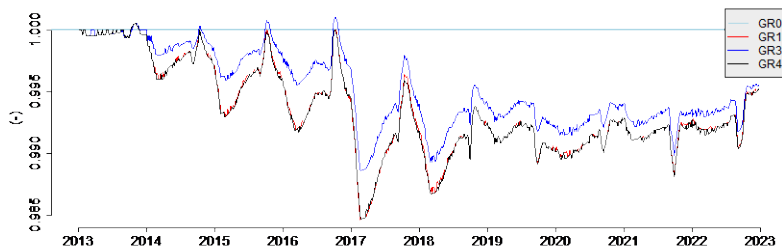


Inventarisatie van modellen van IMARES geschikt voor beantwoording beheervragen Rijkswaterstaat

C. Deerenberg, A.G. Brinkman, P. de Vries
Rapport C006/15



IMARES Wageningen UR

Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

Opdrachtgever:

Deltares
Postbus 177
2600 MH Delft

Publicatiedatum:

21 januari 2015

IMARES is:

- Missie Wageningen UR: *To explore the potential of marine nature to improve the quality of life.*
- IMARES is hét Nederlandse instituut voor toegepast marien ecologisch onderzoek met als doel kennis vergaren van en advies geven over beheer en duurzaam gebruik van zee- en kustgebieden.
- IMARES is onafhankelijk en wetenschappelijk toonaangevend.

Aanbevolen format ten behoeve van citaties: Deerenberg, C., Brinkman, A.G. & de Vries, P. (2015) Inventarisatie van modellen van IMARES geschikt voor beantwoording beheervragen Rijkswaterstaat IMARES Rapport C006/15.

Postbus 68	Postbus 77	Postbus 57	Postbus 167
1970 AB IJmuiden	4400 AB Yerseke	1780 AB Den Helder	1790 AD Den Burg Texel
Tel: +31 (0)317 48 09 00	Tel: +31 (0)317 48 09 00	Tel: +31 (0)317 48 09 00	Tel: +31 (0)317 48 09 00
Fax: +31 (0)317 48 73 26	Fax: +31 (0)317 48 73 59	Fax: +31 (0)223 63 06 87	Fax: +31 (0)317 48 73 62
E-Mail: IMARES@wur.nl	E-Mail: IMARES@wur.nl	E-Mail: IMARES@wur.nl	E-Mail: IMARES@wur.nl
www.IMARES.wur.nl	www.IMARES.wur.nl	www.IMARES.wur.nl	www.IMARES.wur.nl

© 2014 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT adres: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	7
2 Kennisvragen en rapportindeling.....	9
2.1 Vragen.....	9
2.2 Rapportstructuur.....	9
2.3 Rapportindeling.....	10
3 Modellen.....	11
3.1 Inleiding modellen.....	11
3.2 Individu-energiebehoefte en Dynamic Energy Budget (DEB-)modellen.....	11
3.3 Populatie – enkele soort.....	13
<i>Enkelvoudig ('scalar')</i>	13
<i>Leeftijd- stadium, of lengte gestructureerd</i>	13
<i>Individual-based (IBM)</i>	13
<i>'Dynamic-state variables'</i>	13
<i>Omgevingsfactoren</i>	14
3.4 Gemeenschap – eenvoudige predator-prooi-modellen.....	14
3.5 Complexe, grootte-gestructureerde predator-prooi-modellen.....	15
3.6 Complexe voedselweb modellen.....	16
3.7 Verspreiding – habitatgeschiktheid.....	17
3.8 Cumulatie – van effecten.....	18
3.9 Onderzoek-afbakeningsmodellen (fase I modellen).....	19
3.10 Samenvatting modellen.....	19
4 Toepassing modellen per watersysteem.....	23
4.1 Overzicht beschikbaarheid en/of staat van model per watersysteem.....	23
4.2 Noordzee.....	24
4.2.2 Cumulatie – ODEMM.....	25
4.3 Kust 26	
4.3.1 Habitatgeschiktheid van de Voordelta voor vis.....	26
4.3.2 Habitatgeschiktheid van de ondiepe kustzone voor de Grote stern.....	27
4.4 Delta 27	
4.4.1 Habitatgeschiktheid voor schelpdieren.....	27
4.5 Waddenzee, incl. Eems-Dollard.....	28
4.5.1 Cumulatie – CUMULEO-RAM.....	28
4.5.2 Ruimtelijk voedselweb-model (EcoWasp-WaddenzeeWest).....	29
4.6 IJsselmeer en Markermeer.....	31
4.6.1 Ruimtelijk complex voedselwebmodel (OSMOSE).....	31
4.6.2 Ruimtelijk voedselwebmodel (EcoWasp-IJsselmeer).....	32
4.7 Grote rivieren.....	32
5 Conclusies en aanbevelingen.....	34
5.1 Geschiktheid van IMARES-modellen voor beheervragen.....	34

5.2	Toepassing van IMARES-modellen voor beheersvragen tot nu toe	36
5.3	Geschiktheid IMARES-modellen voor (ontwikkeling,) beheer en onderhoud.....	36
5.3.1	Niet geschikt voor beheer en onderhoud.....	37
5.3.2	Nut voor beheer en onderhoud onzeker.....	37
5.3.3	Geschikt om in beheer en onderhoud te nemen: EcoWasp, en wellicht OSMOSE.	37
5.3.4	Inzetbaarheid.....	38
5.4	Aanbevelingen.....	38
	Referenties	39
	Kwaliteitsborging	43
	Verantwoording	45

Samenvatting

Rijkswaterstaat wil modellen en modeltoepassingen, die de komende jaren voor het beheer van Rijkswateren op het gebied van waterkwaliteit en ecologie nodig geacht worden, onder beheer en onderhoud brengen. IMARES heeft ecologische modellen die voor beheervragen van Rijkswaterstaat ingezet worden en/of ingezet kunnen worden. Dit rapport geeft een overzicht van de bij IMARES beschikbare modellen (methodieken en gebiedsmodellen) die ingezet kunnen worden voor modellering van waterkwaliteit (in brede zin) en ecologische processen ten behoeve van beheervragen van Rijkswaterstaat.

Het overgrote deel van de modellenactiviteit van IMARES laat zich samenvatten onder de titel "methodieken". Dat wil zeggen dat veel modelinzet gebaseerd is op het toepassen van modeltechnieken op voorliggende vraagstukken; de beschikbare software wordt al naar gelang de vraagstelling aangepast of zelfs helemaal opnieuw geschreven. Voor deze **modeltechnieken** maken we een onderscheid in:

- o verspreidings- of habitatgeschiktheidsmodellen (3.7),
- o modellen op het niveau van het individu, in het bijzonder Dynamic Energy Budget (DEB)-modellen en bio-energetische modellen (3.2),
- o populatiemodellen van een enkele soort, inclusief modellen voor evaluatie van managementstrategieën (3.3),
- o eenvoudige predator-prooimodellen (3.4),
- o modellen voor cumulatie van effecten van contaminanten op organismen (3.8),
- o modellen voor de afbakening van onderzoek(svragen), zgn. fase I-modellen (3.9).

Daarnaast heeft IMARES enkele vrij complexe modellen, die voor meerdere gebieden zijn uitgewerkt en die op verschillende situaties en voor verschillende vraagstellingen toepasbaar zijn. Voor deze **complexe modellen**, die naar ons idee zinvol zijn in beheer en onderhoud te nemen door Rijkswaterstaat, maken we een onderscheid in:

- o complexe, grootte-gestructureerde predator-prooimodellen (3.5)
- o complexe voedselweb- of ecosysteemmodellen (3.6).

We geven in Tabel 2 een overzicht van welke modeltechnieken en complexe modellen voor welke gebieden zijn uitgewerkt en/of toegepast. Om een beeld te schetsen van de variatie aan beschikbare modeltechnieken en complexe modellen zijn per watergebied een of twee modellen nader toegelicht met voorbeelden van resultaten. We onderscheiden daarbij toepassingen voor de Noordzee, kust, Delta, Waddenzee, IJsselmeer en Markermeer en de grote rivieren. Dit model-per-gebied-overzicht is niet uitputtend. We hebben vooral gekeken naar voor RWS (mogelijk) relevante modellen, maar ook we hebben eveneens modellen opgenomen waarvan wij denken dat het nuttig is dat RWS bekend is met het bestaan ervan.

De eindpunten van de modellen betreffen in alle gevallen juist ook de hogere trofische niveaus (benthos, vissen, vogels, zeezoogdieren) – of habitats. De resultaten van de modellen laten zien *op welke wijze, hoeveel en waar* (veranderingen in) omstandigheden doorwerken op de soorten of het systeem als geheel. Een andere route kan ook gevolgd worden, waarbij modellen juist ingezet worden om te onderzoeken welke beheersmaatregelen nodig zijn om een gewenst ecosysteemdooel te bereiken.

Voor alle modeltechnieken en complexe modellen geldt dat er geen vastgelegde procedures en afspraken zijn voor het (versie) beheer van de software, modelcodes en gegevensbestanden en voor het gebruik daarvan zijn. Alle informatie is wel op de server van IMARES beschikbaar.

Van de meeste **modellen** is een originele basis modelcode goed beschreven. Het is wel zinvol de onderliggende generieke methodiek en de bij de uitwerkingen gemaakte parameterisaties en gebruikte datasets goed te archiveren en beheren. Het is niet zinvol alle uitwerkingen voor een specifieke vraag

(soort, situatie, gebied) in onderhoud te nemen. De parameterinstellingen van de DEB-modellen en stage-based biomass-modellen zijn mogelijk wel zinvol voor beheer en onderhoud, omdat deze van belang kunnen zijn voor herhaalde, vergelijkbare toekomstige toepassingen.

De **complexe modellen EcoWasp** en **OSMOSE** zijn wel geschikt voor onderhoud en beheer. Wel is het zo dat de gebiedstoepassingen – behalve EcoWasp Waddenzee – nog verder uitwerking vereisen (nadere parameterisatie, kalibratie en koppelingen met aanleverende modellen).

1 Inleiding

Rijkswaterstaat wil modellen (modelcodes en modeltoepassingen; definities vgl. Deltares, 2013), die de komende jaren voor het beheer van Rijkswateren op het gebied van waterkwaliteit en ecologie nodig geacht worden, onder beheer en onderhoud brengen. In opdracht van Rijkswaterstaat voert Deltares het beheer, onderhoud en verdere ontwikkeling (BOO) van waterkwaliteitsmodelschematisaties uit, die voor het beantwoorden van beheervragen van Rijkswaterstaat belangrijk zijn. De term waterkwaliteit wordt hier breed opgevat: het gaat om modellen voor temperatuur, zout, slib, chemische waterkwaliteit en/of ecologie.

Voor BOO bij Deltares worden in een jaarlijkse cyclus vier stappen gezet:

1. De vraagarticulatie van Rijkswaterstaat: Welke beheervragen moeten de komende jaren beantwoord (kunnen) worden?
2. De inventarisatie van Deltares: Zijn de beschikbare modellen geschikt voor het beantwoorden van de beheervragen en zo niet, wat is nodig voor Beheer & Onderhoud en/of Ontwikkeling?
3. Rijkswaterstaat prioriteert de door Deltares geïnventariseerde activiteiten voor Beheer & Onderhoud en/of Ontwikkeling en geeft aan welke activiteiten dat jaar uitgevoerd moeten worden. Activiteiten die niet uitgevoerd worden, blijven op de inventarisatie staan voor inbreng en heroverweging in de volgende jaarcyclus.
4. Deltares voert de door Rijkswaterstaat geprioriteerde activiteiten voor Beheer & Onderhoud en/of Ontwikkeling uit.

[Bovenstaande tekst letterlijk overgenomen uit Deltares, 2013.]

IMARES heeft (ook) ecologische modellen die voor beheervragen van Rijkswaterstaat ingezet worden en/of ingezet kunnen worden. Rijkswaterstaat heeft in een overleg met IMARES en Deltares aangegeven te willen onderzoeken in hoeverre de modellen van IMARES in BOO opgenomen moeten en kunnen worden. Vervolgens heeft Rijkswaterstaat aan Deltares gevraagd om in het kader van het KPP B&O Waterkwaliteitsmodelschematisaties een projectonderdeel op te nemen waarin IMARES gevraagd wordt een overzicht te geven van de bij IMARES beschikbare software en gebiedsmodellen.

Dit rapport geeft het gevraagde overzicht van de bij IMARES beschikbare modellen (software of code en modeltoepassingen en/of gebiedsmodellen) die ingezet worden en/of ingezet kunnen worden voor modellering van waterkwaliteit (in brede zin) en ecologische processen ten behoeve van beheervragen van Rijkswaterstaat. Dit rapport is daarmee een eerste – globale – inventarisatie ten behoeve van bovenstaand onderdeel 2., maar dan voor IMARES. Het rapport zal input zijn voor overleg in 2015 met Rijkswaterstaat over het eventueel organiseren van B&O van IMARES modellen.

Parallel aan voorliggende studie is door Deltares in samenwerking met IMARES en NIOZ een studie uitgevoerd met als doel een methodiek te ontwikkelen om beheervragen in het kader van KRW-, KRM en/of Natura2000-doelen op een generieke wijze en door middel van een gestructureerde (model)aanpak te kunnen beantwoorden. Binnen de "beheervragen" kan onderscheid gemaakt worden naar feitelijke beheervragen, beleidsvragen en kennisvragen.

- Onder beheervragen vallen de vragen naar de effecten van directe maatregelen. Of andersom gesteld: wat moet er gedaan worden om een gesteld doel te bereiken?
- Beleidsvragen betreffen vragen gerelateerd aan algemene beleidsopdracht, zoals terugdringing nutriëntenconcentraties of instelling van beschermde gebieden. Ook wel beleidsondersteunende vragen genoemd.
- Kennisvragen zijn bedoeld om bij te dragen aan het begrip van gebieden, het ecosysteem of soorten

Uit voornoemde studie (Deltares, 2015) en uit het voorliggende rapport zijn enkele – voor de IMARES-modellen relevante – voorbeelden van concrete beheervragen, beleidsvragen en kennisvragen overgenomen.

Beheervragen

- i) Wat zijn de ecologische effecten van zandwinning op de Noordzee op Natura 2000-doelen en KRM-doelen voor Zeebodemintegriteit?
- i) Wat is het effect van een ander IJsselmeer-spuiregime op de KRW doelen en de Natura-2000 doelen in de Waddenzee?
- ii) Wat is het effect en effectiviteit van inrichtingsmaatregelen op de te verwachten effecten op ecologie/natuur van de Eems-Dollard?
- iii) Wat zijn de ecologische effecten – op opwerveling slib, primaire productie, secundaire producenten, vogels) van de verschillende inrichtingsvarianten voor het Markermeer?

Beleidsvragen

- iv) Het beleid is de nutriëntenlozing terug te dringen tot het niveau van 1950. Wat betekent dit voor de productiviteit van het IJsselmeer en de Waddenzee?
- v) Heeft het zin op de Noordzee beschermde gebieden in te stellen, en hoe groot zouden die moeten zijn? Dit met betrekking tot het voorkomen van bodemfauna en/of voortplantingsmogelijkheden van bepaalde vissoorten.
- vi) Wat is het effect geweest van het instellen van de scholbox voor het gestelde doel de aanwas en groei van jonge platvis veilig te stellen. Met als achterliggende vraag: Heeft het zin boomkorvisserij te weren uit de kustzone?

Kennisvragen

- vii) Wat is de voedselpreferentie van Toppereenden? En kunnen Toppereenden op de Waddenzee voldoende voedsel vinden?
- viii) Wat is het effect van het slib op het lichtklimaat en het bodemleven? Dit ten behoeve van doorvertaling naar effect op de biologie: primaire productie, secundaire productie, hogere dieren (o.a. Natura 2000-soorten).
- ix) In het kader van Natura 2000-doelen en KRW-doelen (o.a. vissoorten en bruinvis) wenst de beheerder de oorzaak voor de schijnbare voedselschaarste in de Oosterschelde te achterhalen, zodat doeltreffend maatregelen genomen kunnen worden.

Uit de voorbeelden blijkt dat beheervragen gerelateerd aan ecologische doelen zeer divers zijn. De meest voorkomende kaders zijn de Kaderrichtlijn Water (KRW), de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) en Natura 2000 en alle Rijkswateren worden bestreken. Meerdere, zo niet alle van de in dit rapport besproken modellen zijn geschikt om te gebruiken bij beheervragen in het kader van de KRW, KRM en Natura 2000 en andere gerelateerde beheervraagstukken waar Rijkswaterstaat zich voor gesteld ziet.

