

## Schlussbericht gem. Anl. 2 zu Nr 3.2 BNBestBMBF 98

<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Climate Model Validation by confronting globally Essential Climate Variables from models with observations (ClimVal)	
<b>ZE (Zuwendungsempfänger):</b> Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre (IPA), Oberpfaffenhofen, Dr. Veronika Eyring (Coordinator), Oberpfaffenhofen, D-82234 Wessling	<b>Förderkennzeichen:</b> 01LP1159A
Institute of Environmental Physics, University of Bremen (IUP-UB), P.O. Box 330440, D-28334 Bremen	01LP1159B
<b>Antragsteller</b> Dr. Veronika Eyring (DLR) und Dr. Georg Heygster (IUP-UB)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> Teilprojekt 1: 01.10.2011 bis 31.12.2015 Teilprojekt 2: 01.10.2011 bis 31.12.2015	

### I. Kurze Darstellung

#### I.1. Aufgabenstellung

Verlässliche Klimaprognosen sind von fundamentaler Bedeutung für die Gesellschaft. Die Forschung ist gefordert, die komplexen Wechselwirkungen des Klimasystems und die Ursachen von Klimaänderungen zu verstehen. Ziel des ClimVal Projekts war es, die Stärken und Schwächen sowie die Unsicherheiten im MiKlip Modellsystem mit Fokus auf Meereis durch eine umfangreiche Evaluation mit Beobachtungsdaten zu quantifizieren. Zur Beurteilung des MiKlip Modellsystems in Bezug auf arktische Meereisausdehnung wurden im Rahmen von ClimVal Teilprojekt 2 von der Universität Bremen entsprechende Datensätze erstellt. und zur Evaluierung genutzt. Während die hier benötigten monatlichen Daten zur Eiskonzentration aus existierenden Datensätzen aufbereitet wurden, musste ein Verfahren zur Bestimmung der Eisdicke aus Satellitenbeobachtungen entwickelt werden. Das Erdsystemmodellevaluierungstool (ESMValTool) wurde mit einem Verifikationssystem für dekadische Klimasimulationen erweitert und auf das MiKlip System angewandt. Im MiKlip prototype System wurde ein verbesserter Vorhersage-Skill durch Initialisierung für 2m-Lufttemperaturen und Meeresoberflächentemperaturen unter anderem im Nordatlantik gefunden. Diese Verbesserung propagiert nordwärts und zeigt sich in einem erhöhten Vorhersage-Skill der Meereisfläche im Grönlandmeer im Winter. Hier konnte das Problem der im Vergleich mit Beobachtungen antikorrelierten Variabilitätsmuster, das in den nicht-initialisierten Langzeitsimulationen auftritt, durch die Initialisierung gelöst werden. In anderen Regionen sowie im Sommer konnten die Meereisprognosen durch Initialisierung nicht weiter verbessert werden. Durch eine zusätzliche Initialisierung mit Meereisgrößen in MiKlip Phase 2 könnte eine Verbesserung des Vorhersage-Skills für Meereis erzielt werden.

## I.2. Voraussetzungen

Voraussetzung für die Verifikation des MiKlip Systems in den unterschiedlichen Entwicklungsstufen war die zentrale Durchführung der MiKlip Simulationen. Für die Arbeiten waren außerdem eine Recherche und vorbereitende Entwicklung und Tests geeigneter Diagnosewerkzeuge nötig.

## I.3. Planung und Ablauf

Das Projekt war in vier Arbeitspakete aufgeteilt. Der zeitliche Ablauf des Vorhabens ist der folgenden Tabelle zu entnehmen, in der auch die Meilensteine dargestellt sind.

ClimVal Project: Overview	YEAR 1												YEAR 2												YEAR 3												YEAR 4												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
	Stage DS1												Stage DS2												Stage DS3																								
Workshops: ClimVal <-> MiKlip overall																																																	
Workshops: ClimVal <-> Module E																																																	
WP 1. Observational dataset for Arctic sea ice	1																																																
M1: Observed sea ice extent & concentration	1										12																																						
M2: Observed sea ice thickness data					6																		24																										
M5. Validationstudy for sea ice thickness																															25																		
M6. Documentation of sea ice data sets																																																	
WP 2. Diagnostics for the evaluation of ECVs	1																																																
M3: Toolkit for qualitative ECV evaluation	1																																																
M7. Assessment of MiKlip prototype ECVs																																																	
M8. Assessment of MiKlip synthesis ECVs																																																	
WP 3. Quantitative evaluation					6																																												
M4. Toolkit for quantitative ECV evaluation					6																																												
WP 4. Project coordination	1																																																
Project reports											12																																						

WP 1 wurde vom ClimVal Partner Universität Bremen durchgeführt. WP 2 und WP3 wurde vom ClimVal Partner DLR-IPA durchgeführt und von Dr. Veronika Eyring und Daniel Senfleben im Rahmen seiner Master- und Doktorarbeit bearbeitet. Das ClimVal Verbundprojekt sowie Teilvorhaben 1 wurde von Dr. Veronika Eyring koordiniert (WP4). Teilprojekt 2 der Universität Bremen wurde von Dr. Georg Heygster koordiniert. Der Projektwissenschaftler war Marcus Huntemann, der die Arbeiten im Rahmen seiner Dissertation durchgeführt hat. Herr Huntemann hat seine Promotion im Oktober 2015 erfolgreich abgeschlossen. Die angestrebten Projektziele wurden alle erreicht.

## I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die arktischen Temperaturen doppelt so stark erhöht wie im globalen Mittel (Bellucci et al., 2015). Im gleichen Zeitraum wurde eine starke Abnahme in der arktischen Meereisausdehnung im Sommer beobachtet (Stroeve et al., 2012). Die Größenordnung dieses Trends wurde von den Modellen, die zum Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 (CMIP3) beigetragen haben, unterschätzt (Stroeve et al., 2007). Arbeiten zur Verbesserung der simulierten Meereiskomponenten und der atmosphärischen Zirkulation haben anschließend dazu geführt, dass das arktische Sommermeereis in den CMIP5-Modellen besser repräsentiert wird (Flato et al., 2013; Notz et al., 2013). Aufgrund des großen

Einfluss auf das Klima ist es wichtig, die zukünftige Meereisentwicklung vorhersagen zu können (Bellucci et al., 2015; Guemas et al., 2014). Zum Beispiel beeinflusst das Schmelzen und Gefrieren von arktischem Meereis die Süßwasser- und Salzwasserflüsse in den Ozean und kann dadurch die Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) beeinflussen. Darüber hinaus stellt es eine Isolierungsschicht dar, die den Austausch von Wärme und Feuchtigkeit zwischen Ozean und Atmosphäre beeinflusst.

Die Abnahme des arktischen Meereises hat auch großen Einfluss auf die arktische Tierwelt, die arktische Bevölkerung und die Wirtschaft. Es betrifft Stakeholder auf der globalen Skala, z.B. durch Veränderungen in polaren Schiffrouten (Eyring et al., 2010; Paxian et al., 2010). Sich an diese Änderungen in der nahen Zukunft anzupassen, stellt somit ein wachsendes Bedürfnis in Gesellschaft, Politik und bei Entscheidungsträgern dar. Ihr Planungshorizont liegt im Bereich von 10 bis 30 Jahren: der dekadischen Zeitskala (Meehl et al., 2009). In dem relativ neuen Feld der dekadischen Klimavorhersagen, die sich auf den Zeitbereich von nur 10 bis 30 Jahren beschränken, ist das Ziel, die interne Variabilität des Klimasystems besser zu erfassen, indem die Modelle mit Beobachtungsdaten aus sich langsam verändernden Komponenten des Erdsystems, wie dem Ozean, initialisiert werden. Zahlreiche Studien haben herausgefunden, dass die Initialisierung von Klimamodellen die Vorhersagbarkeit der bodennahen Lufttemperaturen in bestimmten Regionen verbessert (Doblas-Reyes et al., 2013; Meehl et al., 2014; Müller et al., 2012; Müller et al., 2014; Pohlmann et al., 2009). Der höhere Vorhersageskill stammt generell von realistischeren Variabilitätsmustern durch die atmosphärische und ozeanische Initialisierung, da die Modellsimulationen jetzt von der richtigen Phase der natürlichen Variabilität aus starten (Müller et al., 2012).

Das ClimVal-Projekt fokussierte auf die Evaluation des Vorhersageskills von retrospektiven, dekadischen Simulationen ("hindcasts") des arktischen Meereises. Quellen von möglichem Meereis-Hindcastskill sind unter anderem der gut erforschte Eis-Albedo-Feedback, der verstärkte meridionale Energietransport und Änderungen in Wolken und Wasserdampf (Guemas et al., 2014). Auf saisonalen Zeitskalen wurde der Vorhersageskill von Meereis verbessert durch die Initialisierung des Modells mit Meereisparametern. Zum Beispiel haben Day et al. (2014) herausgefunden, dass die Berücksichtigung der Meereisdicke im Modellinitialisierungsprozess die Vorhersagbarkeit der arktischen Meereiskonzentration signifikant verbessern kann, und Vorhersagefehler in arktischer Lufttemperatur reduziert werden. Nach Germe et al. (2014) ist das arktische Meereis im Winter potentiell bis zu einigen Jahren in die Zukunft vorhersagbar, aber im Sommer ist das prognostische potentielle Vorhersagelimit auf zwei Jahre beschränkt.

ClimVal hat einen signifikanten Beitrag in diesem hochaktiven Forschungsfeld geleistet, indem es den Vorhersageskill der dekadischen Hindcast-Simulationen mit uninitialisierten Langzeitsimulationen und mit Beobachtungs- und Reanalysedaten qualitativ und quantitativ verglichen hat. Die Analysen erfolgten mit dem Earth System Evaluation Tool (ESMValTool, Eyring et al. (2016)), das in ClimVal um ein Verifikationssystem für dekadische Klimasimulationen (ESMValTool-dec) erweitert wurde. Das Projekt fokussierte hierbei auf die Evaluation der Meereiskonzentration und -fläche, sowie zweier zusätzlicher ECVs (engl., *Essential Climate Variables*), die einen engen Bezug zu Meereis haben: Meeresoberflächentemperatur als Proxy für den Einfluss des Ozeans und die 2m-Lufttemperatur für die atmosphärische Komponente. Die umfangreichen Ergebnisse aus diesen Studien werden in diesem Schlussbericht zusammengefasst vorgestellt. Für eine detailliertere Diskussion der Ergebnisse wird auf Senftleben (2014) und Senftleben et al. (2016) verwiesen.

#### I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Arbeiten und Ergebnisse in diesem Projekt sind in unmittelbarer Kooperation mit dem Projektpartner Universität Bremen entstanden. Eine Zusammenarbeit darüber hinaus hat mit den anderen MiKlip Modul E Projektpartnern stattgefunden. Enge Kooperation mit dem MPI in Hamburg (Felix Bunzel, Wolfgang Müller und Dirk Notz) wurde im Rahmen einer Publikation verwirklicht, die momentan in Vorbereitung ist und demnächst bei einem peer-reviewten Journal eingereicht werden wird (Senftleben et al., in prep., 2016).

## II Eingehende Darstellung

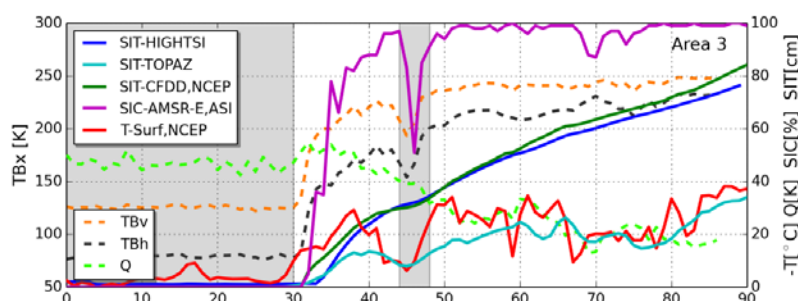
### II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses

#### *AP 1. Beobachtungsdaten für Arktisches Meereis*

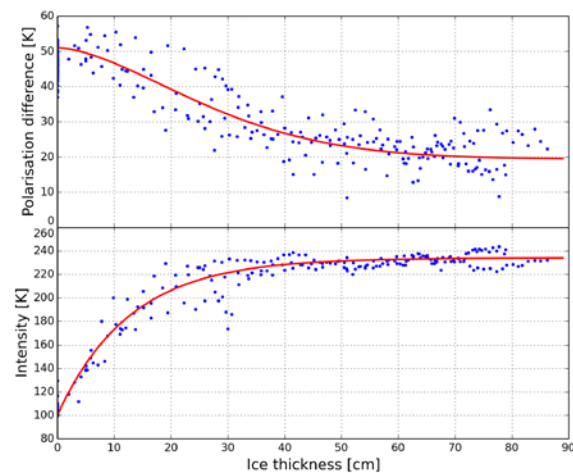
Es wurden zwei Zeitreihen von Eiskonzentrationen und eine Zeitreihe der Dicke des dünnen Meereises bereitgestellt:

1. aus einer langen täglichen Zeitreihe vom NSIDC von 1978 bis 2013 wurden Monatsmittel bestimmt. Die Daten stammen von diversen passiven Mikrowellensensoren (SMMR, SSM/I, SSMIS) auf Satelliten unter Verwendung des NASA Team Algorithmus zur Bestimmung der Eiskonzentration (Cavalieri, 1997).
2. Zusätzlich wurde ein Datensatz höher aufgelöster Eiskonzentrationsdaten des passiven Mikrowellensensors AMSR-E unter Verwendung des ASI Algorithmus (Spreen, 2008) von der Universität Bremen für die Zeit von 2002 bis 2011 bereitgestellt.
3. Ein empirischer Algorithmus für die Bestimmung der Dicke von dünnem Meereis für den passiven Mikrowellensensor MIRAS auf dem ESA Satelliten SMOS wurde weiterentwickelt und validiert. Meereisdicken von dünnem Meereis während der Gefrierperiode können bis zu einer Dicke von 50 cm mit einem Fehler von etwa 30% bestimmt werden. Dieser Algorithmus einschließlich dessen Validierung wurde in einem MiKliP Paper veröffentlicht (Huntemann et al., 2014). Für die Zeit von 2010 bis einschließlich 2013 wurden Daten der Eisdicke von dünnem Meereis von SMOS prozessiert und bereitgestellt.

Der überwiegende Forschungsaufwand liegt in der Bereitstellung des Datensatzes der Dicke dünnen Meereises. Der Grundgedanke des Algorithmus ist die Ausnutzung der Korrelation der bei 1,4 GHz beobachteten Helligkeitstemperaturen mit der Dicke des Meereises. Zu den Vorteilen dieses empirischen Vorgehens gehört es, dass alle in einem physikalischen Modell eventuell vernachlässigten Einflüsse hier automatisch inbegriffen sind, wie etwa die Wärmmisolierung durch Schnee auf dem Meereis oder inhomogener Verteilung der Eisdicke innerhalb des Integrationsgebietes des Sensor. Eine der Schwierigkeiten bei der Ableitung des Verfahrens bestand darin, in situ Daten der Dicke des dünnen Meereises zu erhalten, denn Beobachtungen hierzu sind dünn gesät: Personen können sich drauf nicht bewegen. Stattdessen wurden als proxy-Werte die Cumulative Freezing Degree Days verwendet, der zeitlichen Summe der Differenz zwischen Lufttemperatur und Gefriertemperatur des Ozeans. Die Eisdicke ist hiermit nach einem empirischen Potenzgesetz gekoppelt. Mit Lufttemperaturdaten aus Atmosphärenmodellen von ECMWF und NCEP konnte die Relation zwischen SMOS Helligkeitstemperaturen und Eisdicke bestimmt werden.



**Abbildung. 1:** Meereisdicken (SIT) für eines von drei Trainingsgebieten in der Karasee, bestimmt aus den Modellen TOPAZ, HIGHTSI und NCEP Lufttemperaturen (durch die Cumulative Freezing Degree Methode), Eiskonzentrationen (SIC) aus ASI / AMSR-E und SMOS Helligkeitstemperaturen. Linke Achse für TBh und TBv, rechte Achse für Polarisationsdifferenz Q, alle SIT, SIC und Temperatur. Schattierte Gebiete von Lerndatensatz ausgeschlossen (Huntemann et al. 2014).



**Abbildung 2.** Abhängigkeit von Polarisationsdifferenz (oben) und Intensität (unten) von der Eisdicke, bestimmt mithilfe der Cumulative Freezing Degree Methode aus Verlauf von NCEP Lufttemperaturen mit der Zeit. Rot: analytische Fitfunktionen, die zum retrieval der Eisdicke genutzt werden.

Abbildung 1 zeigt die zeitlichen Verläufe der so aus verschiedenen Modellen gewonnenen Eisdicken zusammen mit den Helligkeitstemperaturen von SMOS für eines von drei genutzten Gebieten.

Das Verfahren nutzt SMOS-Daten vertikaler und horizontaler Polarisation mit Einfallswinkeln zwischen  $40^\circ$  und  $50^\circ$ . Die so gefundenen Zusammenhänge von Intensität und Polarisationsdifferenz (Abb. 2) werden zur Etablierung eines Retrievalverfahrens genutzt.

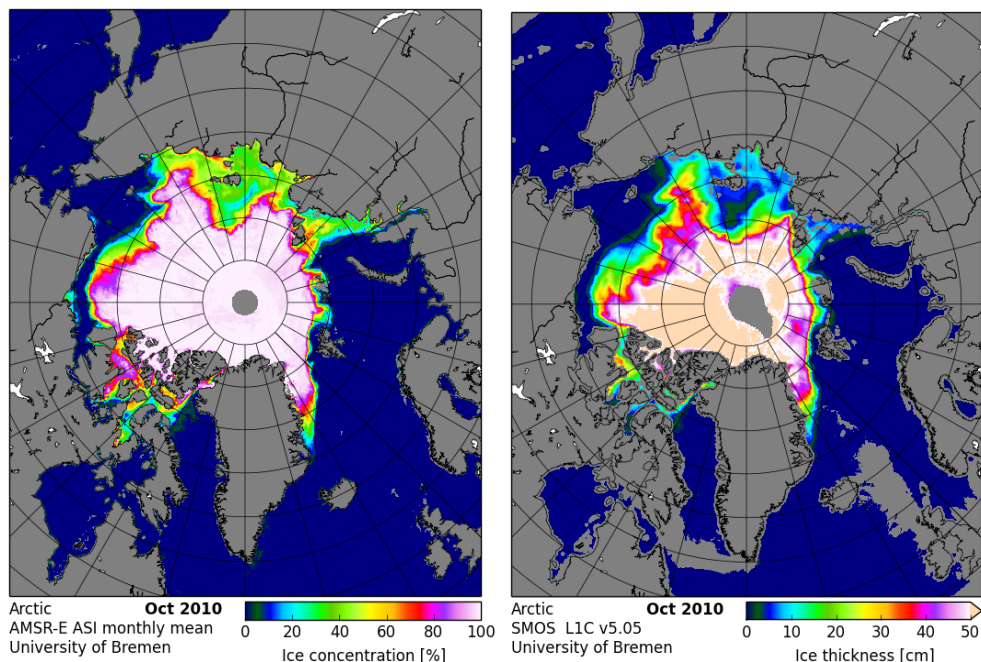
Zur Validation wurden Eisdicken der Meereismodelle TOPAZ und HIGHTSI eingesetzt, dazu in unabhängigen Gebieten Eisdicken aus optischen Satellitenbeobachtungen mit MODIS sowie aus dem luftgestützten elektromagnetischen Induktionsverfahren EM-bird. Die verschiedenen Validationsstudien zeigen konsistent eine mittlere Abweichung von Eisdicken aus SMOS von unabhängigen Messungen von etwa  $\frac{1}{3}$  der gemessenen Eisdicken im Gültigkeitsbereich des Verfahrens bis 50 cm (Tabelle I). Die Details des Verfahrens und der Validationsstudien sind in Huntemann et al. (2014) und Huntemann und Heygster (2015) beschrieben.

Eine besondere Herausforderung bei der Arbeit mit SMOS-Daten stellen die große Datenmenge (8 GB/Tag) und die Kontaminierung mit RFI (Radio Frequency Interference) Einflüssen dar. Eine Methode zur Minderung des Einflusses von RFI auf die Eisdicken-Daten in den Polargebieten wurde in Huntemann und Heygster (2015) vorgestellt. Des Weiteren kann jetzt mit der Hilfe von physikalischen Annahmen zur Oberflächenbeschaffenheit das Datenvolumen um mehr als einen Faktor 100 reduziert werden. Hierbei werden anstatt der einzelnen Messwerte eines Tages nur die Koeffizienten eines Fits der Helligkeitstemperatur an den Einfallswinkel und einige Qualitätsparameter gespeichert. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens ist in Huntemann (2015) gegeben.

**Tabelle I.** Retrievalqualität aus den verschiedenen Validationsstudien basierend auf Lern- und unabhängigen Testdatensätzen.  $r$ : Korrelationskoeffizient (Huntemann et al. 2014).

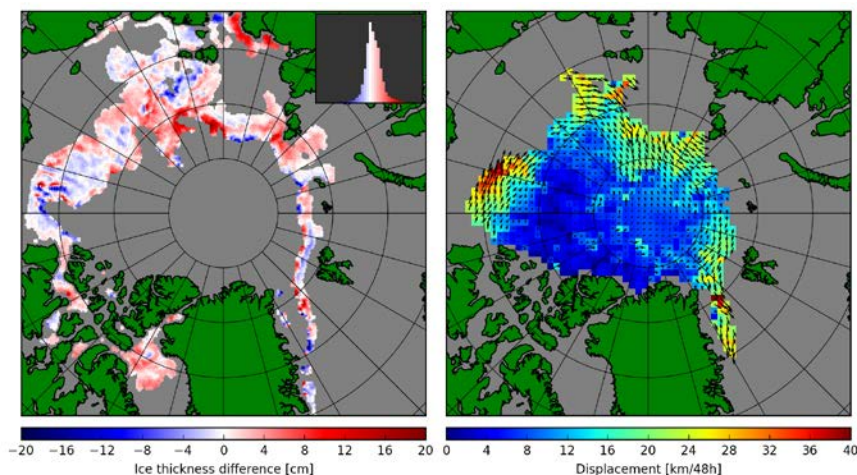
Data set	thickness range [cm]	RMSD [cm]	$r$
CFDD (learning)	0 - 10	3	
	10 - 20	7	
	20 - 30	9	
	30 - 40	14	
	40 - 50	16	
	average 0 - 50	10	
MODIS	0 - 50	11	0.68
EM bird	0 - 50	5	0.73

Abbildung 3 zeigt je ein Beispiel des hochauflösenden monatlich gemittelten Meereiskonzentrationsproduktes und des monatlich gemittelten Eisdickenproduktes. Das große Gebiet mittlerer Eiskonzentrationen am oberen Rand des linken Bildes ist durch die monatliche Mittelung entstanden. Dieses Gebiet ist im Laufe des Monats zugefroren. An jedem einzelnen Tag ist die Eiskante ähnlich schmal wie im unteren Bereich des Bildes, wo sich die Eiskante im Lauf des Monats kaum verändert hat. Die Darstellung der Eisdicke (rechts) erlaubt Strukturen in Gebieten zu erkennen, welche in der Eiskonzentrationskarte nicht sichtbar sind.



**Abbildung 3.** Monatsmittel Produkt von hochauflösenden Meereiskonzentrationen (links) und Meereisdicke (rechts) für Oktober 2010.

Karten der Differenz der Eisdicken von einem Tag zum nächsten erlaubt eine Arktis-weite Charakterisierung des Verfahrens (Abb. 4). Weil das thermodynamische Eiswachstum innerhalb eines Tages begrenzt ist, sollten größere Differenzen von Eisdrift oder von Fehlern des Verfahrens herrühren. In den meisten Gebieten beträgt die Differenz nur wenige cm wie erwartet. Einige Gebiete wie die zentrale Arktis (80°N, 150°E) oder das Beaufortmeer (75°N, 140°W) zeigen größere Differenzen. Das Beaufortmeer zeigt schmale parallele Bänder mit wechselnden Vorzeichen in der Eisdickendifferenz. Eine mögliche Erklärung ist Eisdrift in Richtung senkrecht dazu.

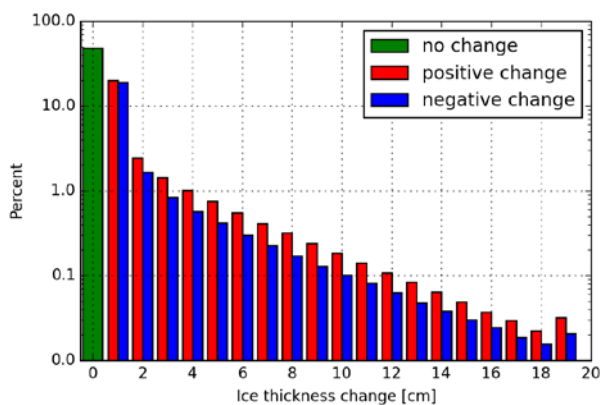


**Abbildung 4.** Links: Differenz der Eisdicken vom 20. Oktober 2011 in der Phase stärksten Eiswachstums. Gebiete offenen Wassers und mit Eisdicken größer als 50 cm nicht gezeigt. Oben rechts das Histogramm der Eisdickendifferenzen. Rechts: OSI-SAF Eisdrift vom 19. – 21. Okt. 2011.



Dies wird bestätigt durch in dem Eisdriftprodukt von OSI-SAF in Abbildung 4 rechts (Lavergne et al. 2010). Andere Gebiete hoher Änderung der Eisdicke finden sich nahe der Obergrenze der bestimmten Eisdicke von 50 cm, wo der Fehler des Verfahrens zunehmen kann, etwa östlich von Nordgrönland, oder nördlich von Spitzbergen und Franz Josef-Land. Der größte Zuwachs an Eisdicke findet sich im Laptevmeer unter den plausiblen Bedingungen von sehr dünnem Eis und Temperaturen um  $-10^{\circ}\text{C}$ .

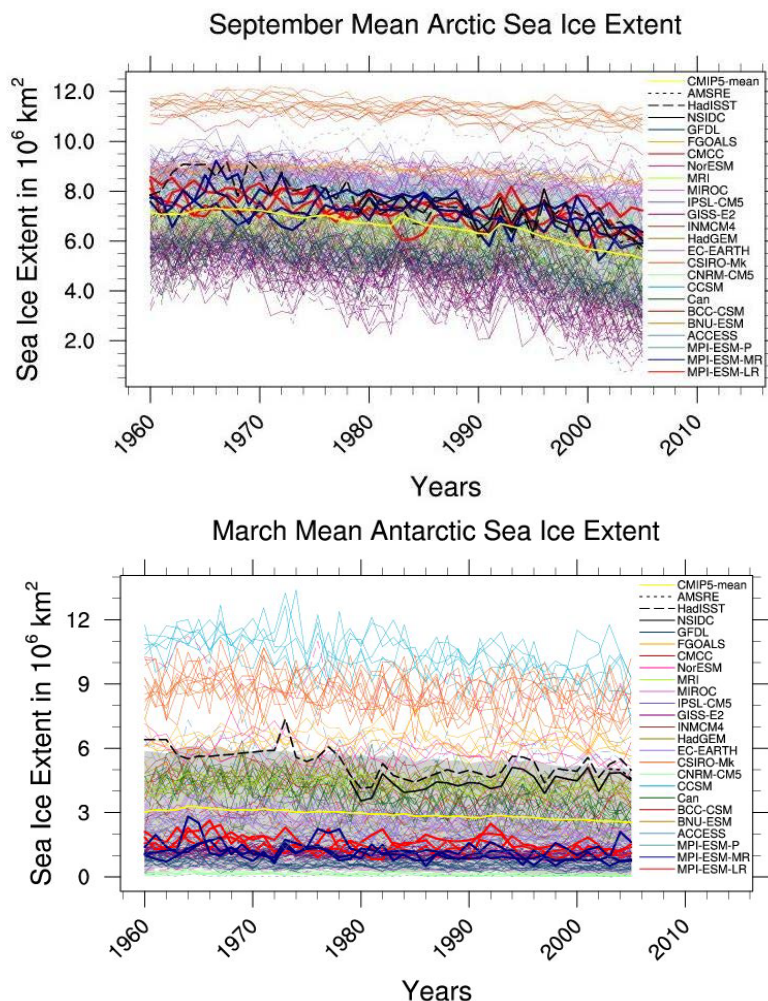
Die Histogramme der positiven (rot) und negativen (blau) Eisdickenänderungen von Tag zu Tag für die Zeit Oktober bis Dezember 2010 (Abbildung 5) zeigen plausibel in über 90 % der Fälle Änderungen von 1 cm oder weniger. Negative Änderungen von wenigen cm liegen im Unsicherheitsbereich des Verfahrens. Entsprechend der gesamthaften Zunahme der Eisdicke überwiegen bei allen Eisdicken die Zunahmen die Abnahmen. Der mittlere tägliche Zuwachs beträgt 0.3 cm mit einer Standardabweichung von 3.3 cm. Änderungen von über 8 cm werden nur in 0.5% der Fälle beobachtet. Solch starke Änderungen können nicht thermodynamisch verursacht sein, sondern nur durch Drift oder Störungen im Verfahren. Zusammenfassend liefern das Verfahren ein realistisches Szenario für die tägliche Eisdickenänderung in der Arktis.



**Abbildung 5.** Histogramm der täglichen Eisdickenänderung in der Arktis von Oktober bis Dezember 2010.

## AP 2. Diagnostiken für die Evaluation von ECVs

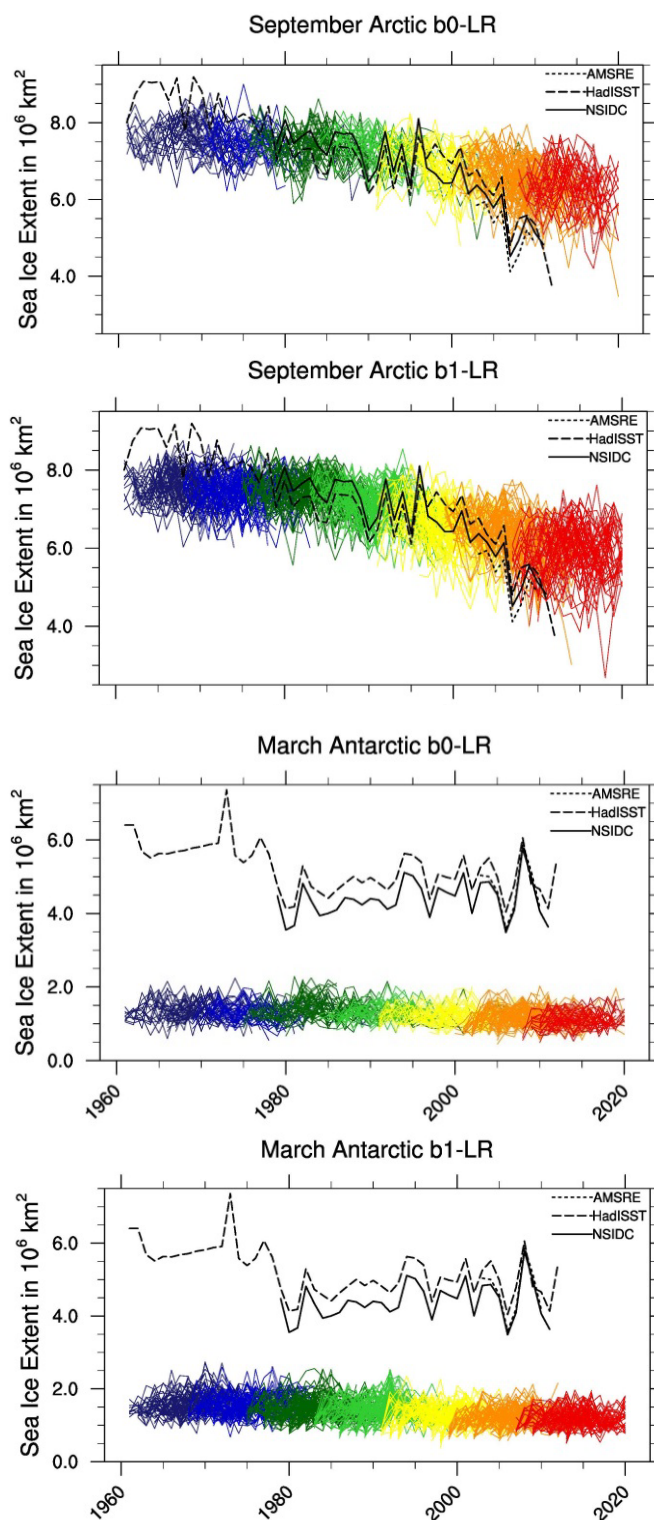
Im Rahmen von ClimVal wurde in AP 2 der Meilenstein M3 ‚Toolkit für qualitative ECV Evaluation‘ termingerecht eingehalten und Berichte zur Bewertung von ECVs in MiKlip erstellt (M7 und M8).



**Abbildung 6.** Zeitserien (1960-2005) der arktischen bzw. antarktischen Meereisausdehnung im September (links) und im März (rechts), wie sie von den historischen Läufen der CMIP5 Modelle simuliert werden, die mit verschiedene farbigen Linien dargestellt sind. Simulationen mit dem MPI-ESM-LR (rot) und MPI-ESM-MR (blau) sind dabei fettgedruckt eingezeichnet. Beobachtungsdaten für die Evaluation: National Snow and Ice Data Center (NSIDC, 1978-2011), Hadley Centre Sea-ice and Sea Surface Temperature (HadISST, 1978-2011), und Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth observing System (AMSR-E, 2002-2011, Meilenstein M1 aus dem ClimVal Teilvorhaben 2). Aus Bräu (2013).

In den Diagnostiken zur Evaluation von ECVs wurden insbesondere klimatologische Mittel und zeitliche Trends betrachtet. Der Programmcode für Diagnostiken wurde im Earth System Model Evaluation Tool (ESMValTool, Eyring et al. (2016)) zur Evaluierung von Erdsystemmodellen zusammengefasst und auf dem MiKlip Sever für andere MiKlip Partner zur Verfügung gestellt. Mithilfe des ESMValTools wird die komplexe Evaluierung von Erdsystemmodellen mit Beobachtungsdaten und das Prozessverständnis des Klimasystems langfristig verbessert. Das ESMValTool basiert auf frei verfügbarer Software (insbesondere NCAR Command Language (NCL) und Python) und wird gemeinsam mit internationalen Partnern in mehreren Projekten entwickelt. Der Schwerpunkt der Analysen in ClimVal lag auf dem Vergleich der dekadischen Simulationen des MiKlip Systems mit den Langzeitsimulationen und mit Beobachtungsdaten insbesondere hinsichtlich der Vorhersagefähigkeit von Meereis.

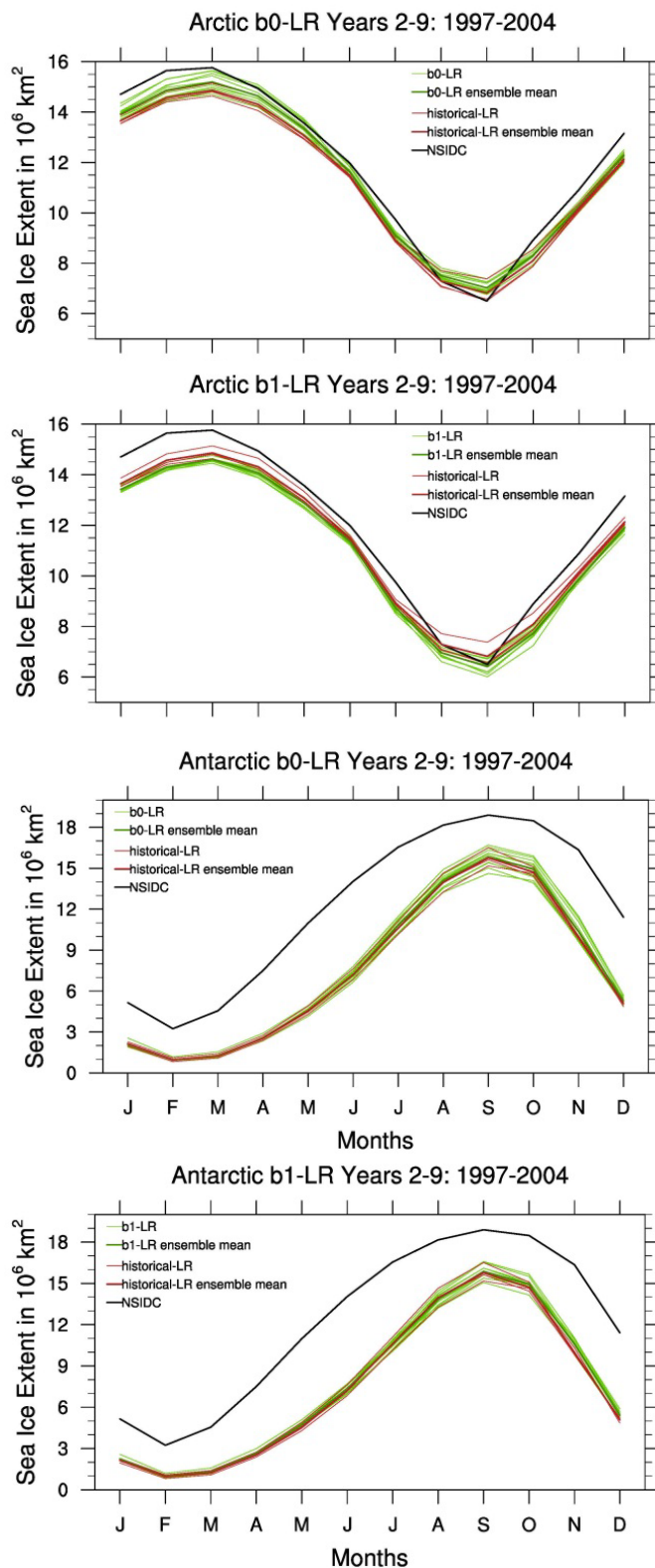




**Abbildung 7:** Wie in Abbildung 6, aber für die dekadischen Simulationen mit b0-LR (links) und b1-LR (rechts) von 1960 bis 2020. Die Modellsimulationen sind farbcodiert, wobei jede Farbe unterschiedliche Startjahre der Simulationen repräsentiert, die je 10 Jahre dauern. Die dekadischen Simulationen nach 2006 folgen dem RCP4.5 Szenario.

Das ESMValTool ist einsatzfähig und kann zum Beispiel verwendet werden, um Zeitserien der Meereisausdehnung von verschiedenen Modellen im Vergleich zu Beobachtungsdaten darzustellen, wie sie in Abbildung 6 für Langzeitsimulationen mit den CMIP5 Modellen und in Abbildung 7 für dekadischen Simulationen mit dem MiKlip Modellsystems exemplarisch gezeigt sind. Ein weiteres Beispiel ist in

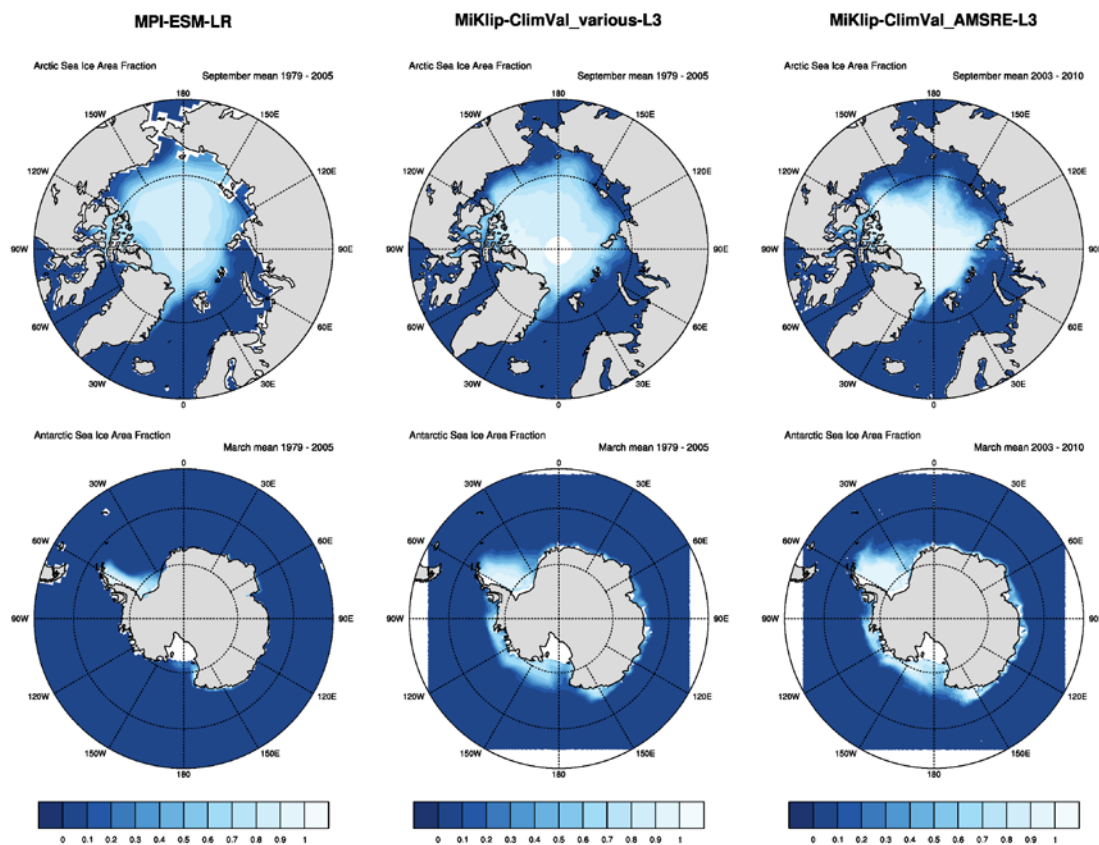
Abbildung 8 dargestellt, die den klimatologisch gemittelten Jahresgang der Meereisausdehnung im MPI-ESM zeigt.



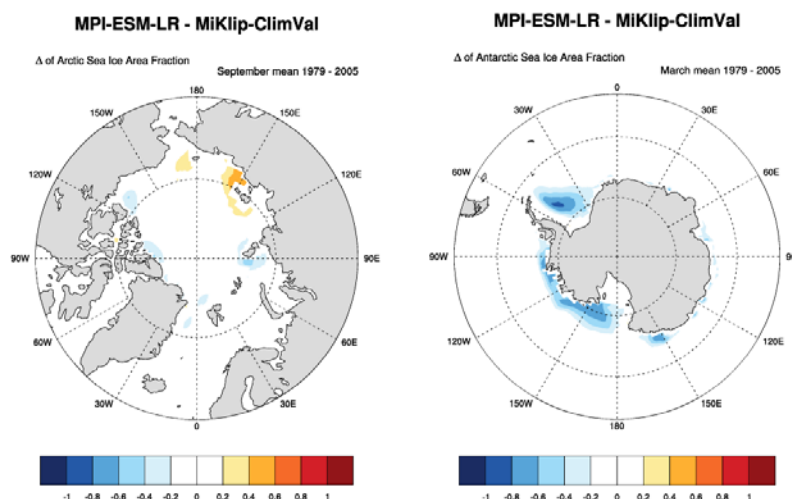
**Abbildung 8:** Klimatologisch gemittelter (1997-2004) Jahresgang der Meereisausdehnung in der Arktis (oben) und Antarktis (unten) wie er von den Ensemble-Mitgliedern mit b0-LR (links) und b1-LR (rechts) von den in 1995 initialisiert Läufen simuliert wird. Ein Vergleich mit NSIDC Daten und den historischen Simulationen mit dem MPI-ESM-ist zusätzlich gezeigt.

Die Evaluation in ClimVal mit Beobachtungsdaten hat ergeben, dass das MPI-ESM sowohl den langzeitlichen Trend der Meereisausdehnung im Sommer als auch den klimatologischen Jahresgang der Meereisausdehnung in der Arktis sehr gut repräsentiert. Defizite treten allerdings in der Antarktis auf, wo ein signifikanter negativer Bias in der Meereisausdehnung im Vergleich zu Beobachtungsdaten gefunden wurde (siehe Abbildungen 6-8). Dieser Bias wurde sowohl in den Langzeitsimulationen als auch in allen Entwicklungssystemen des dekadischen MiKlip Systems detektiert.

Eine weitere Darstellung von Meereisdaten stellt das ESMValTool in Form von polarstereographischen Abbildungen der Meereiskonzentration dar (Abbildung 9). Der r1i1p1-Lauf der historischen MPI-ESM-LR-Simulationen wird hier beispielhaft mit den beiden Beobachtungsdatensätzen, die von der Universität Bremen in ClimVal Teilprojekt 2 erstellt wurden, verglichen. Man sieht in der Arktis (oben), dass das Modell die Meereiskonzentration im Ostsibirischen Meer leicht überschätzt. Dafür wird die Meereisausdehnung in der Antarktis (unten) generell unterschätzt. Dies ist auch in Abbildung 10 ersichtlich, in der die direkten Differenzen zwischen Simulationslauf und various-L3-Beobachtungen gezeigt sind. Hier wird eine leichte Unterschätzung des Modells der arktischen Meereiskonzentration in den marginalen Eiszonen der Kara- und Barentssee, dem Grönlandmeer und dem Kanadischen Archipel deutlich.



**Abbildung 9:** Polarstereographische Kontourdarstellung der Meereiskonzentrationen im arktischen September (oben) und antarktischen März (unten) für die MPI-ESM-LR historische r1i1p1 Simulation (links) und für Beobachtungsdaten vom NSIDC mit verschiedenen Sensoren (various-L3, Mitte) und von der Universität Bremen (AMSRE, rechts). Der Zeitraum ist für MPI und various-L3 1979-2005 und für AMRE 2003-2010.



**Abbildung 10:** Polarstereographische Differenzen der Meereiskonzentrationen im arktischen September (links) und antarktischen März (rechts) zwischen dem r1i1p1-Lauf der MPI-ESM-LR historischen Simulationen und den various-L3-Beobachtungen vom NSIDC (siehe Abbildung 9). Blaue Farben zeigen eine Unterschätzung des Modells im Vergleich zur Beobachtung; gelbe bis rote Farben eine entsprechende Überschätzung.

### AP 3. Quantitative Evaluation

In AP 3. ‚Quantitative Evaluation‘ wurde der Meilenstein M4 ‚Toolkit für quantitative ECV Evaluation‘ fällig und termingerecht eingehalten.

Zur Evaluation von ECVs wurde ein Set von Metriken zur quantitativen Analyse dekadischer Klimasimulationen nach Goddard et al. (2013) in das Earth System Model Evaluation Tool (ESMValTool, Eyring et al. (2016)) implementiert. Dieses Verifikationssystem beinhaltet die drei deterministischen Metriken Anomalie-Korrelationskoeffizient (ACC), conditional bias (cbias) und mean squared skill score (MSSS). Zusätzlich wurde der Root Mean Square Deviation (RMSD) skill score implementiert. Der Programmcode hierfür wurde auf dem MiKlip Sever für andere MiKlip Partner zur Verfügung gestellt.

Um einen Überblick über die generelle Performance eines jeden CMIP5-Modells inklusive des MPI-ESM zu erhalten, wurde die relative mittlere quadratische Abweichung (RMSD) der CMIP5 Modelle im Vergleich mit Beobachtungsdaten mit dem ESMValTool berechnet (Abbildung 11). Die RMSD Metrik zeigt, dass die historischen Simulationen das MPI-ESM-LR für viele Variablen und insbesondere auch für die arktische Meereiskonzentration (oberste Zeile) die Beobachtungsdaten besser reproduzieren als der CMIP5-Median.

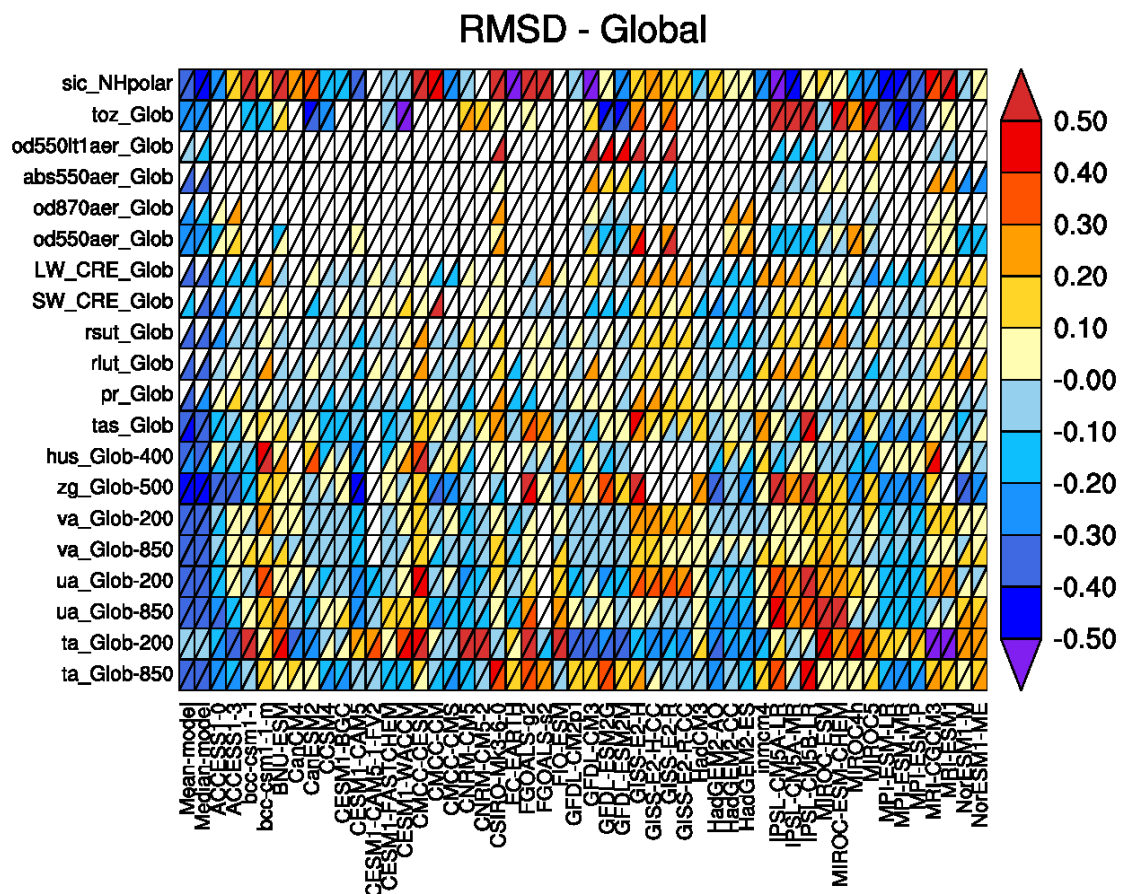
In einem nächsten Schritt wurden die historischen MPI-ESM-LR-Simulationen in der Arktis mit Beobachtungsdaten verglichen. Dazu wurden die absoluten RMSDs der 2m-Lufttemperatur (TAS), der Meeresoberflächentemperatur (SST) und der Meereiskonzentration (SIC) für jede Gitterzelle aus einer September- sowie eine Märzklimatologie berechnet und polarstereographisch dargestellt (Abbildung 12a-f). Die Wahl der Monate entspricht hierbei der minimalen (September) und maximalen (März) Meereisausdehnung. Für TAS sind die absoluten RMSDs aus historischen Simulationen im März (Abbildung 12d) generell höher als im September (Abbildung 12a), vor allem im Grönlandmeer, sowie in der Kara- und Barentssee. Für SST und SIC sind die RMSD-Werte im September höher, und hier eher im Ostsibirischen Meer und der Beaufortsee.

Um nun den Einfluss der Initialisierung zu bestimmen, wurden die RMSD skill scores für die gleichen Variablen auch für die MiKlip dekadischen Simulationen berechnet (Abbildung 12g-l). Der RMSD skill score wird als Verhältnis des absoluten RMSDs der dekadischen prototype-Simulationen zu dem der historischen Simulationen berechnet und von 1 subtrahiert:

$$RMSD_{skill} = 1 - \frac{RMSD_{decadal}}{RMSD_{historical}}$$



Somit geben positive Werte (rot in Abbildung 12g-l) eine Verbesserung durch Initialisierung entsprechend der Verhältniszahl an. Für TAS zeigt sich eine solche Verbesserung nur im Nordatlantik im September (Abbildung 12g). Dies deckt sich mit anderen MiKlip-Studien, die den ACC von TAS berechnet haben (Kadow et al., 2015; Müller et al., 2012; Pohlmann et al., 2013). Für SST und SIC zeigen sich erhöhte RMSD skills hauptsächlich im Grönlandmeer an der Ostküste Grönlands in der Framstraße. Für SIC beschränkt sich diese Verbesserung auf den Winter (Abbildung 12i). Im Sommer (Abbildung 12j) kann kein erhöhter Skill der Meereishindcasts durch Initialisierung festgestellt werden.



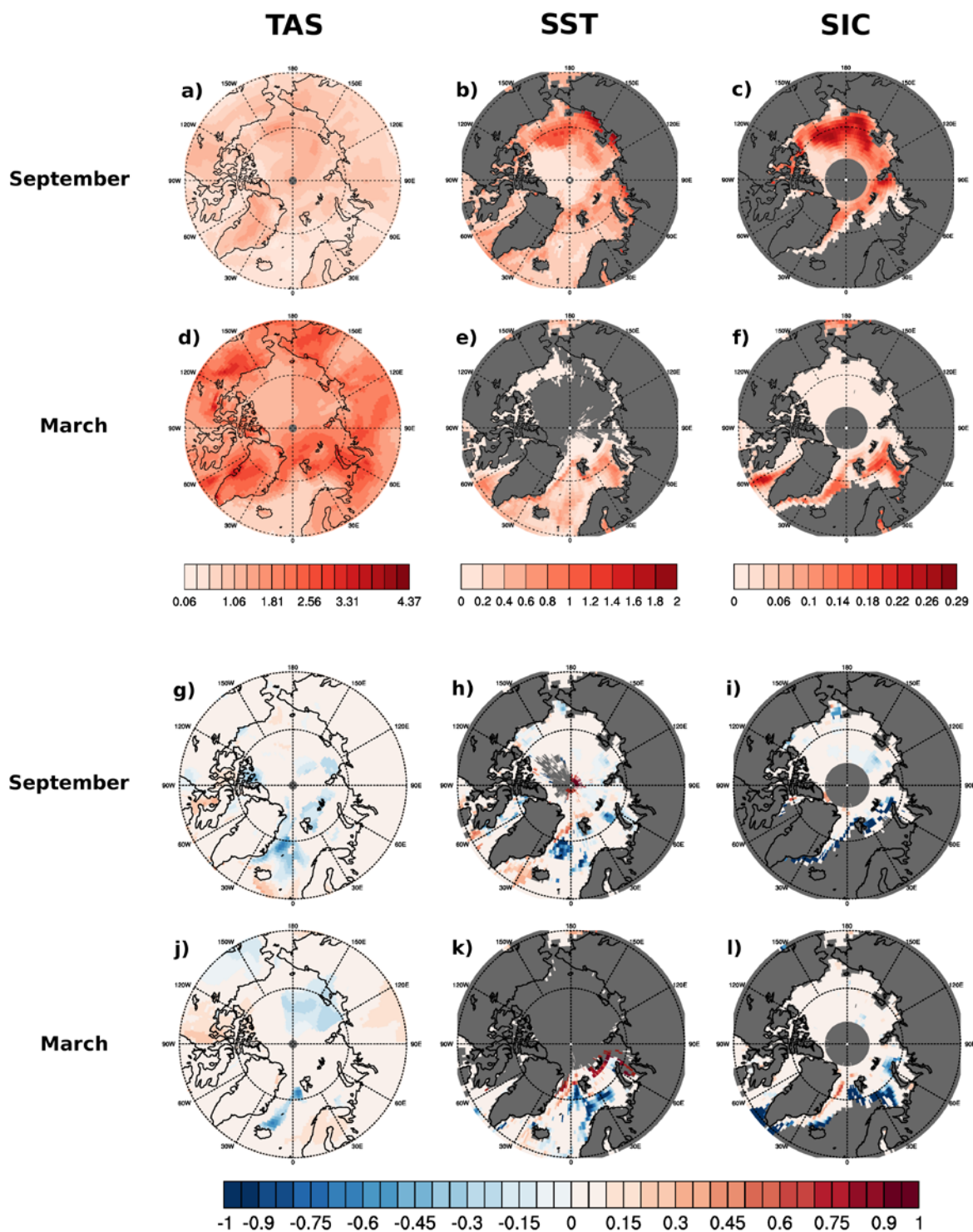
**Abbildung 11:** Relative mittlere quadratische Abweichung der CMIP5 Modell-Performance für ausgewählte Klimaparameter, basierend auf einer global gemittelten Klimatologie des Jahresgangs (1980–2005) und erstellt mit dem ESMValTool. Referenz sind zu jeder Variable zwei verschiedene Beobachtungsdatensätze (gekennzeichnet durch die in zwei Dreiecke geteilten Boxen). Dargestellt ist das Verhältnis des RMSD eines jeden Modells zum Median der RMSDs aller CMIP5-Modelle. Negative Werte zeigen einen um diese Verhältniszahl kleineren RMSD-Wert als der CMIP5-Median an. Positive Werte analog. Weiße Dreiecke bedeuten, dass für diese Variable die entsprechenden Modellsimulationen oder Beobachtungsdaten fehlen.

Eine weitere Metrik des in ClimVal entwickelten Verifikationssystems für dekadische Klimasimulationen ist der ACC. Er misst die Übereinstimmung zweier Zeitserien in Variabilitätsmuster und Trend. SIC erfüllt hierbei jedoch nicht das Normalitätskriterium, das für die Berechnung des ACC vorausgesetzt wird. Deshalb wurden in ClimVal integrierte Meereisgrößen analysiert, wie die Meereisfläche (SIA), die über bestimmte Regionen der Arktis berechnet wurde. Abbildung 13 zeigt den ACC der SIA für drei solcher Regionen und der Gesamtarktis in Abhängigkeit der lead years. Der ACC wurde hierbei jeweils für drei Fälle berechnet: 1. über die trendbehafteten Originaldaten, 2. über die Daten mit abgezogenem Trend (9-Jahre-zentriertes gleitendes Mittel), die somit nur aus dem Einfluss durch Variabilitätsmuster zustande kommen, und 3. über den reinen Trend ohne Variabilität.

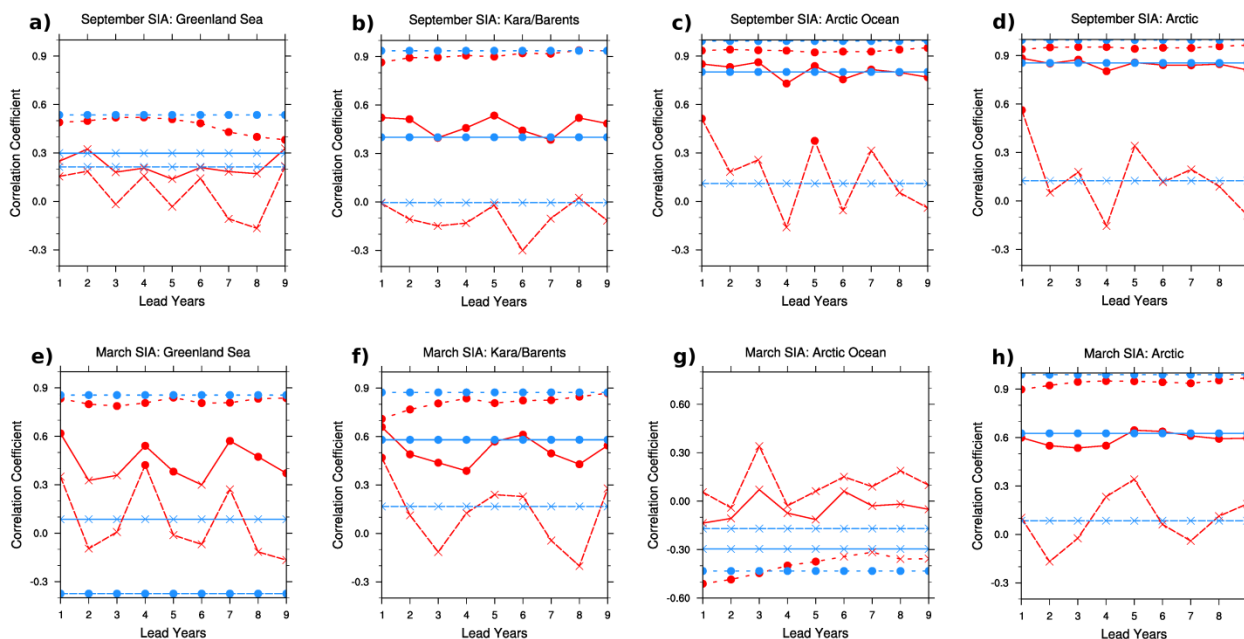
Generell dominiert der starke negative Trend im arktischen Meereis den ACC-Skill: in fast allen Panels liegen die ACC-Werte des reinen Trends über den anderen beiden Fällen und die Daten mit subtrahiertem Trend



zeigen die niedrigsten Korrelationswerte. Das MPI-ESM-LR zeigt in der gesamten Arktis einen generell hohen Skill in der Wiedergabe des beobachteten Trends. Eine Ausnahme bildet der zentrale arktische Ozean im März (8g). Dadurch, dass dieser Bereich im Winter nahezu vollständig eisbedeckt ist, dominieren kleine unvorhersagbare Fluktuationen, die den Korrelationswert artefaktisch stark verringern.



**Abbildung 12:** a-f: Polarstereographische Kontourdarstellungen (Arktis) des absoluten RMSD zwischen historischen MPI-ESM-LR-Simulationen und Beobachtungen für die Variablen TAS (a,d), SST (b,e) und SIC (c,f) über die Periode 1985-2013 und lead years 2-5. Reihe 1 zeigt hierbei September- und Reihe 2 Märzmittel. g-l: wie a-f, aber für RMSD skill scores. Dargestellte Werte ungleich 0 sind signifikant auf dem 95%-Niveau nach einem statistischem Signifikanztest mittels einem nicht-parametrischen Block-Bootstrap-Algorithmus. Alle dargestellten Daten sind Anomalien bezüglich ihres jeweiligen klimatologischen Mittels. Abbildung aus Senftleben et al., 2016 (in Vorb.).



**Abbildung 13:** ACC gegen lead years für September (a-d) und März (e-h) SIA-Anomalien für dekadische MPI-ESM-LR prototype-Simulationen (rot) und historische Simulationen (blau). Referenz für ACC-Berechnungen sind überall NSIDC-NT-Beobachtungen über den Zeitraum 1985-2013. Die einzelnen Panels zeigen die SIA gemittelt über das Grönlandmeer (a,e), die Kara- und Barentssee (b,f), den zentralen arktischen Ozean (c,g) und die gesamte Arktis (d,h). Der ACC wurde über die Originaldaten (durchgezogene Linien), die Daten mit abgezogenem Trend (gestrichelt) und dem bloßen Trend (gepunktet) berechnet. Ausgefüllte Kreise zeigen Korrelationswerte, die statistisch signifikant auf dem 95%-Niveau sind, nach einem Standard-r-Test für Korrelationskoeffizienten. Abbildung aus Senftleben et al., 2016 (in Vorb.).

In den originalen, also trend-behafteten Daten, findet sich eine signifikante Erhöhung des ACC-Skills durch Initialisierung im Winter-Grönlandmeer für fast alle lead years (8e). Dies ist konsistent zu den anderen Ergebnissen aus ClimVal. Für die lead years 1 und 5 finden wir jedoch auch im Sommer im zentralen arktischen Ozean signifikant höheren ACC-Skill in den dekadischen Simulationen (8c). In den anderen Regionen sind die Unterschiede zwischen dekadischen und historischen Läufen gering.

### Empfehlungen

- ClimVal konnte pr als das System mit den tendenziell besten Temperatur- und Meereisvorhersagen identifizieren (insbesondere die mit ORA-S4 initialisierten Läufe).
- Die Evaluation in ClimVal mit Beobachtungsdaten hat ergeben, dass das MPI-ESM-LR sowohl den langzeitlichen Trend der Meereisausdehnung im Sommer als auch den klimatologischen Jahresgang der Meereisausdehnung in der Arktis sehr gut repräsentiert. Defizite treten allerdings in der Antarktis auf, wo ein signifikanter negativer Bias in der Meereisausdehnung im Vergleich zu Beobachtungsdaten gefunden wurde. Dieser Bias wurde sowohl in den Langzeitsimulationen als auch in allen Entwicklungssystemen des dekadischen MiKlip Systems detektiert.
- Die Initialisierung von Meereis in dekadischen Simulationen könnte einen Fortschritt in der Vorhersagbarkeit liefern und sollte in MiKlip Phase 2 untersucht werden. Dies könnte auch den starken Initialisierungs-Schock reduzieren.
- Zusätzlich sollte das Modell auch im Juli initialisiert werden und nicht nur zum Jahresende. Dadurch würden die Informationen über den atmosphärischen und ozeanischen Zustand dieses Sommers an das Modell übergeben, was den Sommer-Hindcastskill verbessern sollte.
- Eine Erhöhung der Ensemblegröße kann die Qualität der dekadischen Vorhersagen erhöhen (Sienz et al., 2015), indem sie einen größeren Variabilitätsbereich abdecken.

#### **AP 4. Projektkoordination**

Im Rahmen von AP 4 wurde das Projekt koordiniert und die Projektberichte termingerecht eingereicht.

#### **II.2. Zahlenmäßiger Nachweis**

<i>Personalkosten DLR:</i>	<i>268,730 EUR</i>
<i>Reisekosten DLR:</i>	<i>6,000 EUR</i>
<i>Summe DLR:</i>	<i>274,730 EUR</i>
<i>Personalkosten Universität Bremen:</i>	<i>82.430,38 EUR</i>
<i>Studentische Hilfskräfte Universität Bremen:</i>	<i>5.875,20 EUR</i>
<i>Reisekosten Universität Bremen:</i>	<i>1.206,42 EUR</i>
<i>Summe Universität Bremen:</i>	<i>89.651,00 EUR</i>

#### **II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit**

Gelder wurden ausschließlich in MiKlip – ClimVal Teilprojekt 1 eingesetzt, um die geplanten Arbeiten und Aufgaben durchzuführen. Diese wurden erfolgreich abgeschlossen.

#### **II.4. Nutzen und Verwertungsplan**

Das im Rahmen von MiKlip zu entwickelnde Modellsystem soll einen Beitrag dazu leisten, für einen dekadischen Zeithorizont verlässliche Aussagen zur Klimaentwicklung zu gewinnen. Mit den hiermit zu erzielenden Klimaprognosen werden somit auch die Voraussetzungen für eine Verbesserung der Anpassungsfähigkeit von Industrie und Gesellschaft an zukünftige Klimaschwankungen geschaffen. Die Bedarfslage dieser Endnutzer ist Ausgangspunkt für diese Fördermaßnahme. Der vorliegende Ansatz erweitert das Spektrum der Forschungsaktivitäten und Maßnahmen zum Umgang mit Klimawandel im Rahmen der Hightech-Strategie (HTS) zum Klimaschutz im Bereich „Wissen – Grundlage für Klimaschutz und Anpassung“. Das Projekt ClimVal diene der Feststellung der Qualität des MiKlip Prognosemodells hinsichtlich der dekadischen Vorhersage mit Fokus auf dem arktischen Meereis.

#### **II.5. Fortschritte bei anderen Stellen**

Während des ClimVal Projekts wurde ein Verifikationssystem für dekadische Simulationen veröffentlicht (Goddard et al., 2013). Dieses diene in ClimVal als Basis und wurde in die Version des dekadischen Systems des ESMValTools (ESMValTool-dec) implementiert.

#### **II.6. Veröffentlichungen**

##### **ClimVal Teilprojekt 1 (DLR):**

1. Bräu, Melanie (LMU, Bachelor thesis), Sea-ice in decadal and long-term simulations with the Max Planck Institute Earth System Model, July 2013.
2. Hübner, Michael (LMU, Bachelor thesis), Evaluation of Sea-ice in the Max Planck Institute Earth System Model, March 2013.

3. Senftleben, Daniel (LMU, Master thesis), Verification of Temperature and Sea Ice in the MiKlip Decadal Climate Predictions with the ESMValTool, August 2014.
4. Senftleben, D., V. Eyring, F. Bunzel, W. Müller, and D. Notz, Sea-Ice Predictability in Decadal Hindcasts Simulations with the MiKlip Prediction System, *Met. Zeit.*, in prep., 2016.

#### **ClimVal Teilprojekt 2 (Universität Bremen):**

5. Huntemann, M., Heygster, G., Kaleschke, L., Krumpen, T., Mäkynen, M., & Drusch, M. (2014): Empirical sea ice thickness retrieval during the freeze-up period from SMOS high incident angle observations. *The Cryosphere*, 8(2), 439–451. doi:10.5194/tc-8-439-2014.
6. Huntemann, M., and G. Heygster 2015: A new method to filter out radio frequency interference (RFI) from SMOS Level 1C data for sea ice applications. In G. Lohmann, H. Megers, V. Unnithan, D. Wolf-Gladrow and J. Notholt (eds.): *Towards an Interdisciplinary Approach in Earth System Science. Advances of a Helmholtz Graduate Research School. Springer Earth System Science, Heidelberg*, pp. 91-98.
7. Huntemann, Marcus: “Retrieval and emissivity modelling of sea ice thickness and its snow cover with the Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) satellite” Dissertation vorgelegt am Fachbereich 1 der Universität Bremen, 2015. 131 Seiten.
8. Huntemann, M., Tonboe, R., Heygster, G., Spreen, G. Influence of snow and ice properties on the microwave emission from growing sea ice – a model study, *The Cryosphere*, in prep, 2016.

#### **Andere im Bericht zitierten Referenzen:**

- Bellucci, A., Haarsma, R., Bellouin, N., Booth, B., Cagnazzo, C., van den Hurk, B., Keenlyside, N., Koenigk, T., Massonnet, F., Materia, S., and Weiss, M.: Advancements in decadal climate predictability: The role of nonoceanic drivers, *Rev Geophys*, 53, 165-202, 2015.
- Day, J. J., Hawkins, E., and Tietsche, S.: Will Arctic sea ice thickness initialization improve seasonal forecast skill?, *Geophys Res Lett*, 41, 7566-7575, 2014.
- Doblas-Reyes, F. J., Andreu-Burillo, I., Chikamoto, Y., Garcia-Serrano, J., Guemas, V., Kimoto, M., Mochizuki, T., Rodrigues, L. R. L., and van Oldenborgh, G. J.: Initialized near-term regional climate change prediction, *Nat Commun*, 4, 2013.
- Eyring, V., Isaksen, I. S. A., Berntsen, T., Collins, W. J., Corbett, J. J., Endresen, O., Grainger, R. G., Moldanova, J., Schlager, H., and Stevenson, D. S.: Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping, *Atmos Environ*, 44, 4735-4771, 2010.
- Eyring, V., Righi, M., Lauer, A., Evaldsson, M., Wenzel, S., Jones, C., Anav, A., Andrews, O., Cionni, I., Davin, E. L., Deser, C., Ehbrecht, C., Friedlingstein, P., Gleckler, P., Gottschaldt, K. D., Hagemann, S., Juckes, M., Kindermann, S., Krasting, J., Kunert, D., Levine, R., Loew, A., Mäkelä, J., Martin, G., Mason, E., Phillips, A. S., Read, S., Rio, C., Roehrig, R., Senftleben, D., Sterl, A., van Ulft, L. H., Walton, J., Wang, S., and Williams, K. D.: ESMValTool (v1.0) – a community diagnostic and performance metrics tool for routine evaluation of Earth system models in CMIP, *Geosci. Model Dev.*, 9, 1747-1802, 2016.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., Collins, W., Cox, P., Driouech, F., Emori, S., Eyring, V., Forest, C., Gleckler, P., Guilyardi, E., Jakob, C., Kattsov, V., Reason, C., and Rummukainen, M.: Evaluation of Climate Models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

