

Worin unterscheiden sich die mit verschiedenen regionalen Klimamodellen berechneten möglichen zukünftigen Änderungen der Windfelder auf der Nordsee?

A. Ganske, H. Heinrich, BSH Hamburg,
B. Tinz, DWD Hamburg

Ressortforschungsprogramm

- Deutscher Wetterdienst (DWD)
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Für die Nordsee ist Wind einer der wichtigsten meteorologischen Parameter. Die Windgeschwindigkeiten in der Nähe der Wasseroberfläche haben einen großen Einfluss auf den lokalen Meeresspiegel und die Wellen. Hierbei sind jedoch nicht nur die Mittelwerte von Interesse, sondern besonders die hohen Windgeschwindigkeiten, da diese zusammen mit der Tide Sturmfluten erzeugen können. Deshalb ist es für die Sicherheit der Küsten der Nordsee von großer Bedeutung, die möglichen zukünftigen Veränderungen der Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten zu kennen. Vergleicht man jedoch die Ergebnisse verschiedener Klimamodellrechnungen, so findet man eine große Bandbreite an möglichen Änderungen, siehe z.B. De Winter¹ et al. (2013). Deshalb stellt sich die Frage, in wie weit Windergebnisse verschiedener Simulationen mit Regionalen Klimamodellen (RCM) übereinstimmen und ob robuste Aussagen zu möglichen zukünftigen Änderungen gemacht werden können. Dies wurde im Forschungsprogramm KLIWAS mit Hilfe der Ergebnisse von acht RCM untersucht. Es lagen Simulationen für die Jahre 1961 – 2000 (20C) und 2001 – 2009 unter den Annahmen des A1B Szenarios vor. Die RCM-Läufe entstanden im Rahmen des ENSEMBLES-Projekts², beim Max-Planck-Institut für Meteorologie^{3,4} (MPI), dem Königlichen Niederländischen Meteorologischen Institut⁵ (KNMI), dem Dänischen Meteorologischen Institut⁶ (DMI) und dem Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Institut⁷ (SMHI).

Methoden

Jährliche Häufigkeitsverteilungen (HV) werden aus Tagesmittelwerten der 10 m Windgeschwindigkeit auf der Nordsee auf zwei Arten bestimmt:

1. Für die sechs Nordseegebiete: Jede HV wird aus allen Werten eines Jahres an allen Gitterpunkten über See im Gebiet gebildet.
2. An jedem Gitterpunkt (GP): Die HV wird aus allen Werten eines Jahres an einem GP gebildet.

Aus diesen jährlichen HV wird das 50. und 99. Perzentil berechnet und für die einzelnen Perzentilwerte werden jeweils Zeitreihen von 1961-2099 zusammengesetzt. Der Trend der Zeitreihen wird mit dem Mann-Kendall Verfahren bestimmt, der Wert des Trends mit dem Verfahren nach Sen⁸.

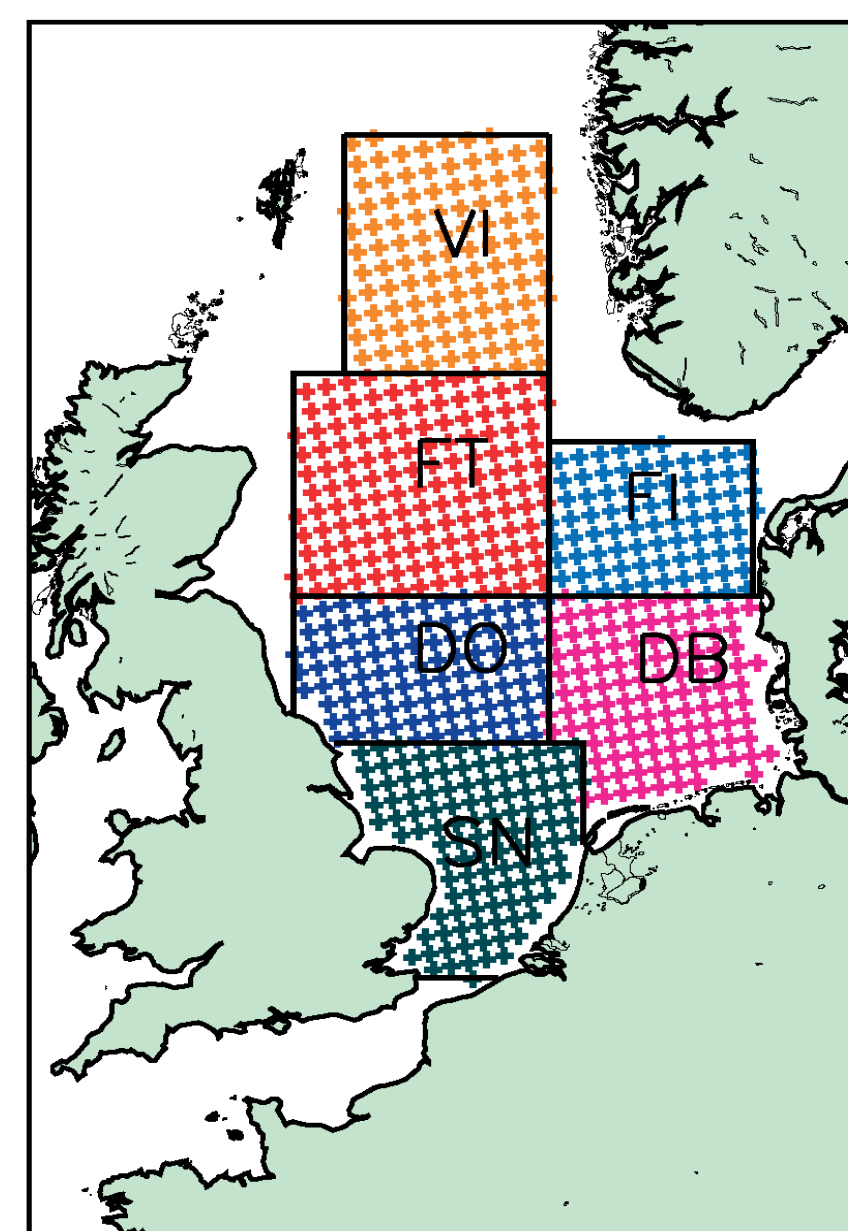


Abb. 1: Teilgebiete der Nordsee Viking (VI), Forties (FT), Fischer (FI), Dogger (DO), Deutsche Bucht (DB) und Südwestliche Nordsee (SN) mit REMO-Gitterpunkten über See.

