

i.o.v.

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN



Resultaten Workshop 'Klimaatscenario's Vlaamse Kust'

12 December 2018, Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen

INLEIDING

Dit document is het rapport van het debat en vat de resultaten samen van de workshop 'Klimaatscenario's voor de Vlaamse Kust', een initiatief van de Vlaamse overheid.

Het initiatief komt voort uit de gemeenschappelijke behoefte van de projecten [Complex Project Kustvisie](#) (CPK) en [Climate Resilient Coast](#) (CREST) aan universele en wetenschappelijk gedragen klimaatscenario's voor de Vlaamse kust. CPK vereist eerder extreme scenario's om zo een adaptieve kustbescherming tot 2100 te kunnen ontwerpen. Onderzoekers van CREST hebben nood aan een breder perspectief, met inbegrip van meer gematigde scenario's, om hun onderzoek te kunnen verfijnen. Aangezien andere onderzoeksgroepen vergelijkbare scenario's nodig hebben, is het wenselijk om universele klimaatscenario's te ontwikkelen voor de Kust, conform recente wetenschappelijke inzichten.

De workshop vond op 12 december 2018 plaats in het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen. Voorafgaand aan de workshop werden er inputdocumenten verstrekt, met daarin een overzicht van de relevante studies (MOW, 2018) en een reeks voorgestelde scenario's die de basis vormden voor het debat. De uitkomst van de workshop werd ter revisie voorgelegd en deze feedback is ook opgenomen in dit rapport.

Onderstaande hoofdstukken presenteren (a) de klimaatprojecties, voor gebruik in CPK en CREST, en (b) een samenvatting van toekomstig onderzoek dat nodig is om deze projecties verder uit te breiden zodanig te voldoen aan de behoeften van potentiële gebruikers. De bijlagen bevatten de lijst met deelnemers en revisoren (Bijlage 1), een korte introductie van CPK, CREST en CORDEX.be (Bijlage 2), De klimaatscenario's die initieel werden voorgesteld als basis voor de workshop (Bijlage 3), een compilatie van recente studies over de wereldwijde zeespiegelstijging (Bijlage 4), reflecties over de initieel voorgestelde scenario's zoals besproken tijdens de workshop (Bijlage 5) en tot slot de feedback op de uitkomst van de workshop (Bijlage 6).

Merk op dat de uiteindelijke klimaatprojecties gebaseerd zijn op huidige wetenschappelijke kennis maar, gezien de toekomst onzeker is, werden sommige parameters bepaald door

middel van *expert elicitation*¹. De voorgestelde projecties kunnen onderhevig zijn aan verandering ten gevolge van nieuwe wetenschappelijke inzichten in de toekomst.

Bijzondere dank gaat uit naar alle deelnemers van de workshop en de experts wiens feedback dit document aanzienlijk heeft verbeterd.

KLIMAATPROJECTIES

Tabel 1 presenteert de finale set aan klimaatprojecties. Dit is een update van de scenario's die initieel zijn voorgesteld voorafgaand aan de workshop (Bijlage 1). Ze bestaan uit 3 klimaatscenario's en een set extremen ("Extreme Situatie") met hoge impact, maar met lage kans dat ze daadwerkelijk zullen plaatsvinden. De spreiding in projecties omvat de onzekerheden m.b.t (a) de toekomstige socio-economische ontwikkeling en bijbehorende broeikasgasemissies, (b) modelonzekerheden bepaald via ensemblestudies, (c) lacunes in de kennis van fysieke processen en (d) meetfouten. De voorgestelde set volgt het advies van IPCC TGICA² (Nichols *et al.*, 2011), die aanraden om een zeker bereik aan projecties te voorzien, inclusief extremen.

De 3 klimaatscenario's volgen de toekomstige evolutie aan uitstoot van broeikasgassen (Representative Concentration Pathways - RCP's) zoals aangenomen in het IPCC AR5-rapport (IPCC, 2013): RCP2.6, RCP4.5 en RCP8.5³. Ze omvatten het aannemelijke en zeer aannemelijke bereik omtrent het toekomstig klimaat. De parameters zijn afgeleid als *best estimates*⁴ voor de respectievelijke RCP's.

De Extreme Situatie (ES) werd ontwikkeld omdat sommige potentiële gebruikers projecties nodig hebben die buiten het aannemelijke bereik vallen – dus met lage kans van voorkomen – maar wel fysisch plausibel zijn. Het is bedoeld voor risicoplaning wanneer er een hoger beschermingsniveau nodig is. E.S. laat gevoeligheidsanalyses en een lange termijn adaptatiebeleid toe, zeker wanneer het middelen met hoge waarde en lange levensduur betreft of wanneer keuzes in het korte termijn adaptatiebeleid de toekomstige opties kunnen inperken. De extremen vormen geen bovengrens of maximum, maar zijn afgeleid van de onzekerheid omtrent RCP8.5. Merk op, men kan het niet aanzien als één intern coherent scenario, omdat de onzekerheid rond iedere parameter individueel is behandeld⁵.

Mondiale luchttemperatuur

De mondiale temperatuurverandering werd ontleend aan het IPCC (2013). De waarden komen nu overeen met de respectievelijke emissiescenario's, in tegenstelling tot de eerder voorgestelde scenario's die gebaseerd waren op CLIMAR (Van den Eynde *et al.*, 2011). Tabel 1 toont de projecties m.b.t. het basisjaar 1990. Er werd daarom een opwarming van 0,6°C ten opzichte van de pre-industriële waarden toegepast tegen 1990. Voor lokale

¹ De projecties zijn niet afgeleid van één en dezelfde, uitgebreide modelstudie. Het is een compilatie van meerdere studies.

² IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis

³ RCP 6.0 is buiten beschouwing gelaten omdat deze binnen het bereik van de andere scenario's ligt en er bovendien studies over beschikbaar zijn.

⁴ Op basis van de mediaan van een meervoudige modelstudie of – door gebrek aan informatie – op basis van *expert elicitation*.

⁵ Vandaar de naam "Klimaatprojecties" met hierin 3 scenario's en een reeks extremen.

temperatuurveranderingen (inclusief verdamping, tropische dagen, etc.) wordt u doorverwezen naar het [Klimaatportaal van de VMM](#). Bij E.S. werd de bovengrens van RCP8.5 gekozen.

Tabel 1: Klimaatprojecties voor 2100 i.r.t. uitgangsjaar 1990 (5^e-95^e percentiel).

Parameter	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	ES
Globale luchttemperatuur	+1°C (0,3 - 1,7)	+1,8°C (1,1 - 2,6)	+3.7°C (2,6 - 4,8)	+4.8°C
Globale zeespiegelstijging	+50 cm (38 - 73)	+60 cm (39 - 86)	+85 cm * (56 - 112)	+295 cm
Verandering in windrichting	Nee	Nee	Nee	Nee
Gemiddelde windsnelheid	+0%	+0%	+0%	+0%
Gemiddelde winterneerslag	+9%	+11%	+22%	-
Gemiddelde zomerneerslag	-6%	-12%	-30%	-
Extreme winterneerslag**	+5%	+8%	+18%	-
Extreme zomerneerslag**	+6%	+4%	+2%	-

* De mediaan van Le Bars *et al.* (2017), met het overstreden 'Rapid ice cliff failure', resulteert in +184 cm.

** Dagelijkse extremen met een jaarlijkse terugkeerperiode.

Wereldwijde gemiddelde zeespiegelstijging

De wereldwijde gemiddelde zeespiegelstijging van RCP2.6 en RCP4.5 is ontleend aan IPCC (2018), waar recente studies over wereldwijde gemiddelde zeespiegelstijging werden vergeleken (Bijlage 4)⁶. IPCC (2018) richt zich niet op RCP8.5. Daarom werd er beslist om voor RCP8.5 de recentste resultaten van UKCP18 (Palmer *et al.*, 2018) te gebruiken, waar de IPCC AR5-projecties geüpdatet zijn (a) naar de correcte baselineperiode en (b) met recente inzichten in de bijdrage van de Antarctische ijsdynamiek (Levermann *et al.*, 2014).

