

De oceaan - klimaat nexus

*Het belang van voortgezet onderzoek naar de rol van de
oceaan in het klimaatvraagstuk*

*Beleidsinformerende nota
Mei 2020*



Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ)

Beleidsinformerende Nota

Nota voorop

Het Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ) kan op vraag van haar doelgroepen, alsook op eigen initiatief kostenvrij en gericht beleidsrelevante informatie verschaffen. Deze informatie wordt ter beschikking gesteld onder de vorm van beleidsinformerende nota's (BIN).

De inhoud van de beleidsinformerende nota's is gestoeld op de actuele wetenschappelijke inzichten en objectieve informatie, data en gegevens. Het VLIZ steunt hierbij zoveel als mogelijk op de expertise van kust- en zeewetenschappers in het netwerk van mariene onderzoeksgroepen in Vlaanderen/België, en het internationale netwerk.

De beleidsinformerende nota's zijn een reflectie van het neutrale en ongebonden karakter van het VLIZ, en streven naar een maximale vertaling van de basisprincipes van duurzaamheid en een ecosysteem-gerichte benadering zoals die onderschreven wordt in het Europese geïntegreerd maritiem beleid en kustzonebeheer.

Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ), Wandelaarkaai 7, 8400 Oostende, België

Inhoud van de nota

Betreft: De oceaan - klimaat nexus: een overzicht van de wetenschappelijke kennis, het beleid en duiding van het belang van voortgezet onderzoek.

Datum: Mei 2020

ISSN nummer: 2295-7464

ISBN nummer: 978-94-92043-95-5

Auteurs: Thomas J. Verleye, Hans Pirlet, Ann-Katrien Lescrauwaet, Jan Mees

Te Citeren als: Verleye, T.J., Pirlet, H., Lescrauwaet, A.-K., Mees, J. (2020). Beleidsinformerende Nota: De oceaan - klimaat nexus: Het belang van voortgezet onderzoek naar de rol van de oceaan in het klimaatvraagstuk. VLIZ Beleidsinformerende nota's BIN 2020_002. Oostende, 21 pp.

Contact: thomas.verleye@vliz.be

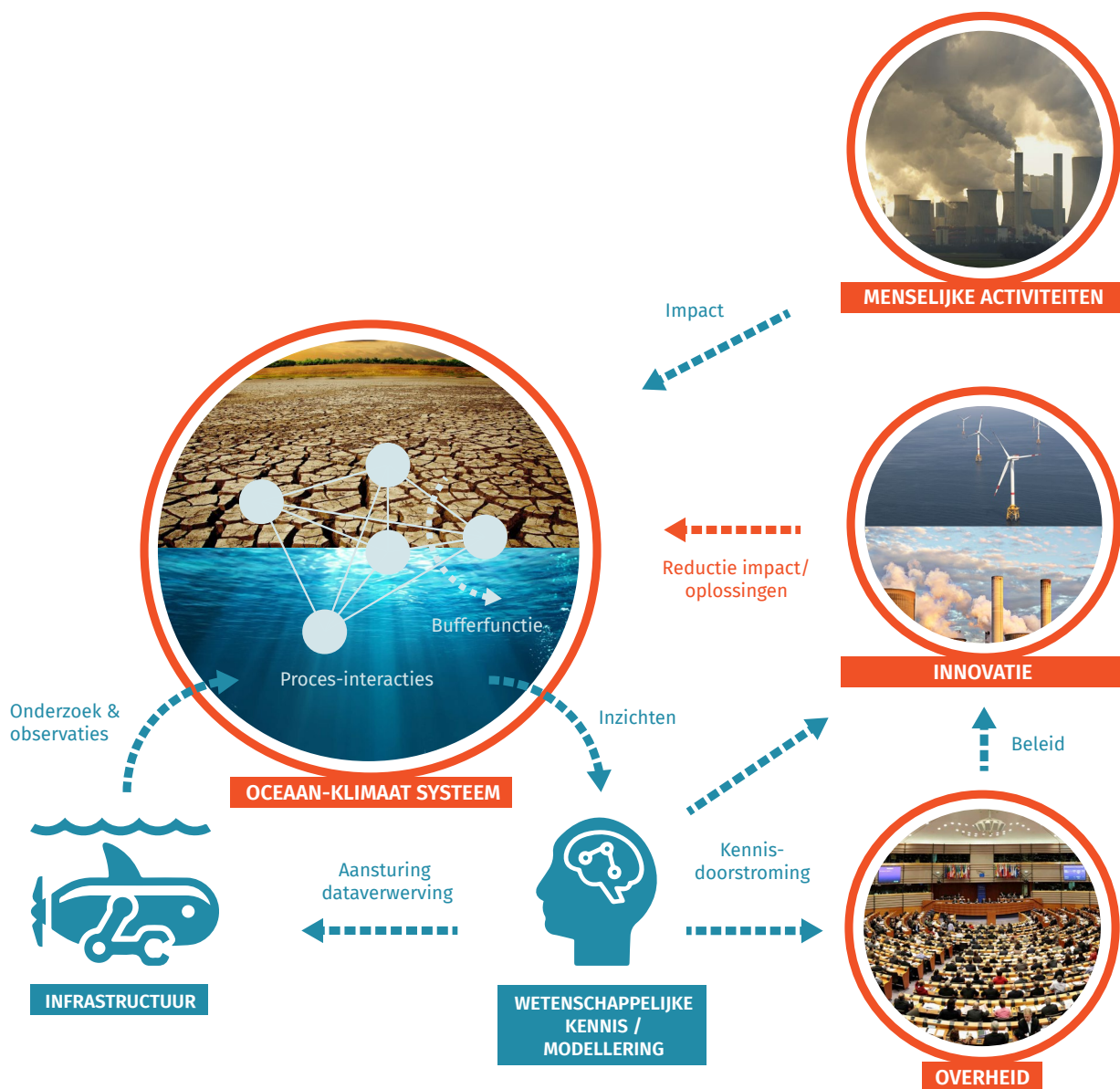
Bron coverfoto: Shutterstock

Inhoudsopgave

1. Kernboodschappen	1
2. De oceaan - klimaat interacties	3
3. Het internationaal en Europees klimaatbeleid in een notendop	5
4. Het nationaal klimaatbeleid in het kort	8
5. Het nationaal marien (klimaat)beleid in het kort	9
6. Nood aan mariene kennis en data	10
7. Belangrijke rol voor de Belgische/Vlaamse mariene onderzoeksgemeenschap	13
8. Referenties	15
<i>Annex 1: Overzicht relevant Belgisch marien onderzoek</i>	20

1. Kernboodschappen

- De **oceaan** speelt een **sleutelrol** als klimaatregulator alsook bij het bufferen van de effecten van de klimaatverandering. Sinds de industriële revolutie heeft de oceaan meer dan **25%** van de menselijke **CO₂-uitstoot** en ruim **90%** van de **extra warmte** als gevolg van het broeikaseffect **geabsorbeerd**.
- De **broeikasgasemissies** hebben **invloed op** het **marien ecosysteemfunctioneren** en op de **buffercapaciteit** van de oceaan. De mens verandert hierdoor ingrijpend het marien systeem, alsook de ecosysteemdiensten die hieruit voortkomen.
- Een **globale en multidisciplinaire aanpak** is noodzakelijk teneinde betere wetenschappelijke inzichten te bekomen **inzake de connectie tussen de oceaan en het klimaat**. Deze inzichten zijn essentieel om de implicaties van een veranderende oceaan voor ons milieu en welzijn te voorspellen.
- De rol van **oceaan- en klimaatonderzoek** is **fundamenteel voor de maatschappelijke/politieke respons op de klimaatverandering** en is onontbeerlijk voor het vormgeven van het klimaatbeleid en het uitwerken van onderbouwde oplossingspistes (adaptatie, mitigatie).
- De huidige klimaat- en oceaangerelateerde maatschappelijke uitdagingen vragen om een **verdere uitbouw** van de **mariene observatie- en onderzoeksinfrastructuur** met het oog op continue lange-termijn oceaanobservaties ('**sustained ocean observation**'), het bestendigen van **biogeochemische parameters** in observaties en een **blijvende investering** in de vereiste **technische en wetenschappelijke expertise**.



Figuur 1: Overzicht van de verbanden die bijdragen tot een beter begrip van het oceaan-klimaat-systeem en zo de noodzakelijke basis vormen van onderbouwde klimaatmitigerende en -adaptieve oplossingspistes.

2. De oceaan - klimaat interacties

Het klimaat op aarde, de oceaan en de biodiversiteit ('klimaat-oceaan-biodiversiteit nexus') zijn fundamenteel met elkaar verbonden op een manier die we tot op vandaag nog steeds niet volledig begrijpen (o.a. [Ocean and Climate 2019](#)). De oceaan behelst 71% van het aardoppervlak en speelt hierdoor een sleutelrol als klimaatregulator, alsook bij het bufferen van de effecten van de klimaatverandering. Daarnaast hebben ook de menselijke activiteiten die de klimaatverandering veroorzaken/versnellen, in het bijzonder door de uitstoot van broeikasgassen, een invloed op de gezondheid van de oceaan, waardoor deze steeds warmer wordt en te kampen krijgt met verzuring en een gebrek aan zuurstof. De mens verandert hierdoor ingrijpend het marien systeem en de daaruit voortkomende ecosystemendiensten die fundamenteel zijn voor ons welzijn ([Schulz et al. 2015](#)).

