

Advies

Omgaan met klimaatverandering in de hydraulische ontwerpbelastingen voor waterkeringen

Advies nummer 25-05 van 11 juni 2025

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Directeur-generaal Water en Bodem
De heer drs. J.H. Slootmaker
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

Geachte heer Slootmaker,

Het anticiperen op klimaatverandering is voor Nederland van groot belang om de waterveiligheid op lange termijn te kunnen garanderen. Dit advies van het ENW gaat in op het omgaan met klimaatverandering en het gebruik van de KNMI'23-klimaatscenario's bij de versterking van waterkeringen (dijken, duinen, waterkerende kunstwerken). Het is wenselijk dat dit binnen Nederland op uniforme en efficiënte wijze wordt gedaan. In dit advies wordt voortgebouwd op een advies van het ENW over hetzelfde onderwerp uit het jaar 2019¹. Daarin is als hoofdlijn geadviseerd om 'standaard het scenario te gebruiken dat het dichtst bij het middentempo komt en dus niet standaard uit te gaan van het hoogste van de beschikbare klimaatscenario's'. Verder heeft het ENW destijds aangegeven dat 'het verstandig is om alvast een doorkijk te maken naar wat de volgende versterking zou kunnen zijn. Zo kunnen aspecten als aanpasbaarheid van de kering en het reserveren van ruimte voor eventuele volgende ingrepen een plek krijgen in de afweging'.

Het ENW heeft het advies uit 2019 nader onderzocht en nader kwantitatief onderbouwd. Hoofdconclusie is dat dit advies blijft staan. In bijgesloten ENW-advies wordt meer specifiek ingegaan op de achtergronden, bevindingen voor kust- en rivierengebieden en aandachtspunten voor de toekomst.

Op basis van het nieuwe onderzoek adviseert het ENW het volgende:

- **Richtinggevend principe:** Het is raadzaam om uit te gaan van het gemiddelde tempo van de veranderingen in ontwerpwaterstanden door klimaatverandering, en niet van een relatief hoog of laag tempo. Dit is in lijn met het eerdere advies over dit onderwerp uit het jaar 2019 en wordt ondersteund door aanvullende analyses die in het kader van dit adviestraject zijn uitgevoerd. De keuze voor het gemiddelde tempo is afgeleid op basis van de principes van kosten-batenanalyse (ook wel economische optimalisatie) die een belangrijke basis vormt voor de normen voor de primaire waterkeringen. Er is onderzocht welke 'rekenwaarde' (gekozen waarde uit de bandbreedte van mogelijke waarden) voor het onzekere tempo van zeespiegelstijging economisch optimaal is. Door deze rekenwaarde te combineren met de gekozen ontwerplevensduur volgt de toeslag op de ontwerpwaterstand vanwege het effect van klimaatverandering.

¹ ENW-advies 'Hoe omgaan met toekomstverwachtingen bij het ontwerpen van waterkeringen?', zie <https://www.enwinfo.nl/adviezen/advies-omgaan-toekomstverwachtingen-ontwerpen/>



- **Kust:** Vanuit de gedachte van het gemiddelde als richtinggevend principe adviseert het ENW om in de toekomst bij het ontwerpen van waterkeringen voor zeespiegelstijging uit te gaan van de 50%-waarden van het scenario M (gematigde uitstoot, SSP2-4.5) van het KNMI'23. Het verschil met de huidige praktijk – het scenario W+ uit KNMI'06 – is beperkt.
- **Rivieren:** Voor de rivierafvoeren zijn er op dit moment geen bandbreedtes voor de effecten van klimaatverandering op hoogwaterstanden bekend. In het rivierengebied worden de komende jaren echter wel veel dijken versterkt. Het ENW adviseert daarom om de onzekerheid ten aanzien van het effect van klimaatverandering op de ontwerpwaterstanden langs de rivieren op korte termijn in beeld te brengen met een multidisciplinaire aanpak. Vervolgens kan een pragmatische keuze worden gemaakt voor de toeslag voor klimaatverandering voor versterkingen van waterkeringen langs rivieren – waarbij het logisch is om wederom uit te gaan van het bovengenoemde richtinggevende principe.
- **Doorontwikkeling klimaatscenario's:** Tot slot adviseert het ENW om bij de ontwikkeling van toekomstige klimaatscenario's de kennis en behoeften uit het water(kerings)domein nadrukkelijker mee te nemen, bijvoorbeeld door het beschikbaar maken van een klimaatscenario dat correspondeert met een gemiddeld tempo van veranderingen in de hydraulische ontwerpbelastingen.

Naast de bovengenoemde punten vindt het ENW van groot belang om bij het ontwerpen van waterkeringen rekening te houden met de volgende aandachtspunten, zoals ook opgenomen in eerdere adviezen van het ENW (2019) en het Adviesteam Dijkontwerp (2024)²:

- Als vroegtijdige normoverschrijding zeer ongewenst is dan wel aanpasbaarheid erg lastig is (bijvoorbeeld bij kunstwerken, zoals sluizen), is een beschouwing van de verschillende klimaatscenario's altijd aan te raden om de kans klein te houden dat er vanwege een normoverschrijding/waterveiligheid een kostbare ingreep nodig is binnen de beoogde levensduur.
- Daarnaast is het raadzaam om, los van de toeslag voor klimaatverandering op basis van een gemiddeld tempo van veranderingen, robuust te ontwerpen als vroegtijdige normoverschrijding zeer kostbaar is vanwege een beperkte aanpasbaarheid.