De huidige klimaatmodellen hebben een te grove resolutie om de Antarctische processen exact te simuleren. Gezien het smelten van de Antarctische ijskap in grote mate bijdraagt aan de totale zeespiegelstijging, zijn daarom zogenaamde 'ijskapmodellen' ontwikkeld. Deze modellen hebben echter een grote spreiding in hun voorspelde zeespiegelstijging. Deconto & Pollard (2016) voorspellen een versnelde zeespiegelstijging ten gevolge van 'Rapid ice cliff failure'. Hun resultaten werden daarna aangewend door Le Bars *et al.* (2017) om een probabilistische analyse uit te voeren. Maar, de deelnemers van de workshop hebben bedenkingen bij deze resultaten⁷. Ze zijn dan ook niet toegepast op de 3 scenario's. Als extreme situatie werd het 95^{ste} percentiel van het ongunstigste ('Diep onzekere') scenario in

⁶ Voor RCP4.5 zijn de waarden van 2°C toegepast. Het bereik vertegenwoordigt de 5-95% betrouwbaarheidsintervallen, afgeleid als het gemiddelde van de respectievelijke percentielen in de oorspronkelijke paper. De 'best estimate' werd bekomen door het gemiddelde te nemen van alle percentielen in alle studies. Let er op dat dit statistisch gezien niet correct is omdat de spreiding niet normaal verdeeld is. Maar gezien de gerelateerde onzekerheid, wordt deze methode geacht voldoende nauwkeurig te zijn. De baselineperiode is aangepast naar het centrale jaar 1990, door de methode van UKCP18 (Palmer *et al.*, 2018) toe te passen.

⁷ Er is namelijk geen wetenschappelijke consensus m.b.t. het proces 'rapid ice cliff failure'. Deze onzekerheid m.b.t. Deconto & Pollard (2016) wordt onderlijnd door de recente inzichten van Edwards *et al.* (2018). Merk op dat dit artikel pas na de workshop gepubliceerd werd.

Le Bars *et al.* (2017) gebruikt. Merk op dat indien de mediaan was toegepast als *best estimate* voor RCP8.5, dat dit zou resulteren in een significant lagere zeespiegelstijging van +184 cm.

Om de toepasbaarheid te verhogen, dienen de lokale zeespiegelstijging en veranderingen in de astronomische getijden nog bepaald te worden. Dit werd voorafgaand aan de workshop nog niet uitgevoerd, aangezien er eerst consensus nodig was over basis van de scenario's. De lokale verschijnselen moeten verder worden onderzocht. Voorlopig wordt gebruik gemaakt van de globale zeespiegelstijging in plaats van de lokale zeespiegelstijging.

Wind

Het relevante onderzoek dat gericht is op het Belgische Continentale Plat (MIRA, 2015: Sterl *et al.* 2015; Termonia *et al.*, 2018b), vindt geen significante veranderingen in de windrichting van het gemiddelde windklimaat. Daarom gaan alle projecties uit van een ongewijzigde windrichting. Hetzelfde geldt voor de gemiddelde windsnelheid.

Tijdens de workshop werd Haarsma *et al.* (2015) geciteerd, die stellen dat de impact van de Noord-Atlantische meridionale circulatie (AMOC; Atlantic Meridional Overturning Circulation) op de atmosferische circulatie onderschat wordt in de meeste CMIP5-modellen⁸. Daar de kracht van de AMOC afzwakt (Caesar, 2018) en zeer waarschijnlijk zal blijven afnemen (IPCC, 2013), veroorzaakt dit een verhoogde onzekerheid omtrent veranderingen in grootschalige atmosferische circulatie en bijgevolg ook windrichting. Bij de workshop waren er geen onderzoeksgroepen aanwezig die diepgaand onderzoek uitvoeren op de oceaan-atmosfeer koppeling. Aangezien het onduidelijk is hoe de internationale gemeenschap zich voelt over de verklaring van Haarsma *et al.* (2015), werd ervoor gekozen om in alle projecties een onveranderd gemiddeld windklimaat te handhaven.

De workshop leverde geen resultaten op voor veranderingen in extreme windsnelheden tijdens stormen. De model-output die geproduceerd werd in CORDEX.be⁹ zou kunnen toegepast worden, maar deze data vergt nog verder onderzoek. Voorlopig kan men de lopende studies voortzetten met een onaangepast windklimaat, totdat toekomstige wetenschappelijke bevindingen¹⁰ anders aangeven.

Neerslag

De geprojecteerde neerslag in Tabel 1 heeft als doel om de globale trend te communiceren aan het ruime publiek. Onderzoekers dienen echter niet één waarde direct toe te passen in hun modellen. Geperturbeerde tijdreeksen zijn beter geschikt hiervoor. Voor deze studies wordt men verwezen naar het Klimaatportaal van de VMM of de perturbatietool van KU Leuven. Voor overstromingssimulaties in het binnenland, is het bovendien beter om direct veranderingen in debiet door te rekenen, zoals toegepast in het Theseus project.

⁸ De hierboven genoemde relevante onderzochten of de output van CMIP5, of de output van regionale klimaatmodellen met CMIP5-output als grensvoorwaarde.

⁹ De hoge-resolutie CORDEX.be-gegevens zijn gecentraliseerd bij het KMI en kunnen op aanvraag worden verstrekt voor verdere impactstudies.

¹⁰ Bijvoorbeeld van Climate Resilient Coast (CREST)

In de 3 klimaatscenario's werden de gemiddelde en extreme neerslag¹¹ van de CMIP5-output toegepast, zoals weergegeven in Termonia *et al.* (2018a). De output van de globale modellen kreeg de voorkeur omdat het Belgische ensemble aan regionale klimaatmodellen met hoge-resolutie nog niet het volledige onzekerheidsbereik van de wereldwijde modellen omvat. Merk op dat de grove resolutie van de CMIP5 modellen een impact heeft op de simulatie van extreme neerslag. Het is te raden om het ensemble aan Belgische hoge-resolutie modellen verder te ontwikkelen.

In 'WCS CPK' van de initieel voorgestelde scenario's werd de zomerneerslag ontleend aan MIRA (2015) 'Laag', terwijl winterneerslag werd ontleend aan MIRA 'Hoog'. Dit leidde tot discussie tijdens de workshop en werd ook daarna nog betwist. Er is daarom geen neerslag opgenomen in E.S.

¹¹ Extreme neerslag wordt gedefinieerd als dagelijkse extremen met een jaarlijkse terugkeerperiode. Andere terugkeerperiodes zijn te vinden in Termonia *et al.* (2018a).

TOEKOMSTIGE UITWERKING

De hierboven besproken klimaatprojecties bieden een basis voor toekomstig onderzoek, maar ze vereisen nog verdere uitwerking. Onderstaande lijst geeft een samenvatting van de behoeften van potentiële gebruikers, zoals besproken tijdens de workshop.

1. De lokale zeespiegelstijging moet verder worden onderzocht.
2. De toekomstige getijdeveranderingen moeten worden afgeleid op basis van de inzichten in punt 1. Men mag hierbij zeker niet de toekomstige laagwaterniveaus vergeten, aangezien dit invloed heeft op de afvoer van zoetwater en, daarom, overstroming van het binnenland.
3. Het is onduidelijk hoe de wetenschappelijke gemeenschap zich voelt bij de bevinding van Haarsma *et al.* (2015) met betrekking tot de koppeling oceaan-atmosfeer en de onderschatte impact van de oceanische circulatie op atmosferische circulatie (en/of andere teleconnecties) in de meeste CMIP5-modellen. Dit moet worden nagegaan bij internationale onderzoeksgroepen zoals de ECMWF.
4. Door de modelresultaten geproduceerd in CORDEX.be verder te onderzoeken, kan men de kennis m.b.t. toekomstige veranderingen in het lokaal windklimaat verfijnen: windrichting en (extreme) windsnelheid. Hierbij neemt men best de inzichten uit punt 3 mee in overweging. Merk op dat bepaalde onderzoeksgroepen een offshore windklimaat vereisen (bijv. bij Westhinder, niet nabij Oostende).
5. Het is aangeraden om het ensemble aan Belgische hoge-resolutie klimaatmodellen verder te ontwikkelen, gezien de grove resolutie van de CMIP5 modellen een impact heeft op de simulatie van extreme neerslag.
6. Toekomstige golfcondities en stromingen dienen nog gesimuleerd te worden op basis van de parameters in Tabel 1. Hierbij neemt men best de inzichten uit punt 1, 2 en 4 mee in overweging.
7. De impact op stormopzet moet nog toegevoegd worden op basis van de inzichten uit punt 1, 2 en 4. De Theseus en CREST projecten kunnen hiervoor waardevolle input bieden.
8. Bepaal de terugkeerniveaus van toekomstige stormcondities, inclusief betrouwbaarheidsintervallen.
9. Het toekomstige sedimentbudget, morfologische veranderingen en, indien mogelijk, vegetatie moeten verder onderzocht worden.
10. Het opnemen van projecties m.b.t. de toekomstige watertemperatuur zou potentiële gebruikers kunnen helpen, zeker in het domein van de ecologie. Daarnaast heeft dit mogelijk een feedbackloop op stroming en oceanische circulatie.