... De oceaan vormt de belangrijkste motor van de wereldeconomie

De oceaan levert een ongeziene hoeveelheid aan goederen en diensten die bijdragen tot het welzijn van de mens. De oceaan en de kusten vormen de belangrijkste 'motor' van de wereldeconomie, goed voor een geschatte economische waarde van 2,5 biljoen dollar per jaar. Daarbovenop levert de oceaan een indirecte meerwaarde tot het sociaal welzijn en de menselijke gezondheid ([Hoegh-Guldberg et al. 2015](#)). De waardering van ecosystemen ('*ecosystem valuation*') en de integratie ervan in mariene besluitvormingsmodellen faciliteert het maken van een afweging tussen het omkeren van de achteruitgang van de ecosystemen en potentieel tegenstrijdige economische belangen ([Austen et al. 2019](#), zie ook [Ligtvoet et al. 2019](#)). Zo worden in het rapport '*The Ocean Economy 2030*' ([OECD 2016](#)) de groeiperspectieven van de blauwe economie (innovatie, tewerkstelling) gekoppeld aan globale uitdagingen zoals klimaatverandering, milieu, energie- en voedselvoorziening.

... De oceaan herbergt een ongeziene biodiversiteit

De oceaan herbergt een enorme en grotendeels onontdekte biodiversiteit en levert een groot deel van de dierlijke eiwitten die door de wereldbevolking worden geconsumeerd. De impact van de huidige oceanografische veranderingen kent reeds een uitwerking op de mariene organismen, hetgeen zich onder meer vertaalt in noordwaartse verschuivingen in hun biogeografische voorkomen (0-40 km/jaar) ([Burrows et al. 2014](#), [Chust 2014](#), [Bruge et al. 2016](#), [Poloczanska et al. 2016](#)). Dit impacteert vervolgens de structuur en het functioneren van de oceaan, samen met de biodiversiteit en de voedselwebben ([Hoegh-Guldberg et al. 2019](#)). Het dient eveneens vermeld te worden dat voor weinig-mobiele soorten de frequentere blootstelling aan extremere temperaturen gepaard gaat met een verhoogde kans op massamortaliteit en ziektes ([Hoegh-Guldberg 1999](#), [Garrahou et al. 2009](#), [Rivetti et al. 2014](#), [Maynard et al. 2015](#), [Krumhansl et al. 2016](#), [Hughes et al. 2017](#)). Verder kunnen ook wijzigingen in oceaancirculaties verregaande effecten hebben op bestaande ecosystemen (blootstelling aan watermassa's met afwijkende fysische eigenschappen, introductie van nieuwe soorten, etc.) ([Wernberg et al. 2012](#), [Vergés et al. 2014](#), [Zarco-Perello et al. 2014](#), [Vergés et al. 2016](#)). In deze context erkennen experts het belang van de mariene biodiversiteit, als zijnde cruciaal om stabiele en productieve ecosystemen – en de hieruit voortvloeiende ecosystemendiensten – te behouden ([Schulz et al. 2015](#)). Het fytoplankton uit de oceanen vormt hier tevens een

voornamelijk component in, en is verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de globale netto primaire productie (o.a. [Field et al. 1998](#)).

... De oceaan buffert het effect van de klimaatwijziging

Het marien systeem neemt tevens een bufferfunctie op voor de effecten van de klimaatverandering. De oceaan slaat enorme hoeveelheden warmte, (smelt)water, zuurstof en broeikasgasen zoals koolstofdioxide (CO_2) op, transporteert en wisselt deze uit met de atmosfeer. Sinds de industriële revolutie heeft de oceaan meer dan 25% van de menselijke CO_2 -uitstoot en ruim 90% van de extra warmte als gevolg van het broeikaseffect opgeslagen (o.a. [Sabine et al. 2004](#), [Khaliq et al. 2009](#), [Rhein et al. 2013](#), [Stocker et al. 2015](#)). De bufferfunctie van de oceaan blijft evenwel niet zonder gevolgen. Studies tonen aan dat een stijging in CO_2 , weliswaar met een zekere vertraging, onvermijdelijk gevolgd wordt door een stijging van de zeespiegel (o.a. [DeConto en Pollard 2016](#)). De antropogene drijfveer voor de huidige zeespiegelstijging wordt in tal van recente studies aangetoond (o.a. [Marcos et al. 2016](#), [Slangen et al. 2016](#), [Clark et al. 2016](#)). In de globale klimaatdiscussies worden de impactscenario's vaak geprojecteerd binnen een relatief kortetermijnkader tot 2100. Echter, als gevolg van de thermale expansie (zie o.a. [Zickfeld et al. 2017](#)) en het verlies aan terrestrische ijskappen, voorspelt [Clark et al. \(2016\)](#), bij een gemiddeld emissiescenario, binnen 10 millennia een zeespiegelstijging van 25 m (zie ook [European Marine Board 2017](#)). De studie van [DeConto en Pollard \(2016\)](#) voorspelt zowaar een nog snellere stijging. Dit impliceert dat tal van 's werelds dichtst bevolkte regio's (in 2010 goed voor ruim 1,3 miljard inwoners) onder water komen te staan. Een hoog emissiescenario zou volgens de studie van Clark resulteren in een zeespiegelstijging van 52 m, met bijgevolg nog grotere effecten. De complexe geomorfologische respons van de kustlijnen, vooral ten gevolge van door het klimaat veranderende stormpatronen, werd hierbij nog niet in rekening gebracht, maar wordt wel onderzocht ([French en Burningham 2013](#)).

... De oceaan wordt steeds zuurder

Een ander belangrijk effect van de bufferende werking van de oceaan betreft de zogenaamde oceaanverzuring door de opname van CO_2 , met schadelijke gevolgen voor (bepaalde) mariene ecosystemen (o.a. [Orr et al. 2005](#), [Hoegh-Guldberg 2007](#), [Waldbusser et al. 2014](#), [Bednaršek et al. 2014](#), [Wang 2016](#)). Aan deze verzuring zijn risico's verbonden voor de overleving, calcificatie, groei, ontwikkeling en abundantie van een breed scala aan mariene taxonomische groepen, variërend van algen tot vissen ([Hoegh-Guldberg et al. 2018](#)). Het gecombineerd effect van opwarming en verzuring leidt o.a. tot een verminderd vermogen van coccolithoforen (een belangrijke primaire producent) om atmosferische CO_2 vast te leggen, hetgeen resulteert in een minder efficiënte biologische (koolstof)pomp ([Milner et al. 2016](#)). De werking van deze laatste wordt zowel beïnvloed door de oceaancirculatie, de aanvoer aan nutriënten, de primaire productie als de mariene voedselweb-processen. Bijgevolg is de studie van de chemische en fysische veranderingen in de oceaan, en het klimaat in het algemeen, onlosmakelijk verbonden aan het onderzoek van de mariene biosfeer. Een ander voorbeeld binnen dit kader vormt de studie van de verminderde ventilatie van de oceaan die leidt tot een lager zuurstofgehalte met ernstige effecten op het mariene leven in bepaalde regio's (o.a. [Levin en Le Bris 2015](#)).

... De oceaan onder druk

De effecten van de klimaatverandering op de oceaan interageren daarnaast ook met belastende menselijke activiteiten, waaronder verschillende soorten vervuiling, nutriëntenbelasting, niet-duurzame visserij en exploitatie van hulpbronnen. Zonder drastische maatregelen om de oorzaken van de klimaatverandering te verminderen, zullen deze toenemende druk en veranderingen onvoorspelbare gevolgen hebben voor het mariene leven, voor de gezondheid van de oceanen en voor het menselijk welzijn (o.a. [Schulz et al. 2015](#)).

