



Parlement en Wetenschap

Factsheet INNOVATIES BIJ DIJKVERSTERKING

Deze factsheet is tot stand gekomen in het kader van de samenwerking van de Tweede Kamer met De Jonge Akademie, de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW), de Nederlandse Federatie van Universitair Medische Centra (NFU), de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), TNO en de Vereniging Universiteiten van Nederland (UNL).

11 juni 2024

Prof. dr. Maarten Kleinhans (Universiteit Utrecht), dr. Bregje van Wesenbeeck (Deltares), prof. dr. ir. Bas Jonkman (Technische Universiteit Delft), dr. Jim van Belzen (Wageningen University & Research en NIOZ)

Samenvatting

Nederland heeft het best beschermde laagland in de wereld, wat van direct belang is voor veilig wonen en een aantrekkelijk vestigingsklimaat. De kosten om Nederland waterveilig te houden nemen in de toekomst toe. In deze factsheet geven we inzicht in de mogelijkheden om kosten nu en in de toekomst te beperken en om Nederland zo weerbaar mogelijk te maken tegen extreem weer en zeespiegelstijging.

Op projectniveau kunnen innovaties meer worden gestimuleerd, waaronder nieuwe rekenmethodes, aanslibbende vooroevers voor verminderde golfaanval en natuurlijke technieken zoals bloemmengsels voor veiliger dijken. In de huidige beoordeling worden veel dijken afgekeurd – een scherpere beoordeling op basis van maatwerk en innovatieve monitoring van dijken en hun ondergrond kunnen de opgave aan dijkversterkingen reduceren. Nationale richtinggevendende kaders zijn nodig voor het beter en sneller uitvoeren van lokale beslissingen. Dit geldt ook voor het proces van innovatie tot toepassing en opschaling. In welke mate projecten door financiële en organisatorische prikkels groter en duurder worden dan nodig, kan worden doorgelicht bij herijking van het hoogwaterbeschermingsprogramma.

Op systeemniveau zijn er kansen voor maatregelen om de samenhang tussen hoogwaterbescherming, natuur, ruimtelijke kwaliteit en andere opgaven te benutten (zgn. meekoppelkansen). Ander water- en bodembeheer kan de bodemdaling, daling van dijken en toename van (zoute) kwel afremmen. Sedimentbeheer in de kustsystemen vermindert de zoutindringing en verhoogt de waterveiligheid. Stormvloedkeringen verminderen de opgave voor dijkverhoging landinwaarts maar vragen meer reservering van ruimte voor opvang van rivierwater. Meer ruimte voor water en natuur, ook buiten de landsgrenzen, verlaagt de extreme waterstanden in de rivieren.

Op het niveau van de uitvoeringsprogramma's blijkt waterveiligheid echter lastig te combineren met andere functies zoals ruimtelijke kwaliteit, natuur en ruimtelijke ontwikkeling. Het is van belang daarvan de baten (of vermeden kosten) mee te rekenen en innovaties te stimuleren. Regionaal vergroot het meekoppelen van bijv. ruimtelijke kwaliteit en natuur met dijkversterking het maatschappelijk draagvlak. Om volgende generaties handelingsperspectief voor waterveiligheid te geven, zijn landelijke regie en keuzes voor ruimtegebruik nu onvermijdelijk.

Inleiding

In deze factsheet benoemen we innovaties bij dijkversterkingen op projectniveau, maar ook innovatieve systemische benaderingen die op regionale en nationale schaal kunnen worden toegepast om opgaven te combineren en kosten te vermijden. Nederland heeft het best beschermde laagland in de wereld, wat van direct belang is voor veilig wonen en een aantrekkelijk vestigingsklimaat. De basiselementen van de Nederlandse aanpak voor waterveiligheid zijn de overstromingsrisicobenadering en meerlaagsveiligheid (NWP 2022-2027). Meerlaagsveiligheid bestaat uit preventie door combinatie van waterkeringen, ruimtelijke inrichting en calamiteitenplannen. Onder ruimtelijke inrichting valt ook het aanpassen van landgebruik en een ander water- en bodembeheer¹. Om toenemende kosten van hoogwaterbescherming, nu ca. 700 miljoen euro per jaar², te beperken zijn een vooruitziende blik en acties op projectniveau, systeemniveau en uitvoeringsprogramma's onontbeerlijk. De verwachting is namelijk dat de kosten significant zullen toenemen³.

We hebben in Nederland te maken met druk op schaarse ruimte en extremer weer met daarbij toenemende droogte, intensievere neerslag, grotere hoogwaters op de rivieren en zeespiegelstijging. Het risico bestaat dat uitstel van keuzes op de korte termijn conflicteren met onafwendbare keuzes op de lange termijn, of deze laatste veel duurder maken. Dát we de waterveiligheid (i.e. bescherming tegen overstromingen) in Nederland willen behouden, staat niet ter discussie. Hóe waterveiligheid wordt gerealiseerd is echter onderwerp van politieke keuzes.