2 Kennisvragen en rapportindeling

2.1 Vragen

De vragen die aan IMARES gesteld zijn luiden:

- Geef een beknopt overzicht van de generieke codes of modelsoftware, die bij IMARES beschikbaar en/of al ingezet is voor de modellering van waterkwaliteit en ecologische processen.
- Geef een beknopt overzicht van de gebiedsmodellen die bij IMARES beschikbaar en/of al ingezet zijn voor de modellering van waterkwaliteit en ecologische processen die voor de beheervragen van Rijkswaterstaat relevant kunnen zijn.
- Vermeld op welke wijze het (versie)beheer en de (software)ontwikkeling geregeld is.

Aan de orde dient te komen:

- Wat is het doel van het model (type)?
- Voor wat voor vragen is het model geschikt?
- Wat zijn de mogelijkheden en de beperkingen?
- Is het geschikt voor BOO? Hoe is het model beschreven (gebruikte software, inputfiles, procesfiles/regels)?
- Hoe en waar is het model opgeslagen? Hoeveel en welke modelleers hebben voldoende kennis van en inzicht in het model om het te kunnen toepassen?
- Voor welk geografisch gebied is het model opgesteld?
- Is uitlevering aan derden mogelijk?

2.2 Rapportstructuur

Met Deltares is op voorhand de afspraak gemaakt om zoveel mogelijk de opzet en structuur van Hoofdstuk 4 van het rapport van Deltares (2013; Beheer en Onderhoud en Ontwikkeling Modelinstrumentarium Waterkwaliteit en Ecologie Rijkswateren) te volgen. Dat bleek niet helemaal goed mogelijk, omdat de meeste IMARES-modellen toch vrij wezenlijk verschillen van de modellen die in dat Deltares-rapport zijn beschreven.

Bij modellen is het zinvol onderscheid te maken tussen de modelsoftware of modelcode (de set wiskundige vergelijkingen die de ecologische werkelijkheid beschrijft en de modeltoepassing of gebiedsmodel (de rekenresultaten van de toepassing van de modelcode op een bepaalde situatie (een gebied of een casus; definities volgens Deltares, 2013). Binnen de mogelijkheden van de modelcode kunnen relaties tussen toestandsgrootheden worden gedefinieerd aan de hand van parameterkeuzes, en dat definieert dan de modeltoepassing of het gebiedsmodel. Daarmee kan één modelcode voor meerdere beheervragen worden ingezet, ofwel: meerdere modellen kunnen met hetzelfde programma worden geconstrueerd.

De meeste modelcodes die bij IMARES in gebruik zijn betreffen vooral relatief eenvoudige of kleinere modelcodes waarvan vóór het gebruik eerst onderzocht wordt of de code nog aanpassing behoeft voor de betreffende toepassing. De codes worden flexibel en ad hoc aangepast en uitgewerkt bij een specifieke vraag. Enkele modellen zijn meer omvangrijk en complex en hebben ze een min of meer vaststaande code en parameterisatie. Deze complexere modelcodes binnen IMARES kennen net als de Deltares-modellen in het B&O voor Rijkswaterstaat een vastgelegde, relatief statische basis. Het verschil tussen de relatief eenvoudige modellen en wat we 'complexe modellen' noemen is echter niet hard.

Dit rapport geeft vooral een overzicht van de modelcodes en modeltoepassingen of gebiedsmodellen zoals bij IMARES beschikbaar. De geschiktheid van de verschillende modelcodes voor beantwoording van beheervragen is indicatief behandeld. Dit beperkt zich tot enerzijds het noemen van de vraag waarvoor

het model oorspronkelijk is opgesteld of waarvoor het meestal wordt toegepast en anderzijds tot het noemen van enkele meer generieke voorbeelden van beheervragen.

Ook de geschiktheid voor opname in een programma van Beheer, Onderhoud en/of Ontwikkeling wordt indicatief besproken.

2.3 Rapportindeling

De indeling van voorliggend rapport is als volgt.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de verschillende bij IMARES beschikbare modelcodes.

Hoofdstuk 4 start met een overzicht welke onderscheiden modelcodes (H3) voor welke gebieden uitgewerkt en/of toegepast zijn; hierbij zijn onderscheiden: Noordzee, kust, delta, Waddenzee, incl. Eems-Dollard, IJsselmeer en Markermeer en de grote rivieren. Vervolgens wordt per gebied een of meerdere gebiedsmodellen of modeltoepassingen kort samengevat met een indicatie van het type resultaten. Dit overzicht is niet uitputtend, maar is erop gericht voorbeelden te laten zien van alle modelcodes en die te spreiden over alle gebieden.

Hoofdstuk 5 omvat conclusies over de geschiktheid van de verschillende modelcodes voor het beantwoorden van beheervragen. Het hoofdstuk sluit af met een aantal aanbevelingen voor een eventueel vervolg.

3 Modellen

3.1 Inleiding modellen

We hebben geworsteld met de vraag hoe onze modellen in te delen. Uiteindelijk hebben we de volgende indeling gemaakt op basis van het toepassingsniveau (van individu tot gemeenschap of ecosysteem) of type toepassing (zoals cumulatie of afbakening).

We onderscheiden: modellen op het niveau van het individu, in het bijzonder Dynamic Energy Budget (DEB)-modellen (3.2), populatiemodellen van een enkele soort (3.3), eenvoudige predator-prooimodellen (3.4), complexe, grootte-gestructureerde predator-prooimodellen (3.5), complexe ecosysteemmodellen (3.6), verspreidings- of habitatgeschiktheidsmodellen (3.7), modellen voor cumulatie van effecten (3.8) en modellen voor de afbakening van onderzoek(svragen), zgn. fase I-modellen (3.9).

Elke modelcode wordt kort beschreven evenals de doelen en het type vragen waarvoor de modelcode geschikt is, als ook de mogelijkheden en beperkingen van het modelcode. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een samenvattend overzicht in tabelvorm (Tabel 1, paragraaf 3.10).

3.2 Individu–energiebehoefte en Dynamic Energy Budget (DEB-)modellen

Wat Het DEB-model is een fysiologisch, kwantitatief model dat de groei, energie-dynamica en reproductie van individuele organismen beschrijft als functie van omgevingscondities zoals temperatuur en voedsel ('functionele respons'). DEB-modellen betreffen steeds een toepassing van de DEB-benadering (Kooijman, 1986) op een organisme. Hierbij wordt niet alleen rekening gehouden met het voedselaanbod, maar ook met de voedselkwaliteit. Een individueel organisme wordt beschreven door drie toestandsvariabelen: het structureel lichaamsvolume (V , m³), reserves (E , Joule) en reproductiebuffer (R , Joule).

Bio-energetische modellen zijn voedselmodellen voor één soort (tegelijk) en voor (min of meer) bekende omstandigheden wat betreft de voedselbeschikbaarheid.

Doel Het DEB-model fungeert vaak als een tussenstap naar een ecosysteemmodel. Voordat dat kan, moet het individuele DEB-groeimodel nog worden opgeschaald naar een model op populatieniveau (zie paragraaf 3.3) en interactie van de soort met zijn omgeving (ecosysteemmodel zie paragraaf 3.6)

De bio-energetische modellen onderzoeken de (dis)balans tussen energie-inkomsten en energie-uitgaven. Daarmee zijn de energetische mogelijkheden of beperkingen van de voedselsituatie voor een soort te bepalen.

Type vragen

Het bio-energetische model EIDER is ontwikkeld naar aanleiding van een concrete beheervraag van het toenmalige Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij: hoeveel eidereenden kunnen in de Waddenzee voldoende voedsel vinden, gegeven de aanwezige voedselvoorraad? Het model levert inzicht op hoeveel voedsel nodig is om duikeenden te laten overleven en hoeveel eenden zich kunnen voeden met het beschikbare voedsel. De vraag die met het model voor spiering te beantwoorden was: hoeveel en welk type voedsel is nodig voor (normale) groei van de vissen. Of andersom: welke groei kan met de beschikbaarheid van bepaalde typen en hoeveelheden voedsel gerealiseerd worden?.

Type resultaten DEB-modellen leveren beschrijvingen van seizoens- en ruimtelijke patronen in de groei van individuen van een soort.

Wat is de voedselbehoefte of voedselopname van de gemodelleerde soort, hoe zijn de foerageerpatronen van soorten gedurende een of enkele maanden of jaren en welke veranderingen in de voedselbeschikbaarheid, in de verspreiding of in de groei vinden plaats als gevolg menselijk handelen, zoals visserij, baggeren of zandsuppletie.

Welke IMARES modellen De eigen, specifieke inbreng betreft de afregeling van modelparameters op de betreffende soort. DEB-modellen zijn afgeregeld en toegepast voor de schelpdiersoorten kokkel en mossel (Troost e.a., 2010) en voor *Ensis* (Wijsman, 2011). Wijsman & Smaal (2011) geven een toepassing van een DEB-model voor kokkels in de Oosterschelde. Schellekens (2012) beschrijft de toepassing van een DEB-model voor *Ensis* in de kustzone om te schatten wat de populatie-effecten zijn van veranderde omgevingsomstandigheden na zandwinning.

Binnen IMARES worden tevens bio-energetische modellen ontwikkeld die uitgaan van de energetische behoefte van soorten.

Zo is het model EIDER ontwikkeld dat op basis van de energetische behoefte van duikeenden en de aanwezigheid van voedsel berekent of dit type vogels in hun voedselbehoefte kunnen voorzien. Het model is toegepast op eidereenden langs de West-Europese kust (Brinkman e.a., 2003; Ens e.a., 2004).

Tevens is een bio-energetisch model ontwikkeld voor de groei van jonge spiering op basis van de beschikbaarheid van voedsel (Van de Wolfshaar, pers. meded.).

Hoe De DEB-modellen worden opgesteld door middel van formulering en parameterisatie van de 'functionele respons', met gebruik van een uitgebreide set veldobservaties.

Bio-energetische modellen beschrijven de energiebalans van de gemodelleerde soort. Dit kan doorvertaald worden naar groei. De energetische kosten van de soort worden geïnventariseerd en geparameteriseerd, de energie-inkomsten zijn afhankelijk van het type, kwaliteit en beschikbaarheid van de prooien. Er kunnen meerdere typen foerageerstrategieën ingebouwd worden als ook verandering (i.c. depletie) van prooibeschikbaarheid door het foerageren.

Mogelijkheden en beperkingen

De bio-energetische modellen zijn specifiek voor een soort en hun voedsel. De onderliggende methodiek is wel toepasbaar op andere soorten, de specifieke uitwerking vraagt om aanvullende kennis over onder meer voedselpreferentie.

Voor nieuwe toepassingen van EIDER is van belang dat de computercode verouderd is, en omzetting naar een modernere taal vereist is (bijv. R).

Dynamisch (tijd)? Ja (beide).

Ruimtelijk? Ja, wanneer locatie-specifieke informatie als input wordt gebruikt (DEB). De huidige bio-energetische modellen zijn niet ruimtelijk ingevuld, maar dit kan eventueel wel, bij voorbeeld door verschillende voedselvoorraden op verschillende locaties in het model op te nemen.

Type software

EIDER is al een tijd geleden ontwikkeld en geschreven in Borland Pascal; voor nieuwe toepassing is omzetting naar bijv. R noodzakelijk. Op te merken valt dat EIDER in eerste instantie een programma is, dat met parameterkeuzes toegepast kan worden voor allerlei soorten duikeenden. Het bio-energetisch model voor spiering is geschreven in R.

Versiebeheer Voor de meeste toepassingen: geen vanwege het ad hoc karakter van de verschillende uitwerkingen. EIDER bestaat maar in één versie.

3.3 Populatie – enkele soort

Wat Ontwikkeling van de hoeveelheid van een soort in biomassa of aantallen, op basis van de kennis van de levensloop en populatiedynamica (voortplanting en sterfte). Veelal wordt hierbij gebruik gemaakt van de leeftijd-, levensfase- of lengtestructuur in de populatie.

Doel Schatting van de hoeveelheid van een soort die aanwezig is in een gebied; schatting van het effect van veranderingen in modelfactoren, bijvoorbeeld van omgevingsfactoren, van sterfte door de visserij en van achterliggende beheermaatregelen op de populatieomvang en populatiesamenstelling.

Type vragen De meeste van dit type modellen die door IMARES zijn ontwikkeld dragen bij aan antwoorden op vragen vanuit het visserijbeheer. Populatiemodellen van een enkele soort die bij IMARES in gebruik zijn schatten hoeveel vis aanwezig is in de zee en wat de populatiesterfte is – meestal door visserij. Binnen dit type modellen zijn er veel verschillen. Dit type modellen is echter ook geschikt voor andere beheervragen, zoals evaluatie van het effect van de scholbox door analyse van factoren die de aanwas van jonge schol beïnvloeden (Pastoors e.a., 2000) en de afleiding van een norm voor maximale sterfte van vis door waterkrachtcentrales (Deerenberg e.a. 2012).

Type resultaten Populatieomvang (biomassa, aantallen) en populatiesamenstelling.

Welke IMARES modellen IMARES heeft – al dan niet in ICES-verband – modellen ontwikkeld voor met name de commercieel belangrijke vissoorten op de Noordzee (o.a. Poos e.a. 2010), zoals schol (o.a. Rijnsdorp & Millner, 1996; Bogaards e.a. 2009), tong (Mollet e.a., 2013) en recent voor tarbot en griet (Van der Hammen e.a., 2013) en in de zoete Rijkswateren (aal: Bierman e.a. 2012, Van de Wolfshaar e.a. 2014; schubvis: Tien & Miller, 2013).

Hoe Formules voor groei, rijping, voortplanting en sterfte(factoren), opbouw van de populatie en formulering van transitie tussen de onderscheiden leeftijden, fasen en/of lengtes. De hoeveelheid vis en de sterfte worden geschat door de gegevens te koppelen aan een wiskundig model en te zoeken naar een “best fit”. De gegevens zijn afkomstig uit de visserij (vangsten) en uit visserij onafhankelijke bronnen (bestandsopnames met onderzoeksschepen). Er zijn meerdere benaderingen:

Enkelvoudig ('scalar')

Dit zijn de bekendste modellen, volgens het zgn. “Schaefer model” waarin aangenomen wordt dat een populatie logistisch groeit, en er geen rekening gehouden wordt met de lengte- of leeftijdsstructuur in de populatie. Een voorbeeld is het model voor zalm in de Maas (zie paragraaf 4.7.1). De populatieomvang wordt beschreven als één eenheid (aantal, biomassa) met een minimum aan demografische parameters en transitie ('vital rates'), bijvoorbeeld alleen geboorte en sterfte voor een beperkt aantal levensstadia.

Leeftijd- stadium, of lengte gestructureerd

De populatie wordt beschreven op basis van klassen van individuen met elk hun eigen demografische parameters en transitie. De meest gangbare zijn die naar stadium (voor vissen: ei, larve, juveniel, volwassen/zich voortplantend), op basis van lengte of op basis van de resultaten van *Dynamic Energy Budget (DEB)* modellering (zie paragraaf 3.2).

Individual-based (IBM)

De populatie wordt beschreven op basis van de karakteristieken en ontwikkeling van individuen. Dit type modellen kan strikt zijn, waarbij elk individu en de tijd en ruimte wordt gevolgd ('i-state configuration'), of meer algemeen, gebaseerd op gedrag van groepen van –vergelijkbare– individuen ('i-state distribution').

'Dynamic-state variables'

Dit type modellen (Clark & Mangel, 2000) gaat ervan uit dat het optimale visserijgedrag berekend kan worden onder de aanname dat elk individu (elke predator, elke visser in dit geval) op een rationele manier probeert de maximale opbrengst te realiseren. Het model geeft een

beschrijving van het effect van beperkende quota's op de ruimtelijk-temporele inspanningsverdeling en de 'discarding' van verkoopbare vis.

Omgevingsfactoren

De demografische parameters en transitieën kunnen gerelateerd worden aan omgevingsvariabelen, eventueel afkomstig uit een aanleverend model, zoals laag-trofische ecosysteemmodellen (bijvoorbeeld NPZD modellen (nutriënten (N), fytoplankton (P), zoöplankton (Z) en detritus (D)), zoals ERSEM (NIOZ) en DELWAO (Deltares).

Mogelijkheden en beperkingen Gaat vooral om onderzoek naar effecten op sterfte en voortplanting. Deze modellen worden bij IMARES (in het kader van ICES) vooral ontwikkeld voor visserijonderzoek en de effecten van visserijsterfte. De inzet van deze modellen is daar niet toe beperkt; zo is er een model opgesteld voor de zalm in de Maas om een kwantitatief beheerdoel vast te stellen en te onderbouwen.

Dynamisch (tijd)? Ja.

Ruimtelijk? Mogelijk.

Type software Divers (verschilt per toepassing); vaak is R gebruikt als modelleringsomgeving.

Versiebeheer Op dit moment: geen.

3.4 Gemeenschap – eenvoudige predator-prooi-modellen

Wat De modellen beschrijven de ecologische interactie tussen predator(soorten) en prooi(soorten). De predator kan ook de visserij zijn, via onttrekking van soorten. De modellen hebben een 'stadium gestructureerde' weergave (De Roos et al. 2008) van een voedselweb van predator, prooi en hun belangrijkste voedselbronnen.