Lineare Trends 50. Perzentil

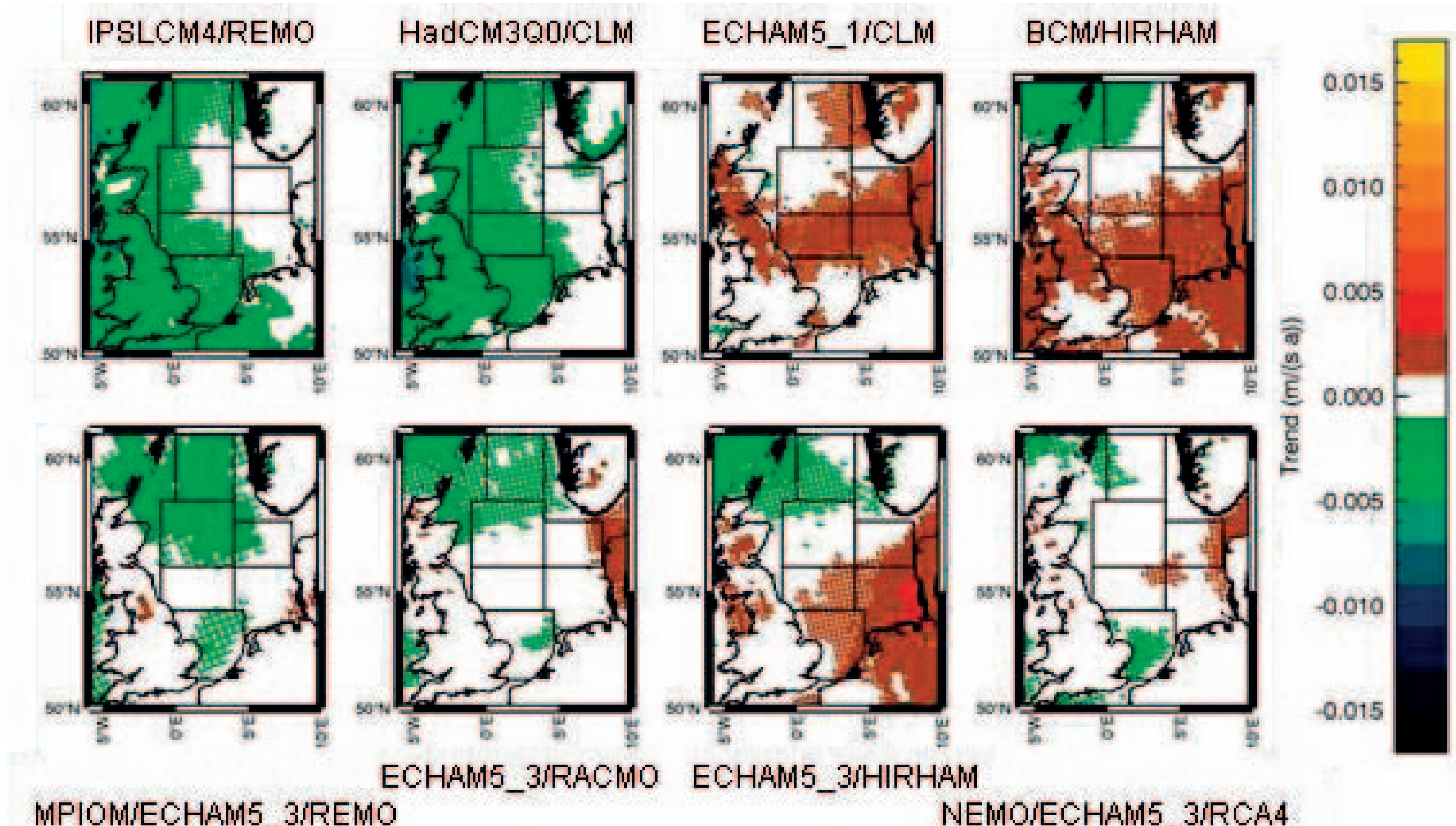


Abb. 4: Lineare Trends der Zeitreihen des 50. Perzentils der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit. Gitterboxen mit signifikanten Trends sind farbig aufgefüllt.

7 Simulationen zeigen einen negativen Trend nördlich von Schottland und in Viking, 5 Trends in der südöstlichen Nordsee (Fischer und Deutsche Bucht) sind positiv. Geringe Übereinstimmung mit überwiegend sehr kleinen Trends gibt es in allen anderen Gebieten.