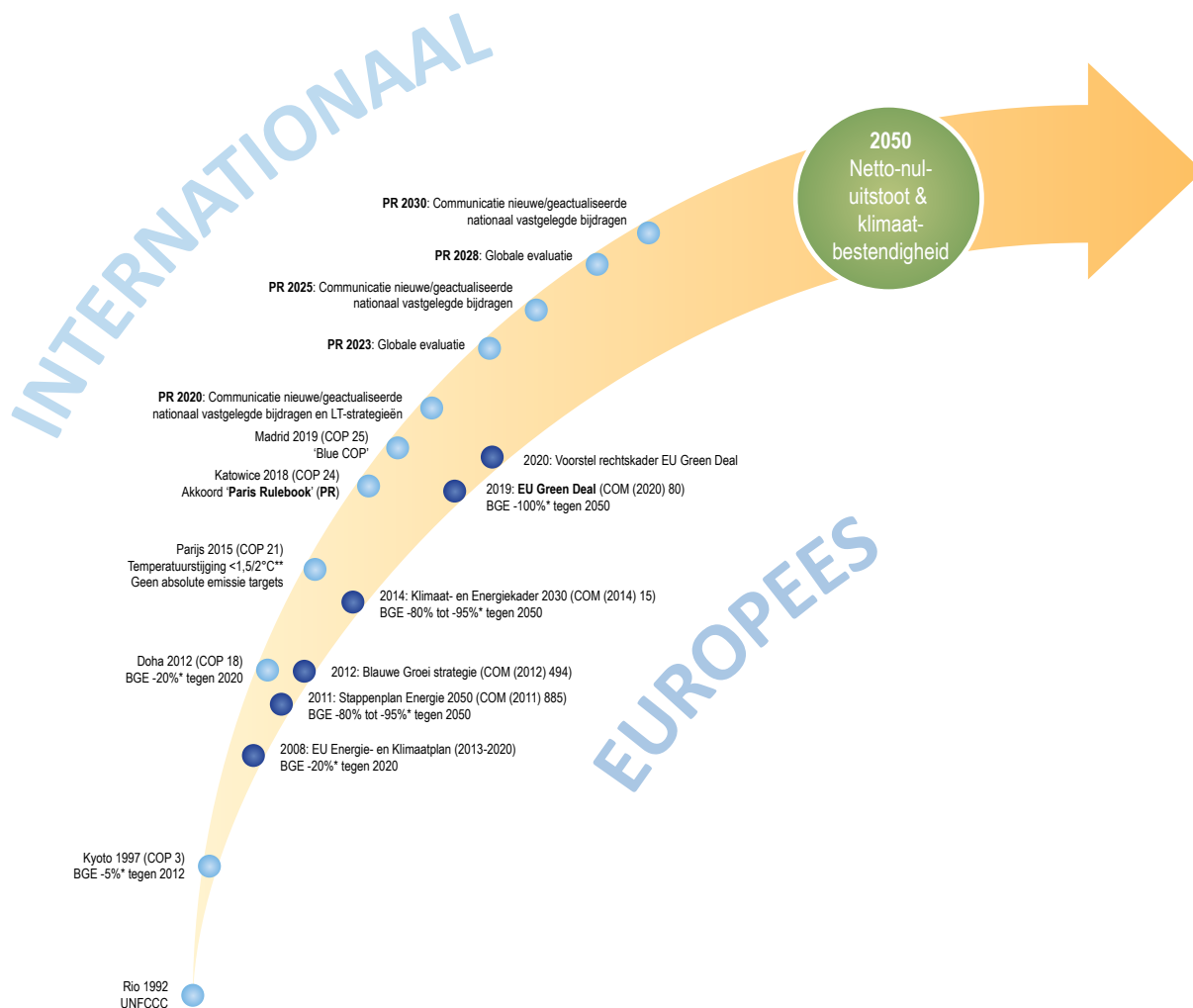
... De oceaan als oplossing

De oceaan vormt vandaag tevens een veel bestudeerd medium met het oog op de uitwerking van onderbouwde klimaatmitigerende en -adaptieve oplossingstrajecten ([Hoegh-Guldberg 2019](#)). Zo worden op mitigerend vlak wereldwijd een sterk toenemend aantal offshore zones afgebakend voor hernieuwbare energieproductie ([IEA 2019](#)) en worden onder andere de diverse mogelijkheden – alsook de socio-economische en milieu-/klimaatgebonden voor- en nadelen – van CO₂-opslag (koolstofcaptatie) bestudeerd (o.a. [IPCC 2005](#), [de Coninck et al. 2018](#)). De oceaan voorziet tevens in mogelijkheden voor klimaatgebonden adaptieve ontwikkelingen en innovatietrajecten, zoals de ontplooiing van maricultuuractiviteiten om een antwoord te bieden op de uitdaging inzake de globale voedselvoorziening ([D'Abramo en Slater 2019](#)) en de optimalisatie van ontziltingstechnieken om potentiële toekomstige (zoet)waterschaarste het hoofd te bieden ([WHO 2011](#)).

3. Het internationaal en Europees klimaatbeleid in een notendop

De klimaatdiscussie is vandaag actueler dan ooit. Tal van studies hebben reeds de langetermijneffecten van het menselijk handelen en het belang van de huidige korte-termijn-beleidsbeslissingen op het klimaat aangetoond. Het is inmiddels duidelijk dat de oceaan-klimaatinteractie hierin een centrale rol dient te vervullen (zie o.a. [European Marine Board 2017](#), [IPCC 2019](#)). Het is dan ook van primordiaal belang dat politieke acties die op korte termijn worden uitgevoerd, aan een strategische langetermijnvisie worden gekoppeld. In deze context dienen de langetermijnstrategieën voor mariene/maritieme ontwikkelingen ook een reductie van broeikasgassen voorop te stellen.

De eerste internationale afspraken en langetermijndoelstellingen (niet bindend) dateren van 1992 ([figuur 2](#)). Toen werd in Rio de Janeiro tijdens de Conferentie van de Verenigde Naties over Milieu en Ontwikkeling (*United Nations Conference on Environment and Development* – [UNCED](#)) het Klimaatverdrag afgesloten (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – [UNFCCC](#)). Dit verdrag trad in werking in 1994 en heeft als doel de concentraties van broeikasgassen in de atmosfeer te stabiliseren op een niveau waarop gevaarlijke antropogene verstoring van het klimaatsysteem wordt voorkomen. Lidstaten engageren zich hierbij o.a. om het klimaatsysteem te beschermen, rekening te houden met kwetsbare ontwikkelingslanden en voorzorgsmaatregelen te nemen om te anticiperen op de oorzaken van de klimaatverandering. Het belangrijkste besluitvormende orgaan binnen het UNFCCC is de 'Conferentie van Partijen' (*Conference of Parties*, COP) dat jaarlijks instaat voor de opvolging van de effectieve implementatie van het verdrag.



Figuur 2: Niet-exhaustief overzicht van sleutelbeslissingen en -documenten met het oog op een transitie naar een netto-nul-uitstoot en een klimaatbestendig beleid (* Referentiejaar: 1990, ** Referentieperiode: pre-industrieel tijdperk).

Onder de UNFCCC-koepel werd in 1997 (COP 3) het [Kyoto-protocol](#) aangenomen (figuur 2). Dit verdrag vormt het enige wettelijk bindend verdrag met betrekking tot de reductie van broeikasgassen. Echter, te wijten aan het feit dat een aantal landen met grote uitstootwaarden geen onderdeel uitmaken van Kyoto omvat deze slechts 18% van de globale uitstoot. In de eerste verbintenisperiode (2008-2012) engageerden de lidstaten zich om de emissies met 5% terug te dringen t.o.v. het referentiejaar 1990, terwijl in de tweede verbintenissenperiode (2013-2020, [Doha-amendement](#)) een reductie van 20% wordt beoogd. Het Doha-amendement (COP 18) voorziet op deze wijze tevens in een internationale (Verenigde Naties) verankering van het Europees Energie- en Klimaatpakket (2013-2020) dat eind 2008 in het Europees Parlement werd goedgekeurd. Concreet voorziet dit pakket tegen 2020 in een EU-overkoepelende reductie van broeikasgassen van 20% t.o.v. 1990, het optrekken tot 20% van het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het bruto eindgebruik van energie en een vermindering van het energiegebruik met 20% t.o.v. het verwachte niveau in 2020 bij ongewijzigd beleid. De [Beschikking 406/2009/EG](#) vormt het Europees wettelijk kader inzake de landelijke verdeling

van de inspanningen. Het formuleert de nationale doelstellingen voor 2020 op het vlak van broeikasgasemissies in de zogenaamde niet-‘*Emission Trading System*’ (ETS)-sectoren (transport (behalve luchtvaart en internationaal transport over zee), gebouwen, landbouw en afval), i.e. de sectoren die niet onderworpen zijn aan het Europese Emissiehandelssysteem. Voor België betekent dit een emissiereductie van 15% t.o.v. 2005, een hernieuwbaar energie-aandeel van 13% en een daling in energieverbruik van 18%. In het EU ‘Klimaat- en energie kader 2030’ (COM (2014) 15) werden de streefcijfers inzake de broeikasgasemissiereducties bijgesteld in lijn met het vooropgestelde ‘Stappenplan Energie 2050’ (COM (2011) 885), waarin de EU zich ertoe had verbonden de uitstoot van broeikasgassen tegen 2050 met 80 tot 95% te reduceren ten opzichte van 1990. Deze doelstellingen werden op 11 december 2019 nog verder aangescherpt door de *EU Green Deal* (COM (2019) 640), i.e. een nieuwe EU-groeistrategie, met als doel de EU om te vormen naar een welvarende maatschappij, met een verhoogde levenskwaliteit voor de huidige en toekomstige generaties en met een moderne, grondstofefficiënte, competitieve en klimaat-neutrale (geen netto broeikasgasemissies tegen 2050) economie, waarbij economische groei ontkoppeld wordt van het gebruik van grondstoffen. Op 4 maart 2020 werd een wetsvoorstel (COM (2020) 80) gepubliceerd dat een rechtskader dient te voorzien voor de implementatie van de *EU Green Deal* en de bestaande Europese klimaatwet amendeert (i.e. Verordening (EU) nr. 2018/1999). Teneinde de doelstellingen tijdig te bereiken dient elke lidstaat een Nationaal Energie- en Klimaatplan op te stellen voor de periode 2021-2030. Deze plannen werden eind 2019 aan de Europese Commissie voorgelegd en dienen geactualiseerd te worden tegen 2023, in lijn met de vijfjaarlijkse ambitiecyclus van het in 2015 ondertekende Akkoord van Parijs (COP 21) (figuur 2).

