

Onzekerheid en gevoeligheid van het CUMULEO-RAM model

Achtergronddocument bij rapport C078/13

Pepijn de Vries

Rapport C136/13



Foto titelblad: Oscar Bos

IMARES Wageningen UR

(IMARES - Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever:

Ministerie van EZ
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

BO-11-011.02-005

Publicatiedatum:

3 september 2013

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een instituut dat de benodigde kennis levert voor een geïntegreerde duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van zee en kustzones;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

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

© 2013 IMARES Wageningen UR

IMARES, onderdeel van Stichting DLO.
KvK nr. 09098104,
IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: 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.

A_4_3_1-V13

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Samenvatting	4
2. Inleiding	5
Achtergrond 5	
Probleemdefinitie	5
Doelstelling	5
Het CUMULEO-RAM model	6
3. Methode	8
Selectie van soorten	8
Onzekerheid in parameters	8
Onzekerheid in modeluitkomst	9
Gevoeligheid van het model voor verschillende parameters	9
Onzekerheid in de gevoeligheid van de parameters	10
4. Resultaten	11
Workshop	11
Onzekerheid in parameters	11
Onzekerheid in modeluitkomst	12
Gevoeligheid van het model voor verschillende parameters	15
Onzekerheid in de gevoeligheid van de parameters	17
5. Discussie	20
6. Conclusies	21
Referenties	22
Verantwoording	23

Samenvatting

Slijkerman *et al.* (2013) onderzocht welke instrumenten ingezet kunnen worden om een oordeel te vellen over effecten van ruimtelijke beschermingsmaatregelen op de zeebodemintegriteit van het Friese Front. Een van de onderzochte instrumenten is het CUMULEO-RAM model. Onderhavig rapport dient als technisch achtergronddocument bij het rapport van Slijkerman *et al.* (2013).

Het CUMULEO-RAM (voorheen alleen RAM genoemd) is oorspronkelijk ontwikkeld als instrument om de cumulatieve effecten van menselijk gebruik op een aantal indicatorsoorten in de Noordzee, de zogenaamde AMOEBE soorten (Ten Brink *et al.*, 1991), te berekenen. Na verloop van tijd ontving de methode toch de nodige kritiek (Kabuta en Duijts, 2000), vooral (parameter)onzekerheid zorgde voor onduidelijkheid.

In het CUMULEO-RAM model worden potentiële populatie effecten berekend via directe effecten op overleving en reproductie door middel van zogenaamde blootstellings-effect relaties. Potentiële populatie effecten worden uitgedrukt als de vervangingswaarde, welke is gedefinieerd als: "het aantal volwassen individuen dat verwacht wordt te worden voortgebracht door een geslachtsrijp individu gedurende zijn gehele levensduur" (Schobben *et al.*, 1996).

Om meer grip te krijgen op de consequenties van de parameterisering van het CUMULEO-RAM model en de daarmee samenhangende onzekerheden, is in huidige studie de onzekerheid in het CUMULEO-RAM model (als gevolg van onzekerheid in parameters) en de gevoeligheid van het model voor veranderingen in de parameters bestudeerd. De studie is ook bedoeld om een beter inzicht te krijgen in de gevoeligheid van verschillende typen bodemorganismen voor effecten van menselijk handelen.

Gebleken is dat de kalibratiestap in het CUMULEO-RAM model, zoals deze tot op heden geïmplementeerd is, overbodig is wanneer men alleen geïnteresseerd is in relatieve verschillen (bijvoorbeeld vergelijking van scenario's), omdat de *gevoeligheid* van het model niet verschilt wanneer met gemiddelde waarden of kalibratie waarden wordt gerekend. De *onzekerheid* in parameters is echter groot en leidt tot de nodige onzekerheid in modelberekeningen. Ondanks deze onzekerheid biedt het model onderscheidend vermogen tussen indicatorsoorten. Wanneer met specifieke soorten gerekend wordt, is het belangrijk rekening te houden met deze onzekerheid. Het kan ook een optie zijn om met een theoretische indicatorsoort te rekenen (met vaste parameterwaarden), welke een groep van soorten met specifieke populatie-dynamische eigenschappen vertegenwoordigt.

2. Inleiding

Achtergrond

Slijkerman *et al.* (2013) onderzocht welke instrumenten ingezet kunnen worden om een oordeel te vellen over effecten van ruimtelijke beschermingsmaatregelen op de zeebodemintegriteit van het Friese Front. Een van de onderzochte instrumenten is het CUMULEO-RAM model. Onderhavig rapport dient als technisch achtergronddocument bij het rapport van Slijkerman *et al.* (2013) en zal niet expliciet ingaan op de vraagstelling van Slijkerman *et al.* (2013).

Het CUMULEO-RAM (voorheen alleen RAM genoemd) is oorspronkelijk ontwikkeld als instrument om de cumulatieve effecten van menselijk gebruik op een aantal indicatorsoorten in de Noordzee, de zogenaamde AMOEBE soorten (Ten Brink *et al.*, 1991), te berekenen. Na verloop van tijd ontving de methode toch de nodige kritiek (Kabuta en Duijts, 2000), vooral (parameter)onzekerheid zorgde voor onduidelijkheid. In huidige studie is onderzocht wat de effecten zijn van deze parameteronzekerheid.

Schobben *et al.* (1996) hebben voor de zogenaamde AMOEBE soorten alle benodigde parameters verzameld. De parameters zijn dusdanig gekalibreerd (zoals beschreven door Schobben *et al.*, 1996) dat de vervangingswaarde gelijk is aan 1, aannemende dat de populatie dichtheid in evenwicht was. Kort samenvattend hebben zij parameterwaarden tussen minimum- en maximumwaarden gevarieerd en de set van parameterwaarden gekozen welke een vervangingswaarde van nagenoeg 1 geeft en de parameterwaarden ook nog zo dicht mogelijk bij hun meest waarschijnlijke waarden liggen.

Probleemdefinitie

Veel parameterwaarden zijn (erg) onzeker. Het is nu niet duidelijk wat deze onzekerheid betekent voor modeluitkomsten en het onderscheid tussen de modeluitkomsten (bijvoorbeeld bij het vergelijken van scenario's). Ook de gevoeligheid van het model is niet erg gedetailleerd bestudeerd. Een dergelijke studie kan het inzicht geven of het nuttig/zinvol is bepaalde parameters nauwkeuriger te schatten. Ook kan inzichtelijk worden gemaakt welke soorten het meest gevoelig zijn voor effecten op directe overleving, dan wel rekrutering, maar ook hoe zeker een dergelijk waardeoordeel is.