Het ENW is graag betrokken bij de nadere uitwerkingen die volgen uit dit advies.

Met vriendelijke groet,

Ir. H.C. Klavers

Voorzitter van het Expertise Netwerk Waterveiligheid

² Adviesteam Dijkontwerp, Rode draad #6 Omgang met klimaatscenario's bij het ontwerp, 26 maart 2024, zie <https://adviesteamdijkontwerp.nl/rode-draden/rode-draad-nr-6-omgang-met-klimaatscenarios-bij-het-ontwerp/>



Bijlage 1

Inleiding

Aanleiding

Waterkeringen vormen een cruciaal onderdeel van de bescherming tegen overstromingen in Nederland. Het anticiperen op klimaatverandering is essentieel om overstromingsrisico's op lange termijn te beheersen. Bij het ontwerpen van waterkeringen wordt rekening gehouden met de geleidelijke toename van de hydraulische belasting door zeespiegelstijging en een toename van de rivierafvoeren. Bij het ontwerpen van waterkeringen wordt momenteel veelal uitgegaan van de veranderingen horend bij het KNMI'06 W+ scenario en soms het G-scenario. Deze scenario's zijn geïmplementeerd in de beschikbare belastingmodellen.

Door het KNMI zijn in 2023 nieuwe klimaatscenario's gepubliceerd (KNMI'23 [1]). De scenario's bieden belangrijke inzichten over een onzekere toekomst, maar leiden ook tot vragen binnen de watersector over hun betekenis voor het ontwerpen van waterkeringen. Uit de KNMI'23-scenario's volgt namelijk niet direct met welke veranderingen rekening moet worden gehouden bij het ontwerpen van waterkeringen:

- De KNMI'23 scenario's geven voor drie verschillende scenario's (= Shared Socioeconomic Pathways met bijbehorende uitstoot: laag, gematigd en hoog), verwachtingswaardes en bandbreedtes van de zeespiegelstijging.
- Voor de rivierafvoeren zijn ten tijde van het opstellen van dit advies nog geen waardes beschikbaar. Wel wordt in KNMI'23 onderscheid gemaakt tussen een 'nat' en 'droog' verloop van de verschillende klimaatscenario's. De veranderingen van de extreme afvoeren horend bij 'nat' worden momenteel in GRADE onderzocht.

Keringbeheerders zijn zelf verantwoordelijk voor het ontwerp van versterkingsmaatregelen, maar het is inefficiënt als elk waterschap of project afzonderlijk nader onderzoek doet naar het gebruik van de KNMI'23-klimaatscenario's en de aan te houden toeslagen op de belastingen door klimaatverandering. Daarnaast is een landelijk uniforme aanpak wenselijk vanuit het perspectief van cofinanciering, uniformiteit en de alliantiegedachte binnen het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP).

Doelstelling

Het doel van dit advies is om tot een concreet voorstel te komen ten aanzien van de in rekening te brengen zeespiegelstijging en verandering van rivierafvoeren in de hydraulische belastingmodellen die worden gebruikt voor het ontwerpen van dijkversterkingen, op basis van de inzichten uit de nieuwste KNMI'23 klimaatscenario's.

Het advies is gericht aan DGWB ten behoeve van de doorontwikkeling van het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI). Hierin worden de actuele hydraulische randvoorwaarden voor primaire keringen en de te hanteren toeslagen voor klimaatonzekerheden vastgesteld.



Afbakening van het advies

Dit advies richt zich specifiek op hydraulische belastingen (randvoorwaarden) voor het ontwerpen van de waterveiligheidsfunctie van primaire waterkeringen zoals dijken, duinen, langsconstructies en kunstwerken, waarbij doorgaans wordt gewerkt met een ontwerplevensduur van 50 tot 100 jaar. Dit advies richt zich zowel op de algemene principes als op de doorvertaling daarvan naar concrete uitgangspunten voor de doorontwikkeling van hydraulische belastingmodellen. Zoals ook verder in dit advies wordt toegelicht, is dit op dit moment alleen voor de kust mogelijk. Voor de rivieren is door gebrek aan gegevens nog een nadere analyse nodig. De daadwerkelijke uitwerking in hydraulische belastingmodellen voor de verschillende deelsystemen (kust, benedenrivieren, etc.) is een volgende stap.