Doel Bestudeert hoe en in welke mate voedselweb-interacties tussen predator en prooi bijdragen aan waargenomen patronen in aantallen en/of biomassa van de onderzochte soorten, inclusief trofische cascades.

Type vragen Dit type modellen is vooral geschikt voor het beantwoorden van kennisvragen. Een voorbeeld is de vraag of bodemberoerende visserij de voedselbeschikbaarheid voor en groei van vis positief of negatief beïnvloedt. Van Denderen e.a. (2013) laten zien dat wanneer de prooi-soorten ongevoelig zijn voor de bodemverstoring én het systeem 'bottom-up' gestuurd wordt, het antwoord op die vraag positief is, terwijl het antwoord negatief is bij de omgekeerde situatie. Een ander voorbeeld is de analyse van hoe de kwaliteit van het habitat van jonge en van volwassen vis bepaalt welke levensfase cruciaal is voor de populatieomvang en voor de reactie op exploitatie door de visserij (Van de Wolfshaar e.a. 2011). Ook zijn dit type modellen geschikt voor evaluatie van beheermaatregelen, zoals bijv. de scholbox (Beare e.a. 2010). In het algemeen onderzoeken deze modellen de mogelijke interacties tussen soorten en binnen soorten en onder welke omstandigheden het uitsterven van soorten ontwikkelkansen genereert voor andere soorten of alternatieve evenwichten ontstaan.

Type resultaten De ontwikkeling van de biomassa voor de verschillende stadia van de verschillende soorten van het model in de tijd.

Welke IMARES modellen IMARES heeft een veelheid aan predator-prooi-modellen die gebruikt worden voor onderzoek aan vis en visbestanden en hun prooi-soorten, inclusief benthos. Er zijn uitgewerkte modellen voor schol, tong, haring en kabeljauw en voor benthische vispopulaties en er zijn theoretische modellen. Er zijn ook predator-prooi-modellen voor vogels, maar die zijn niet geheel up-to-date.

Hoe Beschrijving van de individuele energetica, sterfte, lichaamsgrootte-verhoudingen, dynamiek van het voedselaanbod en predator-prooi-interacties (naar Van Leeuwen et al. 2008). Het modelraamwerk vereist de aanname dat volwassen individuen (hier meestal: vissen) hun asymptotische maat hebben bereikt en niet verder groeien.

Mogelijkheden en beperkingen Van relatief simpele modellen tot meer complexe modellen, maar bijna altijd bedoeld om het effect van enkele complexe interacties (die vaak niet-lineair zijn) te onderzoeken.

Dynamisch (tijd)?	Ja.
Ruimtelijk?	Nee.
Type software	De IMARES toepassingen en uitwerkingen van dit modeltype zijn vrijwel allemaal geschreven in R.
Versiebeheer	Geen, vanwege het ad hoc karakter van de verschillende uitwerkingen.

3.5 Complexe, grootte-gestructureerde predator-prooi-modellen

Wat	Het model simuleert scholen vis die zich door een watervolume bewegen en zich in de tijd ontwikkelen. De interacties tussen scholen (predatie, competitie) worden hoofdzakelijk bepaald door de grootte van de individuen in de scholen, meer nog dan door de soorten waaraan ze toebehoren. Het voedselweb ('wie eet wie') is niet vooraf vastgelegd, maar ontstaat uit de dynamiek van het systeem.
Doel	Scenariostudies naar de effecten van allerlei veranderingen of ingrepen, zoals visserij (bijvoorbeeld intensiteit, maaswijdte, gesloten gebieden) of nutriëntentoevoer.
Type vragen	Onderzoek naar mogelijke effecten van stuurfactoren, zoals klimaat, visserij, gesloten gebieden, predator-prooi-relaties, bentisch-pelagische koppeling.
Type resultaten	OSMOSE levert veranderingen in de biomassa en dynamiek van de gemodelleerde soorten en hun interacties. De directe uitvoer bestaat uit basisgegevens per soort, grootte-gebaseerde gegevens, vangstgegevens, dieetgegevens en trofie-niveaus. Deze standaard uitvoer kan naar wens worden verwerkt om bijvoorbeeld tot additionele Kaderrichtlijn Water of Kaderrichtlijn Marien indicatoren te komen, zo als 'proportie grote vis', 'maximale lengte', 'hellingshoek grootte-spectrum' of 'Shannon index'.
Welke IMARES modellen	OSMOSE is ontwikkeld door Shin & Cury (2001). Een overzicht, beschrijving en handleiding van OSMOSE zijn te vinden op de website van het EU-project MEECE (http://www.meece.eu/library/osmose.html). OSMOSE is binnen IMARES in gebruik en toegepast voor de Noordzee en nog in de parameterisatiefase voor het IJsselmeer. Het model is voor deze toepassingen technisch nog onvoltooid (o.a. nog kalibratie en validatie nodig).
Hoe	Parameterisatie van de biologische processen van alle in het model opgenomen (vis)soorten of soortgroepen zoals dieetkeuze, groei en voortplanting en leeftijd- of grootte-afhankelijke verspreiding van de te modelleren soorten in de ruimte. Voedsel (anders dan vis) wordt ruimtelijk expliciet meegegeven, statisch of dynamisch.
Mogelijkheden en beperkingen	Met het model kan scenario-onderzoek worden gedaan, waarbij in eerste instantie <i>relatieve</i> verschillen aan het licht komen, meer dan absolute waarden.. Met dit model kunnen dus geen absolute bestandsschattingen worden gedaan; bestandsschattingen zijn apart nodig op het model te kalibreren. Wel kan een bandbreedte onderzocht worden en de mogelijke gevolgen daarvan. De resultaten geven een indicatie welk scenario beter aansluit bij te halen doelstellingen, en daarmee is OSMOSE een waardevolle ondersteunende techniek. Het betreft een complex model dat door de niet-lineaire interacties tussen individuen verrassende resultaten kan leveren. Het huidige Noordzeemodel is opgezet voor 12 vissoorten, het IJsselmeermodel voor zes vissoorten. Temperatuur-afhankelijke fysiologie is een van de mogelijkheden.

Dynamisch (tijd)?	Ja.
Ruimtelijk?	Ja, wanneer locatie-specifieke informatie als input wordt gebruikt.
Type software	Het model is door IMARES geschreven in Java. Er is een aansturing geprogrammeerd met behulp van R-scripts.
Versiebeheer	Nog niet relevant geweest.

3.6 Complexe voedselweb modellen

- Wat** Complexe voedselweb modellen zijn modellen die de biomassa-productie en -consumptie berekenen voor zelf te definiëren ecosysteemcomponenten. Met deze massabalansen wordt de omvang van productie en consumptie berekend op basis van beschikbaarheid van ofwel energie of nutriënten, eventueel verdeeld over meerdere compartimenten (fysisch, biologisch; bodem, water, lucht).
- Doel** Scenariostudies naar de effecten van allerlei veranderingen of ingrepen, zoals visserij (visserij-intensiteit, maaswijdte, gesloten gebieden), nutriëntentoevoer, vertroebeling van de waterkolom en stromingsregimes.
- Type vragen** Beheervragen waar effecten van licht, nutriënten, draagkracht aan de orde zijn.
- Type resultaten** Veranderingen in de biomassa en dynamiek van de gemodelleerde soorten, maar bijvoorbeeld ook het effect op doorzicht kan getoetst worden. Zoals gewoon bij ecosysteemmodellen zijn de rekenresultaten zeer uitgebreid, van bodem-waterfluxen van opgeloste stoffen, organische stofgehalten in de bodem, benthische en pelagische primaire en secundaire productie, toe- en afvoer van opgeloste en vaste componenten, en meer.
- Welke IMARES modellen** Binnen IMARES is EcoWasp ontwikkeld en in gebruik. EcoWasp simuleert het gedrag van nutriënten, primaire en secundaire producenten plus mineralisatie in een niet-stratificerend systeem. Het is een boxmodel: het te simuleren gebied wordt in een te kiezen aantal deelgebieden opgedeeld; door stroming en dispersie bestaat daartussen een zekere mate van uitwisseling. EcoWasp kent een gedetailleerd bodemcompartiment, en effecten van gedeeltelijk droogvallen zijn geïmplementeerd. EcoWasp is gebaseerd op massabalansen van alle componenten. Het model kan op meerdere watertypen worden toegepast. De code is dermate generiek dat hogere trofische niveaus relatief eenvoudig kunnen worden gedefinieerd.
- Hoe** Parameterisatie van de fysische en biologische processen van alle soorten en/of functionele groepen zoals groei- respiratie-, sterfte- en excretiesnelheden, formuleringen voor de opname van verschillende nutriënten door fytoplankton, predatiekarakteristieken voor diverse faunagroepen, beschrijving van de fysische omgeving (watertemperatuur, bodemsamenstelling, lichtindringing in de waterkolom), waarbij bij voorkeur ook grootte en aantallen van organismen worden onderscheiden. Predatie is eveneens grootte-gerelateerd.
- Mogelijkheden en beperkingen** EcoWasp heeft een brede toepassing in die zin dat er meerdere typen vragen mee kunnen beantwoord. Hét grote voordeel is dat het model op massabalansen is gebaseerd en vanaf de bodem (=nutriënten) begint. Dit betekent, dat er niet meer biomassa geproduceerd kan worden dan de aanwezige bronnen toelaten. Een nadeel van het model is, dat de toepassing veel kennis vraagt van het model zelf, en veel inzicht vraagt in de processen die spelen. De benodigde hoeveelheid gegevens is vaak vrij groot. Daar staat tegenover, dat het model een veelheid aan gegevens oplevert.
- Dynamisch (tijd)?** Ja. Het model wordt typisch toegepast voor langjarige berekeningen (tientallen jaren), maar ook zeer kortdurende simulaties kunnen aan de orde zijn (typisch in geval van sommige scenariostudies).
- Ruimtelijk?** Ja. Het model kan ook niet-ruimtelijk worden toegepast.
- Type software** Het model is geschreven in C, en draait onder Linux. Er is een aansturing geprogrammeerd met behulp van R-scripts.
- Versiebeheer** Verschillende versies worden onderscheiden (zodat simulaties met oudere versies herhaald kunnen worden), maar er is nog geen gestructureerd versiebeheer.

3.7 Verspreiding – habitatgeschiktheid

- Wat** Habitatgeschiktheidsmodellen correleren fysische, chemisch en/of biologische omgevingskarakteristieken met de aanwezigheid (verspreiding) van een voor het model specifieke soort. De modellen geven daarmee een inzicht in de habitatgeschiktheid voor die soort.
- Doel** Habitatgeschiktheidsmodellen worden veelvuldig gebruikt om de impact van inrichtingsmaatregelen op soorten te kunnen schatten.
- Type vragen** Ten eerste zijn habitatmodellen geschikt voor het beantwoorden van beheervragen, waarbij bescherming van soorten of habitats het doel is, of bijvoorbeeld in relatie tot gebiedsinrichting met betrekking tot de vraag waar natuurontwikkeling het meest kansrijk is. Typische vragen zijn: “Welk gebied is het meest geschikt voor..”, “Onder welke (a-)biotische omstandigheden komt een soort (groep) voor” en “Hoe veranderen de kansen op voorkomen bij ingrijpen of veranderingen in de (a-)biotische omstandigheden voor die soort, bijvoorbeeld een verandering in de mate van beschikbaar habitat.” Ten tweede is dit soort analyses bij uitstek geschikt als aanzet tot verder onderzoek (kennisvragen). De methode is in dat kader ook toegepast bij de inschatting van slibverandering op bodemdieren (Brinkman et al., 2001) en bij de effecten van bodemdaling op foerageermogelijkheden van wadvogels (Brinkman & Ens, 1998).
- Type resultaten** De kans op voorkomen van een soort kan berekend worden, maar er kunnen ook meer kwantitatieve uitkomsten gegeven worden, zoals dichtheidsklassen of voorspelde biomassa/aantallen.
- Welke modellen** IMARES heeft een veelheid aan habitatgeschiktheidsmodellen ontwikkeld, die allemaal zijn opgezet voor specifieke soorten en vragen. Er zijn o.a. habitatmodellen voor benthossoorten zoals de mossel, de kokkel, het nonnetje, de halfgeknotte strandschelp en Amerikaanse zwaardschede. Er zijn habitatmodellen voor vis (o.a. tong, schol, haring, tarbot) en enkele voor vogels (scholekster, grote stern, zwarte zee-eend) en zeezoogdieren (zeehonden en bruinvis). Toepassingsgebieden variëren en bestaan voornamelijk uit de (ondiepe) kustzone, de Waddenzee en de Voordelta, enkele modellen zijn opgesteld voor de Ooster- en Westerschelde. We noemen hier een selectie: het voorkomen van halfgeknotte strandschelp (*Spisula*) in de kustzone (Craeymeersch, 2001) en van allerlei benthossoorten op het Nederlands continentaal plat (Brinkman & Hermes, 2003) en habitatgeschiktheid van de kustzone voor habitattypen, benthos, vissen, vogels en zeezoogdieren (Van de Wolfshaar et al. 2012) en specifiek voor schol en tong (Teal e.a., 2013).
- Hoe** Statistische analyse van datasets, bijv. MWTL-data of surveygegevens. Veel gebruikte methodes zijn Generalized Linear Models (GLM) en Generalized Additive Models (GAM). Meer recentere ontwikkelde modellen zijn Negative Binomial models (NB), Zero Inflated Negative Binomial models (ZINB) (Zuur et al. 2009), Boosted Regression and Classification Trees (BRT), Quantiel Regressie en Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). In GLM, GAM, NB, ZINB en MARS worden alleen variabelen die significant bijdrage aan het verklaren van de variatie in voorkomen meegenomen in de uiteindelijke modelformule.
- Mogelijkheden en beperkingen** De belangrijkste mogelijkheden zijn gerelateerd aan ruimtelijke planningsvraagstukken, zoals identificatie van gebieden die potentieel waardevol zijn. Als de juiste gegevens beschikbaar zijn, is het relatief eenvoudig om nieuwe kaarten voor andere soorten op dezelfde of andere locaties te maken. De belangrijkste beperking is dat er vaak uitgebreide gegevenssets nodig zijn voor de omgevingsvariabelen én voor de te onderzoeken doelsoort. Om een voorbeeld te geven: voor een habitatgeschiktheidskaart voor mosselbanken in een gebied als de Waddenzee zijn naast data over het voorkomen van mosselen ook data nodig voor onder andere droogvalduur, bodemsamenstelling, stroomsnelheden, golfwerking.

Een tweede mogelijkheid grijpt terug op het tweede type vragen: door vergelijking van het analyseresultaat met veldgegevens kan duidelijk worden welke gegevens nog nodig zijn. Dat levert gericht aanzet tot nieuw onderzoek.

Dynamisch (tijd)? Nee.

Ruimtelijk? Ja.

Type software Momenteel wordt voornamelijk gebruik gemaakt van R-softwarepakketten (R Core team, 2014); bijvoorbeeld het habitatgeschiktheidsmodel voor de verschillende groepen en soorten zoals uitgewerkt door Van de Wolfshaar e.a. (2012) is geprogrammeerd in R met behulp van de bestaand ruimtelijke ('spatial') en grid ('raster') pakketten.

3.8 Cumulatie – van effecten

Wat Cumulatiemodellen maken een inschatting van een risico, impact of effect op een soort of het ecosysteem als gevolg van een opeenstapeling van drukfactoren welke voortvloeien uit één of meerdere (menselijke) activiteiten.

Doel Cumulatiemodellen geven een indicatie van effect als gevolg van meerdere activiteiten of drukfactoren. Dit maakt deze modellen geschikt om maatregelen te prioriteren op basis van gevoeligheid van soorten en de bijdrage van verschillende activiteiten.

Type vragen Welke activiteit heeft de grootste bijdrage aan een risico?; Welke drukfactor heeft de grootste bijdrage aan een impact?; welke ecosysteemcomponent ondervindt de grootste hinder van een drukfactor of activiteit?

Type resultaten Bij een scoringssystematiek (zoals ODEMM) kunnen de scores van individuele oorzaak-effect-ketens worden geaggregeerd per activiteit, drukfactor en/of ecosysteemcomponent. Hieruit kan een bijdrage van verschillende aspecten aan deze geaggregeerde scores worden ingeschat. Het CUMULEO-RAM model is in staat de drukfactoren geschaald naar potentiële populatie effecten weer te geven op een ruimtelijke kaart.

