



Toepassingen primaire productie model Schelde

Doelstelling van deze notitie

De Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie (VNSC) ontwikkelt binnen 'Onderzoek en Monitoring' (O&M) kennis t.b.v. beleid op en beheer van het Schelde-estuarium. Het luik Natuurlijkheid levert kennis over het functioneren van het natuurlijke systeem en de gevolgen van ingrepen in het systeem hierop. In 2013 zijn onderzoeken afgesloten die gericht waren op (i) factoren die de productiviteit van het systeem beïnvloeden, (ii) habitatkarakteristieken voor bodemdieren en (iii) vogels waarvoor beleidsdoelstellingen zijn geformuleerd.

Deze notitie bespreekt het eerstgenoemde onderzoek. Dit leverde een modelsysteem op dat, binnen bepaalde randvoorwaarden, gebruikt kan worden voor scenariostudies naar effecten op de productiviteit, van menselijke ingrepen en van externe invloeden (zoals klimaatwijziging). De notitie bespreekt ook hoe verzamelde kennis en ontwikkelde instrumenten ingezet kunnen worden in ondersteuning van beleid en beheer en wat de prioriteiten voor kennisontwikkeling zijn.

Context en behoefte aan modelsysteem

Wat is Primaire Productie?

Primaire productie is de groei van organismen die via fotosynthese zonne-energie omzetten, ofwel algen en planten. Het is de basis van alle leven en daarmee voor natuurfuncties en ecosystemendiensten (w.o. visserij). In het Schelde-estuarium leveren ééncellige algen veruit de grootste bijdrage.

Primaire productie is niet hetzelfde als de hoeveelheid algen (biomassa), maar verwijst naar de hoeveelheid algen die per tijdseenheid wordt geproduceerd. Biomassa is de maat voor de hoeveelheid die aanwezig is. Er kan (b.v. in de Oosterschelde) weinig biomassa zijn, maar wel een grote productie. Grote populaties schelpdieren die de algen 'begrazen' houden daar, bij een hoge

primaire productie, de biomassa op elk moment toch laag. Ook zijn er systemen, met weinig grazers en veel nutriënten, waar zeer dichte bloeien van algen optreden en waar nauwelijks nieuwe algen bijkomen (vanwege bv. lichtbeperking). De productiviteit is daar juist heel laag.

Normstellingen

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) vereist dat alle Europese wateren zich tegen eind 2015 in een 'goede toestand' bevinden. Voor het Schelde-estuarium gelden hierom kwaliteitseisen t.a.v. ecologie (o.m. algen) en chemie (b.v. nutriënten). De KRW-doelstellingen voor algen zijn gebaseerd op biomassa en het voorkomen van algenbloeien en niet op primaire productiviteit. De eisen qua nutriëntenbelasting zijn vooral opgehangen aan stikstof (STOWA 2007). De KRW doelstellingen zijn afdwingbaar, want het niet halen ervan kan leiden tot boetes of ingrijpen in EU-subsidies.

Voor het Schelde-estuarium is een uitgebreidere statusbeschrijving en evaluatiemethodiek opgezet. De maatlatten van de KRW zijn hierin een van de uitgangspunten, maar er wordt op een veel uitgebreidere manier getoetst. Deze toetsing neemt ook parameters mee zoals de verhouding tussen biomassa en primaire productie van algen (de P:B ratio). Vanuit het oogpunt van ecosysteem-functioneren is een hoge productiviteit met een lage biomassa aan algen wenselijk. Dit betekent dat veel van de geproduceerde biomassa wordt weggegeten en dus beschikbaar kan komen voor vogels, vissen en zoogdieren.

Behoeft beleid en beheer aan (model)instrumenten

Om meerdere redenen is er behoefte aan scenariostudies waarin waterkwaliteit (slibhuishouding, zuurstof, nutriëntenhuishouding) en primaire productie in samenhang worden bekeken. Het doel ervan is inzicht te verkrijgen in oorzaken en gevolgen van de verschillende stuurfactoren.

Scenariostudies kunnen gericht zijn op de mogelijke effecten van ingrepen. Daarmee kan het verlenen of weerhouden van vergunningen voor bepaalde activiteiten worden onderbouwd. De studies kunnen ook helpen om de effecten van menselijke ingrepen af te zetten tegen grootschalige en externe processen die natuurlijk, of in elk geval moeilijk stuurbaar zijn, zoals klimaatverandering. Soms ligt de interesse in de primaire productie zelf (als beschikbaar voedsel voor dieren). Een studie kan echter ook gericht zijn op de hoeveelheid stikstof of fosfaat die vanuit de Schelde in de Noordzee terecht komt (en hoe die kan worden verminderd). De interesse kan ook liggen bij de beschikbaarheid van zuurstof, dat voor een belangrijk deel geproduceerd wordt door algen in het water. Veranderingen in de algengroei leiden vaak tot wijzigingen in de zuurstofhuishouding.

Dergelijke studies zijn alleen mogelijk met een geïntegreerd instrumentarium. Zoiets was nog niet beschikbaar voor het Schelde-estuarium, noch voor andere vergelijkbare systemen. Er zijn wel systemen beschikbaar die primaire productie kunnen voorspellen in ofwel een geheel zoet ofwel een geheel zout watersysteem. De moeilijkheid zit bij de overgang van zoet naar zout. Zowel voor de onderliggende slibmodellering als voor de primaire productiemodellering is het systeem erg complex. Voortbouwend op een modelsysteem dat zowel in zeewater als in rivieren en meren al uitgebreid gevalideerd was, is er nu wel een geïntegreerd systeem beschikbaar.

Factoren die de algengroei sturen

Belangrijkste mechanismen

Algengroei wordt bepaald door de beschikbare hoeveelheid nutriënten (stikstof, fosfaat en voor kiezelwieren ook silicaat) en door licht. In heldere zoute wateren en de open zee zijn nutriënten meestal beperkend. In troebele systemen zoals het Schelde-estuarium is meestal licht de beperkende factor. Dit varieert wel door het jaar heen. In veel systemen is in de winter licht beperkend en in de zomer nutriënten. In het Schelde-estuarium kunnen bodemalgen op intergetijdenplaten nutriëntbeperkt zijn, terwijl de algen in de waterkolom lichtbeperkt zijn.

De slibhuishouding is van invloed op zowel de beschikbare hoeveelheid nutriënten als het licht. Er moet hierbij onderscheid worden gemaakt tussen slib in de bodem en slib in het water. In het water is de relatie vaak simpel: meer slib = minder licht = minder productiviteit; tenminste, als het systeem al lichtbeperkt is. Als algenproductie in het systeem sterk beperkt is door gebrek aan nutriënten, of als andere factoren een beperking opleggen op de groei, zal (iets) minder licht weinig effect hebben.

Slib werkt anders door op benthische algen. In gebieden met vrij troebel water zoals de Schelde, zijn deze alleen productief als er erg weinig water op de plaat (of het slik) staat of als de plaat al vrijwel droog ligt. Dan is er amper lichtbeperking. Een zandige intergetijdenplaat houdt tijdens laag water geen water vast. Algen komen daar meteen droog te liggen en verdwijnen in de bodem. Een slikkige plaat houdt zowel water als nutriënten vast en is vaak veel productiever dan een zandige plaat.