Bij het ontwerpen van keringen spelen ook andere onzekerheden een rol. De ervaring leert dat de beoogde ontwerplevensduur vaak niet wordt gehaald, bijvoorbeeld door wijzigingen in sterktemodellen. Het zou echter niet verstandig zijn om te trachten dit te ondervangen door te kiezen voor een relatief ongunstig effect van klimaatverandering bij de afleiding van ontwerpbelastingen. De effecten van klimaatverandering verschillen namelijk sterk voor de diverse wateren. Zo is het effect van zeespiegelstijging langs de kust relatief groot, terwijl het effect op meren verwaarloosbaar is. Daarnaast heeft een extra toeslag op de hydraulische belastingen langs zee en rivieren weinig meerwaarde voor geotechnische faalmechanismen. Dit geeft aan dat problemen het beste opgelost kunnen worden waar ze daadwerkelijk ontstaan.

Het advies is beperkt tot ontwerpberoeeningen met betrekking tot de vereiste dimensies en sterkte van waterkeringen ('ontwerpverificaties'). Andere aspecten vallen buiten de scope, zoals:

- De brede afweging van alternatieve oplossingsrichtingen of systeemkeuzes voor gebieden in Nederland voor de lange termijn.
- Klimaat effecten anders dan zeespiegelstijging en (hoge) rivierafvoeren, zoals verdroging, vernatting of verandering in de statistiek van laagwaters.

Dit advies is dus slechts een bouwsteen in het bredere vraagstuk rondom het omgaan met klimaatverandering in het waterveiligheidsbeleid.

Opbouw van het advies

Het advies is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2: Samenvatting van vorige adviezen van het ENW en het Adviesteam Dijkontwerp
- Hoofdstuk 3: Uitwerking van richtinggevende principes voor het omgaan met toekomstige onzekerheden
- Hoofdstuk 4: Adviezen voor zeespiegelstijging
- Hoofdstuk 5: Adviezen voor rivierafvoer
- Hoofdstuk 6: Samenvatting

En is voorzien van twee achtergrondrapporten:

- Achtergrondrapport 'Optimale rekenwaarde voor het tempo van de zeespiegelstijging voor ontwerpdoeleinden'
- Achtergrondrapport 'Verkenning effect KNMI'23 scenario's H-nat en M-nat op rivierafvoeren en waterstanden'



Eerdere adviezen over klimaatverandering in relatie tot dijkontwerpen

Het ENW heeft in 2019 het advies 'Hoe omgaan met toekomstverwachtingen bij ontwerpen van waterkeringen?' [2] uitgebracht aan het directoraat-generaal Water en Bodem (DGWB) van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat naar aanleiding van de publicatie van de KNMI'14-scenario's. Daarin is de volgende hoofdlijn geadviseerd:

- *Het ENW adviseert om standaard het scenario te gebruiken dat het dichtst bij het middentempo komt en dus niet standaard uit te gaan van het hoogste van de beschikbare klimaatscenario's. Beschouw vervolgens de klimaatonzekerheid ook in samenhang met andere onzekerheden (en kies niet voor elke onzekerheid afzonderlijk een veilige of conservatieve waarde).*
- *Naast het ontwerpen op basis van de beschikbare scenario's is het verstandig om alvast een doorkijk te maken naar wat de volgende versterking zou kunnen zijn. Zo kunnen aspecten als aanpasbaarheid van de kering en het reserveren van ruimte voor eventuele volgende ingrepen een plek krijgen in de afweging.*
- *Als vroegtijdige normoverschrijding zeer ongewenst is dan wel aanpasbaarheid erg lastig is (bijvoorbeeld bij kunstwerken, zoals sluizen), is beschouwing van een ongunstig klimaatscenario altijd aan te raden om de kans klein te houden dat er vanwege een normoverschrijding/waterveiligheid een kostbare ingreep nodig is binnen de beoogde levensduur.*

De keuze voor het middentempo (gemiddeld tempo) is afgeleid op basis van de principes van kosten-batenanalyse (ook wel economische optimalisatie) die een belangrijke basis vormt voor de normen voor de primaire waterkeringen.

In het advies uit 2019 is niet uitgewerkt welke opslagen men concreet zou moeten hanteren voor onzekere zeespiegelstijging of toename in rivierafvoeren. Oftewel: er is niet ingegaan op de vraag welke uitgangspunten passen bij een 'gemiddeld tempo'.

Naar aanleiding van de publicatie van de KNMI'23-klimaatscenario's heeft het Adviesteam Dijkontwerp in 2024 [3] concrete aanbevelingen gedaan voor de omgang met klimaatverandering bij de bepaling van hydraulische ontwerpbelastingen voor dijkversterkingsprojecten. Deze aanbevelingen zijn bedoeld als houvast voor dijkversterkingsprojecten, totdat er op landelijk niveau nadere keuzes zijn gemaakt:

- *"Houd vooralsnog vast aan het KNMI'06-klimaatscenario W+ t.a.v. afvoer en zeewaterstand, omdat deze beschikbaar is in de rekenmodellen van de hydraulische belastingen, bij het ontwerp momenteel veelal wordt uitgegaan van het KNMI'06 W+ scenario en de verschillen tussen de KNMI'06 en KNMI'23-scenario's geen duidelijke aanleiding geven om gehaast van de koers te veranderen. Maak een doorkijk naar toekomstige versterkingen.*
- *Daarnaast is het raadzaam om, los van de toeslag voor klimaatverandering op basis van een gemiddeld tempo van veranderingen, robuust te ontwerpen als vroegtijdige normoverschrijding zeer kostbaar is vanwege een beperkte aanpasbaarheid. Dit speelt bijvoorbeeld bij funderingen van kunstwerken en betonconstructies. Robuustheid kan ingebouwd worden door bijvoorbeeld (1) uit te gaan van Consequence Class 3 uit de Eurocode (bij kunstwerken), (2) een strengere betrouwbaarheidseis te hanteren of (3) pragmatisch een opslag op de ontwerpbelasting te kiezen die zodanig is gekozen dat de meerkosten relatief beperkt blijven."*

In het vervolg van dit advies kijken we, zoals eerder aangegeven, alleen naar het effect van klimaatverandering op de hydraulische belastingen. De overige punten uit de bovenstaande adviezen van het



ENW (2019) en het Adviesteam Dijkontwerp (2024) blijven relevant maar werken we in dit advies niet nader uit.

Het gemiddeld tempo als richtinggevend principe

Het ENW heeft de eerdere aanbeveling uit 2019 om bij ontwerp situaties uit te gaan van het gemiddeld tempo van veranderingen zoals zeespiegelstijging en ontwerpwaterstanden langs rivieren opnieuw geëvalueerd. Deze evaluatie is uitgevoerd door middel van numerieke experimenten, waarvan de resultaten zijn vastgelegd in bijbehorende achtergrondrapportage 'Optimale rekenwaarde voor het tempo van de zeespiegelstijging voor ontwerpdoeleinden' [4]. Hierbij is onderzocht welke 'rekenwaarde' voor het onzekere tempo van zeespiegelstijging economisch optimaal is: is dit een gemiddeld tempo of juist een relatief laag of hoog tempo? De rekenwaarde is de toeslag op de ontwerpwaterstand vanwege het effect van klimaatverandering. Dit is gedaan voor zeespiegelstijging, maar dezelfde principes gelden voor de omgang met toekomstige (klimaat)onzekerheden in rivierafvoeren. De relatie tussen ontwerpwaterstanden en rivierafvoeren is weliswaar complexer dan de relatie tussen ontwerpwaterstanden en zeespiegelstijging, maar dat is een praktische kwestie die aan de algemene principes niets afdoet.

Aansluiting bij de ENW Grondslagen voor Hoogwaterbescherming

De hier gevolgde benadering is consistent met de Nederlandse benadering voor waterveiligheid zoals ook vastgelegd in Grondslagen voor hoogwaterbescherming [5]

- Er wordt expliciet rekening gehouden met onzekerheden in zeespiegelstijging en waar mogelijk worden deze onzekerheden gekwantificeerd, onder meer door middel van bandbreedtes en kansdichtheidsfuncties.
- Bij beslissingen onder onzekerheid wordt de risicobenadering gevolgd. De beslissing onder onzekerheid betreft hier de toeslag op de hydraulische ontwerpbelastingen die we bij dijkversterkingen aanhouden in verband met de onzekere toekomstige zeespiegelstijging of rivierafvoer. We volgen de principes van de kosten-batenanalyse die mede is gebruikt bij het afleiden van de nieuwe normen. De optimale investeringsstrategie geeft die toeslag voor (onzekere) zeespiegelstijging of rivierafvoer waarbij de contante waarde van investeringen en risico minimaal is. Met andere woorden, welke toeslag voor zeespiegelstijging of rivierafvoer is economisch optimaal?

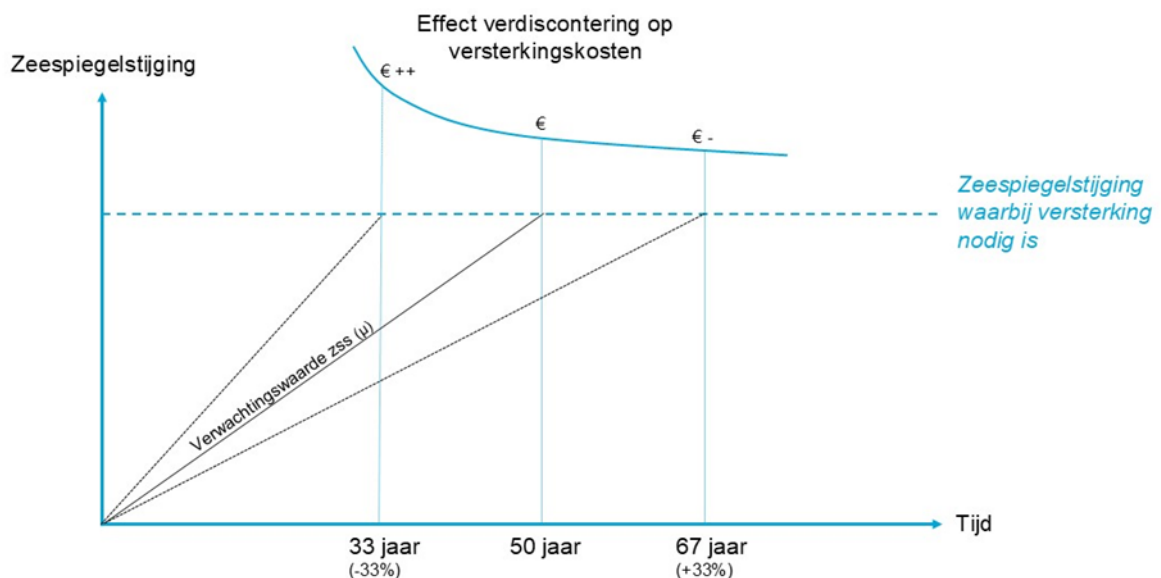
De berekeningen houden rekening met de onzekerheid in de zeespiegelstijging volgens de KNMI'23-scenario's, evenals met realistische aannames over levensduur en vaste en variabele kosten van versterkingen van dijken en kunstwerken en de discontovoet.



