

Berichtszeitraum: **01.01.2016 – 31.12.2016**

Projekttitel: **RACE – AP3.2: Klimaänderungen auf dem Nordwest-Europäischen Schelf**

Teilnehmer: **Uwe Mikolajewicz (MPI), Moritz Mathis (MPI), Birgit Klein (BSH)**

Das wissenschaftliche Ziel des Projekts ist die Abschätzung regionaler Klimaänderungen für den Bereich des Nordwest-Europäischen Schelfs (NWES), insbesondere der Nordsee, sowie der Verbindung dieser Klimaänderungen zu Veränderungen der regionalen Zirkulation im Nordatlantik. Bisherige Ergebnisse haben gezeigt, dass aufgrund der starken Wechselwirkung zwischen Nordostatlantik und NWES mit deutlichen physikalischen und biogeochemischen Zustandsänderungen der Nordsee im 21. Jahrhundert zu rechnen ist. Verschiedene Studien zeigen jedoch stark unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der projizierten Salzgehalt- und Nährstoffänderungen. Unsere Simulationen mit dem regional gekoppelten Klimasystemmodell MPIOM/HAMOCC/REMO weisen darauf hin, dass ein großer Teil dieser Unsicherheiten auf die ausgeprägte multidekadische Variabilität des in den NWES einströmenden Atlantikwassers zurückzuführen ist. Ein weiterer Faktor ergibt sich aus dem Einfluss der individuellen Methodik verschiedener regionaler Klimamodellsysteme, die bei der Regionalisierung einer globalen Zukunftsprojektion zum Einsatz kommt.

Im diesem Jahr lag daher einer der Schwerpunkte unserer Forschung auf einer Vergleichsstudie bezüglich des Einflusses des experimentellen Aufbaus gängiger sogenannter dynamischer Regionalisierungen („dynamical downscalings“) auf das Klimaänderungssignal (Mathis et al., in prep.). Dazu wurde das regional gekoppelte Klimasystemmodell MPIOM/HAMOCC/REMO mit einer kostengünstigen groben Gitterkonfiguration angewendet, welche eine horizontale Auflösung von bis zu 10 km in der südlichen Nordsee (MPIOM) und etwa 50 km in der Atmosphäre (REMO) gewährleistet. Durch eine systematische Kombination bzw. Modifikation einzelner Modellkomponenten konnten mehrere Regionalisierungstechniken verschiedener Komplexität miteinander verglichen werden. Die Experimente umfassen unter anderem eine voll gekoppelte Ozean-Atmosphäre Regionalisierung ohne offene Modellgebietsränder im Ozean sowie mehrere Regionalisierungen durch ein regionales Ozeanmodell mit vorgeschriebenen offenen Randbedingungen und ungekoppeltem atmosphärischen Antrieb unterschiedlicher Auflösungen. Eine Übersicht der Experimente ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Imitation eines regionalen Ozeanmodells für die Nordsee wird mit dem formal globalen Ozeanmodell MPIOM durch die Anwendung eines 3-dimensionalen Restorings außerhalb des Nordsee-Gebietes erreicht. Der Antrieb für sämtliche Regionalisierungsexperimente basiert auf der ersten Realisierung der CMIP5 Klimaprojektion des MPI-ESM (LR) für das IPCC Emissionsszenario RCP8.5.

Simulation	Skala	Interaktion Ozean-Atmosphäre	Atmosphärischer Antrieb	3d-Restoring außerhalb Nordsee
MPI-ESM	global	gekoppelt	ECHAM6	ohne
<i>Cref</i>	regional	gekoppelt	REMO	ohne
<i>EF</i>	regional	ungekoppelt	ECHAM6	ohne
<i>EFroc</i>	regional	ungekoppelt	ECHAM6	mit
<i>RF</i>	regional	ungekoppelt	REMO	ohne
<i>RFroc</i>	regional	ungekoppelt	REMO	mit

Tabelle 1: Übersicht über die globale Klimaprojektion als auch die verschiedenen Regionalisierungsexperimente.