Menselijke ingrepen en natuurlijke veranderingen

Menselijke activiteiten kunnen direct effect hebben op de factoren die de primaire productie sturen. Het baggeren en storten bijvoorbeeld, hebben effect op de morfologie en daarmee op de zand- en slibhuishouding van het systeem. De zoetwaterafvoer wordt beïnvloed bij stuwen en spuien of door ingrepen in de bovenstrooms liggende gebieden. Hierdoor veranderen saliniteit en nutriëntenbelasting. Er spelen tevens processen waar mensen weinig directe sturing op hebben maar die wel een grote impact kunnen hebben op het functioneren van de Schelde. Dit betreft b.v. zeespiegelstijging, wijzigingen in de neerslag en daarmee de zoetwaterafvoer van rivieren, veranderende golfbelasting en hogere temperatuur, factoren die een gevolg kunnen zijn van klimaatveranderingen.

Het primaire productiemodel

Basis

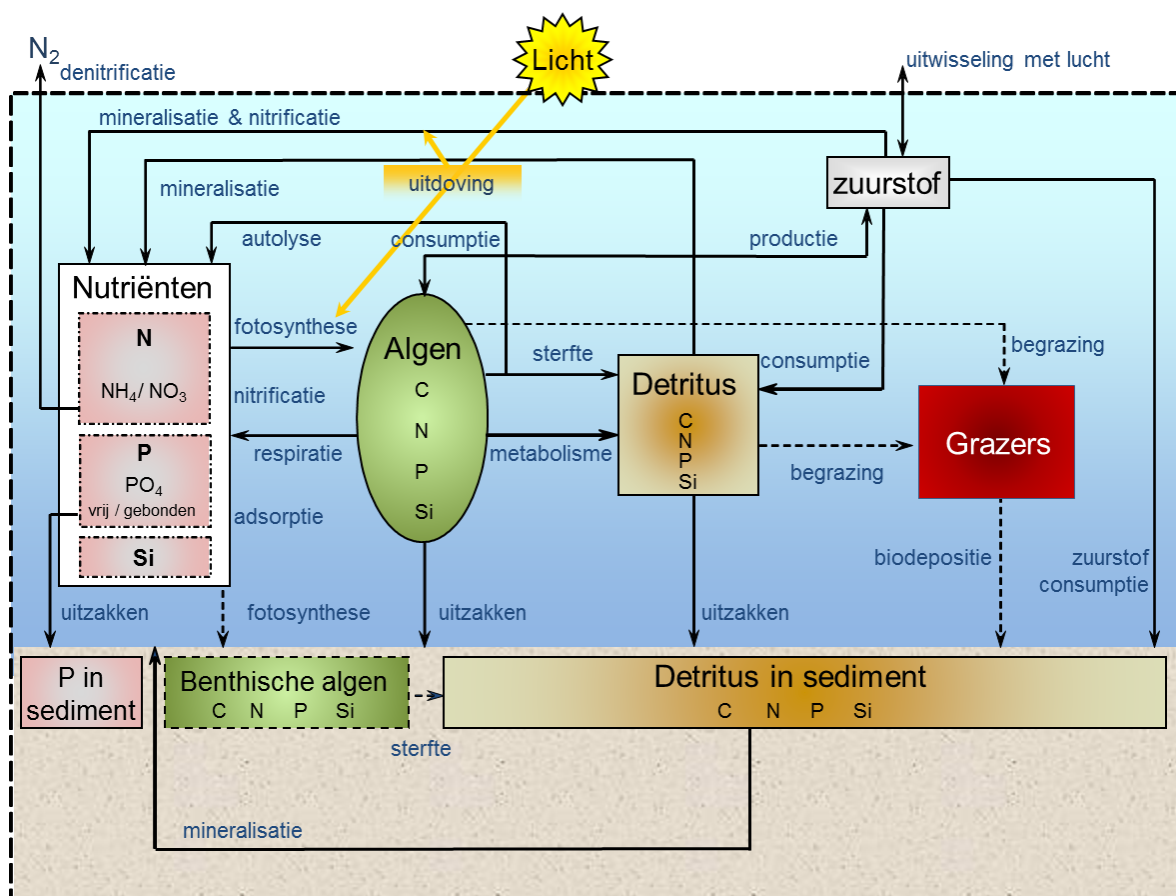
Voor de VNSC is een model ontwikkeld dat gebruikt kan worden voor het uitvoeren van scenariostudies naar effecten van autonome veranderingen en menselijke ingrepen op de productiviteit van het Schelde-estuarium. Het model omvat waterkwaliteit, algen en algenetende organismen (grazers) en is opgezet in de Delft 3D software suite. Het model is gebaseerd op een gedetailleerd model van de waterbeweging en strekt zich een stuk uit op de Noordzee.

Op het model van de waterbeweging is een slibmodel gebaseerd, met een minder gedetailleerd rooster (Van Kessel et al. 2011). Hiermee kan ook de uitdoving van licht berekend worden, zodat op elke diepte de hoeveelheid licht die algen krijgen voor fotosynthese bekend is.

Het waterkwaliteitsmodel, dat de uitwisseling van nutriënten en de primaire productie berekent, heeft een nog grover rooster. Dit is nodig om de rekestijd acceptabel te houden (de Kluijver et al. 2013). In de Zeeschelde en op de intergetijdenplaten is wel een relatief fijne resolutie nodig omdat daar sprake is van sterke gradiënten in diepte en lichtdoordringing. Het model heeft dus een gedifferentieerde aggregatie, met relatief grove cellen in het diepe deel van de Westerschelde.

Stoffen en algen

Het model bevat verschillende groepen algen, zowel in de waterkolom als op de bodem. De groepen hebben verschillende voorkeuren voor zoutgehalte, licht, nutriënten etc. Ook kunnen algen worden weggegeten door dieren in de waterkolom of op de bodem.



Figuur 1: Schematische voorstelling van het DelWAQ model waarin allerlei uitwisselingsprocessen geparameteriseerd zitten.

Figuur 1 geeft een schematische voorstelling van de verschillende componenten (de blokken) in het primaire productiemodel en de belangrijkste relaties en processen tussen de componenten (de pijlen en de blauwe labels). Het geeft een goede indruk van de complexiteit waarmee moet worden omgegaan. Voor alle aangegeven processen en relaties moeten beschrijvingen beschikbaar zijn en die zijn er niet in even goede mate. Bepaalde processen kunnen "aan" of "uit" gezet worden, al naar gelang het proces van belang is of dat er kennis over beschikbaar is. Het model kan daarmee ook helpen om te bepalen van welke belangrijke processen we (te) weinig kennis hebben.

Resultaten

Kwaliteit

Simulatie van lichtbeschikbaarheid en nutriënten

Binnen het model moet voor elke cel uitgerekend worden hoeveel licht er op die plek beschikbaar is voor fotosynthese. De uitdoving van licht in water wordt onder meer bepaald door de hoeveelheid slib in het water en de hoeveelheid algen. Lichtinstraling uit weersgegevens is goed bekend, maar het uitrekenen van de hoeveelheid licht die op een gegeven diepte beschikbaar is voor algen, is niet eenvoudig. Een onnauwkeurigheid in de voorspelling van het onderliggende slibmodel vertaalt zich meteen door in een fout in de modelvoorspelling van productiviteit.

We kunnen stellen dat lichtbeschikbaarheid en nutriënten in het zoute en het zoete deel met een behoorlijke nauwkeurigheid kunnen worden voorspeld. In het complexere brakke deel, met hoge gradiënten, is de prestatie minder goed. Er zijn daar op een paar locaties afwijkingen op gemiddelde waarden of op seizoenspatronen te zien.

Algen

Algen in de waterkolom kunnen ook met een redelijke nauwkeurigheid worden voorspeld. Ook hiervoor geldt dat in het brakke deel, waar ook de belangrijkste stuurfactoren minder goed voorspeld worden, de prestatie minder goed is. Het ruimtelijke beeld komt redelijk overeen met de waarden die verwacht mogen worden. Het is wel belangrijk om op te merken dat we alleen een uitspraak kunnen doen over de hoeveelheid algen die aanwezig is. Er zijn o.m. chlorofylmetingen beschikbaar waarmee we de modeluitvoer kunnen vergelijken. Er zijn echter voor de periode waarover de huidige modelsimulaties zijn uitgevoerd geen meetwaarden beschikbaar van productiviteit. Op dat punt kan het model dus nog niet gevalideerd worden.