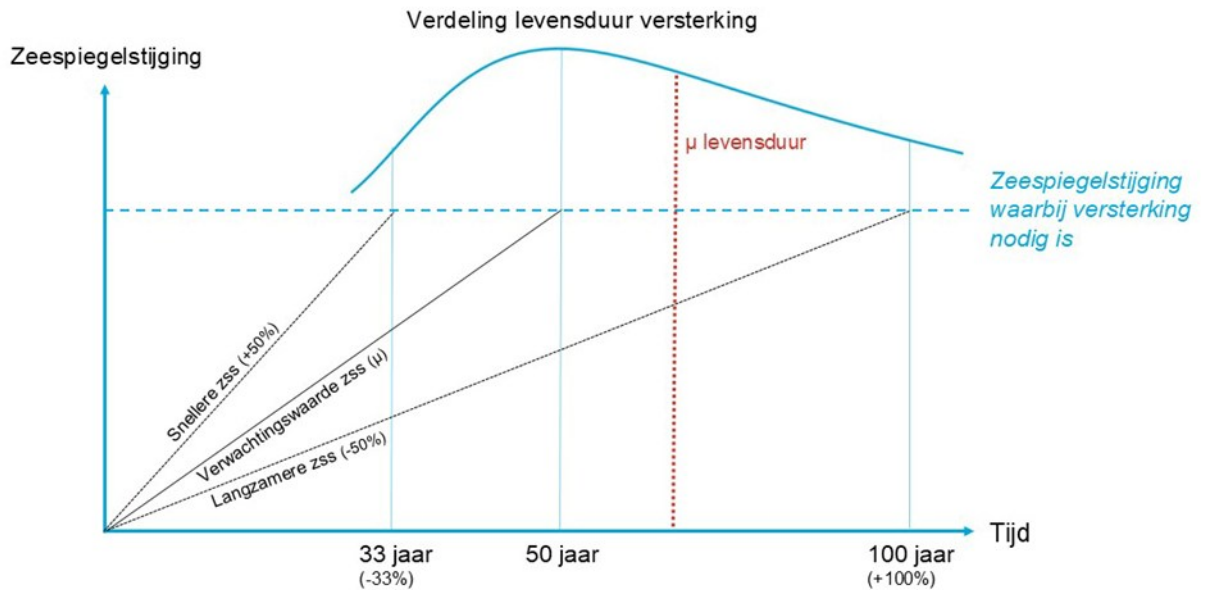
Twee belangrijke, tegengestelde effecten

In de analyse komen twee effecten naar voren die elkaar in de praktijk grotendeels opheffen (zie figuur 1a en figuur 1b).

1. Effect van verdisconteren: bij het terugrekenen van toekomstige kosten naar de huidige waarde, wegen kosten dichterbij in de tijd zwaarder mee. Dit maakt het economisch ongunstig om versterkingen te vroeg opnieuw uit te moeten voeren. Dit effect pleit ervoor om ervoor te zorgen dat de kans dat een kering vroegtijdig weer moet worden versterkt relatief klein is. Dat betekent dat er een veilige keuze gemaakt zou moeten worden voor de toeslag voor klimaatverandering in het ontwerp.
2. Effect van levensduurverwachting: Het ontwerpen van waterkeringen met een gemiddeld tempo van zeespiegelstijging leidt tot een meer dan gemiddelde ontwerp levensduur. De tijd tot een volgende normoverschrijding (levensduur) is namelijk omgekeerd evenredig met het tempo van zeespiegelstijging. Zo beschouwd is het gemiddelde tempo al een veilige waarde.



Figuur 1a. Effect 1: Schematische weergave van het effect van verdisconteren op de netto contante waarde van de versterkingskosten. Versterkingskosten voor situaties met een kortere levensduur werken sterker door in de Netto Contante Waarde van kosten.



Figuur 1b. Effect 2: Schematische weergave van het feit dat de kansverdeling van de levensduur een grotere positieve scheefheid bezit dan de kansverdeling van het tempo van zeespiegelstijging. Hierdoor is de verwachtingswaarde van de levensduur is groter dan die volgt uit de gemiddelde snelheid van zeespiegelstijging.