- Germe, A., Chevallier, M., Melia, D. S. Y., Sanchez-Gomez, E., and Cassou, C.: Interannual predictability of Arctic sea ice in a global climate model: regional contrasts and temporal evolution, *Clim Dynam*, 43, 2519-2538, 2014.
- Goddard, L., Kumar, A., Solomon, A., Smith, D., Boer, G., Gonzalez, P., Kharin, V., Merryfield, W., Deser, C., Mason, S. J., Kirtman, B. P., Msadek, R., Sutton, R., Hawkins, E., Fricker, T., Hegerl, G., Ferro, C. A. T., Stephenson, D. B., Meehl, G. A., Stockdale, T., Burgman, R., Greene, A. M., Kushnir, Y., Newman, M., Carton, J., Fukumori, I., and Delworth, T.: A verification framework for interannual-to-decadal predictions experiments, *Clim Dynam*, 40, 245-272, 2013.
- Guemas, V., Blanchard-Wrigglesworth, E., Chevallier, M., Day, J. J., Déqué, M., Doblas-Reyes, F. J., Fučkar, N. S., Germe, A., Hawkins, E., Keeley, S., Koenigk, T., Salas y Méliá, D., and Tietsche, S.: A review on Arctic sea-ice predictability and prediction on seasonal to decadal time-scales, *Q J Roy Meteor Soc*, doi: 10.1002/qj.2401, 2014. n/a-n/a, 2014.
- Meehl, G. A., Goddard, L., Boer, G., Burgman, R., Branstator, G., Cassou, C., Corti, S., Danabasoglu, G., Doblas-Reyes, F., Hawkins, E., Karspeck, A., Kimoto, M., Kumar, A., Matei, D., Mignot, J., Msadek, R., Navarra, A., Pohlmann, H., Rienecker, M., Rosati, T., Schneider, E., Smith, D., Sutton, R., Teng, H., van Oldenborgh, G. J., Vecchi, G., and Yeager, S.: Decadal Climate Prediction: An Update from the Trenches, *B Am Meteorol Soc*, 95, 243-267, 2014.
- Meehl, G. A., Goddard, L., Murphy, J., Stouffer, R. J., Boer, G., Danabasoglu, G., Dixon, K., Giorgetta, M. A., Greene, A. M., Hawkins, E., Hegerl, G., Karoly, D., Keenlyside, N., Kimoto, M., Kirtman, B., Navarra, A., Pulwarty, R., Smith, D., Stammer, D., and Stockdale, T.: Decadal Prediction Can It Be Skillful?, *B Am Meteorol Soc*, 90, 1467-+, 2009.
- Müller, W. A., Baehr, J., Haak, H., Jungclaus, J. H., Kroger, J., Matei, D., Notz, D., Pohlmann, H., von Storch, J. S., and Marotzke, J.: Forecast skill of multi-year seasonal means in the decadal prediction system of the Max Planck Institute for Meteorology, *Geophys Res Lett*, 39, 2012.
- Müller, W. A., Pohlmann, H., Sienz, F., and Smith, D.: Decadal climate predictions for the period 1901-2010 with a coupled climate model, *Geophys Res Lett*, 41, 2100-2107, 2014.
- Notz, D., Haumann, F. A., Haak, H., Jungclaus, J. H., and Marotzke, J.: Arctic sea-ice evolution as modeled by Max Planck Institute for Meteorology's Earth system model, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, doi: 10.1002/jame.20016, 2013. n/a-n/a, 2013.
- Paxian, A., Eyring, V., Beer, W., Sausen, R., and Wright, C.: Present-Day and Future Global Bottom-Up Ship Emission Inventories Including Polar Routes, *Environ Sci Technol*, 44, 1333-1339, 2010.
- Pohlmann, H., Jungclaus, J. H., Kohl, A., Stammer, D., and Marotzke, J.: Initializing Decadal Climate Predictions with the GECCO Oceanic Synthesis: Effects on the North Atlantic, *J Climate*, 22, 3926-3938, 2009.
- Stroeve, J., Holland, M. M., Meier, W., Scambos, T., and Serreze, M.: Arctic sea ice decline: Faster than forecast, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L09501, 2007.
- Stroeve, J. C., Kattsov, V., Barrett, A., Serreze, M., Pavlova, T., Holland, M., and Meier, W. N.: Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations, *Geophys Res Lett*, 39, 2012.



## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel  MiKlip Verbundprojekt: Klimamodell-Validierung durch Vergleich von globalen Essentiellen Klimavariablen aus Modellen und Beobachtungen (ClimVal), Teilvorhaben 1 (DLR), Modul E	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Eyring, Veronika Senftleben, Daniel	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2015
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Institut für Physik der Atmosphäre Oberpfaffenhofen 82234 Wessling	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01LP1159A
	11. Seitenzahl 14
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 24
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 8
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung  Verlässliche Klimaprognosen sind von fundamentaler Bedeutung für die Gesellschaft. Die Forschung ist gefordert, die komplexen Wechselwirkungen des Klimasystems und die Ursachen von Klimaänderungen zu verstehen. Ziel des ClimVal Projekts war es, die Stärken und Schwächen sowie die Unsicherheiten im MiKlip Modellsystem mit Fokus auf Meereis durch eine umfangreiche Evaluation mit Beobachtungsdaten zu quantifizieren. Zur Beurteilung des MiKlip Modellsystems in Bezug auf arktische Meereisausdehnung wurden im Rahmen von ClimVal Teilprojekt 2 von der Universität Bremen entsprechende Datensätze erstellt und zur Evaluierung genutzt. Das Erdsystemmodellevaluierungstool (ESMValTool) wurde mit einem Verifikationssystem für dekadische Klimasimulationen erweitert und auf das MiKlip System angewandt. Im MiKlip prototype System wurde ein verbesserter Vorhersage-Skill durch Initialisierung für 2m-Lufttemperaturen und Meeresoberflächentemperaturen unter anderem im Nordatlantik gefunden. Diese Verbesserung propagiert nordwärts und zeigt sich in einem erhöhten Vorhersage-Skill der Meereisfläche im Grönlandmeer im Winter. Hier konnte das Problem der im Vergleich mit Beobachtungen antikorrelierten Variabilitätsmuster, das in den nicht-initialisierten Langzeitsimulationen auftritt, durch die Initialisierung gelöst werden. In anderen Regionen, sowie im Sommer, konnten die Meereisprognosen durch Initialisierung nicht weiter verbessert werden. Durch eine zusätzliche Initialisierung mit Meereisgrößen in MiKlip Phase 2 könnte eine Verbesserung des Vorhersage-Skills für Meereis erzielt werden.	
19. Schlagwörter Klimamodelle, Evaluierung, Meereis, dekadische Simulationen	
20. Verlag	21. Preis

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel <b>Schlussbericht "Beobachtungsdatensätze für das arktische Meereis"</b>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] <b>Heygster, Georg Huntemann, Marcus</b>	5. Abschlussdatum des Vorhabens <b>30.9.2014</b>
	6. Veröffentlichungsdatum <b>9.6.2015</b>
	7. Form der Publikation <b>Schlussbericht</b>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <b>Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Pf 330440, 28334 Bremen</b>	9. Ber. Nr. Durchführende Institution /
	10. Förderkennzeichen <b>01LP1159B</b>
	11. Seitenzahl 5
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>	13. Literaturangaben 2
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 0
16. Zusätzliche Angaben /	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) /	
18. Kurzfassung  Für die Validierung von Klimamodellen ist die satellitengestützte Fernerkundung wegen der täglichen globalen Abdeckung die bevorzugte Datenquelle, vor allem für mittelfristige Klimamodelle. Tägliche Bestimmungen der Meereiskonzentrationen über der Arktis und Antarktis aus Satellitenbeobachtungen werden seit den 1970er Jahren durchgeführt. Seit 2000 sind zusätzlich Mikrowellenradiometer auf Satelliten verfügbar, aus deren Daten die Dicke von dünnem Meereis bestimmt werden kann. Ziel dieses Projektes war es, Daten zur Meereiskonzentration von mehreren Sensoren für die Validierung von Klimamodellen von 1978 bis 2013 bereitzustellen. Darüber hinaus wurden Meereiskonzentrationsdaten in höherer Auflösung basierend auf den 89 GHz-Daten des Mikrowellensensors AMSR-E von 2002 bis 2011 bereitgestellt. Ein Algorithmus zur Bestimmung der Meereisdicke von dünnem Meereis vom Satelliten SMOS wurde entwickelt und validiert. Der Datensatz der Dicke des dünnen Meereises reicht von 2010 bis 2013.	
19. Schlagwörter Validierungsdaten, Meereis, Fernerkundung, Klimamodelle	
20. Verlag /	21. Preis /

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title  MiKlip Verbundprojekt: Climate Model Validation by confronting globally Essential Climate Variables from models with observations (ClimVal), Teilvorhaben 1 (DLR), Modul E	
4. author(s) (family name, first name(s))  Eyring, Veronika Senftleben, Daniel	5. end of project 31.12.2015
	6. publication date
	7. form of publication Final Report
8. performing organization(s) (name, address)  Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Institut für Physik der Atmosphäre Oberpfaffenhofen 82234 Wessling	9. originator's report no.
	10. reference no. 01LP1159A
	11. no. of pages 14
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 24
	14. no. of tables 1
	15. no. of figures 8
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract  The ability to project climate change is fundamental to society. Currently, large uncertainties in the projections exist due to complex interactions between climate and other components of the Earth System. The goal of ClimVal was to quantify strengths and weaknesses as well as uncertainty of the MiKlip model system with focus on sea ice through a comprehensive model evaluation with observations. For the assessment of the MiKlip model system with respect to Arctic sea-ice, the University of Bremen has created corresponding observational datasets in ClimVal sub-project 2 that were used for the evaluation. The Earth System Model Evaluation Tool (ESMValTool) has been extended with a verification system for decadal climate predictions and applied to the MiKlip system. For near-surface air temperatures and sea-surface temperatures, the MiKlip prototype system exhibits improved prediction skill via initialization in, among other regions, the North Atlantic Ocean. This improvement propagates northward and is reflected in a higher prediction skill of sea-ice area in the winter in the Greenland Sea. Here, the problem of anti-correlated variability patterns in the historical simulations against observations could be solved by initialization. In other regions, as well as in summer, the sea-ice predictions could not be improved further by initialization. Additionally initializing the model with sea-ice parameters in MiKlip phase 2 could potentially improve the summer prediction skill of sea ice.	
19. keywords Climate models, evaluation, sea ice, decadal simulations	
20. publisher	21. price

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title <b>Final Report "Observational data sets for the Arctic sea ice" (in German)</b>	
4. author(s) (family name, first name(s)) <b>Heygster, Georg Huntemann, Marcus</b>	5. end of project <b>30.9.2014</b>
	6. publication date <b>9.6.2015</b>
	7. form of publication /
8. performing organization(s) (name, address) <b>Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Pf 330440, 28334 Bremen</b>	9. originator's report no. /
	10. reference no. <b>01LP1159B</b>
	11. no. of pages 7
12. sponsoring agency (name, address) <b>Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn</b>	13. no. of references 4
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 0
16. supplementary notes /	
17. presented at (title, place, date) /	
18. abstract  Measurements of sea ice properties like extent, concentration and thickness have been performed using several in-situ and remote sensing techniques. For the validation of climate models the small amount, the poor coverage, and the variation of data quality of in-situ measurements makes satellite based remote sensing the preferred method source of validation data, especially for midrange climate models. Daily passive microwave based remote sensing measurements of sea ice concentrations have been taken over the Arctic and Antarctic since the 1970's. Moreover, from observations of recently launched new microwave radiometers it is possible to estimate the thickness of thin sea ice. The purpose of this project was to provide data for sea ice concentration from several microwave remote sensing sensors for the validation of climate models ranging from 1978 to 2013. In addition higher resolution data from the AMSR-E sensor for sea ice concentration was provided for the years 2002 to 2011. A sea ice thickness retrieval algorithm for thin sea ice from the Soil Moisture and Ocean Salinity satellite (SMOS) was developed and validated. The data set of thickness of thin sea ice ranging from 2010 to 2013.	
19. keywords Validation data, Sea ice, Remote sensing, Climate models	
20. publisher /	21. price /