Welke IMARES modellen Hoewel er diverse raamwerken zijn, is er slechts een beperkt aantal modellen uitgewerkt. Twee van deze modellen zijn het CUMULEO-RAM model en het ODEMM model (Options for Delivering Ecosystem-based Marine Management; zie verder de website van ODEMM, <http://www.liv.ac.uk/odemmm/>). De eerste is ontwikkeld als graadmeter voor indicatorsoorten in de Noordzee in opdracht van RIKZ. Het ODEMM model is ontwikkeld in het kader van een 7^e kaderprogramma van de EU met als doel: " het leveren (en evalueren) van opties in ecosysteem-gebaseerd mariene beheer".

Hoe De meeste cumulatieve modellen werken met eenvoudige rekenregels, of hanteren een (semi-kwantitatief) scoringssysteem (zoals ODEMM), waarbij de individuele oorzaak-effect-ketens worden gescoord op aspecten zoals de intensiteit en persistentie van een drukfactor en de gevoeligheid van een ecosysteem component. Het CUMULEO-RAM model schaaft drukfactoren (zoals visuele verstoring, vertroebeling en verontreiniging) naar potentiële effecten op populatiegroei van indicatorsoorten. Een populatie wordt daarbij zeer sterk vereenvoudigd gemodelleerd, wat deze aanpak geschikt maakt voor een generieke aanpak voor diverse soorten, maar tevens beperkingen inhoudt. Hoewel cumulatiemodellen gebruikt kunnen worden als uitgangspunt, maken de vele (onvoorziene) interacties en onzekerheden bij cumulatieve effectbeoordeling dit niet de meest voor de hand liggende keuze.

Mogelijkheden en beperkingen Cumulatiemodellen cumuleren effecten op een vereenvoudigde wijze en geven daarmee een indicatie van cumulatieve effecten. Complexe processen (bijv. interactie tussen ecosysteemcomponenten) worden in deze modellen doorgaans buiten beschouwing gelaten. De modellen zijn derhalve vooral geschikt voor het prioriteren van bijdragen aan maar niet voor het berekenen van exacte effecten.

Dynamisch (tijd)? Nee (maar in principe wel mogelijk).

Ruimtelijk? Ja.

Type software Het CUMULEO-RAM model is recent door de goede documentatie vertaald naar een R-script. Het ODEMM model bestaat voornamelijk uit een grote tabel (in MS Excel) met

scoringswaarden voor elke oorzaak-effect-ketens, zoals deze door experts zijn toegekend.

Analyses en interpretaties worden uitgevoerd door middel van R-scripts.

De rekenregels en parametersets liggen wel vast in rapportages (De Vries et al., 2011, 2012 ; Jak et al, 2000; Karman et al., 2001; Karman & Schobben, 1995; Schobben et al, 1996)

Versiebeheer CUMULEO-RAM: nee. ODEMM: nee.

3.9 Onderzoek-afbakeningsmodellen (fase I modellen)

Wat Dit is een instrument dat toegepast wordt in de afbakeningsfase van een (cumulatief) effectbeoordelingsproject. Het dient om de scope (reikwijdte) en afbakening van het project zo scherp mogelijk te maken.

Doel Expliciet maken van en assisteren bij het maken van keuzes in de afbakeningsfase van een effect beoordelingsproject.

Type vragen Met welke aspecten moet ik wel of niet rekening houden bij een effect-beoordeling?

Type resultaten Het instrument geeft een overzicht van gemaakte keuzes (eventueel met onderbouwing) bij de afbakening en maakt deze daarmee expliciet.

Welke IMARES modellen De Scoping Tool is een instrument dat kan worden ingezet in de afbakeningsfase (fase I) van effectbeoordelingsprojecten. Het prototype is werkbaar en dient nog verder uitgewerkt te worden.

Hoe Het instrument laat de gebruiker een vragenlijst doorlopen en maakt daarbij gebruik van onderliggende tabellen rond bestaande richtlijnen en regelgeving. Het instrument helpt de gebruiker daarbij de keuzemogelijkheden (en beperkingen) inzichtelijk te maken bij bijvoorbeeld een bepaalde richtlijn (bijv. Kaderrichtlijn Marien). Uiteindelijk doel is om dit instrument ook te koppelen aan een database met reeds uitgevoerde effectbeoordelingen, zodat kan worden beschouwd welke keuzes in dat project zijn gemaakt en eventueel bij de uitvoering van een nieuw project informatie uit eerder uitgevoerde projecten te benutten.

Mogelijkheden en beperkingen Het instrument is nog niet uitontwikkeld en is momenteel alleen gevoed met voorlopige en beperkte informatie. Hoewel het instrument al wel gebruikt kan worden om keuzes expliciet te maken, zal het nog krachtiger worden als er een volwaardige database (m.b.t. keuzevrijheden in specifieke kaders en reeds uitgevoerde projecten) aan ten grondslag ligt. Bovendien kan het bundelen van bijvoorbeeld Passende Beoordelingen in een database nieuwe projecten kunnen dienen om direct inzichtelijk te maken welke activiteiten reeds in een specifiek gebied zijn beoordeeld en of de cumulatief van effecten van deze activiteiten in een nieuw project moeten worden beschouwd.

Dynamisch (tijd)? N.v.t.

Ruimtelijk? N.v.t.

Type software Het instrument is in eerste instantie met beperkte middelen opgezet in MS Excel. Wanneer het instrument verder ontwikkeld wordt, zal deze omgezet moeten worden naar een relationele database omgeving (bijv. MS Access).

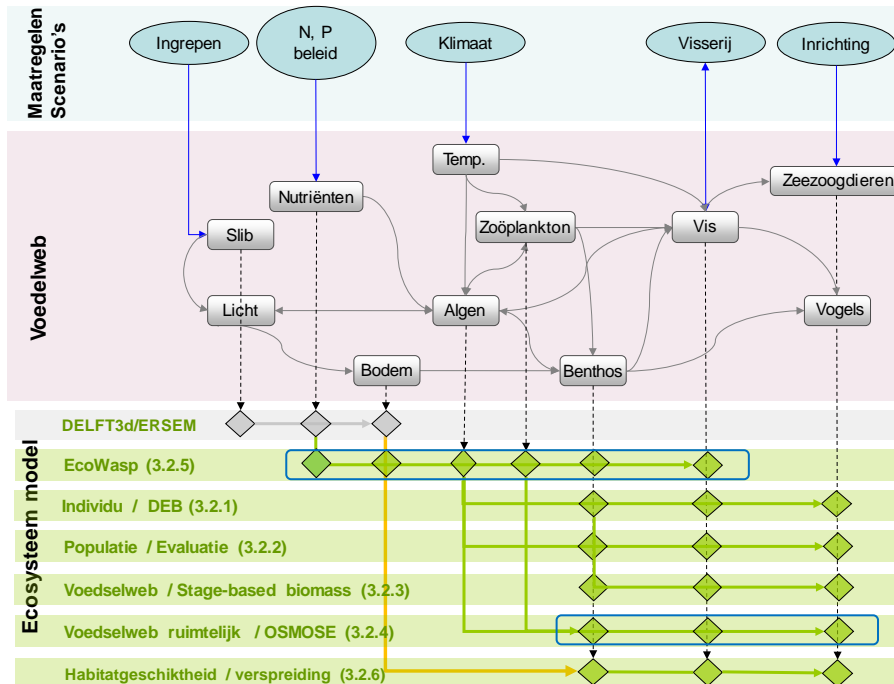
Versiebeheer Nog niet relevant.

3.10 Samenvatting modellen

Samenvattend kunnen we zeggen dat de modellen die bij IMARES aanwezig en in gebruik zijn een breed scala aan ecosysteemcomponenten omvatten. De meeste modellen betreffen evenwel ad-hoc toepassingen van modelcodes, meer dan dat het kant-en-klare modelinstrumentaria betreft. De twee modellen die breder van opzet zijn, en ook meer het predicaat simulatiemodel verdienen, zijn EcoWasp en OSMOSE. Het eerste beschrijft ecosysteemprocessen vanaf de basale bron, n.l. nutriënten, en is momenteel nog beperkt waar het de hoogste trofische niveaus betreft. Het tweede is beperkt omdat juist de primaire bronnen (nutriënten, primaire producenten, zoöplankton) daarin ontbreken. In Figuur 1 is een overzicht gegeven van ecosysteemcomponenten, met daarin ook verwerkt welke onderdelen door welke modellen c.q. modeltechnieken worden beschreven.

De door IMARES ontwikkelde of uitgewerkte modellen betreffen meestal ad-hoc parameterisaties en uitwerkingen van in de wetenschappelijke literatuur gepubliceerde modelcodes. Voor de relatief eenvoudige modelcodes geldt dat er meerdere (>2) onderzoekers en/of modellers zijn die ervaring hebben met de toepassing van deze technieken. Voor de complexe modellen geldt echter dat er maar een (EcoWasp) of twee (OSMOSE) modellers zijn die alle aspecten van het model overzien en beheersen.

Voor alle modeltechnieken en complexe modellen geldt dat er geen *vastgelegde* procedures en afspraken zijn voor het (versie) beheer van de software, modelcodes en gegevensbestanden en voor het gebruik daarvan zijn.



Figuur 1 Schematisch overzicht van modellen die bij IMARES in gebruik zijn, en die in te zetten zijn ten behoeve bij effectketens c.q. integrale ecosysteemmodellering. Omcirkeld zijn die modellen die naar ons idee zeker geschikt voor B&O zijn. EcoWasp bevat een generieke beschrijving van organismen, ook die tot de hogere trofische niveaus kunnen worden gerekend. Middels parameterkeuzes kan worden vastgelegd waar een faunatype huist, waar en hoe het voedsel zoekt, wat de preferenties voor prooien zijn en groottes van die prooien, etc. Lichtcondities kunnen eveneens worden opgelegd (dat kan via opgelegde slibconcentraties).

Tabel 1 Overzicht van modeltypen, incl. referenties en locaties van modelcode en –gegevens.

Modelnaam	Tijd	Ruimte	Gegevens	Referentie	Beschrijving - code, software
Verspreiding / habitatgeschiktheid (paragraaf 3.7)					
Habitatgeschiktheid voor benthos	n.v.t.	J	J	Brinkman et al. 2001; Brinkman & Bult 2002; Kater et al. 2003; Steenbergen & Meesters 2006; Tulp et al. 2006; De Mesel et al. 2011; Brinkman in prep.	Van de Wolfshaar et al. 2012, C064/12; software: R; code: in rapport en lokaal
Habitatgeschiktheid voor vissen	n.v.t.	J	J	Teal & Van Keeken 2011, C054/11	Van de Wolfshaar et al. 2012, C064/12; software: R; code: in rapport en lokaal
Habitatgeschiktheid voor vogels	n.v.t.	J	J	Brinkman & Ens 1998; Ens et al. 2005;	Van de Wolfshaar et al. 2012, C064/12; software: R; code: in rapport en lokaal
Habitatgeschiktheid voor zeezoogdieren	n.v.t.	J	J		Van de Wolfshaar et al. 2012, C064/12; software: R; code: in rapport en lokaal
Vogelwaardenkaarten plus	n.v.t.	J	J	Van Bemmelen et al. 2012, C138/12	Van Bemmelen et al. 2012, C138/12; software: R; code: lokaal
ERSEM-DEB vissen	midden	J	J	Teal et al. 2012	
Individu – DEB (paragraaf 3.2)					
DEB schelpdieren (Ensis, kokkel, mossel)	kort-midden	N/J	J	Troost et al. 2010; Wijsman & Smaal 2011; Wijsman 2011, C116/11	Kooijman 1986; software: R; code: lokaal
Bio-energetica model	jaar	N	a	Brinkman et al, 2002; Ens & Kats, 2004 Van de Wolfshaar in prep.	Brinkman et al, 2002; software: Borland Pascal; code: in rapport en lokaal; ---
Pspm vissen (tong, haring)	midden-lang	N	J	Van Kooten & Glorius 2011	Annex 2 in Van Kooten & Glorius 2011 (WOt 277)
Populatie - stadium/grootte gestructureerd (paragraaf 3.3)					
Zalm in de Maas	lang	N	J	Deerenberg et al. 2012, C071/12	
Assessment modellen commerciële vissoorten	midden	N	J	Poos e.a. 2010; Rijnsdorp & Millner, 1996; Bogaards e.a. 2009; Mollet e.a., 2013; Van der Hammen e.a., 2013 Bierman e.a. 2012; Van de Wolfshaar e.a. 2013 Tien & Miller 2013	http://www.ices.dk/news-and-events/Training/Pages/AD-Model-Builder-and-Stock-Assessment.aspx ICES, 2012 (Data Limited Species approach); software: divers (afhankelijk auteur en soms ook per toepassing); code: lokaal

Modelnaam	Tijd	Ruimte	Gegevens	Referentie	Beschrijving - code, software
Fishery dynamics model (platvis, garnalen)	kort-lang	J	J	Poos et al. 2010;	
Management strategie evaluatie MSE (platvis, garnalen)	midden-lang	N	a	Miller & Poos 2010, C104/10;	
Gemeenschap - voedselweb (paragraaf 3.4)					
Stage-based biomass model	midden-lang	N	a	Beare et al. 2010, C002/10; Van de Wolfshaar et al. 2011, 2012, in prep; Van Denderen & Van Kooten 2013; Van Denderen et al. 2013	De Roos et al. 2008; software: meestal R; code: lokaal
Size-based biomass model based on DEB (garnalen)	midden?	N	a	Is in ontwikkeling	Software: R; code: lokaal
Size spectrum North Sea	lang	N	a	Andersen & Pedersen 2010	Software: R; code: lokaal alsmede R-bibliotheek
North Sea functional benthic model	midden-lang	N	J	Deerenberg et al. 2011, C130/11	Software: R; code: lokaal
Gemeenschap - voedselweb ruimtelijk (paragraaf 3.5 en 3.6)					
EcoWasp	kort-lang	J	a	Brinkman 1993; Brinkman & Smaal 2003; Brinkman 2012; Brinkman 2013	Herman et al. 2005 (Audit van het model); software: C, met R-scripts als aansturing; code: op meerdere Linux-machines, lokaal.
MDNS EcoPath/EcoSim/EcoSpace	lang	J	J	Christensen & Walters 2004; Van Kooten & Klok 2011	Software: Visual basic (komt als executable); code: EwE-consortium (http://www.ecopath.org/). Ontwikkeld bij CEFAS (UK)
OSMOSE	midden-lang	J	a	Shin & Cury 2001, 2004; Travers et al. 2009; Van de Wolfshaar unpubl. (C183/11)	Software: C; code: lokaal bij IMARES, oorspronkelijk: in Java geschreven, IFREMER & CEFAS
Cumulatie (paragraaf 3.8)					
Cumuleo-RAM	kort	J	b	De Vries et al. 2011, WOt 285	Software: R; code: lokaal
ODEMM	n.v.t.	N	N	Knights et al. (accepted, 2014) Piet et al. (in prep.)	Software – Excel (tabel) en R (analyses); code: lokaal
Onderzoek-afbakingsmodellen (paragraaf 3.9)					
Scoping tool	n.v.t.	n.v.t.	a	Instrument is nog in ontwikkeling.	Software : Excel; code: lokaal
a) functionele gegevens beschikbaar, maar lacunes aanwezig en bij voorkeur uit te breiden					
b) beperkte hoeveelheid effectrelaties					

4 Toepassing modellen per watersysteem

In dit hoofdstuk geven we een overzicht welke onderscheiden modellen (H3) voor welke watersystemen uitgewerkt en/of toegepast zijn (paragraaf 4.1, Tabel 2). Dit overzicht geeft de huidige situatie weer. Aangezien alle besproken modellen flexibel en aanpasbaar zijn, kunnen in potentie alle modelcodes voor alle watersystemen aangepast worden – mits hiervoor voldoende gegevens voorhanden zijn of verkregen kunnen worden.

In de navolgende paragrafen (4.2 t/m 4.7) wordt per watersysteem een of meer voorbeelden van bestaande modeltoepassingen kort toegelicht inclusief een voorbeeld van mogelijke resultaten. Deze overzichten zijn bedoeld om een beeld te geven van de mogelijkheden en zijn alles behalve compleet.

4.1 Overzicht beschikbaarheid en/of staat van model per watersysteem

Tabel 2 Overzicht van gebiedsuitwerkingen per type modelschematisatie. De kleuren geven globaal aan in welke fase van ontwikkeling de modellen zijn voor het betreffende gebied (de kolommen van de tabel). Rood gekleurd betekent dat het naar ons idee of verouderde modellen zijn, of niet geschikt om toe te passen. Met oranje zijn toepassingen gemarkeerd die op zich (goed) mogelijk zijn, maar die tot op dit moment nog niet ter hand zijn genomen. Geel gemarkeerde toepassingen zijn die welke zich in een soort pilotfase bevinden. De toepassing is goed mogelijk, maar er dient nog e.e.a. aan afregeling plaats te vinden. Groen gemarkeerd wil zeggen dat het model of de techniek gereed is, maar nog niet daadwerkelijk is toegepast op het betreffende gebied. Blauw geeft aan dat het model c.q. de techniek én klaar is, én toegepast én beschreven voor het betreffende gebied. NB: Delta betreft alle Delta-wateren.