Bevindingen uit de achtergrondstudie

De achtergrondstudie bevestigt de basis van het eerdere ENW-advies uit 2019, namelijk dat 'vooraf uitgaan van de gemiddelde snelheid van klimaatverandering het goedkoopste is. (...) [Deze analyses] maken wel duidelijk dat het zeker niet optimaal is om nu standaard uit te gaan van een scenario dat, vergeleken met de andere beschikbare klimaatscenario's, nogal hoog of juist laag is. Laat staan dat het economisch verstandig zou zijn om uit te gaan van een extreem hoog scenario'.

Uit de numerieke experimenten blijkt dat uitgaan van de gemiddelde snelheid van het effect van klimaatverandering op de ontwerpbelastingen (het middentempo) inderdaad het goedkoopste is. Gevoeligheidsanalyses tonen dat aannames ten aanzien van de breedte en scheefheid van de verdeling van de zeespiegelstijging, alsmede de discontovoet, geen wezenlijke invloed hebben op deze conclusie.

De conclusie geldt voor zowel dijken als kunstwerken. Wel is de optimale ontwerp levensduur voor kunstwerken langer dan voor dijken. Dit komt doordat het aandeel vaste kosten bij kunstwerken hoger is dan bij dijken. Dit leidt tot een grotere toeslag op de ontwerpbelasting bij kunstwerken dan bij dijken, ook al wordt in beide gevallen uitgegaan van het gemiddelde tempo van het effect van klimaatverandering.

De vraag hoe we dan aan het 'gemiddelde' komen bespreken we in de volgende twee hoofdstukken: eerst voor zeespiegelstijging en daarna voor de verandering van rivierafvoeren.



Advies ten aanzien van zeespiegelstijging

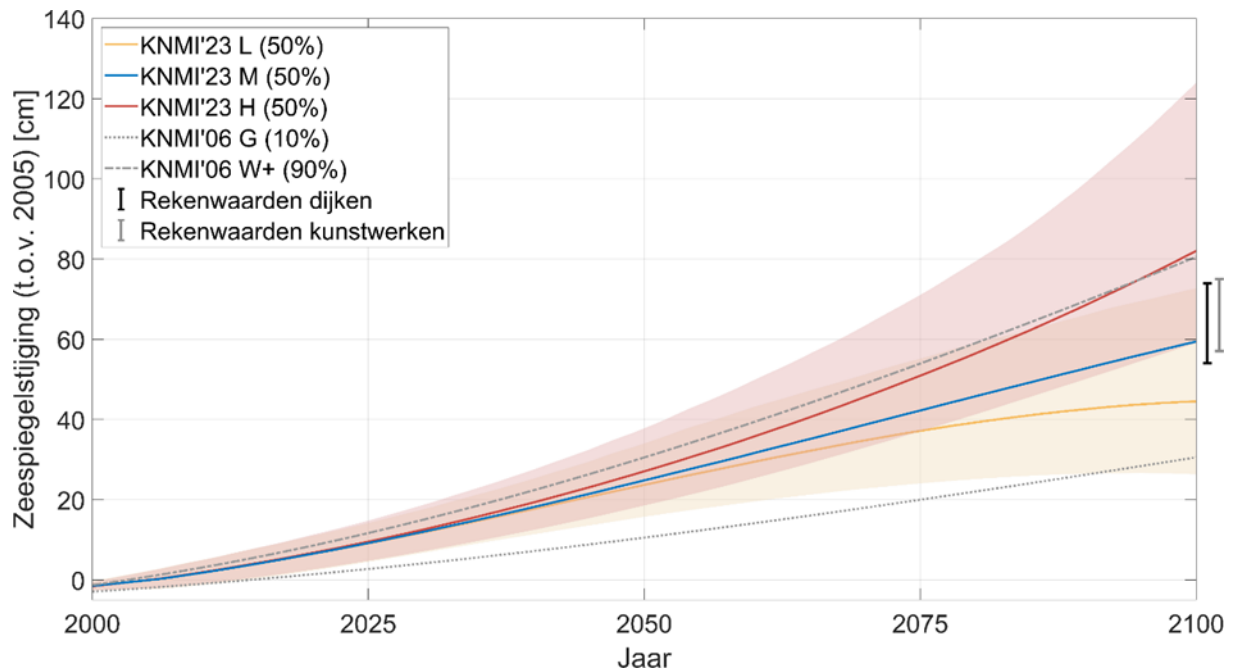
Vanuit de gedachte van het gemiddelde als passend uitgangspunt adviseert het ENW om bij het ontwerpen van waterkeringen voor zeespiegelstijging uit te gaan van de 50%-waarde van het scenario M (gematigde uitstoot, SSP2-4.5) van het KNMI'23. Deze aanbeveling berust op de volgende overwegingen:

- De KNMI'23 scenario's voor zeespiegelstijging zijn drie scenario's, te weten laag (L = SSP1-2.6), gematigd (M = SSP2-4.5) en hoog (H = SSP5-8.5). Deze zijn bedoeld om de volledige bandbreedte van de mogelijke effecten van klimaatverandering aan te geven voor bijvoorbeeld beleidsontwikkeling (zie bijv. www.klimaatscenario's-data.knmi.nl). Het KNMI heeft naast deze scenario's ook, los van het IPCC, Low Likelihood High Impact-scenario's ontwikkeld [6]. Deze hebben een andere functie en zijn hier daarom niet verder beschouwd.
- De uitersten van de bandbreedte worden bepaald door scenario's L en H. De effecten bij M liggen daar tussenin.
- Het scenario M van het KNMI sluit qua verwachte opwarming (~ 2,8 graden Celsius in 2100) aan bij de opwarming die voor deze eeuw wordt geschat op basis van bestaand klimaatbeleid en gemaakte afspraken [7].
- De resultaten van de numerieke experimenten leiden tot een waarde voor de optimale toeslag die relatief dichtbij de 50% waarde van scenario M ligt (zie figuur 2). Dit is niet alleen het geval als alle drie klimaatscenario's als even waarschijnlijk worden aangenomen, maar ook als meer gewicht wordt toegekend aan scenario H (zie hiervoor de achtergrondstudie).

Verder is de volgende context relevant:

- De 50%-waarde van de zeespiegelstijging volgens scenario M van 6 mm per jaar is ongeveer twee keer zo hoog als de historische stijging van 3 mm per jaar over de laatste 30 jaar [6].
- De zeespiegelstijging volgens scenario W+ uit KNMI'06 is iets hoger dan volgens het hier voorgestelde scenario M-50%. Het verschil is ongeveer 20 cm in het jaar 2100 (zie ook fig. 2). Dit betekent dat het gebruik van de 50%-waarde van scenario M als uitgangspunt voor ontwerpkeuzes geen ingrijpende wijziging met zich meebrengt ten opzichte van de huidige ontwerppraktijk.

Daarnaast is het ook van belang om nader onderzoek te doen naar verandering in windopzet en golfbelasting, en de morfologische ontwikkelingen.



Figuur 2. Zeespiegelstijging volgens de KNMI'23 scenario's L (laag), M (gematigd) en L (hoog), inclusief bandbreedtes voor L en H. Het resultaat van de uitgevoerde berekeningen voor verschillende beschrijvingen van de onzekerheid over de ZSS zijn weergegeven door bandbreedtes aan de rechterzijde van de figuur. De W+ en G scenario's uit KNMI '06 zijn getoond met stippellijnen.

Advies voor de korte termijn

Tot nieuwe hydraulische belastingendatabases van BOI beschikbaar zijn voor het ontwerpen van dijken en kunstwerken, adviseert het ENW om uit te blijven gaan van de zeespiegelstijging horend bij het scenario W+ uit KNMI'06. Bij het ontwerpen van dijken is dit momenteel de praktijk en de bijbehorende hydraulische randvoorwaarden zijn in databases beschikbaar. De afwijkingen met de 50%-waarde van het scenario M van het KNMI'23 zijn niet dusdanig dat tussentijdse (tijdelijke) aanpassing van de huidige ontwerppraktijk nodig is.

Advies ten aanzien van rivierafvoeren

Door klimaatverandering kan de afvoerstatistiek van de rivieren veranderen. Dit heeft gevolgen voor de hydraulische belastingen op de dijken langs de rivieren. Het is van belang om hiermee rekening te houden bij het ontwerpen van dijkversterkingen langs rivieren.

Het bepalen van het effect van klimaatverandering op de rivierafvoeren van de Rijn en de Maas in Nederland is complex. Het gaat namelijk om het bepalen van een respons van de rivierafvoeren op de CO₂-emissies en veranderingen in de globale temperatuur en atmosferische processen, zoals neerslag. Deze worden vervolgens via hydrologische en hydraulische modellen vertaald naar rivierafvoeren aan de grens (in het programma GRADE) en vervolgens tot waterstanden nabij de waterkering (in het programma BOI). Het is voor de onderbouwing van de modeluitkomsten belangrijk om te bekijken in welke mate de uitkomsten van de modellentrein aansluiten bij de daadwerkelijk opgetreden rivierafvoeren aan de grens.

Voor de rivierafvoeren zijn door het KNMI per KNMI'23-uitstootscenario twee varianten beschouwd: een 'nat' scenario waarin de winters sterk vernatten en de zomers licht verdrogen. En een 'droog' scenario waarin de winters licht vernatten en de zomers sterk verdrogen. In tegenstelling tot voor zeespiegelstijging, zijn er voor



de rivierafvoeren op dit moment geen bandbreedtes van de veranderingen van de rivierafvoeren per klimaatscenario beschikbaar.

Vanwege de bovengenoemde aspecten is het op dit moment moeilijk om aan te geven hoeveel de afvoeren kunnen veranderen, en tot welke bandbreedtes ten aanzien van ontwerpwaterstanden dit vervolgens leidt. Daardoor is nu nog niet mogelijk om aan te geven wat het gemiddelde tempo als richtinggevend principe praktisch betekent voor de ontwerpwaterstanden en de ontwerpafvoeren die daarachter schuilgaan. Hierbij wordt nogmaals benadrukt dat het gemiddelde tempo betrekking heeft op de ontwikkeling van ontwerpwaterstanden, en niet op de emissies. De optimale toeslag hoeft dus ook niet per se te volgen uit het middelste scenario van de set KNMI'23-scenario's.