Het model werkt nog niet voldoende voor algen op slikken en platen. De verhouding tussen benthische en pelagische primaire productie is te laag omdat het model de productiviteit op de platen onderschat. Het droogvallen en weer overstromen van het intergetijdengebied zijn belangrijke processen voor algengroei. Van deze processen ontbreekt voldoende kennis om ze goed te kunnen modelleren. Voor deze algen kunnen ook nutriënten in de bodem een belangrijke rol spelen. Daar wordt momenteel nog niet voldoende rekening mee gehouden. Voor deze groep algen kunnen alleen vrij grofstoffelijke uitspraken worden gedaan met dit model.

Zuurstof

Op de meeste plaatsen komen de gemodelleerde zuurstofconcentraties goed overeen met gemeten waarden, behalve in de buurt van de Schaar van Oude Doel. Hier worden te hoge hoeveelheden zuurstof voorspeld. Het meest waarschijnlijke is dat dit wordt veroorzaakt door de manier waarop nutriënten bovenstreams, in het zoete deel worden geloosd. De totale belasting in het Belgische deel klopt goed, maar de manier waarop de stoffen in het gebied verdeeld worden is niet realistisch en dat heeft op het brakke deel mogelijk een grote impact. Het is daarnaast ook mogelijk dat een component die zuurstof opneemt (bijvoorbeeld micro-organismen die organisch materiaal afbreken) in de schematisatie ontbreekt en/of dat de menging van zuurstof vanuit de atmosfeer wordt onderschat. Dit vergt verder onderzoek.

Gevoeligheid voor slibbelasting

Om de gevoeligheid van het model voor slib te testen zijn een aantal scenario studies uitgevoerd waarbij de gemiddelde slibconcentratie door het hele estuarium uniform verhoogd of verlaagd is.

Dit is zowel voor een gemiddelde concentratie over een jaar, als voor specifieke seizoenen gedaan. Dit bevestigde dat lichtbeschikbaarheid over het gehele jaar beperkend is voor de algen in de waterkolom. Een verlaging van de slibconcentratie heeft een grote impact op de productiviteit. Zelfs bij een extreem scenario waarbij de slibbelasting werd gereduceerd met 80%, bleef licht beperkend. De relatie tussen licht en productiviteit is niet lineair: het verminderen van de slibbelasting heeft een groter effect dan het verhogen van de slibconcentratie. Een verlaging van de slibconcentratie gaf ook een duidelijke verschuiving van de piek in algenbloei naar vroeger in het jaar. Bij een verhoging van de hoeveelheid slib trad geen verschuiving in de tijd op.

De algen op de platen en slikken (benthische algen) zijn minder gevoelig voor troebelheid. Bij een zeer sterke verlaging van het slib in het water neemt de groei van algen in de waterkolom dusdanig toe dat nutriëntenbeschikbaarheid de groei van de bodemalgen gaat beperken. Een verhoging van de slibconcentratie doet niet veel met de bodemalgen, maar geeft wel een vermindering van de productiviteit in de waterkolom.

De effecten zijn relatief groot in zoute deel de Westerschelde en zijn beperkter in het brakke deel. Daar vindt veel sterfte van algen plaats door de schommelingen in zoutconcentratie. De betrouwbaarheid van het model in het brakke deel van de Schelde is weliswaar wat minder, maar ook met een verbeterde betrouwbaarheid in het brakke deel zal deze conclusie vrijwel zeker overeind blijven. In deze omgeving is zoutstress een erg belangrijke stuurfactor is en dat zorgt er voor dat de invloed van slib in dit deel relatief minder is.

Er zijn ook studies uitgevoerd waarbij de concentratie van slib in de waterkolom in de winter, lente, zomer en herfst afzonderlijk zijn verhoogd. Het effect van verhogen van de slibconcentratie in de herfst of de winter is zeer beperkt, in de lente en de zomer is het effect veel groter.

Huidige stand van zaken en prioriteiten voor ontwikkeling

Het model behoeft op een aantal punten verbetering maar is bruikbaar voor het type scenariostudies als hierboven geschetst. De uitgevoerde scenariostudies met slib zijn overigens extreem, want een vermindering van de slibbelasting met een factor 5 is niet te verwachten. Dergelijke scenario's geven wel goed inzicht in de gevoeligheid van het systeem voor veranderingen.

Op een aantal punten kan de bruikbaarheid van het model verbeterd worden:

1 De processen in het bovenstroomse gebied. De totale hoeveelheid nutriënten die in het zoete deel wordt geloosd is nu correct, maar de verdeling ervan over het systeem nog niet. Dit heeft ook invloed op het brakke deel. Zeer waarschijnlijk is dit de oorzaak van de afwijkende resultaten op de zuurstofconcentraties daar. Dit dient nog uitgezocht. Het brakke deel is uiterst complex qua fysische en ecologische processen. Er zijn weinig modelsystemen die goed met deze extreme omgeving kunnen omgaan, terwijl deze overgangsgebieden zowel in de Schelde als in andere gebieden sterk in de belangstelling staan.

2 Benthische primaire productie. Een redelijk onderbouwde uitspraak over de verhouding tussen productie in de waterkolom en de productie op de platen en hoe deze verandert bij ingrepen op het niveau van deelgebieden is nu mogelijk. Voor de doorvertaling van effecten naar bodemdieren en vogels is een verbetering in ruimtelijk inzicht nodig. Hiervoor zullen processen die te maken hebben met het onderlopen en droogvallen van platen moeten worden meegenomen, wat momenteel nog niet gebeurt. Daarnaast moet voor de benthische algen de uitwisseling van nutriënten met de bodem worden verbeterd.

3 Data voor validatie modellen. Het is belangrijk dat modelresultaten goed gevalideerd kunnen worden. Zoals uiteengezet is primaire productie is niet hetzelfde als biomassa van algen (of chlorofyl concentratie). Er zijn (voor het jaar waarvoor het model is gedraaid) echter geen gegevens beschikbaar over primaire productie (alleen over biomassa). De weinige gegevens die wel beschikbaar zijn (voor een paar specifieke stations en in andere jaren) geven een wat hogere primaire productie dan het model berekent (Kromkamp and Peene 2005, Kromkamp et al. 2012). De concentraties van algen waren tijdens die metingen ook wat hoger op die locaties. Het is echter niet te zeggen of dit komt doordat het een ander jaar of een zeer specifieke locatie betreft. Toekomstige studies met jaren waarvoor wel validatiedata beschikbaar zijn moeten daarvoor uitkomst bieden.

Toepasbaarheid

Modellen kunnen enerzijds worden ingezet als beleidsondersteunend instrument, maar anderzijds ook als onderzoeks-instrument. Modellen zijn uiteindelijk een afspiegeling van onze kennis. Ze kunnen tevens gebruikt worden om gaten in onze kennis te identificeren.

Agenda van de Toekomst

In de agenda van de toekomst zijn een groot aantal vragen neergelegd die betrekking hebben op de gevolgen van enerzijds (stuurbare) menselijke ingrepen en anderzijds grootschalige (niet stuurbare) veranderingen zoals klimaatverandering op het Schelde-estuarium. Dit betreft bijvoorbeeld vragen over de gevolgen van verhoogde debieten door de Schelde, als gevolg van meer neerslag. Deze agenda behelst zowel vragen m.b.t. beleid en eventuele maatregelen als vragen om inzicht in het functioneren van de Schelde als geheel. Dit soort modellen, waarmee effecten van menselijke ingrepen en autonome veranderingen op primaire productie kunnen worden afgeschat, zijn een hulpmiddel voor het geven van adviezen voor lange termijn strategieën.