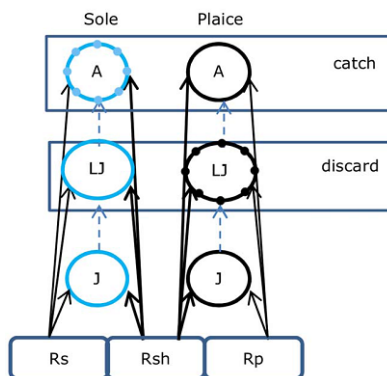
Modelnaam	Noordzee	kust	Delta	Waddenzee	IJssel- /Markermeer	rivieren
Verspreiding / habitatgeschiktheid						
Habitatgeschiktheid voor benthos			X			
Habitatgeschiktheid voor vissen				X		
Habitatgeschiktheid voor vogels		X				
Habitatgeschiktheid voor zeezoogdieren						
Kansenkaarten schelpdieren						
Vogelwaardenkaarten plus						
ERSEM-DEB vissen						
Individu – DEB						
DEB schelpdieren (Ensis, kokkel)						
EIDER						
Bio-energetica model (spiering)						
Pspm vissen (tong, haring)						
Populatie - stadium/grootte gestructureerd						
Zalm in de Maas						X
Assessment modellen commerciële vissoorten	X					
Fishery dynamics model (platvis, garnalen)						
Management strategie evaluatie MSE (platvis, garnalen)						
Gemeenschap - voedselweb						
Stage-based biomass model (schol/tong, haring/kabeljauw, benthische vis/benthos)	X					
Size-based biomass model based on DEB (garnalen)						
Size spectrum North Sea						
North Sea functional benthic model						
Gemeenschap - voedselweb ruimtelijk						
EcoWasp				X		

Modelnaam	Noordzee	kust	Delta	Waddenzee	IJssel- /Markermeer	rivieren
MDNS EcoPath/EcoSim/EcoSpace						
OSMOSE					X	
Cumulatie						
Cumuleo-RAM				X		
ODEMM	X					
Onderzoek afbakening						
Scoping tool						
gereed						
gereed, maar niet gevalideerd voor dit of een specifiek gebied						
in ontwikkeling						
ongeschikt of verouderd						
X	nadere toelichting op de opzet en een voorbeeld van resultaten in een van de volgende paragrafen					

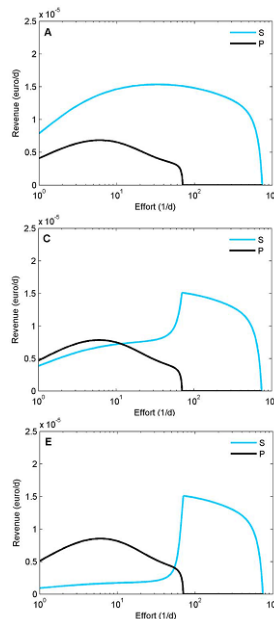
4.2 Noordzee

4.2.1 Populatie enkelvoudig – Stadium-gestructureerd

In de traditionele populatiemodellering van commerciële vissoorten heeft de interactie tussen soorten, zoals concurrentie om dezelfde proisoorten, pas sinds kort aandacht gekregen (Van de Wolfshaar e.a., 2012). Deze modelstudie naar de effecten van competitie tussen schol en tong (zie voor de modelopzet Figuur 2) laat zien dat schol de sterkere concurrent is en dat de volwassen scholpopulatie groter van omvang is dan de populatie volwassen tong, zodat ook de visserijdruk op schol groter is dan die op tong. Maar juist door die druk op de scholpopulatie kan de tongpopulatie toenemen en nemen de opbrengsten uit beide soorten toe (Figuur 3). Tot de scholpopulatie instort door te hoge visserijdruk. Als concurrentie om prooi niet in de modellen wordt meegenomen leidt wat goed beheer lijkt in feite tot overbevissing.



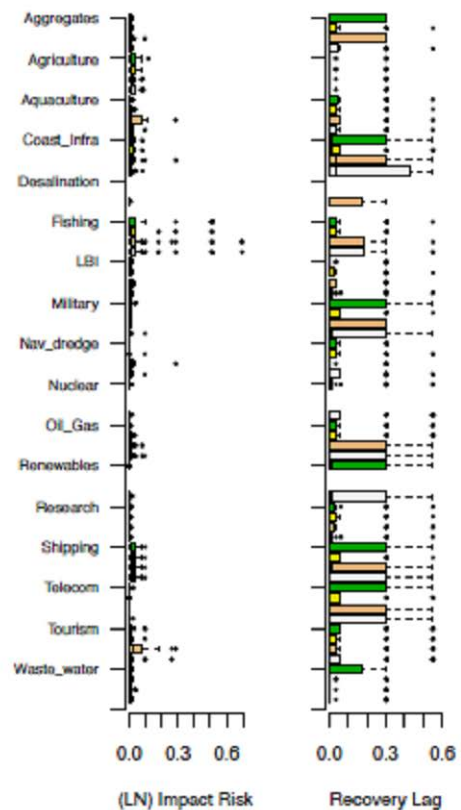
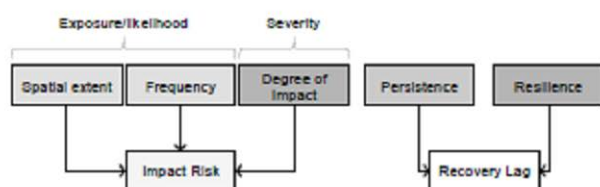
Figuur 2 Gemodelleerd voedselweb van schol en tong foeragerend op twee potentiële proisoorten. Beide vispopulatie kennen drie stadia: kleine juvenielen (J), grote juvenielen (LJ) en volwassen vissen (A). Er worden drie typen voedselbronnen (R) onderscheiden: exclusief voor schol (Rp) of tong (Rs) en een gedeelde voedselbron (Rsh). Gestippelde lijnen geven overgangen tussen stadia weer, getrokken lijnen interacties tussen predator en prooi. Zowel grote juvenielen als volwassen vissen worden door de visserij gevangen, maar de juvenielen worden weer overboord gezet. Het stadium omringd met een gestippelde lijn is het stadium dat de hoogste vangkans heeft.



Figuur 3 Opbrengsten (in €) uit de schol- en tong vangsten in relatie tot de gepleegde visserij-inspanning. Blauwe lijnen – tong; zwarte lijnen – schol. Van boven naar beneden gemodelleerde situaties zonder competitie (A), met gemiddelde competitie (B) en met veel competitie (C) tussen de twee vissoorten voor de proisoorten.

4.2.2 Cumulatie – ODEMM

In ODEMM is voor een aantal Europese regionale zeeën een lijst van oorzaak-effect-ketens opgesteld voor de belangrijkste activiteiten in deze zeeën. Per keten zijn categoriale scores toegekend voor 5 aspecten (Figuur 4, links) ten aanzien van de blootstelling en de gevoeligheid van het ontvangende ecosysteem component hiervoor. Dit heeft geresulteerd in een lijst van scores voor honderden oorzaak-effect-ketens. Deze scores kunnen op diverse manieren worden geaggregeerd en geanalyseerd en kunnen zo inzicht verschaffen in de bijdrage van bijvoorbeeld verschillende sectoren aan een impact (zie Figuur 4, rechts) Knights et al. (geaccepteerd, 2014). Deze informatie kan uiteindelijk ook worden gebruikt om de potentiële effectiviteit van beleidsmaatregelen te evalueren (Piet et al., 2014, in prep.). Een dergelijke studie heeft een relatief hoog abstractie (en daarmee een weinig detaillistisch) niveau en biedt daarmee een mogelijkheid om in een *vroeg* stadium beleidsontwikkeling of vervolgonderzoek te prioriteren.

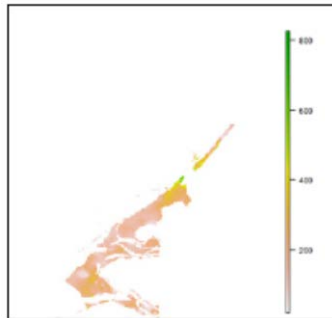


Figuur 4 Links: Elementen waarop elke oorzaak-effect-keten zijn gescoord. De elementen geven informatie over de blootstelling (frequentie en ruimtelijke omvang), de ernst ervan en de persistentie van de drukfactor en de veerkracht (herstelvermogen (E: resilience) van het ecosysteemcomponent. Voor iedere oorzaak-effect-keten worden de categorieën omgezet naar numerieke scores en vermenigvuldigd. Rechts: De spreiding van scores over de ketens voor verschillende sectoren per regionale zee (groen, Oostzee; geel, Zwarte zee; oranje, Middellandse zee; grijs, Noordoost Atlantische Oceaan (waaronder Noordzee)). Illustraties zijn overgenomen uit een conceptversie van Knights et al. (geaccepteerd 2014).

4.3 Kust

4.3.1 Habitatgeschiktheid van de Voordelta voor vis

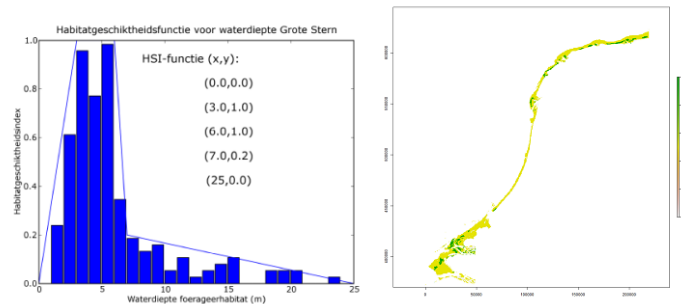
Op basis van gegevens van de jaarlijkse Demersal young Fish Survey (DFS) zijn habitatmodellen gemaakt voor zes soorten vissen in de kustzone: tong, schol, schar, bot, wijting en grondels. Habitatgeschiktheid is in deze modellen bepaald als een functie van diepte, zoutgehalte, helderheid (Secchi-diepte), seizoen en gebied. Figuur 5 toont de resulterende gemiddelde visdichtheid van de zes soorten samen voor de Voordelta in een voorjaar.



Figuur 5 Gemiddelde dichtheid (aantal per ha) van zes vissoorten gezamenlijk voorspeld door het habitatgeschiktheidsmodel voor de Voordelta in een voorjaar.

4.3.2 Habitatgeschiktheid van de ondiepe kustzone voor de Grote stern

Op basis van een studie naar de duikdiepte van grote sterns (Baptist & Leopold, 2007) is een habitatmodel gemaakt voor deze soort in de ondiepe kustzone (Figuur 6, rechts). Habitatgeschiktheid voor grote sterns is in dit model bepaald als een functie van duikdiepte (Figuur 6, links) en helderheid van het water (Secchi-diepte).



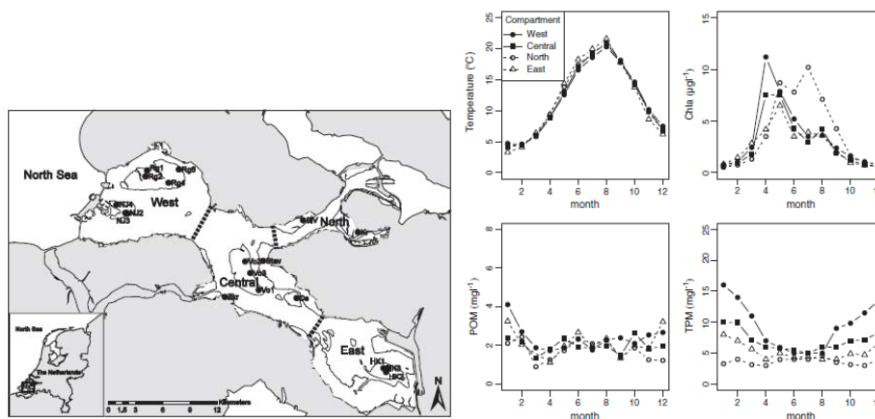
Figuur 6 Links: Habitatgeschiktheid als een functie van diepte (Bron: Baptist & Leopold, 2007). Rechts: Habitatgeschiktheid, d.w.z. geschiktheid als foerageergebied voor de grote stern in de ondiepe Nederlandse kustzone.

4.4 Delta

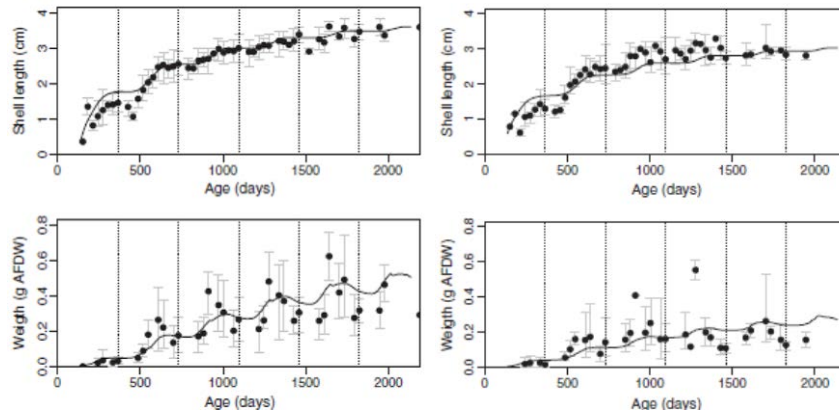
4.4.1 Habitatgeschiktheid voor schelpdieren

Wijsman & Smaal (2011) hebben een model ontwikkeld om de groei van kokkels te voorspellen op basis van omgevingsfactoren zoals temperatuur en voedselbeschikbaarheid. Het Dynamic Energy Budget (DEB) model (Kooijman, 1986; 2010) beschrijft op basis van deze omgevingsfactoren de energetische balans, groei en voortplanting van individuen van allerlei soorten voor hun verschillende levensstadia. Troost e.a. (2010) hadden al veel voorwerk gedaan om de functionele respons van kokkels op de verschillende omgevingsfactoren en in verschillende gebieden uit te zoeken. Wijsman & Smaal hebben vervolgens onderzocht of en hoe ruimtelijke verschillen in de groei van kokkels gerelateerd zijn aan verschillen in de omstandigheden.

De resultaten van het DEB-model laten zien dat de betere groei van kokkels in de westelijke en centrale delen van de Oosterschelde het gevolg is van lokaal hogere concentraties van chlorofyl-a, een belangrijke voedselbron voor kokkels. De modelresultaten laten ook zien dat de kokkels "krimpen" in de zomer, omdat de energiebehoefte groter is dan het aanbod. De kokkels met de laagste energiereserves zullen in die situatie afsterven, terwijl kokkels met grotere reserves zullen overleven.



Figuur 7 Links: Overzicht van de deelgebieden en monsterlocaties in de Oosterschelde voor kokkels. Rechts: Overzicht van de variatie in omgevingsfactoren gedurende een jaar in de verschillende deelgebieden van de Oosterschelde. (Bron: Wijsman & Smaal, 2011.)

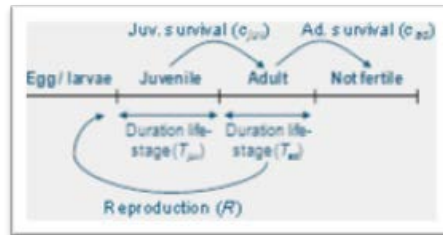


Figuur 8 Model resultaten (doorgaande lijn) en gemiddelde waarden (1993-1997) van veldmetingen (punten, incl. bandbreedte standaardfout) van schelpenlengte (boven) en asvrij-drooggewicht (onder) van kokkels in delen van de Oosterschelde gedurende enkele jaren. Links: centrale deel; Rechts: oostelijk deel. (Bron: Wijsman & Smaal, 2011.)

4.5 Waddenzee, incl. Eems-Dollard

4.5.1 Cumulatie – CUMULEO-RAM

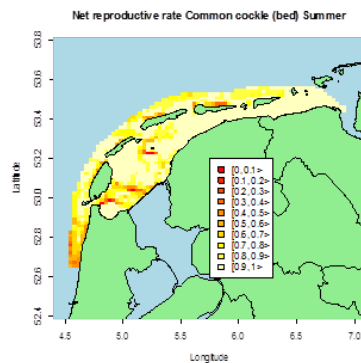
Het model simuleert eenvoudige en veralgemeniseerde levenscycli van een aantal indicatorsoorten, gebruik makend van een beperkte set aan parameters per soort. Het model berekent de vervangingswaarde ('net reproductive rate', ook wel R0 genoemd) voor deze indicatorsoorten aan de hand van deze parameters. De vervangingswaarde is "Het aantal volwassen individuen dat naar verwachting geproduceerd zal gaan worden door een net volwassen geworden individu, gedurende de rest van het leven als adult" (Schobben et al. 1996). Bij een vervangingswaarde van groter dan 1 zal een populatie groeien, bij een waarde kleiner dan 1 neemt deze af.