Innovatie op projectniveau

Er zijn veel technische innovaties voor waterkeringen, zoals gebruik van nieuwe materialen en van nieuwe constructies in de dijk, maar ook integratie met natuurlijke oplossingen ('nature-based solutions') zoals waterveiligheidslandschappen⁴. Toepassing en succes van deze innovaties zijn sterk afhankelijk van de innovatiebereidheid bij waterbeheerders en van beschikbare budgetten voor monitoring, onderzoek en standaardisering. We onderscheiden de volgende typen innovaties:

1. Betere en goedkopere dijkbekledingen
2. Innovaties om ruimtegebruik van dijken te verminderen
3. Natuurlijke oplossingen
4. Beoordeling en monitoring om overmatige versterking te voorkomen

Ad 1. In Nederland hebben we de traditie om de buitenzijde van dijken te bekleden met gras, als de belasting van de dijk niet al te hoog is. Naarmate de belasting toeneemt, zijn kostbaardere steen- of asfaltbekledingen nodig. Innovaties zijn ook de inzet van nieuwe materialen zoals kunststof, als alternatief voor beton en staal. Door het uitvoeren van proefbelastingen (in de deltagoot of in het veld) van dijkbekledingen (grasmat of steenbekleding) kan het afkeuren van meerdere oudere dijktrajecten, met hoge vervangingskosten, worden voorkomen. Recent onderzoek toont aan dat het gebruik van kruiden- en bloemmengsels op dijken ook leidt tot meer sterkte en tot extra winst voor landschap en biodiversiteit⁵.

Ad 2. Dijkversterkingen botsen soms met andere maatschappelijke belangen, bijvoorbeeld waar woningen direct naast rivierdijken liggen. Technische innovaties kunnen het ruimtebeslag van de dijk minimaliseren, zoals damwanden in dijken, kwelschermen etc. Bij goedkopere verhoging van de dijk is doorgaans ook verbreding aan

de binnendijkse zijde nodig om de stabiliteit te waarborgen, wat kan botsen met de aanwezigheid van (historische) bebouwing. Buitendijkse dijkverbreding leidt tot minder ruimte voor rivieren en botst met natuurwetgeving in alle grote wateren. Slim gebruikmaken van binnen- en buitendijkse natuur kan hier een oplossing bieden. Meer aandacht voor natuurdoelen in projecten kunnen ook effectieve oplossingen bieden voor nieuwe ontwikkelingen zoals de sterke toename van de beverstand die nu tot meer schade leidt aan dijken. Een volgende generatie deltawerken vergt ook innovaties voor dammen en stormvloedkeringen, welke de dijkverzwaringsopgaven elders kunnen verlichten. Een voorbeeld is de Hollandkering als opvolger voor de Maeslantkering.

Ad 3. Voorlanden met of zonder begroeiing aan de buitenkant van de dijk zijn essentieel voor het stabiel houden van dijken aan de kust. Schorren, kwelders, uiterwaarden en wadplaten zorgen voor ondiepte en golfbreking en verminderen daarmee de belasting van onze waterkeringen. Onderzoek op basis van historische kaarten en berekeningen toont aan dat dergelijke natuurgebieden bij grote overstromingen de schade flink wisten te beperken⁶. Daarnaast hebben natuurlijke voorlanden een rol bij andere klimaatbufferende functies zoals het tegengaan van verzilting, het vastleggen van CO₂, het zuiveren van water, en het afbreken van stikstofverbindingen⁷. Uitbreiding van natuurlijke voorlanden is echter op veel plaatsen niet meer mogelijk omdat dijken in het verleden al ver zeewaarts zijn geplaatst. Inpoldering verzwakt de getijstrooming die de geulen diep houdt en het sediment op de ondiepten werpt. Verdere zeewaartse ontwikkeling zou op die plaatsen juist zorgen voor toename van de hoogwaterstanden, afname van voorlandsedimentatie, vermindering van de dijkstabiliteit, grotere baggeropgaven en verslechtering van ecosystemen.

Ad. 4. Innovaties op het gebied van monitoring van waterkeringen bieden veel kansen. Dijken worden nog veelal met eeuwenoude technieken geïnspecteerd (met de prikstok) en er zijn indicaties dat dijken soms te snel worden afgekeurd. Betere meting van de toestand van een dijk maakt een scherpere beoordeling mogelijk of ingrijpen, versterken of vervangen nodig is. Innovatie op gebied van monitoring met sensoren en satellietdata en vooral de duiding van die data voor de faalkans van de dijk kunnen breder worden ingezet. Cruciaal hierbij is ook kennis van de ondergrond om te komen tot betere kartering van dijkfalen⁸ en het beheersen van graverijen in dijken door dieren⁹.