Zeitreihen der Perzentile

IPSL4/REMO HadCM3Q0/CLM ECHAM5_1/CLM BCM/HRHAM
MPIOM/ECHAM5_3/REMO ECHAM5_3/RACMO2 ECHAM5_3/HRHAM NEMO/ECHAM5_3/RCA4

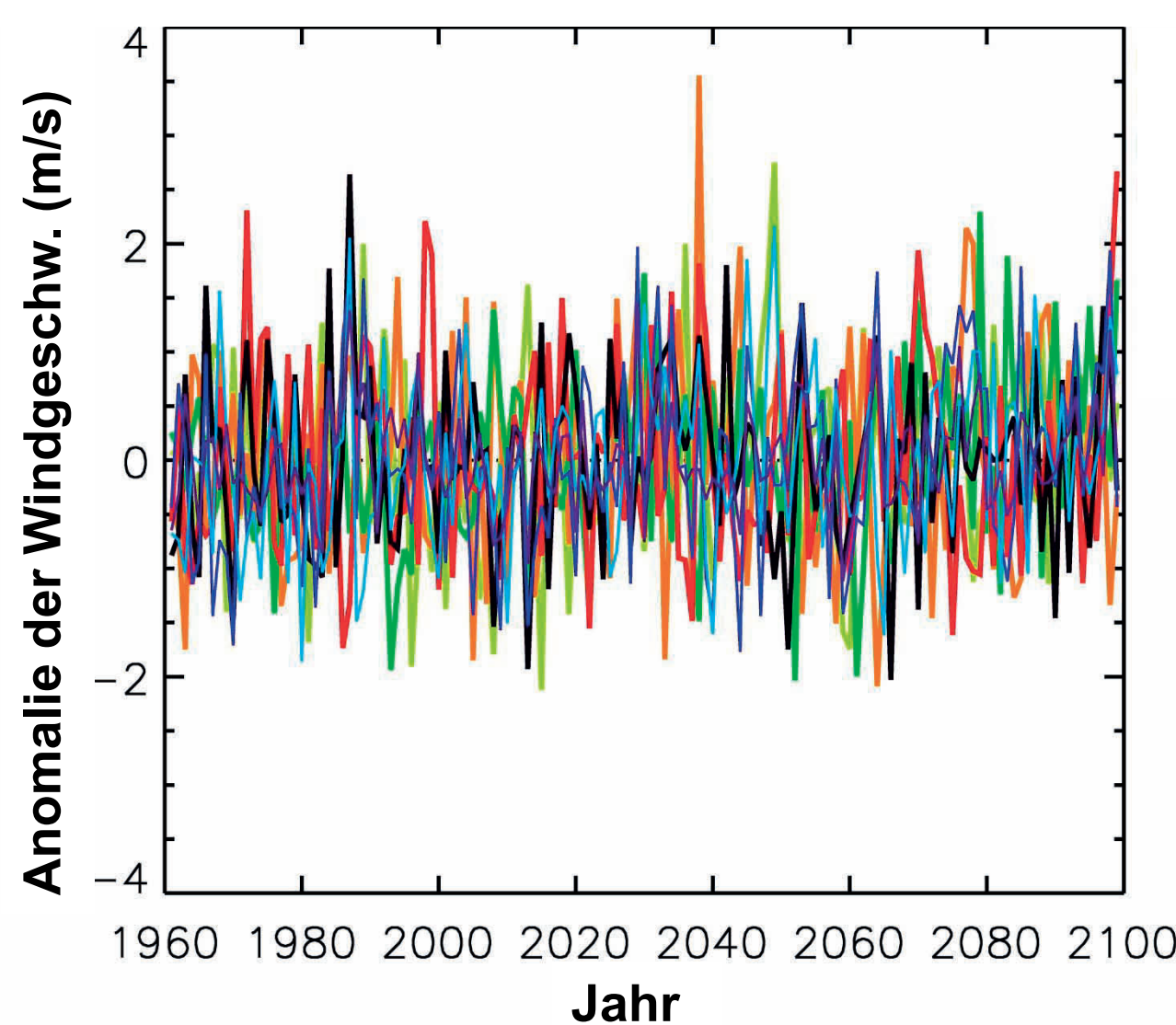


Abb. 2: Anomalien der Zeitserien der 99. Perzentile der jährlichen Häufigkeitsverteilungen aus den 10 m Windgeschwindigkeiten von 8 RCMs für die Deutsche Bucht. Werte bezogen auf den Mittelwert von 1961-2009.

Mit allen 8 RCM berechnete Zeitreihen des 50. und 99. Perzentils zeigen starke Schwankungen von Jahr zu Jahr. Die 30-jährigen gleitenden Mittel schwanken bei den meisten Zeitreihen um ihren Mittelwert für 1961-1990, nur wenige Zeitreihen haben einen langfristigen Anstieg oder Abfall.

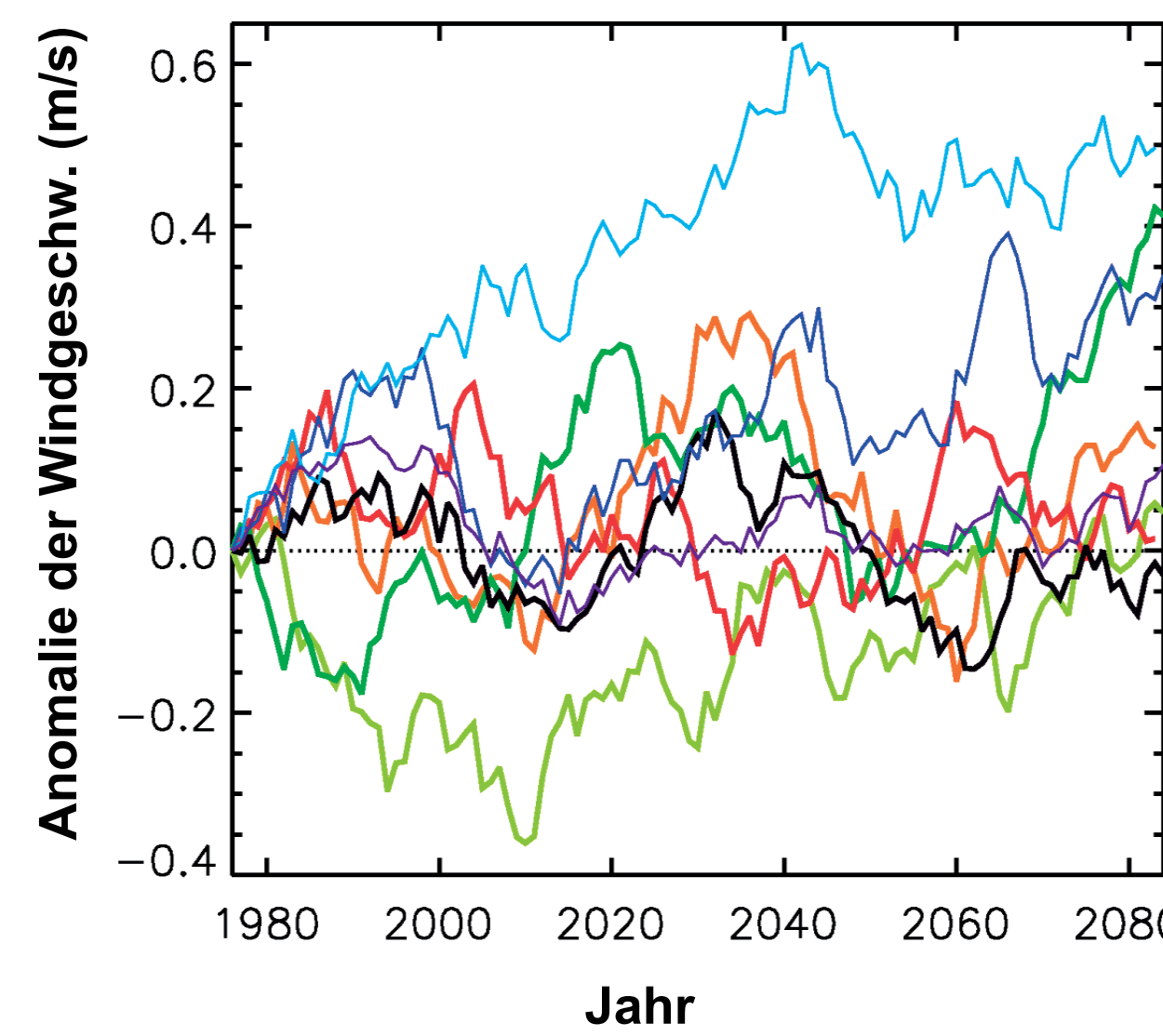


Abb. 3: Anomalien der gleitenden 30-jährigen Mittel der Zeitserien der 99. Perzentile in Abbildung 2. Werte bezogen auf den Mittelwert von 1961-1990.

