

Van Adviesteam Dijkontwerp
Datum 26 maart 2024
Versie RD6-1
Onderwerp Rode Draad # 6: Omgang met klimaatscenario's bij het ontwerp

Inhoud

1.	Inleiding	2
2.	De klimaatscenario's van het KNMI	4
3.	Mogelijke verandering van de hydraulische belastingen bij de KNMI'23-klimaatscenario's	7
3.1	Zeespiegelstijging volgens KNMI'23	7
3.2	Verandering rivierafvoeren volgens KNMI'23	9
3.3	Verandering meerpeilstatistiek	10
4.	Anticiperen op klimaatverandering bij het ontwerp	11
4.1	Woord vooraf: reikwijdte Rode Draad is beperkt tot het ontwerp op basis van overstromingskansnormen	11
4.2	Duiding van het beslisprobleem	11
4.3	Kernpunten ENW-advies uit 2019 over de omgang met klimaatonzekerheid bij het ontwerp	13
4.4	Dilemma's bij concretisering kernpunten ENW-advies	13
4.5	Klimaatverandering is slechts een van de vele onzekerheden in een ontwerp	14
5.	Aanbevelingen.....	15
6.	Referenties	17

1. Inleiding

Het Adviesteam Dijkontwerp analyseert regelmatig de adviezen die het aan projecten geeft rondom het toepassen van overstromingskansbenadering en nieuwe kennis. De rode draden die hieruit volgen worden gerapporteerd en besproken met stakeholders, waarna ze breed worden gedeeld met geïnteresseerde dijkwerkers.

Het voorliggende memo is de zesde Rode Draden-rapportage van het Adviesteam. In dit memo wordt ingegaan op de omgang met de onzekere effecten van klimaatverandering bij het ontwerpverificaties voor primaire waterkeringen. Aanleiding hiervoor zijn de vragen die het Adviesteam uit HWBP-projecten heeft gekregen over de publicatie van de KNMI'23-klimaatscenario's.

Deze Rode Draad is als volgt opgebouwd. De snelle lezer kan direct beginnen in hoofdstuk 5, waarin een viertal concrete aanbevelingen over de omgang met de onzekere effecten van klimaatverandering bij het ontwerp van primaire waterkeringen wordt gegeven:

1. Houd vooralsnog vast aan het KNMI'06-klimaatscenario W+ bij het bepalen van de ontwerplevensduur van versterkingsmaatregelen, totdat er op landelijk niveau nadere keuzes gemaakt zijn.
2. Ga bij de doorkijk naar toekomstige versterkingen eveneens uit van het W+ scenario en niet van zeer extreme, maar hoogst onwaarschijnlijke scenario's.
3. Bouw extra robuustheid in bij het ontwerp van moeilijk vervangbare onderdelen van waterkeringen.
4. Houd rekening met droogtegevoeligheid en vernatting.

In hoofdstuk 2 tot en met 4 zijn de overwegingen gegeven die hebben geleid tot deze aanbevelingen. Eerst wordt in hoofdstuk 2 een korte toelichting gegeven op de KNMI-klimaatscenario's, waarbij we inzoomen op de aspecten die voor dijkwerkers het belangrijkste zijn. In hoofdstuk 3 gaan we nader in op de ontwikkeling van de zeespiegel en de rivierafvoeren volgens de KNMI'23-scenario's. Daarbij maken we de vergelijking met de oudere klimaatscenario's van het KNMI, de KNMI'06 en KNMI'14-scenario's. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 aangegeven hoe in algemene zin het beste kan worden omgegaan met de onzekerheid over toekomstige veranderingen bij het ontwerp van primaire waterkeringen. Daarbij grijpt het Adviesteam terug op een advies van het ENW uit 2019 [1]. Op basis van de richtinggevende adviezen van het ENW doet het Adviesteam in hoofdstuk 5 concrete aanbevelingen over de omgang met de onzekere effecten van klimaatverandering bij het ontwerp van primaire waterkeringen.

Zoals in deze Rode Draad zal worden toegelicht, is het naar het oordeel van het Adviesteam verstandig om een landelijke keuze te maken voor een passend klimaatscenario als basis van het ontwerp van primaire waterkeringen. **De aanbevelingen uit dit memo hebben dan ook een tijdelijk en pragmatisch karakter.** Ze zijn *tijdelijk* omdat ze zijn bedoeld als houvast totdat er op landelijk niveau meer duidelijkheid wordt gegeven; ze zijn *pragmatisch* omdat het Adviesteam bij het formuleren van zijn adviezen heeft gekeken welke instrumenten ontwerpers op dit moment tot hun beschikking hebben.

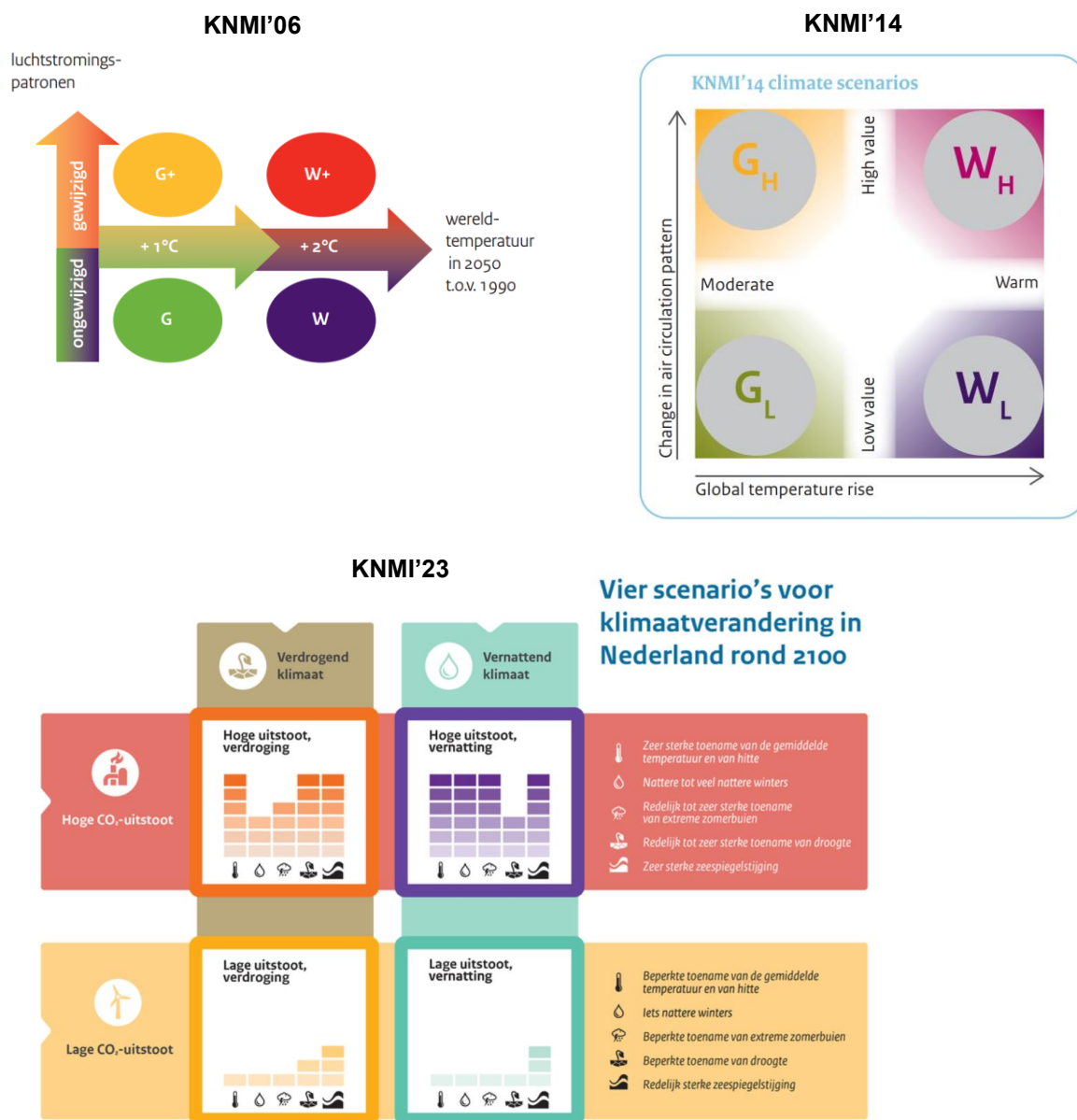
Benadrukt wordt dat het optimale gebruik van klimaatscenario's sterk afhankelijk is van het doel of het type beslisprobleem. Terwijl het voor het bepalen van de afmetingen en sterkte van een waterkering praktisch is om van één scenario uit te kunnen gaan, is het voor het maken van strategische keuzes over