BIBLIOGRAFIE

- Caesar, L., Rahmstorf, S., Robinson, A., Feulner, G. & Saba, B. (2018).** Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, 553, pp. 191-196.
- De Conto, R. & Pollard, D. (2016).** Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531, 591-597. <http://dx.doi.org/10.1038/nature17145>
- MOW (2018): Di Marcantonio, M., De Sutter, R., Dujardin, A., D'Haeyer, T., Van de Moortel, I., Casteleyn, K., Rommens W. & Lammerant, J. (2018).** Achtergrondrapport Klimaat. MT/01637: Complex Project Kustvisie – 02. Overzicht van de effecten van de klimaatverandering aan de Vlaamse Kust.
- Edwards, T., Brandon, M., Durand, G., Edwards, N., Golledge, N., Holden, P., Nias, I., Payne, A., Ritz, C. & Wernecke, A. (2019).** Revisiting Antarctic ice loss due to marine ice-cliff instability. *Nature* vol. 566, p. 58–64. <https://www.nature.com/articles/s41586-019-0901-4>
- Haarsma, R., Selten, F. & Drijfhout, S. (2015).** Decelerating Atlantic meridional overturning circulation main cause of future west European summer atmospheric circulation changes. *Environ. Res. Lett.* 10 (2015) 094007. doi:10.1088/1748-9326/10/9/094007.
- Nicholls, R.J., Hanson, S.E., Lowe, J.A., Warrick, R.A., Lu, X., Long, A.J. & Carter, T.R. (2011).** Constructing Sea-Level Scenarios for Impact and Adaptation Assessment of Coastal Areas: A Guidance Document. Technical Guidelines of the Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis (TGICA) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC (2013):** Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC (2018).** Global warming of 1.5°C, An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, <http://www.ipcc.ch/report/sr15>.
- Le Bars, D., Drijfhout, S. & de Vries, H. (2017).** A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss. *Environmental Research Letters*, 12, 044013. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aa6512>
- Levermann, A., Winkelmann, R., Nowicki, S., Fastook, J. L., Frieler, K., Greve, R., Hellmer, H. H., Martin, M. A., Meinshausen, M., Mengel, M., Payne, A. J., Pollard, D., Sato, T., Timmermann, R., Wang, W. L., & Bindshadler, R. A., (2014).** Projecting Antarctic ice discharge using response functions from SeaRISE ice-sheet models, *Earth System Dynamics*, 5, 271-293. <https://doi.org/10.5194/esd-5-271-2014>

- MIRA (2015):** Brouwers, J., Peeters, B., Van Steertegem, M., van Lipzig, N., Wouters, H., Beullens, J., Demuzere, M., Willems, P., De Ridder, K., Maiheu, B., De Troch, R., Termonia, P., Vansteenkiste, T., Craninx, M., Maetens, W., Defloor, W. & Cauwenberghs, K. (2015). MIRA klimaatrapport 2015: over waargenomen en toekomstige klimaatveranderingen. Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)/KU Leuven/VITO/KMI: Aalst. ISBN 9789491385469. 147 pp.
- Monbaliu, J., Chen, Z., Felts, D., Hissel, F., Kappenberg, J., Narayan, S., Nicholls, R. & Willems, P. (2014).** Risk assessment of estuaries under climate change: lessons from Western Europe. Coastal Engineering, <http://dx.doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.01.001>
- Ozer, J., Van den Eynde, D. & Ponsar, S. (2018).** Revisiting the trend analysis of relative mean sea level rise at Oostende (southern North Sea – Belgian Coast). Report CREST/X/JO/201812/EN/TR01, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Brussels, Belgium, 14 pp.
- Palmer, M., Howard, T., Tinker, J., Lowe, J., Bricheno, L., Calvert, D., Edwards, T., Gregory, J., Harris, G., Krijnen, J., Pickering, M., Roberts, C. & Wolf, J., (2018).** UKCP18 Marine Report. Met Office, UK. Available at <https://ukclimateprojections.metoffice.gov.uk>.
- Sterl, A., Bakker, A., van den Brink, H., Haarsma, R., Stepek, A., Wijnant, I. & de Winter, R. (2015).** Large-scale winds in the southern North Sea region: the wind part of the KNMI'14 climate change scenarios. Environ. Res. Lett. 10 (2015) 035004.
- Termonia, P., Van Schaeybroeck, B., De Cruz, L., De Troch, R., Caluwaerts, S., Gigot, O., Hamdi, R., Vannitsem, S., Duchêne, F., Willems, P., Tabari, H., Van Uytven, E., Hosseinzadehtalaei, P., Van Lipzig, N., Wouters, H., Vanden Broucke, S., van Ypersele, J.-P., Marbaix, P., Villanueva-Birriel, C., Fettweis, X., Wyard, C., Scholzen, C., Doutreloup, S., De Ridder, K., Gobin, A., Lauwaet, D., Stavrakou, T., Bauwens, M., Müller, J.-F., Luyten, P., Ponsar, S., Van den Eynde, D. & Pottiaux, E. (2018a).** The CORDEX.be initiative as a foundation for climate services in Belgium. Climate Services. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.05.001>
- Termonia, P., Willems, P., Van Lipzig, N., van Ypersele, J.-P., Fettweis, X., De Ridder, K., Gobin, A., Stavrakou, T., Luyten, P., Ponsar, S., Pottiaux, P., Van Schaeybroeck, B., De Cruz, L., De Troch, R., Giot, O., Hamdi, R., Vannitsem, S., Duchêne, F., Bertrand, C., Tabari, H., Van Uytven, E., Hosseinzadehtalaei, P., Wouters, H., Vanden Broucke, S., Demuzere, M., Marbaix, P., Villanueva-Birriel, C., Wyard, C., Scholzen C., Doutreloup, S., Lauwaet, D., Stavrakou, T., Bauwen, M., Müller, J.-F. & Van den Eynde, D. (2018b).** Combining regional downscaling expertise in Belgium: CORDEX and beyond. Final Report. Brussels: Belgian Science Policy 2018 – 119 p. (BRAIN-be - Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks).
- Van den Eynde, D., Ponsar, S., Luyten, P. & Ozer, J. (2019).** Analysis of climate changes in the time series of wind speed, significant wave height and storm surges at the Belgian coast. Report CREST/X/DVDE/201901/EN/TR01, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Operational Directorate Natural Environment, Brussels, Belgium, 63 pp.

Van den Eynde, D., De Sutter, R., De Smet, L., Francken, F., Haelters, J., Maes, F., Malfait, E., Ozer, J., Polet, H., Ponsar, S., Reyns, J., Van der Biest, K., Vanderperren, E., Verwaest, T., Volckaert A. & Willekens, M. (2011). Evaluation of climate change impacts and adaptation responses for marine activities “CLIMAR”. Final Report. Brussels: Belgian Science Policy Office 2011 – 121 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development).

Verwaest, T., Montreuil, A., Roest, B., Houthuys, R., Dan, S., Hassan, W., Thoon, D., Rauwoens, P. & Chen, M. (2018). 35 years of monitoring the Belgian sandy coastline. Poster session CREST.