Lineare Trends 99. Perzentil

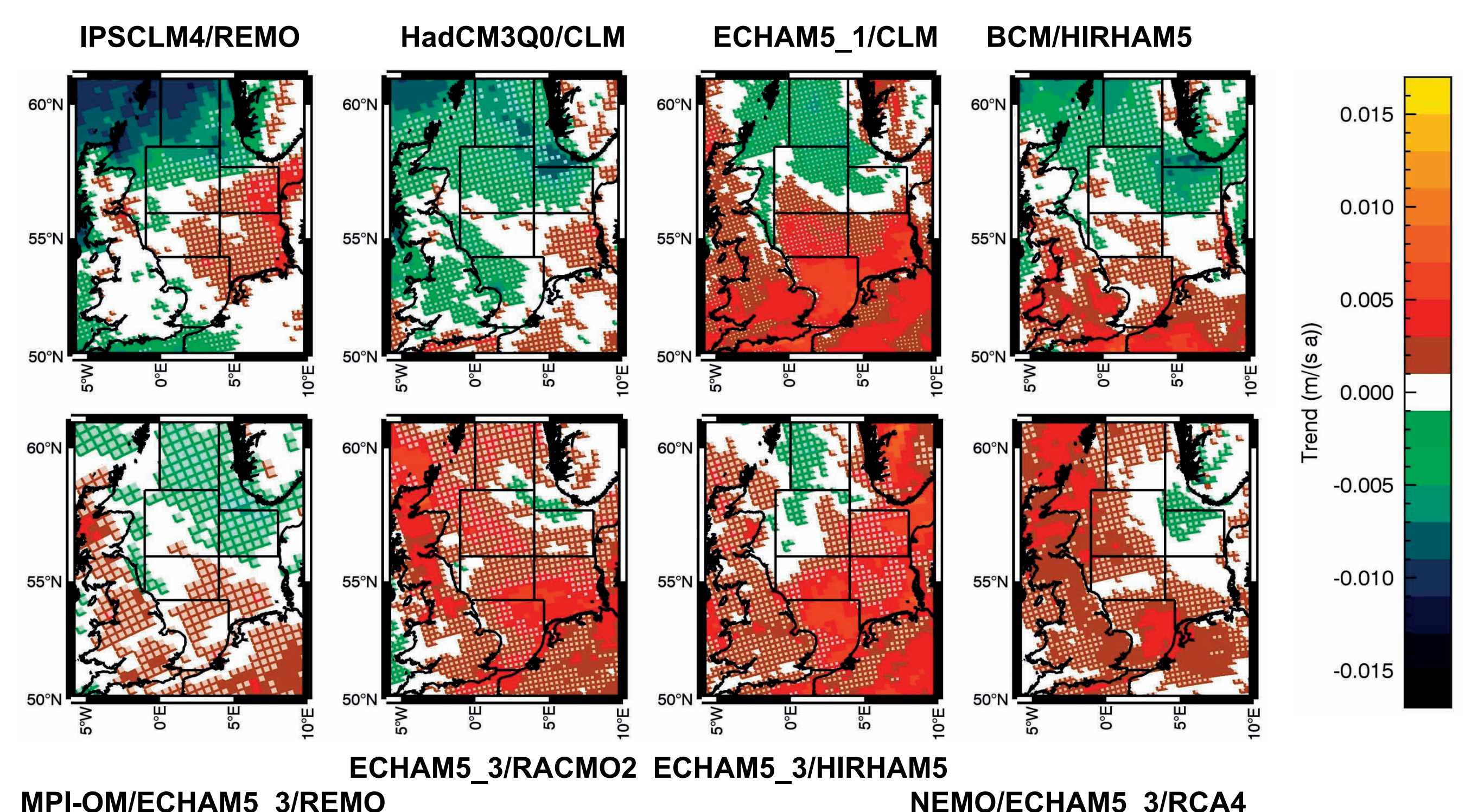


Abb. 5: Lineare Trends der Zeitreihen des 99. Perzentils der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit. Gitterboxen mit signifikanten Trends sind farbig aufgefüllt.

6 Simulationen zeigen einen negativen Trend in Viking, alle Trends in der südöstlichen Nordsee sind positiv. Die geringste Übereinstimmung gibt es in den Übergangsgebieten Forties, Fischer und Dogger in der Mitte der Nordsee.

Zusammenfassung

Alle Zeitreihen der Perzentile der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit von 8 RCM-Simulationen zeigen starke jährliche Schwankungen und verglichen damit geringere dekadischen Schwankungen, die durch die interne Variabilität der Atmosphäre bedingt sind. Dabei fluktuieren bei den meisten Perzentil-Zeitreihen ihre 30-jährigen gleitenden Mittel um ihren Mittelwert von 1961-1990 und nur bei wenigen sind neben den dekadischen Schwankungen auch schwache langfristige Trends zu erkennen. Nur wenige dieser Trends sind statistisch signifikant, da sie meist klein sind im Vergleich zu den jährlichen Schwankungen. Bei 7 RCM-Simulationen haben die 50. Perzentile an Gitterpunkten in der nördlichen Nordsee einen negativen und bei 5 Simulationen in der südöstlichen Nordsee einen positiven Trend. Da die Übergänge zwischen positiven und negativen Trends nicht bei allen Simulationen gleich sind, gibt es nur geringe Übereinstimmungen zwischen den RCM-Simulationen in den mittleren Gebieten Forties und Fischer. Allerdings deuten hier die unterschiedlichen Vorzeichen der Trends und die Werte nahe Null darauf hin, dass es in diesen Gebieten keine Veränderung des 50. Perzentils gibt, siehe Power et al. (2012). Beim 99. Perzentil zeigen 6 der RCM-Simulationen negative Trends in Viking und alle Simulationen positive Trends in der südöstlichen Nordsee. Auch bei diesem Perzentil ist der Übergang zwischen den negativen und positiven Trends nicht einheitlich, so dass die Vorzeichen der Trends in der Mitte der Nordsee nicht übereinstimmen, an manchen Gitterpunkten aber signifikant sind.

Literatur:

1. De Winter, R.C. et al., 2013: Wind extremes in the North Sea basin under climate change: an ensemble study of 12 CMIP5 GCMs. *J. Geophys. Res.* **118**, 1-12.
2. Van den Linden, P. and Mitchell, J.F.B. (eds.), 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. MET Office Hadley Centre, Exeter EX13PB, UK, 160pp.
3. Mikojałowicz, U. et al., 2005: Simulating Arctic sea ice variability with a coupled regional atmosphere-ocean-sea-ice model. *Meteorol. Z.* **14** (6), 793 – 800.
4. Keuler, K. et al., 2009: Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.1, Data stream 2: European region MPI/MaD. World Data Centre for Climate, DOI:10.1594/WDCC/CLM_A1B_1_D2.
5. Meijgaard, E. van et al., 2008: The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1. KNMI Technical Report 302. 43pp.
6. Christensen, J.H., et al., 1996: The HIRHAM4 Regional atmospheric climate model, *DMI Scientific Report* **96-4**.
7. Dieterich, C. et al., 2013: Evaluation of the SMHI coupled atmosphere-ice-ocean model RCA4_NEMO. *SMHI-Report*, **RO 47**, ISSN 0283-1112.
8. SEN, P. K., 1968: Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association* **63**, 1379-1389.
9. Power, S. B. et al., 2012: Consensus on Twenty-First-Century Rainfall Projections in Climate Models More Widespread than Previously Thought. *J. Climate* **25**, 3792-3809.