de hoogwaterbescherming van Nederland raadzaam om te kijken naar de gevoeligheid voor de volledige bandbreedte waarbinnen het klimaat in Nederland zich kan ontwikkelen. De aanbevelingen uit dit memo zijn dan ook niet zondermeer te veralgemeniseren naar andere typen beslissingen waarvoor de effecten van klimaatverandering van belang zijn.

Reacties en feedback op deze zesde Rode Draden rapportage zijn van harte welkom. Uiteraard zijn wij ook bereikbaar voor nadere toelichting en ondersteuning bij projecten. U kunt ons bereiken via info@adviesteamdijkontwerp.nl.

2. De klimaatscenario's van het KNMI

Het klimaat is aan verandering onderhevig. Ten behoeve van onderzoek naar de effecten van klimaatscenario's en de omgang worden door het KNMI klimaatscenario's gepubliceerd. Deze scenario's geven aan hoe het klimaat er in Nederland in de toekomst uit zou kunnen zien, uitgaande van de bevindingen van het IPCC en onderzoek van het KNMI. Op 9 oktober 2023 zijn de KNMI'23-klimaatscenario's gepubliceerd [2]. Deze vervangen de KNMI'14-senario's, die weer werden voorafgegaan door de KNMI'06-scenario's (Figuur 1).



Figuur 1. De klimaatscenario's KNMI'06, KNMI'14 en KNMI'23 (bron: KNMI).

Steeds heeft het KNMI klimaatscenario's gepubliceerd die fundamenteel van elkaar verschillen. De scenario's zijn feitelijk een greep uit de vele mogelijkheden. Dit wordt toegelicht in het volgende hoofdstuk. Samen geven de scenario's een indruk van de bandbreedte waarbinnen het klimaat in Nederland kan veranderen. Door het KNMI zijn aan de verschillende scenario's echter geen kansen toegekend. In de scenario's komen zowel de effecten van menselijk handelen tot uitdrukking (via temperatuurstijging in KNMI'06 en KNMI'14, CO₂-uitstoot in KNMI'23) als de mogelijke manieren waarop het weersysteem daarop reageert (luchtcirculatie in KNMI'06 en KNMI'14, verdroging/vernatting in KNMI'23).

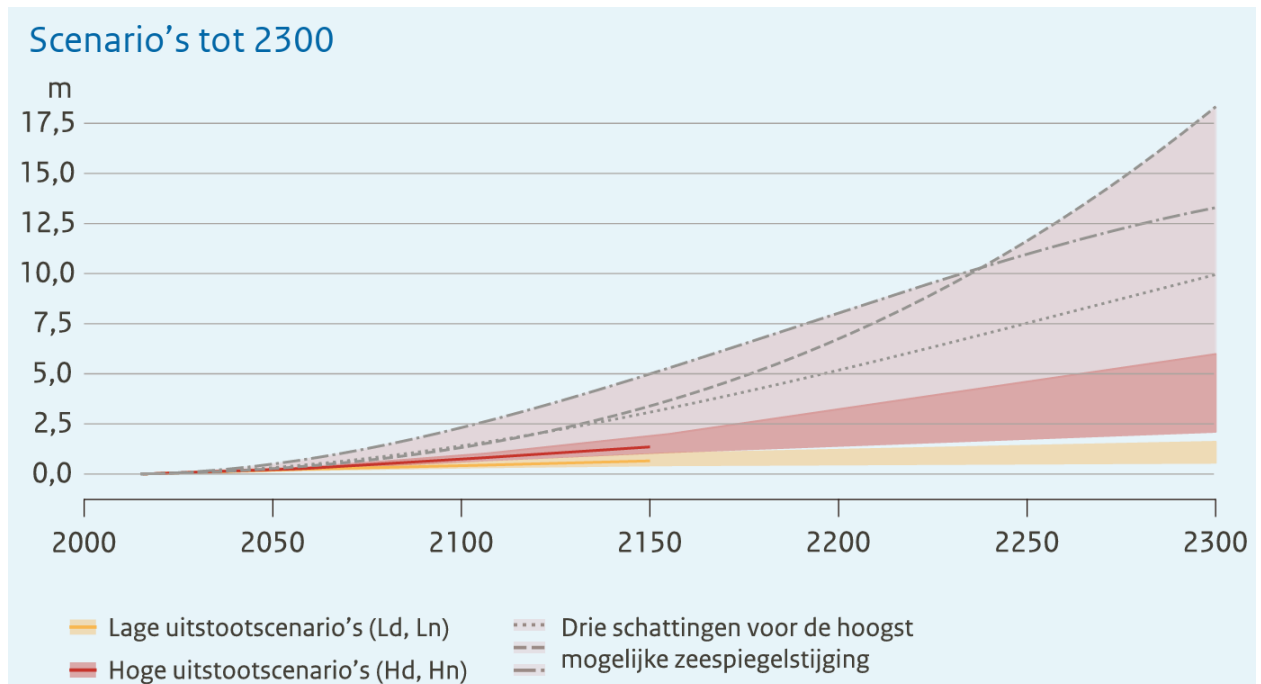
Met de klimaatscenario's is na te gaan in hoeverre keuzes voor de middellange en de lange termijn gevoelig zijn voor de ontwikkeling van het klimaat. Zo kan de kans op 'regret' (spijt) worden verkleind. De scenario's kunnen ook dienen als houvast bij het ontwerp van primaire waterkeringen. In de momenteel beschikbare hydraulische belastingmodellen zijn het G en W+ klimaatscenario van KNMI'06 geïmplementeerd. Andere en latere scenario's zijn niet geïmplementeerd, al is met enig handwerk wel een indruk te krijgen van hun consequenties.