BIJLAGEN

Bijlage 1: Lijst met participanten en revisoren

Balcaen Nathalie	Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust
Brouwers Johan	Vlaamse Milieumaatschappij
Caluwaerts Steven	Universiteit Gent
Chen Margaret	Vrije Universiteit Brussel
Depauw Sofie	Witteveen+Bos
Di Marcantonio Marisa	Antea Group
Goegebeur Maarten	Vlaamse Milieumaatschappij
Hernandez Francisco	Vlaams Instituut voor de Zee
Hintjens Lauranne	Ecorys
Hondeghem Karolyn	MDK, Afdeling Kust, Vlaamse Hydrografie
Huppés Nova	Witteveen+Bos
Jansen Maarten	Witteveen+Bos
Lammerant Johan	Arcadis
Martens Chantal	Vlaams Instituut voor de Zee
Meersschaut Youri	afdeling Maritieme Toegang
Mertens Tina	Vlaams Instituut voor de Zee
Monbaliu Jaak	Katholieke Universiteit Leuven
Mostaert Frank	Waterbouwkundig Laboratorium
Nicholls Robert	University of Southampton
Pattyn Frank	Université Libre de Bruxelles
Rommens Wouter	Arcadis
Termonia Piet	Koninklijk Meteorologisch Instituut
Thoon Daphné	MDK, Afdeling Kust, Vlaamse Hydrografie
Van Besien Peter	MDK, Afdeling Kust, Infrastructuur Kust
Van de Moortel Ivo	Antea Group
Van den Eynde Dries	Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
Van Eerdenbrugh Katrien	Witteveen+Bos
Vanlede Joris	Waterbouwkundig Laboratorium
Vanneuville Wouter	Europees Milieuagentschap
Verheyen Bart	IMDC
Verwaest Toon	Waterbouwkundig Laboratorium
Willems Patrick	Katholieke Universiteit Leuven

Bijlage 2: Samenvatting van CPK, CREST, CORDEX.be en Theseus

C.P. Kustvisie

Voor het Masterplan Kustveiligheid werd er rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 30 cm bij hoog water tegen 2050 en 80 cm bij hoog water tegen 2100, om de kustbescherming tegen een 1000-jarige storm te garanderen tot 2050. Als voortzetting van dit masterplan is er een lange termijn projectie nodig, wat resulteerde in het opstarten van het CPK dat zich richt op de periode 2050-2100.

Het project Kustvisie stelde twee warme scenario's op voor de workshop: een 'Best Guess' en een 'worst-case' scenario. Gezien de grote onzekerheden, is het voor ruimtelijke ordening belangrijk om ook een worst-case scenario te voorzien zodanig adaptief te kunnen ontwerpen.

CREST (Climate REsilient coaST).

Het CREST-project kijkt vanuit een andere hoek naar kustbescherming. Structuren zijn vaak overgedimensioneerd omdat er veel onzekerheid is over de betrokken processen. CREST onderzoekt deze kustprocessen om zo deze onzekerheden te minimaliseren. Hiervoor hanteren ze meerdere methoden zoals modelsimulaties, het bepalen van de weerbaarheid van de kust en klimaatscenario's. Met betrekking tot het laatste onderzoekt CREST, d.m.v. metingen en numerieke modellen, voornamelijk de invloed van klimaatverandering op windklimaat, stormvloed en golfcondities. Men analyseerde de resultaten van acht verschillende regionale klimaatmodellen en paste deze toe op de modellen voor stormopzet en golfcondities.

Hun modellering vertoonde geen wijziging in het aantal stormen, noch in de gemiddelde windsnelheid langs de Kust. Men observeerde een stijging in de extreme windsnelheden, maar de maximum significante golfhoogte en stormopzet veranderde niet (Van den Eynde *et al.*, 2019).

CREST bekijkt ook de kustlijn migratie van de Vlaamse kust. Er werd vastgesteld dat de Kust aangroeide (8 ha over de afgelopen 35 jaar). Deze aanwas vindt zijn oorsprong in zowel kunstmatige (suppleties) als natuurlijke voeding, waarbij dit laatste voornamelijk veroorzaakt wordt door landwaarts transport vanuit de zee naar de kust of duinen en voor een beperkter deel door kustparallel transport (Verwaest *et al.*, 2018). De mechanismen achter deze sedimentvoeding vanuit de zee naar de duinen zijn nog onbekend. Metingen zijn beschikbaar, maar het is nog niet mogelijk om dit verschijnsel te modelleren vanwege een gebrek aan kennis over de drijvende mechanismen. CREST analyseert ook het benodigde volume sediment afhankelijk van toekomstige zeespiegelstijging. Merk op dat bovenstaande intermediaire resultaten zijn, die verder onderzocht en gedefinieerd worden tijdens het laatste jaar van het CREST onderzoeksproject (2019).

De meeste klimaatscenario's voorspellen een versnelling van de zeespiegelstijging. Door analyse van de metingen werd er door Ozer *et al.* (2018) een stijging gevonden. Het wordt aangeraden om voor de korte termijn voorspelling een buffer in acht te nemen omtrent de zeespiegelstijging, maar op de lange termijn worden de gerelateerde onzekerheden te groot en zou dit leiden tot een overdimensionering van structuren. Om voor de lange termijn te ontwerpen, is het belangrijk om een adaptief ontwerp op te stellen.

De onderzoekers van CREST bepaalden welke informatie noodzakelijk is om bepaalde toetsen uit te voeren. Om de kustverdediging te verifiëren, heeft men informatie nodig omtrent de 1000-jarige storm, de toestand van de zeekering en de vigerende normen. Voor bepaling van het overstromingsrisico, heeft men nood aan informatie omtrent superstormen, de zeekering, het landgebruik en het niveau van het achterland. Voor de monitoring van de kustmorfologie is het belangrijk om informatie te hebben over de topografie, vegetatie, suppleties en morfologische trends van de kust.

CORDEX.be (Combining Regional climate Downscaling Expertise in Belgium).

CORDEX.be was een tweejarig project over het COmbineren van Regionale klimaat-Downscaling EXpertise in België. CORDEX.be gaat uit van de IPCC-scenario's en gebruikt ze als input voor hun hoge-resolutie regionale modellen. Voor het project werd de ruimtelijke resolutie van conventionele regionale modellen verhoogd ten opzichte van de gebruikelijke 12 km. Resoluties van 3, 4 en 5 km zijn specifiek op het Belgische landoppervlak toegepast (LAM-model)¹². De modellen werden gevalideerd door o.a. simulaties van het verleden (historisch). De CORDEX.be-modellen bleken een meer nauwkeurige voorspelling te geven dan de gewoonlijk gebruikte modellen voor België. Alle gegevens (wind, regenval, temperatuur) zijn vrij beschikbaar op aanvraag.

Het CORDEX.be-project had een aantal belangrijke uitkomsten. Er werd een stijging in extreme neerslag vastgesteld. Voor het Brussels stedelijk gebied werden er drie tot vier keer zoveel hittegolven genoteerd. Verder was er een significante stijging van hittestress voor inwoners van de stad Brussel, tot twee keer zo groot als in de omliggende landelijke gebieden. De simulaties van CORDEX.be toonden een verhoogde variabiliteit voor biomassaproductie en -opbrengsten. Ten slotte werd er een stijging van 51% biogene emissies van isopreen vastgesteld.

De CORDEX.be-resultaten kunnen verder verfijnd worden door middel van statistische neerschaling. De klimaatscenario's voor Vlaanderen voorspellen een gemiddelde temperatuurstijging van vijf graden in de winter en acht graden in de zomer. Naar verwachting stijgt verdamping met 30% in de winter en 22% in de zomer. De scenario's voorspellen nattere winters en drogere zomers. Over het geheel genomen zal de neerslagintensiteit toenemen. Op basis van stormen in het verleden is er een paslijn gemaakt voor de verwachting omtrent extreme stormopzet. In de voorspellingen werd ook rekening gehouden met lange perioden van schommelingen.

THESEUS

De KU Leuven onderzocht, binnen het kader van het THESEUS project, de impact van klimaatverandering op inlandse en kust nabije condities (Monbaliu *et al.*, 2014). Het Schelde-estuarium werd hierbij als casestudy gebruikt¹³. Simulaties toonden geen significante veranderingen in windsnelheid, maar wel een kleine toename aan zuidwestenwinden. Atmosferische circulatie is belangrijk voor de ontwikkeling van stormopzet. Om stormopzet in

¹² De lokale modellen zijn modellen voor het Belgische (land)gebied. De Belgische kust werd alleen gemodelleerd door RBINS, met de 12km-resolutie als input (zie CREST).