Worin unterscheiden sich die mit verschiedenen regionalen Klimamodellen berechneten möglichen zukünftigen Änderungen der Windfelder auf der Nordsee?

A. Ganske, H. Heinrich, BSH Hamburg,
B. Tinz, DWD Hamburg

Ressortforschungsprogramm

- Deutscher Wetterdienst (DWD)
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Für die Nordsee ist Wind einer der wichtigsten meteorologischen Parameter. Die Windgeschwindigkeiten in der Nähe der Wasseroberfläche haben einen großen Einfluss auf den lokalen Meeresspiegel und die Wellen. Hierbei sind jedoch nicht nur die Mittelwerte von Interesse, sondern besonders die hohen Windgeschwindigkeiten, da diese zusammen mit der Tide Sturmfluten erzeugen können. Deshalb ist es für die Sicherheit der Küsten der Nordsee von großer Bedeutung, die möglichen zukünftigen Veränderungen der Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten zu kennen. Vergleicht man jedoch die Ergebnisse verschiedener Klimamodellrechnungen, so findet man eine große Bandbreite an möglichen Änderungen, siehe z.B. De Winter¹ et al. (2013). Deshalb stellt sich die Frage, in wie weit Windergebnisse verschiedener Simulationen mit Regionalen Klimamodellen (RCM) übereinstimmen und ob robuste Aussagen zu möglichen zukünftigen Änderungen gemacht werden können. Dies wurde im Forschungsprogramm KLIWAS mit Hilfe der Ergebnisse von acht RCM untersucht. Es lagen Simulationen für die Jahre 1961 – 2000 (20C) und 2001 – 2009 unter den Annahmen des A1B Szenarios vor. Die RCM-Läufe entstanden im Rahmen des ENSEMBLES-Projekts², beim Max-Planck-Institut für Meteorologie^{3,4} (MPI), dem Königlichen Niederländischen Meteorologischen Institut⁵ (KNMI), dem Dänischen Meteorologischen Institut⁶ (DMI) und dem Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Institut⁷ (SMHI).

Methoden

Jährliche Häufigkeitsverteilungen (HV) werden aus Tagesmittelwerten der 10 m Windgeschwindigkeit auf der Nordsee auf zwei Arten bestimmt:

- Für die sechs Nordseegebiete: Jede HV wird aus allen Werten eines Jahres an allen Gitterpunkten über See im Gebiet gebildet.
- An jedem Gitterpunkt (GP): Die HV wird aus allen Werten eines Jahres an einem GP gebildet.

Aus diesen jährlichen HV wird das 50. und 99. Perzentil berechnet und für die einzelnen Perzentilwerte werden jeweils Zeitreihen von 1961-2099 zusammengesetzt. Der Trend der Zeitreihen wird mit dem Mann-Kendall Verfahren bestimmt, der Wert des Trends mit dem Verfahren nach Sen⁸.

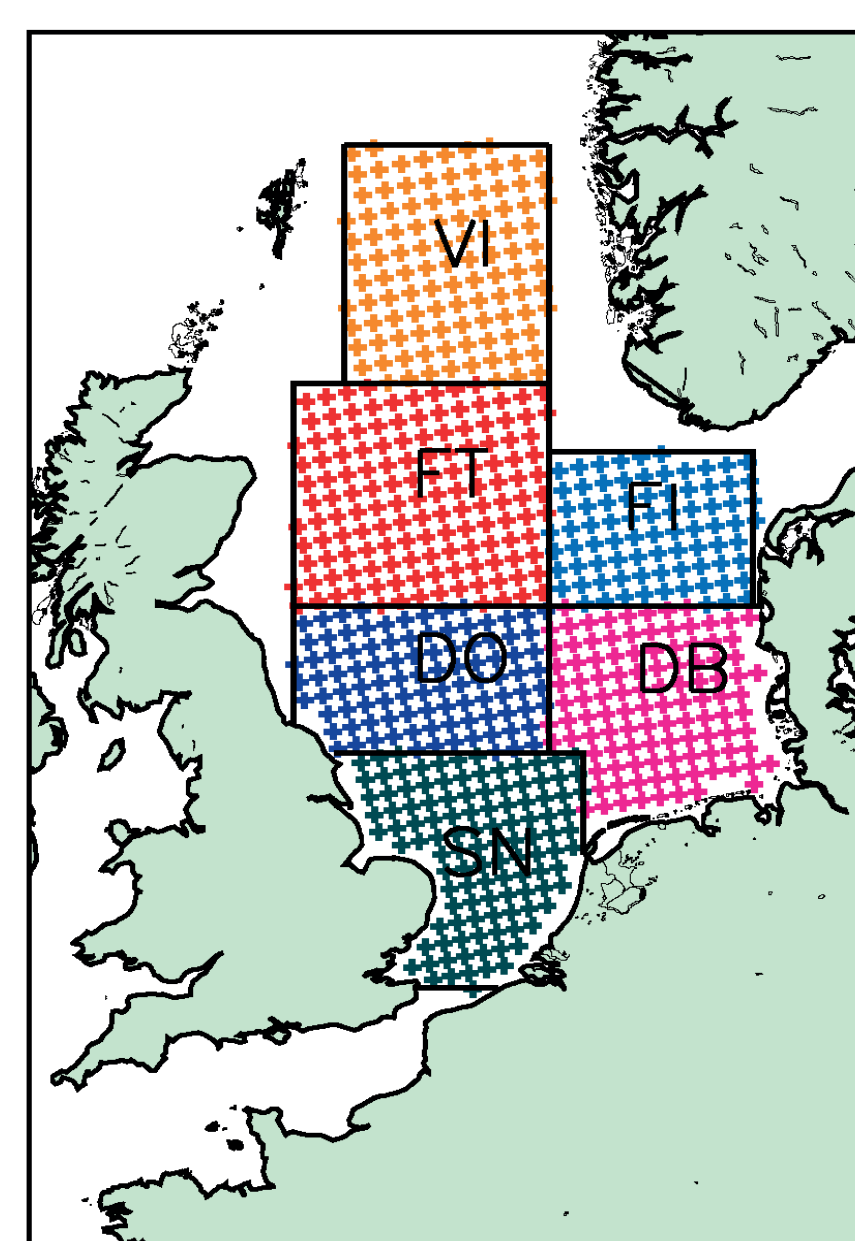


Abb. 1: Teilgebiete der Nordsee Viking (VI), Forties (FT), Fischer (FI), Dogger (DO), Deutsche Bucht (DB) und Südwestliche Nordsee (SN) mit REMO-Gitterpunkten über See.

