

# Verbundschlussbericht

BMBF Forschungsvorhaben mit Förderkennzeichen (FKZ): 01LP1110A

Verbundvorhaben

## MiKlip-VESPA

### Variabilität von Extremereignissen, ihre Ursachen und ihre Vorhersagbarkeit auf dekadischen Zeitskalen in Ensembles von Klimasimulationen

Freie Universität Berlin (FUB), Institut für Meteorologie  
Universität zu Köln (UK), Institut für Geophysik und Meteorologie

Verbund-Projektleiter: Prof. Dr. Uwe Ulbrich (Freie Universität Berlin)  
Laufzeit: 01.09.2011 - 31.08.2015, kostenneutral verlängert bis 31.12.2015

## I. Kurze Darstellung

### 1. Aufgabenstellung

Dekadische Vorhersagen von Extremereignissen sind für eine Vielzahl von Nutzern wie z.B. Energieunternehmen, (Rück-)Versicherungsunternehmen und Politik von großer Relevanz. Während saisonale Vorhersagen zu kurz für die Einbeziehung in längerfristige Planungen sind, liegen Projektionen über Jahrhunderte hinter dem unternehmerischen und politischen Handlungshorizont. Die Erfassung und Analyse von Extremereignissen und ihrem ursächlichen Zusammenhang zu dekadischer Variabilität kann für die mittelfristige Planung und Adaption ökonomischer Strukturen eine geeignete Basis darstellen, insbesondere wenn diese Vorhersagen nicht deterministisch, sondern probabilistisch sind.

Das Projekt VESPA befasste sich mit der dekadischen Vorhersage des Risikos für Extreme innerhalb der BMBF-Fördermaßnahme *Mittelfristige Klimaprognose* (MiKlip). Die zugrundeliegende methodische Idee ist, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von extremen Wetter- und Klimaereignissen mit den relevanten großskaligen Bedingungen, die physikalisch mit der Erzeugung dieser Ereignisse verbunden sind, variiert. Das Verständnis der diese relevanten Teile der Klimaschwankungen beeinflussenden Prozesse und das Verständnis der Rolle dieser Prozesse für das Auftreten von Extremen tragen zur verbesserten Beurteilung der Vorhersagbarkeit dieser Ereignisse bei.

Das Vorhaben zielte auf die Identifikation und Diagnose von Prozessen, die ursächlich für das Zustandekommen dekadischer Klimavariabilität verantwortlich sind und somit die Grundlage für eine potentielle Vorhersagbarkeit auf der dekadischen Zeitskala bilden. Diese Aufgabenstellung wird mit

dem Begriff „prozessorientierte Validierung“ umschrieben. Einer der Schwerpunkte war die Erfassung von Prozessen, die zu Variabilität und Vorhersagbarkeit hydro-meteorologischer Extreme führen. Die Bedeutung tropischer Variabilitätsmoden mit vermutetem dekadischen Vorhersagepotential und deren möglichen Übertragungsmechanismen in die Extra-Tropen wurden untersucht. Identifizierte Prozesse und deren physikalische Wirkungsweise wurden im dekadischen Vorhersagesystem (DWD) validiert.

Das in VESPA gewonnene Wissen und die methodischen Ansätze fließen in das MiKlip-Modellsystem ein und tragen zur Entwicklung spezieller Anwendungen für die dekadische Vorhersage von Extremereignissen bei. Nachfolgend sind die VESPA-Zielstellungen in Bezug auf die Versionen des MiKlip-Modellsystems aufgelistet:

- Identifizierung von Prozessen, die zu Anomalien oder Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen auf der dekadischen Zeitskala führen. (MiKlip-Startsystem)
- Abschätzung des Transports des Vorhersagepotentials von den Tropen in die Extratropen in Beobachtungen und in MiKlip-Hindcasts. (MiKlip-Startsystem / Prototypesystem)
- Validierung der Fähigkeit von in MiKlip benutzten Klimamodellen (z.B. ECHAM) identifizierte Mechanismen zu reproduzieren. (Prototypesystem) Analyse von Extremereignissen und deren Prozessen in dekadischen Hindcasts des MiKlip-Prototypesystems.
- Identifizierung von nützlichen Aussagen über die Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen und deren Schwankungen (Prototypesystem)
- Abschätzung der dekadischen Vorhersagbarkeit von Extremen basierend auf dem MiKlip-Modellsystem (Prototypesystem / operationelles System)

## **2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Neben den vorhandenen operationellen Wettervorhersageprodukten für kurzfristige Entscheidungen und Planungen gibt es einen Bedarf an Klimavorhersagen für Zeithorizonte von bis zu 10 Jahren und darüber hinaus. Diese dekadischen Prognosen sind ein relativ neues Forschungsfeld. Zum Zeitpunkt des Projektstarts existieren keine entsprechenden operationellen Vorhersagesysteme. Es fehlen somit Daten und Informationen, die als Planungsgrundlage für längerfristige Entscheidungen in Politik, Industrie und Versicherungen dienen könnten.

Die Ergebnisse erster experimenteller dekadischer Vorhersagen sind im fünften IPCC-Sachstandsbericht im Rahmen von CMIP5 (engl. Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) während der Projektlaufzeit erschienen. Diese beziehen sich vor allem auf die globale Skala und für den Aufgabenbereich der Klimaszenarien typische Größen wie Durchschnittstemperaturen. Für Anpassungsstrategien relevante Aussagen über regionale Ausprägungen und über Extreme werden bisher nicht mit dekadischen Vorhersagesystemen getroffen. Dabei spielt auch eine Rolle, dass Aussagen über multidekadische Schwankungen durch die Ensemblemittelung in einer Weise gewonnen werden, die für die Auswertung des Auftretens von Extrema nicht geeignet ist.

Es gibt Konzepte und Strategien zur Validierung von Klimamodellen und Wetter- und Jahreszeitenvorhersagen. Für dekadische Vorhersagen wird zur Beurteilung der Qualität der Prognosen eine Modifikation und Erweiterung dieser Konzepte benötigt. Weiterhin bestand das Problem, dass für die Evaluierung der Güte von dekadischen Vorhersagen in West- und Nordwestafrika nur eine geringe Abdeckung von Beobachtungen für den afrikanischen Kontinent existiert.

Als Teilprojekt von MiKlip konnte bei der Durchführung auf die vom Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) angebotenen Ressourcen, insbesondere auf den zentralen MiKlip-Server, zurückgegriffen werden. Diese technische Ressource im Zusammenhang mit der Integration in das Modul E

(Evaluierung) von MiKlip hat die Durchführung des Vorhabens wesentlich begünstigt. Die Integration in das Zentrale Evaluierungssystem von Modul E hat es ermöglicht, neue Modell-Versionen effizient auszuwerten.

### **3. Planung und Ablauf des Vorhabens**

VESPA folgte einem zweiteiligen Arbeitsplan: Im ersten Teil fand eine Diagnose und Erfassung großskaliger tropischer bzw. hemisphärischer Variabilitätsmoden (RL1a, FUB) und eine Untersuchung zum Zusammenhang zwischen großskaligen Variationsmoden und Extremen des westafrikanischen Monsuns (RL1b, UK) statt. Darauf aufbauend wurden die für extra-tropische Extreme wesentlichen Übertragungsmechanismen untersucht (RL1c, FUB). Ein zweiter Teil (RL2, FUB) bestimmte mit einer dynamischen Regionalisierung die Variabilität lokaler (konvektiver) Extremereignisse.

In der Forschungskette 1 (RL1) wurden Prozesse ausgehend von großskaligen Eigenschaften betrachtet. Teil 1a zielte auf die Rolle der Atlantischen Multidekadischen Oszillation (AMO) für die dekadische Klimaentwicklung über Europa. Der Schwerpunkt im Teil 1b lag in der Ermittlung und Analyse von AMO- und PDO (Pazifische dekadische Oszillation)-bezogenen dekadischen Schwankungen im West- und Nordwestafrikanischen Niederschlag. Dies schließt dekadische Veränderungen in der Wahrscheinlichkeit von Dürren und Extremniederschlägen ein. Im Fokus des Teils 1c war die Variabilität der Transportmechanismen des Vorhersagepotentials von den Tropen in die Extratropen. Mit der Forschungskette 2 (RL2) wurde das Projekt durch die Beurteilung der durch regionales Downscaling verursachten Effekte auf die Extremereignisse und durch Wahrscheinlichkeitsschätzungen aus ensemble-basiertem Post-Prozessing vervollständigt. Es wurden verschiedene Downscaling-Techniken auf unterschiedlichen räumlichen Skalen betrachtet. Der Fokus lag dabei auf dem DSI (Dynamical State Index) als einem Maß für das Auftreten konvektiver Extremereignisse auf der lokalen Skala.

#### ***Meilensteine und Arbeitspakete:***

- M1a: AMO-bezogener Klimasignale in Modell und Beobachtungen
  - WP1a.1: Beobachteter Fingerabdruck der AMO
  - WP1a.2: Ensemble von Sensitivitätssimulationen
  - WP1a.3: Analyse des modellierten Fingerabdrucks
  - WP1a.4: AMO in den Versionen des MiKlip-Systems
- M1b: Identifikation und Analyse der Niederschlagsvariabilität für West und Nordwest Afrika auf der dekadischen Zeitskala im Zusammenhang mit der PDO und der AMO
  - WP1b.1: Niederschlagsdatenbank und Metriken zur Modellvalidierung
  - WP1b.2: Variabilität von Telekonnexionen zu Extremen in nordafrikanischen Niederschlägen: statistische Analysen von Beobachtungen und des MiKlip-Modell-Systems (Baseline/Prototype)
  - WP1b.3: Variabilität von Telekonnexionen zu Extremen in nordafrikanischen Niederschlägen: Prozess-basierte Auswertung des MiKlip-Modell-Systems (Baseline/Prototype)
  - WP1b.4: Abschließende Bewertung des MiKlip-Modell-Systems zur Vorhersage von (extremen) Niederschlägen und Trockenperioden in West- und Nordwestafrika
- M1c: Identifikation von Transportmechanismen der Vorhersagbarkeit von den Tropen zu den Extratropen
  - WP1c.1: Identifikation von Verbindungen zwischen Tropen und mittleren Breiten
  - WP1c.2: Identifikation möglicher Transportmechanismen
  - WP1c.3: Wiedergabe der Mechanismen und Bedingungen im MiKlip-System

- M2: Downscaling der globalen und großskaligen Informationen: Diagnose des als DSI Maß für die dekadische Variabilität von konvektiven Extremereignissen auf der lokalen und regionalen Skala
  - WP2.1: Downscaling des DSI als Maß für konvektive Extremereignisse auf der dekadischen Skala
  - WP2.2: Untersuchung der dekadischen Vorhersagbarkeit des DSI

#### **4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde**

RL1a: Frühere Studien zur Wirkung der AMO auf das Klima postulierten einen Einfluss der AMO auf die nordhemisphärische Mitteltemperatur (Zhang et al., 2007), auf die Nordpazifische Klimavariabilität (Zhang und Delworth, 2007), auf den Niederschlag in Indien und der Sahelzone, auf Atlantische Hurrikans (Zhang und Delworth, 2006), das Auftreten von Dürren in Nordamerika (McCabe, 2008) sowie auf das nordamerikanische und europäische Sommerklima (Sutton et al., 2005). Da die AMO eine Klimaschwankung über mehrere Dekaden ist, sind die vorhandenen Beobachtungsdaten nicht ausreichend, um die Verbindungen zwischen AMO und Klimavariablen statistisch robust aufzuzeigen. Klimamodelle stellen solche Daten für statistische Analysen zur Verfügung. So zeigen z.B. Knight et al. (2006) in einer Modellstudie, dass die beobachtete Verbindung zwischen AMO und Niederschlägen in der Sahelzone sich im Modell bestätigen lässt. Dies legt nahe, dass die AMO ein wesentlicher Faktor der Vorhersagbarkeit der oben erwähnten Variablen darstellen könnte.

RL1b: Auf der technischen Seite wurde insbesondere an die an der Universität zu Köln entwickelte Niederschlagsdatenbank (Fink et al. 2010a,b) angeknüpft. Diese Datenbank enthielt ausgewählte Stationen in West und Nordwestafrika und resultierte aus vorangegangenen Projekten bzw. Korporationen mit afrikanischen Wetterdiensten. Auf der wissenschaftlichen Seite wurde an vorherige Studien angeknüpft, in denen die Wechselwirkung zwischen der Variabilität des Ozeans und Niederschlägen in den Tropen (z.B. Feng und Hu 2008; Wang et al. 2009), sowie in den Sub-Tropen (z.B. Knippertz et al. 2003; Born et al. 2010) untersucht wurden. Bei der prozessbasierten Evaluierung wurde an Analysen der jeweiligen Prozesse angeknüpft (z.B. Berry et al. 2007; Lavaysse et al. 2009). Darüber hinaus gab es an der durchführenden Stelle aus vorangegangenen Projekten und Forschungs Kooperationen ein fundiertes Wissen zur Wetter- und Klimadynamik der Maghreb- und tropischen Westafrikaregion. Hierdurch konnte eine „Kandidatenliste“ relevanter Klimaprozesse und Telekonnexionsmuster zügig erstellt werden, welche nun durch erfolgreiche Integration entsprechender Software im MIKLIP Central Evaluation System (CES) zur automatisierten Evaluation des MIKLIP-Vorhersagesystems herangezogen werden können.

RL1c: Statistische Zusammenhänge zwischen Variabilitätsmoden in den Tropen (wie die El Niño–Southern Oscillation, ENSO) und der extratropischen Klimavariabilität wurden in mehreren Studien untersucht. So konnte ein Einfluss von ENSO auf den europäischen Niederschlag (z.B. Zanchettin et al., 2008; Shaman und Tziperman, 2011) sowie auf die Temperatur (Pozo-Vázquez et al., 2001) ausgemacht werden. Eine Studie zur Wirkung unterschiedlicher ENSO Phasen auf das europäische Winterklima unterstreicht die Rolle von Meeresoberflächentemperatur-Anomalien im Atlantik und Pazifik (Mathieu et al., 2004). Des Weiteren wurde eine Verbindung zwischen dem durch ENSO beeinflussten Pazifik Nordamerika Pattern (PNA) und der Nordatlantischen Oszillation (NAO) in Honda et al. (2001) und Pinto et al. (2011) gefunden, so dass der Fokus für die mögliche Identifikation von Transportmechanismen auf Wechselwirkungen von NAO/AMO/PNA gelegt wird und dort angeknüpft werden kann.

RL2: Weber und Névir (2008) zeigten erstmals, dass der DSI die instationären und diabatischen Prozesse, die für extreme Zyklonen verantwortlich sind, auch bei grober Auflösung des Modellgitters

gut beschreiben kann. In weiteren Studien von Claussnitzer et al. (2008a, 2008b und 2011) konnte erstmals eine hohe Korrelation zwischen dem DSI und Niederschlagsfeldern auf der lokalen Skala nachgewiesen werden. Claussnitzer et al. (2008b) zeigten zudem anhand des Orkans "Kyrill", dass das DSI-Konzept auch eine Alternative zur Beschreibung der Dynamik anhand der isentropen potentiellen Vorticity (IPV-Denken) darstellt.

## **5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Das Gesamtprojekt MiKlip fand in einer Kooperation zwischen DWD und deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen statt. Das Teilprojekt VESPA ist ein Verbundprojekt zwischen der Universität zu Köln und der Freien Universität Berlin. Im Rahmen des Projektes gab es regelmäßigen Austausch insbesondere mit den Projekten MesoTel, MOSQUITO, STEPCLIM und EnsDiVal. Zusätzlich fanden regelmäßige Arbeitsgespräche im Rahmen der Freien Universität insbesondere mit den Projekten INTEGRATION, EnsDiVal und MesoTel statt. Die Zusammenarbeit mit dem Projekt INTEGRATION umfasste sowohl die Bereitstellung neuer Niederschlags-Beobachtungsdatensätze und von Modelldaten aus Sensitivitätssimulationen als auch die Aufbereitung vorhandener Daten für das zentrale Evaluationssystem (CES: central evaluation system). Zusätzlich wurden Plug-Ins zur Berechnung des DSI, von Blocking- sowie Klima-Extrem-Indizes und für Komponenten zur Diagnose des Westafrikanischen Monsunsystems in das CES integriert. Im Rahmen der Nutzung des letztgenannten Plug-Ins kam es zudem zu einer Zusammenarbeit mit DEPARTURE (Modul C). Darüber hinaus wurden von anderen Teilprojekten im CES bereitgestellte Plug-Ins für die Analysen benutzt.

## **II. Eingehende Darstellung**

### **1. Verwendung der Zuwendung: Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele**

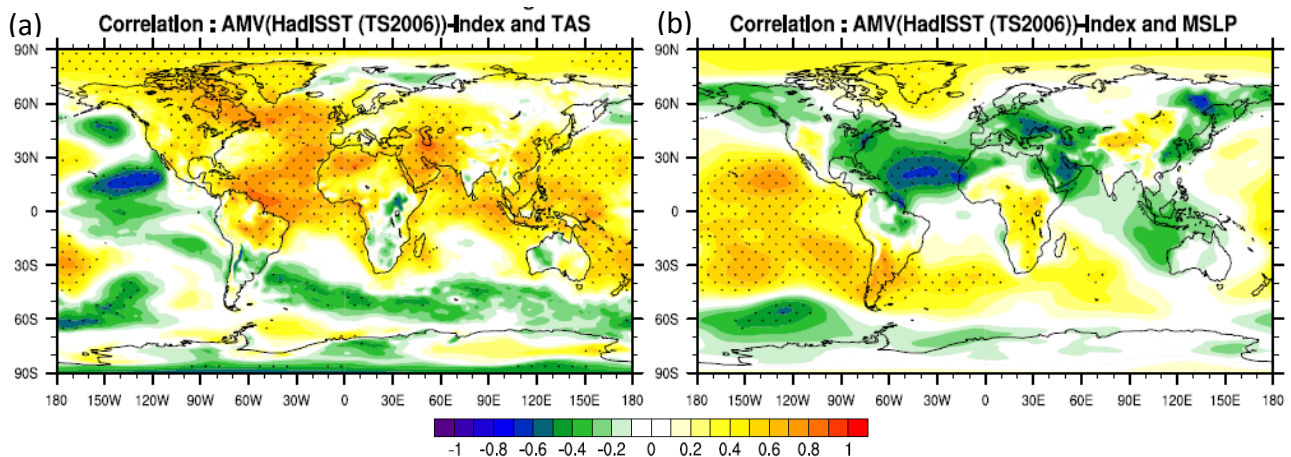
#### **RL1a: AMO/AMV-bezogener Klimasignale in Modell und Beobachtungen**

Ein Schwerpunkt des Projekts war die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen mehrjährigen Abweichungen in der nordatlantischen Meeresoberflächentemperatur mit wärmeren und kälteren Phasen, die als Atlantische multidekadische Variabilität (AMV, manchmal auch Atlantische multidekadische Oszillation - AMO) bezeichnet werden, und impaktrelevanter, meteorologischer Größen wie Temperatur und Niederschlag, insbesondere deren Extreme und großskalige Prozesse, welche letztere beeinflussen.

#### *WP1a.1: Beobachteter Fingerabdruck der AMO/AMV*

Zur systematischen Analyse der Fingerabdrücke der Atlantischen Multidekadischen Variabilität (AMV) wurden jahreszeitliche (Abb.1a.3) und jährlich (Abb. 1a.1-3) gemittelte Korrelationsmuster zwischen AMV-Indizes und unterschiedlichen, beobachtungsnahen, meteorologischen Feldern erstellt. Hierfür wurden drei verschiedene AMV-Indizes der Meeresoberflächentemperaturen (sea surface temperature: SST) benutzt, um der Abhängigkeit gefundener Signale vom benutzten Index Rechnung zu tragen. Zum einen sind das die zwei flächengemittelte Indizes HadISSTI und TS2006 mit

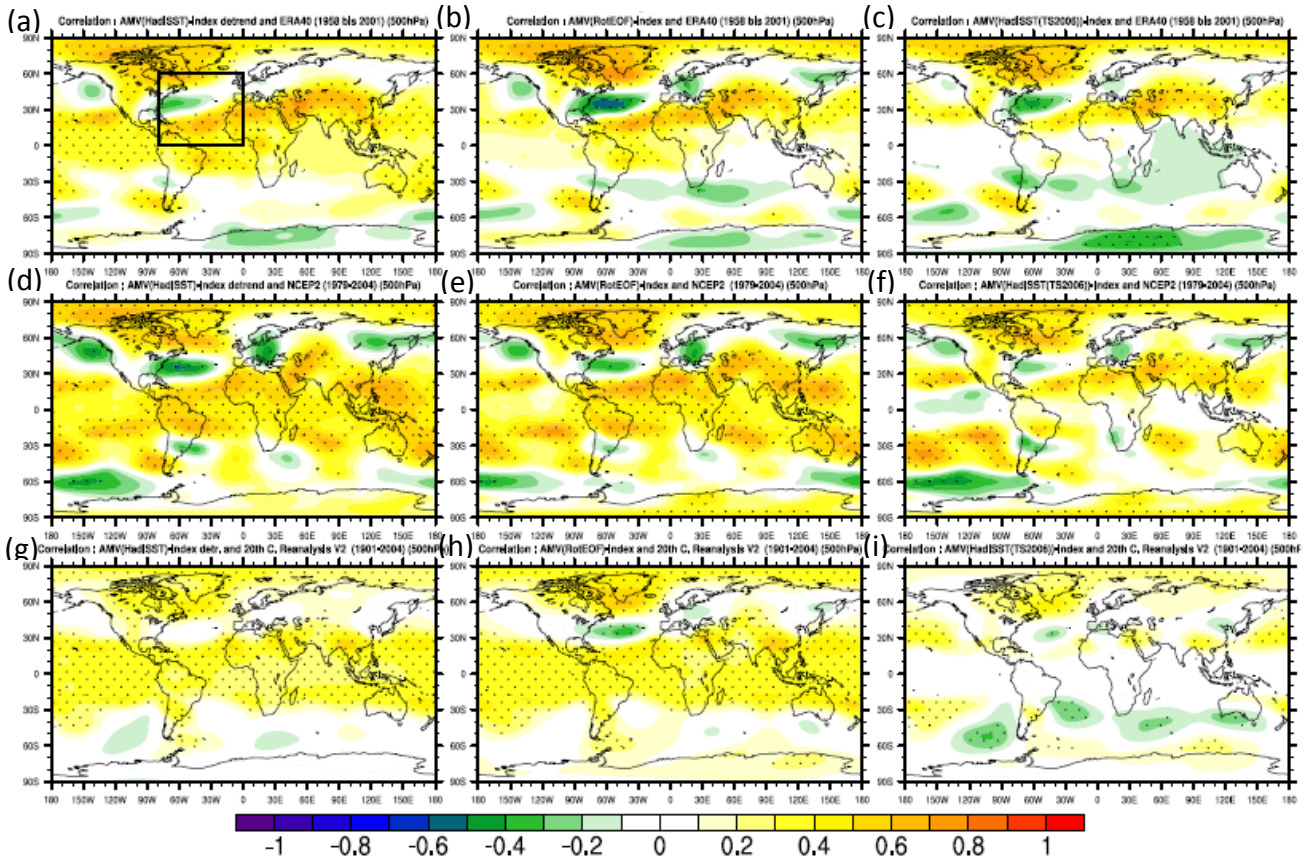
dem einheitlichen an Trenberth und Shea (2006) orientierten Mittelungsgebiet ( $0^\circ, 60^\circ\text{N}, 0^\circ, 80^\circ\text{W}$ ). Zum anderen die dritte rotierte, empirische, orthogonale Funktion (RotEOF) der globalen SSTs aus Schubert et al. (2009). Wobei die ersten beiden Indizes vom gewählten Mittelungsgebiet abhängen und letzterer von der Länge der Zeitreihe. Mögliche Effekte durch die globale Erwärmung werden auf unterschiedliche Weise reduziert. Beim Index HadISSTI wird von der Zeitreihe der lineare Trend subtrahiert, wohingegen der Index TS2006 die Abweichung vom jährlichen, globalen, die Erwärmung enthaltenden Mittel der SSTs benutzt, während beim Index RotEOF konstruktionsbedingt die Effekte der globalen Erwärmung (erste rotierte EOF) nicht berücksichtigt sind.



**Abbildung 1a.1:** Korrelation zwischen AMV-Index (TS2006) und der 2m-Temperatur (a) und dem Luftdruck auf Meereshöhe (b) in der ERA-Interim-Reanalyse (1979-2004). Pünktchen markieren Gebiete mit 95% Signifikanz

Für die Korrelationsanalysen wurde eine große Vielfalt an Reanalyse-Produkten benutzt. Die hier gezeigten beispielhaften Abbildungen 1a.1-3 benutzen die Produkte: 20CR (Compo et al., 2011), ERA40 (Uppala et al., 2005), ERA-Interim (Dee et al., 2011) und NCEP2 (Saha et al., 2014). Weitere Analysen mit NCEP1 (Kalnay et al., 1996) und JRA55 (Kobayashi et al., 2015) ergaben keine zusätzlichen Erkenntnisse. Da die Datensätze verschiedene Zeiträume umfassen, sind die korrelierten Zeitreihen nicht nur unterschiedlich lang, sondern erfassen auch unterschiedliche Phasen der AMV. Die mehrjährige Periodenlänge der AMV und die zeitliche Beschränktheit der Zeitreihen schlossen eine Vereinheitlichung des analysierten Zeitraumes aus. Als Beobachtungsdatensätze wurden für die Meeresoberflächentemperaturen HadISST, für Temperatur und Niederschlag die CRU-Datensätze (Harris et al., 2014) sowie für den Niederschlag der GPCP-Datensatz (Huffman et al., 2009) verwendet.

Im Korrelationsmuster der Temperatur (Abbildung 1a.1 (a)) zeigt sich das für die AMV typische Hufeisen-Muster: eine großräumige Erwärmung des Nordatlantik mit nur sehr schwacher Ausprägung vor der Küste der USA. Weitere Gebiete mit signifikant positiver Korrelation sind Grönland, der Osten Nordamerikas, Nordafrika und afrikanische südatlantische Küstengewässer sowie der Nahe Osten, der tropische Indische Ozean und der Westpazifik. Gebiete mit signifikant negativen Korrelationen befinden sich im südlichen Ozean und im Ostpazifik. Das Temperatursignal im Nordpazifik könnte auf eine Verbindung zwischen AMV und Pazifischer Dekadischer Variabilität (PDV) hinweisen. Durch die Erwärmung des Nordatlantiks und die unveränderten Temperaturen im Südatlantik erhöht sich der interhemisphärische Temperaturgradient.



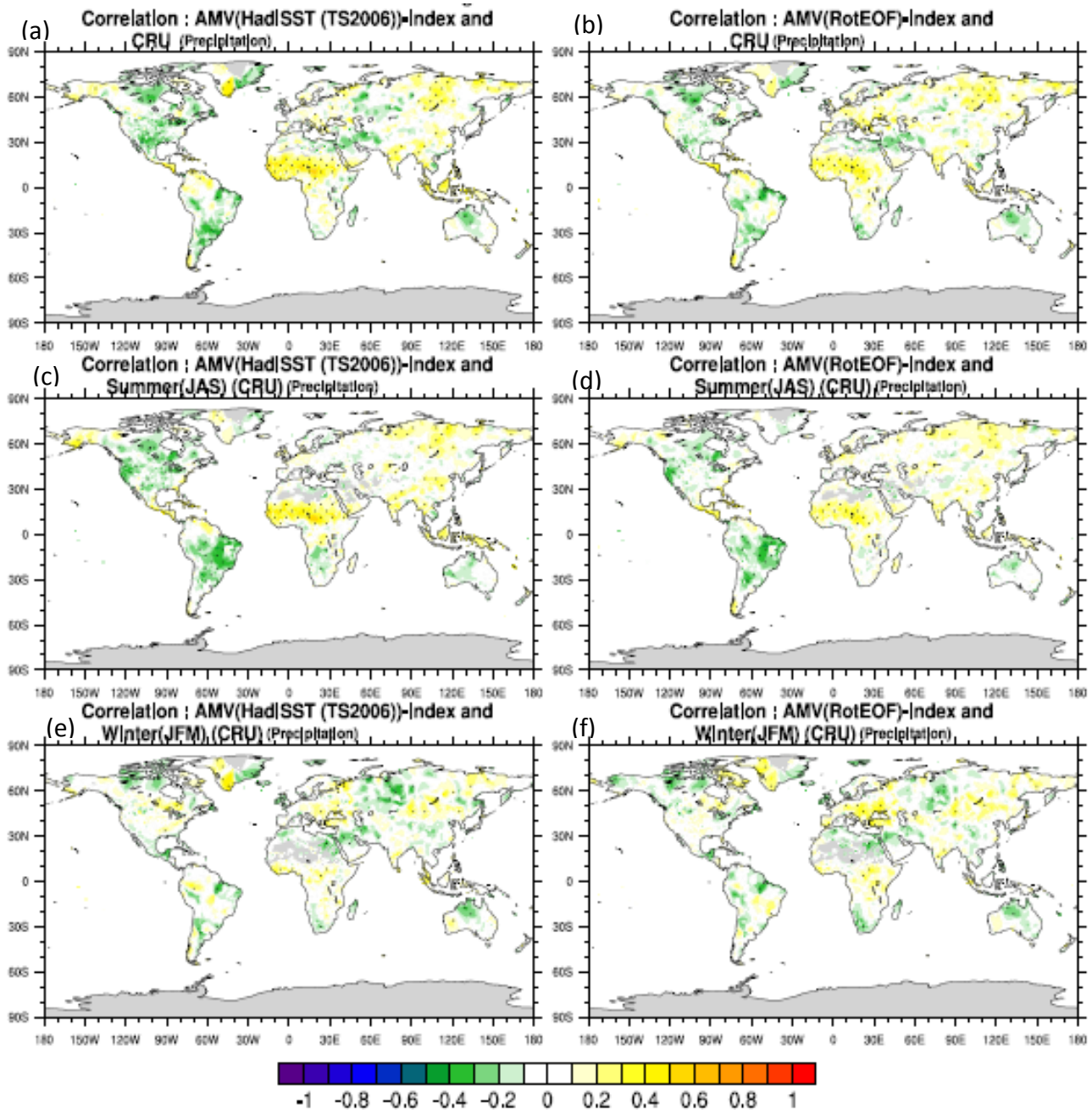
**Abbildung 1a.2:** Korrelation zwischen 500hPa-Geopotentialfeld und AMV-Indizes: HadSST1 (a,d,g), RotEOF (b,e,h), TS2006 (c,f,i), in verschiedenen Reanalysen: ERA40 (a-c), NCEP2 (d-f) und 20CR (g-i). Pünktchen markieren Gebiete mit 95% Signifikanz.

Der Index TS2006 ist signifikant positiv mit dem Luftdruck auf Meereshöhe im extratropischen Südatlantik, im südlichen Afrika, im mittleren und östlichen Pazifik südlich von 30°N, in Grönland, im südlichen Südamerika und in Teilen Ostasien (Tarim Niederung und Mongolische Hochebene) korreliert. Signifikant negative Korrelationen treten im subtropischen Nordatlantik, im pazifischen Bereich des Südlichen Ozeans, in Osteuropa und der Arabischen Halbinsel auf. Die Druckverminderung im südlichen Nordatlantik weist auf eine Verschiebung der Innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) hin. Das Korrelationsmuster über dem Nordatlantik widerspiegelt eine Antikorrelation zwischen Nordatlantischer Oszillation (NAO, Luftdruck) und Atlantischer Multidekadischer Variabilität (AMV, SSTs). Über die Modulation der NAO kann die AMV Wetter und Klima in Europa und Nordamerika beeinflussen.

Abbildung 1a.2 verdeutlicht am Beispiel des 500hPa-Geopotentialfeldes, dass die Korrelationen sowohl vom gewählten Index als auch vom benutzten Reanalyse-Datensatz abhängen. So zeigt der Index TS2006 insgesamt weniger Gebiete mit signifikanter Korrelation zwischen AMV und 500hPa-Geopotential (c,f,i). Die widersprüchlichen Signale in Antarktischen Bereich für die Reanalysen NCEP2 und 20CR (f,i) für diesen Index könnten durch die unterschiedliche Länge der Zeitreihen verursacht sein. Die Antikorrelation zwischen AMV und NAO zeigt sich dabei konsistent unabhängig von gewählten Datensatz und Index; Unterschiede zeigen sich hier in der Ausprägung des Signals.

Im Niederschlag zeigen sich jahreszeitliche Besonderheiten. Während sich signifikant positive Korrelationen im Niederschlag über der Afrikanischen Sahelzone im Jahresmittel und im Sommermittel (Jul-Aug-Sep) befinden, trägt der Winterniederschlag (Jan-Feb-Mar) nicht zur

positiven Korrelation über Afrika bei (Abb. 1a.3). Die signifikant negativen Korrelationen im Jul-Aug-Sep-Niederschlag über Brasilien dagegen sind im Jahresniederschlag nicht sichtbar (Abb. 1a.3 (a, c)).

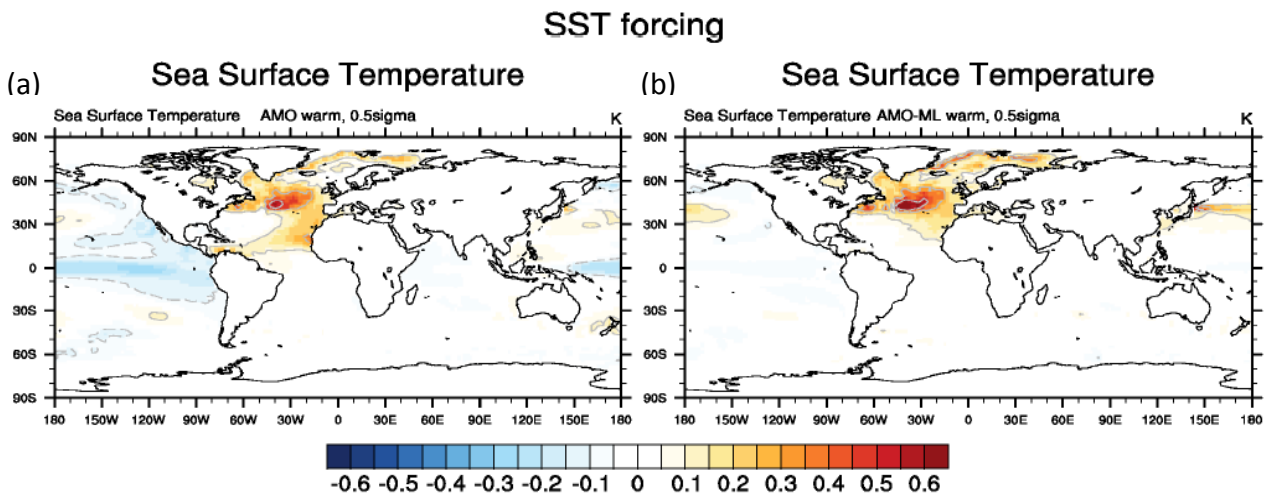


**Abbildung 1a.3:** Korrelation zwischen beobachteten Niederschlägen (CRUprecip 1901-2004) und den AMV-Indizes TS2006 (a,c,e) und RotEOF (b,d,f) für jährliche (a,b), Sommer- (c,d) und Wintermittel (e,f).



### WP1a.2: Ensemble von Sensitivitätssimulationen

Die geplanten Simulationen wurden fristgerecht auf dem Großrechner des DKRZ durchgeführt. So steht nun ein Ensemble von 50-Jahre-langen Gleichgewichtssimulationen mit dem Atmosphärenmodell ECHAM6 in einer Auflösung von T63L45 mit verschiedenen unteren Randbedingungen, die warmen bzw. kalten Phasen der AMV entsprechen, zur Verfügung. Dabei wurden verschiedene Definitionen des AMV-Indexes berücksichtigt; zum einen die an Trenberth and Shea (2006) angelehnte Definition (TS2006;  $SST(0^{\circ}-60^{\circ}N,80^{\circ}W-0^{\circ})-SST(60^{\circ}S-60^{\circ}N,180^{\circ}W-180^{\circ}E)$ ) und eine alternative Definition des Indexes (AMVML), die nur die flächengemittelten nordatlantischen Oberflächentemperaturen (SST) der mittleren Breiten zwischen  $30^{\circ}N$  und  $60^{\circ}N$  benutzt. Letztere ermöglicht die Zuordnung der Signale zur AMV, da sie den Einfluss der Temperaturen im tropischen Pazifik (ENSO) im Muster der SSTs reduziert (Abbildung 1a.4).



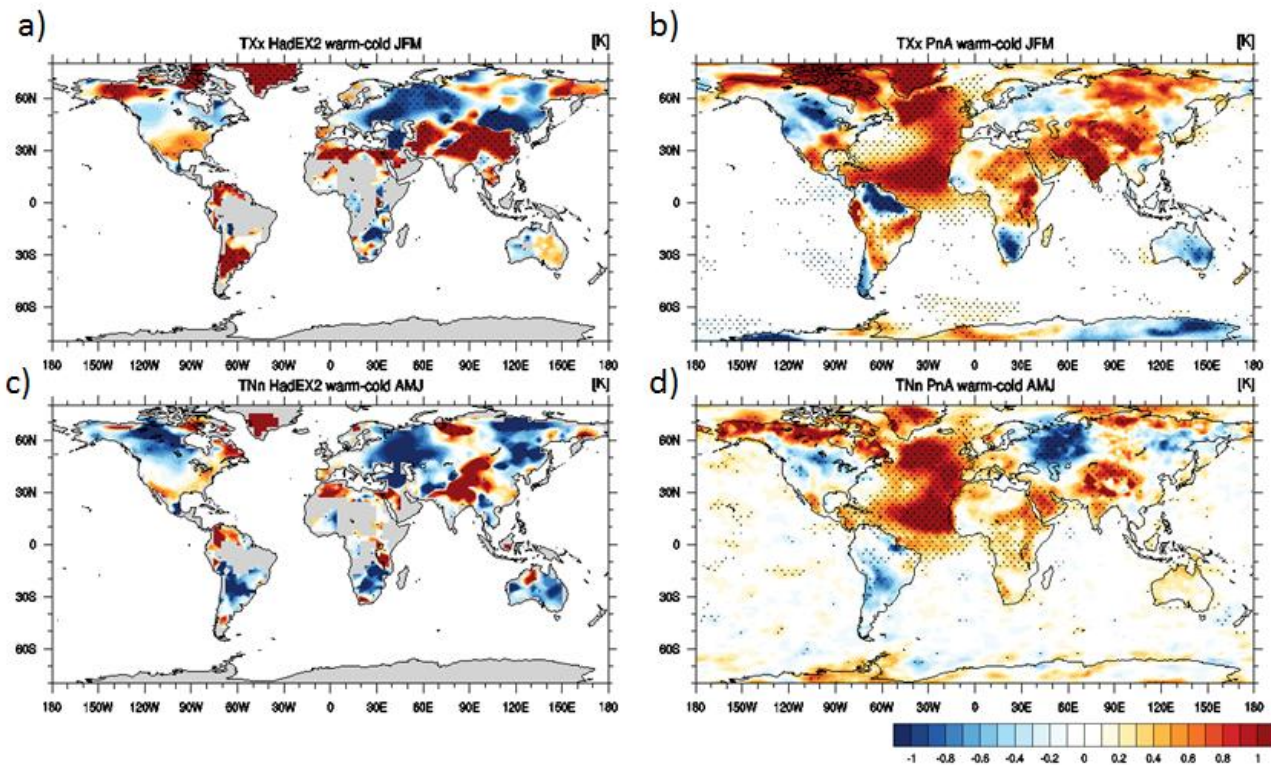
**Abbildung 1a.4:** Composite der SSTs aller Jahre mit einem AMV-Index größer als einer halben Standardabweichung des Indexes, Anomalie zur Klimatologie [K]; links: TS2006-Index rechts: Index AMVML.

Die Simulationen, denen als untere Randbedingungen die aus Gleichgewichtssimulationen des Klimamodells gewonnenen Oberflächentemperaturen des Nordatlantiks vorgeschrieben werden, wurden durch Simulationen ergänzt, die als untere Randbedingung Variabilitätsmuster aus Beobachtungen benutzten. Letzterer Experimentansatz orientiert sich an im Rahmen von CLIVAR-drought mit anderen Klimamodellen durchgeführten Simulationen (Schubert et al. 2009). Da die unteren Randbedingungen hier identisch gewählt wurden, steht für die Analyse ausgewählter meteorologischer Variablen nun ein Multi-Model-Ensemble, welches das in MiKlip benutzte Modell einschließt, zur Verfügung. Um den Einfluss stratosphärischer Prozesse zu untersuchen, wurden je eine Simulation unter warmen und kalten Bedingungen mit der vertikal höher aufgelösten Modellversion gerechnet. Eine Vielzahl meteorologischer Felder der Sammlung im Projekt durchgeführter Sensitivitätssimulationen ist im Long-Term-Archive (LTA) des DKRZ archiviert. Diese können über die CERA-Datenbank abgerufen und analysiert werden.

### WP1a.3: Analyse des modellierten Fingerabdrucks

Die Analyse saisonaler Höchst- und Tiefsttemperaturen in Beobachtungen und idealisierten Simulationen zeigt während Phasen wärmerer Nordatlantischer Wasseroberflächentemperaturen niedrigere Tiefsttemperaturen im nordhemisphärischen Frühling im Zentrum Nordamerikas, in Osteuropa und in den östlichen Teilen der Eurasischen Platte. Höhere Tiefsttemperaturen werden in Grönland und auf dem tibetischen Plateau beobachtet und simuliert. Ein ähnliches Muster zeigt sich für die Höchsttemperaturen im borealen Winter, wobei die niedrigeren Temperaturen über Osteuropa ein größeres Gebiet einnehmen (Abbildung 1a.5).

Die Untersuchung von Sensitivitäts-Simulationen zeigt für die Tagesmitteltemperaturen im mediterranen Raum nach einem Kolmogorov-Smirnov-Test signifikante Unterschiede der Temperaturverteilung zwischen warmen und kalten Phasen der AMV. Die Verteilungen unterscheiden sich vor allem an den Rändern, das heißt in der Häufigkeit besonders kalter und besonders heißer Tage. Bemerkenswert sind zum Beispiel das häufigere Auftreten extrem hoher Temperaturen und das seltenere Auftreten extrem kalter Temperaturen in der Kaltphase der AMV im mediterranen Raum.



**Abbildung 1a.5:** Composite der Extremtemperaturen [K] aller Jahre mit einem AMV-Index größer bzw. kleiner als Null; links: HadEx2 (Donat et al., 2013) rechts: Simulationen aus WP1a.2.

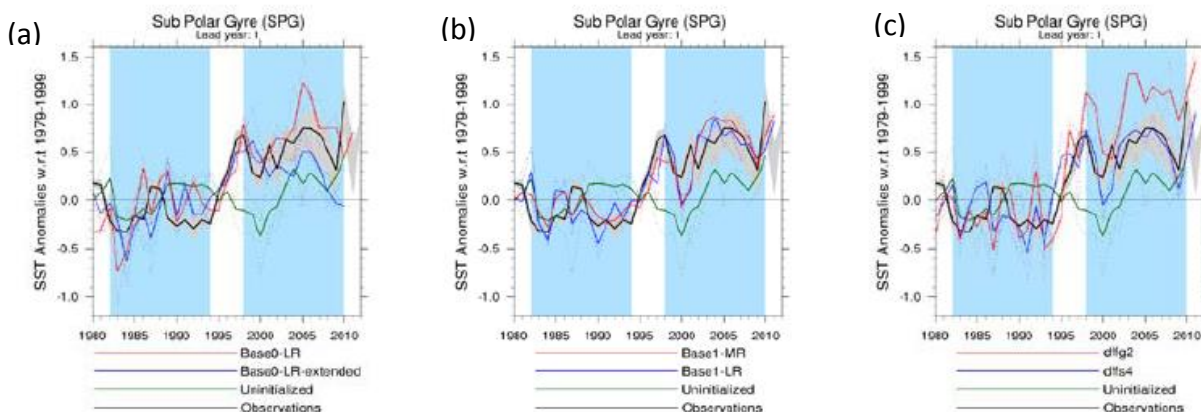
Eine erwartete Verlagerung hin zu negativen Werten des Winter-NAO-Indexes während Warmphasen der Atlantischen Multidekadischen Variabilität (AMV) kann in einer Sensitivitätsstudie mit der atmosphärischen Komponente des MPI-ESM und einer vorgeschriebenen Meeresoberflächentemperatur (SST), welche der Warm- und Kaltphasen der AMV ähnelt, wiedergegeben werden. Die Wirkung dieser zwei Phasen auf den zugehörigen Westafrikanischen Monsun (WAM) kann ebenfalls reproduziert werden sowie das intensivierte Sahara Hitzetief (SHL), die nordwärts Verlagerung der innertropischen Konvergenzzone und die erweiterte African Easterly

Wave (AEW) Aktivität während einer Warmphase (Vgl. auch RL1b). Die Niederschlagsänderungen haben das richtige Vorzeichen, fallen allerdings zu schwach aus.

#### WP1a.4: AMV/AMO in den Versionen des MiKlip-Systems

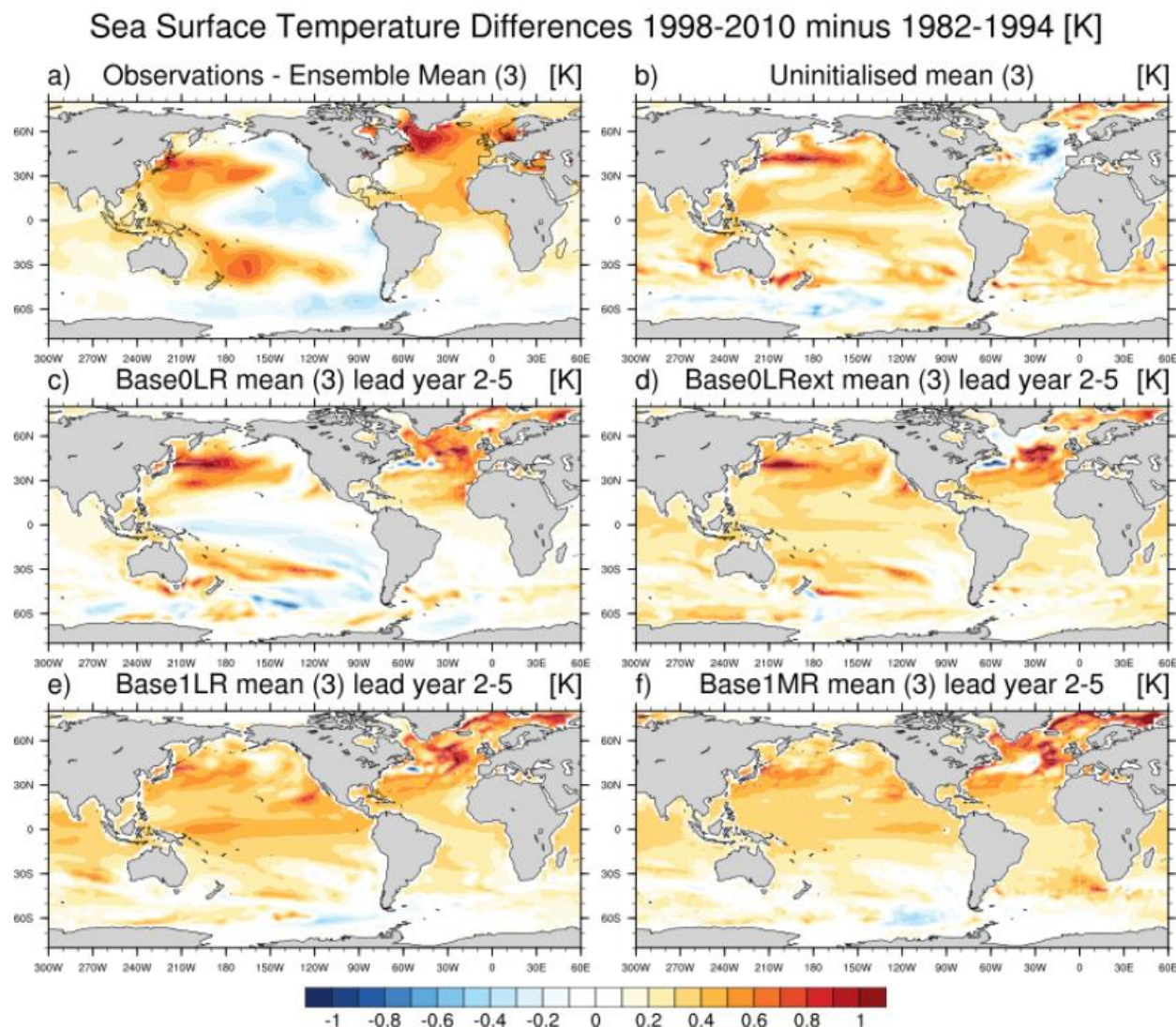
Zur Bewertung der Frage, inwieweit das MiKlip Vorhersagesystem die Entwicklung der Oberflächentemperaturen im Nordatlantik realitätsnah wiedergibt, wird insbesondere der Übergang von einer AMV-Kaltphase zu einer AMV-Warmphase Mitte der Neunziger Jahre des 20. Jahrhunderts betrachtet. Dieser ist durch einen markanten Sprung von bis zu 1°C in den Oberflächentemperaturen des nördlichen Teils des Nordatlantiks (subpolarer Wirbel) gekennzeichnet. Die Darstellung des Phänomens in den verschiedenen Versionen des dekadischen Vorhersagesystems MiKlip wurde sowohl hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs als auch hinsichtlich der zugehörigen räumlichen Anomalie-Muster im Nordatlantik und assoziierter Muster in den weltweiten Meeresoberflächentemperaturen untersucht.

Alle initialisierten Hindcasts zeigen den beobachteten markanten Sprung der Oberflächentemperaturen im Bereich des nordatlantischen subpolaren Wirbels für das erste Vorhersagejahr. Die Amplitude des Sprungs entspricht von der Größenordnung her den Beobachtungen. Die uninitialisierten Hindcasts zeigen dagegen ein Absinken der Temperaturen. Die Initialisierung ist somit eine Voraussetzung, um das Phänomen richtig vorherzusagen zu können (Abbildung 1a.6). Im Ensemblemittel der Hindcasts, die mit der Prototype-Entwicklungsstufe des Modellsystems berechnet wurden, gleichen sich eine Überschätzung des Temperatursprungs im pr-GECCO2(dffg2)-Mittel und eine Unterschätzung im pr-ORA-S4(dffs4)-Mittel (jeweils gegenüber Beobachtungen) in etwa aus. Der Einfluss unterschiedlicher Reanalysedaten (NCEP, 20CR) im Initialisierungsverfahren wird auch in den Baseline0-Hindcasts deutlich. Die Ensemblemittel der Hindcasts zeigen unterschiedliche Muster in den Oberflächentemperaturen, insbesondere in dem assoziierten Muster im Pazifik (Abbildung 1a.7). Während Baseline0-LR-extended nach dem ersten Vorhersagejahr kein mit den Beobachtungen vergleichbares Muster im Pazifik aufweist, zeigt sich dieses Muster in abgeschwächter Form bis ins 7. Vorhersagejahr für Baseline0-LR (ohne Abbildung).



**Abbildung 1a.6:** Zeitreihen der über dem subpolaren Wirbel (60W-0,50N-65N) gemittelten Anomalien der Oberflächentemperaturen; dicke Linien: Ensemblemittel; gestrichelte Linien: Ensemblemitglieder; graue Schattierung: Spannbreite der Beobachtungen.

In Bezug auf den subpolaren Wirbel nimmt die Übereinstimmung mit den Beobachtungen in den Baseline1-MR Hindcasts zu. Die Hindcasts geben die beobachtete Erwärmung im subpolaren Wirbel im Vorhersagejahre 1 gut wieder (Musterkorrelationskoeffizient für den Nordatlantik  $R=0.85$ ). Für den Vorhersagezeitraum 2-5 Jahre bleibt das Muster weitestgehend erhalten. Für die Vorhersagezeit 6-9 Jahre entwickelt sich zusätzlich das für die AMV typische Hufeisenmuster ( $R=0.91$ ).



**Abbildung 1a.7:** Anomalien in den Meeresoberflächentemperaturen aus Beobachtungen (a), uninitialisierten Hindcasts (b) und initialisierten dekadischen Hindcasts (c-f).

### RL1b: Identifikation und Analyse der Niederschlagsvariabilität für West und Nordwest Afrika auf der dekadischen Zeitskala im Zusammenhang mit der PDO und der AMO.

#### WP1b.1: Niederschlagsdatenbank und Metriken zur Modellvalidierung

##### Niederschlagsdatenbank:

Auf Grundlage des an der Universität zu Köln vorhandenen Datensatzes mit täglichen und monatlichen Niederschlagswerten von Stationen in West- und Nordwestafrika wurde ein neuer

umfangreicher Datensatz erstellt. Dieser Datensatz vereint frei verfügbare Quellen, wie z.B. GHCN (engl.: *Global Historical Climatology Network*) und ISD (engl.: *Integrated Surface Database*), mit Daten lokaler Wetterdienste und überregionaler Organisationen wie ACMAD (engl.: *African Centre of Meteorological Applications for Development*). Insgesamt konnten Daten aus 40 Quellen zusammengeführt werden. Das ursprünglich für die ersten 12 Monate der Projektlaufzeit geplante Erstellen der Datendank wurde über die gesamte Projektlaufzeit fortgesetzt, wodurch eine stetige Verbesserung der Datenverfügbarkeit erreicht werden konnte (Tabelle 1b.1).

**Tabelle 1b.1:** Anzahl der Stationen in der täglichen und monatlichen Niederschlagsdatenbank.

	Täglich, Stand 2013	Täglich, Stand 2014	Monatlich, Stand 2013	Monatlich, Stand 2014
(a) Zeitraum 1921-2010, 80% pro Station	81 Stat.	141 Stat.	224 Stat.	355 Stat.
(b) Zeitraum 1960-2010, 80% pro Station, min 50% pro Jahr	42 Stat.	70 Stat.	109 Stat.	148 Stat.

Für monatliche und tägliche Daten liegen zwei Varianten vor: (a) der Zeitraum 1921-2010 mit einer Verfügbarkeit von mindestens 80% pro Station bezogen auf den Gesamtzeitraum und (b) der Zeitraum 1960-2010 mit einer Verfügbarkeit von mindestens 80% pro Station bezogen auf den Gesamtzeitraum und mindestens 50% in jedem Jahr. Letztgenannter Zeitraum entspricht dem Zeitraum, in welchem „Nachhersagen“ mit dem MIKLIP-Modellsystem durchgeführt wurden. Durch die größere Stationsdichte werden einerseits statistische Aussagen über Trends sicherer und die Möglichkeit, Aussagen über regionale Unterschiede in Entwicklung der Niederschlagsereignisse zu machen (wie in Sanogo et al. 2015) verbessern sich, andererseits ermöglichte die durch Zulieferung afrikanischer Quellen vergleichsweise gute Abdeckung mit Stationsdaten in den letzten beiden Dekaden eine gegenüber frei zugänglichen Niederschlagsprodukten verbesserten Abgleich der dekadischen Vorhersagen mit der „Realität“.

#### Metriken:

Es wurden Metriken in Form von zwei Plug-Ins für das zentrale Evaluierungssystem zur Verfügung gestellt. Zum einen werden die vom *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) empfohlenen temperatur- und niederschlagsbezogenen Indizes berechnet (ETCCDI-Plug-In), zum anderen prozessorientierte Eigenschaften des westafrikanischen Monsuns ausgewertet (Monsun-Plug-In). Durch die Standardisierung des Evaluierungssystems können die Plug-Ins direkt auf alle auf dem MiKlip-Server bereitgestellten Daten angewendet werden, wodurch eine zeitnahe Auswertung neuer Läufe sowohl des MIKLIP-Modellsystems als auch der Simulationen mit Regionalmodellen im Teilprojekt DEPARTURE (Modul C) ermöglicht wurde/wird.

#### ETCCDI-Plug-In:

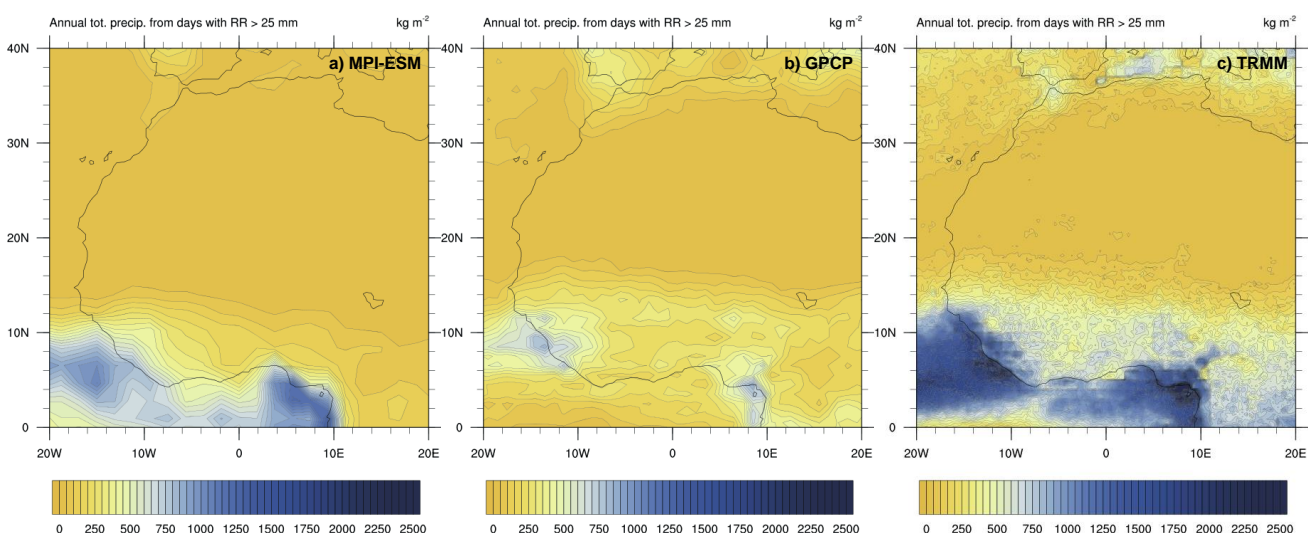
Eine Auswahl (siehe Tabelle 1b.2) der vom *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) empfohlenen Indizes (Peterson 2005) wurde als Plug-In für das zentrale Evaluierungssystem implementiert. Bei den niederschlagsbasierten ETCCDI-Indizes wurde die Auswahl durch die in Sanogo et al. (2015) erzielten Erfahrungen mit beobachteten Trends im Zeitraum 1981-2010 maßgeblich unterstützt. Die Berechnung kann mit allen auf dem MiKlip-Server verfügbaren gegitterten Beobachtungs- und Modell-Datensätzen durchgeführt werden. Verarbeitet werden können sowohl Daten auf einem regelmäßigen Gitter mit 1d-Koordinaten, also auch krummlinige

2d-Koordinaten, wie sie bei regionalen Klimamodellen üblich sind (Daten aus Modul-C Projekten). Direkte Vergleiche zwischen Datensätzen sind über Differenzplots möglich, dabei können auf unterschiedlichen Gittern liegende Daten auf ein gemeinsames Gitter interpoliert werden. Bei der Anwendung auf die dekadischen Experimente können einzelne Integrationsjahre ausgewählt werden, was auch Vergleiche zwischen den Integrationsjahren ermöglicht.

Berechnet werden je nach Index jährliche oder monatliche Zeitreihen, die in netCDF-Dateien abgelegt werden und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung stehen. Zusätzlich werden Abbildungen erstellt, die jeweils Mittelwerte über den betrachteten Zeitraum darstellen.

**Tabelle 1b.2:** Im ETCCDI-Plug-In implementierte Indizes.

Kürzel	Beschreibung
FD	Anzahl von Frosttagen pro Jahr ( $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ ).
SU	Anzahl der Sommertage pro Jahr ( $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ ).
TR	Anzahl der tropischen Nächte pro Jahr ( $T_{\min} > 20^{\circ}\text{C}$ ).
$\text{TX}_x$	Monatliches Maximum der täglichen Temperaturmaxima.
$\text{TN}_x$	Monatliches Maximum der täglichen Temperaturminima.
$\text{TX}_n$	Monatliches Minimum der täglichen Temperaturmaxima.
$\text{TN}_n$	Monatliches Minimum der täglichen Temperaturminima.
SDII	<i>Simple precipitation intensity index</i> : Der mittlere Niederschlag an Tagen mit $\text{RR} > 1$ mm
Rnn	Jährliche Anzahl von Tagen mit Niederschlag über einem Schwellwert. Ausgewertet werden die Schwellwerte 1, 5, 10, 25 und 50 mm.
RnnTOT	Jährliche Niederschlagssumme von Tagen über einem Schwellwert. Ausgewertet werden die Schwellwerte 1, 5, 10, 25 und 50 mm.
CDD	Längste Zeitperiode von aufeinander folgenden Tagen mit $\text{RR} < 1$ mm.
CWD	Längste Zeitperiode von aufeinander folgenden Tagen mit $\text{RR} > 1$ mm.
R95p	Das 95. Perzentil von Tagen mit $\text{RR} > 1$ mm.
R95pTOT	Jährliche Niederschlagssumme von Tagen mit $\text{RR} > \text{R95p}$
R99p	Das 99. Perzentil von Tagen mit $\text{RR} > 1$ mm
R99pTOT	Jährliche Niederschlagssumme von Tagen mit $\text{RR} > \text{R99p}$



**Abbildung 1b.1:** Aufsummierter Jahresniederschlag für Tage mit mehr als 25 mm Tagesniederschlag gemittelt über die Jahre 2001-2010. (a) MPI-ESM Baseline1-LR, erstes Integrationsjahr, Ensemble-Mittel; (b) GPCP Version 1.2; (c) TRMM, Produkt 3b42, Version 7.

Abbildung 1b.1 zeigt eine beispielhafte Anwendung des Plug-Ins auf Baseline1-LR, GPCP und TRMM. Dieses Beispiel verdeutlicht mehrere Schwierigkeiten bei Auswertung von Extremereignissen. Zum einen produziert Baseline1-LR zu wenige Extremereignisse über Land (Abb. 1b.1a) im Vergleich zu den beiden Beobachtungsdatensätzen GPCP und TRMM (Abb. 1b.1b-c), zum anderen weisen Beobachtungsdatensätze große Differenzen zueinander auf.

### Monsun-Plug-In:

Neben den oben beschriebenen stations- bzw. gitterpunktbasierten Indizes wurden Metriken implementiert, welche die Evaluation von Prozessen des westafrikanischen Monsuns auf der synoptischen Skala ermöglichen. Die berechneten Metriken beziehen sich immer auf die Monate Juli bis September (JAS) und können mit den klassischen, in der Model-Evaluation gängigen *Skill Scores* zur Bewertung verwendet werden. Implementiert wurden die in Tabelle 1b.3 beschriebenen Metriken. Hierzu ist eine Publikation in Vorbereitung (Redl et al. 2016).

**Tabelle 1b.3:** Im Monsun-Plug-In enthaltene Metriken.

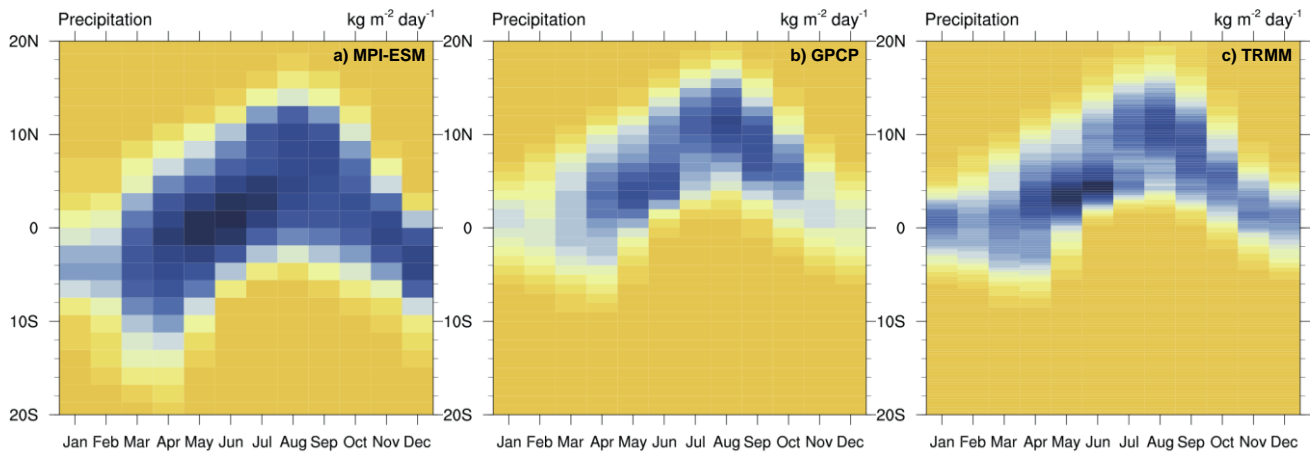
<b>Metrik-Type</b>	<b>Beschreibung</b>
ITCZ	Position der innertropischen Konvergenzzone (ITCZ) definiert als Lage des Maximums der zwischen 10°W und 10°E zonal gemittelten Niederschläge eines Monats.
AEW	Aktivität westwärts wandernder Wellenstörungen (engl. <i>African Easterly Waves</i> , AEW), definiert durch die 2 bis 6 Tage band-passgefilterte Varianz der meridionalen Windkomponente in 700 bzw. 850 hPa.
HL	Position des Hitzetiefs (engl. <i>Heat Low</i> , HL) über der Sahara. Definiert über die Schichtdicke zwischen 925 und 700 hPa. Als Metrik wird die mittlere geographische Länge und Breite der zum Hitzetief gehörenden Gitterpunkte verwendet.
AEJ	Position und Stärke des afrikanischen Oststrahlstroms (engl. <i>African Easterly Jet</i> , AEJ). Im 700 hPa-Niveau wird die Achse des Jets mit Hilfe der Scherungsvorticity bestimmt. Als Metrik verwendet werden die mittlere Windgeschwindigkeit entlang der Jet-Achse sowie die mittlere geographische Breite der Jet-Achse.
ADV	Advektion von Feuchte auf den Kontinent. Für die drei Regionen Guinea-Küste (GC), West-Sahel (WS) und Zentral-Sahel (CS) wird über den integrierten Wasserdampfgehalt der Luftsäule, den Niederschlag und die Verdunstung die durch Advektion verursachte Tendenz im Wasserdampfgehalt der Luftsäule berechnet.

### Position der innertropischen Konvergenzzone (ITCZ):

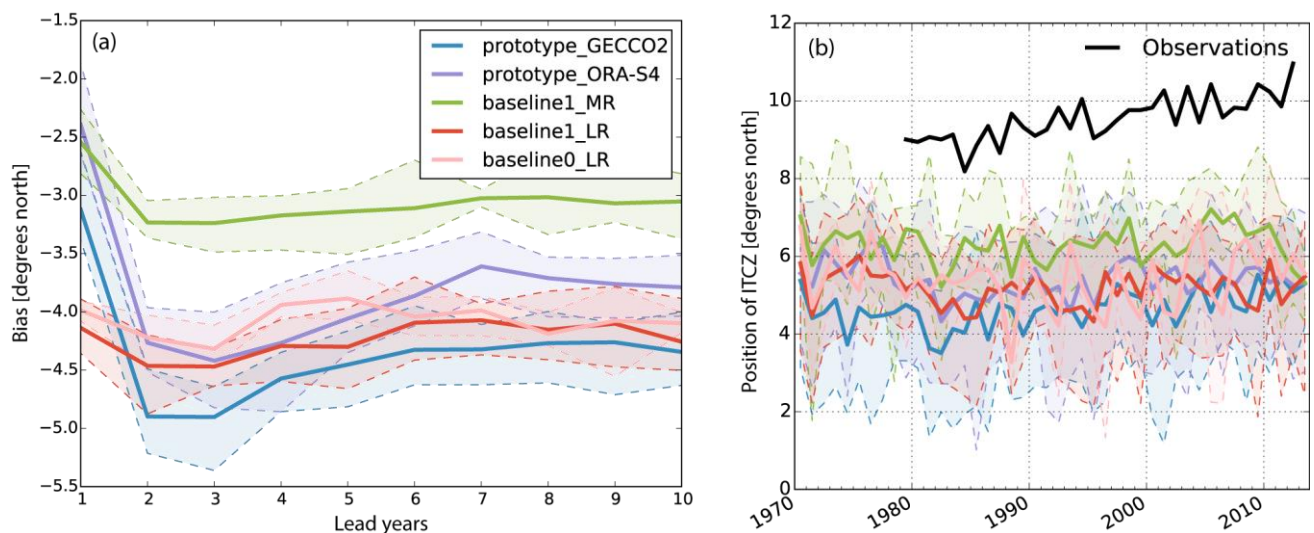
Die ITCZ wird hier definiert als die Zone der maximalen Niederschläge. Zur Berechnung können entweder tägliche oder monatliche Niederschlagsdaten verwendet werden. Die Berechnung enthält die folgenden Schritte:

- Selektieren der Region 10°W-10°O und 20°S-20°N.
- Berechnen des zonalen Mittels in dieser Region.
- Suchen des Maximums in Nord-Süd-Richtung.
- Die Position des Maximums wird als Metrik verwendet.

Die Anwendung dieses Plug-Ins zeigt, dass die beobachtete Nordwärtsverlagerung der ITCZ während der Monsun-Monate nicht realistisch wiedergegeben wird (vgl. Abbildung 1b.2a mit b und c).



**Abbildung 1b.2:** Jahresgang des zonalen Mittels der Monatsniederschläge in mm/Tag, gemittelt über die Jahre 2001-2010. (a) MPI-ESM Baseline1-LR, erstes Integrationsjahr, Ensemble-Mittel, Gitterweite 1.85°; (b) GPCP Version 1.2, Gitterweite 1°; (c) TRMM, Produkt 3b42, Version 7, Gitterweite 0.25°.



**Abbildung 1b.3:** (a) Bias der mittleren Position der ITCZ in den Monaten JAS zwischen Beobachtungen (GPCP) und Simulationen mit allen Modell-Versionen. (b) Absolute Position der ITCZ in den Monaten JAS; gezeigt ist das zweite Integrationsjahr.

Insbesondere die sprunghafte Verlagerung der Niederschläge von der Guinea-Küste in die Sahel-Region Ende Juni bleibt aus. Das Niederschlagsmaximum verbleibt an der Küste, was im Sahel zu einer geringeren Güte der Vorhersage führt.

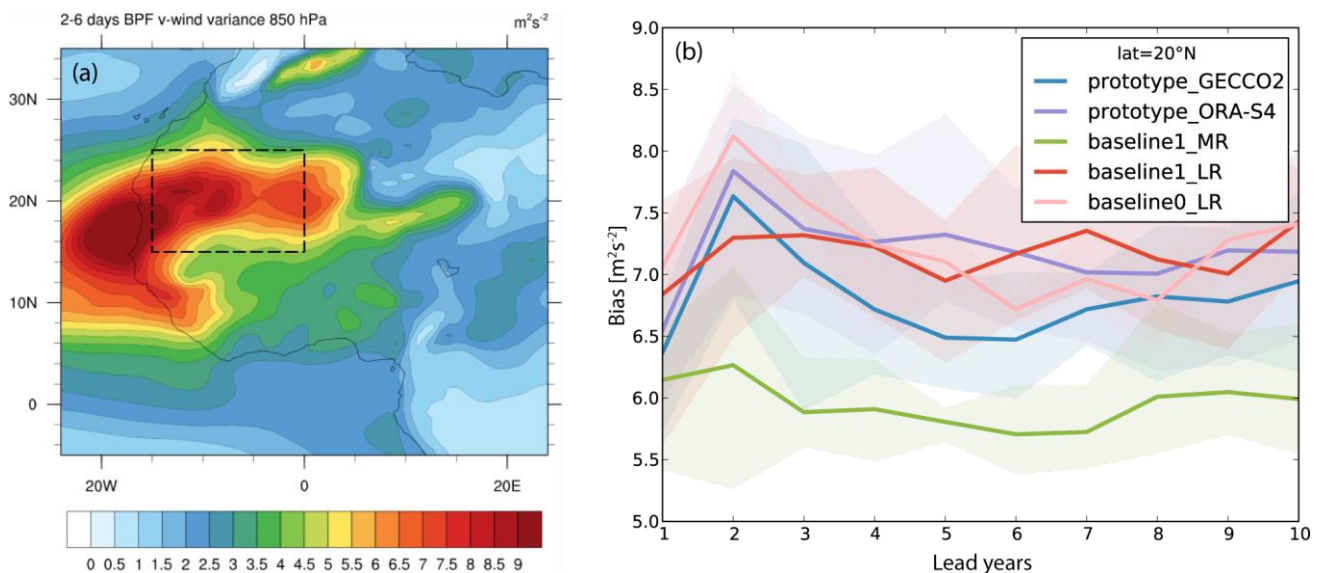
Ein Vergleich der im Laufe des Projekts erschienenen Modell-Versionen zeigt ein sehr ähnliches Bild für alle Modell-Versionen mit der niedrigen vertikalen Auflösung (LR). Einzig die Version Baseline1-MR mit der erhöhten vertikalen Auflösung (MR) zeigt einen reduzierten Bias, also eine weiter nach Norden verlagerte ITCZ (Abb. 1b.3). Des Weiteren wird der im Laufe der letzten Dekaden beobachtete Nordwärtstrend in der Position der ITCZ, welcher mit einer Zunahme der Niederschläge im Sahel einhergeht, nicht wiedergegeben (Abb. 1b.3b).



### Westwärts wandernde Wellenstörungen (AEW):

AEWs haben für extreme Niederschlagsereignisse in Westafrika eine besondere Bedeutung, da ein wesentlicher Anteil dieser Ereignisse in Form von in AEWs eingebetteten Böenlinien auftritt (Fink und Reiner 2003). Die im Monsun-Tool implementierte Analyse basiert auf der Varianz in der meridionalen Wind-Komponente (Abb. 1b.4a) und ermöglicht Aussagen über die Aktivität der AEWs auf monatlicher Zeitskala. Zur Berechnung werden 6-stündliche Windfelder (nur meridionale Komponente) in 700 und 850 hPa benötigt, wobei die folgenden Schritte werden durchgeführt werden:

- Selektieren der Region 15°W-0°W und 5°N-15°N (700 hPa), bzw. 15°N-25°N (850 hPa).
- Für jeden Gitterpunkt wird eine Zeitreihe aus allen Eingabezeitschritten erstellt und anschließend bandpassgefiltert (2-6 Tage).
- Die Varianz der gefilterten Zeitreihen wird berechnet.
- Die mittlere Varianz in den im ersten Punkt genannten Regionen wird als Metrik verwendet.



**Abbildung 1b.4:** (a) Varianz in der meridionalen Wind-Komponente in 850 hPa in  $m^2/s^2$  in den Monaten JAS. Der Berechnung liegen 2-6 Tage Bandpass-gefilterte ERA-Interim-Daten zugrunde. (b) Bias der simulierten Varianz in 850 hPa.

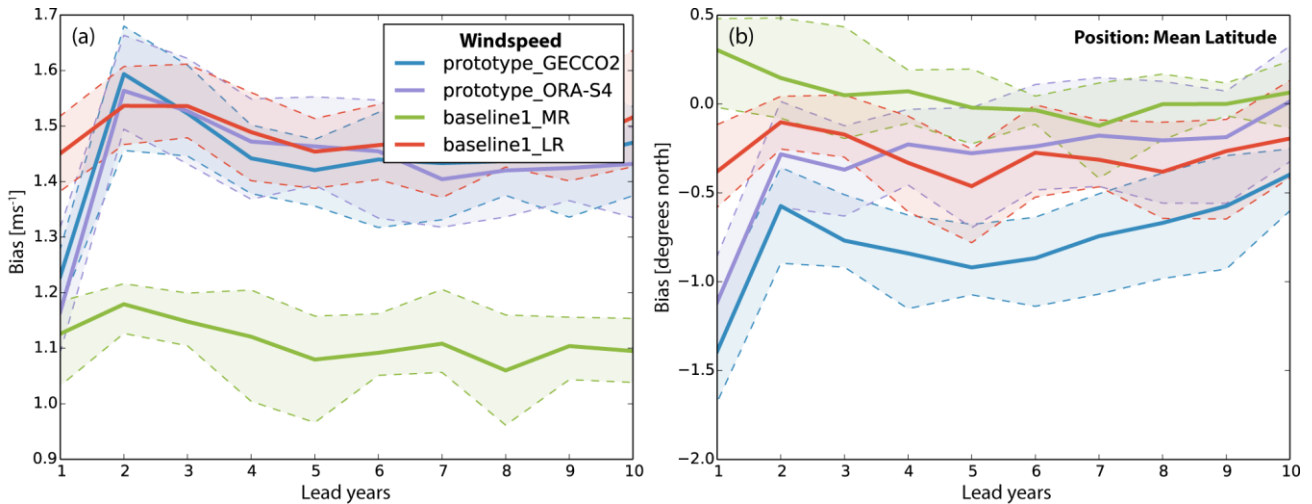
Wie auch in der Position der ITCZ sind Unterschiede zwischen den verschiedenen Modell-Versionen nur zwischen der niedrigen vertikalen Auflösung (LR) und der erhöhten vertikalen Auflösung (MR) zu erkennen (Abb. 1b.4b). Obwohl der systematische Fehler in der Version Baseline1-MR am geringsten ist, ist er jedoch bei allen Modell-Versionen sichtbar. Die Aktivität von AEWs wird immer überschätzt.

### Position und Stärke des afrikanischen Oststrahlstroms (AEJ):

Die Position und Stärke des AEJ steht im direkten Zusammenhang mit der Aktivität der westwärts wandernden Wellenstörungen (AEW). Die AEJ-Analyse ergänzt daher die AEW-Analyse und ermöglicht eine weitere Interpretation von zu starker oder zu schwacher AEW-Aktivität. Die Berechnung basiert auf Berry et al. (2007) und benötigt das Windfeld in 700 hPa mit 6-stündlicher zeitlicher Auflösung. Die folgenden Schritte werden durchgeführt:

- Selektieren der Region 10°W-10°O und 0°N-30°N.

- Anwenden eines räumlichen Tiefpassfilters mit einer Grenzwellenlänge von 1000 km.
- Berechnen der Scherungsvorticity
- Lokalisieren der Jet-Achse entlang der Linie Scherungsvorticity = 0.
- Berechnen der mittleren geografischen Breite und der mittleren Geschwindigkeit. Beides wird als Metrik verwendet.



**Abbildung 1b.5:** Bias der Eigenschaften des AEJ gegenüber ERA-Interim für (a) die mittlere Windgeschwindigkeit der Jet-Achse in m/s in 700 hPa in den Monaten JAS und (b) der mittleren geografischen Breite der Jet-Achse in den Monaten JAS.

Im Einklang mit der zu hohen Aktivität von westwärts wandernden Wellenstörungen findet sich in allen Modell-Versionen auch ein positiver Bias in der Windgeschwindigkeit des AEJ (Abb. 1b.5a). Unterschiede zwischen den Modell-Versionen zeigen sich wieder nur zwischen der niedrigen vertikalen Auflösung (LR) und der erhöhten vertikalen Auflösung (MR). Die Unterschiede in der Initialisierung zwischen den Baseline- und Prototype-Versionen sind nur im ersten Integrationsjahr sichtbar. Die Position des Jets ist zu weit im Süden (Abb. 1b.5b), was zu der zu weit südlich liegenden ITCZ passt.

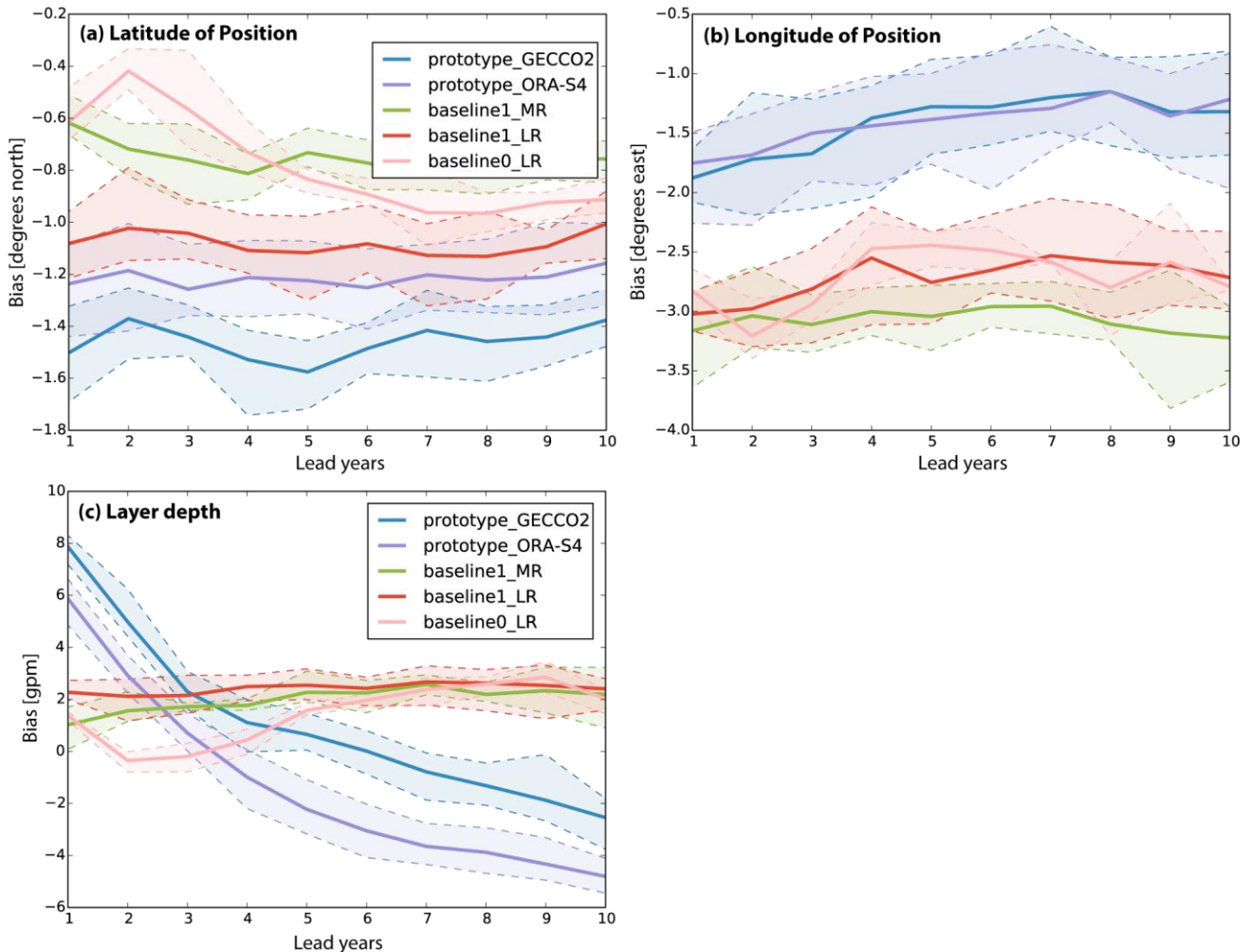
#### Position des Hitzetiefs (HL):

Die Position und die Stärke des Hitzetiefs über der Sahara spielen eine entscheidende Rolle für die Intensität des West-Afrikanischen Monsuns, und damit auch für das für Extremereignisse zur Verfügung stehende Wasser. Die Berechnung basiert auf Lavaysse et al. (2009) und benötigt das Geopotenzial in 700 und 925 hPa mit 6-stündlicher Auflösung. Optional wurde die Möglichkeit implementiert, Regionen in denen der Boden über 925 hPa liegt, bei der Berechnung zu ignorieren. Dazu ist zusätzlich der Bodendruck erforderlich. Die folgenden Schritte werden durchgeführt:

- Selektieren der Region 20°W-40°O und 10°S-40°N.
- Optional: maskieren von Gitterpunkten an denen der Bodendruck 925 hPa unterschreitet.
- Anwenden eines räumlichen Tiefpassfilters mit einer Grenzwellenlänge von 1000 km.
- Berechnen des 90%-Perzentiles der Schichtdicke zwischen 700 und 925 hPa und Auswahl aller darüber liegender Gitterpunkte als Hitzetief.
- Detektion zweier separierter Hitzetiefs. Eines über der zentralen Sahara, eines über der Arabischen Halbinsel.

- Die Position des westlichen Teils über der zentralen Sahara wird als Metrik verwendet.

Die Unterschiede in der Position des Hitzetiefs zwischen den verschiedenen Modell-Versionen sind relativ klein und bewegen sich in der Größenordnung der Auflösung des Modells (Abb. 1b.6a und b). In der Schichtdicke zeigt sich eine deutliche Drift der beiden Prototype-Versionen (Abb. 1b.6c), welche auf die Änderung der Initialisierungsmethode zurückzuführen ist.



**Abbildung 1b.6:** Bias der Eigenschaften des Hitzetiefs gegenüber ERA-Interim für (a) die mittlere geographische Breite, (b) die geographische Länge und (c) die Schichtdicke zwischen 700 und 925 hPa in gpm.

### Advektion von Feuchte auf den Kontinent (ADV):

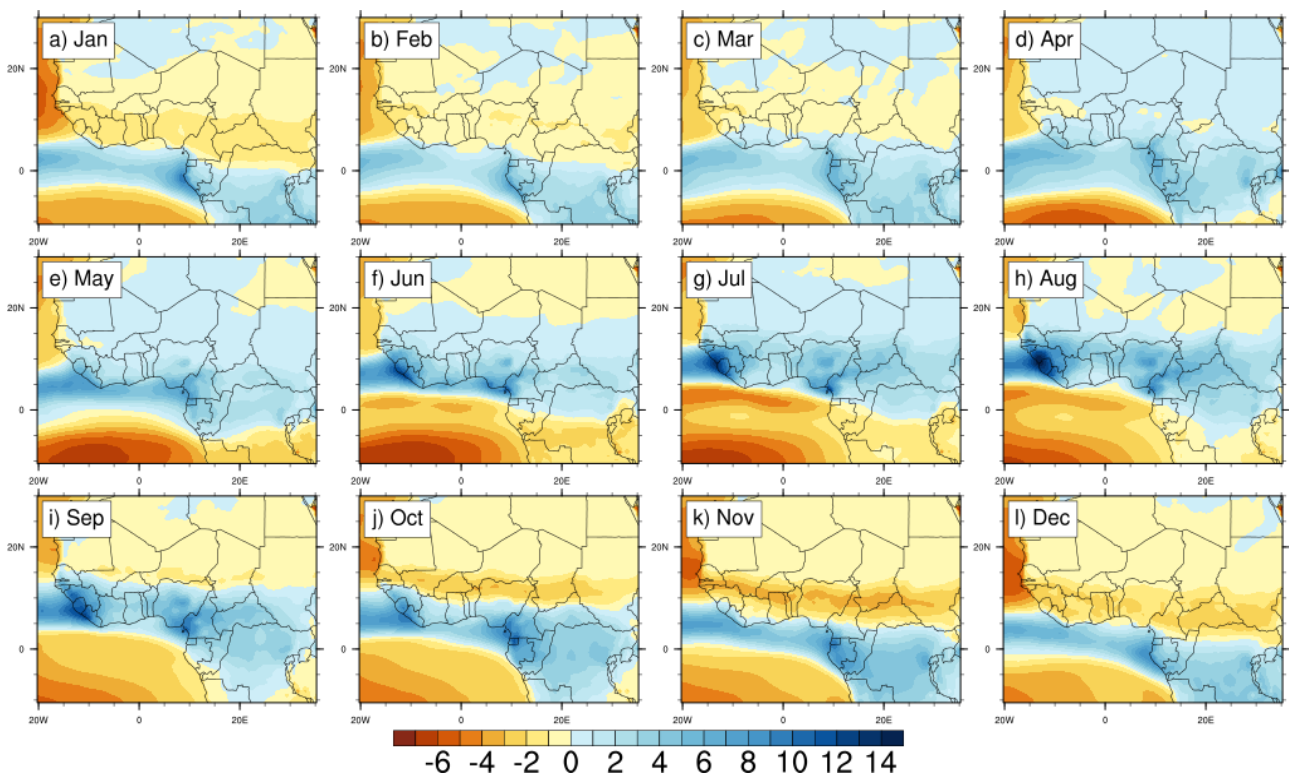
In dieser Analyse wird untersucht, wie viel Feuchtigkeit durch Advektion auf den Westafrikanischen Kontinent transportiert wird. Die Analyse wird für die drei Regionen Guinea-Küste (GC), Zentral-Sahel (CS) und West-Sahel (WS) durchgeführt. Berechnet wird die Tendenz im vertikal integrierten Wasserdampfgehalt aus Advektion in  $\text{kg m}^{-2} \text{Tag}^{-1}$ . Benötigt für die Berechnung werden der Niederschlag (P), die Verdunstung (E) und der integrierte Wasserdampfgehalt der Atmosphäre (Q) in täglicher oder monatlicher zeitlicher Auflösung. Mit diesen Variablen ergibt sich die Massenbilanz wie folgt:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = E - P + A$$

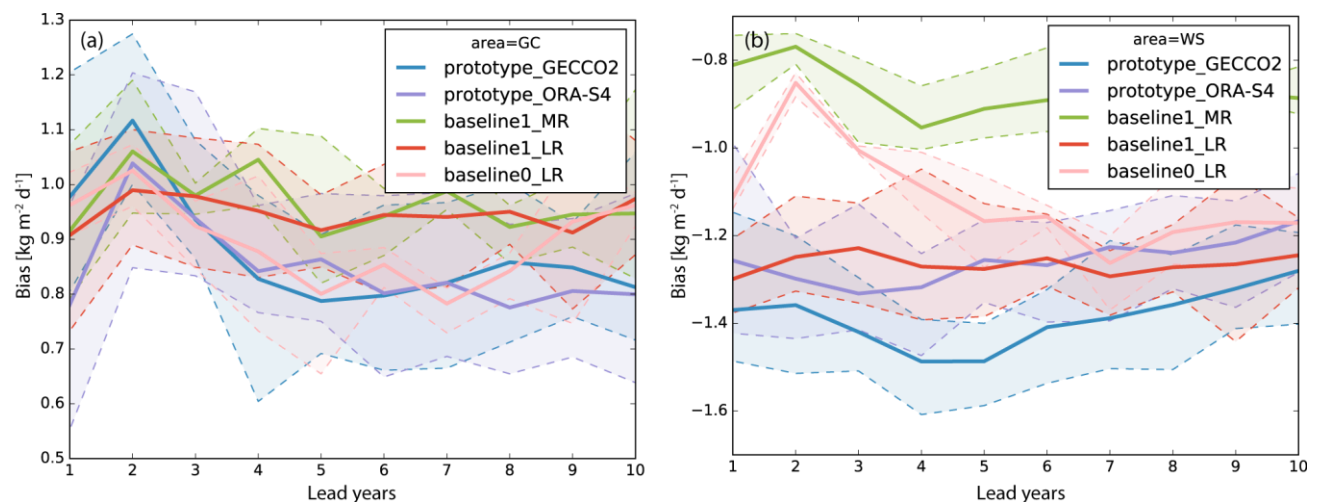
wobei A die vertikal integrierte Änderung des Wasserdampfgehalts aus der Advektion ist.