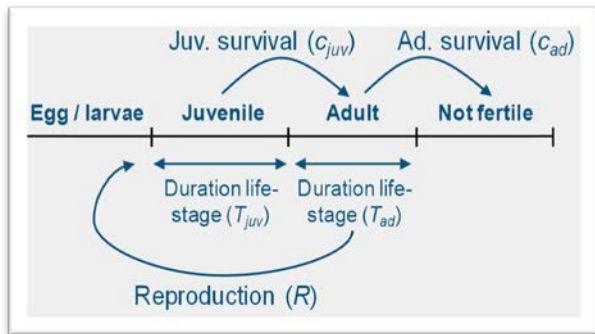
Doelstelling

Om meer grip te krijgen op de consequenties van de parameterisering van het CUMULEO-RAM model en de daarmee samenhangende onzekerheden is in huidige studie de onzekerheid in het CUMULEO-RAM model (als gevolg van onzekerheid in parameters) en de gevoeligheid van het model voor veranderingen in de parameters bestudeerd. De studie is ook bedoeld om een beter inzicht te krijgen van de gevoeligheid van verschillende typen bodemorganismen voor effecten van menselijk handelen.

Het CUMULEO-RAM model

In het CUMULEO-RAM model worden potentiële populatie effecten berekend via directe effecten op overleving en reproductie door middel van zogenaamde blootstellings-effect relaties (bijvoorbeeld: directe sterftekans in relatie tot de frequentie van bodemberoering). Potentiële populatie effecten worden uitgedrukt als de vervangingswaarde ('net reproductive rate', ook wel R_0 genoemd), welke is gedefinieerd als: "het aantal volwassen individuen dat verwacht wordt te worden voortgebracht door een geslachtsrijp individu gedurende zijn gehele levensduur" (Schobben *et al.*, 1996). Het wordt berekend door het totaal aantal juvenielen dat het volwassen levensstadium bereikt, gedeeld door het totaal aantal volwassenen in een populatie. Het kan worden gezien als een indicator voor populatiegroei. Wanneer de vervangingswaarde kleiner is dan 1, zal de populatie afnemen in grootte. De populatie zal groeien als de vervangingswaarde groter dan 1 is en zal stabiel blijven indien gelijk aan 1. Effecten van populatiedichtheid en migratie zijn in de gebruikte definitie niet meegenomen, waardoor werkelijke populatieontwikkelingen niet te voorspellen zijn met de huidige aanpak.

Levensstadia van een soort zijn gegeneraliseerd tot de volgende vier stadia: pre-juvenielen (van embryo tot juveniel), juvenielen (individuen die nog niet geslachtsrijp zijn), volwassenen (geslachtsrijpe individuen) en een onvruchtbaar (seniel) stadium. Dit laatste stadium wordt als irrelevant voor de populatie-dynamica beschouwd, aangezien ze geen nakomelingen meer voortbrengen en het maar een klein deel van de populatie vertegenwoordigt. Het pre-juveniele stadium speelt wel een belangrijke rol in populatie-dynamica. Echter, natuurlijke sterfte is doorgaans hoog in dit stadium (in het bijzonder voor soorten die groot aantal eieren produceren), maar tegelijkertijd ook vaak slecht gekwantificeerd. Daarom is ervoor gekozen om de reproductie (R) uit te drukken als het aantal juvenielen (dus niet pre-juvenielen) dat een volwassen individu per jaar voortbrengt.



Figuur 1. Levensstadia zoals onderscheiden in het CUMULEO-RAM model voor het berekenen van de vervangingswaarde.

Er wordt aangenomen dat de sterfte en reproductie voor alle individuen in een stadium gelijk is. Deze simplificatie is gedaan zodat het CUMULEO-RAM als generiek instrument kan worden ingezet voor een breed spectrum aan soorten, is deze leeftijdsverfijning niet geïmplementeerd.

Het aantal (uiteindelijk volwassen) individuen dat geproduceerd wordt door een volwassen individu, wordt bepaald door de gemiddelde levensduur van een volwassen individu, het aantal juvenielen dat een volwassen individu produceert per jaar (R) en de overleving. Dit kan als volgt worden uitgedrukt:

$$R_0 = \text{fractie juvenielen dat adulte levensstadium bereikt} \cdot \text{gemiddelde levensduur volwassene} \cdot R$$

Waar R_0 de vervangingswaarde is. De fractie van juvenielen dat het adulte levensstadium bereikt hangt af van de natuurlijke overlevingskans per tijdseenheid ('jaar' in huidige studie) (c_{juv}) en de duur van het juveniele stadium (T_{juv} in jaren):

$$c_{juv}^{T_{juv}}$$

De gemiddelde levensverwachting van volwassen individuen wordt beschreven door de integraal van adulte overleving als functie van de tijd:

$$\int_0^{T_{ad}} c_{ad}^t$$

Waar c_{ad} de fractie is dat jaarlijks overleeft onder natuurlijke omstandigheden. T_{ad} is de maximale levensduur van het volwassen levensstadium. Door alle termen nu te combineren kan de vervangingswaarde als volgt worden berekend:

$$R_0 = c_{juv}^{T_{juv}} \cdot R \cdot \int_0^{T_{ad}} c_{ad}^t$$

Door de integraal op te lossen ontstaat nu:

$$R_0 = c_{juv}^{T_{juv}} \cdot R \cdot \left(\frac{c_{ad}^{T_{ad}-1}}{\ln c_{ad}} \right)$$

Vergelijking 1

Aangezien de adulte overleving constant is gehouden voor alle leeftijden, kan het volgens deze methode zo zijn dat individuen nog in leven zijn, ook als de maximum leeftijd is bereikt. Wanneer individuen de maximale levensduur hebben bereikt, wordt verondersteld dat ze niet meer relevant zijn voor de populatie; dat wil zeggen dat ze sterven dan wel onvruchtbaar zijn geraakt.

3. Methode

Selectie van soorten

Het RAM model is ontwikkeld voor zogenaamde AMOEBE soorten (Ten Brink *et al.*, 1991). Dit zijn een aantal typerende Noordzee soorten die indertijd vanuit beleid als indicatorsoort werden gehanteerd. Aangezien het model voor deze soorten reeds geparameteriseerd is (Schobben *et al.*, 1996), is in de huidige analyse uitgegaan van deze lijst, maar met een verdere beperking tot bentische en een selectie van epibenthische soorten (Tabel 1).

