

## De invloed van globale klimaatsverandering op hypoxia

Meire Lorenz

Mariene Biologie, Mariene en Lacustriene Wetenschappen (Marelac), Universiteit Gent, Campus De Sterre, s8, Krijgslaan 281, B-9000 Ghent, Belgium  
E-mail: [lorenz.meire@ugent.be](mailto:lorenz.meire@ugent.be) ; [l.meire@nioo.knaw.nl](mailto:l.meire@nioo.knaw.nl)

De opgeloste zuurstofconcentratie in waterlichamen wordt bepaald door de balans tussen de consumptie (voornamelijk door biologische processen) en toevoer (hoofdzakelijk door fysisch transport van zuurstof) (Diaz, 2001; Middelburg en Levin, 2009). Als de zuurstofconcentratie door een onbalans tussen consumptie en toevoer onder de grenswaarde van  $63\mu\text{M}$  ( $2\text{mg.l}^{-1}$ ) zakt, wordt het fenomeen hypoxia genoemd (Pena *et al.*, 2010; Rabalais *et al.*, 2010). Er wordt een onderscheid gemaakt tussen het verlies van zuurstof in de open oceaan en het voorkomen van lage zuurstofconcentraties in kustgebieden (Diaz and Rosenberg, 2008; Keeling *et al.*, 2010). Veranderingen in de zuurstofconcentratie in de open oceaan worden voornamelijk gedreven door klimaatseffecten. Op deze manier zal ook klimaatverandering de zuurstofconcentratie in de open oceaan op verschillende manieren beïnvloeden. Warmere wateren leiden vooreerst tot een verlies van zuurstof door een verminderde oplosbaarheid. Zo voorspellen globale oceaanmodellen een afname van de globale zuurstofconcentratie met 1 tot 7% tegen het einde van deze eeuw (Keeling *et al.*, 2010). Aan de andere kant leiden hogere watertemperaturen ook tot een versterkte stratificatie. Bijgevolg wordt het transport van zuurstof naar de diepere bodemlagen geblokkeerd (Conley *et al.*, 2009; Keeling *et al.*, 2010; Pena *et al.*, 2010; Rabalais *et al.*, 2010). Een verhoogde watertemperatuur heeft bovendien ook een invloed op tal van biologische processen zoals de respiratie van organismen en de mineralisatiesnelheid. Naast het verlies van zuurstof door fysische factoren leiden de voorspelde hogere temperaturen dus ook tot een hogere biologische zuurstofvraag (Conley *et al.*, 2009).

Maar naast een verandering in de watertemperatuur voorspellen klimaatmodellen ook een verschuiving in de windpatronen en veranderingen in zowel de intensiteit en het moment waarop stormen voorkomen. Dit kan leiden tot een frequenter verbreken van stratificatie in de zomerperiode en zodoende tot een verhoogde aanvoer van zuurstof naar de bodemlagen. De deterministische trend tot een daling van de zuurstofconcentratie als gevolg van hogere watertemperaturen kan dus verbroken worden door frequentere stochastische wind events. Het netto-effect van klimaatverandering op het verloop van de zuurstofconcentratie is een eerste onderzoeksvraag die in deze thesis onderzocht wordt.

Daarnaast worden kustgebieden ook nog beïnvloed door een toenemende flux van nutriënten vanuit het land. Deze sterk toegenomen nutriëntenflux leidt tot een sterk toegenomen fotosynthese in de kustgebieden. Dit resulteert in een toegenomen transport van organisch materiaal naar de diepere waterlagen en het sediment en bijgevolg tot een hogere zuurstofvraag daar (Diaz and Rosenberg, 2008; Conley *et al.*, 2009). Deze toegenomen input van nutriënten ten gevolge van menselijke activiteiten zorgt sinds 1960 voor snelle veranderingen in de zuurstofconcentratie in kustecosystemen. Voor 1950 waren wereldwijd slechts een aantal gebieden aangetast door hypoxia. Dit aantal is toegenomen tot meer dan 400 op dit moment met een totaal oppervlak van meer dan  $245.000\text{km}^2$  (Diaz and Rosenberg, 2008; Zhang *et al.*, 2010). Een tweede onderzoeksvraag in deze masterthesis is bijgevolg wat het belang is van nutriëntfluxen naar kustgebieden en zeker in combinatie met klimaatverandering in de ontwikkeling van hypoxia.

Om deze onderzoeksvragen te beantwoorden werd een één-dimensioneel model ontwikkeld dat zowel de fysische en biologische condities in de centrale Noordzee (Oestergronden) beschrijft. Er werd gekozen om de situatie in de Oestergronden ( $54^{\circ}30'$  N and  $4^{\circ}30'$  E) te modelleren daar in het verleden daar reeds lage zuurstofconcentraties doch geen hypoxische zuurstofconcentraties gemeten werden (bijvoorbeeld een zuurstofconcentratie van  $65\mu\text{M}$  in oktober 2003) (Weston *et al.*, 2008; Greenwood *et al.*, 2010).

In eerste instantie werd het ontwikkelde model gebruikt om de fysische watercondities in de Oestergronden voor het jaar 2007 te modelleren. Atmosferische simulaties afkomstig van het ECHAM5/MPI-OM klimaatmodel voor de periode 2000-2010 werden gebruikt om de waterkarakteristieken (watertemperatuur en -menging) te berekenen met het fysisch "k- $\epsilon$  turbulence closure" model (Gaspar *et al.*, 1990; Soetaert *et al.*, 2001). Vervolgens werden de resultaten van dit fysisch model gebruikt om het gekoppeld pelagisch-benthisch model aan te drijven. In dit

gekoppeld model wordt het verloop van zuurstofconcentratie en een serie andere biochemische variabelen (bijvoorbeeld nitraat- en fytoplanktonconcentratie) berekend.