Die folgenden Schritte werden durchgeführt:

- Selektion aller Gitterpunkte, die zu einer der drei Regionen gehören. Dabei werden Gitterpunkte ignoriert, die teilweise über dem Ozean gelegen sind.
- Die Advektion wird berechnet aus der zeitlichen Änderung des Wasserdampfgehalts und der Differenz aus Verdunstung und Niederschlag.
- Für alle drei Regionen werden Mittelwerte berechnet, die als Metrik genutzt werden.



**Abbildung 1b.7:** Monatsmittel der Tendenz des niederschlagbaren Wassers in  $\text{mm/d}^{-1}$  aus Advektion in  $\text{kg m}^{-2} \text{Tag}^{-1}$  berechnet mit dem Datensatz ERA-Interim-Land für den Zeitraum 1979 bis 2012.



**Abbildung 1b.8:** Bias der Tendenz des Niederschlagbaren Wassers in  $\text{mm/d}^{-1}$  aus Advektion gegenüber ERA-Interim-Land für alle MiKlip-Modell-Versionen für (a) die Guinea-Küste und (b) die West-Sahel-Region.

Im Jahresgang zeigt sich in den Monaten der Trockenzeit von November bis März eine negative Tendenz des niederschlagbaren Wassers aus Advektion. Die größten negativen Werte treten in den Monaten nach der Regenzeit auf (Abb. 1b.7) und resultieren aus der Verdunstung der zuvor gefallenen Niederschläge. Während der Monsun-Monate nimmt die Feuchtigkeit in der Atmosphäre über dem Kontinent durch Advektion zu. Generell wird dieses Muster von allen Versionen des MiKlip-Modell-Systems wiedergegeben. Bedingt durch die zu weit im Süden liegende ITCZ gibt es für die Monate JAS jedoch einen positiven Bias an der Guinea-Küste (Abb. 1b.8a) und einen negativen Bias in der Region West-Sahel (Abb. 1b.8b).

*WP1b.2: Variabilität von Telekonnexionen zu Extremen in nordafrikanischen Niederschlägen: statistische Analysen von Beobachtungen und des MiKlip-Modell-Systems (Baseline/Prototype)*

In Diatta und Fink (2014) wurde eine Auswahl der Stationen aus der Niederschlagsdatenbank für Westafrika (siehe Kapitel II.1.WP1b.1) zusammen mit der SST-Analyse des Hadley-Centers (HadISST) verwendet, um Telekonnexionen zwischen dem standardisierten Niederschlag in drei westafrikanischen Regionen [West-Sahel (WS), Zentral-Sahel (CS) und Guinea Coast (GC)] und SST-basierten Klimaindizes zu untersuchen. Diese Untersuchung beobachteter Telekonnexionen wurde auf das MiKlip-Modell-System übertragen. Untersucht wurden die Versionen Baseline0-LR, Baseline1-LR/MR und Prototype des Modell-Systems. Diese Untersuchungen wurden in zwei Schritte aufgeteilt: (1) Ist der modellierte SST-Index mit dem beobachtetem korreliert? (2) Ist die Korrelation zwischen dem modelliertem Niederschlag und dem modelliertem SST-Index mit der Beobachtung vergleichbar? Durch diese Aufteilung ist es möglich, die Fähigkeit des Modells zu bewerten, die beobachtete Wechselwirkung zwischen Ozean und den Niederschlägen in einzelnen Regionen zu simulieren, ohne dabei darauf angewiesen zu sein, dass die Variationen des Ozeans realistisch wiedergegeben werden.

*WP1b.3: Variabilität von Telekonnexionen zu Extremen in nordafrikanischen Niederschlägen: Prozessbasierte Auswertung des MiKlip-Modell-Systems (Baseline/Prototype)*

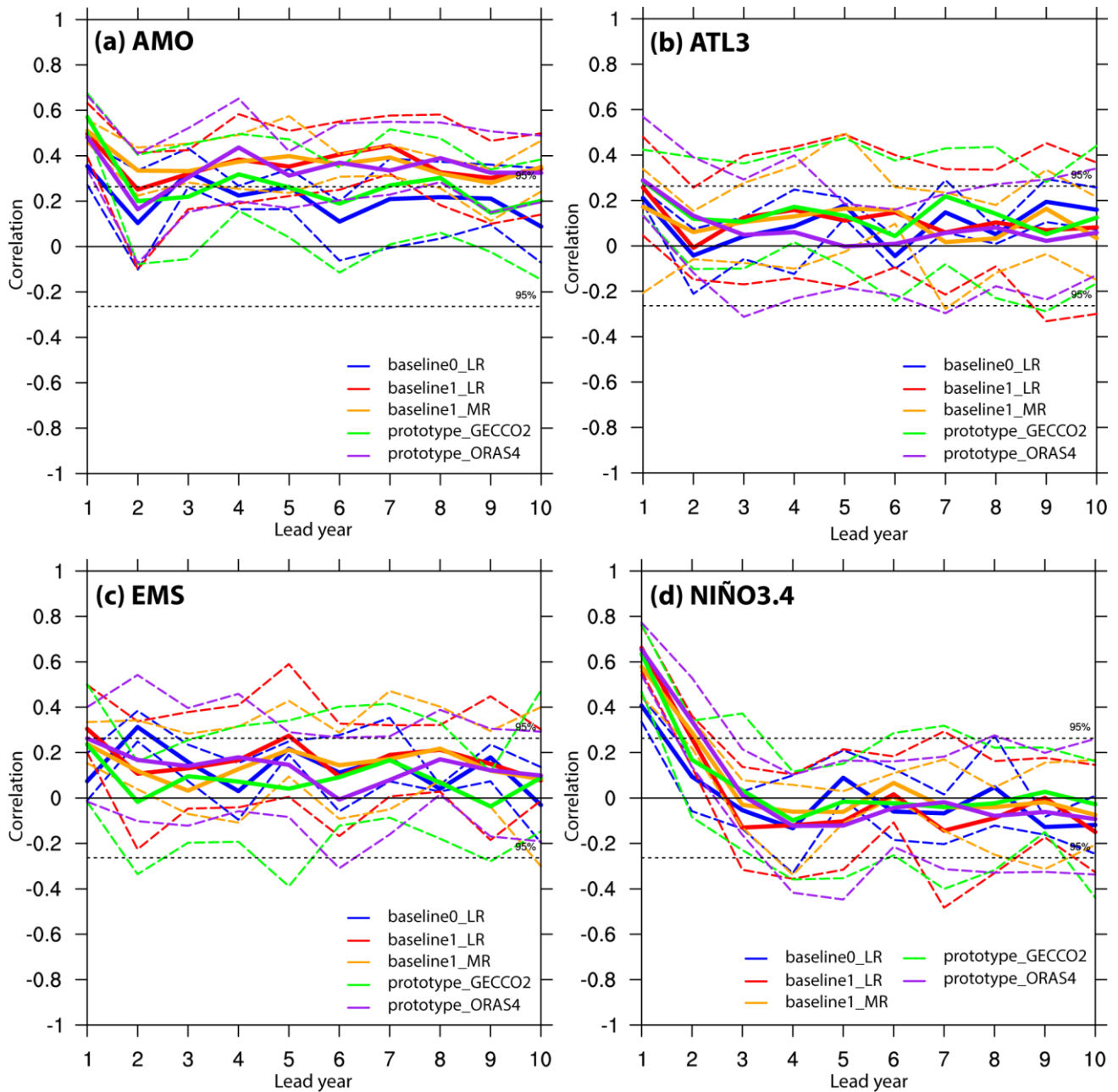
Die in Abschnitt II.1.WP1b.1 beschriebenen und im Monsun-Plug-In implementierten Metriken wurden auf die Versionen Baseline0-LR, Baseline1-LR/MR und Prototype des Modell-Systems angewendet. Durch diese prozessorientierte Auswertung konnten Unterschiede der Modell-Versionen bei den im WP1b.2 untersuchten Telekonnexionen besser verstanden werden. Ein wesentliches wissenschaftliches Ergebnis der prozess-orientierten Evaluierung ist, dass die höhere vertikale Auflösung, wie sie in „Baseline1-MR“ verwendet wurde, zu einer besseren Wiedergabe des Monsun-Systems als Ganzes führt. Insbesondere ist die verbesserte Position der innertropischen Konvergenzzone erwähnenswert. Basierend auf den Auswertungen konnte für die Weiterentwicklung des Modell-Systems die Empfehlung gegeben werden, die höhere vertikale Auflösung („MR“) beizubehalten.

*WP1b.4: Abschließende Bewertung des MiKlip-Modell-Systems zur Vorhersage von (extremen) Niederschlägen und Trockenperioden in West- und Nordwestafrika*

Insbesondere nach der Initialisierung der dekadischen Vorhersagen ab Version „Baseline 1“ ergab sich eine statistisch signifikante Vorhersagbarkeit in der Niño 3.4 Region im ersten Jahr und der *Atlantic Meridional Oscillation* (AMO) in allen Vorhersagejahren (Abb. 1b.9a und d). Letztere entstammt aber dem außertropisch, nordatlantischen Ast der AMO. Die bisherigen Modellversionen sind nicht in der Lage, atlantische Niños, ausgedrückt in der Variabilität des *Atlantic Meridional Mode* (AMM), vorherzusagen. Letzteres würde eine im Vorhersagemodell potentiell existierende, jedoch

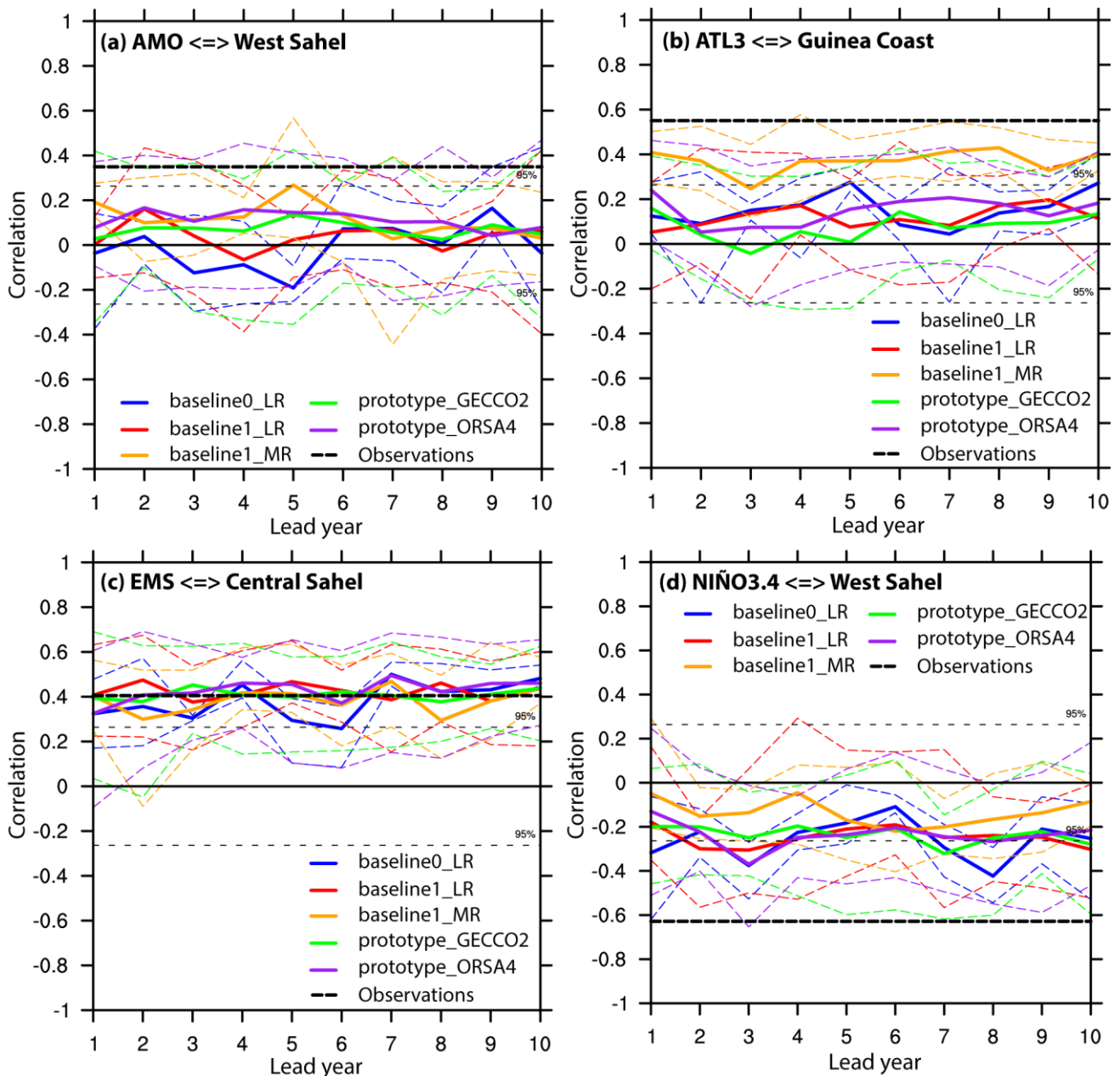
gegenüber der Realität zu geringe Vorhersagbarkeit für die dichtbevölkerte westafrikanische Guineaküstenregion erschließen. Die beobachtete negative Korrelation des Sahelniederschlags mit den Wassertemperaturen in der Niño 3.4 Region ist in den Modellvorhersagen deutlich zu niedrig (Abbildung 1b.10d), so dass sich die Vorhersagbarkeit des El Niño-Phänomens im ersten Jahr für den Westsahel bisher nicht erschließt. Sehr gut kann das Vorhersagemodell die beobachtete Korrelation (vgl. Diatta und Fink 2014) zwischen den Wassertemperaturen des östlichen Mittelmeerraumes und dem Zentralsahel wiedergeben (Abb. 1b.10c), jedoch sind erstere nicht vorhersagbar. Für den Maghreb ergaben sich bisher keine Vorhersagepotenziale.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Erschließung des erneut bestätigten Vorhersagepotenziales für (extreme) Niederschlagschwankungen im tropischen Westafrika der



**Abbildung 1b.9:** Korrelation zwischen beobachteter SST (HadISST) und simulierter SST aus allen MiKlip-Modell-Versionen für (a) AMO, (b) ATL3, (c) EMS und (d) Niño3.4. Durchgezogene Linien zeigen das Ensemble-Mittel, gestrichelte Linien zeigen die Ensemble-Streuung.

„warm bias“ der Wassertemperaturen im östlichen tropischen Atlantik und der daraus resultierende fehlerhafte Grundzustand des monsonalen Klimasystems entgegen steht. Im Rahmen der Arbeiten konnte eine weitere bedeutsame Fehlerquelle, namentlich das Fehlen einer niedrigen kontinentalen Wolke, welche im Sommer ca. 800.000 km<sup>2</sup> überdeckt (van der Linden et al. 2015) identifiziert werden. Diese wird in zukünftigen dekadischen Vorhersageexperimenten in MIKLIP 2 (WP-E5-PROMISA) untersucht.

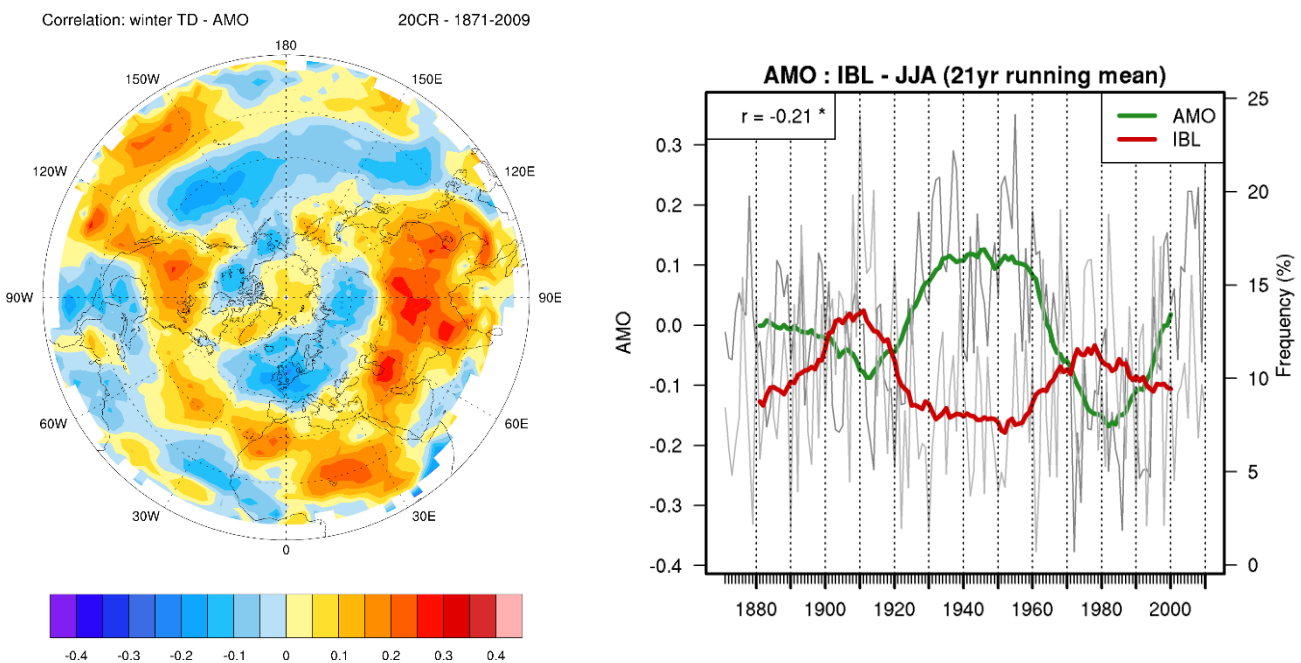


**Abbildung 1b.10:** Korrelation zwischen simulierter SST und simuliertem Niederschlag aus allen Miklip-Modell-Versionen für (a) AMO und West-Sahel, (b) ATL3 und Guinea Küste, (c) EMS und Zentraler Sahel und (d) Niño3.4 und West-Sahel. Durchgezogene Linien zeigen das Ensemble-Mittel, gestrichelte Linien zeigen die Ensemble-Streuung. Die schwarze gestrichelte Linie zeigt die Korrelation zwischen der beobachteten SST (HadISST) und beobachteten Niederschlägen (siehe Absatz II.1.WP1b.1).