Onzekerheid in parameters

In de oorspronkelijke RAM rapportage (Schobben *et al.*, 1996) zijn voor elke parameter een minimum (p_{min}), maximum (p_{max}) en een modus (p_{mod} , meest waarschijnlijke) waarde vastgesteld. Hoe de onzekerheid van de parameters statistisch is verdeeld tussen p_{min} en p_{max} is onbekend. Om toch met de onzekerheid in de parameters te kunnen simuleren moet hier een keuze in worden gemaakt. In huidige studie is gekozen voor de bètaverdeling, omdat deze zowel een uniforme als een belvormige verdeling kan beschrijven. In de standaardvorm wordt de bètaverdeling genoteerd als:

$$x \sim \text{Beta}(\alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)},$$

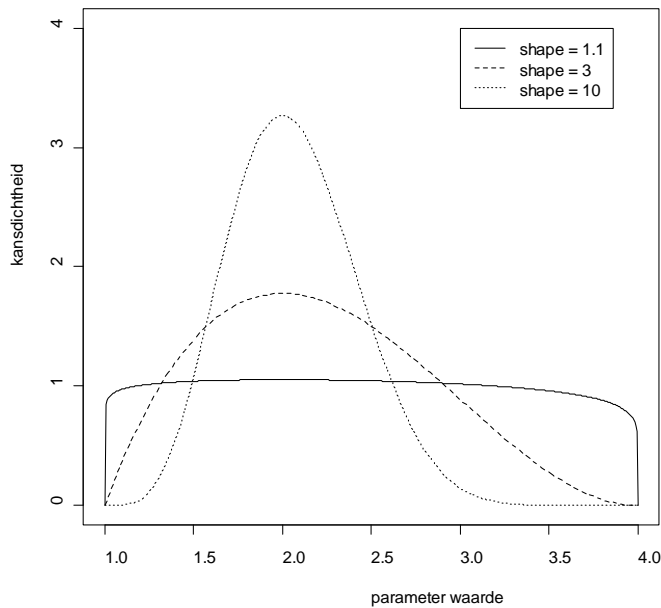
waar $B(\cdot)$ de zogenaamde bètafunctie is ($B(\alpha, \beta) = \int_0^1 t^{\alpha-1}(1-t)^{\beta-1} dt$). De waarde van x ligt in dit geval tussen de 0 en de 1. Om de kansverdeling te gebruiken voor een parameter waarde p (tussen de p_{min} en p_{max}), moet de functie als volgt worden aangepast:

$$p \sim \text{Beta}(\alpha, \beta) = \frac{\left(\frac{p-p_{min}}{p_{max}-p_{min}}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{p-p_{min}}{p_{max}-p_{min}}\right)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)},$$

De α en β parameter van de bètaverdeling worden zo gekozen dat de functie een minimale kansdichtheid heeft bij p_{min} en p_{max} en een maximale kansdichtheid bij p_{mod} . De α en β kunnen dan als volgt uit p_{min} , p_{max} en p_{mod} worden bepaald:

$$\alpha = s; \beta = 1, \text{ voor } \frac{(p_{mod} - p_{min})}{(p_{max} - p_{min})} = 1$$
$$\alpha = \left(\frac{(2-s)(p_{mod} - p_{min})}{(p_{max} - p_{min})} - 1\right) / \left(\frac{(p_{mod} - p_{min})}{(p_{max} - p_{min})} - 1\right); \beta = s, \text{ voor } \frac{(p_{mod} - p_{min})}{(p_{max} - p_{min})} > 1$$

De parameter s in deze vergelijking bepaalt de vorm van de kansdichtheidscurve. Als $s = 1$ resulteert dit in een uniforme kansverdeling. Dat wil zeggen dat elke waarde voor p (tussen p_{min} en p_{max}) een gelijke kans heeft om getrokken te worden uit de kansverdeling. Naar mate de waarde van s groter wordt dan 1, wordt het steeds waarschijnlijker om een waarde voor p te trekken die in de buurt van p_{mod} ligt. Dit gedrag van de bètaverdeling wordt geïllustreerd in Figuur 2.



Figuur 2. Een voorbeeld van de aangepaste bètaverdeling, voor een hypothetische parameter met $p_{min} = 1$, $p_{max} = 4$ en $p_{mod} = 2$. Voor elke waarde van s (shape) ligt de kansverdeling tussen p_{min} en p_{max} , met p_{mod} als meest waarschijnlijke waarde. Bij $s = 1.1$ is de kansverdeling nagenoeg uniform. Bij toenemende waarden voor s wordt de piek rond p_{mod} steeds smaller en hoger.

Simulaties zijn steeds uitgevoerd met de drie s -waarden zoals weergegeven in ($s = 1.1$, $s = 3$ en $s = 10$). Resultaten van simulaties worden steeds gescheiden per s -waarde gepresenteerd.

Onzekerheid in modeluitkomst

Om de onzekerheid in modeluitkomst te bepalen als gevolg van de onzekerheid in de parameters, is een zogenaamde Monte Carlo simulatie uitgevoerd. In deze simulatie wordt 10.000 maal willekeurig en onafhankelijk van elkaar parameterwaarden getrokken uit de hierboven beschreven statistische verdeling. De vervangingswaarde (R_0 , vergelijking 1) wordt voor elk van de 10.000 sets van parameters berekend. De spreiding in de berekende R_0 -waarden geeft informatie over de onzekerheid van het model als gevolg van onzekerheid in de parameterwaarden.

Gevoeligheid van het model voor verschillende parameters

Voor de gevoeligheidsanalyse wordt gebruik gemaakt van een zogeheten differentiaal analyse (Hamby, 1994). Een dergelijke analyse resulteert in gevoeligheidscoëfficiënt (ϕ_i) welke een ratio is tussen de verandering in input en de verandering in output:

$$\phi_i = \frac{\% \Delta Y}{\% \Delta X_i}$$

Met andere woorden als de ratio 1 bedraagt, dan betekent dit dat als parameter X_i met 1% toeneemt, ook de modeluitkomst (Y) met 1% toeneemt. Aangezien het model bestaat uit een expliciete algebraïsche vergelijking en als aangenomen wordt dat de parameters onafhankelijk van elkaar zijn, kan de coëfficiënt exact worden opgelost met behulp van de volgende partiële differentiaal vergelijking (Hamby, 1994):

$$\phi_i = \frac{\partial Y}{\partial X_i} \left(\frac{X_i}{Y} \right)$$

In woorden staat hier: de afgeleide van het model (Y) naar de betreffende parameter (X_i) vermenigvuldigt met de ratio tussen de absolute waarde van parameter X_i en het model Y . Specifiek voor het CUMULEO-RAM model (R_0 , vergelijking 1), kan hiermee de gevoeligheidscoëfficiënt voor elk van de parameters (R , c_{juv} , c_{ad} , T_{juv} en T_{ad}) als volgt worden berekend:

- $\phi_R = \frac{\partial R_0}{\partial R} \left(\frac{R}{R_0} \right) = \mathbf{1}$
- $\phi_{c_{juv}} = \frac{\partial R_0}{\partial c_{juv}} \left(\frac{c_{juv}}{R_0} \right) = \mathbf{T_{juv}}$
- $\phi_{c_{ad}} = \frac{\partial R_0}{\partial c_{ad}} \left(\frac{c_{ad}}{R_0} \right) = \left(\frac{-c_{ad}^{T_{ad}} + T_{ad} \cdot c_{ad}^{T_{ad}-1} \cdot \ln(c_{ad})}{(c_{ad}^{T_{ad}} - 1) \cdot \ln c_{ad}} \right)$
- $\phi_{T_{juv}} = \frac{\partial R_0}{\partial T_{juv}} \left(\frac{T_{juv}}{R_0} \right) = \mathbf{T_{juv} \ln c_{juv}}$
- $\phi_{T_{ad}} = \frac{\partial R_0}{\partial T_{ad}} \left(\frac{T_{ad}}{R_0} \right) = \mathbf{T_{ad} c_{ad}^{T_{ad}} \left(\frac{\ln c_{ad}}{c_{ad}^{T_{ad}} - 1} \right)}$

De gevoeligheidscoëfficiënt voor de meeste parameters is afhankelijk van de waarden van 1 of meer parameters. De gevoeligheidscoëfficiënt wordt per soort berekend voor in ieder geval de modi (meest waarschijnlijke waarden) van de parameters en voor de door Schobben *et al.* (1996) gekalibreerde parameters.