Tijdens de COP 21 hebben 195 landen het eerste universele wettelijk bindend klimaatakkoord aangenomen, en voorziet zo – in tegenstelling tot het Kyoto-protocol – in klimaatdoelstellingen voor alle landen. Het Akkoord biedt echter geen absolute globale emissiereductiedoelstellingen maar verwijst binnen dit kader naar de noodzaak van een wetenschappelijke onderbouwing bij de vastlegging van toekomstige emissiereducties. Verder bevestigt het Klimaatakkoord de doelstelling om de temperatuurstijging tot onder de 2°C te houden en het beperken van de temperatuurstijging tot 1,5°C verder te zetten (zie ook www.ipcc.ch/sr15). Op de Klimaatconferentie van Katowice (COP 24) in 2018 werd een akkoord bereikt rond de verfijning van het Akkoord van Parijs (‘*Paris Rulebook*’). De in 2019 georganiseerde Klimaatop van Madrid (COP 25), tevens de ‘*Blue COP*’ genoemd, stond in het teken van het belang van de oceaan, en de bescherming ervan, binnen de klimaatproblematiek. Tijdens deze COP werd enige vooruitgang geboekt met betrekking tot de integratie van oceaankwesties in de UNFCCC, een topic waarover een dialoog wordt georganiseerd in de *Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice* (SBSTA) in juni 2020.

Specifiek binnen het maritieme kader werd vanuit Europa, door het Directoraat-Generaal voor Maritieme Zaken (DG MARE), tevens gewerkt aan een beleid omtrent de zogenaamde Blauwe Groei (COM (2012) 494). Dit is de langetermijnstrategie voor meer duurzame groei in de mariene en maritieme sectoren, waaronder ook de hernieuwbare energieopwekking op zee (Blauwe Energie, COM (2014) 8). Het belang van een gezonde en productieve oceaan (en zeeën) en een duurzame blauwe economie werden recent nogmaals onderstreept door de EU in de ‘*Council Conclusions on Oceans and Seas*’ van 19 november 2019, die de EU-positie weergeven naar aanleiding van de COP 25 die plaatsvond eind 2019. In december 2019 werd eveneens de ‘*Roadmap for the blue bioeconomy*’ gepubliceerd waarin men oplossingen aanreikt voor de uitdagingen op het vlak van o.a. beleid, milieu, wetenschap,

technologie en innovatie (Ligtvoet et al. 2019). Verder werd in de schoot van Europa ook het gezamenlijk programmeringsinitiatief 'Connecting Climate Knowledge for Europe' (*JPI Climate*) opgericht. Dit is een pan-Europees intergouvernamenteel initiatief dat Europese landen bijeenbrengt om gezamenlijk klimaatonderzoek te coördineren en nieuwe transnationale onderzoeksinitiatieven te financieren die nuttige klimaatkennis en -diensten leveren voor klimaatacties in navolging van de COP 21. Begin 2019 werd door *JPI Climate* en *JPI 'Healthy and Productive Seas and Oceans'* (*JPI Oceans*) een gezamenlijke transnationale projectoproep gelanceerd rond klimaat-oceaan interacties.

4. Het nationaal klimaatbeleid in het kort

De bevoegdheden met betrekking tot klimaat zijn versnipperd binnen de Belgische staatsstructuur. Samenwerking tussen de verschillende bevoegdheidsniveaus is dan ook essentieel om te komen tot gedragen maatregelen zoals de energietransitie richting een koolstofarme energiesysteem dat de uitstoot van broeikasgassen terugdringt. In het streven naar een gemeenschappelijk kader werd het *Energiepact 2050* opgemaakt, waarin de inhoudelijke betrokkenheid en afstemming van alle bestuursniveaus centraal staat. Op 31 december 2018 werd het ontwerp van een *geïntegreerd Nationaal Energie- en Klimaatplan* (NEKP) overgemaakt aan de Europese Commissie in overeenstemming met de verplichtingen voortvloeiend uit de COP 21 (zie ook '**Het internationaal en Europees klimaatbeleid in een notendop**'). Het finaal NEKP werd aan de Europese Commissie overgemaakt op 31 december 2019 en beschrijft hoe België de komende tien jaar zal omgaan met thema's zoals energie-efficiëntie en -voorziening, broeikasgasemissiereducties, onderzoek en innovatie. Op Vlaams niveau werden hiertoe het *Vlaams Energiebeleidsplan 2021-2030* en het *Vlaams Klimaatbeleidsplan 2021-2030* opgesteld die als bijlagen werden toegevoegd aan het NEKP. Het Vlaams Klimaatbeleidsplan beoogt op strategisch niveau een stabiel langetermijnkader te scheppen door de vereiste inspanningen per sector in kaart te brengen en de voornaamste maatregelen te formuleren met als doelstelling tegen 2030 de emissies van broeikasgassen te reduceren met 35%, cf. de Europees opgelegde doelen voor België. Deze beleidsplannen houden hierbij o.a. rekening met de beleidsscenario's zoals uitgewerkt in de driejaarlijkse energievoorzichten van het Federaal Planbureau (*Federaal Planbureau 2017*). Deze tonen immers aan dat België in geval van een ongewijzigd beleid ver verwijderd is van de vooropgestelde Europese doelstellingen.

Rekening houdend met de federale structuur van België en de bevoegdheidsverdeling, werden meerdere structuren in het leven geroepen om het overleg en de samenwerking tussen de verschillende beleidsniveaus te bevorderen en samenhang te verzekeren in de werking van de federale staat en de gewesten. De drie gewesten en de federale regering werken op een permanente basis nauw samen rond het energie- en klimaatbeleid. Dit werk verloopt via diverse coördinatiefora, met name (1) het coördinatieplatform voor energiebeleid ENOVER/CONCERE, (2) het Coördinatiecomité Internationaal Milieubeleid (CCIM) en (3) de Nationale Klimaatcommissie (NKC) die het centraal coördinatieorgaan vormt voor het nationale klimaatbeleid en bestaat uit vertegenwoordigers van de vier betrokken entiteiten (*NEKP 2019*). Echter wordt het huidige Belgisch governance-kader in de context van de klimaatuitdaging door academische experts onaangepast bevonden om een antwoord te bieden op de klimaaturgentie en de noodzaak van een decarbonisatie van de economie (*Syntheserapport Belgisch 'Klimaat-Governance' 2018*).

Daarnaast werd in 2012 het Vlaams [Klimaatfonds](#) in het leven geroepen, hoofdzakelijk gefinancierd door opbrengsten uit de Europese veiling van emissierechten en met als doel een ambitieus langetermijnbeleid inzake klimaat te voeren over de beleidsdomeinen heen (welzijn, cultuur, onderwijs, etc.). De nationale opbrengsten uit de veiling van emissierechten worden jaarlijks gerapporteerd conform [Verordening \(EU\) nr. 525/2013](#) en vloeien voor een aanzienlijk deel (22% van het uitgekeerde/toegekende budget in 2018) terug naar de energie-intensieve industrie ter compensatie van de indirecte emissiekosten (i.e. doorrekening CO₂-kost in de elektriciteitsprijs cf. het Europees *Emission Trading System* (ETS)) ([NKC 2019](#)). Het ETS heeft als doel bedrijven te stimuleren om de uitstoot van broeikasgassen te reduceren. Echter, energie-intensieve afnemers verliezen via dit systeem aan concurrentiekracht ten opzichte van bedrijven in regio's met een minder ambitieus klimaatbeleid. Teneinde het wegtrekken van deze bedrijven naar minder gereguleerde regio's te voorkomen (i.e. *carbon leakage*) voorziet Vlaanderen in een financiële compensatie – binnen de krijtlijnen van de Europese staatssteunregels – van de indirecte CO₂-kosten (Nederland en Duitsland hanteren een gelijkaardig compensatieregeling) ([VLAIO 2019](#)). Verder zal Vlaanderen de komende 20 jaar 400 miljoen euro investeren via het '*moonshot*'-innovatieprogramma met als doel de Vlaamse industrie tegen 2050 CO₂-neutraal te maken.

Verder werd op Europees niveau een convenant in het leven geroepen dat als doel vooropstelt lokale besturen samen te brengen die zich vrijwillig engageren om de Europese klimaat- en energiedoelstellingen te behalen of zelfs te overtreffen. Dit initiatief, i.e. het [Burgemeesterconvenant](#), vormt een bottom-up aanpak van energie- en klimaatacties en werd reeds door 80% van de [Vlaamse steden en gemeenten](#) ondertekend en telt bijna 8.000 ondertekenaars binnen Europa.

5. Het nationaal marien (klimaat)beleid in het kort

Het Belgisch deel van de Noordzee (BNZ), alsook de activiteiten die er plaatsvinden (zie [Devriese et al. 2018](#) voor overzicht van de activiteiten en hun beleidscontext), betreffen in hoofdzaak een federale bevoegdheid. In tegenstelling tot hernieuwbare energie op land, wordt het beleid omtrent de offshore productie van elektriciteit uit water, stromen of winden en het transmissienet op zee dus op federaal niveau uitgewerkt door de federale minister bevoegd voor energie en de federale minister (of staatssecretaris) bevoegd voor de Noordzee ([FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie](#), meer informatie omtrent de bevoegdheidsverdeling: het [Nationaal actieplan België hernieuwbare energie 2010](#)). De offshore windenergiesector levert met zijn huidig (eind 2018) geïnstalleerde capaciteit van 1,1 GW ([Degraer et al. 2018](#)) reeds om en bij de 18% van de totale hernieuwbare energieproductie. Een verhoging van de offshore windcapaciteit tot 4 GW wordt voorzien tegen 2030 (i.e. 25% van de geraamde hernieuwbare energieproductie) en wordt beoogd via de verdere ontplooiing van de huidige concessiezones en een uitbreiding van de offshore concessiezones in het nieuw Marien Ruimtelijk Plan 2020-2026 (zie KB 22 mei 2019) ([NEKP 2019](#), [Heylen et al. 2018](#)). Verder is België eveneens partner bij de MoU van 3 december 2010 inzake het [North Seas Countries' Offshore Grid Initiative](#) dat voorziet in een gecoördineerde ontwikkeling van een offshore grid dat het efficiënt en economisch gebruik van de hernieuwbare bronnen maximaliseert (zie ook [Heylen et al. 2018](#)).