Toepasbaarheid voor toetsing aan evaluatiemethodiek

De evaluatiemethodiek is ontwikkeld om elke 6 jaar de toestand van de Schelde te evalueren, op basis van meetresultaten. De Schelde is een complex systeem en de evaluatiemethodiek is eveneens complex. Het primaire productie model kan goed gebruikt worden om in de toekomst de methodiek aan te scherpen en te identificeren welke parameters beslist gemeten moeten worden en welke variabelen minder essentieel zijn. Dit geldt zeker voor het onderdeel "Waterkwaliteit". Ook kan het model helpen om criteria aan te scherpen en een optimale meetstrategie te ontwerpen.

Gebruik voor milieueffectrapportages en vergunningverlening

Het primaire productie model kan ingezet worden bij de ondersteuning van beslissingen t.a.v. ingrepen. Op dit moment is de betrouwbaarheid van het model weliswaar niet op alle punten voldoende voor kwantitatieve voorspellingen. Dit geldt met name voor effecten op benthische primaire productie en voor effecten op een kleine schaal. Voor het inschatten van orde van grootte van effecten op systeem niveau kan het, samen met systeemkennis van experts, zeker wel een goede rol spelen.

Referenties

L.T.V. referenties

- de Kluijver, A., M. S. J. Chatelain, and W. Stolte. 2013. *Long-term vision Schelde Estuary; primary production modelling*. 1207720-001-ZKS-0004, Deltares, Delft.
- Kromkamp, J. C., J. Peene, and J. Vlaming. 2012. *Primaire Productie in De Westerschelde 2010-2012; Voortgangsrapport 2*. NIOZ, Yerseke.
- Van Kessel, T., J. Vanlede, M. A. Eleveld, D. van der Wal, and B. De Maerschalck. 2011. *Validation and Application of Mud Model Schelde Estuary in the Framework of LTV*. Deltares report 1204409-000-ZKS-0005.

Andere bronnen

- de Jong, D. J. and V. N. de Jonge. 1995. *Dynamics and distribution of microphytobenthic chlorophyll-a in the Western Scheldt estuary (SW Netherlands)*. *Hydrobiologia* 311:21-30.
- Kromkamp, J. C. and J. Peene. 2005. *Changes in phytoplankton biomass and primary production between 1991 and 2001 in the Westerschelde estuary (Belgium/The Netherlands)*. *Hydrobiologia* 540:117-126.
- STOWA. 2007. *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de kaderrichtlijn water*. STOWA 2007-32, STOWA, Utrecht.

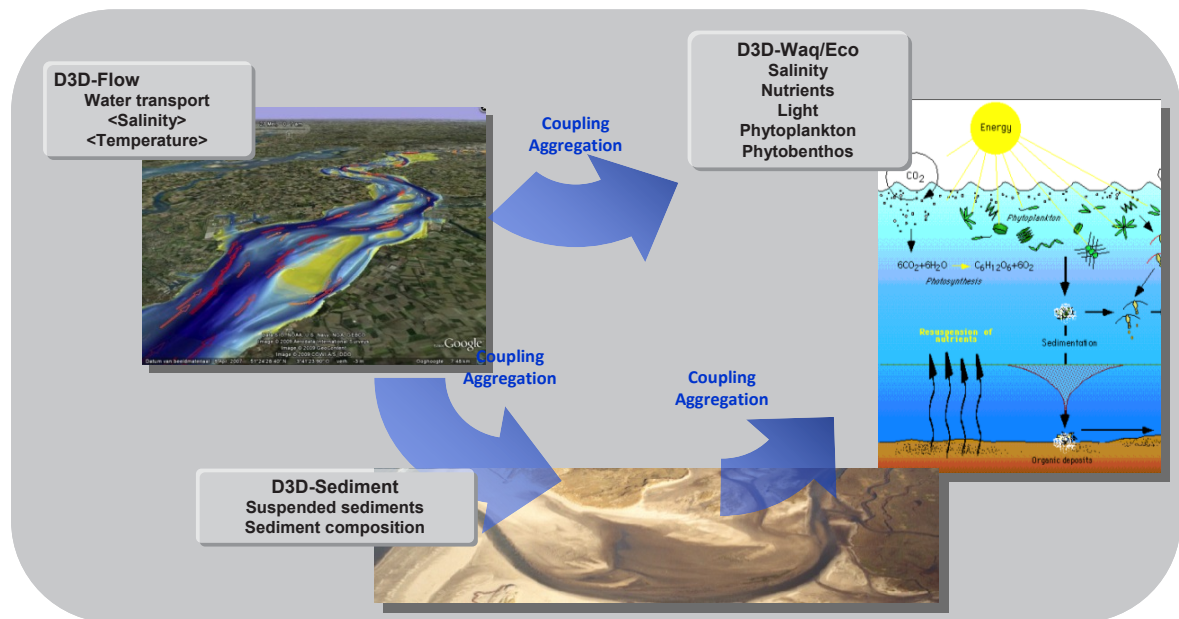


Bijlagen

Hieronder volgt een wat uitgebreidere beschrijving van het primaire productiemodel en de resultaten van de scenariostudies.

De Delft 3D model suite

Delft 3D is een flexibel en geïntegreerd pakket dat de interactie van water, sediment, nutriënten en ecologie in ruimte en tijd simuleert (Figuur 2).



Figuur 2 de relatie tussen de verschillende componenten van de Delft 3D suite, met modellen voor waterbeweging, gesuspenseerd sediment en primaire productie.

Het primaire productiemodel van het Schelde-estuarium model heeft 6 lagen en de cellen variëren in grootte; in de Zee schelde is de horizontale resolutie ongeveer 30 m, buiten het systeem, op de Noordzee is de resolutie 200-450 m. Binnen de Westerschelde is dit gemiddeld rond de 100m. Het domein heeft 3 open grenzen met de Noordzee: Noord, West en Zuid. Instroom van stoffen (zout, zuurstof, nutriënten, detritus en algen worden berekend op basis van beschikbare metingen. Hiervoor worden data van meetstations van het MUMM gebruikt (<http://www.mumm.ac.be>).

Er zijn 8 rivieren en -kanalen die uiteindelijk uitkomen op de Schelde. Zes hiervan liggen in België: de Schelde, de Dender, de Zenne, de Dijle, de Grote Nete en de Kleine Nete. Twee liggen in Nederland: het Bathse Spuikanaal en het Kanaal Gent-Terneuzen. Hoewel de Durme ook nog deels in het model domein ligt wordt deze bijdrage niet meegenomen. Berekeningen hebben laten zien dat de Durme amper 3% bijdraagt aan het totale debiet.

Modelresultaten van de referentiesituatie

Het jaar 2006 (5 januari 2006 – 5 januari 2007) is genomen als referentiejaar. Van dit jaar zijn redelijk wat meetgegevens beschikbaar m.b.t. meteorologie (temperatuur, neerslag, instraling), waterstanden, nutriënten concentraties, slibconcentraties en chlorofyl concentraties. Hiermee kan het model gevalideerd worden. Metingen aan primaire productie zijn van dit jaar helaas niet voorhanden.

Metingen kunnen om verschillende redenen afwijken van een modelvoorspelling. Zowel de (gemiddelde) waarden, als de patronen in ruimte en tijd zijn belangrijk om daarbij te betrekken. Zeker als metingen op een heel andere frequentie worden gedaan dan de uitvoer van modelresultaten, is het soms lastig om goed in te schatten hoe goed of slecht een model presteert.