De klimaatscenario's van het KNMI worden voor uiteenlopende doeleinden, in verschillende beleidsvelden, gebruikt. Per scenario beschrijft het KNMI dan ook voor een groot aantal aspecten de te verwachten veranderingen. Voor het ontwerp van primaire waterkeringen zijn niet alle aspecten even relevant. Hieronder wordt kort stilgestaan bij de meest relevante. Voor het ontwerp van kunstwerken, zoals sluizen en gemalen, zijn mogelijk ook andere aspecten van belang, zoals veranderingen in laagwaterstanden.

De KNMI'06-, KNMI'14- en KNMI'23-scenario's schetsen consequent het volgende beeld:

1. de zeespiegel stijgt in een onzeker tempo,
2. de kans op stormopzet (door wind veroorzaakte waterstandsverhoging) verandert niet,
3. de windsnelheid en windrichting veranderen weinig,
4. de winters worden natter, met een toename van de extreme neerslaghoeveelheden,
5. de zomers worden droger, met een grotere kans op piekbuien.

Het eerste punt betekent dat er bij het ontwerp van primaire waterkeringen rekening moet worden gehouden met steeds hogere ontwerpwaterstanden langs de kust. De onzekerheden over de zeespiegelstijging nemen richting de toekomst steeds verder toe. Dit is in Figuur 2 getoond voor de KNMI'23-scenario's. Te zien is dat de bandbreedte tot 2050 relatief klein is, maar daarna toeneemt. De Low Likelihood High Impact-scenario's van het KNMI (niet IPCC) laten een zeespiegelstijging zien die steeds verder uitstijgt boven de bandbreedtes van de lage en hoge uitstootscenario's die het KNMI heeft bepaald volgens de uitgangspunten van het IPCC.



Figuur 2. Ontwikkeling zeespiegelstijging volgens KNMI'23 voor de lage uitstootscenario's (gele band), de hoge uitstootscenario's (rode band) uitstootscenario's en de Low Likelihood High Impact-scenario's van het KNMI (bron: [2]).

Punten twee en drie (nauwelijks veranderingen t.a.v. stormvloed en windklimaat) betekenen dat er ten aanzien van de stormopzet en golfbelastingen geen grote veranderingen zijn te verwachten. Hooguit zijn er veranderingen te verwachten in het niveau waarop hoge golfbelastingen zich kunnen voordoen, door de veranderingen in de waterstandstatistiek.

Het vierde punt (nattere en heviger neerslag in winter) heeft onder andere consequenties voor de rivierafvoeren. Als de kans op extreme neerslag in het stroomgebied van de grote rivieren toeneemt, dan neemt de kans op hoogwater op de rivieren in Nederland toe. De toekomstige veranderingen in de waterstandstatistiek langs de rivieren en op de grote meren zijn echter ook in hoge mate afhankelijk van menselijke ingrepen in het riviersysteem. Nattere winters kunnen er verder voor zorgen dat de dijken natter zijn als ze hoogwaterstanden moeten keren, met invloed op hun stabiliteit.

Het vijfde punt (drogere zomers met grotere kans op extreme neerslag) geeft aan dat de droogtegevoeligheid van dijksmateriaal en dijkvegetatie steeds belangrijker zal worden. De ervaringen met neerslagtekorten uit de afgelopen jaren geven aan dat dit ook nu al een belangrijk aandachtspunt is. Dit wordt door de sector ook onderkend. Zo wordt in het onderzoek Future Dikes onderzoek gedaan naar kruidenrijke dijkvegetatie, waarbij ook nadrukkelijk wordt gekeken naar de droogtegevoeligheid van dit bekledingstype. De grotere kans op extreme neerslag in de zomer heeft mogelijk gevolgen voor de kans op hoogwater in het zomerseizoen.

3. Mogelijke verandering van de hydraulische belastingen bij de KNMI'23-klimaatscenario's

In dit hoofdstuk gaan we nader in op de stijging van de zeespiegel volgens de KNMI'23-scenario's, evenals de verandering van de rivierafvoeren en de meerpeilstatistiek. Daarbij maken we ook een vergelijking met de KNMI'06- en KNMI'14-scenario's.

3.1 Zeespiegelstijging volgens KNMI'23

KNMI'23 bevat voor zeespiegelstijging drie klimaatscenario's, te weten laag (L = SSP1-2.6), midden (M = SSP2-4.5) en hoog (H = SSP5-8.5). Er zijn data voor de jaartallen 2050, 2100 en 2150. De SSP's zijn "Shared Socio-economic Pathways", oftewel narratieven die elk passen bij een tijdverloop van CO₂-emissies zoals gekozen door het IPCC. Hiervan zijn er vijf gedefinieerd en deze worden weergegeven door het getal voor het koppelteken (SSP1-xx, etc.). Hoe groter de CO₂-uitstoot, des te hoger de globale temperatuuroptocht t.o.v. het referentiejaar 1850, en des te meer de zeespiegel en de rivierafvoeren stijgen. De laatste twee cijfers van het SSP geven de hoeveelheid W/m² instraling op de aarde in 2100 aan en dit getal is bepalend voor het klimaateffect voor waterveiligheid. Dus in het (hoge) klimaatscenario SSP5-8.5 wordt uitgegaan van het meest ongunstige CO₂-emissiescenario en een instraling van 8,5 W/m² op de aarde.