Vlaanderen beschikt evenwel over een aantal bevoegdheden die gerelateerd zijn aan de zee. In het kader van de klimaatthematiek dient hierbij de bescherming van de kust tegen overstromingen vanuit zee (Afdeling Kust, Mobiliteit en Openbare Werken) vermeld te worden. Hierbij voorziet Afdeling Kust sinds 2011 o.a. in de uitvoering van de maatregelen uit het [Masterplan Kustveiligheid](#) dat de kust dient te schermen tegen een 1.000-jarige stormvloed. Om de kustzone en het achterliggend gebied adequaat te kunnen beschermen tegen de veranderende klimaatomstandigheden, startte de Vlaamse Regering in december 2017 het Complex Project Kustvisie op (www.kustvisie.be, voor meer technisch-wetenschappelijk informatie zie [Rondelez en Pirlet 2018](#)). Met dit project zal de Vlaamse overheid nagaan welke maatregelen nodig zijn om de kustbescherming op peil te houden in functie van de stijgende zeespiegel. Daarbij worden verschillende types beschermingsmethodes onder de loep genomen (www.kustvisie.be).

Daarnaast zet het Vlaamse beleidsdomein Economie, Wetenschap en Innovatie specifiek in op marien onderzoek en blauwe innovatie ([VLIZ](#), [ILVO \(Visserij\)](#), de [Blauwe Cluster](#)). In het kader van haar clusterbeleid werd de Blauwe Cluster opgericht als een zogenaamde speerpuntcluster die inzet op bedrijfsgedreven innovatieprojecten. Zes thematische (kustbescherming en gebruik van minerale rijkdommen, hernieuwbare energie en zoetwaterproductie, maritieme verbinding, duurzame zeevoeding en mariene biotechnologie, blauw toerisme, oceaانvervuiling en afvaloplossingen) en twee transversale domeinen (ecosysteembenadering, smart sea concept) worden hierin prioritair naar voor geschoven.

6. Nood aan mariene kennis en data

Een grensoverschrijdende en multidisciplinaire aanpak is noodzakelijk teneinde betere wetenschappelijke inzichten te bekomen inzake de connectie tussen het klimaat en de oceaan (inclusief zijn ecosystemen), en de implicaties van een veranderende oceaan voor ons milieu en welzijn te voorspellen (zie o.a. [European Marine Board 2019](#)). Het begrijpen en het bevorderen van de rol van dit oceaan- en klimaatonderzoek vormt een fundamenteel instrument voor de onderbouwing van de maatschappelijke/politieke respons op de klimaatverandering. De internationale – inclusief Belgische – onderzoeksgemeenschap heeft dan ook een essentiële rol te spelen in het grote oceaan-klimaatvraagstuk en in het aanreiken van oplossingen.

Multidisciplinaire en -dimensionale simultane observaties van de globale oceaan vormen de sleutel tot het begrijpen van oceanografische processen. Het maken van betrouwbare toekomstprojecties (op diverse ruimtelijke en temporele schalen) van de geïntegreerde evolutie van mariene systemen en de complexe oceaan-atmosfeer (klimaat) interacties is dan ook een absolute hoofddoelstelling. Dit vereist een grote sprong in onze kennis van fysische, chemische en biologische mariene processen, alsook in hun onderlinge interacties. Hiertoe is de verzameling van gegevens en de ontwikkeling van geavanceerde modellen noodzakelijk (zie ook [Schulz et al. 2015](#)).

Hieronder wordt dieper ingegaan op de verschillende aspecten van het marien onderzoeksbedrijf die volgens [Schulz et al. \(2015\)](#) moeten versterkt worden om te komen tot een beter begrip van oceaan-klimaat interacties.

- **Blijf investeren in de mariene observatiecapaciteit**

Niettegenstaande de toegenomen capaciteit voor oceaanobservaties tijdens de voorbije decennia, is een blijvende investering in mariene observatie-infrastructuur (zowel in situ als remote observatie hardware en e-infrastructuren), gekoppeld aan nieuwe sensor- en platformtechnologieën (bv. mariene robotica), absoluut noodzakelijk. Dit teneinde een grotere ruimtelijke en temporele dekking te bekomen en meer essentiële parameters op te meten. Gezien de hieraan verbonden kosten, moet duplicatie ten allen tijde worden voorkomen en dienen algemene dataverzamelings- en dissimatiestandaarden te worden ontwikkeld teneinde de bruikbaarheid van de gegevens te maximaliseren (zie o.a. [EMODnet](#)). Een [lijst van essentiële oceaanvariabelen](#) werd opgesteld door de [GOOS-Expertenpanels](#) (*Global Ocean Observing System*) op basis van de criteria 'relevantie', 'haalbaarheid' en 'kosteneffectiviteit'. Op Europees niveau wordt het coördinatiekader voor de oceaanobservatiecapaciteit gevormd door het Europees oceaanobservatiesysteem [EOOS](#) (*European Ocean Observing System*). Aanbevelingen om Europa's biologische oceaanobservatiecapaciteit te versterken worden geformuleerd in [Benedetti-Cecchi et al. \(2018\)](#).

- **Begrip van de oceaandynamiek vereist observaties op lange termijn**

Gelinkt aan het bovenstaande punt, zijn langetermijnobservaties van de oceaan noodzakelijk om de rol ervan in het globale oceaanwarmte- en koolstofbudget (bv. [ICOS](#)) te begrijpen. Een beter begrip van de fysische en biologische (bv. [LifeWatch](#)) dynamiek van de oceaan is van vitaal belang om te kunnen beoordelen hoeveel en hoe snel de aarde zal opwarmen als gevolg van de toegenomen broeikasgasconcentraties en om de kwaliteit van de projecties voor de komende decennia te verbeteren.

- **Kennis van het verleden als basis voor toekomstprojecties**

Historische oceaanobservaties en natuurlijke archieven (o.a. sedimentkernen) zijn – in combinatie met de huidige hoogkwalitatieve observaties en geavanceerde analysemethoden – cruciaal om paleoceanografische processen en veranderingen te begrijpen. Deze voorzien in de randvoorwaarden en verificatie van modelleringssystemen gericht op toekomstgerichte oceaan- en klimaatprojecties. Veel van de historische gegevensreeksen vereisen echter data-archeologie (*data-rescue*) en herverwerking van de initiële data (zie o.a. www.lifewatch.be/en/marine-data-archeology).

- **Combineer geavanceerde modellen met observaties**

De heuristische en voorspellende biofysische, functionele en statistische modellen voorzien in cruciale beleidsvoorbereidende informatie in de vorm van scenario-specifieke gesimuleerde tijdsreeksen en kaartmateriaal (simulatie van de te verwachten effecten van bepaalde klimaatadaptatie en -mitigatiemaatregelen), en sturen systematisch dataverwerking aan in functie van validatie en precisie. De integratie van de hierboven geschetste uitgebreide gegevensreeksen in geavanceerde modellen die de klimaat-, oceaan- en humane systemen met elkaar connecteren, kan essentiële tools opleveren voor de planning en de maatschappelijke/politieke respons op de klimaatverandering. Het in kaart brengen van de huidige toestand is van cruciaal belang voor de ontwikkeling van toekomstscenario's. De best mogelijke inschatting van de huidige omstandigheden kan enkel worden bereikt door informatie uit

modelresultaten en oceaanobservaties te combineren. Dit vereist sterkere interacties tussen relevante onderzoeksgemeenschappen, projecten en infrastructuren.

- **Bouw de e-infrastructuur verder uit**

De verdere uitbouw van de e-infrastructuur en het faciliteren van de datatoegankelijkheid zijn essentieel om het gebruik van oceaanobservatiegegevens door de onderzoeksgemeenschap, het beleid en innovatie-actoren uit de Blauwe Economie te verhogen (cf. de [FAIR-principes](#)). Dergelijke infrastructuur (bv. [EMODnet](#)) dient ondersteuning te bieden in de uitwisseling, het beheer, de archivering en het openlijk beschikbaar stellen van gegevens voor onderzoek en downstream producten en diensten.

- **Investeer in internationale samenwerking**

Internationale samenwerkingsverbanden zijn essentieel voor de ontwikkeling en exploitatie van oceaanobservatiesystemen en de integratie daarvan in modelleeractiviteiten. Oceanografische processen houden immers geen rekening met de juridisch vastgelegde landsgrenzen en de bouw en exploitatie van observatie-infrastructuren overstijgt vaak de financiële mogelijkheden van de individuele lidstaten. Op Europees niveau heeft het Europees Strategisch Forum voor Onderzoeksinfrastructuur ([ESFRI](#)) als doel een strategisch beleid inzake onderzoeksinfrastructuren te ondersteunen en multilaterale initiatieven, die leiden tot een beter gebruik en ontwikkeling van onderzoeksinfrastructuren op EU en internationaal niveau, te faciliteren.

Naast de bovenvermelde uitdagingen, is het ook van essentieel belang om het effect van menselijke activiteiten op het milieu en het klimaat – deels ingegeven vanuit de optiek een antwoord te bieden op de klimaatproblematiek (bv. offshore hernieuwbare energie) – nauwgezet te monitoren. De huidige energietransitie binnen Europa richting hernieuwbare energiebronnen kent een toenemende focus op de zeeën en de oceaan. De offshore windenergie brengt echter ook milieuvraagstukken (en kosten) met zich mee zoals onderwatergeluid, habitatwijziging, e.a., die een zorgvuldige opvolging vereisen.