¹³ Dit werd gedaan als onderdeel van het THESEUS-project.

het Schelde-estuarium te voorspellen, moet men dus eerst de veranderingen in de atmosferische circulatie nauwkeurig kunnen voorspellen. Hun onderzoek wees uit dat er een correlatie is tussen stormopzet en regenval, wat het risico op overstroming tijdens stormcondities verhoogt in het opwaartse deel van het Scheldebekken.

Bijlage 3: Initieel voorgestelde klimaatscenario's

Tabel 2 presenteert de klimaatscenario's die het startpunt vormden van de workshop. Ze bevatten 3 geperturbeerde CLIMAR (Van den Eynde *et al.*, 2011) scenario's: M, M+ en W++. Hier werden 2 scenario's aan toegevoegd die ontwikkeld zijn door het team van C.P. Kustvisie, wiens focus voornamelijk op de warme scenario's ligt: 'Best Guess Scenario' (BGS) en 'Worst-Case Scenario' (WCS).

Een reflectie van het debat dat geleid heeft tot deze nieuwe set aan klimaatprojecties (Tabel 1), is weergegeven in Bijlage 5.

Tabel 2: Voorbereiding van de workshop: initieel voorgestelde scenario's tegen 2100

Voorstel	Scenario 2100				
	M	M+	BGS CPK	W++	WCS CPK
Globale luchttemperatuur	+ 2 °C	+ 2 °C	+ 4 °C	+ 4 °C	+ 4 °C
Gerelateerd emissiescenario	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP8.5	RCP8.5
Wijziging atmosferische circulatie	Nee	Ja	Nee	Ja	Ja
Lokale zeespiegelstijging	+55 cm	+85 cm	+185 cm	+185 cm	+295 cm
Aanvullende stijging HW	+3 cm	+5 cm	+10 cm	+10 cm	+15 cm
Gemiddelde windsnelheid	0%	+4%	0%	+4%	+8%
Extreme windsnelheid	0%	0%	0%	0%	0%
Gemiddelde winterneerslag	+9%	+11%	+12%	+22%	+38%
Gemiddelde zomerneerslag	-6%	-12%	-15%	-30%	-52%
Extreme winterneerslag *	+5%	+8%	+10%	+18%	+36%
Extreme zomerneerslag *	+6%	+4%	+4%	+2%	+25%
Temperatuur zeewater	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C	+ 3,5 °C	+ 3,5 °C	+ 3,5 °C

* Dagelijkse extremen met een jaarlijkse terugkeerperiode

Bijlage 4: Overzicht van recente studies op de globale zeespiegelstijging

Tabel 3 (IPCC, 2018) vergelijkt recente studies op de globale zeespiegelstijging.

Tabel 3: Een vergelijking van recente studies op de globale zeespiegelstijging [cm] in 2100 door het IPCC SR1.5 (IPCC 2018) incl. 17-84% en 5-95% percentielen.

Studie	Baseline	RCP2.6		1,5 °C		2 °C	
		67%	90%	67%	90%	67%	90%
IPCC (2013)	1986-2005	28-61					
Kopp <i>et al.</i> (2014)	2000	37-65	29-82				
Jevrejeva <i>et al.</i> (2016)	1986-2005		29-58				
Kopp <i>et al.</i> (2016)	2000	28-51	24-61				
Mengel <i>et al.</i> (2016)	1986-2005	28-56					
Nauels <i>et al.</i> (2017)	1986-2005	35-56					
Goodwin <i>et al.</i> (2017)	1986-2005		31-59 45-70 45-72				
Schaeffer <i>et al.</i> (2012)	2000		52-96		54-99		56-105
Schleussner <i>et al.</i> (2016b)	2000			26-53		36-65	
Bitterman <i>et al.</i> (2017)	2000				29-46		39-61
Jackson <i>et al.</i> (2018)	1986-2005			30-58 40-77	20-67 28-93	35-64 47-93	24-74 32-117
Sanderson <i>et al.</i> (2017)					50-80		60-90
Nicholls <i>et al.</i> (2018)	1986-2005				24-54		31-65
Rasmussen <i>et al.</i> (2018)	2000			35-64	28-82	39-76	28-96
Goodwin <i>et al.</i> (2018)	1986-2005				26-62		30-69

i.o.v.



Bijlage 5: Reflectie op de oorspronkelijk voorgestelde scenario's: notulen van de workshop

Tabel 4 presenteert de reflecties op de initieel voorgestelde scenario's (Bijlage 3) en hoe dit tot de uitkomst van de workshop leidde. De feedback op deze uitkomst is terug te vinden in Bijlage 6.

Tabel 4: feedback op de initieel voorgestelde scenario's

INPUT	OUTPUT	OPMERKINGEN
Algemene opmerkingen		
<ul style="list-style-type: none">- Het is onmogelijk om alle parameters met een belangrijke link naar klimaatverandering te implementeren, omdat het een effect heeft op vele verschillende parameters.- Verder is er een correlatie tussen verschillende parameters, waarbij de ene wordt beïnvloed door de andere.- De huidige scenario's gebruiken de laatste inzichten vanuit verschillende bronnen, waardoor ze soms inconsistent zijn met de fysieke processen. Dit is bekend, maar aangezien er belangrijke recente ontwikkelingen zijn op het gebied van klimaatverandering, wordt het belangrijk geacht om deze te implementeren in de scenario's. Op deze manier kan men één getal communiceren aan de bevolking.- VMM verwijst naar de documenten op het klimaatportaal als waardevolle informatie.		
Aantal scenario's		
<ul style="list-style-type: none">- Het voorstel is om de 4 emissiescenario's van het IPCC als basis te gebruiken en de scenario's daaruit af te leiden.- Verder is er voorgesteld om de terminologie te vereenvoudigen. Het ongunstigste (worst case) scenario tracht de ongunstigste waarden binnen	<ul style="list-style-type: none">- Er was consensus om 4 scenario's te gebruiken, W++ valt weg.- De IPCC scenario's (RCP) dienen bovenaan geplaatst te worden	<ul style="list-style-type: none">- Drie van deze scenario's zijn 'normale' scenario's die min of meer de IPCC-scenario's RCP2.6, RCP4.5 en RCP8.5 volgen.

<p>een betrouwbaarheidsinterval van 90% (dus de bovenste en onderste 5% scenario's) te tonen.</p> <p>– Het moet benadrukt worden dat het ongunstigste scenario geen scenario is, aangezien de waarden fysiek niet tegelijkertijd kunnen plaatsvinden.</p>		<p>– De laatste kolom toont waarden die extreem, maar niet onmogelijk zijn.</p>
<p>Extreme waarden / stormcondities</p>		
<p>– Tijdens de discussie over extreme waarden en stormcondities werd het duidelijk dat er een algemene consensus is over deze onderwerpen.</p> <p>– Andere parameters die niet in de huidige tabel zijn opgenomen zijn ook interessant.</p> <p>– Een parameter die niet is opgenomen in de huidige scenario's is de verandering in directionele distributie van, bijvoorbeeld, golven en stromingen. Met name voor de morfologie kan een kleine verandering in de richting van de stroming een grote verandering teweegbrengen in het sedimentbudget.</p> <p>– De gemiddelde waarden van de wind- en golfrichting zijn al grotendeels opgenomen in de huidige scenario's. Extreme waarden voor elk scenario zouden een nuttige toevoeging kunnen zijn.</p> <p>– Extreme minima (lage waterniveaus, lage afvloeï) zijn ook interessant, bijvoorbeeld voor het onderzoek naar de droogteproblematiek.</p> <p>– Voor beleidsmakers en kustbescherming is het belangrijk om waterniveaus met een bepaalde terugkeerperiode te kennen. Dit moet bekend zijn voor zowel het huidige klimaat als voor verschillende klimaatscenario's. Wanneer dit bijvoorbeeld bekend is voor de 1000-jarige storm, geeft dit inzicht in de verandering van de uiterste grenscondities van de kustverdediging. Om inzicht te verstrekken in de operationele condities is het belangrijk om ook te weten wat de kans is dat een bepaald waterniveau zich voordoet.</p> <p>– Tijdens deze discussie is er verklaard dat alle scenario's onzeker zijn, dus het is belangrijk dat de scenario's ook adaptief zijn. Verder hebben de verschillende scenario's geen bepaalde kans op voorkomen en moeten dus</p>	<p>– De consensus was om windrichting toe te voegen.</p> <p>– Golfrichting, getijdeamplitude en terugkeerperiodes moeten toegevoegd worden aan de tabel (wanneer ze beschikbaar zijn).</p> <p>– Er was consensus dat niet alle waarden weergegeven kunnen worden in één tabel, maar dat het belangrijk is dat ze toch worden geregistreerd omdat verschillende kennisgebieden verschillende parameters nodig hebben. Er wordt voorgesteld om de verandering in de getijdeamplitude toe te voegen aan de hoofdtabel, omdat het belangrijk is in de kustmorfologie en het ontwerp van de kustverdediging.</p>	<p>– Zie ook de 3^{de} beleidsnota van de Vlaamse Overheid, dat strekt ter minimalisering van het risico op slachtoffers van een RP1000-storm.</p>