In KNMI'06 en KNMI'14 was er per scenario alleen een bandbreedte van de zeespiegelstijging beschikbaar, te weten 10%-90% voor KNMI'06 en 5%-95% voor KNMI'14. Bijzonder aan KNMI'23 is dat er per scenario niet 2 maar 5 percentielen voor ZSS beschikbaar zijn, te weten 5%, 17%, 50%, 83% en 95%. De range 17%-83% wordt in het IPCC-AR6 (Sixth Assessment Report) de 'likely range' genoemd. De range 5%-95% wordt in het IPCC-AR6 de 'very likely range' genoemd. Het IPCC publiceert bij voorkeur de 'likely range' terwijl het KNMI in zijn hoofdrapport de mediaan en de 'very likely range' heeft gegeven¹. De 'likely range' is wel beschikbaar en opvraagbaar bij het KNMI.

KNMI'23 is geconditioneerd op CO₂-emissies terwijl de oudere scenario's zijn geconditioneerd op de globale temperatuur. De bandbreedte is mede daardoor in KNMI'23 wat groter dan voorheen. Er wordt namelijk extra onzekerheid geïntroduceerd door de omrekening van CO₂ naar temperatuur. Hierdoor is de zeespiegelstijging in 2100 in KNMI'23 groter dan in KNMI'14 voor hetzelfde percentiel bij scenario's met eenzelfde stralingsintensiteit. Bij de hogere percentielen wordt dit verschil ook beïnvloed doordat in KNMI'23, anders dan in KNMI'14, het effect van het afsmelten van landijs op Antarctica wordt meegenomen.

Om een indruk te geven van de mogelijke zeespiegelstijging volgens KNMI'23 is in Tabel 1 de zeespiegelstijging in 2075 t.o.v. 2005 getoond voor een selectie van de mogelijkheden. Om deze in perspectief te plaatsen is ook de zeespiegelstijging getoond volgens de KNMI'06- en KNMI'14-scenario's. De keuze voor het zichtjaar 2075 in Tabel 1 is bewust omdat het bij het ontwerp van zeedijken gangbaar is om uit te gaan van een ontwerplevensduur van 50 jaar. In kolom 4 van Tabel 1 is aangegeven welk

¹ Echter, voor 2150 betreft dit bij KNMI'23 ook de 'likely range' omdat de 'very likely range' dan te onbetrouwbaar wordt volgens KNMI. Dit wordt helaas niet expliciet vermeld op het Dataportaal van KNMI. Op het Dataportaal staan bovendien de gegevens voor H in 2150 per abuis onder M (d.d. 31-01-2024).

percentiel uit de cumulatieve kansverdeling (CDF) van de zeespiegelstijging voor het betreffende klimaatscenario is beschouwd.

Tabel 1. Projecties van de zeespiegelstijging (ZSS) in 2075 t.o.v. 2005 voor de drie KNMI'23-scenario's voor verschillende percentielen, evenals de projecties voor enkele KNMI'06- en KNMI'14-scenario's.²

Nr	Set	Scenario	Percentiel	Referentie-jaar	Interpolatie?	ZSS (cm) in 2075 t.o.v. 2005
1.	KNMI23	SSP1-2.6	5%	2005	2075 data van KNMI	24
2.	KNMI23	SSP1-2.6	17%	2005	2075 data van KNMI	29
3.	KNMI23	SSP1-2.6	50%	2005	2075 data van KNMI	37
4.	KNMI23	SSP1-2.6	83%	2005	2075 data van KNMI	46
5.	KNMI23	SSP2-4.5	17%	2005	2075 data van KNMI	34
6.	KNMI23	SSP2-4.5	50%	2005	2075 data van KNMI	42
7.	KNMI23	SSP2-4.5	83%	2005	2075 data van KNMI	52
8.	KNMI23	SSP5-8.5	17%	2005	2075 data van KNMI	43
9.	KNMI23	SSP5-8.5	50%	2005	2075 data van KNMI	51
10.	KNMI23	SSP5-8.5	83%	2005	2075 data van KNMI	61
11.	KNMI23	SSP5-8.5	95%	2005	2075 data van KNMI	71
12.	KNMI06	G	10%	1990	lineair op 2050 en 2100	21
13.	KNMI06	G	90%	1990	lineair op 2050 en 2100	39
14.	KNMI06	W+	90%	1990	lineair op 2050 en 2100	56
15.	KNMI14	GL	5%	1995	lineair op 2050 en 2085	19
16.	KNMI14	GL	95%	1995	lineair op 2050 en 2085	36
17.	KNMI14	WH	95%	1995	lineair op 2050 en 2085	58

Rijen 1 t/m 11 van Tabel 1 tonen het volgende over de KNMI'23-scenario's:

- De voorspelde zeespiegelstijging in 2075 varieert met enkele decimeters tussen de uitstootscenario's SSP1-2.6 (L), SSP2-4.5 (M) en SSP5-8.5 (H), van 24cm (5%-waarde SSP1-2.6) tot 71cm (95%-waarde van SSP5.85).
- De verschillen tussen de percentielwaarden zijn relatief groot. Dit maakt de keuze voor een percentielwaarde minstens zo belangrijk als de keuze voor een uitstootscenario.

Rijen 12 t/m 17 van Tabel 1 geven een beeld van de eerdere KNMI-scenario's. Hierbij valt op dat de 90%-waarde van de zeespiegelstijging in het KNMI'06-klimaatscenario W+ (rij 14) nauwelijks afwijkt van de 83%-waarde van de zeespiegelstijging bij SSP5-8.5 (rij 10). Hetzelfde geldt voor de 95%-waarde van het KNMI'14-scenario WH (rij 17). De achtergronden van deze predicties zijn uiteraard wel verschillend.

² Voor het verschil tussen 1990 (KNMI'06) en 1995 (KNMI'14) met 2005 (KNMI'23) is in de laatste kolom van de tabel gecorrigeerd met resp. 3cm en 4cm zeespiegelstijging.

3.2 Verandering rivierafvoeren volgens KNMI'23

Bij de KNMI'23-scenario's is niet aangegeven welke veranderingen zijn te verwachten ten aanzien van de kansen op extreme rivierafvoeren en hoogwaterstanden op de rivieren. Ook bij de KNM'06- en KNMI'14-scenario's werd dit niet aangegeven. Wel heeft het KNMI steeds aangegeven welke veranderingen ten aanzien van neerslagpatronen zijn te verwachten.

De vertaling van veranderingen in neerslagpatronen in het stroomgebied van de grote rivieren naar veranderingen in rivierafvoeren en waterstanden (en vormen van afvoergolven) is niet eenvoudig. Er zijn relatief complexe modelberekeningen nodig om het effect van klimaatverandering op de hydraulische belastingen langs de rivieren te kunnen bepalen. Door Deltares is in samenwerking met Rijkswaterstaat en het KNMI onderzoek gedaan naar de verandering in de afvoer van de Rijn en de Maas [3]. Dit onderzoek was echter niet gericht op veranderingen in het bereik van afvoeren dat relevant is voor het ontwerp van waterkeringen.