Innovatie op systeemniveau

In veel gevallen ligt de beste oplossing voor een waterveiligheidsproject op systeemniveau. Dit betekent voor het bovenrivierengebied dat alternatieven voor dijkversterking bovenstrooms kunnen worden bereikt door rivierverruiming en water vasthouden in het binnendijkse stroomgebied, wat reservering van ruimte vergt. Vanaf de lijn Utrecht-den Bosch is de opstuwende invloed van de zee al merkbaar: hier is rivierverruiming minder effectief en wordt zeespiegelstijging direct gevoeld. Hier wordt de opgave voor dijkversterking verkleind door bodemdaling aan de binnenzijde van de dijk tegen te gaan en door beter sedimentbeheer aan de buitenzijde¹⁰. De grote schaal van deze systemische effecten vraagt landelijke regie op ruimte om conflicten tussen functies en het afwentelen van problemen naar volgende generaties en naar bovenstroomse en benedenstroomse gebieden te voorkomen. Ontkoppeling van functies, zoals landbouw en wonen, maakt differentiatie van veiligheidsnormen mogelijk. Hierbij moet rekening worden gehouden met regionale en lokale gebiedskenmerken, waaronder de aard van de bodem- en watersystemen en hun functies. Kortom, veranderingen in keuzes voor

ruimtegebruik zijn onafwendbaar om ons voor te bereiden op steeds extremere condities en om op de langere termijn hoge kosten te vermijden.

Maatregelen op systeemschaal met veel potentie zijn:

1. Ruimte voor water in bovenrivieren, ook stroomopwaarts van de landsgrens, beperkt de dijkversterkingsopgave door waterstandverlaging ter plekke en benedenstrooms.
2. In het benedenrivierengebied en de delta kunnen systeemmaatregelen zoals nieuwe en betrouwbaardere stormvloedkeringen bijdragen aan het voorkomen of beperken van dijkversterking. Een voorbeeld is de stormvloedkering in de Hollandse IJssel¹¹.
3. Versnellen van natuurlijke opslibbing (buitendijks én binnendijks) in sedimentrijke gebieden laat de riviermonding en het land meegroeien met de zeespiegelstijging en vermindert indringing van zout water.
4. Vertraging van binnendijkse bodemdaling vermindert het meedalen van dijken, versterkte (zoute) kwel en gebrek aan tegendruk bij hoogwater.

Ad 1. De Ruimte voor de Rivier-benadering heeft succesvol hoogwaterstanden verlaagd, ruimtelijke kwaliteit verbeterd en daarmee draagvlak vergroot, en biodiversiteit verhoogd¹². De statistieken van hoogwaters zijn echter aan het veranderen, terwijl verdere verruiming nauwelijks nog mogelijk is zonder verlegging van dijken. Vasthouden van water, bijvoorbeeld door een ander water- en bodembeheer en natuurherstel in het stroomgebied van de Rijn, kan leiden tot minder extreme hoogwaters, terwijl klassieke dijkverhoging en het aanscherpen van veiligheidsnormen in Duitsland juist hogere waterstanden in Nederland zullen opleveren. Tegelijk is toevoer van sediment uit Duitsland nagenoeg gestopt, wat bodemdaling van de vaargeul, ondergraving van infrastructuur en verdroging van uiterwaarden veroorzaakt. Sediment is het onderbelichte natuurlijk kapitaal van laag Nederland¹³. Internationale samenwerking, sedimentbeheer en kennisdeling (m.n. de stroomgebiedsbenadering en Ruimte voor de Rivier) zijn daarom cruciaal voor Nederland.

Ad. 2. Bij scenario's op de systeemschaal spaart het op de lange termijn kosten om oplossingen te kiezen die tientallen jaren mee gaan én handelingsperspectief bieden voor volgende generaties. Een willekeurig voorbeeldscenario met een realistische complexiteit¹⁴ is een combinatie van een stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg én het in de loop van de eeuw verder zeewaarts verplaatsen van havens. Betrouwbare keringen op cruciale locaties reduceren de dijkversterkingsopgave over grote afstanden door tijdens stormen te sluiten. De grote stormvloedkeringen bereiken in de tweede helft van deze eeuw het einde van hun levensduur. Bij hogere zeespiegelstanden moeten ze steeds vaker en langduriger sluiten, wat niet alleen de scheepvaart zou hinderen maar ook veel ruimtereservering vergt om rivierwater elders in Nederland op te slaan. Ook heeft het sluiten van keringen gevolgen voor de ecologie en belemmert het opslibben, waardoor deze systemen dan minder goed kunnen meebewegen met zeespiegelstijging. Tegelijkertijd moet in droge zomers het steeds schaarsere rivierwater worden verdeeld tussen de Rijn-Maasmonding (tegen zoutindringing bij Gouda), en het IJsselmeer (voor landbouw in Friesland en Groningen). Zoutindringing is mede veroorzaakt door vaarwegverdieping. Er zou daarom gekozen kunnen worden voor een doorgaande zeewaartse verplaatsing van de havens, het loskoppelen van scheepvaart van de afvoerfunctie van de rivier, het toelaten van landwaartse verondieping van de rivier door sedimentatie en het opslaan van rivierwater bij sluiting van de keringen. Zo'n scenario