Lineare Trends 50. Perzentil

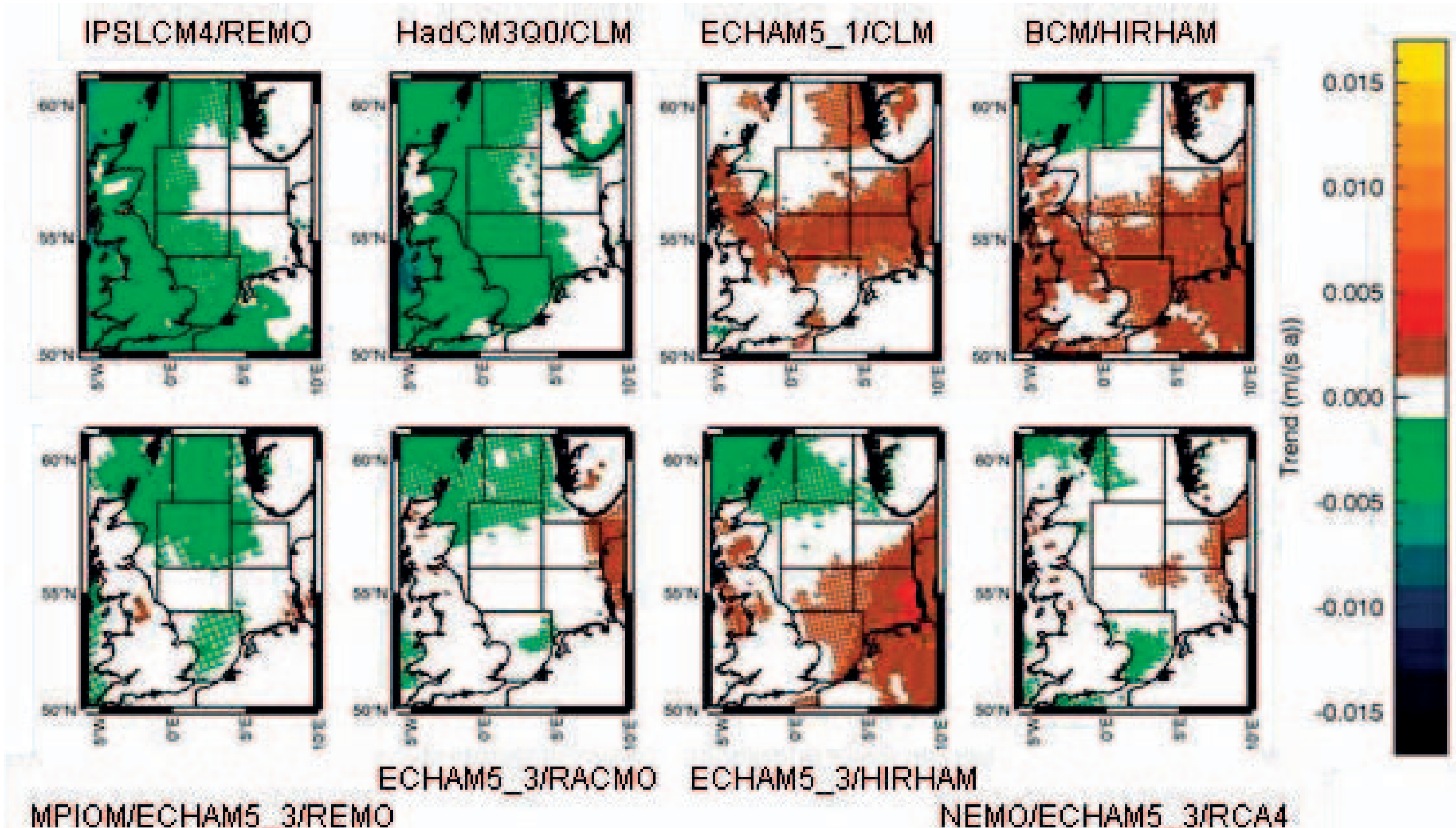


Abb. 4: Lineare Trends der Zeitreihen des 50. Perzentils der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit. Gitterboxen mit signifikanten Trends sind farbig aufgefüllt.

7 Simulationen zeigen einen negativen Trend nördlich von Schottland und in Viking, 5 Trends in der südöstlichen Nordsee (Fischer und Deutsche Bucht) sind positiv. Geringe Übereinstimmung mit überwiegend sehr kleinen Trends gibt es in allen anderen Gebieten.