De hydraulische belastingen langs de rivieren veranderen overigens niet alleen door klimaatverandering. Minstens zo belangrijk zijn de natuurlijke dynamiek van de rivieren, onze rivierkundige ingrepen en de ontwikkelingen in het stroomgebied van de rivieren. Hierbij gaat het over o.a. de natuurlijke veranderingen in de bodemligging en morfologie van de rivieren, de effecten van integraal riviermanagement, 'ruimte-voor-rivier'-maatregelen en strategische keuzes zoals Lek Ontzien. Verder kunnen ontwikkelingen in het stroomgebied van de rivieren ervoor zorgen dat het water sneller of juist minder snel tot afstroming komt (bijv. door aanleg nieuwe stuwweren). Ook toekomstige hoogwaterbeschermingsmaatregelen (en noodmaatregelen) in bijvoorbeeld Duitsland zijn van invloed op de extreme afvoeren bij Lobith. Deze veranderingen kunnen deels samenhangen met de ontwikkeling van het klimaat. Dit onderstreept het belang van zorgvuldige modelstudies om per klimaatscenario het effect op de hydraulische belastingen (database fysica en m.n. de afvoerstatistiek) te bepalen. Dit is zeer specialistisch werk en zeker niet iets wat projecten eenvoudig zelf kunnen doen.

In Nederland wordt gebruik gemaakt van het modelsysteem GRADE (Generator of Rainfall and Discharge Extremes) om de kansen op extreme afvoeren te bepalen voor de Rijn en de Maas. GRADE omvat een neerslaggenerator, een hydrologisch model (HBV) en een hydraulisch model (SOBEK). Met dit modelsysteem kan ook het effect van klimaatverandering op de kansen op extreme afvoeren in Rijn en Maas worden onderzocht.

Met GRADE is de afvoerstatistiek bepaald voor de KNMI'06-scenario's G en W+. Dat is gedaan voor verschillende zichtjaren, rekening houdend met toekomstige veranderingen in het stroomgebied. De berekeningsresultaten zijn beschikbaar in de huidige hydraulische belastingmodellen. Voor de KNMI'14 en KNMI'23-klimaatscenario's is dit niet het geval. Voor de KNMI'23 scenario's loopt momenteel nog een GRADE-studie. Naar verwachting zullen medio dit jaar resultaten voor de Rijn en Maas beschikbaar komen en later ook voor de Vecht. Deze moeten dan echter nog worden verwerkt in de hydraulische belastingmodellen. Vooral nog is het voor ontwerpers dus alleen goed mogelijk om na te gaan welke veranderingen in de hydraulische ontwerpbelastingen op termijn zijn te verwachten bij de KNMI'06-klimaatscenario's G en W+.

3.3 Verandering meerpeilstatistiek

De statistiek van de meerpeilen (bijv. IJsselmeer, Markermeer, Grevelingen) wordt in grote mate bepaald door menselijk handelen. Hier zijn de keuzes ten aanzien van de streefpeilen in het stormseizoen zeer bepalend voor de hydraulische belastingen op waterkeringen. Het is uiteraard denkbaar dat de huidige verwachtingen/beleidsvoornemens in de toekomst wijzigen als bijvoorbeeld blijkt dat de zeespiegel veel sneller stijgt dan nu voorzien, de winters veel natter worden of de zomers veel droger. Het Adviesteam heeft echter tot dusver geen signalen ontvangen waaruit blijkt dat de beleidsvoornemens ten aanzien van de meerpeilen wezenlijk zullen wijzigen vanwege de KNMI'23-scenario's.

4. Anticiperen op klimaatverandering bij het ontwerp

Zoals toelicht in hoofdstuk 3 wordt verwacht dat de kansen op extreme waterstanden langs de kust, de rivieren en de meren zullen veranderen door klimaatverandering (en door veranderingen in het watersysteem). Het tempo van deze veranderingen is echter onzeker. Wat betekent deze onzekerheid voor het ontwerp van primaire waterkeringen? Daar wordt in dit hoofdstuk nader op ingegaan.

4.1 Woord vooraf: reikwijdte Rode Draad is beperkt tot het ontwerp op basis van overstromingskansnormen

De Nederlandse primaire waterkeringen worden continu gemonitord en periodiek beoordeeld. Dit wordt gedaan om te zien of ze voldoen aan de wettelijke normen (maximaal toelaatbare overstromingskansen). Een dijkversterking wordt feitelijk ontworpen met het oog op toekomstige beoordelingen. Ofwel: een dijk wordt zodanig ontworpen dat ze gedurende enige tijd aan de maximaal toelaatbare overstromingskans op jaarbasis zal voldoen. Dit wordt gedaan door in het ontwerp marges te introduceren om veranderingen in de belasting (bijv. door zeespiegelstijging) en de sterkte (bijv. door degradatie, zettingen) gedurende een bepaalde periode, de ontwerplevensduur, op te kunnen vangen. Hoe langer de ontwerplevensduur, des te groter bijvoorbeeld de zeespiegelstijging is die in ontwerpverificaties van een zeedijk in rekening wordt gebracht.

De ontwerpsystematiek voor primaire waterkeringen wijkt fundamenteel af van de wijze waarop bouwwerken zoals gebouwen en bruggen worden ontworpen. Deze worden zodanig ontworpen dat de bezwijkkans in een aaneengesloten periode van 50-100 jaar voldoende klein is (zie NEN-EN1990). Ze worden dus niet ontworpen met het oog op toekomstige toetsingen aan het afkeurniveau uit NEN8700, wat analoog zou zijn aan de wijze waarop primaire keringen worden ontworpen. Dit verschil leidt ertoe dat de optimale omgang met onzekerheid over klimaatverandering bij het ontwerp van bouwwerken zoals gebouwen en bruggen anders is dan bij het ontwerp van waterkeringen. De adviezen uit deze Rode Draad over de omgang met klimaatscenario's bij het ontwerp van waterkeringen kunnen dan ook niet zondermeer worden veralgemeniseerd naar het ontwerp van constructies op basis van de Eurocodes.