Grootschalige grensoverschrijdende observatie-initiatieven en -infrastructuren die voorzien in langetermijnobservaties vormen de basis tot een beter begrip van oceaanprocessen. De verdere uitbouw van de e-infrastructuur, cf. de FAIR-principes, dient o.a. te voorzien in de verdere voeding van geavanceerde modellen gericht op het genereren van realistische toekomstscenario's.

7. Belangrijke rol voor de Belgische/Vlaamse mariene onderzoeksgemeenschap

De verschuiving van bepaalde activiteiten van land naar zee, met als doel tegemoet te komen aan een aantal van de grote maatschappelijke uitdagingen (bv. energie, voedsel), stelt de mariene onderzoeks- en innovatiegemeenschap voor grote uitdagingen (zie ook [Devriese et al. 2018](#)). Het aanleveren van de nodige wetenschappelijke onderbouwing inzake de ontwikkeling van goede richtwaarden en efficiënte monitoringsstrategieën voor een gedegen geïntegreerd marien/maritiem beleid en beheer zijn hierin cruciaal (zie ook [Pirlet et al. 2018](#)). De klimaatverandering op zijn beurt duidt op de noodzaak voor een beter begrip van de oceaan-klimaat interacties en benadrukt het belang van fundamenteel wetenschappelijk onderzoek om de complexe samenhang van het mariene systeem te doorgronden. Deze kennis zal essentieel zijn om toekomstige beleidskeuzes en oplossingen te onderbouwen.

Ondanks het feit dat België slechts over een beperkt zeegebied beschikt, kent de onderzoeksgemeenschap reeds een lange traditie van marien onderzoek. In 2019 telde België niet minder dan 118 mariene onderzoeksgroepen (ruim 1.600 personen), gekenmerkt door een sterke diversiteit in expertise en ruimtelijke focus ([Verleye et al. 2019](#), [Mees et al. 2018](#)). De Belgische mariene onderzoeksgroepen (zie ook Annex 1, een matrix waarin de mariene onderzoeksgroepen gelinkt worden met hun klimaatgerelateerde expertise) onderscheiden zich door een sterke internationale focus ([Verleye et al. 2019](#)) en zitten verankerd in netwerken die tevens inhaken op de klimaatthematiek (Kaderrichtlijn Mariene Strategie, Kaderrichtlijn Water, Zwemwaterrichtlijn, OSPAR, ICES, LifeWatch, e.a.), waardoor tal van groepen direct bijdragen tot een beter wetenschappelijk begrip van de globale oceaan-klimaat interacties.

Deze kennisbijdrage gebeurt enerzijds vanuit een perspectief om inzichten te verwerven in de fundamentele oceaan-klimaat interacties (bv. de oceaan als klimaatregulator, feedback tussen mariene ecosystemen en de klimaatverandering, mariene ecologie, etc.), en dit zowel op globale schaal (ijs-oceaan-klimaat interactie, atmosfeer-oceaan interactie, etc.) als op het niveau van individuele organismen op het vlak van hun fysiologische, biochemische en moleculaire respons op veranderingen in het milieu (bv. klimaatverandering). De hoofdbrok van het onderzoek richt zich eerder op mariene biologische en ecologische studies, vaak gericht op specifieke soortengroepen of binnen een afgebakende ruimtelijke context, die elk bijdragen tot een beter begrip van de complexe werking van het mariene ecosysteem. Daarnaast wordt ook klimaat-gerelateerd onderzoek verricht op biogeochemische cycli, hydrodynamische processen, sedimentdynamiek, e.a. Een aantal groepen richt zich tevens op de studie van natuurlijke archieven (bv. sedimentkernen) teneinde paleoklimatologische en -oceanografische veranderingen beter te begrijpen.

Anderzijds worden wetenschappelijke studies uitgevoerd vanuit een adaptatie-, beschermings- of impactoptiek tegenover voorspelde oceanografische veranderingen (bv. oceaanverzuring of kustverdediging als antwoord op de zeespiegelstijging). Een aantal groepen bestuderen beschermingsmaatregelen tegen de structurele impact die de klimaatverandering, en in het bijzonder de zeespiegelstijging, met zich meebrengt. Dit vertaalt zich o.a. in de studie van kusterosie- en accumulatieprocessen, golfslagstudies en het uitwerken en ontwerpen van kustbeschermingsmaatregelen en *Nature Inspired Design*-oplossingen (o.a. [CREST-project](#) en het [Coastbusters-project](#)). Klimaatgedreven innovatie kent tevens een plaats binnen de Belgische mariene onderzoeksgemeenschap, waarbij (a) het onderzoek naar de ontzilting

van zeewater (membraantechnologie), (b) de versnelde verwerking van silicaten als een CO₂-sequestratietechniek in kustsystemen (<https://coastalesw.com>) en (c) de ontwikkeling en optimalisatie van thermochemische conversietechnologieën naar hernieuwbare brandstoffen, functionele materialen, chemicaliën en energie uit biomassa, relevante voorbeelden vormen.

Daarnaast richten nog een tiental mariene onderzoeksgroepen zich rechtstreeks of onrechtstreeks op de mitigatie van de uitstoot van broeikasgassen en dit hoofdzakelijk via hun expertise in offshore hernieuwbare energie. Ook binnen deze tak is de expertise divers en wordt onderzoek gedaan naar het optimaal controleren van de luchtturbulentie, de techno-economische aspecten van offshore windmolens, het gedrag van beton in agressieve milieus, structureel onderzoek naar offshore windmolens en golfenergieconvertoren (bv. mechanische gedragingen van materialen) en procesmonitoring.

Daarenboven vindt tevens projectmatige en structurele monitoring plaats. Deze activiteiten kennen een veelzijdige focus (eolisch zandtransport, zwerfvuil, microplastics, chemische vervuiling, vogels, biodiversiteit, primaire productie, vegetatie, habitat, windenergiesystemen, etc.) en vereisen dan ook de nodige gesofisticeerde onderzoeksinfrastructuur (zie ook [Dauwe et al. 2018](#)). Het multidisciplinair karakter van het onderzoek maakt dat er een ganse waaier bestaat aan mariene onderzoeksinfrastructuur: mobiele, onderwater-, autonome en vaste platformen, sensoren, remote sensing, gespecialiseerde laboratoria en analysecapaciteit, e-infrastructuur, collecties, etc. (zie ook [Pirlet et al. 2018](#)). Zo bestaan er in Vlaanderen/België reeds een aantal grote onderzoeksinfrastructuren die ten dienste staan van de onderzoeksgemeenschap en zo bijdragen tot het 'brede' klimaatverhaal, zoals [RV Belgica](#) (KBIN), [RV Simon Stevin](#) (Vloot, VLIZ), [VLIZ Marien Station Oostende](#) (inclusief [Marine Robotics Centre](#)), [STARESO](#) (ULG), [Flanders Maritime Laboratory](#), [Blue Accelerator](#) testplatform (POM West-Vlaanderen), ESFRI ([LifeWatch](#), [ICOS](#), [EMBRIC](#)), [OWI-lab](#) en [Bluebridge Ostend Science Park](#) (niet-exhaustieve oplijsting). De huidige klimaat- en oceaangerelateerde maatschappelijke uitdagingen vragen om een versterking en uitbouw van de huidige infrastructuur en een blijvende investering in de hiermee verbonden technische en wetenschappelijke expertise.

De Belgische/Vlaamse mariene onderzoeksgemeenschap kenmerkt zich door haar diverse expertise en is een gevestigde waarde in zowel fundamentele, adaptieve als mitigerende thema's die verband houden met de oceaan-klimaat-biodiversiteit nexus, en hebben dan ook een essentiële rol te vervullen in het beter begrijpen van de oceaan-klimaat dynamiek.

8. Referenties

Austen, M.C., Andersen, P., Armstrong, C., Döring, R., Hynes, S., Levrel, H., Oinonen, S., Ressurreição, A. (2019). Valuing Marine Ecosystems - Taking into account the value of ecosystem benefits in the Blue Economy, Coopman, J., Heymans, J.J., Kellett, P., Muñiz Piniella, A., French, V., Alexander, B. [Eds.] Future Science Brief 5 of the European Marine Board, Ostend, Belgium. 32pp. ISBN: 9789492043696 ISSN: 4920-43696 DOI: 10.5281/zenodo.260273

Benedetti-Cecchi, L., Crowe, T., Boehme, L., Boero, F., Christensen, A., Grémare, A., Hernandez, F., Kromkamp, J. C., Nogueira García, E., Petihakis, G., Robidart, J., Sousa Pinto, I. & Zingone, A. (2018). Strengthening Europe's Capability in Biological Ocean Observations. Muñiz Piniella, Á., Kellett, P., Larkin, K., Heymans, J. J. [Eds.] Future Science Brief 3 of the European Marine Board, Ostend, Belgium. 76 pp. ISBN: 9789492043559 ISSN: 2593-5232.

Bednaršek, N., Feely, R.A., Reum, J.C.P., Peterson, B., Menkel, J., Alin, S.R., Hales, B. (2014). Limacina helicina shell dissolution as an indicator of declining habitat suitability owing to ocean acidification in the California Current Ecosystem. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 281 (1785), <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0123>.