Abb. 1 zeigt das Klimaänderungssignal der Oberflächenwassertemperatur (SST) des NWES für die globale MPI-ESM Simulation und die verschiedenen Regionalisierungsexperimente. Die Ergebnisse veranschaulichen, dass die gekoppelte Regionalisierung *Cref* ein vom globalen Antrieb unabhängiges Änderungssignal simuliert, ungekoppelte

Regionalisierungen dagegen das SST-Signal des globalen Muttermodells weitgehend reproduzieren. Selbst bei der Verwendung von regionalisierten atmosphärischen Antreibsdaten in *RF* und *RFroc* ist das Änderungssignal vom Einfluss des globalen Modells bestimmt.

Vergleiche mit anderen Studien über die Auswirkungen zukünftiger Klimaänderung auf die Nordsee (z.B. Wakelin et al.,2012; Bülow et al.,2014; Mathis und Pohlmann, 2014) machen deutlich, dass die Unsicherheiten im regionalisierten Änderungssignal durch die Wahl der Regionalisierungsmethode etwa genauso groß sind wie die Unsicherheiten durch die Wahl des globalen Muttermodells oder des skalierenden Regionalmodells. Überraschenderweise zeigen sämtliche Regionalisierungsexperimente unserer Studie einen signifikant unterschiedlichen mittleren Zustand für heutige Klimabedingungen. Das projizierte Klimaänderungssignal dagegen lässt eine systematische Abhängigkeit von der Regionalisierungsmethode erkennen, wie in Abb. 1 für SST dargestellt. Das regionalisierte Klimaänderungssignal hängt daher in stärkerem Maße von der Regionalisierungsmethode ab, als von der Qualität der Simulation eines realistischen mittleren Zustandes. Ähnliche Abhängigkeiten finden sich auch mit unterschiedlicher Intensität in den Änderungssignalen anderer Kenngrößen wieder, wie z.B. der vertikalen Schichtung, der Zirkulation oder der biologischen Primärproduktion. Für Änderungen im Salzgehalt hingegen lassen sich vom globalen Antrieb hinreichend unabhängige Ergebnisse auch mit ungekoppelten Simulationen erzielen. Hier sind die Qualität der ozeanischen Randbedingungen und die Berücksichtigung transienter Frischwassereinträge über Festlandabflüsse von größerer Wichtigkeit als interaktive Rückkoppelungsmechanismen zwischen Ozean und Atmosphäre. In die Wahl der Regionalisierungsmethode ist daher neben der Modellverfügbarkeit und dem Kostenaufwand vor allem die Modellvariable mit einzubeziehen, die im Mittelpunkt des Interesses steht.

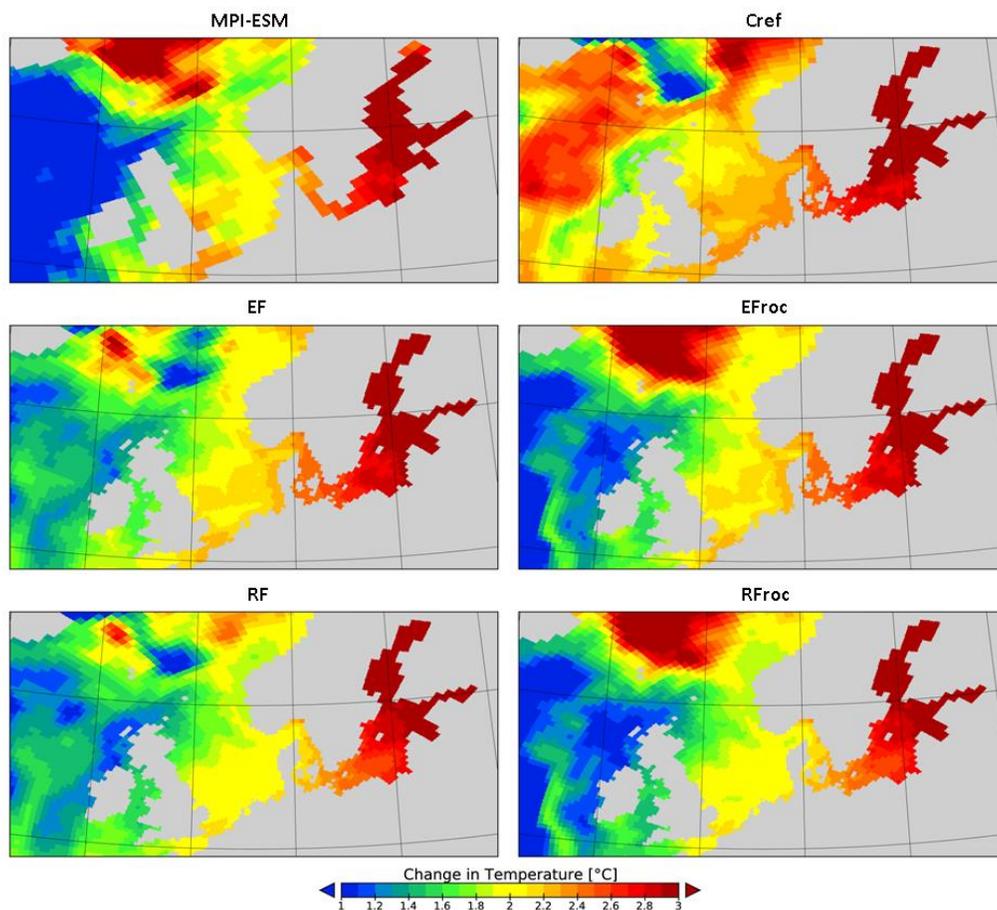


Abb. 1: SST Klimaänderungssignal (2071-2100 minus 1971-2000) für die globale MPI-ESM Simulation, die voll gekoppelte Regionalisierung *Cref* sowie für vier ungekoppelte Regionalisierungen unterschiedlicher Komplexität. Erklärungen für Experimente *EF*, *EFroc*, *RF* und *RFroc* sind in Tabelle 1 angegeben

Neben den Einflüssen der Regionalisierungsmethode sowie der globalen Antriebsdaten auf das Änderungssignal zeigen insbesondere Änderungen im Salzgehalt und Nährstoffinventar des NWES eine starke Abhängigkeit von der natürlichen Variabilität der Ozeanzirkulation im Nordost-Atlantik. Der Einfluss multi-dekadischer Schwankungen des chaotischen Klimasystems dürfen daher in einer Untersuchung zukünftiger, langfristiger Veränderungen nicht außer Acht gelassen werden. Anhand der Ensemble-Simulationen von zwei Emissionsszenarien (RCP4.5 und RCP8.5) und jeweils drei Realisationen der zugehörigen globalen Klimaprojektionen können Unsicherheiten sowohl hinsichtlich der natürlichen Variabilität als auch der zukünftigen Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre abgeschätzt und in die Analysen der Klimaänderungssignale mit einbezogen werden. In Abb. 2 sind Zeitreihen für Oberflächentemperatur und -salzgehalt in der Nordsee sowie Phosphatkonzentration des nördlichen Einstroms der beiden bereits abgeschlossenen hoch-aufgelösten Realisationen des RCP8.5-Szenarios dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die natürliche Variabilität in der Beschaffenheit einströmender atlantischer Wassermassen die Änderungssignale des Salzgehaltes und der Nährstoffkonzentration stärker beeinflusst als die Änderung der Wassertemperatur, welche mehr von groß-skaligen Wechselwirkungen zwischen Ozean und Atmosphäre bestimmt ist.