biedt betere ruimtelijke kwaliteit, ruimte voor woningbouw in het stedelijk gebied en vermindering van zoutindringing¹⁵.

Ad 3. Gezien de zeespiegelstijging en de lage ligging van ons land, vergt hoogwaterbescherming toekomstbestendig en grensoverschrijdend sediment- en natuurbeheer en reservering van binnendijkse ruimte. Buitendijkse ondiepten, waaronder wadplaten, kwelders, slikken en schorren, reduceren de golfaanval op dijken en zijn als habitats voor trekvogels en trekvissen van wereldwijd belang. Het meegroeien van ondiepten met de zeespiegelstijging vergt sediment. De voordelen van natuurlijke vooroevers en opslibbing kunnen ook landinwaarts behaald worden door aanleg van dubbele dijken waartussen land opslibt¹⁶ (soms ook 'groeipolders' genoemd). Dit houdt sediment vast en verlaagt hoogwaterstanden, wat de waterveiligheid over grotere afstanden verbetert¹⁷. Aan de andere kant leidt het uitbaggeren van geulen voor scheepvaart en het verminderen van getij door stormvloedkeringen en door landaanwinning zeewaarts van de dijk juist tot sedimenttekort¹⁸.

Ad 4. Het vaststellen van een beleidsdoelstelling voor bodemdaling op rijksniveau, naar analogie van bijvoorbeeld Shanghai, en ontsnippering van taken en bevoegdheden van regionale en lokale overheden, zouden een integrale aanpak mogelijk maken¹⁹. Bodemdaling geeft niet alleen schade aan huizen, infrastructuur en landbouwgrond, maar verlaagt ook de dijken en vermindert de tegendruk van kwel aan de landkant²⁰. Bodemdaling varieert ruimtelijk van enkele millimeters tot meer dan een centimeter per jaar en is daarmee nu nog vele malen hoger dan zeespiegelstijging. Ander water- en bodembeheer kan bodemdaling flink afremmen, maar vergt ruimtelijke keuzes. Bijvoorbeeld in situaties zoals bij de verzakkende en scheurende huizen langs de net versterkte Lekdijk zal in de toekomst vaker de afweging moeten worden gemaakt of tot uitkoop van huizen moet worden overgegaan.

Deze voorbeelden laten zien dat maatwerk per regio nodig is om meekoppelkansen te benutten voor ruimtelijke kwaliteit, behoud van landbouwgrond, biodiversiteit, waterkwaliteit en weerbaarheid tegen extremer weer, niet alleen voor draagvlak maar ook om uitstellen van keuzes en afwentelen van problemen te voorkomen. Dit vergt, nu er nog wat te kiezen valt, een degelijke uitwerking van complexe scenario's voor de lange termijn, en, op korte termijn onafwendbare keuzes voor reservering van de benodigde ruimte om conflicterende ruimtelijke functies te voorkomen.

Innovatieve mogelijkheden voor uitvoeringsprogramma's

Bij herijking van uitvoeringsprogramma's zoals het in het recente hoofdlijnenakkoord genoemde hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) kan worden ingezet op:

1. Herdefiniëren van de opgave
2. Omgevingsmanagement en meekoppelen om maatschappelijke weerstand te voorkomen en kosten van andere opgaven te vermijden
3. Optimaliseren van financiële en organisatorische prikkels
 - a. rond de stevige planprocedures
 - b. in de opschaling van innovaties

Ad. 1. De afgelopen twintig jaar is een nieuwe systematiek van normering en beheer van waterkeringen ontwikkeld²¹, maar er zijn aanwijzingen dat de beoordeling van waterkeringen (te) conservatief uitpakt. De meeste keringen worden nu niet veilig

genoeg bevonden, wat tot een enorme potentiële versterkingsopgave leidt. Door een scherpere beoordeling kan de opgave aan dijkversterkingen naar verwachting worden gereduceerd.