Onzekerheid in de gevoeligheid van de parameters

Net als voor het model zelf wordt ook met de gevoeligheidscoëfficiënten een Monte Carlo simulatie uitgevoerd. Aangezien de gevoeligheidscoëfficiënt aangeeft hoe sterk het model reageert op een verandering in een specifieke parameterwaarde, moet ook de onzekerheid van die parameterwaarden nog worden verdisconteerd in de onzekerheid van de gevoeligheidscoëfficiënt:

$$\frac{X_{i,sim}}{X_{i,mod}} \cdot \phi_{i,sim}$$

Vergelijking 2

Daarbij is $\phi_{i,sim}$ de waarde van ϕ_i bij een in de simulatie getrokken set parameterwaarden. $X_{i,sim}$ is de door simulatie getrokken waarde voor de parameter waarvan de gevoeligheid wordt bepaald en $X_{i,mod}$ is de meest waarschijnlijke waarde van diezelfde parameter. In het model behoeven de parameters waarvoor het het meest gevoelig is en deze gevoeligheid ook nog eens onzeker is de nodige aandacht.

4. Resultaten

Workshop

Voorlopige resultaten zijn besproken in een kleine interne workshop. Deelnemers waren Tobias van Kooten, Karen van de Wolfshaar, Diana Slijkerman en ondergetekende. In deze workshop zijn de voorlopige resultaten van huidige studie kritisch besproken, in context geplaatst en daar waar nodig aangepast. Resultaten van deze discussie zijn integraal uitgewerkt in onderhavig rapport en dat van Slijkerman *et al.* (2013).

Onzekerheid in parameters

Parameteronzekerheden zoals gegeven in Tabel 1 zijn overgenomen uit Schobben *et al.* (1996). In huidige studie zijn deze onzekerheidsgrenzen niet verder gevalideerd of bijgewerkt met recente data.

Tabel 1. Parameter (R , c_{juv} , c_{ad} , T_{juv} and T_{ad}) waarden en bereik zoals gegeven in Schobben *et al.* (1996). Gegeven zijn minimum (min), maximum (max) en meest waarschijnlijke (mod) waarde. De waarde na kalibratie (kal) zoals beschreven in Schobben *et al.* (1996) is ook gegeven. Waarden die een factor 2 of meer van de modi afwijken zijn vetgedrukt.

Soort	R (#/jaar)				c_{juv} (fractie/jaar)				c_{ad} (fractie/jaar)			
	min	max	mod	kal	Min	max	mod	Kal	min	max	mod	kal
Zeeklit	12	18	15	12.3	0.3	0.4	0.35	0.32	0.6	0.7	0.65	0.60
Garnaal	3	9	7	7.4	0.013	0.1	0.05	0.06	0.013	0.12	0.08	0.094
Zeekreeft	1000	3000	2000	2121	0.05	0.15	0.1	0.15	0.8	0.9	0.85	0.89
Standgaper	100	300	200	194	0.01	0.3	0.1	0.052	0.1	0.7	0.6	0.61
Nonnetje	1000	4000	2000	3880	5e-4	5e-3	1e-3	3e-4	0.3	0.7	0.5	0.64
Kokkelbank	300	3000	1000	309	0.01	0.1	0.05	0.02	0.8	0.95	0.95	0.94
Mossel	5000	12000	7500	6541	0	0.05	0.01	1e-4	0.4	0.7	0.6	0.49
Noord-kromp	1000	4000	2500	4009	0.3	0.4	0.35	0.389	0.85	0.95	0.9	0.93
Purperslak	750	2100	1500	1480	0.002	0.022	0.012	0.01	0.85	0.95	0.9	0.90
Draadworm	100	500	300	276	0.01	0.1	0.02	0.023	0.001	0.003	0.002	0.002
Goud-kammetje	5	15	10	9.7	0.1	0.5	0.4	0.34	0.001	0.1	0.05	0.041
Zeeanjelier	10	50	25	12.5	0.1	0.4	0.2	0.12	0.6	0.8	0.7	0.68