<p>behandeld worden alsof ze allen evengoed mogelijk zijn (in tegenstelling tot de reeks extremen).</p>		
<p>Zeespiegelstijging</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - De huidige tabel voor de klimaatscenario's heeft een lay-out die de indruk wekt dat de temperatuur de basis vormt voor de scenario's, aangezien dit de eerste lijn is. Sinds er besloten is om de IPCC-scenario's als basis te gebruiken dienen die in de eerste lijn te staan. - In de huidige tabel geeft de temperatuur een stijging aan van 2 graden voor de M-scenario's. Bij toepassing van RCP2.6 en RCP4.5 correleert de eerste met één graad. - De zeespiegelstijging is momenteel gebaseerd op een combinatie van de meest recente IPCC-resultaten en resultaten van Le Bars <i>et al.</i> (2017). Dit zijn beide wereldwijde onderzoeken, dus de bijbehorende zeespiegelstijging is ook wereldwijd. De tabel geeft nu 'lokale zeespiegelstijging' aan, terwijl dit 'wereldwijde zeespiegelstijging' zou moeten zijn. - De huidige waarden voor de zeespiegelstijging zijn niet consistent. Het is dus logisch om de meest recente IPCC-resultaten over te nemen, naast de resultaten van Le Bars <i>et al.</i> (2017). Maar voor het M-scenario (RCP2.6) is de mediaanwaarde voor een wereldwijde temperatuurstijging van twee graden gebruikt en voor het M+-scenario (RCP4.5) werd het gemiddelde van de 90e percentielen gebruikt. Er wordt voorgesteld om de mediaanwaarde van de RCP2.6-studies voor het M-scenario te gebruiken en de mediaan van de studies met een temperatuurstijging van twee graden voor het M+-scenario. - Een ander discussiepunt is dat er geen consensus is in de wetenschappelijke wereld over de resultaten van Deconto en Pollard, waarop Le Bars <i>et al.</i> hun resultaten hebben gebaseerd. Er is consensus tussen de deelnemers over het gebruik van de resultaten voor het ongunstigste (worst case) scenario, maar niet voor het beste scenario. Er wordt voorgesteld een ander model te gebruiken dan het ijskapmodel voor het best-guess scenario en om de door Le Bars <i>et al.</i> bepaalde zeespiegel toe te voegen als voetnoot. 	<ul style="list-style-type: none"> - De consensus was om de IPCC-scenario's op de eerste lijn te plaatsen. - De consensus is om de mediaanwaarde van de RCP2.6-studies voor het M-scenario te gebruiken en de mediaanwaarde van de studies met een temperatuurstijging van twee graden voor het RCP4.5-scenario. - Er is consensus bereikt dat de temperatuurstijging 1°C (0,3 tot 1,7) is voor het M-scenario (RCP2.6). - De lokale zeespiegelstijging op basis van de wereldwijde zeespiegelstijging moet toegevoegd worden aan de tabel (met numerieke modellen). - De verwerkte resultaten van Deconto & Pollard (Le Bars <i>et al.</i>, 2017) worden gebruikt voor de uitschieters, maar niet voor het best-guess scenario (RCP 8.5). Er wordt voorgesteld een ander model te gebruiken dan het ijskapmodel voor de RCP 8.5. De consensus was om de zeespiegel van Le Bars <i>et al.</i> (2017) toe te voegen als voetnoot. 	<ul style="list-style-type: none"> - De globale zeespiegelstijging moet worden vertaald naar lokale zeespiegelstijging. - Om te modelleren is het belangrijk om te weten wat de onzekerheid is. Voor de communicatie is het belangrijk om de tabel simpel te houden, maar voor sommige parameters (de zeespiegelstijging, bijvoorbeeld) is het nodig om inzicht te geven in het bereik.

Aanvullende stijging HW		
<ul style="list-style-type: none"> – Om voor de lezer begrijpelijk te maken waar de waarden op gebaseerd zijn, moet er worden toegevoegd dat de stijging wordt veroorzaakt door de getijdeverandering. – Het bijkomende hoog water lijkt ook gebaseerd te zijn op een worst-case, het zou handig kunnen zijn om ook een gemiddelde waarde toe te voegen. Volgens de experts is het mogelijk om het bijkomende hoog water te berekenen aan de hand van een relatief simpel model. 	<ul style="list-style-type: none"> – De consensus was om dit verder te onderzoeken op basis van het advies van de experts. 	<ul style="list-style-type: none"> – Dit moet verder worden onderzocht met numerieke modellen.
Atmosferische circulatie - Circulatiepatroon		
<ul style="list-style-type: none"> – De in deze presentatie aangehaalde studies stellen geen significante verandering in windrichting vast. Haarsma <i>et al.</i> (2015) werden echter aangehaald, die stellen dat de impact van de dalende AMOC op de atmosferische circulatiepatronen onderschat wordt in de meeste globale klimaatmodellen van CMIP5. Aangezien deze GCM's grensvoorwaarden stellen voor de toegepaste RCM's veroorzaakt dit een hogere onzekerheid omtrent veranderingen in grootschalige atmosferische circulatie en bijgevolg ook windrichting. Het Project Kustvisie stelt voor geen verandering in circulatie te gebruiken voor best-guess en uit te gaan van een verandering in circulatiepatronen als worst-case. – Er waren er geen onderzoeksgroepen aanwezig die de koppeling oceaan-atmosfeer grondig hebben onderzocht. Er moet meer informatie worden gevraagd bij internationale onderzoeksgroepen zoals EMCWF of NOAA. – Het debat leidt tot de conclusie dat (a) de term 'atmosferische circulatie' moet worden veranderd in 'windrichting'. Aangezien op dit moment de meeste onderzoeksgroepen geen significante verandering vonden in de oriëntatie van het gemiddelde windklimaat, dienen de scenario's dus geen verandering te bevatten. Ook al zal elke simulatie van het model een verandering aantonen. De discrepantie tussen alle modellen (inclusief teken) is te groot om een trend uit af te leiden. – De modeloutput van CORDEX.be moet worden gebruikt om de verandering in windrichting verder te onderzoeken. 	<ul style="list-style-type: none"> – De consensus was om de term 'atmosferische circulatie' aan te passen naar 'windrichting'. – Op dit moment hebben de meeste studies geen significante verandering gevonden in de oriëntatie van het gemiddelde windklimaat, dus de consensus is dat de scenario's geen verandering dienen te bevatten. 	<ul style="list-style-type: none"> – Het is onduidelijk hoe de gemeenschap zich voelt over de verklaring van Haarsma <i>et al.</i> (2015) met betrekking tot de oceaan-atmosfeer koppeling en onderschatte impact van de AMOC op atmosferische circulatie (en/of andere teleconnecties) in de meeste CMIP5-modellen. Dit moet worden nagegaan bij internationale onderzoeksgroepen zoals het ECMWF. – Het is mogelijk om de verandering in windrichting verder te onderzoeken m.b.v. de nieuwe modeloutput uit CORDEX.be. Dit kan de scenario's verbeteren.