Figuur 9 Overzicht van levensstadia zoals deze in het CUMULEO-RAM model worden onderscheiden.

Alle benodigde parameters van de indicatorsoorten zijn verzameld en gekalibreerd onder de aanname dat de populatiedichtheid in evenwicht was, zodat de vervangingswaarde gelijk is aan 1 (Schobben et al. 1996). In het model worden potentiële populatie-effecten berekend via directe effecten op overleving en reproductie door middel van zogenaamde blootstellings-effect relaties (bijvoorbeeld: directe sterfttekans in relatie tot de frequentie van bodemberoering). Cumulatie wordt in dit geval gemodelleerd door additieve interacties van de drukfactoren aan te nemen.

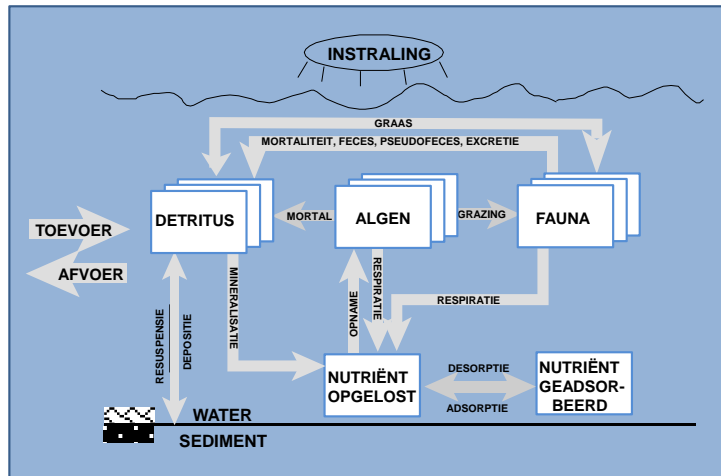
Het model kan gebruikt worden om het cumulatieve effect van verschillende menselijke activiteiten op het ecosysteem (ruimtelijk) door te rekenen. Het model is oorspronkelijk ontwikkeld om de effecten op een aantal indicatorsoorten in de Noordzee, de zogenaamde AMOEBE soorten (Ten Brink et al. 1991), te berekenen. In 2012 is deze aanpak toegepast in een casus van de Waddenzee, waarbij een beperkt aantal drukfactoren (visuele verstoring en bodemberoering) is beoordeeld voor een beperkt aantal soorten (6) en voor een groot aantal (26) activiteiten (De Vries e.a. 2011 en 2012). Figuur 10 laat zien hoe bodemberoering geschaald is naar de vervangingswaarde voor de kokkel in de Waddenzee. De kaart geeft alleen de potentiële effecten en houdt geen rekening met de werkelijke of mogelijke verspreiding van kokkels. Als uitbreiding zou dit model derhalve kunnen worden gecombineerd met habitatgeschiktheidsmodellen.



Figuur 10 Schaling van drukfactor (in dit geval bodemberoering) naar de vervangingswaarde (netto voortplantingssnelheid / net reproductive rate) voor de kokkel in de Waddenzee en een deel van de Noordzeekustzone.

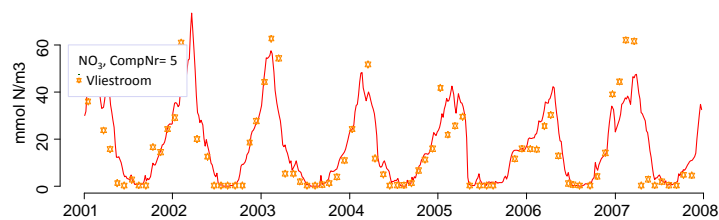
4.5.2 Ruimtelijk voedselweb-model (EcoWasp-WaddenzeeWest)

EcoWasp is een ruimtelijk expliciet ecosysteemmodel, oorspronkelijk opgesteld voor de Waddenzee. In het model worden de stofstromen van nutriënten via algen naar fauna beschreven met inbegrip van remineralisatieprocessen. Het model berekent onder meer wat de activiteit van schelpdieren in het systeem kan zijn (zoals opnamesnelheden, groeisnelheden, eventueel reproductie) en hun hoeveelheid (individuele grootte en aantallen individuen). Voor een uitgebreide modelbeschrijving en beschrijving van de toepassing wordt verwezen naar Brinkman (1993) en Brinkman & Smaal (2003); Figuur 11 geeft een beknopt overzicht.

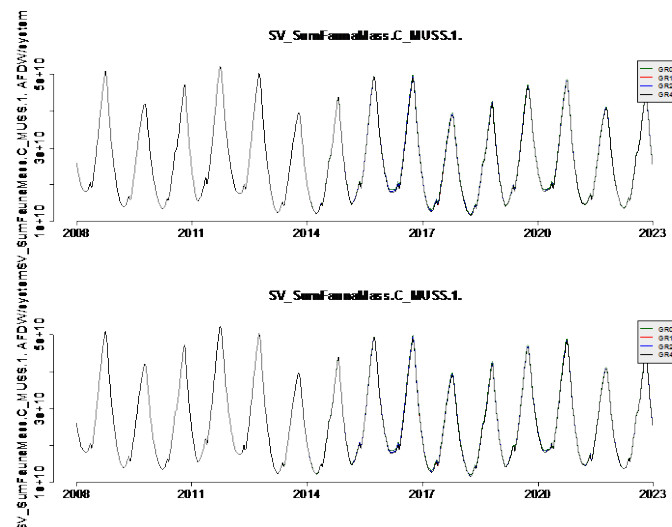


Figuur 11 Schematisch overzicht van het EcoWasp-model. Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar Brinkman (1993) en Brinkman & Smaal (2004). Alle processen die voor de waterkolom gedefinieerd zijn, lopen in principe ook in elke sedimentlaag (al zijn ze niet altijd relevant, zoals primaire productie in diepere lagen). In het sediment en tussen sediment en water zijn alleen verticale transportprocessen aanwezig.

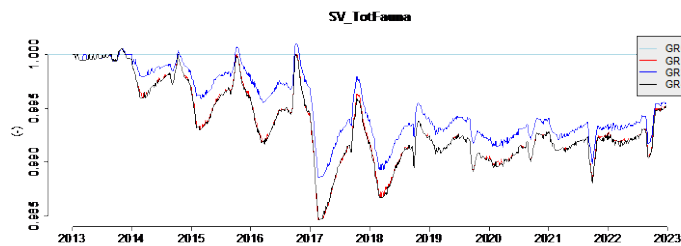
Resultaten van een ecosysteemmodel zijn zeer divers, zoals de ontwikkeling van nutriëntgehaltenes (Figuur 12), de ontwikkeling van schelpdierbiomassa's in de loop der jaren (Figuur 13 en Figuur 14 geven voorbeelden van scenariostudies), de filtratie-intensiteit van schelpdieren op het fytoplankton, de adsorptie van fosfaat in de sedimentoplaag, de benthische primaire productie op de platen.



Figuur 12 Concentratie nitraat in een van de EcoWasp-componenten in de westelijke Waddenzee.



Figuur 13 Ontwikkeling van de schelpdierbiomassa in de westelijke Waddenzee, bij een aantal zandwinstscenari'o's (GR0..GR4) (zie Brinkman, 2012). Biomassa in gram AFDW/systeem.



Figuur 14 Relatieve verschillen van ontwikkeling in schelpdierbiomassa in de westelijke Waddenzee bij een aantal zandwinstscenario's (GR0..GR4) (zie Brinkman, 2012).

4.6 IJsselmeer en Markermeer

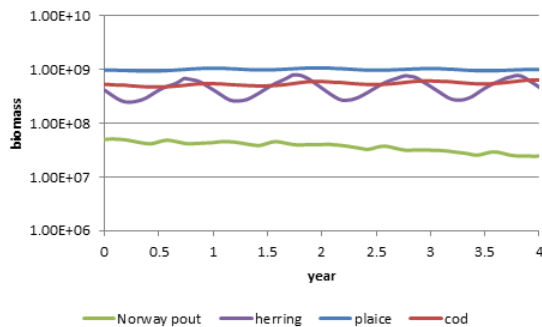
4.6.1 Ruimtelijk complex voedselwebmodel (OSMOSE)

Osmose is een ruimtelijk expliciet ecosysteem model dat is ontwikkeld in een samenwerking tussen Ifremer (Frankrijk) en CEFAS (Groot Brittannië; Shin & Cury, 2001, 2004, Travers e.a., 2009). Het doel van de ontwikkelaars was een model te ontwikkelen dat gebruikt kan worden om veranderingen in de structuur en functioneren van een voedselweb te bestuderen. Daarnaast is het ontwikkeld om effecten van maatregelen en visserij op het ecosysteem te bestuderen. Binnen IMARES wordt gewerkt aan de parameterisatie van Osmose voor de Noordzee (Van de Wolfshaar 2001, unpubl.) en het IJsselmeer. Osmose modelleert een visgemeenschap die bestaat uit verschillende soorten die zijn opgedeeld in scholen. De individuen in een school worden als identiek beschouwd omdat ze dezelfde voedselomstandigheden tegen komen. Een school wordt opgeheven als alle individuen in die school dood zijn. Dit kan zijn door natuurlijke mortaliteit, predatie door andere soorten in Osmose of visserij (Figuur 15). Het bijhouden en volgen van alle scholen van alle soorten in de tijd en wat zij eten resulteert in een visgemeenschap en een voedselweb dat de onderlinge predatieverhoudingen weergeeft. Osmose modelleert de ontwikkeling van de vissoorten in de scholen aan de hand van verschillende biologische processen: voedselafhankelijke groei; voedselaanbod gebaseerd op ruimtelijke patronen en afhankelijk van de lengte-ratio tussen predator en zijn prooi; sterfte door gebrek aan voedsel; seizoensafhankelijke visserij; seizoensafhankelijke reproductie en natuurlijke sterfte (door bijvoorbeeld ziekten of soorten die niet expliciet in Osmose zijn meegenomen). De meeste processen zijn in Osmose grootte-afhankelijk, sommige kunnen ook worden ingesteld op leeftijdsafhankelijk; dit biedt veel flexibiliteit om met verschillen tussen soorten om te gaan.



Figuur 15 De levenscyclus van een vis zoals gemodelleerd in Osmose.

Modelresultaten met OSMOSE voor de Noordzee laten zien dat seizoensvariatie in de omvang van vispopulaties het gevolg is van seizoensgebonden voortplanting en van veranderingen in voedselbeschikbaarheid tussen seizoenen. Dit seizoensgebonden patroon wordt bottom-up gestuurd. De populatieomvang van planktivore vissoorten, bijv. haring, volgt nog heel duidelijk het seizoenspatroon in de abundantie van plankton, terwijl die van piscivore vissoorten, zoals kabeljauw, nauwelijks nog seizoensgebonden schommelingen in de populatieomvang laten zien (Figuur 16).



Figuur 16 Modelresultaten van Osmose die de ontwikkeling in de tijd weergeven van de biomassa van de populaties van vier vissoorten (Norway pout = kever; herring = haring; plaice = schol en cod = kabeljauw) in de Noordzee. Bron: Van de Wolfshaar, 2011, unpubl.

4.6.2 Ruimtelijk voedselwebmodel (EcoWasp-IJsselmeer)

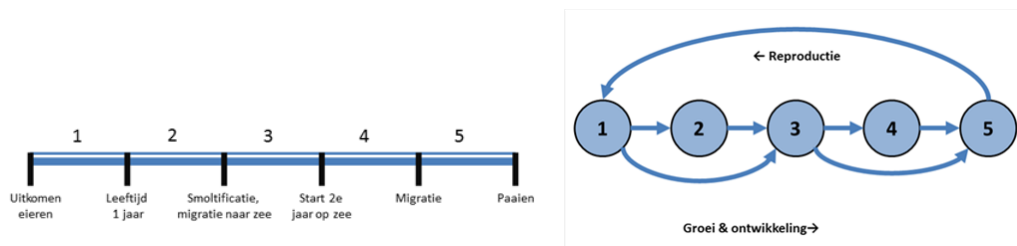
EcoWasp is een ruimtelijk expliciet ecosysteemmodel, oorspronkelijk opgesteld voor de Waddenzee en nu ook aangepast voor het IJsselmeer. In het model worden de stofstromen van nutriënten via algen naar fauna beschreven met inbegrip van remineralisatieprocessen. Het model berekent onder meer wat de activiteit van (kleine) vissen in het systeem kan zijn (zoals opnamesnelheden, groeisnelheden, eventueel reproductie) en hun hoeveelheid. Voor een uitgebreide modelbeschrijving en beschrijving van de toepassing wordt verwezen naar Brinkman (1993) en Brinkman & Smaal (2003); Figuur 11 geeft een beknopt overzicht. Zie verder 4.5.2.

4.7 Grote rivieren

4.7.1 Populatiemodel enkele soort (Zalm in de Maas)

Ten behoeve van normstelling voor sterfte als gevolg van waterkrachtcentrales (WKC's) in de Maas heeft IMARES een populatiemodel voor de zalm in die rivier opgesteld (Deerenberg e.a., 2012). Voor deze studie is de levenscyclus van de zalmpopulatie in vijf stadia onderverdeeld (Figuur 17), die is gebaseerd op specifieke gebeurtenissen in de levenscyclus van Atlantische zalm. Bij zowel de opzet van de structuur van het model als bij de invulling van de parameterwaarden in het model is gestreefd naar gebruik van de op het moment van deze studie 'best beschikbare kennis', waarbij rekening is gehouden met breedtegraad en lengte van de rivier (i.c. de Maas). In dit geval is het model gebruikt om, uitgaande van de eis dat de zalmpopulatie op de Maas moet kunnen groeien, te schatten hoeveel 'ruimte' er overblijft voor additionele sterfte op het stroomafwaartse migratietraject van jonge zalm in het Nederlandse deel van de Maas.

Met de modelsimulaties zijn verschillende situaties onderzocht. Uit simulaties onder het 'Referentie' scenario blijkt dat zonder sterfte door WKC's de kans op uitbreiding van de populatie hoogst waarschijnlijk is. De hoge kans op uitbreiding van de populatie (>95%) geldt voor vrijwel alle andere scenario's die zijn onderzocht voor de huidige situatie met vier WKC's op het migratietraject. Uitgaande van het scenario voor de huidige situatie op de Maas, blijft de kans op uitbreiding van de populatie minimaal 95% tot en met een waarde van 47% toegevoegde additionele sterfte (Tabel 3).



Figuur 17 Links: De vijf stadia in het model in relatie tot de levenscyclus van Atlantische zalm. Rechts: Schematische weergave van de levenscyclus van Atlantische zalm zoals gehanteerd in het model.

Tabel 3 Overzicht van de ruimte voor additionele sterfte onder het 'Referentie' scenario, waarboven de kritische grens van 95% kans op uitbreiding van de populatie overschreden wordt. Het 'Referentie' scenario met onderbouwde aannames en parameterwaarden vertegenwoordigt de op dit moment best beschikbare kennis. Deze ruimte is de maximaal toelaatbare additionele sterfte waarbij geen significante gevolgen voor de instandhoudingsdoelstellingen voor vissen in de Grensmaas optreden.

Situatie	geen WKC's	2 WKC's (België)	4 WKC's (huidig)	5 WKC's
Kans op uitbreiding van de populatie	>99,995%	>99,995	99,21%	95,19%
Max. toelaatbare additionele sterfte	65%	47%	20%	1%

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Geschiktheid van IMARES-modellen voor beheervragen

De vraag naar de geschiktheid van de verschillende modeltypen die beschikbaar zijn bij IMARES voor beantwoording van beheervragen van Rijkswaterstaat behandelen we globaal en indicatief. Dat heeft ermee te maken dat die geschiktheid afhangt van de vraag die gesteld wordt, en dat de meeste IMARES-modellen technieken zijn en niet zozeer kant-en-klare computerprogramma's.

Deze paragraaf beperkt zich tot enerzijds het noemen van de vraag waarvoor het model oorspronkelijk is opgesteld of waarvoor het meestal wordt toegepast en anderzijds tot het noemen van enkele meer generieke voorbeelden van beheervragen. Ook de geschiktheid voor opname in een programma van Beheer, Onderhoud en/of Ontwikkeling wordt indicatief besproken. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is namelijk - naast het voorgaande - eerst een heldere context in de vorm van een programma van mogelijkheden, eisen en randvoorwaarden nodig. Dit programma zal in nauw overleg tussen IMARES en Rijkswaterstaat opgesteld moeten worden.