Bruge, A., Alvarez, P., Fontán, A., Cotano, U., Chust, G. (2016). Thermal Niche Tracking and Future Distribution of Atlantic Mackerel Spawning in Response to Ocean Warming. Frontiers in Marine Science, 3, 86.

Burrows, M.T. et al., (2014). Geographical limits to species-range shifts are suggested by climate velocity. Nature, 507(7493), 492–495.

Chust, G. (2014). Are Calanus spp. shifting poleward in the North Atlantic? A habitat modelling approach. ICES Journal of Marine Science, 71(2), 241–253.

Clark, P.U., Shakun, J.D., Marcott, S.A., Mix, A.C., Eby, M., Kulp, S., Levermann, A., Milne, G.A., Pfister, P.L., Santer, B.D., Schrag, D.P., Solomon, S., Stocker, T.F., Strauss, B.H., Weaver, A.J., Winkelmann, R., Archer, D., Bard, E., Goldner, A., Lambeck, K., Pierrehumbert, R.T., Plattner, G.-K. (2016). Consequences of twenty-first century policy for multi-millennial climate and sea-level change. Perspective article in Nature Climate Change 6: 360-369. DOI:10.1038/nclimate292.

D'Abramo, L.R., Slater, M.J. (2019). Climate change: Response and role of global aquaculture. Journal of the World Aquaculture Society, 50(4), 1-5.

Dauwe, S., Verleye, T., Pirlet, H., Mees, J. (2018). Catalogue Marine Research Infrastructure 2018. Flanders Marine Institute (VLIZ): Ostend, Belgium. ISBN 978-94-920436-3-4. 149 pp.

Debackere, K., Veugelers, R. (Ed.) (2017). Vlaams indicatorenboek 2017. Vlaams indicatorenboek: wetenschap, innovatie, technologie, 2017. Expertisecentrum O&O Monitoring: Brussel.

de Coninck, H., A. Revi, M. Babiker, P. Bertoldi, M. Buckeridge, A. Cartwright, W. Dong, J. Ford, S. Fuss, J.-C. Hourcade, D. Ley, R. Mechler, P. Newman, A. Revokatova, S. Schultz, L. Steg, and T. Sugiyama (2018). Strengthening and Implementing the Global Response, in: Masson-Delmotte, V. et al. 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. pp. 313-443.

DeConto, R.M., Pollard, D. (2016). Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature* 531: 591-597. DOI 10.1038/nature17145.

Devriese, L., Dauwe, S., Verleye, T., Pirlet, H., Mees, J. (Ed.) (2018). Kennisgids Gebruik Kust en Zee 2018 - Compendium voor Kust en Zee. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ): Oostende. ISBN 978-94-920436-1-0. 230 pp.

European Marine Board (2017). The ticking time bomb of climate change: why human actions in the next 10 years can profoundly influence the next 10,000. *Science Commentary* No. 2, February 2017. ISSN: 2565-6899

European Marine Board (2019). Navigating the Future V: marine science for a sustainable future. European Marine Board Position Paper, 24. European Marine Board: Ostend. ISBN 9789492043757. 92 pp.

Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., and Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281 (5374), 237-240. Hoegh-Guldberg, O., 1999: Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50(8), 839-866.

French, J.R., Burningham, H. (2013). Coasts and climate: insights from geomorphology. *Progress in Physical Geography*, 37, 550-561.

Garrabou, J. et al. (2009). Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: Effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology*, 15(5), 1090-1103.

Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*, 50(8), 839-866.

Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P.J., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C.D., Sale, P.F., Edwards, A.J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C.M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R.H., Dubi, A., Hatziolos, M.E. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science* 318 (5857), 1737-1742.

Hoegh-Guldberg, O. et al. 2015. Reviving the Ocean Economy: the case for action - 2015. WWF International, Gland, Switzerland., Geneva, 60 pp.

Hoegh-Guldberg, O., Bindi, M., Brown, S., Camilloni, I., Diedhiou, A., Djalante, R., Ebi, K.L., Engelbrecht, F., Guiot, J., Hijikata, Y., Mehrotra, S., Payne, A., Seneviratne, S.I., Thomas, A., Warren, R., Zhou, G. (2018). Impacts of 1.5°C of global warming on natural and human systems, in: Masson-Delmotte, V. et al. 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. pp. 189-311.

Hoegh-Guldberg, O., Caldeira, K., Chopin, T., Gaines, S.D., Haugan, P.M., Hemer, M., Howard, J.F., Konar, M., Krause-Jensen, D., Lindstad, E., Lovelock, C.E., Michelin, M., Nielsen, F.G., Northrop, E., Parker, R.W., Roy, J., Smith, T., Some, S., Tyedmers, P. (2019). The ocean as a solution to climate change: Five opportunities for action. High Level Panel for a Sustainable Ocean Economy (HLP): Washington. 111 pp.

Hughes, T.P. et al. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543(7645), 373–377.

IEA (2019), Offshore Wind Outlook 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>.

IPCC (2005). IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.

IPCC (2019). The ocean and cryosphere in a changing climate. IPCC Secretariat: Geneva. 42 pp.

Khatiwala, S., Primeau, F., Hall, T. (2009). Reconstruction of the history of anthropogenic CO₂ concentrations in the ocean. *Nature (Lond.)* 462(7271): 346-349.

Krumhansl, K. A., Okamoto, Daniel K., Rassweiler, Andrew, Novak, Mark, Bolton, John J., Cavanaugh, Kyle C., Connell, Sean D., Johnson, Craig R., Konar, Brenda, Ling, Scott D., Micheli, Fiorenza, Norderhaug, Kjell M., Pérez-Matus, Alejandro, Sousa-Pinto, Isabel, Reed, Daniel C., Salomon, Anne K., Shears, Nick T., Wernberg, Thomas, Anderson, Robert J., Barrett, Nevell S., Buschmann, Alejandro H., Carr, Mark H., Caselle, Jennifer E., Derrien-Courtet, Sandrine, Edgar, Graham J., Edwards, Matt, Estes, James A., Goodwin, Claire, Kenner, Michael C., Kushner, David J., Moy, Frithjof E., Nunn, Julia, Steneck, Robert S., Vásquez, Julio, Watson, Jane, Witman, Jon D., Byrnes, Jarrett E. K. (2016). Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113(48): 13785-13790.

Levin, L.A., Le Bris, N. (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, 350 (6262), 766-768.

Ligtvoet, A., Maier, F., Sijtsma, L., van den Broek, B., Doranova, A., Eaton, D., Guznajeva, T., Kals, J., Le Gallou, M., Poelman, M., Saes, L., Zhechkov, R. (2019). Blue Bioeconomy Forum: Roadmap for the blue bioeconomy. Publications Office of the European Union: Luxembourg. ISBN 978-92-9202-737-7. 63 pp.

European Marine Board (2017). The ticking time bomb of climate change: why human actions in the next 10 years can profoundly influence the next 10,000. *Science Commentary No. 2*, February 2017. ISSN: 2565-6899.

Marcos, M., Marzeion, B., Dangendorf, S., Slangen, A.B.A., Palanisamy, H., Fenoglio-Marc, L. (2016). Internal variability versus anthropogenic forcing on sea level and its components. *Surveys in Geophysics* 38 (1), DOI 10.1007/s10712-016-9373-3.

Maynard, J. et al. (2015). Projections of climate conditions that increase coral disease susceptibility and pathogen abundance and virulence. *Nature Climate Change*, 5(7), 688–694.

Mees, J., Verleye, T., Dauwe, S., Pirlet, H., Devriese, L., Lescrauwaet, A.-K., Janssen, C. (Ed.) (2018). *Expertisegids Marien Onderzoek 2018*. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ): Oostende. ISBN 978-94-920435-6-6. 164 pp.

Milner, S., Langer, G., Grelaud, M., Ziveri, P. (2016). Ocean warming modulates the effects of acidification on *Emiliania huxleyi* calcification and sinking. *Limnology and Oceanography* 61(4), 1322-1336.

Nationale Klimaatcommissie (NKC) (2019). 6de jaarlijks rapport over het gebruik van de opbrengst uit veilingen en projectkredieten in overeenstemming met artikel 17 van verordening (EU) nr. 525/2013 (Monitoring Mechanism Regulation). https://cdreionet.europa.eu/be/eu/mmr/art17_auctioning/envxrnvca/MMR_Article-17_auctioning__1.xml/manage_document

Ocean and Climate (2019). Policy Recommendations: A healthy ocean, a protected climate. 17 pp.

OECD (2016). The Ocean Economy in 2030, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264251724-en>.

Orr, J.C., Fabry, V.J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.-K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.-F., Yamanaka, Y., Yool, A. (2005). Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437, 681-686.

Pirlet, H., Mees, J., Dauwe, S., Janssen, C., Lescrauwaet, A.-K., Mertens, T., Verreert, G. (2018). *Indicatorrapport Marien Onderzoek en Innovatie 2018*. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ): Oostende. ISBN 978-94-920436-0-3. 47 pp.

Poloczanska, E.S. et al. (2016). Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans. *Frontiers in Marine Science*, 3, 62.

Rhein, M., Rintoul, S.R., Aoki, S., Campos, E., Chambers, D., Feely, R.A., Gulev, S., Johnson, G.C., Josey, S.A., Kostianoy, A., Mauritzen, C., Roemmich, D., Talley, L.D., Wang, F. (2013). Chapter 3 - Observations: Ocean. In: Stocker et al. (Eds), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 2013, pp. 255-316.