Lichtuitdoving

Licht is essentieel voor primaire productie. Licht in de waterkolom dooft uit door de aanwezigheid van deeltjes en opgeloste stoffen. Dit kan worden berekend met de wet van Lambert-Beer:

$$I_z = I_0^{-kz}$$

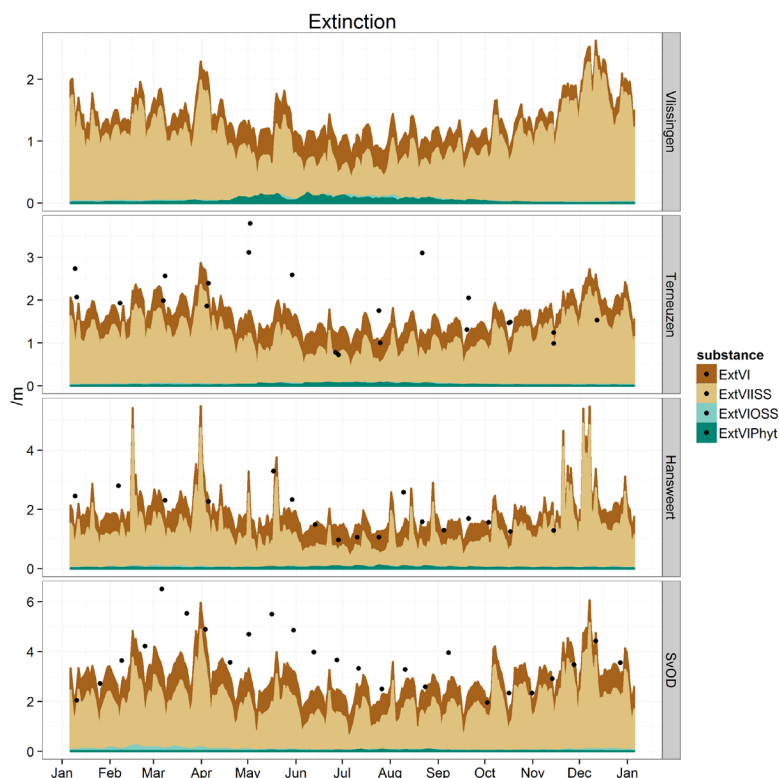
I_0 = lichtintensiteit aan het oppervlak ($W m^{-2}$)

I_z = lichtintensiteit op diepte z ($W m^{-2}$)

k = extinctie coëfficiënt

z = diepte

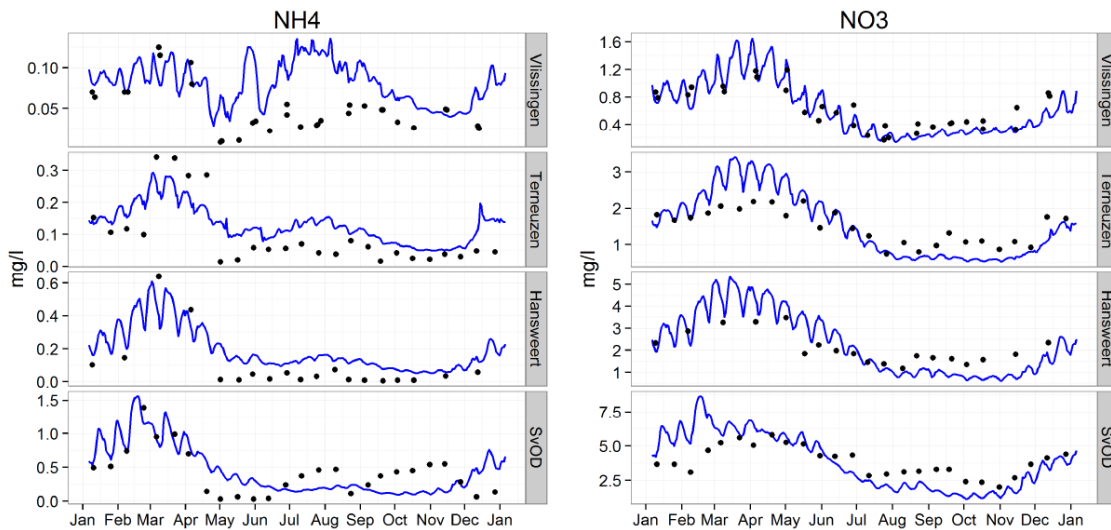
Zowel slib, organisch gesuspendeerd materiaal, algen en opgeloste stoffen dragen bij aan de waarde van “ k ”, de extinctie coëfficiënt. Zeker voor systemen zoals de Schelde die licht-beperkt zijn, is het belangrijk dat de link tussen licht-uitdoving en slib goed door het model worden gereproduceerd. Gemeten waarden en patronen voor deze factor “ k ” worden vrij goed weergegeven door het model, alleen in het voorjaar zijn er duidelijke afwijkingen bij de Schaar van Oude Doel, dus vlak bij de grens. Dit is een gebied met grote zout-zoet gradiënten. Dergelijke gradiënten maken dat zowel de slibconcentratie in het water als de lokale algengroei moeilijker te voorspellen is. Slib levert veruit de grootste bijdrage aan de uitdoving van licht. Algen leveren in de zomer in de monding een kleine bijdrage. Een kleine afwijking in de slibmodellering zal zich dus meteen doorvertalen in een afwijking van de lichtbeschikbaarheid en tevens in de groei van algen,



Figuur 3
Gemeten en gemodelleerde waarden voor uitdoving. De donkerbruine kleur geeft de totale gemodelleerde uitdoving weer. De lichtbruine kleur laat de bijdrage van het slib zien, de lichtgroene kleur geeft de bijdrage van detritus (dood organisch materiaal) weer en de donkergroene kleur is de bijdrage van de algen in het water. De zwarte puntjes zijn de meetwaarden.

Nutriënten

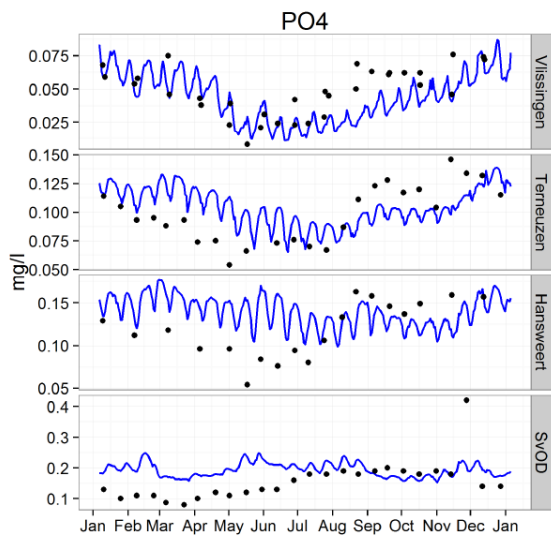
Op de meeste locaties is het model goed in het reproduceren van de concentraties stikstof in de waterkolom (Figuur 3). De uiteindelijke concentraties zijn een resultaat van enerzijds de hoeveelheid stikstof die op de verschillende punten in het systeem komen en anderzijds de hoeveelheid die opgenomen wordt door algen en in mindere mate door planten zoals kweldervegetatie.