Deltares (2014) heeft geconstateerd dat onvoldoende bekend is in hoeverre KRW-, KRM- en/of Natura 2000-doelen door modellen voorspeld kunnen worden. In twee workshop is een generieke beschouwing van deze mogelijkheden uitgevoerd. In het resulterende document (Deltares, 2015) wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste wettelijke kaders voor beheer van natuurgebieden. Dit zijn de Kaderrichtlijn Water (KRW), de Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM) en de Habitat- en Vogelrichtlijnen (VHR) waarop het Natura 2000-netwerk (N2000) is gestoeld. Samenvattend is in dat document het volgende vastgesteld:

- Doel van de KRW is het bereiken van een goede ecologische toestand (GET) en – als dat niet mogelijk is – goed ecologisch potentiaal (GEP). Daartoe zijn *kwaliiteitselementen* geïdentificeerd, waarvoor *indicatoren* zijn geselecteerd en welke *metingen* aan die indicatoren gedaan moeten worden. Bovendien is voor beoordeling vastgesteld aan welke *trend* de resultaten van die metingen moeten voldoen (criterium of norm).
- Doel van de KRM is een goede ecologische toestand te bereiken en behouden. Daartoe zijn *descriptor*en geïdentificeerd, waarvoor (ook weer, net als bij KRW) *indicatoren* zijn geselecteerd en welke *metingen* aan die indicatoren gedaan moeten worden. Er zijn voor de beoordeling (nog) geen criteria vastgesteld; de doelen zijn meest kwalitatief gesteld.
- Beschermd gebied die zijn aangewezen op basis van de VHR vormen samen het Natura 2000-netwerk. Per gebied zijn instandhoudingsdoelen of verbeterdoelen voor habitats en/of specifieke soorten vastgesteld. Voor het bereiken van deze doelen zijn in profieldocumenten *ecologische vereisten* gedefinieerd. In beheerplannen wordt vervolgens vastgelegd welke parameters gemeten moeten worden en op welke wijze. Dit is niet in alle beheerplannen op dezelfde wijze gedaan.

Meerdere, zo niet alle van de hier opgevoerde modellen zijn geschikt om te gebruiken bij beheersvraagstukken in het kader van de KRW, KRM en Natura 2000 en bij andere gerelateerde vraagstukken. De meeste modellen zijn modeltoepassingen (definities vgl. Deltares, 2013), opgesteld voor een specifieke vraag (een beheervraag of wetenschappelijke, inzicht gevende vraag) betreffende een specifieke soort of soortencuster voor een generiek gebied (bijvoorbeeld "de zee") of voor een specifieke locatie (bijvoorbeeld de Voordelta of het IJsselmeer). Modeltoepassingen op deze niveaus zijn bijna altijd maatwerk: vaak is al basismodelsoftware of -code (definitie vgl. Deltares, 2013) aanwezig, maar moet de parameterisatie aangepast worden aan het gebied of de locatie, aan de soorten en/of ingrepen die het punt van aandacht zijn in de specifieke vraag, etc. Voorbeelden daarvan zijn de habitatgeschiktheidsmodellen, de DEB-modellen en de stage-based biomassamodellen.

De vraag of een modelcode (en welke code) geschikt is om een beheervraag te helpen beantwoorden kan niet beantwoord worden zonder concrete beheervragen. De beheervragen zijn vaak al zo variabel dat op het vlak van de vraag zelf al maatwerk nodig is: een fase I van probleemdefinitie en modelkeuze. Zie in dat kader de rapportage van de workshops bij Deltares (Van Dalssen e.a. 2014). Op basis van onze ervaringen met de eerdere toepassingen van de verschillende modeltypen en de beheervragen waarvoor ze ingezet zijn kunnen we het volgende samenvattende overzicht geven van welke modeltypen voor welk type beheervragen indicatief geschikt zijn.

Bij alle modelcodes gaat het om omstandigheden die individuen en/of populaties en/of gemeenschappen van soorten beïnvloeden. De resultaten van de modellen laten zien *op welke wijze, hoeveel en waar* die beïnvloeding doorwerkt op de soorten of het systeem als geheel. Vaak gaat het er om dat begrepen wordt hoe waargenomen patronen in populatieontwikkeling of verspreiding tot stand zijn gekomen. Beheervragen gaan er meestal om wat de gevolgen zijn van *veranderingen* in een of enkele omstandigheden voor het systeem: een populatieontwikkeling, verspreiding van soorten/groepen of bijvoorbeeld de ontwikkeling van primaire of secundaire productie. De vraag kan ook anders geformuleerd worden, nl: wat is er nodig om een gewenste populatieontwikkeling of verspreiding te bewerkstelligen door middel van beheermaatregelen (en welke zijn dan de beste beheermaatregelen).

De verschillen in de modelcodes zitten enerzijds in de focus van het model – individu, populatie, gemeenschap, habitatype of anderszins – en de mate van complexiteit van de sturende en/of verklarende omstandigheden. De verschillen zitten anderzijds in de eindpunten of resultaten van het modeltype:

- Bij habitatgeschiktheidsmodellen gaat het – zoals de naam als zegt – om vragen over de geschiktheid van een gebied en/of de heersende of vereiste omstandigheden voor het voorkomen van een soort of een complex aan soorten.
- Bij DEB- modellen op het niveau van het individu gaat het om groei in ruimte en tijd
- Bij bio-energetische modellen gaat het om voedselbehoefte / draagkracht / groeiomogelijkheden / in relatie tot beschikbaar c.q. aanwezig voedsel
- Bij de complexe modellen OSMOSE en EcoWasp gaat het om dynamische beschrijvingen van 'het' voedselweb; bij toepassing van deze modellen wordt de bestaande software gebruikt (indien nodig enigszins aangepast, maar meestal niet) en worden omstandigheden als datafiles ingelezen en worden met de software simulaties verricht. De codering van de software zelf bevat tevens de begrenzingen van de toepassingen. Zijn andere toepassingen gewenst dan moet de code worden aangepast.

Tabel 4 Overzicht van modeltypen en hun toepasbaarheid

Type	Model	Voorkomen/geschiktheid	Groei en/of overleving	Voedselbehoefte	Populatiegrootte (al dan niet locatie specifiek)	Populatiesamenstelling	Samenstelling gemeenschap (2+ soorten/groepen)
Verspreiding	Habitatgeschiktheid	X					
Individueel	Energiebehoefte	X	X	X	X		

	Dynamic Energy Budget (DEB)		X	X			
Populatie – enkele soort	Enkelvoudig ('scalar')				X	X	
	Leeftijd- stadium, of lengte gestructureerd				X	X	
	Individual-based (IBM)				X	X	
	'Dynamic-state variables'				X	X	
	Omgevingsfactoren				X	X	
Gemeenschap	Eenvoudige predator-prooi modellen			X	X	X	X
	Complexe, grootte-gestructureerde predator-prooi-modellen		X	X	X	X	X
	Complexe voedselweb- of ecosysteemmodellen		X	X	X	X	X
Cumulatie	Cumulatie van effecten	X			X		
Onderzoek-afbakeningsmodellen (fase I modellen)	Scoping tool						

5.2 Toepassing van IMARES-modellen voor beheersvragen tot nu toe

Hier geven we kort aan welke IMARES-modellen in de afgelopen jaren toegepast en ingezet zijn bij beheervragen.

Tabel 5 Overzicht van modeltoepassingen die zijn uitgewerkt in opdracht van en/of in samenwerking met RWS of het Ministerie van I&M.

Modeltoepassing	Uitgewerkt in opdracht van of relevant voor RWS of I&M in het kader van:
Individu – energiebehoefte en Dynamic Energy Budget (DEB-)modellen	
DEB-modellen voor schelpdieren	MEP zandwinning LaMer
Energiemodel EIDER voor duikeenden	EVA-II (voor EL&I, i.s.m. RIKZ en RIZA)
Energiemodel spiering	ANT IJsselmeer
Populatie – enkele soort	
Zalm in de Maas	Vergunning waterkrachtcentrale (voor Provincie Limburg, mede gebruikt door RWS i.v.m. Waterwet)
Gemeenschap – eenvoudige predator-prooi modellen	
Geen (wel geschikt!)	
Complexe, grootte-gestructureerde predator-prooi-modellen	
OSMOSE-IJsselmeer	ANT-IJsselmeer
Complexe voedselweb modellen	
EcoWasp-Waddenzee	EVA-II (voor EL&I, i.s.m. RIKZ en RIZA); zandwinning Nederlandse kustzone
EcoWasp-IJsselmeer	ANT-IJsselmeer
Verspreiding – habitatgeschiktheid	
Wadvogelvoerageergebieden Westerschelde	Effecten van ingrepen i.v.m. MER en Vogelrichtlijn
Cumulatie – van effecten	
Cumuleo_RAM	Effect van menselijke activiteiten op ecosysteeminidiatoren
Onderzoek-afbakeningsmodellen (fase I modellen)	
Geen (wel geschikt, zie Deltares, 2015)	

5.3 Geschiktheid IMARES-modellen voor (ontwikkeling,) beheer en onderhoud

Zoals in paragraaf 3.1 aangegeven is hebben we *relatief eenvoudige* en *complexe modellen* onderscheiden.

5.3.1 Niet geschikt voor beheer en onderhoud

De meeste IMARES modellen betreffen specifieke uitwerkingen van modelcodes die ad-hoc worden opgesteld. Dit betreft met name de habitatgeschiktheidsmodellen, de verschillende subtypen van populatiemodellen en zou van toepassing kunnen zijn op de bio-energetische modellen. Daarbij is het vooral belangrijk dat de modelcode goed beschreven en gepubliceerd is (en geaccepteerd wordt). Voor de meeste van de betreffende modelcodes is een originele basis modelcode in principe goed beschreven (meestal gepubliceerd; zie Tabel 1). Het is vervolgens maatwerk om deze generieke modelcode voor een specifieke vraag (soort, situatie, gebied) te implementeren. Het is niet zinvol de reeds gepubliceerde modelcodes in onderhoud te nemen; hiervoor kan eenvoudig naar de desbetreffende literatuur worden verwezen. Het lijkt evenmin zinvol alle modeltoepassingen in onderhoud te nemen, juist omdat die specifiek zijn (voor een bepaald gebied, een bepaalde doelsoort) en de toepassingen vaak gericht zijn op de aard van de beschikbare gegevens. Maar zie de volgende paragraaf.

5.3.2 Nut voor beheer en onderhoud onzeker

In aansluiting op de vorige paragraaf is het mogelijk wel zinvol de onderliggende generieke modelcode en de bij de uitwerkingen gemaakte parameterisaties en gebruikte datasets goed te archiveren en beheren. Het is interessant om te onderzoeken of beheer en onderhoud van deze codes, parameterisaties en datasets iets toevoegt. Daarbij is dan de idee dat beheer en onderhoud noopt tot structureren van vooral de codes en de parameterisaties. Vervolgens zouden nieuwe toepassingen op vergelijkbare wijze als eerdere toepassingen uitgewerkt kunnen worden, waardoor mogelijk sneller resultaten worden verkregen. Het is op voorhand onduidelijk of structureren door beheer en onderhoud inderdaad voordelen biedt; of dat juist de vastgelegde structuren noodzakelijke vrijheid in de modeltoepassingen belemmeren.

De door IMARES opgestelde DEB-modellen en stage-based biomass-modellen zijn wat ons betreft een twijfelgeval voor wat betreft het nut voor beheer en onderhoud, vooral omdat de toepassingen steeds op nieuw moeten worden opgesteld. Daar staat tegenover dat het mogelijk wel zinvol is de uitwerkingen in beheer en onderhoud te nemen, omdat de gebruikte parameterinstellingen van belang kunnen zijn voor toekomstige toepassingen. Het aantal soorten waarvoor beheervragen zijn is immers toch enigszins overzichtelijk; vaak gaan de beheervragen over dezelfde soorten, de zgn. habitatsoorten.

Ook de habitatmodellen zijn wat ons betreft een twijfelgeval. Deltares en anderen ontwikkelen en gebruiken ook habitatmodellen. Zonder goede kennis over en inzicht in de habitatgeschiktheidsmodellen van anderen valt in het kader van het voorliggende rapport niets zinnigs te zeggen over of en vooral in hoeverre die modellen van elkaar verschillen. Ook voor de habitatmodellen is het interessant om te onderzoeken of beheer en onderhoud van de gebruikte codes, parameterisaties en datasets nuttig is. Het verdient in dat geval wel de aanbeveling eventueel beheer en onderhoud samen met andere relevant partijen, in het bijzonder Deltares, gezamenlijk op te zetten.

5.3.3 Geschikt om in beheer en onderhoud te nemen: EcoWasp, en wellicht OSMOSE.

EcoWasp Waddenzee (WZ). Afhankelijk van de vraagstelling kan EcoWasp-WZ vrijwel ongewijzigd toegepast worden (ook op andere getijdengebieden), al is tot nu wel vaak gebleken dat specifieke vragen toch aanpassingen in de code vereisten: hetzij in de uitvoer (hoe en wat wordt opgeslagen), hetzij in de procesbeschrijvingen (zoals bijvoorbeeld bij de MZI-simulaties (Brinkman, 2013), waar het bestaan van MZI's moest worden ingebouwd). Een andere belangrijke voorwaarde voor eventuele opname in het

modelinstrumentarium betreft het versiebeheer. Dat is tot op heden niet goed georganiseerd en zal moeten worden aangepast.

EcoWasp IJsselmeer (IJM). De toepassing is op dit moment die van een pilot-studie, en vraagt nadere uitwerking (en verdere kalibratie).

OSMOSE Noordzee (NZ / IJM) Op dit moment is er een voorbehoud, omdat voor toepassingen nog verdere afregeling vereist is. Maar het model heeft zeker potentie. Wij zien ook mogelijkheden om OSMOSE in combinatie met EcoWasp te laten draaien; er zijn nog wel aanpassingen nodig om ervoor te zorgen dat beide modellen –via datafiles– met elkaar kunnen communiceren.

5.3.4 Inzetbaarheid

De meeste methodieken zijn op korte termijn inzetbaar voor nieuwe vragen. Betreft het een toepassing op nieuwe situaties, dan betekent dit wel dat een aanloopfase nodig is, waarin gegevens met betrekking tot die nieuwe situatie verzameld moeten worden. EcoWasp en OSMOSE zijn toepasbaar op allerlei watersystemen zolang er voldoende gegevens beschikbaar zijn. Voor rivieren of beken zijn beide modellen momenteel niet ingericht; EcoWasp is evenmin geschikt voor stratificerende systemen (het is in principe wel mogelijk, maar dat vergt aanpassingen in de code).

Ook is in principe uitlevering aan derden mogelijk. Dit zal echter goed begeleid moeten worden door de desbetreffende ontwikkelaars of modellers, vanwege het tot nog toe ontbreken van een gestandaardiseerde archivering van de modeltoepassingen.

5.4 Aanbevelingen

Wij hebben in deze rapportage aangegeven welke methodieken, modellen en modeltoepassingen er bij IMARES in 2014 aanwezig zijn, waarbij het niet ondenkbaar is dat er nog enkele omissies zijn waar het methodieken/technieken betreft. Dergelijke ontwikkelingen gaan immers voortdurend door. Wij hebben ook aangegeven welke modellen naar ons idee geschikt zijn voor opname in beheer en onderhoud door Rijkswaterstaat.

In een vervolg op de nu uitgevoerde inventarisatie is het zaak de condities te bepalen waaronder opname in BOO gerealiseerd kan worden, evenals de acties die dan nog ondernomen moeten worden. Hierbij denken we onder meer aan de organisatie van het versiebeheer en de beschrijving van in- en uitvoer, én van het type vragen dat met behulp van het betreffende model kan worden beantwoord. Ook allerlei praktische zaken dienen daarbij nog geregeld te worden (zoals waar modellen komen te staan). Ons dunkt dat zowel op de IMARES-website als op de website van de Helpdesk Water (waar ook de Deltares modelontwikkeling en -toepassingen te zien zijn) een up-to-date overzicht van de beschikbare modellen kan worden geplaatst. Dit is momenteel nog niet het geval; dit zal moeten worden ingericht.

Tenslotte lijkt het ons zinvol dat (mogelijke) beheervragen van Rijkswaterstaat geïdentificeerd en geformuleerd worden. Aan de hand daarvan kunnen eventueel keuzes worden gemaakt welke programma's/modellen aandacht/aanvulling vereisen, en/of bij welke programma's binnen IMARES het zinvol is verdere ontwikkelingen op te starten.