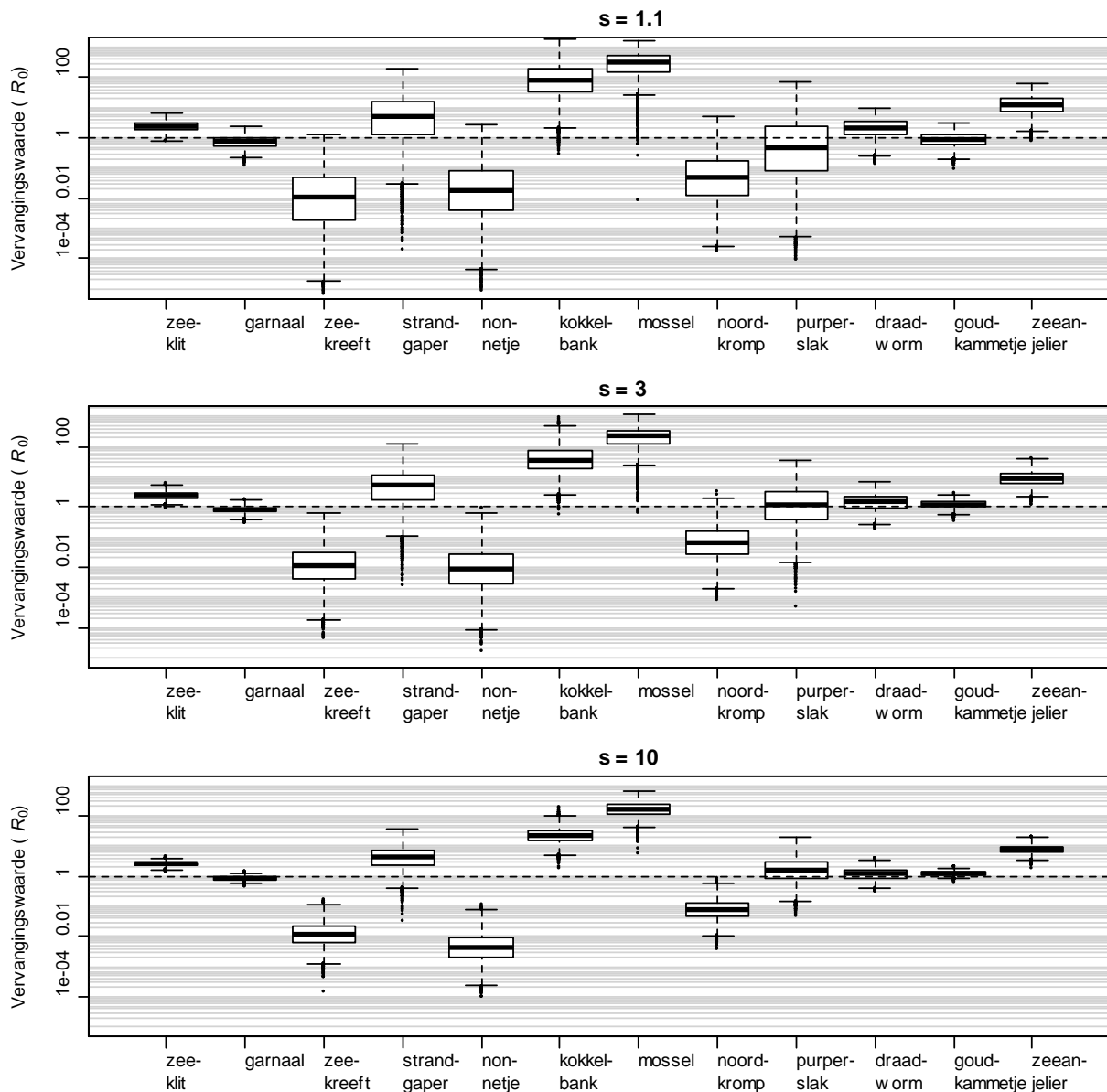
Soort	T_{juv} (jaar)				T_{ad} (jaar)			
	min	max	mod	kal	Min	max	mod	kal
Zeeklit	2	3	2.5	2.78	8	12	10	8.11
Garnaal	0.2	0.5	0.4	0.40	2.5	5	4	4.25
Zeekreeft	5	7	6	5.11	15	35	25	31.4
Standgaper	1	3	2	2.01	9	16	10	10.1
Nonnetje	1.5	2.5	2	1.57	5	8	5	5.65
Kokkelbank	1	2	2	1.96	8	12	8	9.41
Mossel	1	1	1	1	23	29	24	24.7
Noordkromp	10	15	12	11.3	90	110	100	95.9
Purperslak	1.5	3	2	2.08	3	30	25	24.1
Draadworm	0.9	1.1	1	1.01	1	2	1	1.03
Goud-kammetje	0.9	1.1	1	1.01	1	3	1	1.07
Zeeanjelier	0.5	1.5	1	1.34	2	4	2	2.12

Onzekerheid in modeluitkomst

De keuze van de vorm van de statistische verdelingscurve van de parameters (Figuur 2) heeft voor effect op de spreiding van de modeluitkomsten bij de Monte Carlo simulatie (Figuur 3). Een waarde van $s = 1.1$ (een nagenoeg uniforme verdeling van de parameterwaarden) geeft de meeste spreiding bij de simulatie.

Opvallend is dat de mediaan van de gesimuleerde vervangingswaarde veelal ver van de waarde 1 af ligt (Figuur 3). Dit terwijl Schobben *et al.* (1996) de parameters juist gekalibreerd heeft op een vervangingswaarde van 1. De gekalibreerde parameters vertegenwoordigen klaarblijkelijk veelal extreme waarden. Een oorzaak kan zijn dat de rijkwijdten van de parameters niet voldoende ruim zijn ingeschat. Echter, het is ook mogelijk dat de parameterwaarden zijn geschat op basis van een populatie die groeit of krimpt, en er dus ten onrechte vanuit is gegaan dat de populatie in evenwicht was (en dus geen vervangingswaarde van 1 heeft).

Doordat de kalibratiestap extreme parameterwaarden oplevert, ondanks het streven naar waarden zo dicht mogelijk bij de meest waarschijnlijke waarde, is dit niet het meest wenselijke uitgangspunt voor effectberekeningen. Het advies is om met de beste inschatting van de parameterwaarden te rekenen, de modus, waarbij ook de onzekerheid wordt gekwantificeerd (bijvoorbeeld met een Monte Carlo simulatie zoals in huidige studie).

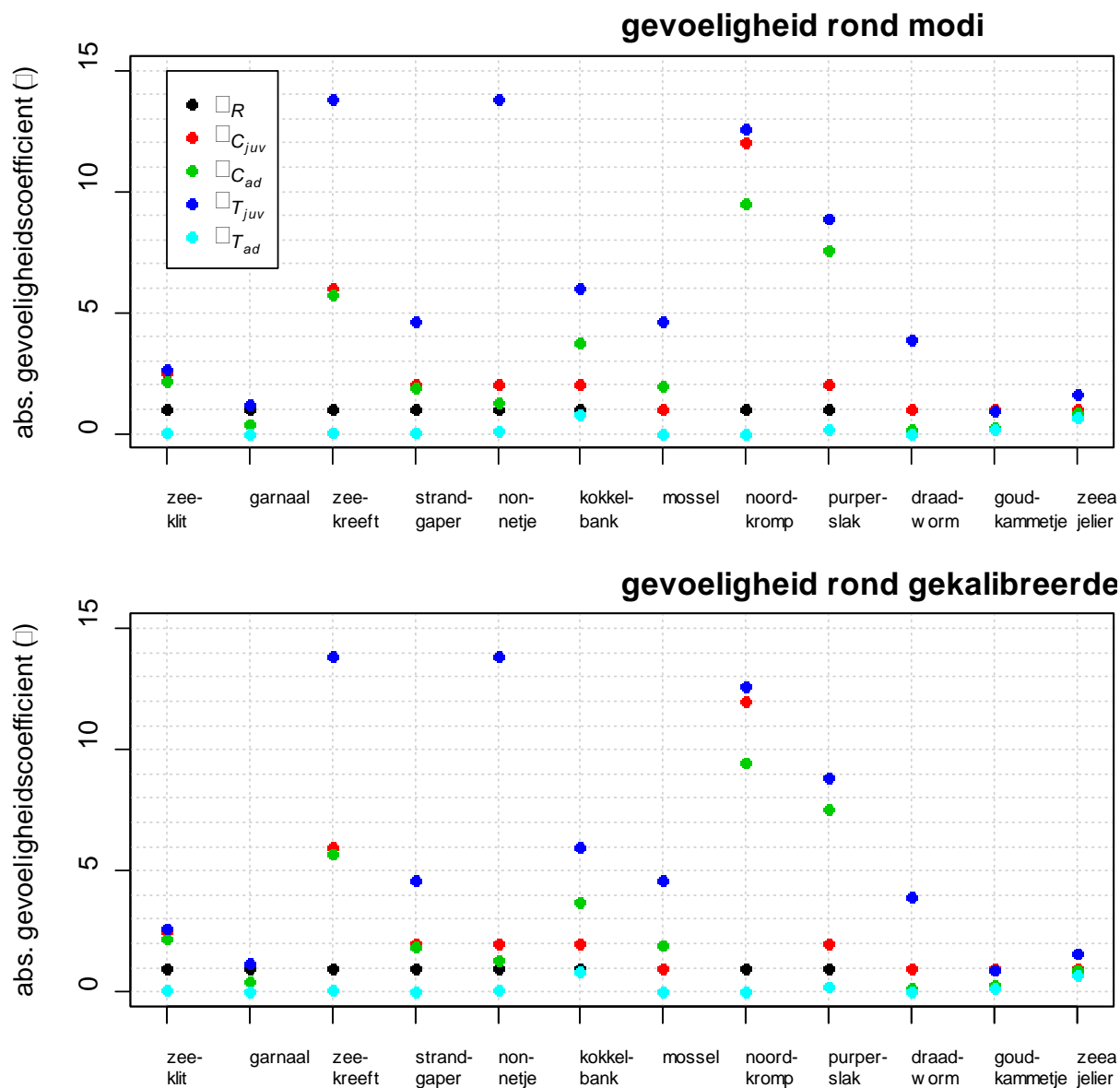


Figuur 3. Onzekerheid van de modeluitkomst (vervangingswaarde, R_0) als gevolg van onzekerheid in parameterwaarden. De spreiding in de boxplots is het resultaat van de beschreven Monte Carlo simulatie ($N = 10.000$). De dikke zwarte streep geeft de mediaan van de simulatieresultaten weer, de witte box geeft het eerste en derde kwartiel weer. De foutbalken geven de minimum en maximum resultaatwaarden (exclusief uitbijters: waarden buiten 1.5 maal de kwartielafstand), Uitbijters zijn als puntjes weergegeven. Resultaten zijn gegeven voor verschillende 'shape' waarden welke de verdeling van de parameters beschrijft (Boven $s = 1.1$, midden $s = 3$, onder $s = 10$). De stippellijn geeft de vervangingswaarde waarbij een populatie stabiel is en waar het model indertijd ook op gekalibreerd is.

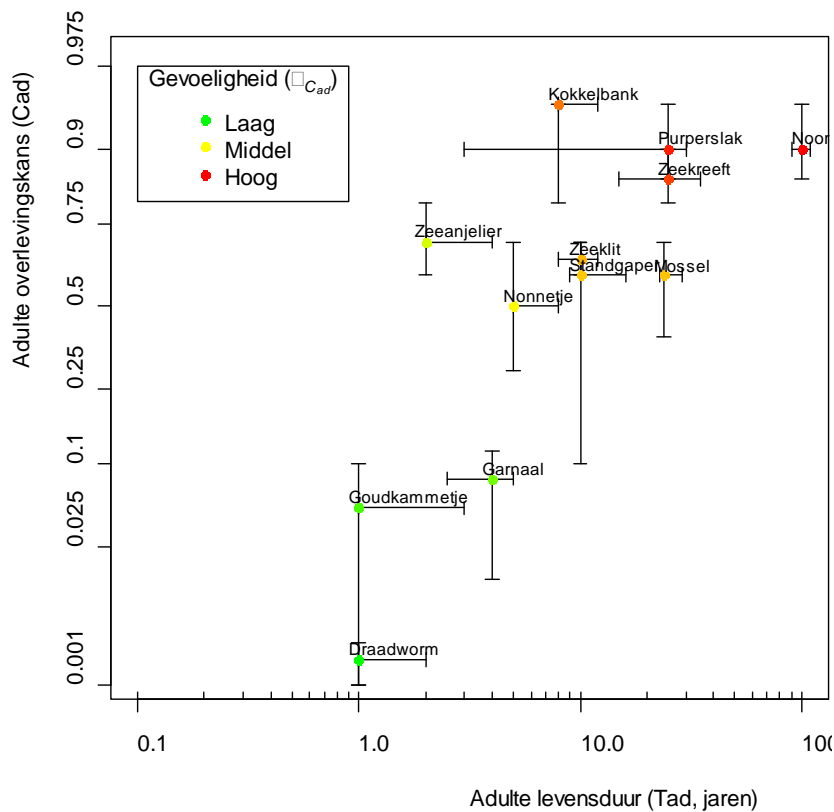
Gevoeligheid van het model voor verschillende parameters

Figuur 4 laat zien dat het model vooral gevoelig is voor veranderingen van de juveniele levensduur (T_{juv}). Dit betekent dat onzekerheden in deze parameter bepalend kunnen zijn voor modelberekeningen. Echter, de onzekerheid in deze parameter is vrij klein (doorgaans niet veel meer dan een factor 2 afwijking t.o.v. de modi, Tabel 1). Bovendien is dit een parameter waar effecten van menselijk gebruik niet op kunnen aangrijpen in het model; Dat zijn namelijk de reproductie (R) en overlevingskans (c_{juv} en c_{ad}). De gevoeligheid van het model voor de reproductie (R) is per definitie constant voor alle soorten (waarde 1 en niet afhankelijk van andere parameters). De gevoeligheid van het model voor c_{juv} en c_{ad} varieert sterk van soort tot soort en is afhankelijk van respectievelijk de waarde van c_{juv} , T_{juv} en c_{ad} , T_{ad} . Figuur 5 laat zien dat langlevende soorten doorgaans ook een grotere jaarlijkse overlevingskans hebben en dat deze ook gevoeliger zijn voor effecten op de overlevingskans. De Noordkromp is dan ook het meest gevoelig (op populatieniveau) voor directe effecten op de overlevingskans (bijvoorbeeld bodemberoerende visserij).

Wat verder opvalt in Figuur 4 is dat de gevoeligheid van het model weinig verschilt tussen gebruik van de modi van de parameters en gebruik van de gekalibreerde waarden van de parameters. Wanneer men alleen geïnteresseerd is in relatieve effecten zal het daarom waarschijnlijk niet veel uitmaken of men met de modi van de parameters werkt of met de gekalibreerde parameters.



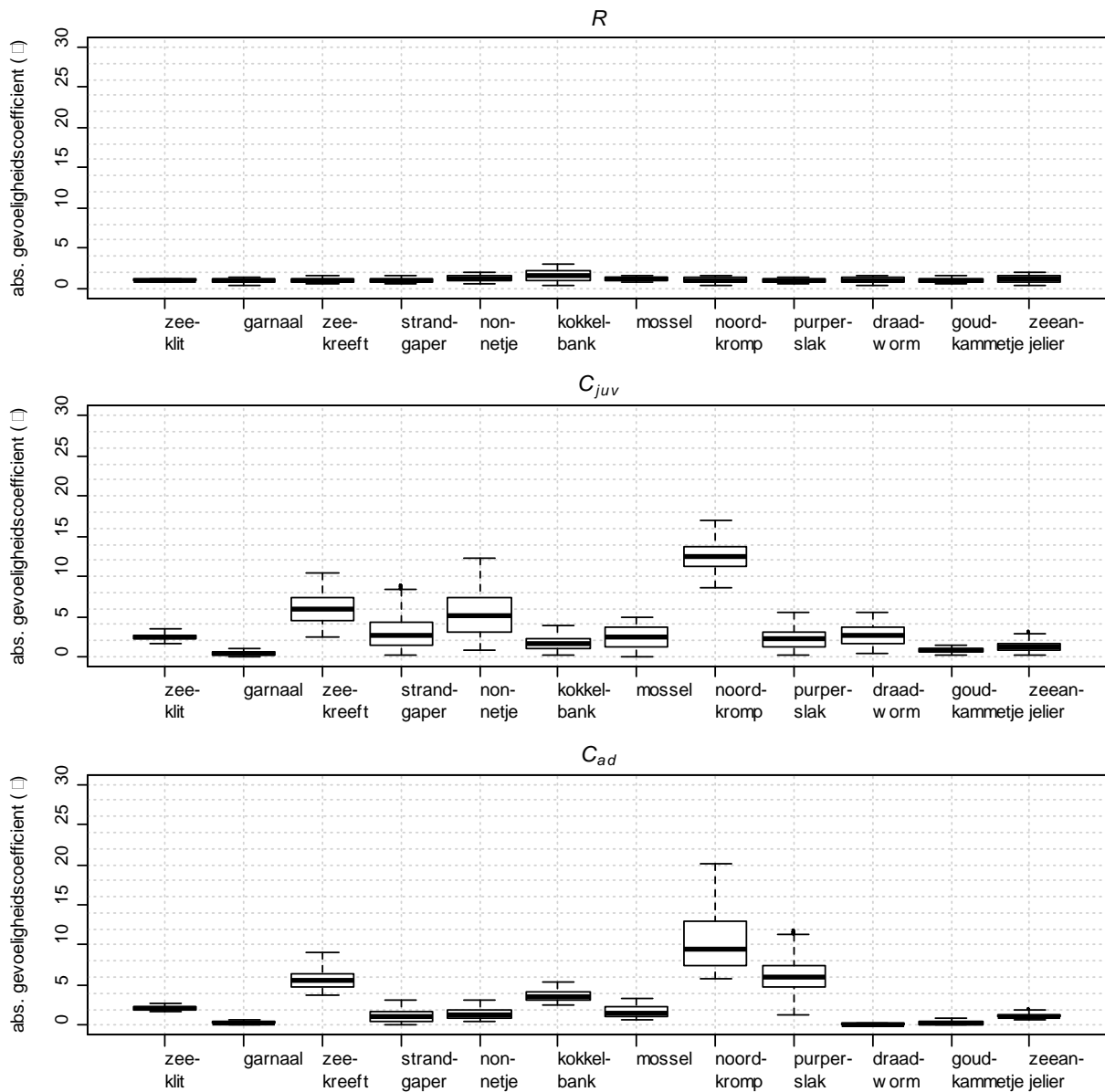
Figuur 4. Gevoeligheid van het model voor de verschillende parameters, uitgedrukt als de gevoeligheidscoëfficiënt ϕ (waarbij $\phi = 2$ inhoudt dat bij 1% toename van de parameterwaarde de modeluitkomst ook met 2% toeneemt). Gevoeligheid is berekend voor modi (meest waarschijnlijke waarden) van de parameters (boven) en de gekalibreerde parameters (onder).



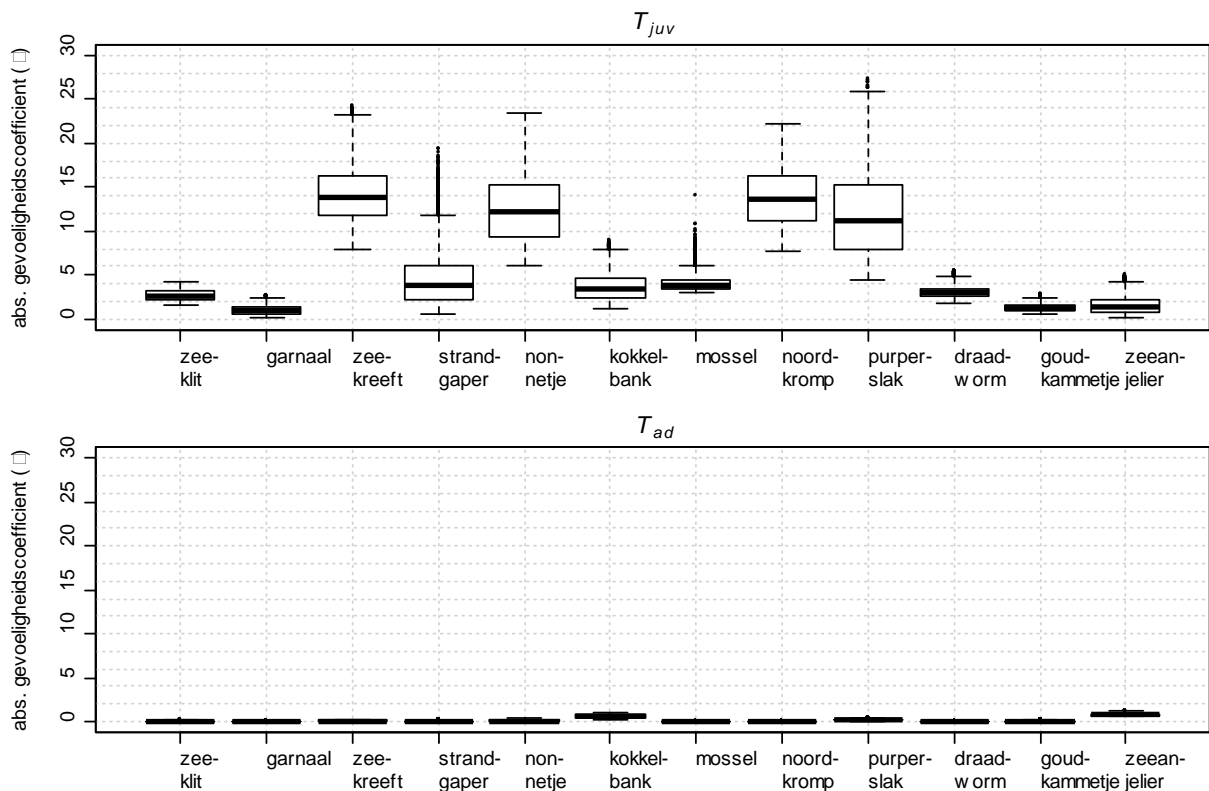
Figuur 5. Adulte levensduur (T_{ad}) (exclusief juveniele fase) in jaren tegen de overlevingskans per jaar van een adult individu (C_{ad}). Beide worden in het model gebruikt om de vervangingswaarde (R_0) te berekenen. De x-As is op logaritmische schaal, de y-as op normaal waarschijnlijkheidsschaal. Cirkels geven de meest waarschijnlijke parameterwaarden (modi), foutbalken geven de minimum en maximum waarden zoals vastgesteld door Schobben et al. (1996). Kleur van de cirkels geeft aan hoe gevoelig het model is voor een effect op de overlevingskans.