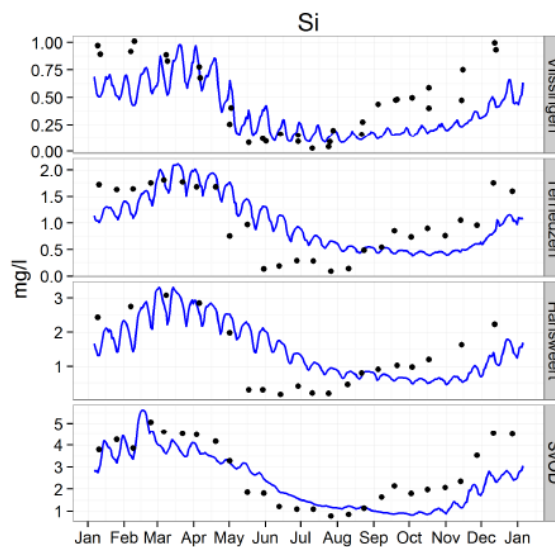
Figuur 4 gemodelleerde (blauw) en gemeten (zwart) ammonium en nitraat concentraties op 4 stations

Fosfaat is een lastiger nutriënt omdat het zich kan binden aan sediment. Hoe belangrijk dit proces in de Schelde is, is tot nu toe niet goed gekwantificeerd. In de buurt van de monding en in de winter in het hele gebied reproduceert het model de fosfaatconcentraties goed. Een deel van de afwijkingen in de resultaten voor fosfaat kunnen het gevolg zijn van het ontbreken van het ontbreken van goede kennis over het binden en loslaten van fosfaat aan sediment. In het voorjaar en vroege zomer wordt fosfaat wat overschat. Dit lijkt te wijzen op een onderschatting van de algen groei.

Ook voor silicaat geldt dat in de buurt van de monding, sterke depletie van silicaat wordt voorspeld en gemeten in het voorjaar, maar dat dit dieper in het estuarium wel wordt gemeten, maar niet door het model wordt gereproduceerd.



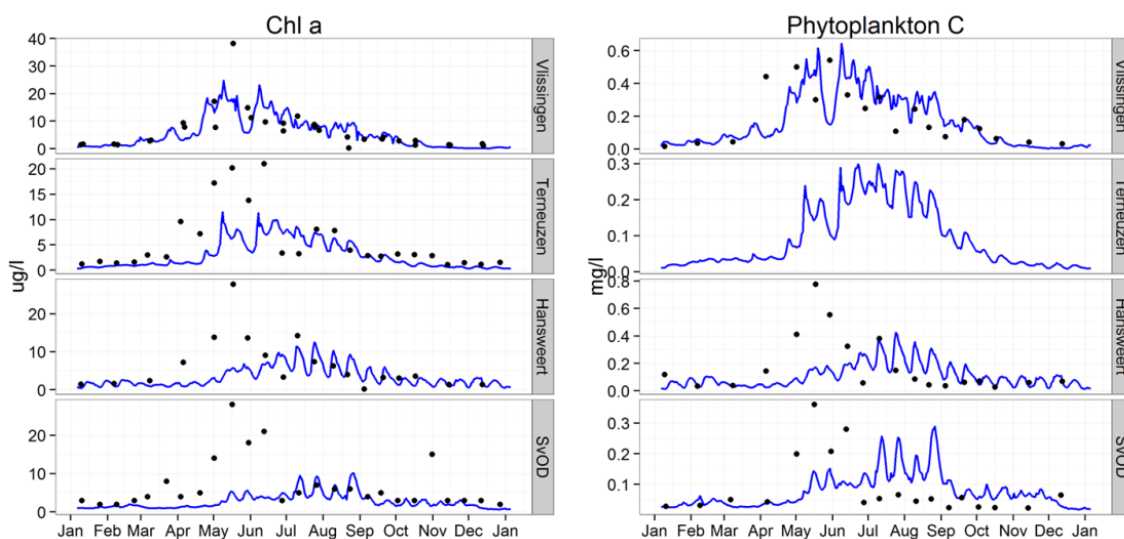
Figuur 5 fosfaatconcentraties op vier stations



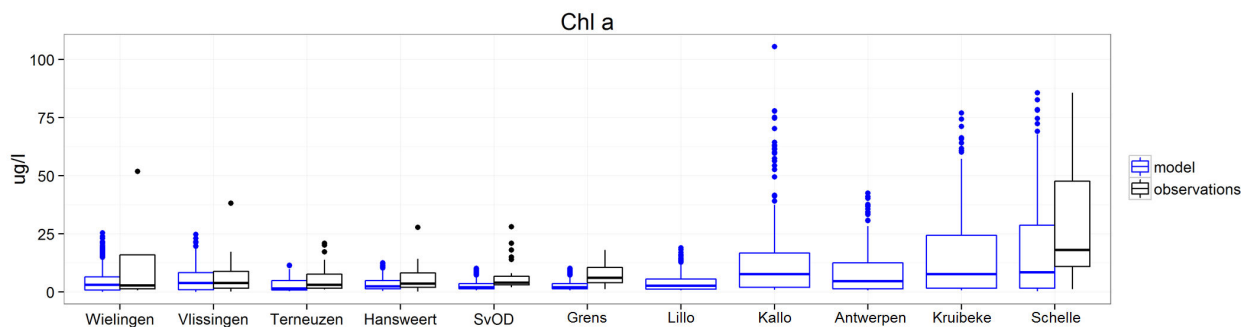
Figuur 6 Silicaat concentraties op 4 stations. Gemodelleerd (blauw) en gemeten (zwart)

Chlorofyl en koolstof in de waterkolom

In de Westerschelde is de concentratie van chlorofyl en van koolstof hoger in het zoute deel en in het bovenste deel van het estuarium. In het brakke deel treedt veel sterfte op door fysiologische zoutstress. In dit gebied zitten nog duidelijke afwijkingen t.o.v. gemeten gegevens. Biomassa wordt hier onderschat. Daarnaast speelt mogelijk mee dat dit wordt veroorzaakt door de manier waarop nutriënten bovenstrooms, in het zoete deel worden geloosd. De totale belasting in het Belgische deel klopt goed, maar de manier waarop de stoffen in het gebied verdeeld worden is niet realistisch en dat heeft mogelijk op het brakke deel een grote impact. Beide factoren moeten onderzocht worden..

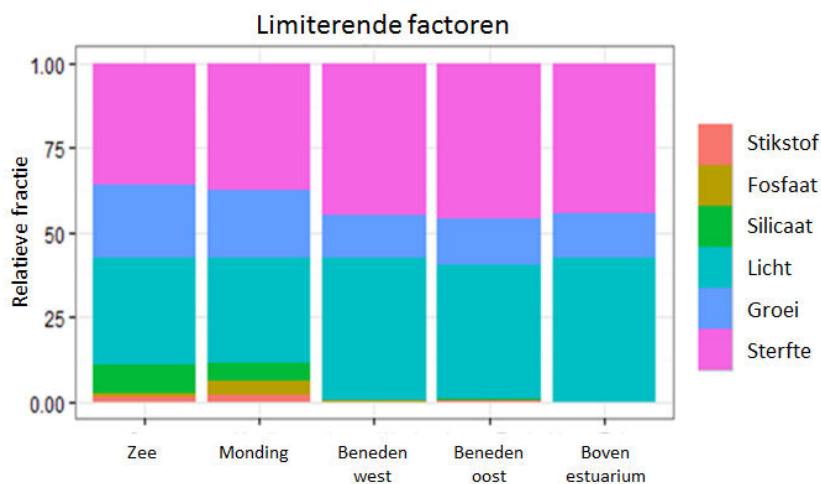


Figuur 7



Figuur 8 vergelijking modelresultaten en waarnemingen van Chlorofyl vanaf de zee tot de monding van de Rupel.

Het model kan ook berekenen welke factoren een grote bijdrage leveren aan de beperking van algengroei. Het gebied is overal licht-gelimiteerd, maar in het brakke deel wordt productie ook beperkt doordat veel algen afsterven door zoutstress. In de monding beginnen ook factoren als nutriënten een rol te spelen, maar doorzicht is de belangrijkste factor.