Ad. 2. Meer dan de helft van de kosten zit in voorbereiding, omgevingsmanagement en procedures. Besparingen op deze procesmatige kosten (onder het motto 'sober en doelmatig') gaan juist ten koste van het draagvlak en daarmee van het tempo en de kosten van de uitvoering. Meekoppelen van ruimtelijke kwaliteit, natuurherstel en stikstofcompensatie leidt net als bij Ruimte voor de Rivier juist tot draagvlak en tot vermeden kosten bij deze opgaven. De tijdsdruk op het programma door verwachte maatschappelijke weerstand leidt nu vaak tot keuzes voor snellere, zware dijkversterkingsprojecten, wat maatwerk op systeemniveau met kennis van de bodem, gebruikmaking van innovaties en meekoppeling ontmoedigt. Naast draagvlak kunnen de vermeden kosten van andere opgaven of functies daarbij niet goed worden meegerekend²². Een dergelijke financiële uitwisseling is wel toegestaan voor ruimte voor de rivier en dijkversterking²³. Hier ligt een kans voor tijdsbesparing en vermeden kosten door deze afspraken uit te breiden voor koolstof, stikstof, ruimtelijke kwaliteit, en natuurherstel ter bevordering van hoogwaterveiligheid. Dit vergt landelijke regie om ruimtelijke planning en technische opgaven in samenhang met gebiedsopgaven op te pakken en het vergt richtinggevend nationale kaders om afwegingen tussen rivierverruiming en dijkverzwaring op lokaal project niveau mogelijk te maken. Ontwerpvrijheid van de regio is nodig voor meekoppelen en draagvlak²⁴.

Ad. 3. Enerzijds staan de snelheid, uitvoerbaarheid en kosten van de hoogwaterbescherming onder druk, anderzijds is een verschuiving naar meer systemisch werken met gebruik van innovaties en het meekoppelen van andere functies noodzakelijk. Dit te optimaliseren is een complex probleem (ook gezien het vorige punt). Een doorlichting van de keten van beoordelen en versterken en de prikkels daarin (financieel, organisatorisch) lijkt gewenst. Ook de interactie met de markt, en mogelijkheden en prikkels om de versterkingsopgave te beperken (door scherpere beoordeling) behoeven aandacht.

- a. Stevige planprocedures (MIRT) kunnen leiden tot een lange doorlooptijd en veel advies- en proceskosten. In gevallen waarin de scope van de dijkversterking redelijk helder is, kan gekozen worden voor meer afbakening om doorlooptijd en kosten te beperken. Dit kan binnen de MIRT-systematiek door het samenvoegen van fases (bv. verkenning en planuitwerking) en/of het beperken van de MIRT-systematiek tot de technische alternatieven. Het zou ook kunnen door geen MIRT-systematiek te gebruiken maar een overzichtelijker vervangings- en renovatieprocedure.
- b. Innovaties worden niet goed opgeschaald: ondanks alle inspanningen vanuit het HWBP om innovaties verder te brengen, valt men in veel gevallen terug op bewezen en "zware" (constructieve) versterkingen. Innovaties worden vaak alleen toegepast als ze volgens de waterbeheerders voldoende bewezen zijn; tegelijkertijd worden innovaties doorontwikkeld die in een expertpeerreview al als kansarm zouden zijn beoordeeld. Een oplossing kan zijn om innovaties sterker te verbinden met kennisinstellingen en onderzoek naar mogelijkheden voor innovatie te eisen om daarbij meekoppelkansen te benutten.

Innovaties voor langetermijntontwikkelingen vragen nu aandacht

De overstroming van de Maas in 2021 illustreerde hoezeer extremen toenemen en het behoud van waterveiligheid onverwijld aandacht vergt. De succesvolle programma's

'Ruimte voor de Rivier' en de Maaswerken, die twintig jaar kostten, lieten zien hoe een innovatieve balans kan worden gevonden tussen de gekoppelde doelstellingen van hoogwaterveiligheid en van ruimtelijke kwaliteit. De landelijke regie zorgde voor grotere veiligheid, en de regionale en lokale betrokkenheid bij de keuzes voor inrichting zorgde voor draagvlak, passende maatregelen en verbeteringen, en voor uiterwaarden met toegenomen biodiversiteit. Een aanpak analoog aan Ruimte voor de Rivier is nodig op landelijke schaal met oog voor de werking van water, sediment en bodem. Bestaande gebiedsprocessen (waaronder het Nationaal Programma Landelijk Gebied) kunnen hierbij ook worden gebruikt.