Zeitreihen der Perzentile

IPSL4/REMO HadCM3Q0/CLM ECHAM5_1/CLM BCM/HRHAM
MPIOM/ECHAM5_3/REMO ECHAM5_3/RACMO2 ECHAM5_3/HRHAM NEMO/ECHAM5_3/RCA4

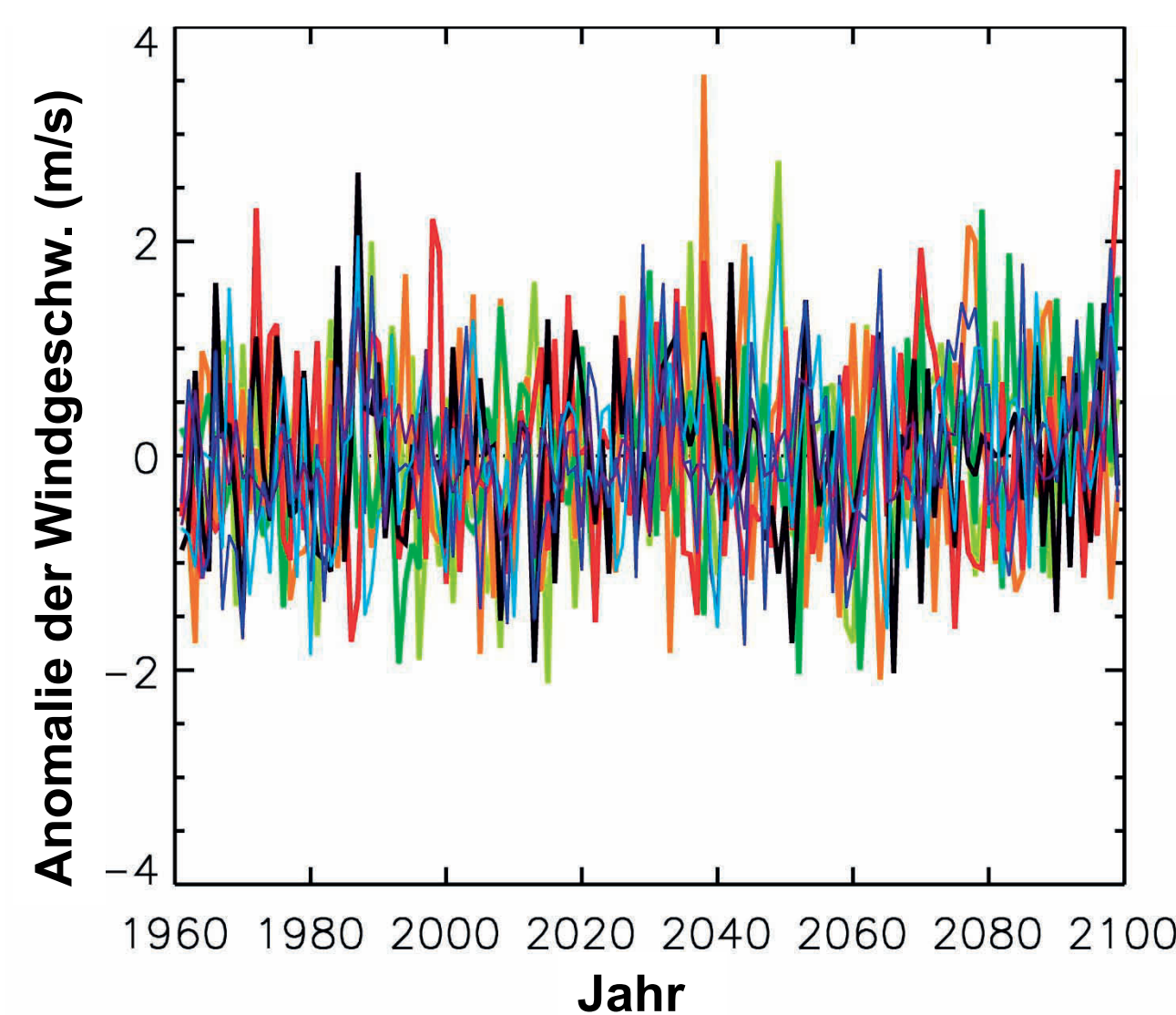


Abb. 2: Anomalien der Zeitserien der 99. Perzentile der jährlichen Häufigkeitsverteilungen aus den 10 m Windgeschwindigkeiten von 8 RCMs für die Deutsche Bucht. Werte bezogen auf den Mittelwert von 1961-2009.

Mit allen 8 RCM berechnete Zeitreihen des 50. und 99. Perzentils zeigen starke Schwankungen von Jahr zu Jahr. Die 30-jährigen gleitenden Mittel schwanken bei den meisten Zeitreihen um ihren Mittelwert für 1961-1990, nur wenige Zeitreihen haben einen langfristigen Anstieg oder Abfall.

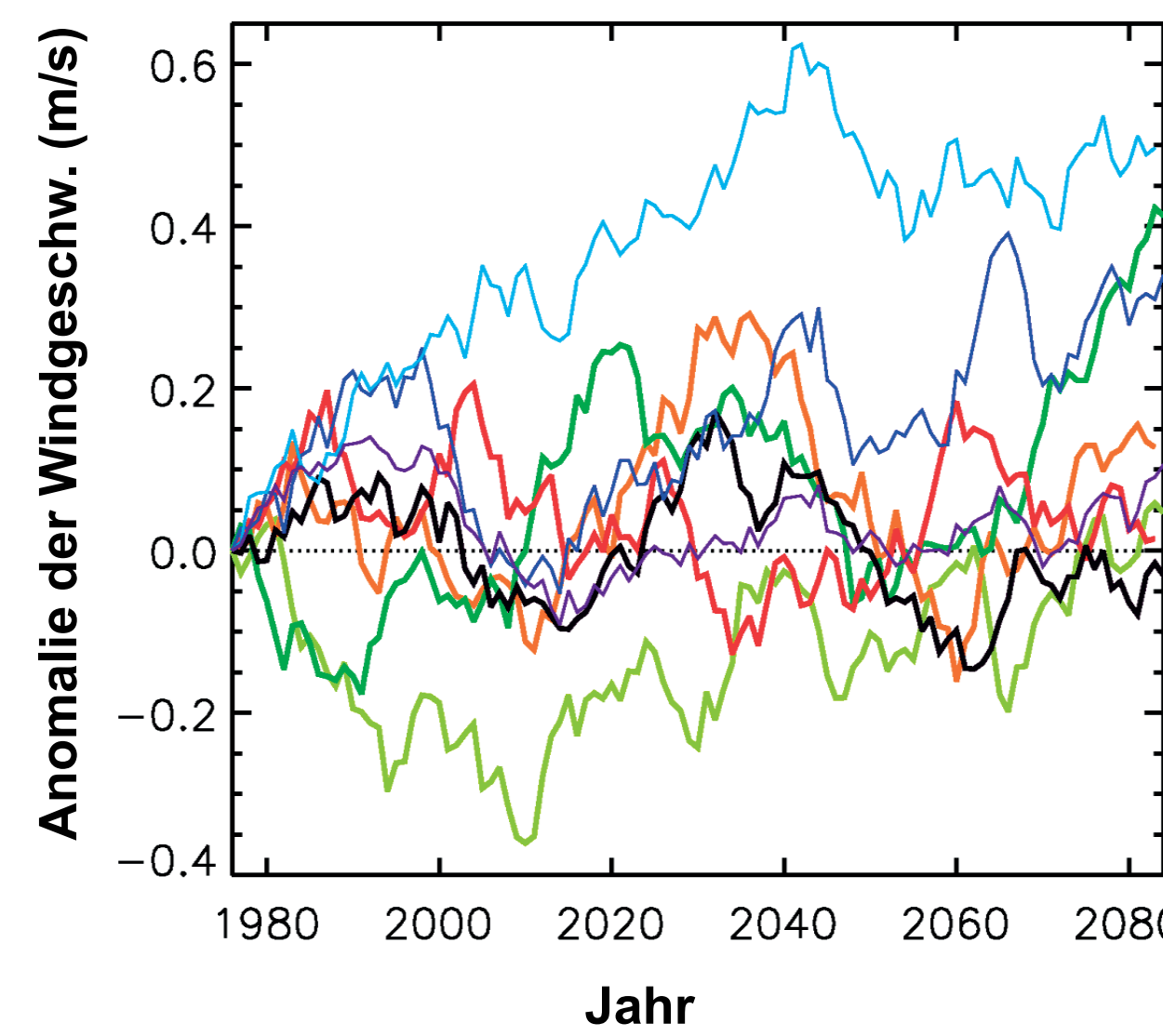


Abb. 3: Anomalien der gleitenden 30-jährigen Mittel der Zeitserien der 99. Perzentile in Abbildung 2. Werte bezogen auf den Mittelwert von 1961-1990.

Lineare Trends 99. Perzentil

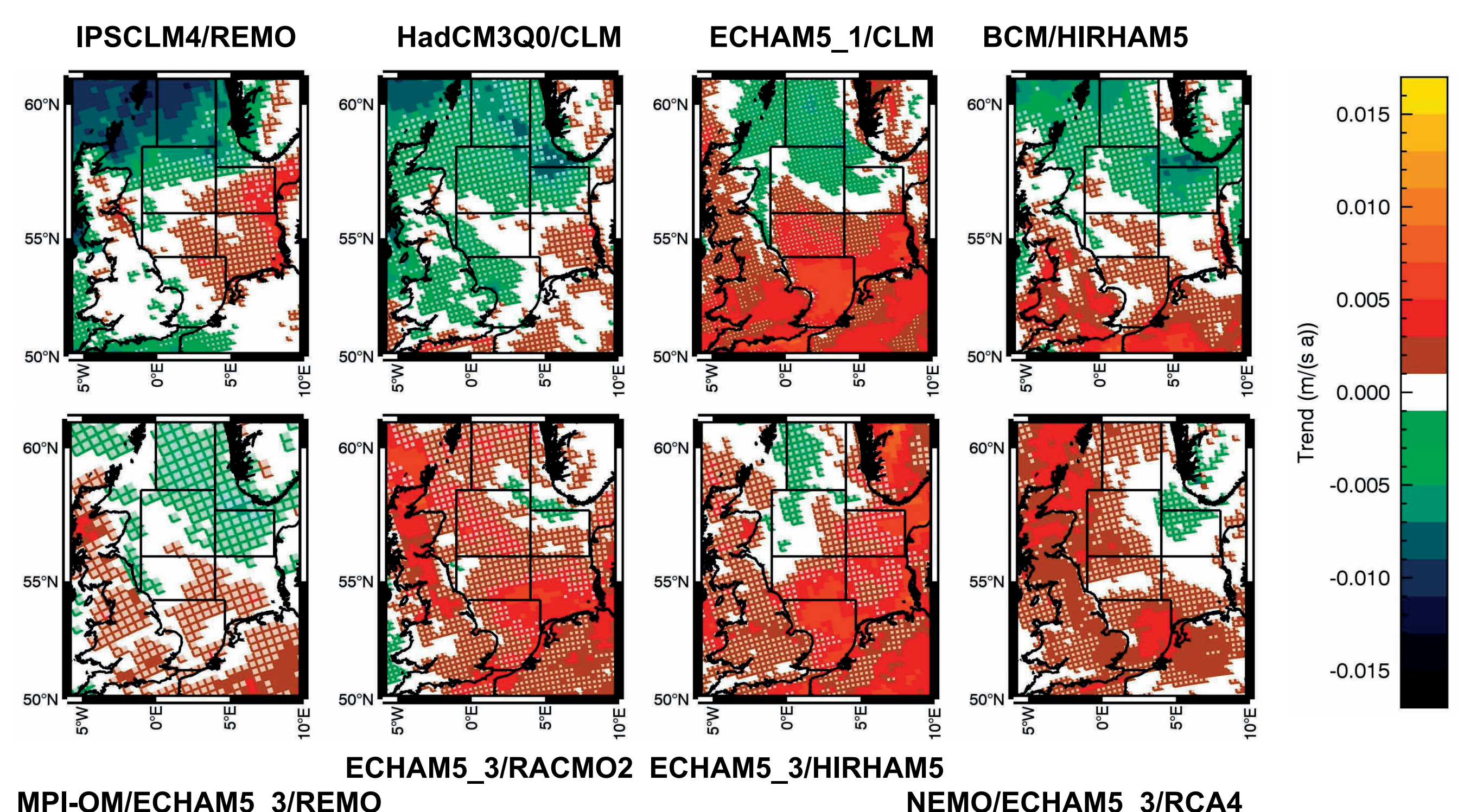


Abb. 5: Lineare Trends der Zeitreihen des 99. Perzentils der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit. Gitterboxen mit signifikanten Trends sind farbig aufgefüllt.

6 Simulationen zeigen einen negativen Trend in Viking, alle Trends in der südöstlichen Nordsee sind positiv. Die geringste Übereinstimmung gibt es in den Übergangsgebieten Forties, Fischer und Dogger in der Mitte der Nordsee.

Zusammenfassung

Alle Zeitreihen der Perzentile der jährlichen Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit von 8 RCM-Simulationen zeigen starke jährliche Schwankungen und verglichen damit geringere dekadischen Schwankungen, die durch die interne Variabilität der Atmosphäre bedingt sind. Dabei fluktuieren bei den meisten Perzentil-Zeitreihen ihre 30-jährigen gleitenden Mittel um ihren Mittelwert von 1961-1990 und nur bei wenigen sind neben den dekadischen Schwankungen auch schwache langfristige Trends zu erkennen. Nur wenige dieser Trends sind statistisch signifikant, da sie meist klein sind im Vergleich zu den jährlichen Schwankungen. Bei 7 RCM-Simulationen haben die 50. Perzentile an Gitterpunkten in der nördlichen Nordsee einen negativen und bei 5 Simulationen in der südöstlichen Nordsee einen positiven Trend. Da die Übergänge zwischen positiven und negativen Trends nicht bei allen Simulationen gleich sind, gibt es nur geringe Übereinstimmungen zwischen den RCM-Simulationen in den mittleren Gebieten Forties und Fischer. Allerdings deuten hier die unterschiedlichen Vorzeichen der Trends und die Werte nahe Null darauf hin, dass es in diesen Gebieten keine Veränderung des 50. Perzentils gibt, siehe Power et al. (2012). Beim 99. Perzentil zeigen 6 der RCM-Simulationen negative Trends in Viking und alle Simulationen positive Trends in der südöstlichen Nordsee. Auch bei diesem Perzentil ist der Übergang zwischen den negativen und positiven Trends nicht einheitlich, so dass die Vorzeichen der Trends in der Mitte der Nordsee nicht übereinstimmen, an manchen Gitterpunkten aber signifikant sind.

Literatur:

- De Winter, R.C. et al., 2013: Wind extremes in the North Sea basin under climate change: an ensemble study of 12 CMIP5 GCMs. *J. Geophys. Res.* **118**, 1-12.
- Van den Linden, P. and Mitchell, J.F.B (eds.), 2009: ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. MET Office Hadley Centre, Exeter EX13PB, UK, 160pp.
- Mikolajewicz, U. et al., 2005: Simulating Arctic sea ice variability with a coupled regional atmosphere-ocean-sea-ice model. *Meteorol. Z.* **14** (6), 793 – 800.
- Keuler, K. et al., 2009: Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.1, Data stream 2: European region MPI/MaD. World Data Centre for Climate, DOI:10.1594/WDCC/CLM_A1B_1_D2.
- Meijgaard, E. van et al., 2008: The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1. KNMI Technical Report 302. 43pp.
- Christensen, J.H., et al., 1996: The HIRHAM4 Regional atmospheric climate model, *DMI Scientific Report* **96-4**.
- Dieterich, C. et al., 2013: Evaluation of the SMHI coupled atmosphere-ice-ocean model RCA4_NEMO. *SMHI-Report*, **RO 47**, ISSN 0283-1112.
- SEN, P. K., 1968: Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association* **63**, 1379-1389.
- Power, S. B. et al., 2012: Consensus on Twenty-First-Century Rainfall Projections in Climate Models More Widespread than Previously Thought. *J. Climate* **25**, 3792-3809.