Nadere analyse is gewenst, want hoewel het onbekend is hoe groot de bandbreedtes precies zijn, is wel duidelijk dat ze een dusdanige omvang hebben dat ze ertoe doen voor de praktijk van dijkversterkingen. Uit voorlopige resultaten van GRADE blijkt namelijk dat de ontwerpwaterstanden volgens het natte hoge scenario (Hn) en het natte gematigde scenario (Mn) van KNMI'23 al enkele decimeters van elkaar kunnen verschillen (zie bijlage 2). Het ligt in de rede dat de totale bandbreedte nog groter is. Het potentiële effect lijkt voor de Maas groter dan voor de Waal.

In het rivierengebied worden de komende jaren veel dijken versterkt. Gelet op de potentieel grote consequenties voor deze dijkversterkingen adviseert het ENW om de onzekerheid ten aanzien van het effect van klimaatverandering op de ontwerpwaterstanden langs de rivieren in beeld te brengen. Het ENW adviseert om vervolgens een keuze te maken voor een toeslag voor dijkversterkingen en ontwerpverificaties. Hierbij is het volgens het ENW logisch om uit te gaan van het gemiddelde van de bandbreedte om te komen tot een consistente aanpak. Het ENW stelt voor om hiervoor kennis van klimaat, neerslag, hydrologie, rivieren én van het ontwerpen van waterkeringen én van onzekerheids- en risicoanalyses bij elkaar te brengen, om zo op korte termijn te komen tot een pragmatische keuze voor de toeslag voor versterkingen van waterkeringen langs rivieren. Het ENW is gaarne bereid hierin mee te denken en resultaten en methoden van de hydraulische (onzekerheids)analyses voor rivieren te reviewen.

Zoals de bovenstaande discussie weergeeft, is het nuttig om bij de toekomstige afleiding van nieuwe klimaatscenario's vanaf het begin de vertaling naar en de implicaties voor het hoofdwatersysteem en de waterkeringen mee te nemen. Bijvoorbeeld door ook een klimaatscenario uit te brengen dat correspondeert met een gemiddeld tempo van veranderingen in de hydraulische ontwerpbelastingen, en direct de "doorwerking" naar rivierafvoeren en modellen op te zetten. Dan is de beschikbare informatie direct beter te gebruiken door keringbeheerders en dijkontwerpers.

Samenvatting

Het ENW acht het van groot belang dat rekening wordt gehouden met klimaatverandering en de onzekerheden daaromtrent bij het ontwerpen van waterkeringen. Specifiek bij de doorontwikkeling van de hydraulische belastingmodellen uit het BOI voor het ontwerpen van waterkeringen, adviseert het ENW om uit te gaan van het gemiddelde tempo van de veranderingen in ontwerpwaterstanden door klimaatverandering. Op basis van dit richtinggevende principe doet het ENW de volgende concrete aanbevelingen:

- Ga bij de doorontwikkeling van de hydraulische belastingmodellen voor zeespiegelstijging uit van de 50%-waarden van het scenario M (gematigde uitstoot, SSP2-4.5) van het KNMI'23;
- Breng de onzekerheid ten aanzien van het effect van klimaatverandering op de ontwerpwaterstanden langs de rivieren op de korte termijn in beeld. Maak vervolgens pragmatische keuzes voor de in de



hydraulische belastingmodellen aan te houden effecten van klimaatverandering op de afvoeren. Sluit daarbij aan bij het principe van een gemiddeld tempo.

Ten slotte beveelt het ENW aan om de kennis en behoeften uit het water(kerings)domein nadrukkelijker mee te nemen bij de ontwikkeling van toekomstige klimaatscenario's.

Referenties

- [1] Voor een toelichting op de KNMI'23-klimaatscenario's wordt verwezen naar de rapporten die beschikbaar zijn op de KNMI-website: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatscenario-s>.
- [2] ENW, 9 december 2019, Hoe omgaan met toekomstverwachtingen bij het ontwerpen van waterkeringen? Brief nummer 19-10, advies aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Directoraat-generaal Water en Bodem <https://www.enwinfo.nl/adviezen/advies-omgaan-toekomstverwachtingen-ontwerpen/>
- [3] Adviesteam Dijkontwerp, Rode draad #6 Omgang met klimaatscenario's bij het ontwerp, 26 maart 2024 (<https://adviesteamdijkontwerp.nl/rode-draden/rode-draad-nr-6-omgang-met-klimaatscenarios-bij-het-ontwerp/>).
- [4] Jongejan et al. (2025), Optimale rekenwaarde voor het tempo van de zeespiegelstijging voor ontwerpdoeleinden. Achtergrondrapport bij ENW-advies.
- [5] ENW, 2017, Grondslagen voor waterveiligheid.
- [6] Van Dorland et al. KNMI, National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands. De Bilt, 2023 | Scientific report; WR-23-02.
- [7] Zie ook <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/op-hoeveel-opwarming-stevenen-we-af>