Reserveringen voor ruimte en middelen moeten zo snel mogelijk worden gemaakt op basis van door kennisinstellingen en regionale overheden goed uitgewerkte scenario's. Recente rapporten van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging²⁵ laten zien dat Nederland zich technisch gezien kan aanpassen aan enkele meters zeespiegelstijging door combinaties van dijken, keringen, ander waterbeheer en natuurlijke oplossingen. Lokaal zijn soms innovaties mogelijk als drijvend bouwen, maar dat biedt geen soelaas voor bestaande woningen. Dit alles kost tijd: de deltawerken werden in veertig jaar gerealiseerd. Toch zijn nu snel keuzes nodig die helderheid scheppen voor ruimtegebruik op de lange termijn. Beslissingen nu vergen op de eerste plaats draagvlak – dat kan worden verkregen door meekoppelen van ruimtelijke kwaliteit en andere functies – en op de tweede plaats ruimtelijke en financiële reserveringen voor de lange termijn met inbegrip van gemeden kosten voor andere functies en transitie²⁶. Vlaanderen heeft inmiddels een breed gedragen kustvisie die bottom-up is opgebouwd²⁷. Voor Nederland ligt het voor de hand om, voorafgaand aan keuzes, alternatieve adaptatiestrategieën regionaal te verkennen op de schaal van waterschappen en provincies met landelijke regie. Gelet op de benodigde tijd voor planvorming en uitwerking van strategieën is het voor veel gebieden en systeembeslissingen (bijvoorbeeld de Rijnmond, zuidwestelijke delta en grote rivieren) nu tijd voor concrete plannen en besluitvorming, zodanig dat de volgende generatie handelingsperspectief heeft en, afhankelijk van de ontwikkelingen wereldwijd, een ander adaptatiepad kan kiezen.

Disclaimer: De Jonge Akademie, KNAW, NFU, NWO, TNO en UNL bemiddelen tussen parlementaire kennisvraag en wetenschappelijk kennisaanbod. De informatie in het kader van Parlement en Wetenschap is afkomstig van vooraanstaande wetenschappers, maar niet onderworpen aan peer review en niet door de wetenschapsorganisaties geverifieerd.

¹ Denk aan de Contourennotitie voor de nieuwe Nota Ruimte:

<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2023/10/06/contourennotitie-schetst-eerste-richtingen-voor-nieuwe-nota-ruimte>; en aan

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/11/25/water-en-bodem-sturend>

² Bron: Deltafonds stukken als onderdeel van de Rijksbegroting:

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/begrotingen/2023/09/19/j-deltafonds-rijksbegroting-2024>

³ Zie <https://www.waterforum.net/39189-kosten-dijkversterking-stijgen-mogelijk-van-12-miljard-naar-239-miljard-euro/>, achterliggende documentatie:

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/11/08/bijlage-2-globale-kosteninschatting-dijkversterkingsopgaven> als bijlage bij

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/11/08/kamerbrief-landelijk-veiligheidsbeeld-primaire-waterkeringen>

⁴ Verschillende innovatieve dijkconcepten zijn ook in de Wadden ontworpen en vergeleken:

Overzicht adaptatie-gerelateerde projecten Waddenkust, Jantsje M. van Loon-Steensma, Waddenacademie mei 2021, rapport 2021-04,

<https://www.waddenacademie.nl/organisatie/publicatie-lijst/publicatie-detail/overzicht-adaptatie-gerelateerde-projecten-waddenkust/>

⁵ <https://www.hwbp.nl/innoveren/innovatieprojecten/future-dikes-sterke-soortenrijke-grasbekleding>

⁶ Dát voorlanden de dijken beschermen en gevolgen van doorbraken verminderen, blijkt ondermeer uit Zhu, Z., Vuik, V., Visser, P.J., Soens, T., van Wesenbeeck, B.K., van de Koppel, J., Jonkman, S.N., Temmerman, S., Bouma, T.J., 2020. Historic storms and the hidden value of coastal wetlands for nature-based flood defence. *Nat. Sustain.* 3 (10), 853–862. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0556-z>. Een hierop gebaseerde toekomstvisie voor Fryslan: Aanzet tot een conceptueel raamwerk en beslisregels voor een lange termijn handelingsperspectief waterveiligheid en landgebruik bij extreme zeespiegelstijging, Jantsje M. van Loon-Steensma, Mindert B. de Vries, Tjeerd J. Bouma, Harry A. Schelfhout, Waddenacademie juni 2020, Position paper 2020-07,

<https://www.waddenacademie.nl/organisatie/publicatie-lijst/publicatie-detail/weerbare-waddenkust/>.

⁷ Overzicht van klimaatbuffers <https://www.klimaatbuffers.nl/>. Specifiek voor het vastleggen van CO2 laten deze studies de grote 'blue carbon' waarde van schorren en kwelders zien: Hoefsloot, G., van der Jagt, H.A. and Van Duin, W.E., 2020. Blue carbon in Nederlandse kwelders. *Kansen voor extra CO2 vastlegging in kwelders. Bureau Waardenburg Rapportnr*, pp.20-028.