Atmosferische circulatie - Gemiddelde windsnelheid		
<ul style="list-style-type: none"> - Het kwam al naar voren in de presentaties dat de meeste studies geen significante verandering in gemiddelde windsnelheid hebben gevonden. Er is consensus tussen de experts die aanwezig zijn bij de workshop, om in alle scenario's, inclusief WCS, geen veranderingen op te nemen in de gemiddelde windsnelheid. - De modeloutput van CORDEX.be vereist verder onderzoek. 	<ul style="list-style-type: none"> - De consensus geldt dat alle scenario's geen verandering in gemiddelde windsnelheid (+0%) opnemen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Het is mogelijk om de verandering in windsnelheid verder te onderzoeken m.b.v. de nieuwe modeloutput uit CORDEX.be. Dit kan de scenario's verbeteren.
Atmosferische circulatie - Extreme windsnelheid		
<ul style="list-style-type: none"> - Omdat kwantitatieve waarden over extreme windsnelheid moeilijk te vinden zijn in de literatuur werd er input gevraagd van de experts die aanwezig waren bij de workshop. - Het is was onduidelijk welke cijfers er toegepast moesten worden. De model-output die geproduceerd werd in CORDEX.be is een optie, maar deze data moeten nog verder worden onderzocht. - De duur van een event met extreme wind heeft mogelijk een impact op de condities op zee. Dit moet meegenomen worden in de afweging omtrent welke modeloutput men toepast (GCM, RCM, hoge-resolutie LAM). - Er werd gevraagd welke duur er vereist is voor elk verschijnsel (bijv. stormopzet vs. windgolven vs. deining). MDK stelt voor om naar de output van het Masterplan Kustveiligheid te kijken. Ogenblikkelijke windvlagen (bijv. 10 min.) zouden de golfcondities in afgesloten havens kunnen beïnvloeden. Echter, om de gemiddelde staat van de zee te simuleren, zouden de modellen gehanteerd in CORDEX.be, afdoende moeten zijn. Hier hebben ze hun grovere (ca. 10 km resolutie) model gebruikt, aangezien het volledige Noordzeebekken werd opgenomen in de simulatie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Geen output. 	<ul style="list-style-type: none"> - De output vereist verder onderzoek van de model-output die in CORDEX.be is geproduceerd.
Neerslag		
<ul style="list-style-type: none"> - Er wordt tijdens de discussie benadrukt dat het combineren van de gemiddelde zomer- en winterneerslag in de WCS, zoals initieel voorgesteld, niet fysiek correct is. De waarden zijn gebaseerd op de MIRA-resultaten, maar zijn een combinatie van de MIRA 'laag' (5^{de} percentiel van CMIP5-output van zomerneerslag) en 'hoog' (95^e percentiel van CMIP5-output van winterneerslag) scenario's. Het is mogelijk dat één van de waarden zich voordoet, maar niet in een dergelijke combinatie. Deze uitschieters kunnen 	<ul style="list-style-type: none"> - In de 3 RCP-scenario's kan de (mediaan) CMIP5-output, zoals die is weergegeven in Termonia <i>et al.</i> (2018a), worden toegepast. - De consensus was dat de W++-neerslagcijfers gebruikt zouden 	<ul style="list-style-type: none"> - De uitschieters van de oorspronkelijk voorgestelde scenario's dienen niet gecombineerd te worden tot één fysiek correct scenario. Ze tonen de worst-case uitschieters voor

<p>gebruikt worden voor communicatiedoelstellingen, maar mogen nooit worden toegepast in modellen/studies. Het Klimaatportaal of de perturbatietool van de KUL zijn meer geschikt voor onderzoeken.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Voor alle andere scenario's kan men de waarden van Termonia <i>et al.</i> (2018a) toepassen, of meer specifiek: de CMIP5 mediaanwaarden van de respectievelijke emissiescenario's. Men mag de output van Belgische hoge-resolutie ensembles (nog) niet toepassen, aangezien deze 4 modellen niet genoeg modelspreiding bevatten (lees de gehele onzekerheid van alle GCM's). - Het Best-Guess scenario en W++-scenario hebben verschillende neerslagcijfers volgens de experts, de W++-waarden kunnen het best worden aangenomen voor het BGS-scenario. 	<p>worden voor RCP 8.5 en dat de W++ daarom buiten beschouwing is gelaten.</p>	<p>overstromingen in winter en droogtes in zomer.</p> <ul style="list-style-type: none"> - De hier verstrekte waarden zijn alleen voor communicatiedoelstellingen. Ze mogen niet toegepast worden in modellen/studies. Daarvoor wordt men verwezen naar het Klimaatportaal van de VMM of de perturbatietool van de KU Leuven.
--	--	--



Bijlage 6: Feedback op de uitkomst van de workshop

Er werd gevraagd aan de nationale en internationale experts die de workshop niet konden bijwonen, om de uitkomst van de workshop te reviseren. Tabel 5 vat hun reflecties samen, inclusief het antwoord en/of hoe dit in het rapport werd geïncorporeerd.

Tabel 5: Feedback op de output van de workshop.

INPUT	ANSWER / COMMENTS	REVISION OUTPUT
Algemene Opmerkingen		
<ul style="list-style-type: none"> - Ook al focust dit onderzoek op de kust, 4 van de 8 parameters hebben betrekking op neerslag. - Bij neerslag wordt er expliciet vermeld dat het Belgische hoge-resolutie ensemble niet gebruikt wordt. Hoe, op zijn minst regionaal, specifiek zijn de waarden voor luchttemperatuur en zeespiegelstijging? 	<ul style="list-style-type: none"> - Neerslag is van belang voor overstroming vanuit de rivieren of droogte nabij de kust. Het wordt daarom als een basisparameter aanzien. Gezien de opdeling in extreme, gemiddelde en seizoenale neerslag, worden er 4 parameters bekomen. - Voor een voorspelling met hoge resolutie van lokale temperatuursveranderingen, wordt er gerefereerd naar het Klimaatportaal van de VMM. De globale temperatuursverandering is hier opgenomen omdat: (a) dit aan het brede publiek meer zegt dan de RCP scenario's en (b) deze duidelijk de scenario's afbakenen, zeker i.r.t. zeespiegelstijging. De lokale zeespiegelstijging moet nog verder onderzocht worden. 	

Zeespiegelstijging		
<ul style="list-style-type: none"> - De eustatische zeespiegelstijging en de temperatuur onder de verschillende RCP scenario's, zullen niet homogeen verdeeld zijn over de wereld. - Het WCS CPK scenario mag niet gelabeld worden als een scenario met lagere kans op voorkomen. De bijna 3m zeespiegelstijging is in essentie diep onzeker en is recent ook bekritiseerd (Edwards <i>et al.</i>, 2019, Nature). De extreme waarde is gebaseerd op één enkele studie uitgevoerd door DeConto & Pollard (2016) in Nature en overgenomen door verschillende andere publicaties. - Le Bars <i>et al.</i> onderzochten niet het proces 'Cliff failure'. Deze auteurs bekeken louter de waarden van DP16 en namen deze op in een probabilistische analyse. Edwards <i>et al.</i> (2019) https://www.nature.com/articles/s41586-019-0901-4 voerden wel een onderzoek uit naar zgn. 'Cliff failure' en deze toonden aan dat 'klif instabiliteit' niet noodzakelijk is om de historische hoge zeespiegelpeilen (Plioceen, Laatste Interglaciaal) te verklaren, zoals noodzakelijk in DP16. De auteurs kwantificeerden de onzekerheden m.b.t. ijskapsimulaties, voor de oorspronkelijke MICI studie en toonden aan dat de waarschijnlijkheidsverdelingen scheef zijn naar lagere waarden (onder zeer hoge concentraties aan broeikasgassen, is de meest waarschijnlijke waarde 45 cm). Zelfs DP16 zijn aan hun werk aan het reviseren (nog niet gepubliceerd). Bovendien was er in DP16 een aanzienlijke oppervlakkige smelt nodig om de ijskappen te laten instorten tegen 2100, wat tegengesproken wordt in verschillende andere studies m.b.t. massabalans en oppervlakkige smelt. Op basis van de huidige discussie en omdat ook andere landen deze diep onzekere 3m zeespiegelstijging onderzoeken in 	<ul style="list-style-type: none"> - Om de lokale zeespiegelstijging te berekenen dient men ook andere aspecten te onderzoeken zoals tektoniek, isostasie van de landmassa (korte samenvatting in MOW, 2018), de gravitationele aantrekking van de ijsmassa en verandering in oceanische circulatie. Dit gaat voorbij aan het doel van deze workshop. De lokale zeespiegelstijging is wel mee opgenomen in de sectie 'Toekomstige uitwerking'. - De onzekerheid gerelateerd aan DP16 zal beter geformuleerd worden. - De onzekerheid gerelateerd aan DP16 zal beter geformuleerd worden. We zullen ook bekijken hoe Edwards <i>et al.</i> (2019) te incorporeren in het document – ook al is dit artikel gepubliceerd na de workshop. - De benaming is de vrucht van lange discussies, dus we gaan deze in dit stadium niet meer aanpassen. Op basis van uw commentaar, wensen we wel te verduidelijken dat E.S. staat voor Extreme Situatie en geen scenario is. 	<ul style="list-style-type: none"> - De onzekerheid gerelateerd aan DP16 is beter geformuleerd. - De onzekerheid gerelateerd aan DP16 is beter geformuleerd. - De paragraaf m.b.t. Le Bars is gecorrigeerd - De inzichten van Edwards <i>et al.</i> (2019) zijn opgenomen.