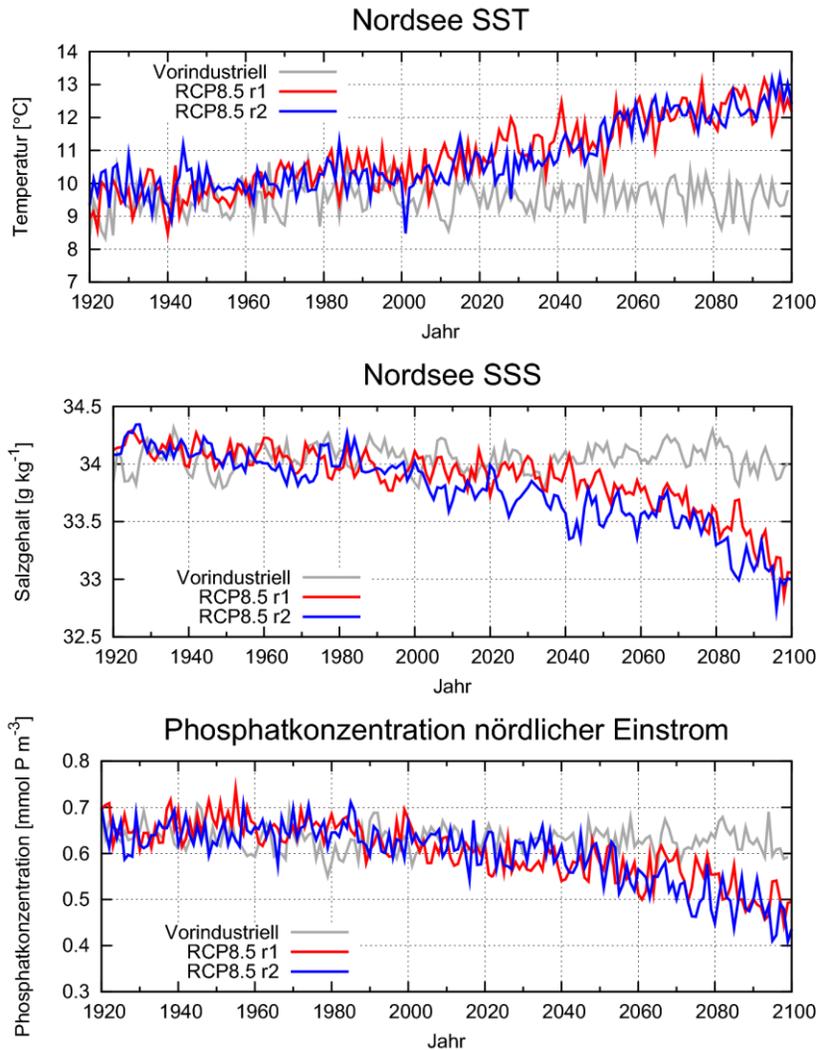


Abb. 2: Zeitreihen für Oberflächentemperatur und -salzgehalt in der Nordsee sowie Phosphatkonzentration des nördlichen Einstroms aus zwei Realisationen des Emissionsszenarios RCP8.5 als auch für den Kontrolllauf unter vorindustrieller atmosphärischer CO₂-Konzentration

Literatur:

Bülow, K., Dieterich, C., Elizalde, A., Gröger, M., Heinrich, H., Hüttl-Kabus, S., Klein, B., Mayer, B., Meier, H. E. M., Mikolajewicz, U., Narayan, N., Pohlmann, T., Rosenhagen, G., Schimanke, S., Sein, D., Su, J., 2014. Comparison of 3 coupled models in the North Sea region under today's and future climate conditions. KLIWAS Schriftenreihe 27, 270 pp, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Mathis, M., Pohlmann, T., 2014. Projection of physical conditions in the North Sea for the 21st century. Climate Research 61, 1-17

Mathis, M., Elizalde, A., Mikolajewicz, U., in prep. Which complexity of regional climate system models is essential for downscaling anthropogenic climate change in the Northwest European Shelf?

Wakelin, S., Daewel, U., Schrum, C., Holt, J., Butenschön, M., Artioli, Y., Beecham, J., Lynam, C., Mackinson, S., 2012. MEECE deliverable D3.4: Synthesis report for Climate Simulations, Part 3: NE Atlantic / North Sea, 82 pp