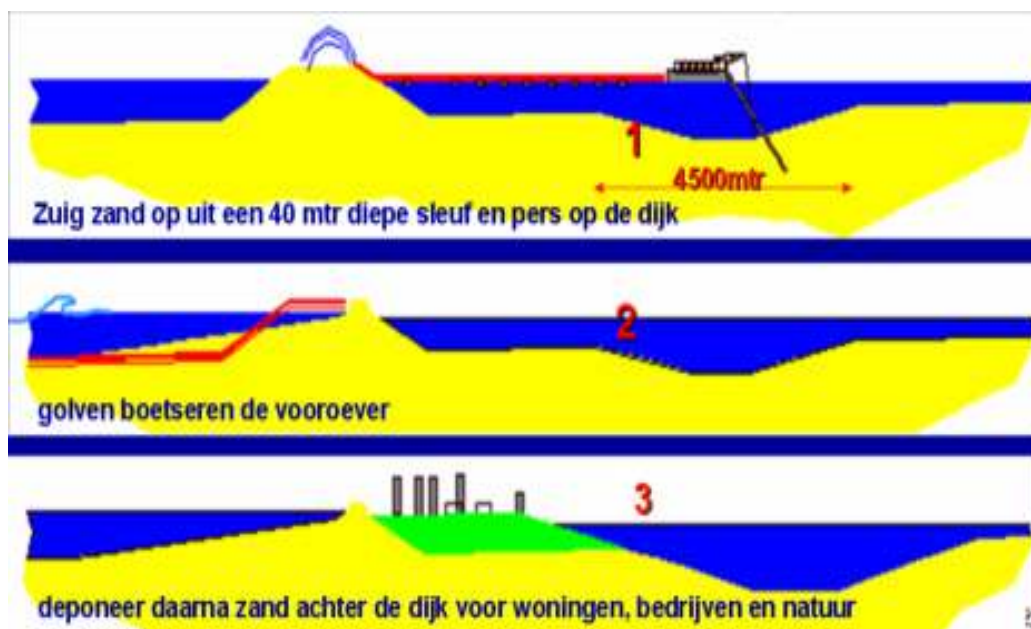
Ten behoeve van de waterkwaliteit en ecologie zorgen de spuisluizen voor doorspoeling van de bekkens met water vanuit zee en voor enige getijdenwerking in de bekkens. De pompen laten ook water in, onder opwekking van elektrische energie. Zo wordt het opgestelde pompvermogen te allen tijde benut, dus niet alleen tijdens afvoer van de hoogste rivieraanvoer, op welke situatie de pompen zijn uitgelegd.

Behalve het peil in de bekkens kan ook het waterpeil in de benedenrivieren en de afvoerverdeling tussen de rivieren onderling worden geregeld.

De rivieren, polders, buitendijkse bebouwde gebieden en het IJsselmeer kunnen de bestaande dijken en infrastructuur behouden zonder ze op te hogen. Dit garandeert waterveiligheid en het oplossen van de zoetwater- en verziltingsproblemen.

Zand uit bekkens

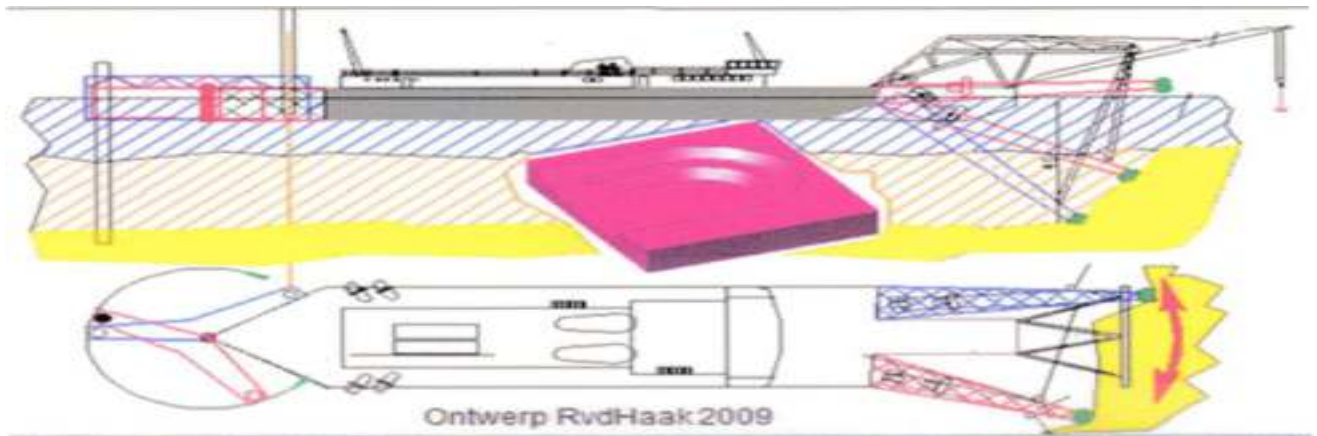
Het zand voor het opspuiten van de +19 NAP m hoge en 700 m brede nieuwe zeedijk komt uit 4,5 km brede -40 m diepe sleuven in de bekkens welke zowel op veilige afstand van het huidige strand als van de nieuwe dijk ligt (figuur 7.5). Aan de landzijde van de dijk wordt een 3,5 km breed zandpakket op +5 m NAP aangebracht voor bewoning, recreatie en natuur.



Figuur 7.5 Dijk wordt opgeworpen vanuit achterliggend bekken.

Zandzuigers

Het zand voor de dijk en het zandpakket wordt voor het overgrote deel in de bekkens met stationaire zandzuigers opgezogen. Er kan voordelig worden gewerkt met zogeheten dubbelladderzuigers (figuur 7.6). Door zand te betrekken uit de bekkens zijn de kosten per m³ aanzienlijk lager dan van zand dat met sleephopperzuigers (figuur 3.10) van ver in zee wordt aangevoerd, zoals bijvoorbeeld voor zandsuppleties.



Figuur 7.6 Dubbelladderzuiger voor 40 m diepe en efficiënte onttrekking van zand van de bodem.
Ontwerp: Rob van den Haak

7.3.2 Terugdringen verzilting en zoetwaterhuishouding

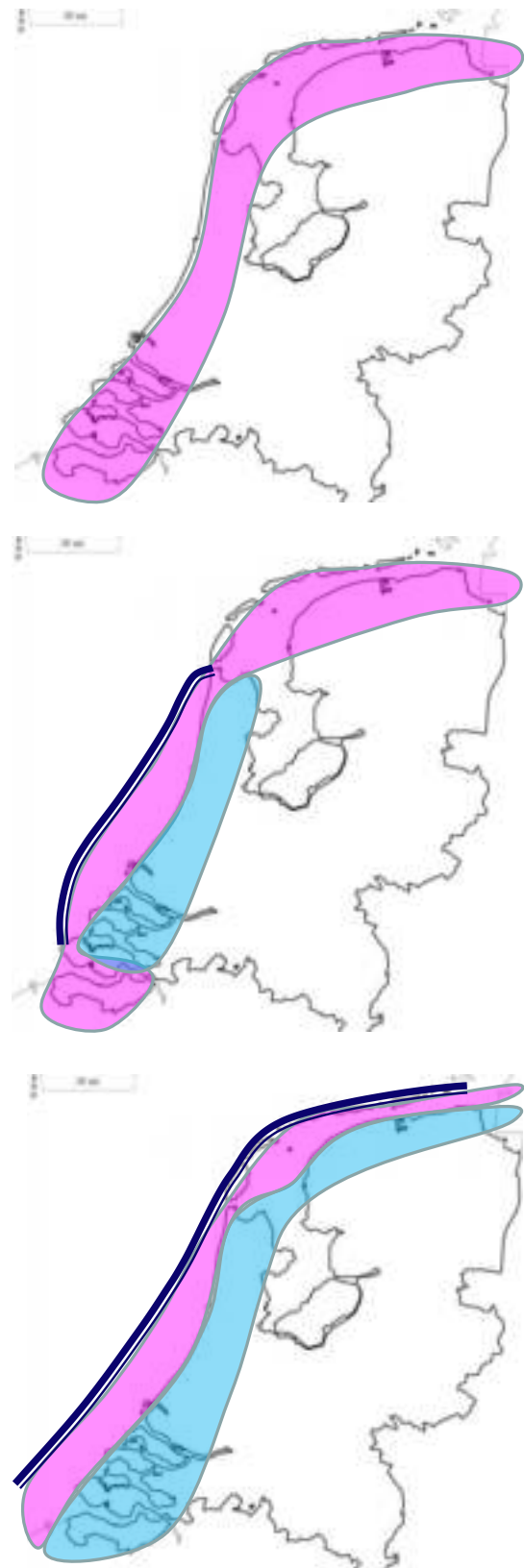
Door het ontbreken van hoge vloedstanden in de bekkens blijven de rivieren gevrijwaard van indringend zout. Dit voorkomt verzilting vanuit de rivieren en verzekert, met name bij lage rivierafvoeren, de zoetwatervoorziening. Verzilting vanuit zee wordt tegengegaan door het lagere zoutgehalte van bekkenwater dan van zeewater en doordat het peil van de bekkens op het huidige zeeniveau blijft, wat de druk op het zoete grondwater beperkt.

De bekkens maken het mogelijk om landinwaarts tot een betere zoetwaterhuishouding te komen. In het hele Westen en Noorden, maar met name in het Zuidwesten van het land bestaat er een tekort aan zoet water, vooral bij de landbouw, wat zich manifesteert in een zilte bodem (zie figuur 7.7). Een van de redenen is dat na de Deltawerken zout water werd toegelaten tot de oude zeegaten en de regio zouter dan ooit werd.

Met een tweede kustlijn wordt een geleidelijke zoet/zout overgang tussen rivier en zee gevonden in de bekkens. Dit is noodzakelijk om te voldoen aan Europese afspraken over een goede vismigratie.