Rivetti, I., Fraschetti, S., Lionello, P., Zambianchi, E., Boero, F. (2014). Global warming and mass mortalities of benthic invertebrates in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE*, 9(12), e115655.

Rondelez, J., Pirlet, H. (2018). Beleidsinformerende nota: Synthese van het wetenschappelijk onderzoek in de context van Vlaamse Baaien – Met de Belgische Oostkust als focusgebied. VLIZ Beleidsinformerende nota's BIN 2018_001 versie 2.0. Oostende. 35 pp.

Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J.L., Wanninkhof, R., Wong, C.S., Wallace, D.W.R., Tilbrook, B., Millero, F.J., Peng, T.-H., Kozyr, A., Ono, T., Rios, A.F. (2004). The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science* 305 (5682), 367-371.

Schulz, M., Goose, H., Hofmann, E., Le Traon, P.Y., Lozier, S., Salihoglu, B., Sousa Pinto, I., Chu, N.-C. (2015). The Ocean-Climate Nexus: the critical role of ocean science in responding to climate change. (Eds.) Nan-Chin Chu and Niall McDonough. European Marine Board: Oostende. 4 pp.

Slangen, A.B.A., Church, J.A., Agosta, C., Fettweis, X., Marzeion, B., Richter, K. (2016). Anthropogenic forcing dominates global mean sea-level rise since 1970. *Nature Climate Change*. Published on-line as DOI 10.1038/nclimate2991.

Stocker, T.F. (2015). The silent services of the world ocean. *Science (Wash.)* 320(6262): 764-765.

Vergés, A. et al. (2014). The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1789), doi:10.1098/rspb.2014.0846.

Vergés, A. et al. (2016). Long-term empirical evidence of ocean warming leading to tropicalization of fish communities, increased herbivory, and loss of kelp. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(48), 13791-13796.

Verleye, T., Dauwe, S., Devriese, L., Lust, H., Bouchti, Z., Pirlet, H. (2019). Marien onderzoek in Vlaanderen en België: een inventaris van het onderzoekslandschap. VLIZ Beleidsinformerende Nota's, 2019_005. Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ): Oostende. ISBN 978-94-920-4382-5. 60 pp.

VLAIO (2019). <https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidi databank/compensatie-indirecte-emissiekosten> (geconsulteerd op 22 oktober 2019).

Waldbusser, G.G., Hales, B., Langdon, C.J., Haley, B.A., Schrader, P., Brunner, E.L., Gray, M.W., Miller, C.A., Gimenez, I. (2014). Saturation-state sensitivity of marine bivalve larvae to ocean acidification. *Nature Climate Change* 5, 273-280.

Wang, Q., Cao, R., Ning, X., You, L., Mu, C., Wang, C., Wei, L., Cong, M., Wu, H., Zhao, J. (2016). Effects of ocean acidification on immune responses of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Fish & Shellfish Immunology* 49, 24-33.

Wernberg, T. et al. (2012). An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot. *Nature Climate Change*, 3(1), 78-82.

WHO (2011). Safe drinking-water from desalination. WHO/HSE/WSH/11.03. 34 pp.

Zarco-Perello, S., Wernberg, T., Langlois, T.J., Vanderklift, M.A. (2017). Tropicalization strengthens consumer pressure on habitat-forming seaweeds. *Scientific Reports*, 7(1), 820, doi:10.1038/s41598-017-00991-2.

Zickfeld, K., Solomon, S., Gilford, D.M. (2017). Centuries of thermal sea-level rise due to anthropogenic emissions of short-lived greenhouse gases. *PNAS* January 24, 2017 114 (4) 657-662. doi.org/10.1073/pnas.1612066114.

Annex 1: Overzicht van de Belgische mariene onderzoeksgroepen die met hun onderzoek bijdragen tot verdere wetenschappelijke inzichten inzake de kennis van de oceaan en klimaat-oceaan interacties (biologisch, ecologisch, (bio)chemisch, sedimentologisch, e.a.), beschermingsmaatregelen, optimalisatie en monitoring van hernieuwbare energieproductiesystemen, nieuwe toepassingen en marien/maritiem recht. (BIO/ECOL: Biologie en ecologie, AARD: Aardwetenschappen, MODEL: modellering, (BIO)CHEM: chemie en biogeochemie).

INSTELLING	ONDERZOEKSGROEP	SYSTEEMKENNIS				BESCHERMING / ADAPTATIE	MITIGATIE / OFFSHORE ENERGIE	IMPACT- GEDREVEN INNOVATIE	RECHT
		BIO/ECOL	AARD	MODEL	(BIO)CHEM				
KU Leuven	Bioinformatics and (Eco-)system Biology lab - Raes lab	x							
KU Leuven	Department of Civil Engineering		x	x		x	x		
KU Leuven	Division of Applied Mechanics and Energy Conversion			x			x		
KU Leuven	Division of Geology		x						
KU Leuven	ESAT-ELECTA						x		
KU Leuven	Laboratory Aquatic Biology	x							
KU Leuven	Laboratory of Biodiversity and Evolutionary Genomics	x							
KU Leuven	ProCESS							x	
UA	Behavioural Ecology and Ecophysiology research group	x							
UA	Ecosystem Management (ECOBEE) research group	x				x	x	x	
UA	Research group Functional Morphology	x							
UA	Research group Systemic Physiological and Ecotoxicological Research	x							
UGent	Atomic and Mass Spectrometry research group				x				
UGent	BIOMATH	x		x				x	
UGent	Cartography and GIS - 3D Data Acquisition research group			x		x			
UGent	Center for Microbial Ecology and Technology	x							
UGent	Center for Mobility and Spatial Planning					x			
UGent	Coastal Engineering, Bridges and Roads unit			x		x			
UGent	Department of Materials, Textiles and Chemical Engineering						x		
UGent	Department Pathology, Bacteriology and Poultry Diseases	x							
UGent	Hydraulics laboratory					x			
UGent	Laboratory for Applied Geology and Hydrogeology		x	x					
UGent	Laboratory of Chemical Analysis						x		
UGent	Laboratory of Environmental Toxicology and Aquatic Ecology	x							
UGent	Laboratory of Microbiology	x							
UGent	Laboratory of Plant Ecology	x							
UGent	Laboratory of Protistology and Aquatic Ecology	x							
UGent	Magnel						x		
UGent	MARBIOL	x							
UGent	Maritime Institute								x
UGent	Nematology research unit	x							
UGent	Particle and Interfacial Technology group					x		x	
UGent	Phycology research group	x							
UGent	Renard Centre of Marine Geology		x						
UGent	Research group Environmental Organic Chemistry and Technology					x			
UGent	Research group Evolutionary Developmental Biology	x							
UGent	Research group Evolutionary Morphology of Vertebrates	x							
UGent	Research group Thermochemical Conversion of Biomass							x	
UGent	Research unit palaeontology and Palaeoenvironments		x						
UGent	Soete laboratory						x		
UGent	Terrestrial Ecology research group	x							

INSTELLING	ONDERZOEKSGROEP (vervolg)	SYSTEEMKENNIS				BESCHERMING / ADAPTATIE	MITIGATIE / OFFSHORE ENERGIE	IMPACT- GEDREVEN INNOVATIE	RECHT
		BIO/ECOL	AARD	MODEL	(BIO)CHEM				
Ugent	VIB-Ugent Center for Plant Systems Biology	x							
UH	Research group Zoology: Biodiversity and Toxicology	x							
VUB	Acoustics and Vibration research group						x		
VUB	Centre for International Law								
VUB	Department of Hydrology and Hydraulic Engineering			x					
VUB	Department Mechanics of Materials and Constructions				x			x	
VUB	Plant Biology and Nature Management laboratory	x							
VUB	Research group Analytical, Environmental and Geochemistry			x					
VUB	Research group Marine Biology	x			x				
VUB	Research group Physical Geography								
ILVO		x							
INBO		x							
VITO									
VUZ		x				x			
WatLab							x		
UCL	Applied Mechanics unit								
UCL	Georges Lemaître Center for Earth and Climate Research								
UCL	Institute of Life Sciences	x		x					
UCL	Marine Biology laboratory	x							
ULB	Biogeochemistry and Earth System Modelling Group				x		x		
ULB	Research group Marine Biology	x							
ULB	Laboratory of Ecology of Aquatic Systems	x							
ULB	Laboratory of Systems Ecology and Resource Management	x							
ULB	Glaciology unit		x				x		
ULB	Environmental Hydroacoustics lab	x							
ULB	G-Time						x		
ULG	Animal Ecology and Ecotoxicology laboratory	x							
ULG	GeoHydrodynamics and Environmental Research group				x				
ULG	Center of Protein Engineering	x							
ULG	Mathematical Modelling and Methods				x				
ULG	Department of Morphology and Pathology	x							
ULG	Functional and Evolutionary Morphology laboratory	x							
ULG	Chemical Oceanography unit						x		
ULG	Laboratory of Oceanology	x							
ULG	Sedimentary Petrology laboratory				x				
ULG	Laboratory of Animal Physiology	x							
UMons	Laboratory of Biology of Marine Organisms and Biomimetics	x							
UMons	Numerical Ecology of Aquatic Systems group					x			
UMons	Proteomic and Microbiology unit	x							
UNamur	Research unit in Environmental and Evolutionary Biology	x							
	RBINS - OD Earth and History of Life			x					
	RBINS - OD Nature	x			x				x
	RBINS - OD Taxonomy and Phylogeny	x							