Onzekerheid in de gevoeligheid van de parameters

Ook de gevoeligheid van het model kent onzekerheid als gevolg van de onzekerheid van de parameterwaarden. Door middel van een Monte Carlo simulatie (vergelijking 2) is deze onzekerheid in kaart gebracht (Figuur 6). Hoewel de onzekerheid van parameterwaarden een aanzienlijke invloed heeft op de gevoeligheid van het model, blijkt het model wel in staat onderscheid te maken tussen soorten met verschillende populatie-dynamische eigenschappen (bijvoorbeeld langlevende (noordkromp) versus kortlevende (draadworm) soorten).



Figuur 6. Onzekerheid in gevoeligheid van het model voor de verschillende parameters (R , boven; C_{juv} , midden; C_{ad} , onder), zoals berekend met vergelijking 2. De spreiding in de boxplots is het resultaat van de beschreven Monte Carlo simulatie ($N = 10.000$). De dikke zwarte streep geeft de mediaan van de simulatieresultaten (vergelijking 2) weer, de witte box geeft het eerste en derde kwartiel weer. De foutbalken geven de minimum en maximum resultaatwaarden (exclusief uitbijters: waarden buiten 1.5 maal de kwartielfstand), Uitbijters zijn als puntjes weergegeven. Bij deze berekeningen is de statistische verdeling van de parameters nagenoeg uniform verondersteld ($s = 1.1$) aangezien dit de grootste spreiding in resultaten geeft (Figuur 3). (vervolg op volgende pagina.)



Figuur 6 (vervolg.) Onzekerheid in gevoeligheid van het model voor de verschillende parameters (T_{juv} , boven; T_{ad} , onder), zoals berekend met vergelijking 2. De spreiding in de boxplots is het resultaat van de beschreven Monte Carlo simulatie ($N = 10.000$). De dikke zwarte streep geeft de mediaan van de simulatieresultaten (vergelijking 2) weer, de witte box geeft het eerste en derde kwartiel weer. De foutbalken geven de minimum en maximum resultaatwaarden (exclusief uitbijters: waarden buiten 1.5 maal de kwartielfstand), Uitbijters zijn als puntjes weergegeven. Bij deze berekeningen is de statistische verdeling van de parameters nagenoeg uniform verondersteld ($s = 1.1$) aangezien dit de grootste spreiding in resultaten geeft (Figuur 3).

5. Discussie

In huidige studie is de onzekerheid van het model bestudeerd als gevolg van onzekerheid in parameterwaarden. Het is belangrijk om te beseffen dat een model meerdere bronnen van onzekerheid kent, waarvan de parameterwaarden een belangrijk aspect is. Een model is altijd een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Niet alle processen die in werkelijkheid plaatsvinden kunnen in een model worden gevat. Het ontbreken van bepaalde processen in een model (bijvoorbeeld de interactie tussen soorten, welke in CUMULEO-RAM ontbreekt) kan ook voor onzekerheid zorgen. Deze onzekerheid is echter lastig te kwantificeren. Ook bevat een model aannames, bijvoorbeeld over hoe processen verlopen. Ook aannames kunnen voor onzekerheden zorgen, die wederom lastig te kwantificeren zijn. Onderhavig rapport zal niet in detail ingaan op deze onderliggende aannames en bijhorende randvoorwaarden, een meer gedetailleerde beschrijving hiervan wordt gegeven door De Vries *et al.* (2011).

Bij de Monte Carlo simulatie zijn parameterwaarden onafhankelijk van elkaar getrokken uit een specifieke statistische verdeling. Echter, het is te verwachten dat de parameters niet geheel onafhankelijk zijn. Zo is bijvoorbeeld aannemelijk dat langlevende soorten ($T_{ad} + T_{juv} = \text{groot}$) een grotere overlevingskans hebben (zie ook Figuur 5). Wanneer parameters afhankelijk van elkaar zouden worden getrokken, zal de onzekerheid in modeluitkomst maximaal even groot zijn, maar waarschijnlijk zelfs kleiner. De huidige simulatie geeft in dat opzicht dus een overschatting van de modelonzekerheid.

Ook bij de gevoeligheid van het model speelt de afhankelijkheid van parameters een rol. Strikt genomen geldt de gevoeligheidscoëfficiënt zoals deze in huidige studie is berekend alleen wanneer de parameters onafhankelijk zijn. Het is mogelijk om de gevoeligheid van het model in een vervolgstudie te bepalen met een Monte Carlo simulatie, waarbij afhankelijkheid van de parameters wel wordt meegenomen. De verwachting is dat dit op hoofdlijnen dezelfde resultaten zal geven als de analytische bepaling van huidige studie.

6. Conclusies

De keuze voor de modi waarden voor parameters dan wel het kalibreren van de parameters blijkt nauwelijks effect te hebben op de gevoeligheid van het model. Het kalibreren van de parameters lijkt dus een overbodige kunstgreep te zijn. De onzekerheid in parameterwaarden is wel groot en leidt tot de nodige onzekerheid in modelberekeningen. Ondanks deze onzekerheid biedt het model onderscheidend vermogen tussen indicatorsoorten. Wanneer met specifieke soorten gerekend wordt, is het belangrijk rekening te houden met deze onzekerheid. Het kan ook een optie zijn om met een theoretische indicatorsoort te rekenen (met vaste parameterwaarden), welke een groep van soorten met specifieke populatie-dynamische eigenschappen vertegenwoordigt.

Referenties

- 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. Werkdocument 285. Wageningen UR, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen.
- Hamby D.M. (1994) A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32(2): 135-154
- Kabuta S.H., Duijts H. (2000) Graadmeters voor de Noordzee: Eindrapport van het project Graadmeterontwikkeling Noordzee (GONZ III). Rapport RIKZ/2000.022, Rijksinstituut voor Kust en Zee
- Schobben H.P.M., Karman C.C., Schobben J.H.M., Jak R.G., Kaag N.H.B.M. (1996) Ecologische informatie over RAM-soorten – Schatting van populatiedynamische parameterwaarden. Rapport R96/210, TNO MEP, Den Helder
- Slijkerman D.M.E., Bos O.G., Van der Wal J.T., Tamis J.E., De Vries P. (2013) Zeebodintegriteit en visserij op het Friese Front en de Centrale Oestergronden: Beschikbare kennis en 1^e uitwerkingen. Rapport C078/13, IMARES, Den Helder
- Ten Brink B.J.E., Hosper S.H., Colijn F. (1991) A quantitative method for description assessment of ecosystems: The AMOEBA-approach. *Marine Pollution Bulletin*, 23: 265-270

Verantwoording

Rapportnummer: C136/13

Projectnummer: 4308701007

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: Karen van de Wolfshaar
Onderzoeker

Handtekening: 

Datum: 3 september 2013

Akkoord: Floris Groenendijk
Afdelingshoofd

Handtekening: 

Datum: 3 september 2013