<https://res.cloudinary.com/natuurmonumenten/raw/upload/v1588844152/2020-05/19-0119%20Blue%20Carbon%20in%20Nederlandse%20kwelders.pdf>; en van Belzen, J., T. J. Bouma, and T. Ysebaert. "Blue Carbon in het Verdronden Land van Zuid-Beveland." NIOZ-rapport 03 (2020). <https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.z>

⁸ Kwel (grondwaterstroming) door zwakke zones in en onder de dijk kan leiden tot 'piping' (groei van zwakke zones en gaten), wat tot doorbraak kan leiden. Winkels, T. G., Cohen, K. M., Knaake, S. M., Middelkoop, H., & Stouthamer, E. (2021). Geological framework for assessing variability in subsurface piping parameters underneath dikes in the Rhine-Meuse delta, the Netherlands. *Engineering Geology*, 294, 106362. <https://doi-org/10.1016/j.enggeo.2021.106362>

⁹ De beverpopulatie is de afgelopen jaren exponentieel gegroeid tot enkele duizenden dieren. Bevers graven net als muskusratten en konijnen gangen in dijken, wat een risico is voor de waterveiligheid. Veelal is explosieve groei van plaagdierenpopulaties het gevolg van een verstoord voedselweb. Inzetten op natuurherstel en biodiversiteit ondervangt een deel van de problemen. Bij gebrek aan een natuurlijke vijand wordt daarom vaak ingezet op actief wildbeheer. Waar dat niet direct effect heeft, kunnen met adaptieve inrichtingsmaatregelen de gevolgen van dieren worden beperkt. Denk hierbij aan constructies in de dijk, het aanpassen van kwel sloten of het aanbieden van vluchtplekken tijdens hoogwaters om ingraven in de dijkvoet te beperken. Dit vraagt om nadrukkelijke aandacht voor natuur in opdrachtformulering.

¹⁰ Schra, J., M.G. Kleinhans, K.M. Cohen, M. Haasnoot en H. Middelkoop (2022). Wat wil de delta? Uitzicht met inzicht: neogeografische kaarten van het Nederlandse laagland in een toekomst met zeespiegelstijging. Universiteit Utrecht, Departement Fysische Geografie, i.o. Staf Deltacommissaris (rapport 31171979), Kennisprogramma Zeespiegelstijging 2022,

https://www.deltaprogramma.nl/binaries/deltacommissaris/documenten/publicaties/2022/04/01/wat-wil-de-delta-neogeografische-kaarten-van-het-nederlandse-laagland-in-een-toekomst-met-zeespiegelstijging/20220621+WatWilDeDelta_UU_incl+toelichtingkaarten_def.pdf , kaarten: <https://doi.org/10.24416/UU01-9IT858>

¹¹ MER (2023), Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard, projectnummer: 3518,

<https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p35/p3518/a3518tsea.pdf>