<p>hun planning, moet dit scenario niet per se weggelaten worden, maar noemt men het best 'Deep Uncertainty'.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deze scenario's aan de hoge zijde (e.g. 3m zeespiegelstijging), hebben nood aan een duidelijk doel, gezien men anders bij het vluchtig lezen – foutief – er van kan uitgaan dat 3m zeespiegelstijging even aannemelijk is als RCP8.5. Verschillende internationale experts zijn nogal sceptisch omtrent de waarden bekomen door DeCOnTo & Pollard (2016). Men kan zich dus afvragen: heeft de community te overdreven gereageerd op een artikel met hoge waarden? Het komt er eigenlijk op neer wat het doel is van zo'n extreem scenario en hoe het zal gebruikt worden. Voor de verdediging van Londen werd het H+ scenario ontwikkeld (Palmer <i>et al.</i>, 2018). Dit scenario is toegepast in stresstesten: om na te gaan of de adaptieve planning daadwerkelijk zou werken indien zo'n extreem scenario zich voordoet. Echter, de kustverdediging wordt momenteel gebouwd voor lagere inschattingen, dichterbij RCP8.5. Door middel van zeespiegelmonitoring, kan men pas waarnemen wat er daadwerkelijk gebeurt. Het combineren van scenario's met observaties is dus de meest logische oplossing voor zo'n fenomeen met trage start (e.g. zeespiegelstijging). Sommige voetnoten naar CP. Kustvisie lijken een gelijkaardige denkwijze in België uit te wijzen. Het is bovendien ook belangrijk om op te merken dat de zeespiegelstijging niet zal stoppen tegen 2100. Men zou dus even goed een 3m of 5m zeespiegelstijging kunnen waarnemen in de verdere toekomst. De vraag is louter wanneer. Op basis van deze info, lijkt het bruikbaar om ook na te denken voorbij horizon 2100. Tot slot, Jason Lowe en anderen gaan voort met de ontwikkeling van de extreme H++ scenario's op basis van alle beschikbare info en bewijzen. Echter, zij pretenderen niet probabilistisch te werken. Het is aan de gebruikers om hun noden te definiëren. Het zou goed zijn voor jullie om hiernaar te kijken. 	<ul style="list-style-type: none"> - Deze inzichten zullen aangewend worden om het begrip omtrent toepassing van E.S. te verbeteren. 	<ul style="list-style-type: none"> - De onzekerheid gerelateerd aan DP16 is beter geformuleerd. - Het doel van E.S. en hoe dit toe te passen is geformuleerd.
<p>Wind</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - De uitkomst van CORDEX.be heeft nog verder onderzoek nodig, maar bepaalde projecten dienen voort te gaan. Daarom wordt er voorgesteld om geen verandering in extreme windsnelheden op te nemen in alle projecties. - Ook al is er nog discussie m.b.t. wind (zie vb. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/storms-2/assessment), ben ik toch verrast dat er geen wijziging in windrichting of -snelheid is opgenomen in E.S. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dit wordt toegepast in het rapport. - Correct. Deze studie werd ook opgenomen in het achtergrondrapport (MOW, 2018). Er werd tijdens de workshop besproken of een 	<ul style="list-style-type: none"> - Momenteel wordt er nog geen wijziging in extreme windsnelheid toegepast.

<ul style="list-style-type: none"> – Net als bij neerslag, zijn er ook veranderingen in de extremen, die bijkomende adaptatiemaatregelen vergen bovenop de gemiddelde windsnelheden. Men kan hierbij kijken naar de algemene windsnelheid en gemiddelde stormduur, maar ook naar de verandering in maximum windsnelheden en windstoten. 	<p>wijziging in atmosferische circulatie diende opgenomen te worden in E.S, maar de meerderheid van de deelnemers besliste dat er onvoldoende consensus is in de beschikbare literatuur en er dus bijkomstig onderzoek nodig is (vb. momenteel in onderzoek in CREST). Het lokaal windklimaat is ook opgenomen in 'Toekomstige uitwerking'. De uitkomst van dit onderzoek kan mogelijk leiden tot een update van deze scenario's.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dit zal de basis vormen voor toekomstig onderzoek. 	
<p>Neerslag</p>		
<ul style="list-style-type: none"> – MIRA nam dit type worst case scenario's niet in acht, gezien hun doel verschillend is van de huidige opzet: overstroming vanuit de rivieren en in verstedelijkte gebieden. Er wordt voorgesteld om nog geen neerslagwaarden op te nemen of om – in modellen – het MIRA 'Midden' scenario te hanteren i.p.v. het 'Hoog' scenario. Als men de impact van klimaatsverandering wil analyseren, is het te raden om niet de <i>runoff</i> en evaporatie rechtstreeks te berekenen uit neerslag en temperatuurscenario's, maar om de wijziging in debieten rechtstreeks toe te passen. Deze methode is analoog aan deze uitgevoerd in het Theseus project. – Hoe komen deze scenario's qua temperatuur en – waar relevant neerslag – overeen met de CCI-HYDR scenario's (of andere Belgische klimaatscenario's)? 	<ul style="list-style-type: none"> – Dit wordt meegenomen in het rapport. – De waarden opgenomen in de voorgestelde projecties vertonen een algemene trend met nattere winters, drogere zomers en heviger extremen. Dit is in overeenstemming met de huidige 	<ul style="list-style-type: none"> – Gezien de neerslag in E.S. onderwerp van discussie blijft uitmaken, wordt er geen waarde toegekend in ES. – De methode gehanteerd in het Theseus project zal toegelicht worden

<ul style="list-style-type: none"> - M.b.t. neerslag snap ik de paragraaf 'louter voor communicatiedoeleinden' niet echt. Of men neemt gedetailleerde waarden op die wetenschappelijk correct zijn, of men dient een andere manier van presenteren toe te passen. - Naast jaarlijkse is het ook nuttig om te kijken naar hogere terugkeerperioden (vb. 10-jaarlijkse), incl. trends gezien deze kunnen aansterken, verzwakken of volledig wijzigen. 	<p>Belgische consensus (incl. de CCI-HYDR scenario's).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Onderzoekers zouden beter niet één waarde direct toepassen in hun modellen. Geperturbeerde tijdreeksen zijn hiervoor beter geschikt. Het doel van de geprojecteerde neerslag is om de algemene trend te communiceren naar het brede publiek. Onderzoekers worden verwezen naar andere beschikbare middelen. - Deze jaarlijkse terugkeerperioden zijn overgenomen uit Termonia <i>et al.</i> (2018a). Zij presenteren ook andere terugkeerperioden. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dit is beter geformuleerd in het rapport. - Er is een voetnoot toegevoegd waar men andere terugkeerperioden kan vinden.
<p><i>Toekomstige uitwerking</i></p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Watertemperatuur is een bijkomende parameter (zoals aangegeven in 'Toekomstige uitwerking'), wat logisch is gezien dit een feedbackloop kan creëren naar stromingspatronen. - Als golfcondities als secundaire parameters en buiten de scope van deze studie aanzien worden, is vegetatie tertiair. 	<ul style="list-style-type: none"> - Het bepalen van toekomstige golfcondities heeft een hogere prioriteit. Vegetatie is dan weer belangrijk om toekomstige morfologische veranderingen te voorspelen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Deze feedbackloop is vernoemd.