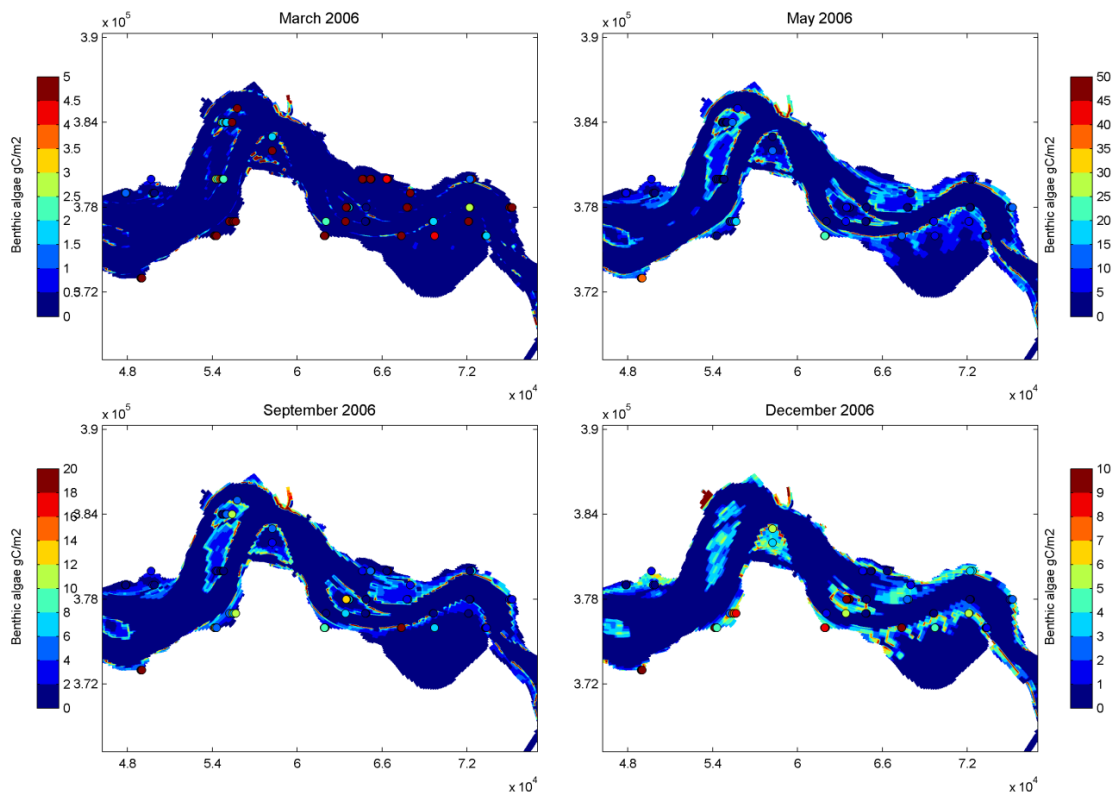


Figuur 9 limiterende factoren voor primaire productie: stikstof, fosfaat, silicaat, licht, groei en sterfte.

Benthische primaire productie

De groei van benthische diatomeeën is sterk gekoppeld aan waterstand. Deze soorten groeien zodra de plaat (bijna) droog staat. Het model onderschat momenteel de biomassa op en de productiviteit van de platen. Op een aantal stations ligt dit aan de modellering van de waterstand op de platen. De laag water boven de plaat is te groot, waardoor lichtlimitatie ontstaat.

Dit is een onderdeel van het model dat op meerdere punten verbeterd kan worden. Ten eerste moet het proces van droogvallen van platen en weer onderlopen beter beschreven worden. De hoogste benthische primaire productie vindt plaats op platen die vrijwel droog zijn maar een dun laagje water vasthouden. Dit gebeurt vaak op slibrijke plekken die niet al te steil aflopen. Het slib in de bodem kan ook nutriënten binden, waar deze algen dan gebruik van kunnen maken. Deze processen zitten momenteel nog niet (goed) in het model. Ten tweede hebben momenteel de benthische algen nog veelal dezelfde eigenschappen als de algen in de waterkolom en ook daar kunnen verschillen in zitten.



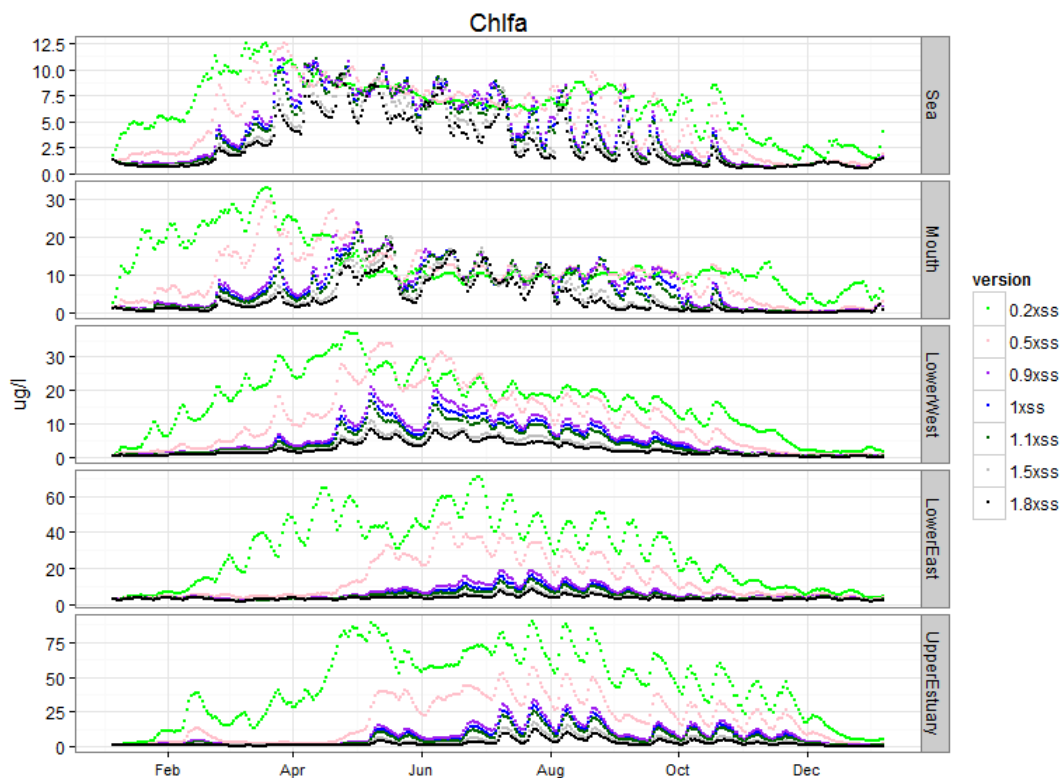
Figuur 10 kaart met benthische biomassa (in g C m^{-2}) in vier seizoenen. Punten zijn gemeten waarden met dezelfde kleurcodering.

De verhouding tussen benthische en pelagische biomassa varieert tussen de 0.4 in zee tot 10.7 in het bovendeel van het estuarium. Deze waarden zijn relatief laag t.o.v. schattingen van rond de 17% (de Jong and de Jonge 1995).

Scenariostudies met slib

Verhoging of verlaging van de gemiddelde concentratie door het jaar heen

Er is een scenario gedraaid waarbij het systeem over de hele linie 20% helderder gemaakt werd, en er zijn scenario's gedraaid waarbij een 10%, 50% en een 80% toename van slib werd gesimuleerd. Deze situaties zijn maar matig realistisch. Meestal zul je met een ingreep zien dat een bepaald deel van de Schelde een effect ondervindt. Maar dergelijke studies geven inzicht in welke delen van de Schelde het meest gevoelig zijn voor slib en welke delen minder gevoelig zijn. Tevens krijg je een idee of er op een bepaald moment grenzen worden overschreden (bijvoorbeeld normen voor de kaderrichtlijn water).