De modeloutput van het ontwikkelde fysisch-biogeochemisch model werd vergeleken met de beschikbare CEFAS en rijkswaterstaat dataset voor het jaar 2007 van de Oestergronden. Validatie met deze data toont aan dat het model in staat is om zowel de fysische (zoals temperatuur) en biochemische factoren (waaronder de zuurstof) vrij accuraat te reproduceren.

Na de validatie van het model voor het heden werd het model vervolgens gebruikt om een inschatting te maken van hoe de zuurstofconcentratie en voornamelijk het voorkomen van hypoxia zal evolueren in de toekomst (periode 2090-2100). De atmosferische simulaties, die het model aansturen, tonen aan dat de luchttemperatuur gemiddeld met 2.4°C zal toenemen in de centrale Noordzee tegen 2100. In de ECHAM5/MPI-OM simulaties blijkt de windsterkte echter niet significant te veranderen.

Gebruikmakend van deze projecties van de atmosferische condities, tonen simulaties voor het fysisch model dat de watertemperatuur gemiddeld met 2.1°C zal toenemen tegen 2100. Verder neemt de periode waarin de waterkolom gestratificeerd is toe met tien dagen. Deze condities leiden ertoe dat het risico op hypoxia in de Noordzee zal toenemen in de toekomst. Gemiddeld voorspelt het model een afname van de zuurstofconcentratie met 17µM (7%). Deze afname kan toegewezen worden aan 3 verschillende factoren. Een eerste belangrijke factor is de verminderde oplosbaarheid van zuurstof bij hogere watertemperaturen. Daarnaast speelt ook de versterkte stratificatie ook een zeer belangrijke rol. Door het verlengen van de stratificatie met tien dagen zijn de bodemlagen langer geïsoleerd en zakt de zuurstofconcentratie bijgevolg tot lagere waarden. Tot slot kan een klein gedeelte van de lagere zuurstofconcentratie in de bodemlagen toegewezen worden aan een versnelde koolstofkringloop wat leidt tot een verhoogde biologische zuurstofvraag.

Naast het effect van klimaatsverandering werd ook het effect van eutrofiëring onderzocht. Simulatie tonen een duidelijke link tussen een hogere pelagische stikstofconcentratie en het voorkomen van lagere zuurstofconcentratie in de bodemlagen. Het model toont aan dat door een combinatie van natuurlijke variatie in de stikstofconcentratie en ongunstige atmosferische condities reeds nu al in de Oestergronden lage zuurstofconcentraties kunnen voorkomen. Deze bevinding werd ook in praktijk geobserveerd zoals bijvoorbeeld in oktober 2003 waar bijna hypoxische zuurstofconcentraties werden gemeten na een zeer warme zomer. Dit leidt ertoe dat in de toekomst in combinatie met klimaatsverandering de probabiliteit van een hypoxisch event vermoedelijk sterk zal toenemen. Dit toont aan dat het in de toekomst belangrijk zal zijn om de nutriëntfluxen nog beter te controleren om er zo zeker van te zijn dat onder een combinatie van klimaatsverandering en hoge nutriëntconcentraties geen hypoxia optreedt in de centrale Noordzee.

## Referenties

- Conley D., J. Carstensen, R. Vaquer-Sunyer and C. Duarte. 2009. Ecosystem thresholds with hypoxia. *Hydrobiologia* 629:21-29.
- Diaz R. 2001. Overview of hypoxia around the world. *Journal of Environmental Quality* 30:275. -
- Diaz R. and R. Rosenberg. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321:926.
- Gaspar P., Y. Grégoris and J. Lefevre. 1990. A simple eddy kinetic energy model for simulations of the oceanic vertical mixing: tests at station papa and long-term upper ocean study site. *Journal of Geophysical Research* 95:16179.
- Greenwood N., E. Parker, L. Fernand, D. Sivyer, K. Weston, S. Painting, S. Kröger, R. Forster, H. Lees, and D. Mills. 2010. Detection of low bottom water oxygen concentrations in the North Sea. Implications for monitoring and assessment of ecosystem health. *Biogeosciences* 7:1357-1373.
- Keeling R., A. Körtzinger and N. Gruber. 2010. Ocean deoxygenation in a warming world. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 2:199-229.
- Middelburg J. and L. Levin. 2009. Coastal hypoxia and sediment biogeochemistry. *Biogeosciences* 6:1273-1293.
- Pena M., S. Katsev, T. Oguz and D. Gilbert. 2010. Modeling dissolved oxygen dynamics and hypoxia. *Biogeosciences* 7:933-957.
- Rabalais N., R. Diaz, L. Levin, R. Turner, D. Gilbert and J. Zhang. 2010. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences* 7:585-619.

Soetaert K., P. Herman, J. Middelburg, C. Heip, C. Smith, P. Tett and K. Wild-Allen. 2001. Numerical modelling of the shelf break ecosystem: reproducing benthic and pelagic measurements. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 48:3141-3177.

Weston K., L. Fernand, J. Nicholls, A. Marca-Bell, D. Mills, D. Sivyer and M. Trimmer. 2008. Sedimentary and water column processes in the oyster grounds: a potentially hypoxic region of the North Sea. *Marine Environmental Research* 65:235-249.

Zhang J., D. Gilbert, A. Gooday, L. Levin, S. Naqvi, J. Middelburg, M. Scranton, W. Ekau, A. Pena and B. Dewitte. 2010. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development. *Biogeosciences* 7:1443-1467.