Referenties

- Andersen, K.H. & Pedersen, M. 2010. Damped trophic cascades driven by fishing in model marine ecosystems. *Proc. R. Soc. B* 277: 795-802.
- Beare, D., Rijnsdorp, A.D., Van Kooten, T., Fock, H., Schroeder, A., Kloppman, M., Witbaard, R., Meesters, E., Schulze, T., Blaesbjerg, M., Damm, U. & Quirijns, F. 2010. Study for the Revision of the plaice box – Draft Final Report. IMARES rapport C002/10.
- Bierman, S.M., Tien, N., Van de Wolfshaar, K.E., Winter, H.V. & De Graaf M. 2012. Evaluation of the Dutch Eel Management Plan 2009-2011. IMARES report C067/12.
- Brinkman, A.G. 1993. Biological processes in the EcoWasp ecosystem model. IBN Research Report, Wageningen 93/6.
- Brinkman AG, Dankers NMJ & Van Stralen MR. 2002 An analysis of mussel bed habitats in the Dutch Wadden Sea. *Helgol. Marine Research*
- Brinkman AG, Bult T. 2002 Geschiede eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het ontstaan van stabiele natuurlijke mosselbanken. *Alterra rapport 456*
- Brinkman AG. 2005. Possible ecosystem effects of changing nutrient loads and silt content of the western Dutch Wadden Sea, an EcoWasp simulation. *Alterra-Texel Work document*
- Brinkman, A.G. 2012. Zandwinning in de Nederlandse kustzone 2013-2017 en biologische productie in de westelijke Waddenzee, een modelstudie. IMARES rapport C087/12.
- Brinkman, A.G. 2013. Modelling the effects of mussel seed collectors on the Wadden Sea ecosystem. Wageningen, IMARES rapport C061/13.
- Brinkman, A.G. 2015 (In prep.) A new habitat suitability map for intertidal mussel beds in the Dutch Wadden Sea.
- Brinkman, A.G. & Ens, B.J. 1998. Effecten van bodemdaling in de Waddenzee op wadvogels. IBN-report 371.
- Brinkman, A.G., Groenewold, S., Cremer, J.S., Dijkman, E.M. & Daan, R. 2001b. GIS bodemfauna Noordzee. Hoofdstuk 5.6 in "Perceel 4: Plankton, bodemdieren en ecologie van kust en zee". Rapport voor het Flyland Onderzoeksprogramma Luchthaven in Zee. Thema Mariene Ecologie en Morfologie. Consortium MARE.
- Brinkman, A.G., Smit, C.J., Cremer, J., Dijkman, E., Van Duin, W., Dankers, D., Dijkema, K., Dekker, R. & Craeymeersch, J. 2001b. Hoofdstuk 7.1 & 7.2 in "Perceel 7: Westelijke Waddenzee". Rapport voor het Flyland Onderzoeksprogramma Luchthaven in Zee. Thema Mariene Ecologie en Morfologie. Consortium MARE. pp315-337
- Brinkman, A.G. & Bult, T. 2002. Geschiede eulitorale gebieden in de Nederlandse Waddenzee voor het voorkomen van meerjarige natuurlijke mosselbanken. *Samenvatting. Alterra rapport 455.*
- Brinkman, A.G., Ens, B.J. & Kats, R. 2003. Modelling the energy budget and prey choice of eider ducks. *Alterra Wageningen NL. Alterra-rapport 839.*
- Brinkman, A.G. & Hermes, Y. 2003. Habitatmodel benthische fauna. Hoofdstuk 3.10a in: MARE-report "Effectketen Noordzee: slib, licht, primaire productie, algensoortensamenstelling, zoöplankton, benthos, vissen en vogels.
- Brinkman, A.G. & Smaal, A.C. 2003. Onttrekking en natuurlijke productie van schelpdieren in de Nederlandse Waddenzee in de periode 1976-1999. *Alterra rapport 888.*
- Brinkman AG & Jansen JM. 2007. Draagkracht en exoten in de Waddenzee. Wageningen IMARES Rapport C073/07, 34 pp.
- Brinkman, A.G. 2012. Zandwinning in de Nederlandse kustzone 2013-2017 en biologische productie in de westelijke Waddenzee, een modelstudie. IMARES rapport C087/12.
- Brinkman, A.G. 2013. Modelling the effects of seed mussel collectors on the western Dutch Wadden Sea ecosystem. IMARES report C061/13.
- Christensen, V. & Walters, C.J. 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling* 172: 109–139.

- Clark, C.W. & Mangel, M. 2000. *Dynamic state variable models in ecology: Methods and applications*. Oxford University Press, Oxford, UK. 289 pp.
- Craeymeersch, J. 2001. Beschrijving Spisula. Hoofdstuk 5.4 in "Perceel 4: Plankton, bodemdieren en ecologie van kust en zee". Rapport voor het Flyland Onderzoeksprogramma Luchthaven in Zee. Thema Mariene Ecologie en Morfologie. Consortium MARE. pp 220-247.
- De Mesel, I., Craeymeersch, J., Schellekens, T., Van Zweeden, C., Wijsman, J., Leopold, M., Dijkman, E. & Cronin, K. (Deltares) 2011. Kansenskaarten voor schelpdieren op basis van abiotiek en hun relatie tot het voorkomen van zwarte zee-eenden. IMARES rapport C042/11.
- De Roos, A.M., Schellekens, T., Van Kooten, T., Van De Wolfshaar, K., Claessen, D. & Persson, L. 2008. Simplifying a physiologically structured population model to a stage-structured biomass model. *Theoretical Population Biology* 73: 47–62.
- De Vries, P., Tamis, J.E., Van der Wal, J.T., Jak, R.G., Slijkerman, D.M.E. & Schobben, J.H.M. 2011. Scaling human-induced pressures to population level impacts in the marine environment. Implementation of the prototype CUMULEO-RAM model. WOt-werkdocument 285.
- De Vries, P., Tamis, J.E., Van der Wal, J.T., Jak, R.G., Slijkerman, D.M.E. & Schobben, J.H.M. 2012. Scaling human pressures to population level impacts in the marine environment. Implementation of the prototype CUMULEO-RAM model. WOt-paper 14.
- Deerenberg, C., Heinis, F. (HWE) & Jongbloed, R.H. 2011. Passende Beoordeling Boomkorvisserij op vis in de Nederlandse kustzone (5 delen). IMARES rapport C130/11.
- Deerenberg, C., Machiels, M.A.M., Van Kooten, T., Van der Sluis, M.T. & Pajmans, A.J. 2012. Beoordelingssystematiek beschermde vissoorten van de Grensmaas. IMARES rapport C071/12.
- Deltares. 2013. Beheer en Onderhoud en Ontwikkeling Modelinstrumentarium Waterkwaliteit en Ecologie Rijkswateren 2013. Deltares rapport 1207726-000-ZKS-0004.
- Deltares. 2014. Voorstel voor B&O en Ontwikkeling Waterkwaliteitsmodelschematisaties Rijkswateren 2014. Deltares rapport 1209459-000-ZKS-0004.
- Deltares. 2015. Mogelijkheid voor modelmatige voorspelling van ecologische doelvariabelen uit KRW, KRW en Natura 2000. Deltares rapport 1209459-000-ZKS-0021.
- Ens, B.J. & Kats, R.K.H. 2004. Evaluatie van voedselreservering voor eidereenden in de Waddenzee-rapportage in het kader van EVA-II deelproject B2. Alterra-rapport 931.
- Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkman, E.M., Meesters, H.W.G., Kersten, M., Brenninkmeijer, A. & Twisk, F. 2005. Modelling the distribution of waders in the Westerschelde. Alterra rapport 1193.
- Herman, P.M.J., Wirtz, K.W., Hofmann, A., Holstein, J., Kotzur, S. & Soetaert, K. 2005. EcoWasp Audit report. Alterra, Texel.
- ICES. 2012. Implementation of RGLIFE advice on Data Limited Stocks. ICES CM 2012/ACOM:68
- Jak RG, Kaag NHBM, Schobben HPM, Scholten MCT, Karman CC, Schobben JHM. 2000. Kwantitative verstoring-effect relaties voor AMOEBE soorten. Report No. R99/429, TNOMEP, Den Helder
- Jongbloed RH, NMJA Dankers, AG Brinkman, JA van Dalssen, CJ Smit & JE Tamis (2006): Effecten van storten van baggerspecie in het Marsdiep. Een Passende Beoordeling ter onderbouwing van een aanvraag op basis van de Natuurbeschermingswet 1998. IMARES rapport C084/06/TNO rapport 2006-DH-R0313/B.
- Karman CC, Hartholt JG, Schobben JHM. 2001. Modelleren van effecten van gebruik – een beschrijving van de methodiek van het RAM-GIS model. Report No. R, TNO, Den Helder
- Karman CC, Schobben HPM. 1995. RAM Onzekerheidsanalyse: een beschrijving van de methode. Report No. R95/242, TNO-MEP, Den Helder
- Kater, B. J., Brinkman, A., Baars, J. & Aarts, G. 2004. Kokkelhabitatkaarten voor de Oosterschelde en Waddenzee. Eindrapport EVA-II deelproject H3 (Evaluatie Schelpdiervisserij tweede fase). RIVO Rapport C060/03.
- Knights, A.M., Piet, G.J., Jongbloed, R.H., Tamis, J.E., White, L., Akoglu, E., Boicenco, L., Churilova, T., Kryvenko, O., Fleming-Lehtinen, V., Leppanen, J-M., Galil, B.S., Goodsir, F., Goren, M., Margonski, P., Moncheva, S., Oguz, T., Papadopoulou, K.N., Setälä, O., Smith, C.J., Stefanova, K., Timofte, F.

- & Robinson, L.A., 2014(accepted) An exposure-effect approach for evaluating ecosystem-wide risks from human activities. ICES Journal of Marine Science.
- Kooijman, S.A.L.M., 1986. Energy budgets can explain body size relations. J. theor. Biol. 121: 269-282.
- Lindeboom, H.J., Brinkman, A.G., Van Oostenbrugge, H., Rijnsdorp, A.D. & Ruardij, P. 2007. Fosfaataddities om de visproductie te verhogen? IMARES rapport C036/07.
- Miller, D.C.M. & Poos, J.J. 2010. Ex post and ex ante evaluation of the long term management plan for sole and plaice in the North Sea (part 2): ex ante. IMARES rapport C104/10.
- Piet, G.J., Jongbloed, R.H., Knights, A.M., Tamis, J.E., Paijmans, A.J., van der Sluis, M.T., de Vries, P. & Robinson, L.A. (in prep.) Evaluation of ecosystem-based management strategies based on risk assessment. Biological Conservation.
- Poos, J.J., Bogaards, J.A., Quirijns, F.J., Gillis, D.M. & Rijnsdorp, A. D. 2010. Individual quotas, fishing effort allocation, and over-quota discarding in mixed fisheries. – ICES Journal of Marine Science 67: 323–333.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Schellekens, T. 2012. Groei en conditie van zwaardschede (*Ensis directus*, Conrad) tijdens en na geplande zandwinning in 2013-2017. Berekeningen voor het RWS. IMARES Rapport C088/12
- Schobben HPM, Karman CC, Schobben JHM, Jak RG, Kaag NHBM. 1996. Ecologische informatie over RAM-soorten - Schatting van populatiedynamische parameterwaarden. Report No. R96/210, TNO MEP, Den Helder
- Shin, Y.-J. & Cury, P. 2001. Exploring fish community dynamics through size-dependent trophic interactions using a spatialized individual-based model. Aquat. Living Resour. 14: 65–80.
- Shin, Y.-J. & Cury, P., 2004. Using an individual-based model of fish assemblages to study the response of size spectra to changes in fishing. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61: 414–431.
- Steenbergen, J & Meesters E. 2006; Habitatmodellen in het beheer: Zijn state-of-the-art modellen voor kokkels in de Westerschelde bruikbaar voor beheer en beleidsbesluiten. Wageningen IMARES Rapport C091/06
- Teal, L.R. & Van Keeken, O.A. 2011. The importance of the surf zone for fish and brown shrimp in The Netherlands; a literature review. IMARES rapport C054/11.
- Teal, L.R., Van Hal, R., Van Kooten, T., Ruardij, P. & Rijnsdorp, A.D. 2012. Bio-energetics underpins the spatial response of North Sea plaice (*Pleuronectes platessa* L.) and sole (*Solea solea* L.) to climate change. Global Change Biology 18: 3291–3305.
- Ten Brink, B., 1991. The Amoeba approach as a useful tool for establishing sustainable development? In: Kuik, O. & Verbruggen, H. (Eds.) In Search of Indicators of Sustainable Development. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Tien, N.S.H. & Miller, D.C.M. 2013. Vangstadviezen voor snoekbaars, baars, blankvoorn en brasem in het IJsselmeer en Markermeer. IMARES rapport C142/13.
- Travers, M., Shin, Y.-J., Jennings, S., Machu, E., Huggett, J.A., Field, J.G. & Cury, P.M. 2009. Two-way coupling versus one-way forcing of plankton and fish models to predict ecosystem changes in the Benguela. Ecological Modelling 220: 3089–3099.
- Troost, T.A., Wijsman, J.W.M., Saraiva, S. & Freitas, V. 2010. Modelling shellfish growth with dynamic energy budget models: an application for cockles and mussels in the Oosterschelde (southwest Netherlands). Phil. Trans. R. Soc. B 365: 3567–3577.
- Tulp, I., Van Damme, C., Quirijns, F., Binnendijk, E. & Borges, L. 2006. Vis in de Voordelta: nulmetingen in het kader van de aanleg van de tweede Maasvlakte. IMARES rapport C081/06.
- Van Bemmelen, R.S.A., Leopold, M.F. & Bos, O.G. 2012. Vogelwaarden van de Bruine Bank. Project aanvullende beschermde gebieden. IMARES rapport C138/12 juiste ref?
- Van de Wolfshaar, K.E., Hille Ris Lambers, R. & Gårdmark, A. 2011. Effect of habitat productivity and exploitation on populations with complex life cycles. Mar. Ecol. Prog. Ser. 438: 175–184.

- Van de Wolfshaar, K.E., Slijkerman, D.M.E., Benden, D.P.L.D. & Van Kooten, T. (2011, ongepubliceerd). OSMOSE – pilot resultaten. Ten behoeve van methode ontwikkeling voor KRM maatregelprogramma. IMARES rapport C183/11 (concept).
- Van de Wolfshaar, K.E., Schellekens, T., Poos, J.-J. & Van Kooten, T. 2012. Interspecific Resource Competition Effects on Fisheries Revenue. PLoS ONE 7(12): e53352.
- Van de Wolfshaar, K.E., Glorius, S. & Van der Sluis, M. 2012. Habitat suitability rules for the shallow coastal zone in The Netherlands. IMARES rapport C064/12.
- Van de Wolfshaar, K.E., Tien, N., Winter, H.V., De Graaf, M. & Bierman, S.M., 2014. A spatial assessment model for European eel (*Anguilla anguilla*) in a delta, The Netherlands. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems 412, 02.
- Van de Wolfshaar, K.E. (submitted). Stage based biomass model for studying the population effects of large juvenile plaice off shore movement.
- Van de Wolfshaar, K.E. (in prep). Bio-energetics model for resource dependent growth of 0+ smelt.
- Van Denderen, P.D. & Van Kooten, T. 2013. Size-based species interactions shape herring and cod population dynamics in the face of exploitation. Ecosphere 4: 130.
- Van Denderen, P.D., Van Kooten, T. & Rijnsdorp, A.D. 2013. When does fishing lead to more fish? Community consequences of bottom trawl fisheries in demersal food webs. Proc. R. Soc. B 280: 1883.
- Van Kooten, T. & Glorius, S.T. 2011. Modeling the future of the North Sea. An evaluation of quantitative tools available to explore policy, space use and planning options. WOt-werkdocument 277.
- Van Kooten, T. & Klok, C. 2011. The Mackinson-Daskalov North Sea EcoSpace model as a simulation tool for spatial planning scenarios. WOt-werkdocument 249.
- Van Leeuwen, A., De Roos, A.M. & Persson, L. 2008. How cod shapes its world. Journal of Sea Research 60: 89–104.
- Wijsman, J.W.M. 2011. Dynamic Energy Budget (DEB) parameters for *Ensis directus*. IMARES rapport C116/1.
- Wijsman, J.W.M. & Smaal, A.C. 2011. Growth of cockles (*Cerastoderma edule*) in the Oosterschelde described by a Dynamic Energy Budget model. Journal of Sea Research 66: 372–380.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A. & Smith, G.M. 2009. Mixed effect models and extensions in ecology with R. Springer Science, New York, USA.

Kwaliteitsborging

IMARES beschikt over een ISO 9001:2008 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem (certificaatnummer: 124296-2012-AQ-NLD-RvA). Dit certificaat is geldig tot 15 december 2015. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV Certification B.V. Daarnaast beschikt het chemisch laboratorium van de afdeling Vis over een NEN-EN-ISO/IEC 17025:2005 accreditatie voor testlaboratoria met nummer L097. Deze accreditatie is geldig tot 1 april 2017 en is voor het eerst verleend op 27 maart 1997; deze accreditatie is verleend door de Raad voor Accreditatie.

Verantwoording

Rapport: C006/15
Projectnummer: 430.520.7701

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van IMARES.

Akkoord: dr. D.M.E. Slijkerman
onderzoeker

Handtekening:



Datum: 25 maart 2015

Akkoord: drs. F.C. Groenendijk
Hoofd Afdeling Maritiem

Handtekening:



Datum: 25 maart 2015