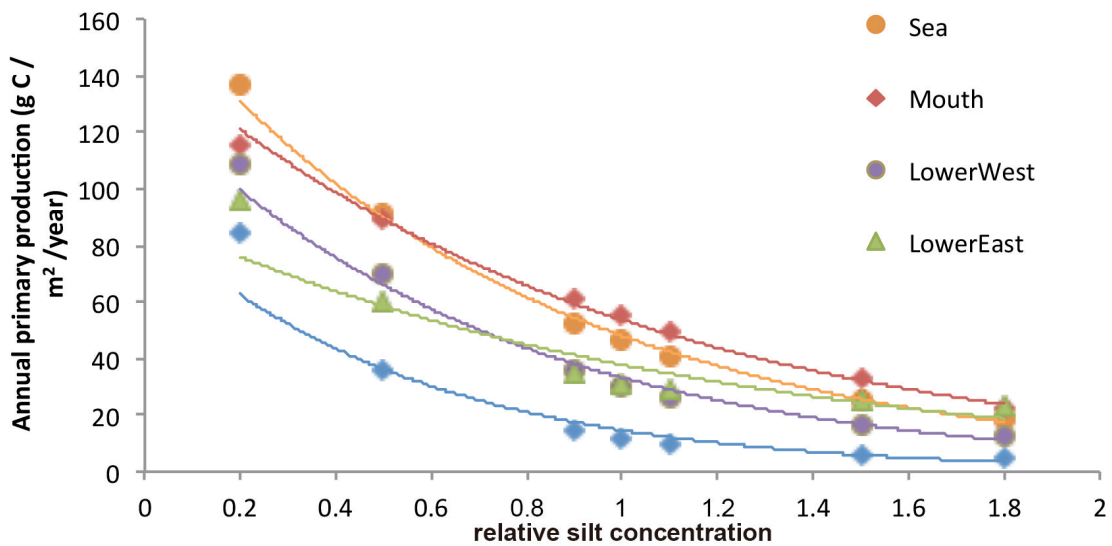


Figuur 11 Voorspelde chlorofyl-a concentraties in verschillende delen van de Schelde in de scenariostudies waarbij de slibbelasting door het hele jaar heen met een bepaalde factor verhoogd of verlaagd is. Groen, roze en paars zijn reducties (80%, 50% en 10%), blauw is de referentiesituatie, donkergrijs, lichtgrijs en zwart zijn verhogingen (10%, 50% en 80%).

Slib heeft een groot effect op de voorspelde biomassa van algen. Niet alleen op de totale biomassa, maar ook op de timing van de piek van de bloei (Figuur 7). Bij een verlaging van de hoeveelheid slib, wordt de minimale hoeveelheid licht die nodig is voor primaire productie vroeger in het seizoen gehaald. Verhoudingsgewijs geeft een verlaging van de slibbelasting veel meer effect dan een verhoging.

Een sterke verlaging in slibbelasting geeft in zee en in de monding in de zomer weinig effect meer. In deze gebieden worden op een gegeven moment nutriënten sterker beperkend dan de beschikbaarheid van licht. In de stroomopwaartsgelegen delen moet de slibconcentratie met meer dan 80% gereduceerd worden voordat andere factoren limiterend gaan worden.

Seizoenseffect



Figuur 11 Jaarlijkse primaire productie uitgezet tegen de relatieve slibbelasting in verschillende delen van het estuarium.

Het effect van veranderende slibconcentratie op de jaargemiddelde productie is exponentieel op alle gebieden. Verhoudingsgewijs is het effect minder extreem het Vlaamse brakke deel. De groene lijn loopt vlakker dan de andere lijnen. Primaire productie is in dit deel minder gevoelig voor slibveranderingen dan andere delen. Vrijwel zeker is dit een gevolg van de invloed van zoutfluctuaties (Figuur 11).

Specifieke onderdelen uit de Agenda van de Toekomst

Hieronder staan de onderwerpen (onderverdeeld naar beheervragen en onderzoeksvragen) geïdentificeerd in de agenda van de toekomst waar het primaire productiemodel een bijdrage aan kan leveren.

Rol van zoetwatervoorziening op estuarien functioneren

Beheervragen

- Wat is de invloed van de zoetwateraanvoer (in belangrijke mate gereguleerd bij Gent) voor de functies van het estuarium en hoe kan de VNSC mogelijke problemen voor het estuarium onder de aandacht van de Internationale Scheldec commissie brengen?
- Wat zijn de grensoverschrijdende aspecten van het verziltings- en waterbergingsproject Volkerak-Zoommeer? zie 1208863-000-ZKS-0022-v4.0-r-Effect zoute spui Bath op saliniteit, slibdynamica en ecologie Zeehelde.pdf.

Voor deze beide beheervragen zijn met dit model studies uit te voeren. De zoet-zout overgang heeft belangrijke effecten op de primaire productie. Algen die uit het zoete deel stroomafwaarts geraken komen op een gegeven moment in een zoutregime terecht waar ze niet tegen kunnen en waar ze afsterven.

Onderzoeksvragen

- Wat is de rol van het bovendebiet op de slibhuishouding?
- Wat zijn de ecologische gevolgen van zeer onregelmatige zoetwateraanvoer en de daarmee samengaannde fluctuaties in saliniteit, en nutriënten?
- Welke beheeropties dienen zich aan?
- Kunnen deze met het huidige instrumentarium voldoende bestudeerd worden?
- Wanneer worden fysiologische grenzen van sleutelsoorten (N2000 doelsoorten) overschreden (m.b.t. saliniteit en verblijftijd of fluctuaties daarin)?

Ook op deze vragen kan het model worden ingezet – het hangt sterk af van het detailniveau dat gewenst is, of het model voor deze vragen voldoet. Er zullen zeker vragen zijn waarvoor nog wel verder ontwikkelingswerk nodig is.

Systeemomslag ecologie

Beheersvragen

- Wat is de relatie tussen troebelheid – nutriënten – primaire productie? Dit is een vraag die met dit model goed onderzocht kan worden. Momenteel werkt het model in elk geval op het niveau van macrocellen heel aardig. Er kunnen modelstudies worden uitgevoerd waarbij zowel de slibbelasting als de nutriënten belasting wordt gevarieerd om na te gaan in welke delen van de Schelde wat voor soort veranderingen optreden. Het valt te verwachten dat sommige delen van het estuarium gevoeliger zijn voor veranderingen in nutriënten of slib dan andere, en het is ook te verwachten dat de gevoeligheid zal variëren met het seizoen

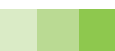
Onderzoeksvragen

- Hoe werken veranderingen in pelagische en/of benthische primaire productie door op hogere trofische niveaus?
- Hoe verandert de benthische en pelagische productiviteit van het systeem bij veranderingen in slibbelasting, organische belasting en nutriëntenhuishouding– zijn er verschuivingen te verwachten in de ratio benthisch - pelagisch? Zijn de verschuivingen in het zoute deel anders dan in het brakke – zoete deel zie hierboven.

Dit zijn typisch vragen die aangepakt kunnen worden met een dergelijke modelstudie. Het kan zijn dat het noodzakelijk is om voor bepaalde vragen de kwaliteit van het model te verbeteren. Dat moet ook uit dergelijke studies blijken.







Onderzoek uitgevoerd door:



In opdracht van:



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu