

Final Preport for Project **845**

Project title: **Klimaänderungen auf dem Nordwesteuropäischen Schelf**

Principal investigator: **Uwe Mikolajewicz**

Report period: **Jan. 1, 2013 - Dec. 31, 2023**

Das BMBF Verbund-Vorhaben RACE bestand insgesamt aus 3 Phasen: 2 Projektphasen über jeweils 3 Jahre sowie eine Synthesephase über 2 Jahre, welche Ende 2020 ausgelaufen ist. Darüber hinaus wurden bis 2023 weiterhin Ressourcen des DKRZ genutzt, um Projektdaten auszuwerten und neue Erkenntnisse zu publizieren (siehe unten).

Das wissenschaftliche Ziel des Teilprojektes AP3.2 bestand in der Abschätzung regionaler Klimaänderungen für den Bereich des Nordwest-Europäischen Schelfs (NWES), insbesondere der Nordsee, sowie der Untersuchung der Verbindung dieser Klimaänderungen zu Veränderungen regionaler Zirkulationsmuster im Nord-Atlantik. Der Fokus des Projektes lag hauptsächlich auf dem Übergangsbereich zwischen dem Nord-Atlantik und der nördlichen Nordsee, in dem die für die Nordsee relevanten Austauschprozesse stattfinden.

Über die Laufzeit des Projektes wurde eine Vielzahl an hoch-aufgelösten, regional gekoppelten Modellsimulationen mit MPIOM-HAMOC-REMO durchgeführt, um die Einflüsse des fortwährenden globalen Klimawandels auf den physikalischen und biogeochemischen Zustand des NWES zu untersuchen und zukünftige Änderungen abzuschätzen. Aufgrund der thematischen Bandbreite der Simulationen sowie ihrer technischen Besonderheiten haben diese Simulationen in mehreren Zusammenarbeiten innerhalb und außerhalb des RACE-Verbundes Verwendung gefunden und sind auch weiterhin in laufenden Projekten eingebunden. Modelldaten der Kernsimulationen wurden in der Datenbank CERA veröffentlicht und sind dadurch für Projektpartner verfügbar.

Die Ergebnisse unserer Forschung wurden in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publiziert. Die bedeutendsten Erkenntnisse sind im Folgenden kurz zusammengefasst:

**Mathis, M.,** Elizalde, A., **Mikolajewicz, U.,** & Pohlmann, T. (2015): Variability patterns of the general circulation and sea water temperature in the North Sea. Progress in Oceanography 135, 91-112, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.04.009>

In dieser Studie wurden Antriebsmechanismen verschiedener Variabilitätsmoden der Zirkulation und Oberflächentemperatur in der Nordsee untersucht. Wir konnten zeigen, dass großskalige Variabilitätsmuster die sich über die gesamte Nordsee erstrecken hauptsächlich von Änderungen im Windfeld über dem Nordatlantik verursacht werden. Die Überlagerung von Variabilitätsmoden höherer Ordnung führt jedoch zu regionalen und lokalen Abweichungen, welche aus Beobachtungsdaten bekannt sind und hier erstmalig auf den Einfluss von saisonal charakteristischen Schwankungen atmosphärischer Bedingungen zurückgeführt werden konnten.

Weinert, M., **Mathis, M.,** Kröncke, I., Neumann, H., Pohlmann, T., & Reiss, H. (2016): Modelling climate change effects on benthos: Distributional shifts in the North Sea from 2001 to 2099. Estuarine, Coastal and Shelf Science 175, 157-168, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.03.024>

Um Beeinträchtigungen fortwährender globaler Erwärmung auf das marine Ökosystem der Nordsee entgegenwirken zu können, wurde der Einfluss von steigender Wassertemperatur auf eine Vielzahl von bodennahen Tierarten simuliert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Großteil der heute angesiedelten Spezies sich Richtung Norden ausbreiten werden, um ihre bevorzugte Umgebungstemperatur vorzufinden. Für etwa 30% der Spezies können topographische Gegebenheiten in Kombination mit Veränderungen in der Nahrungskette jedoch auch eine Ausbreitung Richtung Süden zur Folge haben.

Pätsch, J., Burchard, H., Dieterich, C., Gräwe, U., Gröger, M., **Mathis, M.,** Kapitza, H., Bersch, M., Moll, A., Pohlmann, T., Su, J., Ho-Hagemann, H. T. M., Schulz, A., Elizalde, A., & Eden, C. (2017): An evaluation of the North Sea circulation in global and regional models relevant for ecosystem simulations. Ocean Modelling, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.06.005>

Hier wurde das verwendete Modellsystem MPIOM-HAMOCC-REMO hinsichtlich seiner Qualifikation für Untersuchungen des Ökosystems der Nordsee bewertet und mit Beobachtungsdaten sowie state-of-the-art Regionalmodellen der Nordsee verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass MPIOM-HAMOCC-REMO von seiner nahtlosen Verbindung zum offenen Nord-Atlantik gegenüber herkömmlichen Regionalmodellen profitiert und insbesondere die Verteilung der Wassermassen sowie die Intensität und Ausbreitung der saisonalen Schichtung auf dem gesamten nordwest-europäischen Schelf größtenteils geeignet darstellen kann.

Hátún, H., Ólafsson, J., Azetsu-Scott, K., Somavilla, R., Rey, F., Johnson, C., **Mathis, M.**, Mikolajewicz, U., Coupel, P., Tremblay, J. E., Hartman, S., Pacariz, S., & Salter, I. (2017): The subpolar gyre regulates silicate concentrations in the North Atlantic. *Scientific Reports* 7 (1), 14576, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14837-4>

In dieser Studie identifizieren wir mittels Beobachtungsdaten eine markante Abnahme der oberflächennahen Silikatkonzentration im subpolaren Nord-Atlantik seit den 1990er Jahren. Anhand von Modellsimulationen konnten wir die These erarbeiten, dass die geringere Nährstoffkonzentration vorwiegend durch natürliche Schwankungen der winterlichen Konvektionstiefe sowie einer Abschwächung des Subpolarwirbels verursacht ist. Eine klima-bedingte Reduktion der Konvektionstiefe kann als zusätzlicher Faktor nicht ausgeschlossen werden, was einen langfristigen Einfluss auf die Dynamik von Planktonblüten im Nord-Atlantik zur Folge hätte.

**Mathis, M.**, Elizalde, A., & **Mikolajewicz, U.** (2018): Which complexity of regional climate system models is essential for downscaling anthropogenic climate change in the Northwest European Shelf? *Climate Dynamics* 50, 2637-2659, <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3761-3>

Zukunftsprojektionen für das nordwest-europäische Schelfmeer beruhen auf verschiedenen Regionalisierungsansätzen für globale Klimasimulationen und die damit vorhergesagten, klima-bedingten Änderungen sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Hier haben wir gezeigt, dass der Einfluss der angewandten Regionalisierungsmethode auf die projizierten Änderungen des physikalischen und biogeochemischen Zustandes des nordwest-europäischen Schelfes genauso groß ist wie der Einfluss des gewählten globalen Klimamodelles, welches die Randbedingungen für das jeweilige Regionalmodell liefert. Außerdem hängen die Ergebnisse stärker von der Regionalisierungsmethode ab als von der Qualifikation des Modelles, den heutigen Zustand des Schelfmeeres adäquat zu reproduzieren. Diese Resultate beeinflussen sowohl die weitere Entwicklung von Regionalisierungsansätzen als auch die Bewertung aktueller, modell-basierter Zukunftsprojektionen.

**Mathis, M.**, Elizalde, A., & **Mikolajewicz, U.** (2019): The future regime of Atlantic nutrient supply to the Northwest European Shelf. *Journal of Marine Systems* 189, 98-115, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.10.002>

Unsere Simulationen für ein Zukunftsszenario mit starker globaler Erwärmung (Emissionsszenario RCP8.5) deuten auf einen bevorstehenden Regimewechsel in der Dynamik der Nährstoffzufuhr vom offenen Atlantik auf den nordwest-europäischen Schelf. Vertikales Mischen an der Schelfkante kann eine Verbindung zu nährstoffreichen Wassermassen im tiefen Nord-Atlantik aufrechterhalten und dadurch die zu erwartende Abnahme des Nährstofftransportes auf den Schelf eingrenzen. Entgegen bisherigen Annahmen würde die biologische Primärproduktion auf dem Schelf dadurch nicht so stark abnehmen wie im offenen Ozean, wo die fortwährende Erwärmung oberflächennaher Wassermassen den vertikalen Nährstofftransport erheblich beeinträchtigen könnte.

Núñez-Riboni, I., Taylor, M., Kempf, A., Püts, M., & **Mathis, M.** (2019): Spatially resolved past and projected changes of the suitable thermal habitat of North Sea cod (*Gadus morhua*) under climate change. *ICES Journal of Marine Science*, fsz132, 15 pp, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz132>

Beobachtungsdaten weisen auf eine Änderung in der räumlichen Verbreitung von Kabeljau in der Nordsee hin. Hier untersuchen wir, inwiefern die klima-bedingte, steigende Wassertemperatur diese räumlichen Veränderungen verursacht. Unsere Modellsimulationen zeigen südlich von 56° nördliche Breite eine kritische Verringerung des für Kabeljau bevorzugten Temperaturbereiches, sowie eine Begünstigung des Temperaturbereiches nördlich davon. Darüber hinaus bleiben die

nördlichen Regionen in einem tolerierbaren Temperaturbereich bei zukünftiger globaler Klimaerwärmung gemäß des Emissionsszenarios RCP8.5.

**Mathis, M., & Mikolajewicz, U. (2020):** The impact of meltwater discharge from the Greenland ice sheet on the Atlantic nutrient supply to the northwest European shelf. *Ocean Sci.*, 16, 167–193, <https://doi.org/10.5194/os-16-167-2020>

In dieser Arbeit haben wir unsere These bezüglich des zukünftigen Regimewechsels im Nährstofftransport vom Nord-Atlantik auf den nordwest-europäischen Schelf erweitert und den Einfluss von grönländischem Schmelzwassereintrag in den Atlantik untersucht, welcher in unseren früheren Simulationen nicht berücksichtigt wurde. Die Verstärkung der vertikalen Schichtung im Atlantik führt sowohl zu einer Verstärkung des Nährstoffgradienten zwischen dem Schelf und dem offenen Ozean als auch zu einer Verstärkung der interannualen Variabilität im Nährstofftransport, da atmosphärische Schwankungen bei geringerer mittlerer Deckschichttiefe einen größeren Einfluss auf die Deckschichttiefe haben und dadurch die Nährstoffkonzentration der auf den Schelf transportierten Wassermassen beeinflussen.

Weinert, M., **Mathis, M.**, Kröncke, I., Pohlmann, T., & Reiss, H. (2021): Climate change effects on marine protected areas: Projected decline of benthic species in the North Sea. *Marine Environmental Research*, Volume 163, 2021, 105230, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105230>

Meeresschutzgebiete (MPAs) sollen Rückzugsräume für bedrohte Arten schaffen und dadurch die Integrität von marinen Ökosystemen sowie ihre menschliche Nutzung sicherstellen. In dieser Studie haben wir untersucht, inwieweit ein klima-bedingter Temperaturanstieg die räumliche Verteilung von bodennahen Tierarten, und damit die Effizienz von MPAs, beeinflusst. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass insbesondere in der zweiten Hälfte des 21. Jhdts. MPAs ihre Zielsetzung nicht mehr erfüllen können. Einzelne Spezies könnten sogar gänzlich aus den heutigen Zonen der MPAs verschwinden, sodass ihre zukünftige Beobachtung und Aufzeichnung durch MPAs mit statischen Grenzen nicht gewährleistet werden kann.

Weinert, M., Kröncke, I., Meyer, J., **Mathis, M.**, Pohlmann, T., & Reiss, H. (2022): Benthic ecosystem functioning under climate change: modelling the bioturbation potential for benthic key species in the southern North Sea. *PeerJ*, 10:e14105, <https://doi.org/10.7717/peerj.14105>

Bioturbation im oberen Sediment ist einer der wichtigsten Prozesse der benthisch-pelagischen Kopplung, welcher abgesunkenes biologisches Material (und damit organischen Kohlenstoff) entweder zersetzt oder in tiefere Sedimentschichten einlagert. In dieser Arbeit haben wir unsere Untersuchungen der Auswirkungen globaler Klimaerwärmung um zukünftige Änderungen des Bioturbationspotentials in der Nordsee erweitert. Die Anwendung eines Artenverteilungsmodells hat gezeigt, dass vor allem der für das business-as-usual Szenario simulierte Anstieg der Bodentemperatur um bis zu 5.4°C bis zum Ende des 21. Jhdts. das Bioturbationspotential erheblich beeinflusst und insgesamt Richtung Norden verlagert. Die daraus resultierende Abnahme in den Regionen der südlichen Nordsee könnte eine markante Änderung der biogeochemischen Kreisläufe von Kohlenstoff und Nährstoffen zur Folge haben.

Kühn, B., Kempf, A., Brunel, T., Cole, H., **Mathis, M.**, Sys, K., Trijoulet, V., Vermard, Y., & Taylor, M. (2023): Adding to the mix – Challenges of mixed-fisheries management in the North Sea under climate change and technical interactions. *Fisheries Management and Ecology*, 30, 360–377, <https://doi.org/10.1111/fme.12629>

In dieser Studie haben wir ein gekoppeltes Modell verwendet, welches Einflüsse von verschiedenen benthonischen Fischarten, verschiedenen Fangflotten und diversen bioökonomischen Aspekten auf Fischbestände der Nordsee simulieren kann, einschließlich klimabedingten Änderungen, und sich damit zur Bewertung von Managementoptionen eignet. Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit, sowohl biologische als auch ökonomische Folgen des globalen Klimawandels in der Planung und Beauftragung gemischter Fischerei zu berücksichtigen.