- ¹² Straatsma, M.W., Bloecker, A.M., Lenders, H.J.R., Leuven, R.S.E.W., & Kleinhans, M.G. (2017). Biodiversity recovery following delta-wide measures for flood risk reduction. *Science advances*, 3(11), 1-9. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602762>
- ¹³ Zie Schra et al. 2022 en <https://themasites.pbl.nl/future-water-challenges/river-basin-delta-tool/future-of-our-deltas>
- ¹⁴ Zie voor andere voorbeelden Haasnoot, M, F. Diermanse (ed.) (2022) Analyse van bouwstenen en adaptatiepaden voor aanpassen aan zeespiegelstijging in Nederland. Deltares 11208062-005-BGS-0001, <https://www.deltaprogramma.nl/documenten/publicaties/2022/09/29/analyse-van-bouwstenen-en-adaptatiepaden-voor-aanpassen-aan-zeespiegelstijging-in-nederland>
- ¹⁵ <https://eowijzers.nl/finalisten/tweestromenland-zelfrijzende-deltastad/>
- ¹⁶ van Belzen, J., Rienstra, G. & Bouma, T., 2021. Dubbele dijken als robuuste waterkerende landschappen voor een welvarende Zuidwestelijke Delta. NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee. <https://doi.org/10.25850/nioz/7b.b.kb>
- ¹⁷ Weisscher, S.A., Baar, A.W., van Belzen, J., Bouma, T.J. & Kleinhans, M.G., 2022. Transitional polders along estuaries: Driving land-level rise and reducing flood propagation. *Nature-Based Solutions*, 2, p.100022. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100022>
- ¹⁸ Voor de Rijn en Maas: Cox, J. R., Huismans, Y., Knaake, S. M., Leuven, J. R. F. W., Vellinga, N. E., van der Vegt, M., Hoitink, A. J. F., & Kleinhans, M. G. (2021). Anthropogenic Effects on the Contemporary Sediment Budget of the Lower Rhine-Meuse Delta Channel Network. *Earth's Future*, 9(7), 1-22. <https://doi.org/10.1029/2020EF001869>. Voor de Westerschelde: van Dijk, W., Cox, J., Leuven, J., Cleveringa, J., Taal, M., & Kleinhans, M. (2021). The vulnerability of tidal flats and multi-channel estuaries to dredging and disposal. *Anthropocene Coasts*, 4(1), 36-60. <https://doi.org/10.1139/anc-2020-0006>.
- ¹⁹ van Gils, M., Groothuijse, F., van Rijswijk, H., & Stouthamer, E. (2021). Bodemdaling in Nederlandse veengebieden: Knelpunten voor solide beleid en besluitvorming. *Milieu en Recht*, 2021(2), 112-120. https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/411494/Artikel_M_en_R_manuscript.pdf?sequence=1. Zie voor mogelijkheden Erkens, G. and Stouthamer, E. (2020): The 6M approach to land subsidence, *Proc. IAHS*, 382, 733–740, <https://doi.org/10.5194/piahs-382-733-2020>.
- ²⁰ Bijvoorbeeld in het gebied Rijnmond en Drechtsteden is dit reeds lang in beeld: <https://www.deltaprogramma.nl/documenten/publicaties/2014/09/16/deltaprogramma-2015-achtergronddocument-b7>. Duizend jaar water- en bodembeheer is mede de oorzaak. Zo'n drieduizend jaar geleden was Nederland op z'n grootst, met name door veengroei en sedimentatie in het door de strandwallen beschermde laagland. De aanleg van dijkringen en waterbeheer sinds de late Middeleeuwen leverde veel welvaart en veiligheid op voor landbouw en wonen. De prijs is bodemdaling door veenwinning en door het steeds maar weer verlagen van het grondwaterpeil: de bodem is van meer dan drie meter boven de zeespiegel (hoogveen) gedaald tot (plaatselijk) meer dan zes meter beneden de zeespiegel. (Zie de Haas, T., Pierik, H. J., van der Spek, A., Cohen, K. M., van Maanen, B., & Kleinhans, M. G. (2018). Holocene evolution of tidal systems in The Netherlands: Effects of rivers, coastal boundary conditions, eco-engineering species, inherited relief and human interference. *Earth-Science Reviews*, 177, 139-163. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.10.006>.)
- ²¹ De normen voor de keringen zijn uitgedrukt in toelaatbare overstromingskansen en variëren op basis van de gevolgen van overstromingen (schade, slachtoffers) in het achterliggende gebied. De normen variëren van 1/100 per jaar voor relatief kleine overstroombare gebieden langs de Limburgse Maas, tot 1/10.000 of 1/30.000 per jaar voor gebieden met veel schade en slachtoffers in de Randstad. Deze normen worden gebruikt als basis voor het beoordelen van de veiligheid van waterkeringen en de dijkversterkingen in het hoogwaterbeschermingsprogramma. <https://www.hwbp.nl/kennisbank>
- ²² Zie ook het College voor Rijksadviseurs: <https://www.collegevanrijksadviseurs.nl/adviezen-publicaties/publicatie/2020/07/21/hoogwaterbeschermingsprogramma-van-sober-en-doelmatig-naar-slim-en-doelmatig>
- ²³ <https://www.hwbp.nl/kennisbank/vermeden-kosten-en-subsidie>
- ²⁴ Het HWBP ontwikkelde al een roadmap om makkelijker tot duurzame dijkversterking met meekoppeling van ruimtelijke kwaliteit te komen: <https://roadmapduurzaamhwbp.nl/>.
- ²⁵ Rapport "ruimte voor zeespiegelstijging - Een verkenning van denkrichtingen om Nederland ook op de lange termijn veilig en leefbaar te houden bij zeespiegelstijging" <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-d8ad2f75a8fd4a8983e4d7ab7701a739ff61eae5/pdf> als bijlage van de kamerbrief van Mark Habers verstuurd op 4 maart 2024
- ²⁶ De structurele financiering van het hoogwaterbeschermingsprogramma bedraagt 400 miljoen Euro per jaar. De kosten van deze versterkingen lopen op: de versterking van Stadsdijken Zwolle

kost bijvoorbeeld 300 miljoen Euro, d.w.z. ongeveer 40 miljoen Euro per strekkende kilometer. Naar schatting gaat meer dan de helft hiervan niet in de bouw en versterking zelf zitten, maar in voorbereiding, omgevingsproces en procedures. Versterkingen nemen hierdoor ook steeds meer tijd in beslag: tien jaar van planvorming tot realisatie is geen uitzondering.

²⁷ <https://www.vlaanderen.be/kustvisie>