## RL1c: Untersuchung der Transportmechanismen von Vorhersagbarkeit aus den tropischen in die extratropischen Regionen.

WP1c.1/M1c.1.1: Identifizierung von statistischen Zusammenhängen zwischen extremen meteorologischen Ereignissen der mittleren Breiten und dominierenden Variabilitätsmoden der Tropen (z.B. AMM, MJO, AMO, El Niño etc.) in beobachtungsnahen Datensätzen auf dekadischen Zeitskalen.

Basierend auf dem aktuellen Stand der Forschung, dass eine bessere Vorhersagbarkeit in den Tropen als in den mittleren Breiten erzielt wird, wird der Hypothese nachgegangen, in welchem Umfang potentielle Vorhersagbarkeit aus den Tropen in die extratropischen Gebiete übertragen werden kann. Um mögliche Telekonnektionen zwischen hoher Vorhersagbarkeit in tropischen Regionen und der Vorhersagbarkeit von meteorologischen Extremen (z.B. Stürme und Hitzewellen) in den mittleren Breiten zu analysieren, werden zunächst statistische Zusammenhänge dieser meteorologischen Extreme mit Fokus Europa und großräumigen, in den Tropen aktiven Variabilitätsmoden auf dekadischer Zeitskala untersucht.



**Abbildung 1c.1:** Korrelation zwischen AMO-Index und (links) der Zugbahndichte von Winterstürmen pro Winter (ONDJFM) bzw. der relativen Anzahl täglicher Blockings (IBL) pro Sommer für 20CR zwischen 1871-2010.

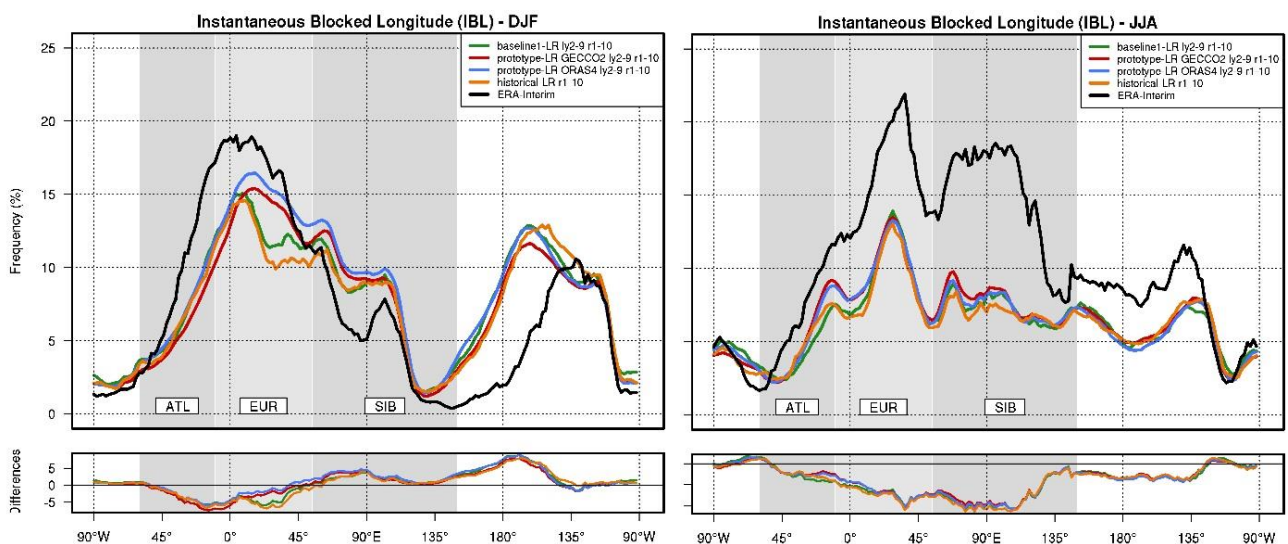
Für diesen Zweck wird unter anderem der Zusammenhang zwischen Winterstürmen (identifiziert nach Leckebusch et al., 2008) und der Atlantischen Multidekadischen Oszillation (AMO) analysiert. Da in kürzeren Reanalysen (z.B. NCEP, ERA-Interim) die multidekadischen Variabilitäten und warmen bzw. kalten Phasen nicht zufriedenstellend abgeleitet werden können, werden hauptsächlich die längeren „20th Century Reanalysis“ (20CR) ausgewertet. In Abb. 1c.1 (links) zeigt sich, dass die Zugbahndichte von Winterstürmen über Europa/Nordatlantik sowie dem Nordpazifik negativ mit der AMO korreliert (bis ca. -0.25) ist. Positive Korrelationen (bis 0.3) findet man vor allem über dem asiatischen und nordamerikanischen Kontinent. Die Analysen unterschiedlicher Zeiträume sowie der Vergleich zu anderen Reanalysen wie NCEP und ERA-Interim weisen ähnliche Zusammenhänge zwischen AMO und Winterstürmen auf. Für die Untersuchung von weiteren Extremen in den mittleren Breiten werden atmosphärische Blockierungen als Indikator genutzt, da diese eng im



Zusammenhang mit meteorologischen Extremen wie z. B. Hitze-/Kältewellen sowie Dürren in Europa stehen (z.B. Sillmann und Croci-Maspli, 2009; Phal und Wernli, 2012; Phal, 2014). In der Analyse zwischen der saisonalen Anzahl an Blockierungen (basierend auf dem leicht modifizierten täglichen 1D-Blocking-Index „IBL“ (Instantaneous Blocked Longitude) nach Tibaldi und Molteni (1990)) und dem AMO-Index stellt sich heraus, dass signifikant negative Korrelationen (bis -0.25) zwischen AMO und Blockierungen im Sommer (Frühling) über der Region Nordostatlantik/Westeuropa (Osteuropa/Russland) vorhanden sind. Auch der Vergleich zwischen den geglätteten Zeitreihen (21-jähriges laufendes Mittel), die insbesondere die dekadische Variabilität darlegen, zeigt, dass kalte AMO-Phasen um 1900-1925 und 1970-1995 (warme Phase um 1930-1960) im Zusammenhang mit einer höheren (niedrigeren) Anzahl von Sommer-Blockierungen im Bereich Nordostatlantik bzw. Westeuropa stehen (Abb. 1c.1, rechts). Weiter westlich, im Bereich des Nordatlantiks, findet man besonders im Sommer und Frühling hingegen positive Korrelationen (bis 0.25) mit der AMO. Ähnliche Zusammenhänge konnten ebenfalls in den Sensitivitätsläufen (kalte/warme AMO-Phase) aus RL1a (WP1a.2) wiedergegeben werden. Neben der AMO zeigen sich auch statistisch signifikante Korrelationen zwischen der El Niño – Southern Oscillation (ENSO) und der Anzahl von Blockierungen im Bereich Nordatlantik/Westeuropa. So sind zwischen dem Southern Oscillation Index (SOI) und der Anzahl von Blockierungen (besonders im Frühling) positive Korrelationen bis 0.25 vorhanden (nicht abgebildet).

*WP1c.2/WP1c.3/M2: Identifizierung und Evaluation von, für die Vorhersagbarkeit relevanten Transportmechanismen aus tropischen in extratropische Regionen.*

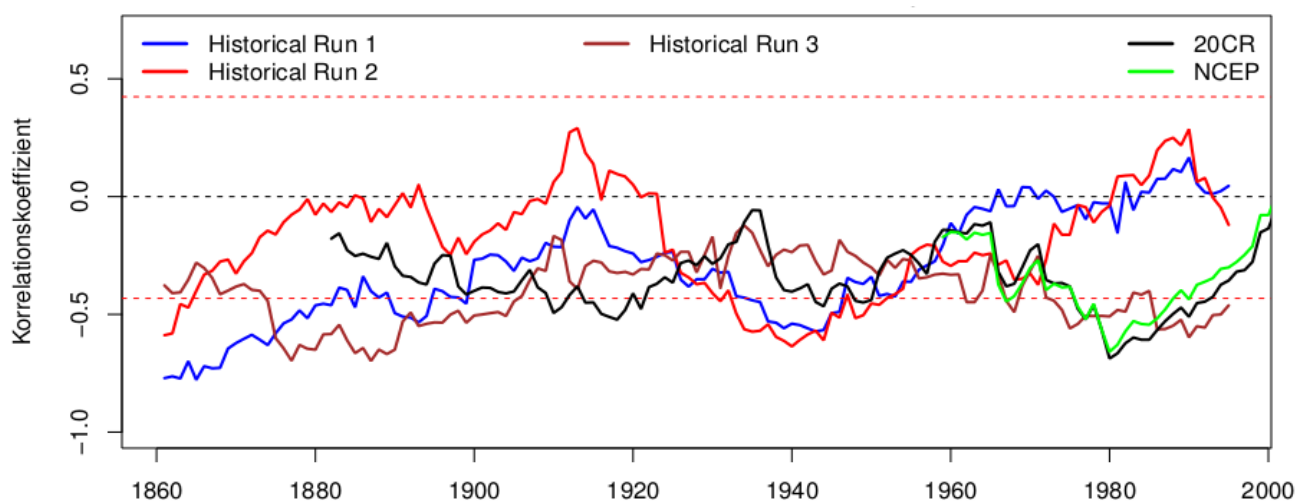
Bevor mögliche Transportmechanismen die im Zusammenhang mit der Variabilität von meteorologischen Extremen stehen identifiziert werden können, wird zunächst untersucht in wie weit solche mit Extremen verbundenen Prozesse (z.B. Blockierungen) in den MiKlip-Systemen repräsentiert sind. In Abbildung 1c.2 kann festgestellt werden, dass hinsichtlich der geographischen Länge in den Hindcasts (Historical, Baseline1-LR, Prototype-LR) gegenüber ERA-Interim-Reanalysen die Anzahl an Blockierungen zwar gut repräsentiert, jedoch für die in Europa relevanten Regionen Nordatlantik (ATL), Europa (EUR) und Sibirien (SIB) im Verhältnis um ca. 10-25% unterschätzt werden.



**Abbildung 1c.2:** Relative Anzahl täglicher Blockings im Winter (links) und Sommer (rechts) im Zeitraum 1979-2005 in Abhängigkeit der geographischen Länge für ERA-Interim (schwarz), Historical-LR (orange), Baseline1-LR (grün), Prototype-LR-GECCO2 (rot) und Prototype-LR-ORAS4 (blau) der Vorhersagejahre 2-9. Das untere Panel zeigt die jeweiligen Abweichungen zu ERA-Interim.

Auf saisonaler Ebene treten in diesen Regionen die größten (geringsten) relativen Abweichungen in den Sommermonaten JJA (Herbstmonaten SON) auf, wobei im DJF die Anzahl von Blockings im Bereich SIB überschätzt wird. Die initialisierten Hindcasts der Prototype-Reihe zeigen in der Region EUR insbesondere im DJF/MAM eine höhere Blocking-Anzahl als in den uninitialisierten Läufen (Historical). Weitere systematische Unterschiede zwischen den Historicals, Baseline1-LR sowie den Prototype-LR Hindcasts sind nicht zu finden. Auch gibt es keine markanten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Vorhersagejahren der dekadischen Hindcasts.

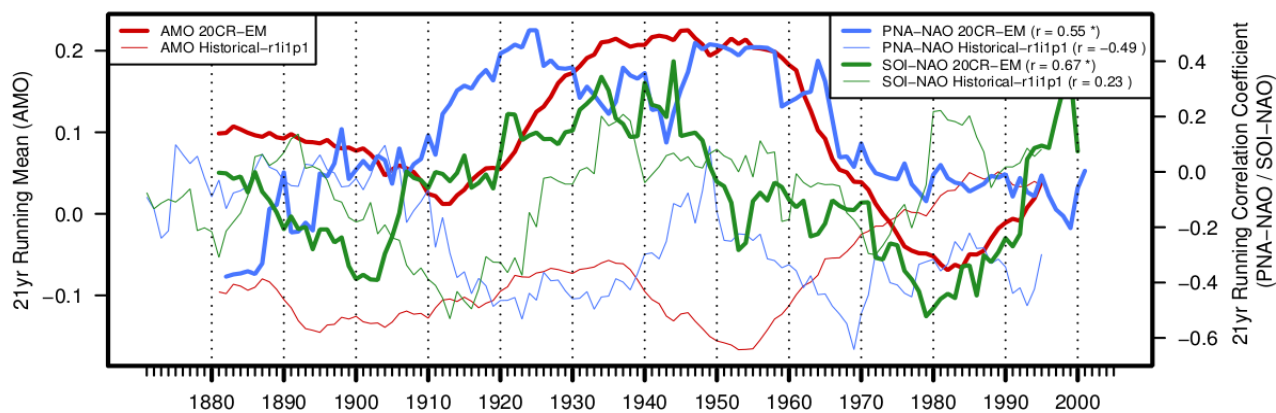
Für mögliche Zusammenhänge zwischen tropischen Regionen und meteorologischen Extremen in Europa werden unter anderem Telekonnektionen und Mechanismen zwischen großskaligen, in tropischen Regionen aktiven Variabilitätsmoden (z.B. ENSO) sowie großskaligen Variabilitätsmoden der Extratropen (z.B. Nordatlantische Oszillation) analysiert. Inwieweit ein Zusammenhang besteht, wird nachfolgend am Beispiel von atmosphärischen Blockierungen dargestellt. Die Untersuchung der



**Abbildung 1c.3:** 21-jährige laufende Korrelation zwischen NAO- und PNA-Index der Periode Februar/März in 20CR- und NCEP-Reanalysen sowie den uninitialisierten Läufen (Historical). Berechnung der NAO- und PNA-Muster und deren Indizes basierend auf der Principal Component Analysis (PCA) der monatlich gemittelten 500 hPa Geopotentialhöhen-Anomalien. Das 95%-Signifikanzlevel (rot gestrichen) wird auf Basis eines parametrischen Bootstraps bestimmt.

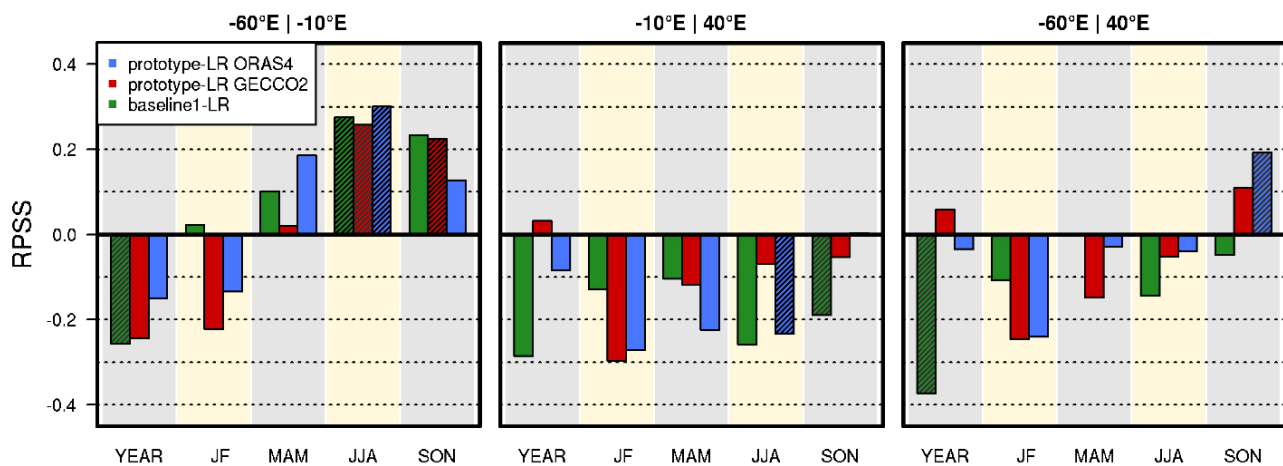
Telekonnektion zwischen NAO und Blocking in den ERA-Interim-Reanalysen zeigt, dass während positiver (negativer) NAO-Phasen die Anzahl täglicher Blockings in den Regionen ATL und EUR (insbesondere im DJF) abnimmt (zunimmt). Im JJA verringert sich dagegen während der negativen NAO-Phase in der Region EUR die Blocking-Anzahl. Die uninitialisierten (Historical) Läufe zeigen ähnliche Zusammenhänge zwischen NAO und Blockings wie in den Reanalysen, jedoch weisen diese im Gegensatz zu den Reanalysen zusätzlich eine positive Wechselwirkung zwischen NAO-Phase und Blockings in der Region EUR in allen Saisons auf. Mit dem Wissen, dass die Variabilität von meteorologischen Extremen (z. B. Anzahl von Blockierungen) in Europa im Zusammenhang mit der NAO steht, kann anhand von Kopplungsmechanismen zwischen NAO und des durch ENSO beeinflussten atmosphärischen Pazifik-Nordamerika Variabilitätsmodens (PNA) der Transport von Vorhersagbarkeit aus den tropischen in die extratropischen Regionen beschrieben werden. Mithilfe der linearen Korrelation können so, ebenfalls aus der Literatur bekannt, aktive (signifikant negative Korrelation) bzw. inaktive Phasen (nicht signifikante Korrelation) zwischen Spätwinter NAO- und PNA-Index (Honda et al., 2001; Pinto et al., 2011) in den Reanalysen (Abb. 1c.3), dem vorindustriellen Kontrolllauf (piControl), den uninitialisierten (Historical, Abb. 1c.3) sowie teilweise in den