Het zoete water van de rivier komt daarin uit en vermengt zich met het zoute water uit de zee tot brak water. In het plan worden alle bestaande wateren in het Westen (Plan De Haakse Zeedijk van Noord-Holland tot aan de Westerschelde en bij de Europese Zeedijk het gehele Westen en Noorden) zoet met voldoende doorspoeling vanuit de rivieren en verschuiven de zilte en brakke zones zich naar de bekkens.

Zoet water, dat nu grotendeels ongebruikt geloosd wordt via de Nieuwe Waterweg of gebruikt wordt voor het zoetspoelen van brakke sloten, kan veel effectiever gebruikt worden en zo lang vast gehouden worden als we dat wenselijk achten.



Figuur 7.7 Zeewaartse verschuiving van zilte en brakke zones (roze) door tweede kustlijn. Bodem West-Nederland wordt zoet (blauw).

Voor de nieuwe dijk en achterliggend zandpakket zijn grote hoeveelheden zand nodig, voor de hele Haakse Zeedijk geraamd op 20 miljard m³. Dit zand wordt grotendeels betrokken uit de bekkens, waardoor ter plaatse sleuven ontstaan tot plaatselijk zo'n 40 m diep.

A diagram of a cable-stayed bridge. A yellow cable runs vertically. A blue pylon is attached to the cable. A pink curved arrow points from the pylon towards the right. The background is light blue with green clouds at the bottom.

Figuur 7.8 Valmeer met gemiddeld laag peil dient als energiebuffer en als extra noodberging voor rivierwater

Een nadere (keten-)studie moet uitwijzen of valmeren in de voorgestelde combinatie met een nieuwe kustverdediging een efficiënte wijze van energieopslag zijn in vergelijking met andere opslagmethodes zoals opslag van waterstofgas.

Naar een tweede kustlijn

7.3.4 Overige functies

Naast energieopslag in valmeren leent de zeedijk met achterliggende bekkens zich uitstekend voor andere functies:

- Groene energie

- Getijdenenergie. Voor de verversing van de bekkens wordt gedurende vloed water vanuit zee ingelaten en, zolang zeespiegelstijging het toelaat, gedurende eb uitgelaten. Van deze waterbewegingen kan gebruik gemaakt worden voor het opwekken van getijdenenergie. Bij doorgaande zeespiegelstijging zal het opgewekte vermogen bij vloed (inlaat met een groter verval) toenemen ten koste van het vermogen bij eb (uitlaat met een kleiner verval). Uiteindelijk zal het bekkenwater naar zee gepompt moeten worden.
- Zoals eerder toegelicht (7.3.1. Bekkens als boezem) is het ook bij doorgaande zeespiegelstijging mogelijk energie op te wekken (en op te slaan) door gebruik te maken van de pompen, die dan dienst doen als generator. Feitelijk gebruiken we hier het bekken, naast een eventueel valmeer, als opslagmedium voor groene energie.
- Windmolens kunnen goedkoper op de dijk of in het bekken geplaatst worden dan op volle zee.
- Een tweede kustlijn biedt ruimte voor opwekking van zonne-energie, op de dijk of het achterliggend zandlichaam, dan wel in de vorm van drijvende zonnepanelen in de bekkens.
- De tweede kustlijn biedt ook kansen om zich te ontwikkelen tot centrum voor opwekking en opslag van waterstof als groene energiedrager. De nabijheid van grote windparken en mogelijk zonnepanelen is gunstig voor het efficiënt en 100% groen kunnen produceren van waterstofgas door middel van elektrolyse. Andersom is de grote afstand tot woongebieden een voordeel voor de opslag van waterstofgas in te ontwikkelen haven- en industriegebieden dicht bij zee. Ook kan men denken aan opslag van waterstofgas in nabijgelegen oude gasvelden in de Noordzee.
- Dankzij de gelijktijdige aanwezigheid van grote hoeveelheden zout en zoet water kan grootschalig groene energie opgewekt worden door middel van osmose.

- Nationale luchthaven in zee

De 5 m hoge kuststrook achter de dijk kan plaatselijk breder gemaakt worden dan 3,5 km om zo plaats te bieden aan een luchthaven. Om tijdens calamiteiten (dijkdoorbraak) dienst te kunnen blijven doen dient de luchthaven ruim boven de zeespiegel te liggen. Via een vaste oeververbinding en sneltransport is Schiphol van hieruit goed te bereiken.

- **Havens**

Bij de mondingen van de doorvaarten naar de Nieuwe Waterweg en het Noordzeekanaal en in het geval van een Europese Zeedijk bij Vlissingen, Eemshaven en Hamburg, kunnen nieuwe havens direct aan open zee ontwikkeld worden voor grote zeeschepen als belangrijke logistieke knooppunten in een mondiaal scheepvaart netwerk. Het werken met containertransferia in en aan zee en elektrische shuttle-boten naar bestaande havens is economisch rendabel en versterkt de concurrentiepositie van de logistieke regio.

- **Logistiek**

Transportverbindingen in de vorm van wegen, leidingen, rails, energiekabels en andere, kunnen met de aanleg op en in de zeedijk ingepast worden. Denk daarbij aan zwaar vervoer en vervoer van gevaarlijke stoffen vanuit en naar Calais en de overige handelsknooppunten.

- **Visserij**

De bekkens bieden talloze kansen voor de visserij, zoals initiatieven voor viskwekerijen. Maar ook is er direct aan zee ruimte voor vissershavens die gericht zijn op de open zee.

- **Ruimte voor ecologie**

Natuur, alsook recreatie en bewoning krijgen volop kansen in een geheel nieuwe omgeving van zoet, zout en brak water. De gewenste vismigratie tussen de zoete rivieren en de zoute zee vindt in of naast de bekkens plaats, zo nodig ondersteund met hulpmiddelen zoals vistrappen.

7.3.5 Gefaseerde aanleg

Het concept van De Haakse Zeedijk en de uitgebreide variant, de Europese Zeedijk, is gebaseerd op een gefaseerde, adaptieve uitvoering. Een mogelijke fasering met triggerpunten, zo nodig en zo mogelijk onder te verdelen in subfases, is de volgende:

Fase	Omschrijving	Trigger
1	Drijvende golfdempers voor kust, zeesluizen voor Nieuwe Waterweg en realisatie permanente vispassage	Kusterosie en zoetwatertekort West en Zuidwest Nederland Onvolledige doortrek vis
2	Zuidbekken	Verzilting, hoog water Rijnmond/Drechtsteden
3	Midbekken	Verzilting en hoog water Maas en Waal
4	Noordbekken	Doorgaande verzilting, hoog water rivieren, zandsuppletie niet langer houdbaar
5	Vlaams bekken en Westerschelde	Doorgaande verzilting en hoog water rivieren
6	Wadden-West, IJssel/Markermeer	Doorgaande verzilting en hoog water rivieren
7	Elbe bekken	Doorgaande verzilting en hoog water rivieren
8	Sylt bekken	Doorgaande verzilting en hoog water rivieren
9	Eems bekken	Doorgaande verzilting en hoog water rivieren
10	Wadden-Oost	Doorgaande verzilting en hoog water rivieren

Als eerste (fase 1 in figuur 7.9) en meest urgente wordt de Nieuwe Waterweg richting Rotterdam afgesloten met zeesluizen (Maasvlakte en Europoort blijven in open verbinding met zee). Afsluiting van de Nieuwe Waterweg lost de verzilting vanuit de rivieren en grotendeels de zoetwaterproblematiek op.

Parallel hieraan te nemen stappen zijn het verzoeten van de binnenwateren en het aanleggen van een vismigratieroute.

Met de realisatie van zeesluizen stoppen het grootschalig zoetwaterverlies en de verzilting van het benedenrivierengebied, is het rivierpeil beter te reguleren en komt er voldoende water beschikbaar voor het tegengaan van de verzilting van het grondwater, voor doorstroming en buffervorming.



Figuur 7.9 Voorstel fasering De Europese Zeedijk.
Te starten met fase 1: sluizen voor de Nieuwe Waterweg

Sluizen voor de Nieuwe Waterweg en een Zuidbekken (fase 1 en 2 in figuur 7.9-7.11) vormen de eerste contouren van een nieuwe waterinfrastructuur op lange termijn. De locatie van de zeesluizen bevindt zich voor de huidige kust (figuur 7.10). Deze is zo gekozen om het latere Midbekken (fase 3) te kunnen voeden met water uit de Nieuwe Waterweg.



Figuur 7.10 fase 1: Zeesluis voor de kust in verband met latere voeding van het Midbekken vanuit de Nieuwe Waterweg

Onderdeel van fase 1 is het aanbrengen van drijvende golfdempers voor de huidige kust (figuur 7.3). Deze verminderen de noodzaak van zandsuppleties. Plaatsing van golfdempers voor kustaanwas begint op de meest urgente locaties.

Fase 2 (Zuidbekken) start met fase 2a, figuur 7.11: afsluiting van het Haringvliet, uiteindelijk met pompen en voorzien van een migratierivier. Deze fase biedt tevens ruimte voor uitbreiding havengebied in open verbinding met zee.

Golfdempers, die in fase 1 voor de kust van Goeree waren aangebracht, worden verplaatst naar hun uiteindelijke positie voor de nieuwe kust.



Figuur 7.11 Fase 2a. Migratierivier in verlengde van Haringvliet. Ruimte voor havengebied direct aan zee.

8 Aanbevelingen, conclusies en randvoorwaarden

8.1 Aanbevelingen en conclusies

1. De strijd tegen het water, om onder meer de bevolking, infrastructuur, kapitaal en culturele waarden te beschermen, vergt een overkoepelende visie voor een klimaatbestendig Nederland en Europa, waarbij naast klimaat ook factoren als ruimte, energietransitie en ecologie aan de orde dienen te komen. De denkhorizon in de tijd behoort daarbij in eerste instantie ver weg gelegd te worden, zodat planvorming kan plaatsvinden vanuit de toekomst (*backcasting*). Met het oog op de houdbaarheid van de bestaande beschermingsstrategie tot 2050 wordt aanbevolen deze visievorming, alsook het verkrijgen van maatschappelijk draagvlak en de voorbereiding voor uitvoering voortvarend ter hand te nemen. Het initiatief hiertoe ligt primair bij de minister.
2. De wateropgaven van de toekomst vragen om een nieuwe hoofdinfrastructuur water: een infrastructuur die zodanig robuust is dat deze niet bij elke geringe zeespiegelstijging aan vervanging toe is, maar die in staat is het tempo van zeespiegelstijging voor te blijven.
3. Uit de analyse en weging van voorgestelde plannen (6.3) en de basisanalyse en uitwerking op hoofdlijnen van een tweede kustlijn met achterliggende bekkens (7) lijkt deze laatste naar voren te komen als kansrijk. Een tweede kustlijn is effectief, efficiënt, technisch realiseerbaar, robuust, is een totaalplan, flexibel/adaptief, houdt rekening met ruimte, natuur, landbouw en economie en is 'groen' in realisatie en toepassing. Om meer zekerheid te verkrijgen over de haalbaarheid in brede zin, niet alleen van een tweede kustlijn, maar van alle in aanmerking komende scenario's, wordt aanbevolen deze scenario's op meer detailniveau nader te onderzoeken en onderling te vergelijken.
4. Om te komen tot een optimaal voorkeursscenario wordt aanbevolen te bestuderen in hoeverre (delen van) diverse scenario's zijn toe te passen bij andere scenario's, zodat ingediende plannen in zijn geheel of gedeeltelijk ondergebracht kunnen worden in grotere, integrale plannen.
5. Voor een stevige en duurzame maatschappelijke verankering bevelen wij aan het voorkeursscenario als toekomstvaste basisinfrastructuur op te nemen in de Nederlandse wetgeving.
6. Gezien het groot aantal raakvlakken met tal van ecologische, ruimtelijk/infrastructurele, sociaal/maatschappelijke en economische vraagstukken bevelen wij aan om het nader onderzoek, zoals in 3. bedoeld, in samenhang met deze vraagstukken uit te voeren.

7. Aanbevolen wordt om, met betrekking tot een tweede kustlijn, met name De Haakse Zeedijk met een doorkijk naar De Europese Zeedijk, nader onderzoek te doen naar:
- a. Stuurbare drijvende golfdempers voor de kust, met name naar de mate van zandaanwas die hiermee kan worden bereikt.
 - b. Stroming en sedimentatie in zee en in de bekkens, voor en na afsluiting. Om onderhoudsinspanning te beperken is het van belang dat de kust aan zo min mogelijk erosie onderhevig zal zijn. Mogelijk dat een duurzaam strand (in stand gehouden door stuurbare drijvende golfdempers) hiervoor een goede garantie vormt. Overigens is, ook na uitgebreid onderzoek, niet alles te voorspellen en moet de natuur zelf ook zijn gang kunnen gaan;
 - c. De optimale grootte van de bekkens. Hoe groter het bekken, hoe groter de waterberging en hoe lager de pompcapaciteit gekozen kan worden. Een belangrijk onderdeel van dit onderzoek is een risico analyse naar de kans op uitval van het pompsysteem, inclusief de elektriciteitsvoorziening en de (computer-)besturing. Hoe groter de kans op langdurige pompuitval hoe groter de bekkens gekozen moeten worden. Een groot bekken betekent een hoge mate van (passieve) veiligheid tegen rivieroverstroming bij extreem hoge rivierafvoeren. Echter de kosten van een groot bekken zijn hoger. Anderzijds valt bij een te klein bekken het voordeel weg dat het zand voor opspuiting van de dijk goedkoop met stationaire zandzuigers uit het bekken gewonnen kan worden.
 - d. De mate van noodzakelijk geachte verversing van de bekkens en hieraan gekoppeld de grootte van de spuisluizen tussen bekkens en zee.
8. De keuze van het hoofdscenario (meebewegen, bescherming open, bescherming gesloten of zeewaarts) is van grote invloed op tal van op korte termijn te nemen ruimtelijke en infrastructurele beslissingen. Zo kan een beslissing over dijkverhoging in het benedenrivierengebied bij het Zeewaarts scenario anders uitvallen dan bij het Beschermen open scenario. Datzelfde geldt voor beslissingen over capaciteitsuitbreiding van Schiphol of uitbreiding van havencapaciteit van Rotterdam. De aanbeveling is om de eindsituatie van het hoofdscenario zo concreet mogelijk, maar niet 'in beton gegoten' vast te stellen. Zo kunnen korte en middellange termijn deelplannen, faseringen alsook tal van aanpalende ruimtelijke en infrastructurele plannen op dit eindbeeld worden afgestemd, waarbij toch nog voldoende flexibiliteit bestaat om tot de uitvoeringskeuzes te komen die het best passen bij de omstandigheden en inzichten van dat moment.
9. Ten slotte bevelen wij aan om Europa te betrekken bij de totstandkoming van de keuze van het hoofdscenario. Waarschijnlijk is dit zonder meer noodzakelijk in verband met de impact van het plan op Natura 2000-gebieden. Afstemming met de buurlanden is temeer gewenst om te vergemakkelijken dat zij later met hun kustbescherming kunnen aanhaken bij de gemaakte keuzes.

8.2 Randvoorwaarden

Welke beschermingsoplossing na nader onderzoek ook als voorkeursscenario komt bovendrijven, om tot uitvoering van dit scenario te komen moet voldaan worden aan een aantal randvoorwaarden waarvan er hier enkele genoemd worden.

8.2.1 Sturing en organisatie

Het is van belang spoedig helder in beeld te brengen wat de gevolgen kunnen zijn van de te verwachten zeespiegelstijging, zodat in de periode 2020-2025 duidelijke keuzes gemaakt kunnen worden voor de lange termijn.

Harde keuzes zijn daarbij onvermijdelijk. Geen bestaande visie, innovatie, conservatieve aanname, vermeend natuurbelang, bestemming of bescherming blijft overeind als deze conflicteert met de algemene belangen. De tijd van vrijblijvendheid en ongeremde groei is voorbij. Men zal gebonden zijn aan de eenmaal gekozen koers, ontwikkeld door een team met deskundigheid op alle gebied, uiteraard bekrachtigd in het parlement.

“Meer dan ooit hebben we sturing nodig, om het Nederland van de toekomst vorm te geven.” (citaat Marcel Bayer, hoofdredacteur ROm, 2018). Waterbouwkundige en andere specifieke kennis is bij de overheid grotendeels verdwenen. Deze kennis is onontbeerlijk om sturing te kunnen geven aan nieuwe waterbouwkundige en klimaatbestendige ontwikkelingen.

De Nationale Omgevingsvisie (NOVI) en het Kennisprogramma Zeespiegelstijging kunnen in samenhang bijdragen aan een masterplan klimaatbestendigheid, dat de overheid de kans geeft om een stevig fundament voor de toekomst te leggen. Dit fundament dient vastgelegd te worden in een wettelijk kader. Het bindt de overheid en geeft aan professionals, die nog vaak sectoraal werken, in een bredere uitvoeringsstrategie. Sturing gericht op een overeengekomen einddoel voorkomt hoofdpijndossiers in de vorm van impasses, lange procedures en eindeloze discussies. Het maakt het eenvoudiger om in de breedte (interdepartementaal en integraal) samen te werken en meekoppelkansen te benutten.

Het is een belangrijk punt van aandacht voor het Programma Noordzee en voor een vervolg of aanpassing van het OFL adviesrapport Noordzeestrategie 2030 om bij de ruimtelijke ordening op zee opties voor strategische oplossingsrichtingen open te houden in de vorm van ruimtelijke reservering en herziene zonering. Dit in overleg met de aangrenzende Noordzeekustlanden.

Vervolgens is het van groot belang om de aanpak met lef en verantwoordelijkheid uit te breiden in Europees verband en deze over een lange periode goed te organiseren en te garanderen, grotendeels onafhankelijk van politieke en economische deining.

De centrale overheid is aan zet met samenhang als vertrekpunt.

8.2.2 Draagvlak in de samenleving

Het uit te voeren plan (het voorkeursscenario) zal ingrijpend zijn in fysieke, maatschappelijke en financiële omvang en roept zeker veel maatschappelijke discussie en weerstand op. Er bestaat echter een zeer groot vertrouwen in de Nederlandse overheid als het gaat om waterveiligheid, opgebouwd door programma's als 'Nederland leeft met water', 'Ruimte voor de Rivier', het 'Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP)' en het 'Deltaprogramma'. Bovendien heeft onderzoek, waarneming en berichtgeving over klimaatverandering en zeespiegelstijging een breed publiek bereikt en is men doorgaans overtuigd van de ernst van de situatie en de overtuiging dat er forse maatregelen nodig zijn.

Het is onmogelijk bij een plan van deze grootte alle betrokken partijen tevreden te stellen. Belangengroepen zullen opstaan en proberen de plannen in hun voordeel om te buigen. Dat is hun goed recht en het is ook noodzakelijk om te luisteren naar hun argumenten en zo veel mogelijk rekening te houden met hun belangen. De besluiten zullen goedgekeurd moeten worden in het parlement dat op haar beurt beïnvloed wordt door de bevolking. Daarnaast spelen tal van maatschappelijke organisaties een rol in de totstandkoming van de besluiten.

Een breed opgezette communicatie over de gekozen koers met de hele samenleving voorafgaand aan de besluitvorming alsook erna, tijdens de voorbereiding en realisatie, is van belang om het project te doen slagen.

9 Dankzegging en bibliografie

We danken degenen die ons in het verleden geïnspireerd hebben zoals Johan van Veen, Henk Saeijs, Rob van den Haak en Frank Spaargaren en zij die vervolgens invloed hebben gehad op het tot stand komen van dit rapport, ir. W. B. P. M. Lases en dr. ir. G. E. Kamerling.

Geraadpleegde literatuur

- (EAA) European Environment Agency** European waters — Assessment of status and pressures 2018 [Rapport]. - [sl] : European Environment Agency, 2018. - p. 90. - ISSN 1977-8449. - ISBN 978-92-9213-947-6.
- Adriaanse L. en Saeijs, H.L.F.** Zandhonger in de Oosterschelde [Rapport] / Zuidwestelijke Delta. - 2009. - Verslag reflectiedag.
- Alphen J. van** De Rijnmond in de toekomst: open, dicht of afsluitbaar? [Rapport]. - [sl] : Waterdienst, Rijkswaterstaat, 2009.
- Alphen J. van et al** Waterbewustzijn en waterbewust gedrag in relatie tot waterveiligheid [Rapport]. - [sl] : Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007.
- Arnold G et al** Droge kost, innoveren op droogte en watertekort [Rapport]. - [sl] : Deltares.
- Arnold G et al** Waterhuishouding en waterverdeling in Nederland [Rapport]. - [sl] : Min. van V&W-RWS Waterdienst, 2009.
- Boo M. de** Stagnatie in de Delta [Artikel] // NRC. - 9 november 2002. - p. 35.
- Borm W. et al** De urgentie van een plan voor een klimaatbestendig Nederland [Rapport]. - [sl] : Adviesgroep Borm & Huijgens, 2018.
- Bosch A. en Ham, van der W.** Twee eeuwen Rijkswaterstaat [Boek]. - [sl] : Stichting Historie der Techniek, 1998.
- Bregman R.** Het water komt [Boek]. - [sl] : De Correspondent, 2020.
- Breman B.** Participatie in waterbeheer [Tijdschrift] // Leven met Water. - 2008.
- Brils J. [et al.]** Sediment uit balans [Rapport]. - 2017.
- Buijs S.** Laag Nederland en het water [Rapport]. - [sl] : Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014.
- Buisman J.** Duizend jaar weer, wind en water in de Lage Landen [Boek]. - [sl] : van Wijnen, 1998 - 2019. - 8.
- Buisman J.** Extreem weer! [Boek]. - [sl] : van Wijnen, 2011. - p. 576. - ISBN-13: 9789051943580.
- Bulthuis J.** Gevoelighedsanalyse Waterberging Zuidwestelijke Delta [Rapport]. - [sl] : Rijkswaterstaat, 2010.
- Butijn D. en van den Haak, R.** [Online] // Haaksezeedijk.com. - 18 februari 2014. - <https://haaksezeedijk.files.wordpress.com/2018/09/golfdempers-140218.pdf>.
- Cock Buning T. de et al** Op weg naar een Rijke Delta [Rapport]. - Utrecht : InnovatieNetwerk en Leven met Water, 2008. - p. 73. - ISBN: 978 - 90 - 5059 - 371 - 7.
- Diest P. van** Verzilting in voormalig zoet laag Nederland: uitdaging of kwakzalverij? [Tijdschrift] // H2O. - 2013.
- Eijsbergen E.** Waterveiligheid Begrippen begrijpen [Boek]. - [sl] : Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Water, 2007.
- H2O** Zeespiegelstijging, paniek leidt tot niets [Tijdschrift] // H2O Premium. - 24 November 2020.
- Haak R. van den en Stokman, P.G.** De Haakse Zeedijk, Integraal inrichtingsvoorstel [Rapport]. - 2009.
- Haasnoot M. et al** Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma [Rapport]. - Delft : Deltares, 2018.
- Haasnoot M. et al** Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging [Rapport]. - Delft : Deltares, 2019.

Ham W. van der Johan van Veen, meester van de zee [Boek]. - [sl] : Boom uitgevers Amsterdam, 2020. - p. 350. - ISBN 9789024433919.

Ham W. van en Leenders K. Polders in kaart [Boek]. - [sl] : WBooks, 2018. - ISDN: 9789462582576.

Hillebrand R. Tijd voor waterveiligheid [Rapport]. - [sl] : Raden voor de leefomgeving en infrastructuur (RLI), 2011.

IPPC SSROC final report [Rapport]. - 2019.

Kamerling G., Kamerling, F. en Weert R. van der Hoogste tijd voor het maken van een masterplan [Rapport]. - 2018. - p. 58.

Kroonenberg S. De nenselijke maat [Boek]. - [sl] : Atlas Contact, 2020. - ISBN: 9789046707401.

Lynas Mark Zes graden (Six Degrees) [Boek] / vert. Arkel Jan van. - 2020. - p. 382. - recensie in NRC, 27 november 2020.

Metzelaar W. Nederland Deltaland [Tijdschrift]. - Haarlem : Stam, 1962.

Nijpels adviescommissie Toekomst Afsluitdijk [Rapport]. - [sl] : Rijkswaterstaat, Provincies Friesland en Noord-Holland, 2008.

Nijs T. de De Delta in Wording [Boek]. - [sl] : Rijkswaterstaat Waterdienst, 2008.

Roosjendijk Cordula Waterwolven [Boek]. - [sl] : Atlas Contact, 2009. - p. 408. - 9789045004815.

Sweco Ruimte voor de Toekomst [Rapport]. - 2021.

Veerman C. et al Samen werken met water [Rapport] / Secretariaat Deltacommissie ; Deltacommissie 2. - [sl] : Staatsdrukkerij, 2008. - ISBN 978-90-9023484-7.

Waterveiligheid Expertisenetwerk Houdbaarheid Nederlandse waterveiligheidsstrategieën bij versnelde zeespiegelstijging [Rapport]. - 2020.

Zeeuw F. de, Verdaas C. en Daamen T. Na wild west en sciencefiction op zoek naar de juiste film [Rapport]. - [sl] : Stichting Kennis Gebiedsontwikkeling, TU Delft, 2020.

Daarnaast zijn we gevoed door tal van publicaties. Naast deze beperkte literatuurlijst verwijzen we u naar de hyperlinks en de diverse literatuurlijsten op onze websites.

10 Bijlage: Uitwerking De Haakse en Europese Zeedijk

10.1 Inleiding

In deze bijlage worden de basis kwantitatieve uitgangspunten en -berekeningen van De Haakse en Europese Zeedijk als invulling van een tweede kustlijn weergegeven en toegelicht. Doel is hiermee aan te tonen dat een tweede kustlijn technisch en financieel haalbaar is.

10.2 Dijken, bekkens en sluizen

Doel, kaders en hoofdrandvoorwaarden van de oplossing:

1. Het robuust maken van het Noordwest Europese vasteland tegen zeespiegelstijging en toenemende extremen in rivierafvoer.
2. Tijdshorizon: zeer lange termijn, gerelateerd aan de technische levensduur van ingrijpende infrastructurele werken: 300 tot 500 jaar.
3. Gefaseerde en adaptieve uitvoering.

De Europese Zeedijk bestaat in zijn ultieme vorm uit:

- Tweede kustlijn van Calais (Frankrijk) tot Gotenburg (Zweden)
 - Bestand tegen zeespiegelstijging van 5 tot 10 m en extra verhoging zeeniveau van 1 m door stormopzet (bovenop de huidige stormopzet van ca 4 m)
- Bekkens tussen bestaande kust en nieuwe kust;
 - Hierin stromen de rivieren vrij uit
 - Bekkens blijven op ca. 0 m NAP
 - Vanuit bekkens wordt overtollig water de Noordzee in gepompt
 - Bekkens zijn van voldoende omvang om een rivier hoogwatergolf van 16 dagen te kunnen bergen in geval van pompuitslag

10.2.1 Tweede kustlijn

Hoogte

De hoogte van de nieuwe dijk is afgeleid uit de lange termijn verwachting van de zeespiegelstijging (5 à 10 m, figuur 2.2) en de stormopzet verhoging (ca 1 m extra t.o.v. huidige stormopzet) alsmede uit de hoogte van de huidige duinkust (huidige minimumhoogte: 10 m). Hieruit volgt een kusthoogte van 16 tot 21 m (zie tabel 10.1).

Zeespiegelstijging	5 m	7,5 m	10 m
Stormopzet extra verhoging	1 m	1 m	1 m
Minimum hoogte huidige kust	10 m	10 m	10 m
Minimum hoogte nieuwe kust	16 m	18,5 m	21 m

Tabel 10.1 Hoogte nieuwe kust gerelateerd aan zeespiegelstijging en stormopzet

In het ontwerp van De Haakse Zeedijk is uitgegaan van een dijkhoogte van 19 m. Dit komt overeen met een zeespiegelstijging van 8 m.

Aannemende dat bij een zeespiegelstijging van 1 m wordt besloten tot de aanleg van een eerste fase van de nieuwe dijk, dan zou de hoogte hiervan vastgesteld kunnen worden op minimaal 12 m. Rekening houdend met reservemarge en een doorgaande zeespiegelstijging, lijkt een initiële hoogte van 15 m reëel. Latere verhoging tot een hoogte van 22 à 25 m moet mogelijk zijn, overeenkomend met een zeespiegelstijging van 10 m.

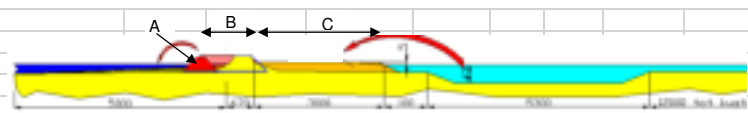
Tegelijk met de hoogte dient, bij doorgaande zeespiegelstijging, ook de breedte vergroot te worden. In de planning van de gebouwde infrastructuur dient hiermee rekening gehouden te worden.

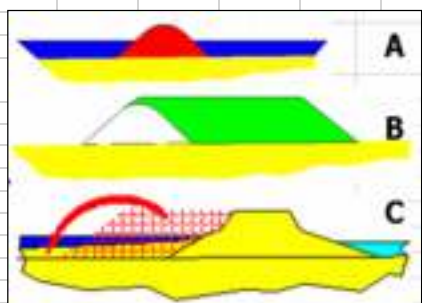
Doorsnee en zuigsleuf bekken

Het benodigde zand wordt uit het achterliggende bekken betrokken met stationaire zandzuigers, zie figuren bij tabel 10.2.

Het bouwproces start met het opspuiten van een zandrif met een totale hoogte van 33 m, waarvan 20 m onder water en een voetbreedte van 770 m. Vanwege hoge golfslag zal dit deel mogelijk met sleephopperzuigers moeten worden aangebracht. Dit rif erodeert aan de voorzijde tot strand. Aan de achterzijde wordt de dijk opgespoten met een breedte van 1200 m en totaal 39 m hoog, initieel mogelijk 35 m hoog, zie hiervoor. Ten slotte wordt aan de achterzijde een zandpakket aangebracht met een breedte van 3000/1000 m en hoogte 25 m. In totaal wordt een zanddoorsnee opgespoten van 162.000 m². Uitgaande van een zuigdiepte van 30 m zal in het bekken een zuigsleuf ontstaan van gemiddeld 5300 m breed over de volle lengte van de dijk.

Voor een dijk van Walcheren tot Den Helder (150 km) is 16,4 miljard m³ zand nodig, exclusief de dwarsdijken, havengebieden en eventuele luchthaven.

						
1 bekken	m2	Dijklengte m	totaal miljoen m3			
A Tijdelijk rif	15510	50000	776	Werp eerst het tijdelijk rif op (A). De zuigers kunnen vervolgens vanuit de luw te werken		
B Restdijk	46800	50000	2340			
C1 Landzijde bouw	75000	22000	1650	De zee boetseert de zeezijde tot helling 1:150 (tot 1500 m voor de kust) tot 1:500 (vanaf 1500 m tot 5000 m zeewaarts)		
C2 Landzijde natuur	25000	28000	700			
	162310		5466	Werp aan landzijde zand op: 3 km waar bebouwing komt (C1); 1 km overige dijk, bestemd voor natuur (C2)		
1 bekken	hoogte	breedte voet	breedte kruin	doorsnee [m2]	lengte [km]	miljoen m3
A Tijdelijk rif	33	770	170	15510	50	776
B Restdijk	39	1200		46800	50	2340
Subtotaal				62310		3116
C1 Landzijde bouw	25	3000		75000	22	1650
C2 Landzijde natuur	25	1000		25000	28	700
Totaal 1 bekken				162310		5466
3 bekkens	hoogte	breedte voet	breedte kruin	doorsnee [m2]	lengte [km]	miljoen m3
A Tijdelijk rif	33	770	170	15510	150	2327
B Restdijk	39	1200		46800	150	7020
Subtotaal				62310		9347
C1 Landzijde bouw	25	3000		75000	67	5025
C2 Landzijde natuur	25	1000		25000	83	2075
Totaal 3 bekkens				162310		16447



Tabel 10.2 Benodigde hoeveelheid zand en herkomst uit zuigsleuf in bekken.

Sluizen en sluitgaten

De bekkens worden bij aanvang voorzien van uitwateringssluizen om overtollig rivierwater te lozen, later te vervangen door pompen. Afhankelijk van de hoogte en het tempo van de zeespiegelstijging bij start aanleg van een bekken kan worden besloten direct over te gaan tot plaatsing van pompen.

Gezien het grote oppervlak van een bekken en de hoge stroomsnelheden die in het sluitgat kunnen optreden dient bijzondere aandacht besteed te worden aan de wijze waarop het bekken wordt gesloten. Er kan met voordeel gebruik worden gemaakt van de ervaringen die op dit gebied zijn opgedaan bij de realisatie van de deltawerken, met name bij de Haringvlietdam, de Grevelingendam en de Brouwersdam.

Indien in het bekken uitwateringssluizen zijn toegepast kunnen deze permanent geopend worden in de periode van het sluiten van de dijk. Deze methode werd toegepast bij het sluiten van het Haringvliet, waar de uitwateringssluizen eerst werden gebouwd en vervolgens werden geopend bij het aanleggen van de aansluitende dammen. Ook kan worden overwogen de dijk over een lange lengte gelijkmatig te sluiten middels kabelbaan en betonblokken. De Grevelingendam en de Brouwersdam werden zo gesloten. Een afgesloten Oosterschelde zou indertijd ook op deze wijze gesloten worden.

10.2.2 Bekkens

Uitgangspunt van het plan is dat de bergingscapaciteit van de bekkens (fasering zie figuur 10.1) berekend is op buffering van een gehele rivierhoogwatergolf van 16 dagen bij pompuitval. Tabellen 10.4-10.6 tonen het volume water dat de rivieren afvoeren tijdens een hoogwatergolf en het oppervlak dat nodig is om dit volume te bufferen in geval de pompen zijn uitgevallen. Aanname is dat de hoogwatergolven van de Rijn, Maas en Schelde en die van Eems, Weser en Elbe niet gelijktijdig optreden. Dit is gevalideerd aan de hand van



Figuur 10.1 Fasering Europese Zeedijk

hoogwatervoorcomens van de Nederlandse en Duitse rivieren. Tevens is aangenomen dat het laatst aan te leggen bekken (fase 10, figuur 10.1 als wisselbekken gebruikt wordt, voor buffering van de afvoer van de Nederlandse rivieren en van de Duitse rivieren, al naar gelang het optreden van piekafvoeren van beide.

Eindsituatie

Wateren	Schelde	Maas	Waal	Lek	NZ-kanaal	IJssel	Totaal Ned. en België	Eems	Weser	Elbe	Totaal Duitsland
Loost op fase:	5	2	2+3	3	4	4+6+10		7+9+10	7+9+10	7+8	
Gemiddelde afvoer [m ³ /s]	104	230	1.467	489	95	244	2.629	80	327	711	1.118
Maximum afvoer [m ³ /s]	2.080	4.600	12.000	4.000	312	2.000	24.992	1.600	3.449	7.500	12.549
Afvoer tijdens HWG [miljoen m ³]	1.887	4.173	10.886	3.629	283	1.814	22.673	1.452	3.129	6.804	11.385
Benodigd oppervlak bij 2,5 m peilstijging [km ²]	755	1.669	4.355	1.452	113	726	9.069	581	1.252	2.722	4.554
Benodigd oppervlak bij 1 m voorpompen	539	1.192	3.110	1.037	81	518	6.478	415	894	1.944	3.253

Tabel 10.3 Benodigde bergingscapaciteit (in km²) per uitmondende rivier bij pompuitval

Beschikbare en benodigde buffercapaciteit		Beschikbaar km ² bij 2,5 m peilstijging			Beschikbaar mln m ³ bij 2,5 m peilstijging en 1 m voorpompen (bij voorpompen vallen platen droog)		
Beschikbaar buffer	fase	km ²	Ned en België	Duitsland	mln m ³	Ned. en België	Duitsland
ZW-Delta	1	675	675		2.228	2.228	
Zuid-bekken	2	939	939		3.287	3.287	
Mid bekken	3	1.311	1.311		4.590	4.590	
Noordbekken	4	362	362		1.268	1.268	
Vlaams bekken en Westerschelde	5	1.925	1.925		6.650	6.650	
Wadden-West, IJssel/Markermeer	6	2.683	2.683		6.725	6.725	
Elbe bekken	7	1.878		1.878	5.635		5.635
Sylt bekken	8	1.543		1.543	4.474		4.474
Eems bekken	9	486		486	1.410		1.410
Wadden-Oost	10	463	463	463	1.342	1.342	1.342
Totaal beschikbaar per gebied			8.359	4.370		26.089	12.862
Benodigde buffer bij 2,5 m peilstijging		(km ²)	9.069	4.554			
Buffer bij 1 m voorpompen= 3,5 m peilstijging		(km ²)	6.478	3.253	(mln m ³)	22.673	11.385

Tabel 10.4 Beschikbare en benodigde buffercapaciteit in geval van pompuitval bij toelaatbare peilstijging buffer van 2,5 m en indien bovendien wordt voorgepompt met - 1m

[illegible]

Uit de tabellen is af te lezen dat de Nederlandse rivieren gedurende een hoogwatergolf 22,6 miljard m³ afvoeren. Hiervoor is een bufferoppervlak nodig van 9.000 km² bij een toelaatbare bekkenpeilverhoging van 2,5 m. Indien bij een naderende hoogwatergolf wordt voorgepompt tot -1 m NAP is een oppervlak nodig van ca. 6.500 km². Bij een dijkafstand van ca. 25 km en dubbelgebruik van bekken fase 10 is ca. 8.400 km² voor de Nederlandse en Vlaamse kust beschikbaar. De Duitse rivieren voeren gedurende een hoogwatergolf 11,4 miljard m³ water af. Hiervoor is een bufferoppervlak nodig van 4.600 km² bij een toelaatbare bekkenpeilverhoging van 2,5 m. Indien bij een naderende hoogwatergolf wordt voorgepompt tot -1 m NAP is een oppervlak nodig van ca. 3.300 km². Bij een dijk, die de duinrand van de Duitse Waddeneilanden volgt (zie o.a. figuur 10.1) en dubbelgebruik van bekken fase 10 is ca. 4.400 km² voor de Duitse en Deense kust beschikbaar.

Hoewel uiteraard preciezere berekeningen gemaakt moeten worden lijkt de gekozen positie van de tweede kustlijn (25 km voor Nederlandse kust en de duinenrij van de Waddeneilanden volgend) goed te passen bij de eis voor passieve veiligheid, namelijk om een rivierhoogwatergolf volledig te kunnen bufferen.

Maximale duur pompuitval bij ZW-Delta als noodbuffer

In tabel 10.6 is aangegeven wat de maximale duur van pompuitval mag zijn indien alleen de ZW-delta voor buffering beschikbaar zou zijn.

Er wordt wederom uitgegaan van de maatgevende rivierafvoeren vanaf 2100 en een maximale toegestane peilverhoging in de berging van 2,5 m.

Als wordt uitgegaan van de nu in gebruik zijnde waterberging (Biesbosch met benedenloop rivieren, Hollandsch Diep en Haringvliet) dan loopt de berging binnen 6 uur vol.

Wordt de noodberging uitgebreid tot de gehele Zuidwestelijke Delta (met Volkerak/Zoommeer, Grevelingen en Oosterschelde) dan vult de noodberging zich in iets minder dan 24 uur. Binnen die tijd moet uitval van pompcapaciteit dus opgelost zijn. Dit geeft het waterveiligheidsbelang aan van verdere uitbreiding van de bergingscapaciteit. NB: dit model gaat uit van een initieel peil van 0 m NAP, dus zonder voorpompen.

Afvoer hoogwatergolf		Waterbergend oppervlak:	km2	km2
			Totaal beschikbaar	Nu in gebruik
Waal	12.000	Biesbosch, benedenloop rivieren	80	80
Lek	4.000	Hollands Diep	20	20
Maas	4.600	Haringvliet	75	75
Totaal [m3/s]	20.600	Volkerak/Zoommeer	100	-
		Grevelingen	100	-
		Oosterschelde	300	-
		Totaal ZW Delta	675	175

	uitval pompen in uur, gedurende hoogwatergolf					
Benodigde berging	0	6	12	24	36	48
m3 miljoen	0	445	890	1780	2670	3560
km ²	0	178	356	712	1068	1424

Tabel 10.6
Aantal uren
toegestane
pompuitval bij
bepaald bekken
oppervlak
gedurende
hoogwatergolf

toegestane verhoging in berging [m] 2,5

10.2.3 Fasering en grootte pompcapaciteit

Hoe groter het bekken wordt gekozen of hoe meer bekken met elkaar in verbinding staan hoe kleiner de pompcapaciteit kan zijn.

In tabel 10.7 is dit weergegeven.

In groen, de fases 1 t/m 6 van de Europese Zeedijk. Cumulatief is in fase 6 bijna 7.900 km² buffer beschikbaar. Via deze buffer wordt het water van de Waal, Lek, Maas, Schelde en IJssel gebufferd en afgevoerd naar zee.

Er wordt van uitgegaan dat een hoogwatergolf een aantal dagen van tevoren is te voorzien en dat kan worden voorgepompt tot een initieel bekkenpeil van -1 m NAP. Voor het bepalen van de pompcapaciteit is er vervolgens van uitgegaan dat gedurende de hoogwatergolf het bekkenpeil mag stijgen tot + 2,5 m NAP.

In fase 1 is de kleinste buffer beschikbaar (Zeeuwse wateren, 675 km²). Ondanks dat de toestroom hierbij ook kleiner is (IJssel en Lek voeden deze buffer niet), is de theoretisch benodigde pompcapaciteit in dit geval, door de kleine buffer, het grootst: 11.900 m³/s. Dat deze waarde theoretisch is komt door de omstandigheid dat de zeespiegel gedurende deze fase waarschijnlijk nog laag genoeg is om vrij op zee te kunnen spuien. In de tabel is er van uitgegaan dat vanaf fase 4 daadwerkelijk pompen nodig zijn. Het cumulatief bekkenoppervlak is dan zo groot dat de totaal noodzakelijke pompcapaciteit niet hoger is dan 5.600 m³/s. Een grote buffer vereist dus een lage pompcapaciteit. Echter omdat fase 5 (Vlaams bekken) en fase 6 (West-Wadden en IJsselmeer) na fase 4 worden gebouwd en om redenen van reservecapaciteit wordt voorgesteld deze bekken ieder te voorzien van een pompcapaciteit van 1000 m³/s. Voor fase 1 t/m 6 is dus een pompcapaciteit 7.600 m³/s voorzien.

	Rijngebied						Elbegebied				
	Zeeuwse wateren Zuid bekken Middel bekken Noordbekken Vlaams bekken en Westersch West wadden bekken en IJsselmeer						Elbe bekken Sylt bekken Eems bekken Oostwadden bekken				Totaal
Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
buffer oppervlakte (km ²)	675	1.614	2.926	3.288	5.213	7.896	1.878	3.421	3.907	4.370	12.267
buffercapaciteit (mln m ³)	2.228	5.514	10.104	11.372	18.022	24.747	5.635	10.109	11.519	12.862	37.609
piek hoogwatergolf instromende rivieren (m ³ /s)	17.383	17.383	17.383	20.912	22.992	24.992	10.949	10.949	12.549	12.549	37.541
oppervlakte/piek (km ² /m ³ /s)	0,039	0,093	0,168	0,157	0,227	0,316	0,172	0,312	0,311	0,348	0,327
benodigde pompcapaciteit om hoogwatergolf veilig (peil max 2,5 m; voorpompen -1m) weg te pompen(m ³ /s)	11.900	7.500	4.200	5.600	2.100	1	2.400	1	1	1	1
# dagen vullen bij uitval pompen vanaf dag 1	2	5	9	8	13	16	8	16	16	16	16
# dagen totdat max niveau wordt bereikt bij uitval pompen op eerste dag van piekafvoer	2	4	7	6	10	14	7	14	14	14	14
benodigde pompcapaciteit om gemiddelde rivierafvoer te verwerken (m ³ /s)	2.186	2.186	2.186	2.224	2.328	2.572	1.038	1.038	1.118	1.118	3.690
totaal benodigde pompcapaciteit (m ³ /s)	11.900	7.500	4.200	5.600	2.328	2.572	2.400	1.038	1.118	1.118	3.690
	1)	1)	1)				1)				

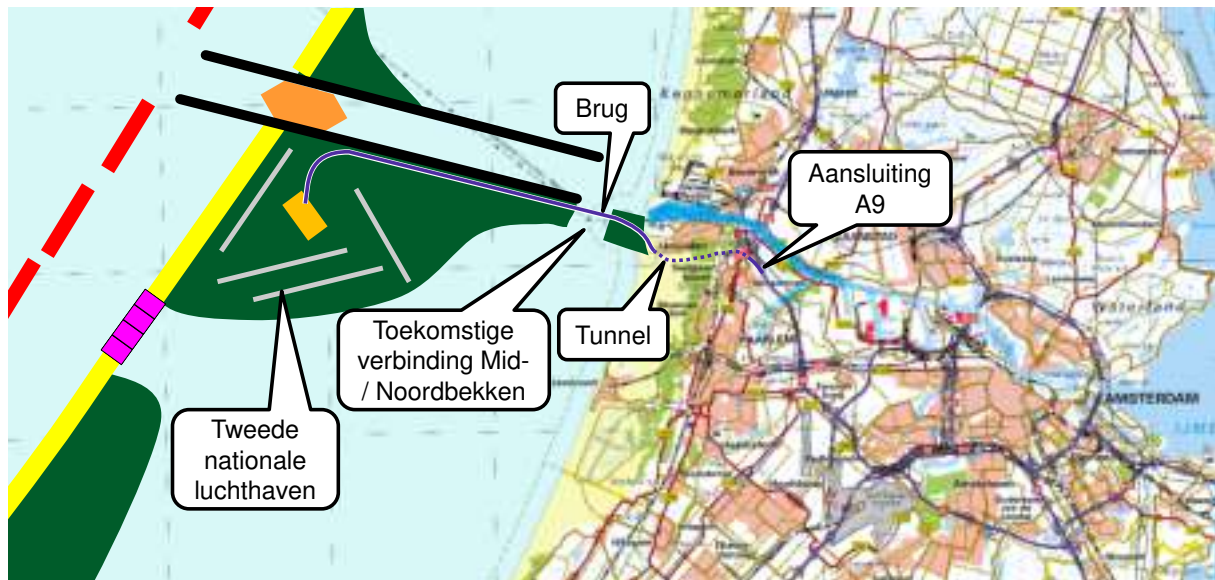
1) Spuien met eb nog mogelijk omdat uitvoering waarschijnlijk plaats vindt voordat zeespiegel 2,5 m is gestegen.
Deze pompcapaciteiten zijn dus theoretisch. Conclusie: in Rijngebied is capaciteit nodig van 5.600 m³/s en in Elbe gebied 1.038 m³/s

Tabel 10.7 Benodigde pompcapaciteit als functie van totaal bekkenoppervlak voor wegpompen van rivier hoogwatergolf bij voorpompen tot -1m en maximum bekkenhoogte van 2,5 m.

Hoogwatergolf Nederlandse rivieren (groen: Bovenrijn, Maas, Schelde) wordt verondersteld te worden opgevangen door buffers van fase 1 t/m 6. Hoogwatergolf Duitse rivieren (blauw: Eems, Weser en Elbe) wordt verondersteld te worden opgevangen door bekken van fase 7 t/m 10.

10.2.4 Optie: tweede nationale luchthaven

Realisatie van een tweede kustlijn biedt de mogelijkheid voor synergie met een tweede nationale luchthaven. Deze kan achter de kustlijn worden aangelegd zodat geen speciale maatregelen voor bescherming tegen de zee nodig zijn. Ook kan bespaard worden op de aanleg van de toegangsweg en eventuele snelle treinverbinding door deze relatief eenvoudig te combineren met opgespoten land langs de noordelijke dwarsdijk van het Midbekken, zie figuur 10.2. Hoge investeringen in lange bruggen of tunnels, zoals wel voorgesteld voor een zelfstandig te realiseren luchthaven in zee, zijn niet nodig.



Figuur 10.2 Voorstel voor realisatie tweede nationale luchthaven met relatief eenvoudige aansluiting autosnelweg op bestaande infrastructuur

Een nieuwe autosnelweg takt af vanaf het knooppunt A9/A22 en loopt via een tunnel onder het noordelijk deel van de Kennemerduinen en een brug over de toekomstige waterverbinding tussen Mid- en Noordbekken langs de noordelijke dwarsdijk van het Midbekken naar de nieuw geprojecteerde luchthaven, zo ver mogelijk tegen de nieuwe kust. Parallel aan de snelweg kan een snelle treinverbinding naar Schiphol worden gerealiseerd.

De tweede nationale luchthaven is van vitaal belang voor Nederland. Zo dicht bij zee is het van groot belang dat deze ruim boven zeeniveau komt te liggen in plaats van op de voormalige zeebodem. Het bekkenpeil kan bij zeer hoge rivierafvoeren tot +2,5 m NAP stijgen. Rekening houdend met calamiteiten en een reeds voorzien zandpakket achter de kust van + 5 m NAP wordt voorgesteld de luchthaven op +7,5 à 10 m NAP te projecteren.

10.2.5 Duurzame energie

In hoofdstuk 7.3.3. en 7.3.4. zijn getijdenenergie en opslag van groene energie kwalitatief besproken:

- Opslag groene energie
 - in valmeren, hoofdstuk 7.3.3.
 - in bekkens, hoofdstuk 7.3.4.
- Getijdenenergie, hoofdstuk 7.3.4.

Hierna worden deze onderwerpen kwantitatief nader belicht.

Opslag duurzame energie in valmeren

In het plan De Haakse Zeedijk zijn als optie drie valmeren opgenomen. Zie figuren 7.2 en 7.8. Met een toenemend aandeel van wind- en zonne-energie in de landelijke elektriciteitsvoorziening wordt de noodzaak van energieopslag steeds groter. Onderstaande tabel toont de energiecapaciteit (in GJoules), het waterdebiet (in m³/s) en de pomp- en generatorvermogens (in MW) voor drie groottes van valmeren (25, 50 en 100 km²) en voor verschillende periodes van vullen of legen van het valmeer (12, 24 en 48 uur).

Voorbeeld: Indien De Haakse Zeedijk wordt voorzien van 3 valmeren van elk 100 km² waarvan het peil wordt gevarieerd tussen -5 en -15 m en het ontwerp gaat uit van een buffertijd van 48 uur, dan kan gedurende die tijd $3 \times 510 = 1530$ MW worden opgewekt. Het totale debiet bedraagt dan $3 \times 5.787 = 17.361$ m³/s. NB: dit is (bewust) meer dan de maximum benodigde pompcapaciteit van 5.600 m³/s die nodig is voor de rivierafvoer (bijlage 10.2.3.)

oppervlakte valmeer	km2	25								
hoogste peil valmeer	m		-5		-10			-10		
laagste peil valmeer	m		-15		-20			-30		
energie capaciteit	GJ		24.500		36.750			98.000		
tijd vullen of legen	uur	12	24	48	12	24	48	12	24	48
debiet	m3/s	5.787	2.894	1.447	5.787	2.894	1.447	11.574	5.787	2.894
pompvermogen	MW	652	326	163	978	489	244	2.607	1.304	652
generator vermogen	MW	510	255	128	766	383	191	2.042	1.021	510
oppervlakte valmeer	km2	50								
hoogste peil valmeer	m		-5		-10			-10		
laagste peil valmeer	m		-15		-20			-30		
energie capaciteit	GJ		49.000		73.500			196.000		
tijd vullen of legen	uur	12	24	48	12	24	48	12	24	48
debiet	m3/s	11.574	5.787	2.894	11.574	5.787	2.894	23.148	11.574	5.787
pompvermogen	MW	1.304	652	326	1.956	978	489	5.215	2.607	1.304
generator vermogen	MW	1.021	510	255	1.531	766	383	4.083	2.042	1.021
oppervlakte valmeer	km2	100								
hoogste peil valmeer	m		-5		-10			-10		
laagste peil valmeer	m		-15		-20			-30		
energie capaciteit	GJ		98.000		147.000			392.000		
tijd vullen of legen	uur	12	24	48	12	24	48	12	24	48
debiet	m3/s	23.148	11.574	5.787	23.148	11.574	5.787	46.296	23.148	11.574
pompvermogen	MW	2.607	1.304	652	3.911	1.956	978	10.430	5.215	2.607
generator vermogen	MW	2.042	1.021	510	3.063	1.531	766	8.167	4.083	2.042

Tabel 10.8 Kentallen van valmeren met drie verschillende oppervlaktes

Opslag duurzame energie in bekkens

Zodra de zeespiegel met meer dan ca. 1 m is gestegen dienen de bekkens te worden voorzien van pompen. De capaciteit van deze pompen is afgestemd op de hoogst te verwachten rivierafvoer. Aangezien deze situatie zelden voorkomt en de pompen dus grotendeels onbenut zouden blijven is het interessant te kijken hoe de opgestelde pompcapaciteit optimaler gebruikt kan worden. Een mogelijkheid is het bekken in te zetten als energiebuffer waarbij de pompen tevens dienst doen als generator (Waterkracht pomp centrale, WKPC).

De werking is als volgt:

Gedurende perioden van veel wind of zon wordt zoveel mogelijk water uit de bekkens naar zee gepompt. Dat wil zeggen: de rivierafvoer wordt aangevuld met bekkenwater tot de maximale pompcapaciteit. Zodoende wordt de pompcapaciteit maximaal benut. In tabel 10.9 is af te lezen bij welke rivierafvoer hoeveel, hoe lang en tot welke peildaling op deze wijze overtollige energie is op te slaan. In perioden van weinig wind of zonne-energie wordt zeewater via de WKPC in het bekken gelaten. De pompen kunnen hierbij continu en maximaal belast worden. Tabel 10.9 laat ook hier zien hoe lang bij welke rivieraanvoer en tot welke peilstijging deze maximale energie geleverd kan worden. De tabel gaat uit van de vaste pompcapaciteit in de bekkens van fase 1 t/m 6 die in bijlage 10.2.3. is vastgesteld op 7.600 m³/s.

Bekkens als energiebuffer					
Vaste pompcapaciteit in Vlaams/Nederlandse bekkens, fase 1 t/m 6:			7.600	m ³ /s	
Oppervlakte fase 1 t/m 6:			7.896	km ²	
Gemiddelde rivierafvoer Rijn, Maas, Schelde:			2.572	m ³ /s	
Maximaal vermogen					
		rendement:	pomp	generator	
zeespiegelstijging:	1 m		86	67	MW
zeespiegelstijging:	2 m		171	134	MW
zeespiegelstijging:	8 m		685	536	MW
Rivierafvoer					
			Hoog	Gemidd	Laag
		m ³ /s	7.000	2.572	750
Peilstijging bekkens					
Waterinlaat van zee	m ³ /s	7.600	7.600	7.600	
Riviertoevoer	m ³ /s	7.000	2.572	750	
Netto bekkens IN	m ³ /s	14.600	10.172	8.350	
Oppervlakte	km ²	7.896	7.896	7.896	
Stijgsnelheid	m/h	0,0067	0,0046	0,0038	
Peildaling bekkens					
Waterlozing naar zee	m ³ /s	7.600	7.600	7.600	
Riviertoevoer	m ³ /s	7.000	2.572	750	
Netto bekkens UIT	m ³ /s	600	5.028	6.850	
Oppervlakte	km ²	7.896	7.896	7.896	
Daalsnelheid	m/h	0,0003	0,0023	0,0031	
Cyclus	300 uur				
Stijgtijd (energie onttrekken)	uur	11,8	99,2	135,2	
Daaltijd (energie bufferen)	uur	288,2	200,8	164,8	
Peilverschil bekkens	m	0,079	0,460	0,515	

Tabel 10.9 *Bekkens voor de kust, niet alleen voor buffering van rivierwater, maar ook als energiebuffer.*

Toelichting/voorbeeld:

Bij realisatie van fase 1 t/m 6 en een zeespiegelstijging van 2 m kunnen de gezamenlijke pompen/ generatoren (WKPC's) maximaal 134 MW elektrische energie aan het net leveren. Bij een gemiddelde rivierafvoer van 2.572 m³/s (middelste kolom) en een toegestane peilvariatie in de bekkens van 46 cm kan de energiebuffer deze 134 MW gedurende maximaal 99,2 uur aan het net leveren. Er moet vervolgens gedurende 200 uur 171 MW aan de pompen worden geleverd om de energiebuffer weer te vullen. Gedurende deze tijd wordt tevens het gebufferde rivierwater afgevoerd. Bij een lagere rivierafvoer (rechter kolom) kan nog steeds maximaal 134 MW worden geleverd (bij 2 m zeespiegelstijging), echter gedurende een langere tijd continu: 135 uur bij een rivierafvoer van 750 m³/s. Bij zeer hoge rivierafvoer (>7.600 m³/s) moeten de pompen maximaal ingezet worden voor rivierafvoer en is tijdelijk geen energiebuffering mogelijk.

Getijdenenergie

Zo lang de zee niet al te veel is gestegen (maximaal 75 cm, dus vóór ca. 2080) en zodra de eerste bekken(s) zijn gerealiseerd (na 2060?) is elektriciteitsopwekking door getijdenenergie in principe mogelijk. Bij vloed stroomt water vanuit zee via turbines het bekken in; bij eb gebeurt hetzelfde in tegenovergestelde richting. Omdat het niveauverschil tussen zee en bekken gering is, is het op te wekken vermogen beperkt tot max. 50 MW, zie tabel 10.10. Als zeer grote turbines (waterverplaatsing > 40.000 m³/s) worden toegepast zijn grotere vermogens (> 200 MW) mogelijk, echter dat soort turbines zijn technisch niet te construeren zodat veel kleine turbines parallel geplaatst moeten worden, wat tot hoge kosten leidt.

getijdenenergie	grootte turbine	
	bestaand	groot
Getij amplitude	1,0	1,0 m
Gemiddelde getij hoogte	0,63	0,63 m
Duur van 1 getijcyclus	12	12 uur
Pompdebiet	7.600	40.000 m ³ /s
Oppervlakte bekken (fase 1 t/m 6)	7.896	7.896 km ²
gemiddelde rivierafvoer (Rijn, Maas, Schelde)	2.572	2.572 m ³ /s
Vloed, bekken vullen:		
$Q_{in} = Q_{turbine} + Q_{rivier}$		m ³ /s
$Q_{turbine}$	7.600	40.000 m ³ /s
Q_{rivier}	2.572	2.572 m ³ /s
$Q_{netto\ in}$	10.172	42.572 m ³ /s
Eb, bekken legen:		
$Q_{uit} = Q_{turbine} - Q_{rivier}$		
$Q_{turbine}$	7.600	40.000 m ³ /s
Q_{rivier}	2.572	2.572 m ³ /s
$Q_{netto\ uit}$	5.028	37.428 m ³ /s
Peilschommeling bekken klein:	0,014	0,102 m/6 uur
Lozen bij eb gedurende maximaal	6	6 uur
$Q_{turbine}$	7.600	40.000 m ³ /s
g	9,8	9,8 m/s ²
$P = Qgh$	47	247 MW
Volume in = Volume uit; daarom bij vloed $Q_{turbine}$ of vultijd beperkt		
Ga uit van beperking op $Q_{turbine}$, dan geldt:		
Vullen bij vloed gedurende	6	6 uur
$Q_{turbine} = Q_{netto\ uit} - Q_{rivier}$		
$Q_{netto\ uit}$	5.028	37.428 m ³ /s
Q_{rivier}	2.572	2.572 m ³ /s
$Q_{turbine}$	2.456	34.856 m ³ /s
g	9,8	9,8 m/s ²
$P = Qgh$	15	215 MW

Tabel 10.10

Getijdenenergie in combinatie met bekkens.

Hier wordt uitgegaan van 2 turbinegroottes

- 7.600 m³/s; dit zijn de pompen die later dienen om rivierwater weg te pompen en nu reeds ingezet worden als WKPC voor opwekking van getijdenenergie.
- 40.000 m³/s; deze WKPC's zijn primair bedoeld om grote vermogens op te wekken. Het is de vraag of deze machines vanwege de grootte in aantal en vermogen nog ingezet kunnen worden nadat de zeespiegel met meer dan 75 cm is gestegen. Gezien die onzekerheid en de korte tijd van slechts enige tientallen jaren dat dit systeem is te gebruiken, is grootschalige getijden-energie waarschijnlijk niet rendabel.

10.2.6 Kostenbegroting

Investerings

De kosten van De Haakse Zeedijk zijn in tabel 10.11 samengevat. Het plan omvat sluizen voor Nieuwe Waterweg en een zandige zeedijk van West-Kapelle tot Den Helder met drie achterliggende bekkens. De begroting is inclusief BTW en 10% onvoorzien, maar exclusief grondverkoop, aanleg vliegveld, industriegebied, aanpassingen aan rivieren, Waddenzee of Westerschelde en exclusief valmeren of andere vormen van duurzame energieopwekking of -opslag.

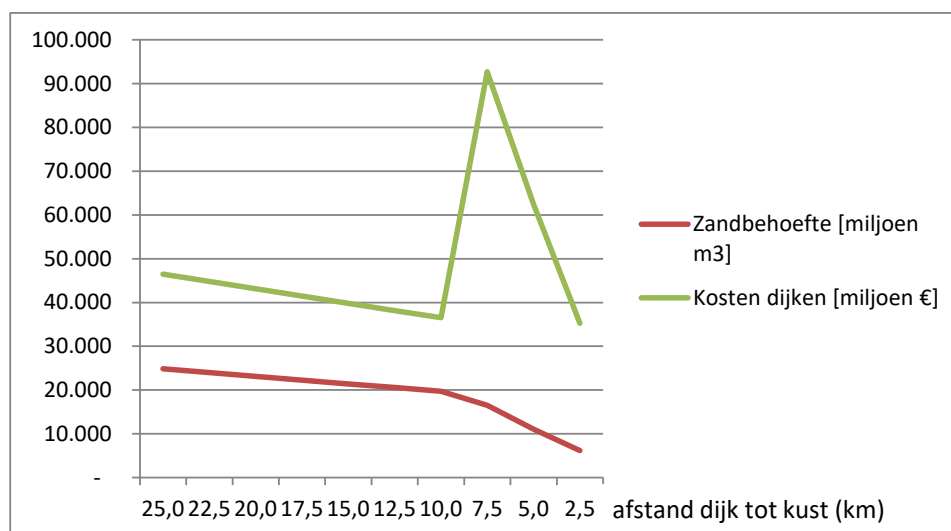
in miljard euro (prijspeil 2020)	Fase 1	Fase 2	Fase 3	fase 4	Totaal
	Sluizen NWW	Z-bekken	M-bekken	N-bekken	
Aanleg dijken (incl. dijkbekleding)					
zeewering		12,9	17,2	12,9	42,9
dwarsdijken	2,0		1,0	1,0	4,0
havenpielen	1,0			1,0	1,9
Totaal dijken	3,0	12,9	18,2	14,8	48,8
Scheepvaartsluizen	3,6	0,2	0,2	3,6	7,6
Uitwateringssluizen en pompen	1,0	2,6	3,4	2,6	9,6
Wegen, bruggen, aansluitingen	0,4	1,3	1,3	1,3	4,5
Engineering, projectmanagement	0,2	0,7	0,7	0,7	2,2
Totaal overige	5,2	4,8	5,7	8,2	23,9
Onvoorzien 10%	0,5	0,5	0,6	0,8	2,4
Totaal excl. BTW	8,7	18,2	24,4	23,8	75,1
BTW 21%	1,8	3,8	5,1	5,0	15,8
Investerings	11	22	30	29	91

Tabel 10.11 Investeringsbegroting De Haakse Zeedijk

De grootste kostenpost (48,8 miljard euro) is die van de dijk aanleg. In de zeewering, achterliggend zandpakket en dwarsdijken is bijna 25 miljard m³ zand verwerkt. Er is gerekend met een zandprijs van €1,75 per m³ wat aanmerkelijk lager is dan de € 5,- tot € 5,50 die voor bijvoorbeeld zandsuppleties gebruikelijk is. Om het zand goedkoop te winnen wordt dit niet aangevoerd met heen en weer varende sleephopperzuigers, zoals bij zandsuppleties, maar door middel van 15 zandzuigers die het zand betrekken uit het bekken. Daardoor kan continu zand worden geproduceerd wat de kostprijs beperkt. Om de genoemde zandprijs te bepalen is gerekend met 42 werkbare weken per jaar, 150 effectieve werkuren per week, een investering van € 60 miljoen per zandzuiger met een totaal zuig- en perspompvermogen van 8.000 kW en een productie van 4.600 m³ per draaiuur. Deze kentallen zijn op basis van bestaande enkelladder zandzuigers; indien dubbelladder zandzuigers worden ontwikkeld en toegepast, zoals beschreven in hoofdstuk 7.3.1. en figuur 7.6, kan de zandprijs nog verder dalen.

De totale investering wordt mede bepaald door de diepte van de zee ter plaatse van de nieuwe dijk. In bijlage 10.2.2. is de afstand tot de nieuwe dijk (25 km) toegelicht: het bieden van voldoende bekkengrootte om een rivier hoogwatergolf te kunnen opvangen bij uitval van pompen.

Indien een risico afweging wordt gemaakt van het kleiner en goedkoper maken van de bekkens tegen de kans van pompuitsval en de kosten daarvan, dan moet meegenomen worden dat bij een smaller bekken dan 10 km geen zandproductie uit het bekken meer mogelijk is. De zuigsleuf zou dan de oevers te dicht naderen waardoor afschuiving ontstaat. Bij een kleinere dijkafstand dan 10 km zal zand met dure sleephoppers aangevoerd moeten worden, waardoor de investering aanzienlijk toeneemt. Figuur 10.3 toont de realisatiekosten en zandbehoefte als functie van de afstand kust tot nieuwe dijk.



Figuur 10.3
Zandbehoefte en investering voor zandige zeevering. Beide dalen bij afname afstand tot de kust. Beneden 10 km stijgt de investering aanvankelijk omdat in dat gebied met sleepopperzuigers gewerkt moet worden.

Uitgavenkalender

Een planning van De Haakse Zeedijk is moeilijk te geven, zeker op langere termijn. De mate en het tempo van zeespiegelstijging bepalen in hoge mate het tempo van de uitgaven. Toch kan wel iets gezegd worden. Zo zal fase 1, de realisatie van sluizen voor de Nieuwe Waterweg uiterlijk in 2050 (nader te bepalen) moeten starten om de zoetwatervoorziening zeker te stellen. Dit deelproject neemt ca. 10 jaar bouwtijd in beslag (de voorbereiding, vergunningverlening, etc. start 10 jaar eerder; de kosten hiervan zijn relatief beperkt en zijn meegenomen in de investeringskosten).

De bouw van de bekkens vindt achtereenvolgens plaats en duurt 15 tot 20 jaar per bekken, afhankelijk van het tempo van zeespiegelstijging. In de uitgavenkalender (tabel 10.12) is uitgegaan van een aaneengesloten uitvoeringsplan. De jaarlijkse uitgaven bedragen 1,1 tot 1,5 miljard. Dit ligt in lijn met het huidige Deltaprogramma.

Tijdvak	2050-2060	2060-2075	2075-2095	2095-2115
Fase	Fase 1	Fase 2	Fase 3	fase 4
	Sluizen NWW	Z-bekken	M-bekken	N-bekken
Bouwtijd (jaren)	10	15	20	20
Investering (€ miljard)	11	22	30	29
Investering (€ miljard per jaar)	1,1	1,5	1,5	1,4

Tabel 10.12 Uitgavenkalender bij aangenomen aaneengesloten uitvoeringsplan