4.2 Duiding van het beslisprobleem

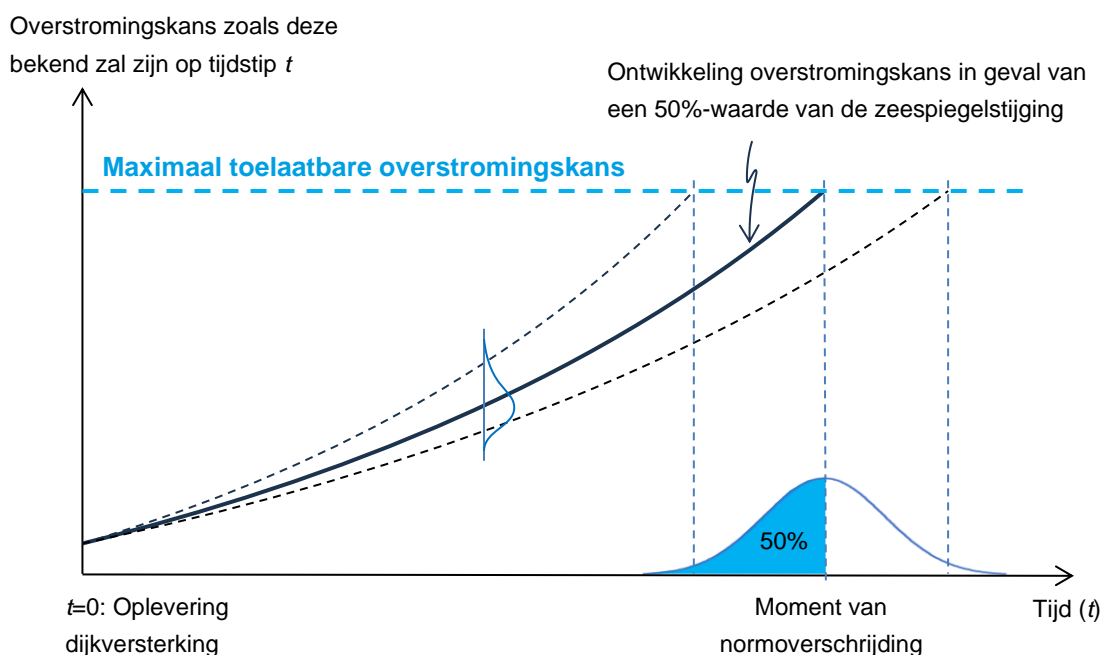
Als de toekomst perfect voorspelbaar zou zijn, dan zou het mogelijk zijn om perfect te voorspellen op welk moment de maximaal toelaatbare overstromingskans opnieuw bereikt zou worden. De door de ontwerper gekozen ontwerplevensduur zou dan identiek zijn aan de tijd tot een volgende ingreep. De realiteit is uiteraard anders. De onzekerheid over toekomstige veranderingen in belasting en/of sterkte zorgt ervoor dat de tijd tot een volgende ingreep onzeker is.

Het bovenstaande kan worden geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld: het ontwerp van een zeedijk. Gemakshalve wordt aangenomen dat het enige wat in de tijd verandert de stijgende zeespiegel is.³ Het tempo waarmee de zeespiegel verandert, is onzeker. Als blijkt dat de zeespiegel sneller stijgt dan bij het ontwerp van de zeedijk is aangenomen, dan zal dit tot uitdrukking komen in de resultaten van toekomstige beoordelingen. Daaruit zal dan blijken dat de maximaal toelaatbare overstromingskans

³ Naast het tempo van bijv. zeespiegelstijging zijn we in een ontwerp over tal van andere zaken onzeker. De omgang met het geheel aan onzekerheden bepaalt de kans dat de volgende dijkverbetering vroeger of later dan beoogd moet worden uitgevoerd.

eerder wordt bereikt dan bij het ontwerp is aangenomen. De eerstvolgende dijkversterking dient zich dan dus eerder aan dan bij het ontwerp is verondersteld. Andersom leidt een zeespiegel die minder snel stijgt dan bij het ontwerp is aangenomen ertoe dat de eerstvolgende dijkversterking zich later aandient.

Het bovenstaande betekent dat de onzekerheid over het tempo van zeespiegelstijging niet leidt tot een veiligheidstekort, maar tot onzekerheid over het moment waarop de eerstvolgende dijkversterking zich zal aandienen. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 3. De vraag met welk tempo van zeespiegelstijging in het ontwerp moet worden gerekend, is dan ook niet zozeer een veiligheidsvraagstuk als wel een economisch vraagstuk.



Figuur 3. Schematische weergave van de onzekerheid over het moment van toekomstige normoverschrijding als gevolg van onzekerheid over het tempo van zeespiegelstijging.

De vraag die feitelijk voorligt, is de volgende: wat is de optimale omvang van de ingreep (bijv. mate van dijkverhoging), rekening houdend met de onzekere toekomst? Door de onzekerheid over het tempo van bijvoorbeeld zeespiegelstijging hoort bij deze optimale omvang een onzekere tijdperiode tot de volgende normoverschrijding/versterking. Helaas is het bepalen van dit optimum niet eenvoudig. Makkelijker wordt het als we bij de bepaling van de optimale omvang van een ingreep kunnen rekenen met een deterministisch tempo van zeespiegelstijging (een rekenwaarde, zonder onzekerheid). Dit tempo kan dan als basis dienen voor (1) de bepaling van de optimale ontwerp levensduur middels LCC-analyses en (2) de in ontwerpverificaties in rekening te brengen zeespiegelstijging. Dit roept de vraag op van welk (deterministisch) toekomstscenario ontwerpers uit moeten gaan om het ware optimum (rekening houdend met de onzekerheid over de toekomst) zo dicht mogelijk te naderen.

4.3 Kernpunten ENW-advies uit 2019 over de omgang met klimaatonzekerheid bij het ontwerp

In 2019 heeft het ENW een advies uitgebracht over het omgaan met onzekerheid over o.a. zeespiegelstijging bij het ontwerp van waterkeringen [2]. In dat advies zijn de volgende richtinggevende aanbevelingen gedaan.

Ten eerste heeft het ENW op grond van economische argumenten geadviseerd om niet standaard uit te gaan van het hoogste van de beschikbare klimaatscenario's, maar om standaard het scenario te gebruiken dat het dichtst bij het zogeheten middentempo (=gemiddeld tempo) komt, in (1) de bepaling van de optimale ontwerplevensduur en (2) ontwerpverificaties uitgaande van deze ontwerplevensduur. In zijn onderbouwing verwijst het ENW naar diversie studies die tonen dat het vooraf uitgaan van het gemiddelde tempo van klimaatverandering de grootste netto baten oplevert. Dit komt omdat de kans op meevallers (omdat later dan beoogd een nieuwe versterking nodig is om het risico voldoende klein te houden) in dat geval in balans is met de kans op tegenvallers (omdat eerder dan beoogd een nieuwe versterking nodig is om het risico voldoende klein te houden).

Ten tweede heeft het ENW geadviseerd om bij het ontwerp van waterkeringen consequent een doorkijk te maken naar toekomstige versterkingen, om toekomstige knelpunten zoveel mogelijk te vermijden. Soms kunnen tegen relatief beperkte (meer)kosten toekomstig problemen uit de weg worden gegaan. Ook kan de keuze voor het type ontwerp oplossing anders uitvallen als rekening wordt gehouden met toekomstige versterkingsrondes. Zo zijn grondconstructies eenvoudiger aan te passen dan 'harde' oplossingen zoals damwandconstructies, en zijn onverankerde damwanden toekomstbestendiger dan verankerde damwanden.

Ten derde heeft het ENW geadviseerd om een ongunstig klimaatscenario aan te houden als vroegtijdige normoverschrijding zeer ongewenst is, omdat een kering nauwelijks of alleen tegen hoge kosten aanpasbaar is. Dit kan spelen bij kunstwerken zoals sluizen en gemalen. Voorbeelden van moeilijk aanpasbare constructieonderdelen zijn hier de fundering en betonconstructie. Door uit te gaan van een bovengemiddeld tempo van klimaatverandering kan tegen relatief beperkte meerkosten de kans klein gehouden worden dat de waterveiligheidsnormen vroegtijdig aanleiding geven tot een kostbare vervangingsopgave.

Het Adviesteam beschouwt de bovengenoemde richtinggevende adviezen van het ENW als een goede basis voor het formuleren van concrete aanbevelingen voor de omgang met klimaatverandering bij het ontwerp van primaire waterkeringen. Deze aanbevelingen neemt het Adviesteam daarom over. Zoals in de onderstaande paragraaf wordt toegelicht, is de concretisering van de punten uit het ENW-advies echter geen puur technisch-inhoudelijk kwestie.

4.4 Dilemma's bij concretisering kernpunten ENW-advies

In de voorgaande paragraaf is toegelicht waarom de keuze voor een middentempo in veel gevallen de voorkeur verdient en dat het verstandig is om soms met een ongunstiger tempo rekening te houden. Maar wat is het middentempo? Het antwoord op die vraag is helaas niet eenvoudig te geven. Dat komt omdat dit geen puur technisch-inhoudelijk vraagstuk is; het antwoord kan (binnen redelijke grenzen) van persoon tot persoon verschillen.

De onzekerheid over het tempo van de zeespiegelstijging kent twee belangrijke oorzaken. Ten eerste is er modelonzekerheid, d.w.z. onzekerheid die voortkomt uit de moeilijkheid om complexe fysische processen nauwkeurig te beschrijven. Hierdoor is er onzekerheid over het precieze tempo van de zeespiegelstijging bij een gegeven (bekend) CO₂-emissiescenario. Deze onzekerheid is in beginsel te kwantificeren op basis van wetenschappelijk onderzoek. Door nader onderzoek is ze te verkleinen. Er zijn echter ook fysische processen waarvan de onzekerheid vooralsnog moeilijk op basis van data is te kwantificeren.

Ten tweede is er onzekerheid over de toekomstige CO₂-emissies. Deze onzekerheid komt voort uit de onvoorspelbaarheid van toekomstig beleid, economische ontwikkeling, technologische ontwikkeling, etc. Dit type onzekerheid is moeilijk 'objectief' te kwantificeren. De verwachtingen over de ontwikkeling van toekomstige CO₂-emissies ('de subjectieve kansen per emissiescenario') zijn van persoon tot persoon verschillend. Terwijl de één de kans groot acht dat de emissies sterk zullen stijgen, acht de ander die kans klein.

Het bovenstaande verklaart (mede) waarom het KNMI geen kansen heeft toegekend aan de verschillende klimaatscenario's [3]. Wat voor de één het 'midentempo' is, kan voor de ander dus juist een onwaarschijnlijk (optimistisch of pessimistisch) tempo zijn. Hoe kan het beste met deze subjectiviteit worden omgegaan?

In een context waarin de (ontwerp)beslissingen van de één geen consequenties hebben voor een ander, maakt het weinig uit dat de ene beslisser er andere opvattingen op nahoudt dan de ander. Solidariteit is echter een van de kernwaarden van de Nederlandse hoogwaterbescherming. De kosten van dijkversterkingen worden door de waterschappen en het Rijk gezamenlijk gedragen. Het zou dan ook voor ongelijkheid zorgen als elk waterschap naar eigen inzicht/opvattingen een midentempo zou aanwijzen. Daarom is het in de ogen van het Adviesteam wenselijk dat een landelijke keuze voor het bij het ontwerp aan te houden klimaatscenario gemaakt wordt.

4.5 Klimaatverandering is slechts een van de vele onzekerheden in een ontwerp

Tot slot is het goed om te beseffen dat de onzekerheid omtrent de effecten van klimaatverandering slechts een van de vele onzekerheden in het ontwerp is. Zowel aan de belastingkant als aan de sterktekant zijn we over tal van zaken onzeker en de impact op het ontwerp kan groot zijn. Daarom wijzen we voor de volledigheid nog graag op één van de kernboodschappen van het Adviesteam, namelijk dat het bij de omgang met onzekerheden belangrijk is om deze in samenhang beschouwen. Dat vraagt maatwerk waar het Adviesteam graag bij helpt!

5. Aanbevelingen

Hoewel een landelijke keuze over de aan te houden klimaatscenario's bij het ontwerp van primaire waterkeringen nog niet is gemaakt, is de publicatie van de KNMI'23-scenario's voor HWBP-projecten een onontkoombaar gegeven. Het Adviesteam ziet ook dat er in HWBP-projecten al wordt nagedacht over de betekenis van de KNMI'23-klimaatscenario's voor het ontwerp van versterkingsmaatregelen. Omdat het Adviesteam het onwenselijk acht dat elk project voor zich de KNMI'23-scenario's gaat onderzoeken en vervolgens zijn eigen keuzes maakt, doet het Adviesteam in dit hoofdstuk enkele concrete aanbevelingen.

Deze aanbevelingen zijn bedoeld als houvast, totdat er op landelijk niveau nadere keuzes gemaakt zijn.

1. Houd vooralsnog vast aan het KNMI'06-klimaatscenario W+ t.a.v. afvoer en zeewaterstand

Bij het ontwerp van dijken is het momenteel gebruikelijk om uit te gaan van de zeespiegelstijging en de rivierafvoeren horend bij het KNMI'06-klimaatscenario W+. Dit scenario is ook beschikbaar in de momenteel beschikbare hydraulische belastingmodellen. Hoewel het G-scenario ook beschikbaar is in de hydraulische belastingmodellen, constateert het Adviesteam dat dit scenario in de praktijk weinig wordt gebruikt bij het ontwerp van waterkeringen. Als een ingreep met een kleinere omvang gewenst is, dan wordt in projecten eerder gekozen voor een kortere ontwerplevensduur dan het mildere G-scenario.

Het Adviesteam ziet in de bandbreedtes van de effecten per klimaatscenario uit KNMI'23 geen duidelijke aanleiding om af te wijken van de huidige ontwerppraktijk. Daarom adviseert het Adviesteam om vast te houden aan het KNMI'06-klimaatscenario W+ bij het bepalen van de ontwerplevensduur van versterkingsmaatregelen en de daarbij in rekening te brengen effecten van klimaatverandering, totdat er op landelijk niveau nadere keuzes gemaakt zijn.

2. Maak een doorkijk naar toekomstige versterkingen

De waterkeringen zijn nooit 'af'. Door bijvoorbeeld zeespiegelstijging zal een net versterkte zeedijk op termijn weer versterkt moeten worden. Het feit dat bij het ontwerp van waterkeringen veelal een levensduur van bijvoorbeeld 25, 50 of 100 jaar wordt beschouwd, geeft al wel aan dat de huidige versterkingen niet de laatste zullen zijn. Dit pleit ervoor om bij dijkversterkingsprojecten alvast een doorkijk te maken naar toekomstige versterkingen, zoals ook door bijv. de Leidraad Rivieren al is geadviseerd [5]. Met relatief kleine slimmigheden in het ontwerp zijn grote knelpunten in de toekomst soms te voorkomen. Soms kan een doorkijk naar toekomstige versterkingsrondes ook van invloed zijn op de keuze voor een huidige oplossingsrichting. Niet alle oplossingsrichtingen zijn namelijk even makkelijk aanpasbaar of uitbreidbaar.

Het Adviesteam beveelt aan om bij de doorkijk naar toekomstige versterkingen uit te gaan van het eerdergenoemde W+ scenario. Het KNMI'23 geeft ook Low Likelihood High Impact-scenario's (LLHI), met een zeespiegelstijging van meerdere meters in 2150. Het zal echter niet snel lonend zijn om op dergelijke extreme scenario's te anticiperen in een dijkversterkingsproject. Als dit soort scenario's onverhoopt realiteit worden, dan zijn er voor 2150 ook op tal van andere vlakken grote veranderingen te verwachten, waaronder de manier waarop Nederland omgaat met hoogwater. Het Adviesteam beschouwt het gebruik

van het W+ scenario dan ook als een beter bruikbare, meer evenwichtige basis voor analyses van de toekomstige uitbreidbaarheid van ontwerp oplossingen dan de meer extreme LLHI-scenario's uit KNMI'23.

3. Bouw extra robuustheid in bij het ontwerp van moeilijk vervangbare onderdelen van waterkeringen

Als (onderdelen van) waterkeringen nauwelijks of alleen tegen hoge kosten aanpasbaar zijn, dan is het raadzaam om de kans op een vroegtijdige normoverschrijding klein te maken. Dit speelt typisch bij kunstwerken, zoals bij het ontwerp van de fundering of betonconstructie. Het ENW beveelt aan om in dergelijke gevallen met een hoger tempo dan het middentempo van bijvoorbeeld de zeespiegelstijging te ontwerpen [1]. Een dergelijke werkwijze is echter voor ontwerpers niet praktisch. In de momenteel beschikbare hydraulische belastingmodellen zijn namelijk alleen de KNMI'06-scenario's G en W+ voorhanden. Ook leidt een dergelijke werkwijze langs sommige belastingsystemen (bijvoorbeeld meren, Oosterschelde) sowieso tot weinig marge, omdat de doorwerking van de effecten van klimaatverandering hier beperkt is. Toch kan ook hier extra robuustheid in het ontwerp wenselijk zijn, want los van het klimaat verandert er nog meer. Zo zijn modellen continu in ontwikkeling en is het bij een geleidelijke toename van de te beschermen waarden goed denkbaar dat de normen in de toekomst weer aangescherpt zullen worden (zie ook [1]).

Op grond van bovenstaande overwegingen beveelt het Adviesteam aan om ook hier vast te houden aan het KNMI'06-scenario W+ (en geen ongunstiger scenario te hanteren) en extra robuustheid in te bouwen door het volgende te doen:

- ontwerp moeilijk aanpasbare delen van kunstwerken op basis van Consequence Class 3 uit de Eurocode⁴, gebruik makend van de procedure uit de Werkwijze Ontwerp Waterkerende Kunstwerken (WOWK); of
- verklein de faalkanseis waarop het constructie-onderdeel volgens de overstromingskansnorm zou mogen worden ontworpen met bijvoorbeeld een factor 3-10 (afhankelijk van de meerkosten); of
- hanteer een opslag op de hydraulische ontwerpbelasting die zodanig is gekozen dat de meerkosten relatief beperkt blijven.

4. Houd rekening met droogtegevoeligheid en vernatting

De KNMI'23-scenario's wijzen erop dat het belangrijk is om bij het ontwerp van waterkeringen rekening te houden met droogtegevoeligheid. Dit betreft dan zowel de materialisatie/het dijksmateriaal (bijvoorbeeld voorkomen droogtescheuren) als de dijkvegetatie (bijvoorbeeld voorkomen verdroging grasbekleding). Dit aspect wordt mogelijk extra belangrijk als uit nadere analyses blijkt dat door de grotere kans op piekbuien ook de kans op hoogwater in de zomer toeneemt.

De KNMI'23-scenario's wijzen er verder op dat het raadzaam is om bij het ontwerp van dijken rekening te houden met nattere winters. Door lange periodes van regenval kunnen de dijken natter zijn als ze hoogwaterstanden moeten keren, wat mogelijk van invloed is op hun stabiliteit.

⁴ Zoals toegelicht in paragraaf 4.1 is een andere omgang met de onzekerheid over de effecten van klimaatverandering optimaal bij een ontwerp op basis van de Eurocodes. Pragmatisch wordt hier echter aanbevolen om uit te gaan van de hydraulische belastingen bij het scenario W+. Zeker bij relatief lage overstromingskansnormen is het effect van ontwerpen op basis van CC3 al snel vele malen groter dan het effect van een andere omgang met de onzekerheid over de effecten van klimaatverandering.

6. Referenties

- [1] 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.
- [2] Voor een toelichting op de KNMI'23-klimaatsscenario's wordt verwezen naar de rapporten die beschikbaar zijn op de KNMI-website: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-23-klimaatsscenario-s>
- [3] Buitink, J., Tsiokanos, A., Geertsema, T., Velden, C. ten, Bouaziz, L., Sperna Weiland, F., 7 december 2023, Implications of the KNMI'23 climate scenarios for the discharge of the Rhine and Meuse, kenmerk 11209265-002-ZWS-0003, Deltares.
- [4] Smale, A., 8 mei 2018, Werkwijzer bepaling Hydraulische Ontwerprandvoorwaarden, Aanvulling OI2014, versie 5 (Hydra-NL 2.4.1), kenmerk 11202226-009-GEO-0002, Deltares.
- [5] ENW, 2007, Leidraad Rivieren, inclusief Addendum I.