initialisierten Simulationen (Decadals) wiedergefunden werden. Der Zeitpunkt von aktiven bzw. passiven Phasen mithilfe einer Initialisierung (Baseline0-LR, Baseline1-LR, Prototype-LR) konnte jedoch ebenso wenig wie bei den uninitialisierten Läufen vorhergesagt werden. Bei der Betrachtung der anderen Jahreszeiten konnten in den 20CR-Reanalysen keine aktive/inaktiven NAO-PNA-Phasen im Sinne der oben genannten Definition festgestellt werden. Vielmehr existieren dort Phasen mit abwechselnd signifikant negativen und positiven Korrelationen. In den initialisierten und uninitialisierten Läufen konnten dagegen lediglich die bereits oben erwähnten aktiven/passiven NAO-PNA-Phasen wiedergefunden werden (vgl. SON in Abb. 1c.4). Die weiterführenden Untersuchungen hinsichtlich eines möglichen Transportmechanismus legten den Fokus zum einen auf die Lage der Aktionszentren der Telekonnektionsmuster und zum anderen auf eine Kopplung mit der AMO. Wohingegen ersteres zu keinen relevanten Erkenntnissen führte, konnte ein klarer Zusammenhang zwischen kalten (warmen) AMO-Phasen und aktiven (inaktiven) NAO-PNA-Phasen im Feb./März bzw. negativen (positiven) NAO-PNA-Phasen im Herbst (Abb. 1c.4) anhand der signifikant positiven Korrelation (ca. 0.6) in 20CR-Reanalysen ausgemacht werden. In den Historicals wird dieser Zusammenhang im Allgemeinen hingegen nicht repräsentiert. Die kurzen Zeitreihen der Decadals ließen dahingehend keine sinnvollen Analysen zu. In Bezug auf das Vorhersagepotential hinsichtlich des Transportmechanismus aus den Tropen in extratropische Gebiete wird untersucht, inwieweit sich die Kopplungsmechanismen zwischen NAO-PNA-Phasen bzw. AMO-Phasen auf die Telekonnektion von ENSO und das in Europa aktive Zirkulationsmuster der NAO auswirken. In den 20CR-Reanalysen stellt sich heraus, dass bei Betrachtung des borealen Herbstes eine positive (negative) Korrelation zwischen SOI und NAO während einer warmen (kalten) AMO-Phase bzw. einer positiven (negativen) NAO-PNA-Phase vorherrscht. Dieser Kopplungsmechanismus konnte in den uninitialisierten Läufen ebenfalls nicht festgestellt werden (Abb. 1c.4).



**Abbildung 1c.4:** Zeitreihen der jährlichen AMO (21-jähriges laufendes Mittel, rot), Korrelation zwischen NAO- und PNA-Index (21-jährige laufende Korrelation, blau) im SON und der Korrelation zwischen NAO- und SOI-Index (21-jährige laufende Korrelation, grün) im SON in den 20CR-Reanalysen (dicke Linien) sowie dem ersten uninitialisierten Lauf als Beispiel (dünne Linien) von 1871-2005. Zusätzlich ist die Korrelation zwischen AMO und PNA-NAO bzw. SOI-NAO aufgelistet. Das 95%-Signifikanzlevel der Korrelation (\*) wird auf Basis eines Permutationsansatzes bestimmt.

Um die dekadische Vorhersagbarkeit von Extremen abschätzen zu können, werden ferner die Anzahl von Blockierungen, die in Verbindung mit meteorologischen Extremen stehen können (vgl. II.1. WP1c.1), in den initialisierten Läufen im Vergleich zu den uninitialisierten mithilfe des Ensemblegrößen-korrigierten Ranked Probability Skill Score RPSS (Ferro et al., 2008, Ferro 2013) untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Hindcasts im JJA/SON im Allgemeinen einen größeren RPSS (gebietsweise signifikant positiv, Abb. 1c.5) aufweisen als in den anderen Saisons. Des Weiteren sind die RPSS-Werte im Gebiet ATL generell höher als in den übrigen Regionen EUR und SIB. Systematische



**Abbildung 1c.5:** Ensemblegrößen-korrigierter Ranked Probability Skill Score (RPSS) der zonal-gemittelten (ATL/EU/SIB) saisonalen bzw. jährlichen Blocking-Anzahl für Baseline1-LR (grün), Prototype-LR-GECCO2 (rot) und Prototype-LR-ORAS4 (blau) im Zeitraum 1961-2005 für die Vorhersagejahre 2-9. Die Historical-LR Simulation (NCEP1-Reanalysen) dienen als Referenz-Vorhersage (bzw. Beobachtung). Signifikante (95%-Level) Werte sind schattiert dargestellt.

Unterschiede zwischen den 3 initialisierten Simulationen (Baseline1-LR, Prototype-LR-GECCO2, Prototype-LR-ORAS4) sind nicht zu finden. Auch zeigen sich keine systematischen Unterschiede zwischen den einzelnen Vorhersagejahren. Lediglich im Januar/Februar des ersten Vorhersagejahres sind höhere RPSS-Werte vorzufinden.

## RL2: Downscaling von globalen und großskaligen Daten: Diagnose des DSI als Maß für dekadische Variabilität von konvektiven Extremereignissen auf der regionalen Skala

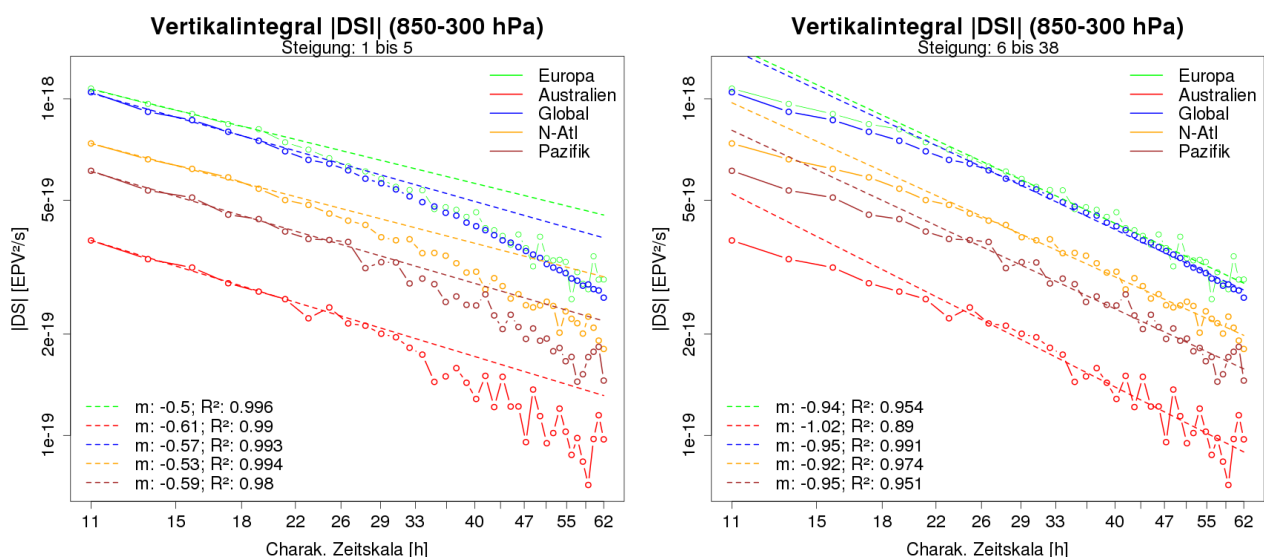
### WP 2.1: Downscaling des DSI als Maß für konvektive Extremereignisse auf der dekadischen Zeitskala

Das Ziel dieses Arbeitspaketes bestand darin zu untersuchen, inwieweit der Zusammenhang zwischen DSI und Niederschlag von der räumlichen Skala abhängt. Aufgrund der Eigenschaft des DSI alle instationären, diabatischen und reibungsbehafteten Prozesse in der Atmosphäre zu diagnostizieren und zu visualisieren ist dieser ein guter Proxy für Niederschlag, beziehungsweise konvektive Extremereignisse, welche durch die besagten Prozesse ausgelöst werden.

Weiterhin hat der DSI die Eigenschaft mit zunehmender Wellenzahl auch eine höhere spektrale Anregung aufzuweisen. Dies unterscheidet den DSI von anderen meteorologischen Variablen, welche eher eine Abnahme der spektralen Anregung mit steigender Wellenzahl zeigen. Verantwortlich für die erwähnte DSI-Charakteristik sind die spektralen Eigenschaften der Bernoulli-Funktion und der Potenziellen Vorticity (PV), aufgrund derer von Selz (2010) ein Scherenmodell des DSI formuliert wurde: Für einen stationären, adiabatischen Fall verlaufen die Isolinien der Bernoulli-Funktion und der PV parallel. Somit weisen beide Felder die gleiche spektrale Dichte auf. In einer realen Atmosphäre geht die Schere zwischen der Energie und der Wirbelhaftigkeit mit zunehmender Wellenzahl immer weiter auseinander. Hierbei ist die PV deutlich höher angeregt, als die Bernoulli-Funktion. Somit wird die im Idealfall auftretende Parallelität zwischen Energie- und Wirbelfunktion immer weiter gestört, was zu einem Anwachsen der DSI-Amplituden mit kleiner werdender Skala führt. Aufgrund der spektralen Charakteristika des DSI lassen sich DSI-Felder aus verschiedenen Modellen nur schwer vergleichen, da es eine starke Abhängigkeit des DSI von der Modellauflösung

und der Modellphysik gibt. Das ursprüngliche Vorhaben, die Skalenabhängigkeit zwischen DSI und Niederschlag über ein Downscalingverfahren zu analysieren, musste somit verworfen werden. Angesichts unterschiedlicher Modellphysik im Global- und Regionalmodell, ist eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen räumlichen Auflösungen nicht mehr gegeben, da der Zusammenhang zwischen DSI und Niederschlag auch von der zugrunde liegenden Modellphysik abhängig ist.

Folglich wurde die Skalenabhängigkeit der DSI-Niederschlags-Abhängigkeit nur für die ERA-Interim Reanalysedaten betrachtet. Diesbezüglich wurde die Auflösung des ERA-Interim-Gitters stückweise von  $0,75^\circ$  auf  $10^\circ$  mit einem konservativen Remapping erhöht, wobei für jede Auflösung der DSI aus den Ausgangsfeldern (Temperatur, Wind und Geopotential) neu berechnet wurde. Hierbei zeigt Abbildung 2.1 den vertikal integrierten  $|DSI|$  in Abhängigkeit von der charakteristischen Zeitskala, welche über das Kolmogorov-Gesetz der konstanten Energie-Dissipation aus der Gitterauflösung berechnet werden kann. Bei einem Blick auf Abbildung 2.1 ist zu erkennen, dass die höchsten DSI-Beträge für das jeweilige Gebiet bei der kleinsten Auflösung von ca. 11 Stunden auftreten. Daraufhin nehmen die  $|DSI|$ -Amplituden mit der Auflösung kontinuierlich ab. Dieser Zusammenhang ist darauf zurückzuführen, dass für eine feinere Auflösung mehr nicht-balancierte Prozesse aufgelöst werden, welche sich wiederum in stärkeren  $|DSI|$ -Amplituden widerspiegeln. Nicht-balancierte Prozesse können unter anderem in der Atmosphäre zu Stürmen und Niederschlag führen. Des Weiteren

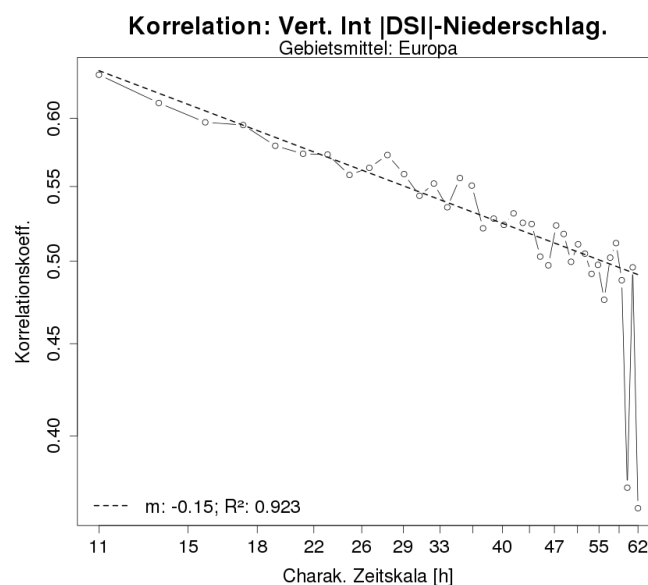


**Abbildung 2.1:** Vertikal integrierter  $|DSI|$  von ERA-Interim in Abhängigkeit von der charakteristischen Zeitskala. Dargestellt ist jeweils ein Gebietsmittel über die entsprechenden Regionen. Links: Regressionsgerade für den Wertebereich zwischen 11 und 20 Stunden. Rechts: Regressionsgerade für den Wertebereich zwischen 22 und 62 Stunden.

können jeweils zwei Ausgleichsgeraden für die  $|DSI|$ -Amplituden der entsprechenden Gebiete gebildet werden. Da es sich bei Abbildung 2.1 um eine doppelt-logarithmische Darstellung handelt ist der Skalenexponent gleichbedeutend mit der Steigung. Es fällt auf, dass der  $|DSI|$  für den Wertebereich von 11 bis 20 Stunden (Abbildung: 2.1, links) für alle betrachteten Regionen mit hoher Genauigkeit (es werden Bestimmtheitsmaße zwischen 0,98 und 0,99 erreicht) exponentiell abfällt. Die erreichten Steigungen liegen hierbei zwischen -0,5 für Europa und -0,61 für Australien. Für den restlichen Wertebereich von 22 bis 62 Stunden (Abbildung: 2.1, rechts) knicken die Werte ab. Die erreichten Steigungen liegen dabei zwischen -0,92 für den Nord-Atlantik und -1,02 für Australien. Auch für diesen Wertebereich der charakteristischen Zeitskala sind die Bestimmtheitsmaße der Ausgleichsgeraden relativ hoch:  $R^2$  liegt zwischen 0,89 für Australien und 0,99 für das globale Mittel.

Ferner zeigt sich, dass die DSI-Beträge für Europa für alle Skalen am größten sind, was mit der vergleichsweise hohen geografischen Breitenlage dieser Region zusammenhängt. Denn mit der Abhängigkeit des DSI von der Ertel'schen PV, welche an den Polen ihr jeweiliges Maximum aufweist, nimmt auch der DSI Polwärts zu. Folglich weisen Australien und der Pazifik die geringsten DSI-Beträge auf, da diese eher in den niedrigeren Breiten liegen.

Letztlich kann gezeigt werden, dass der Betrag des DSI bezüglich der räumlichen Auflösung einem Potenzgesetz unterliegt, und somit mit geringer werdender Auflösung abnimmt. Dieser exponentielle Abfall konnte hingegen nicht in den DSI prägenden Größen der Bernoulli-Funktion und der PV gefunden werden, was dafür spricht, dass die Abnahme des DSI für größere Skalen durch Abnahme der Abweichung vom Energie-Wirbel-Gleichgewichtszustand kommt. Letztlich macht sich das auch auf die Korrelation mit den Niederschlag bemerkbar. Da immer weniger nicht-balancierte Prozesse aufgelöst werden können, nimmt auch die Korrelation zwischen dem DSI und dem Niederschlag exponentiell ab.



**Abbildung 2.2:** Korrelationskoeffizient zwischen dem vertikal integrierten |DSI| und dem Gesamtniederschlag in ERA-Interim in Abhängigkeit von der charakteristischen Zeitskala. Dargestellt ist ein Gebietsmittel über Europa. Hierbei bezieht sich die Ausgleichsgerade Wertebereich zwischen 11 und 62 Stunden.

Diesbezüglich zeigt Abbildung 2.2 den Korrelationskoeffizienten nach Spearman zwischen dem gesamten Niederschlag und vertikal integrierten |DSI| für die verschiedenen Gittergrößen. Die |DSI|- und Niederschlagsfelder wurden räumlich über Europa gemittelt. Beim Niederschlag wurde allerdings nur das Ausgangsfeld auf dem 0,75° Gitter räumlich gemittelt, da es bei einer reinen Mittelung unerheblich ist, ob das Feld zuerst auf ein gröberes Gitter gemittelt und anschließend ein Mittelwert über ein bestimmtes Gebiet (in diesem Fall Europa) gebildet wird oder ob gleich der Mittelwert aus dem Ausgangsfeld über das entsprechende Gitter berechnet wird. Aus den so entstandenen Zeitreihen wurde dann der Korrelationskoeffizient für die jeweilige Auflösung des |DSI|-Feldes berechnet. Diese Koeffizienten sind in Abbildung 2.2 in Abhängigkeit von der charakteristischen Zeitskala doppelt-logarithmisch dargestellt. Es zeigt sich eine exponentielle Abnahme der Korrelation mit wachsender Zeitskala. Die Regressionsgerade, für deren Berechnung die beiden Ausreißer um 62h nicht berücksichtigt wurden, hat eine Steigung von -0,15 mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,92. Die erklärte Varianz durch die maximale Korrelation (0,64) liegt bei ca.

41% und durch die minimale Korrelation (0,5) bei 25%. Dies führt schließlich zu einem Verlust von ungefähr 16% an erklärter Varianz zwischen DSI und Niederschlag über Europa.

Der Aspekt, dass der Betrag des DSI abhängig von der Auflösung des Modells ist, muss auch bei der Evaluierung der dekadischen Hindcasts Baseline0-LR, Baseline1-LR sowie Prototype berücksichtigt werden, da ihre räumliche Auflösung nicht der der zur Evaluierung verwendeten ERA-Interim-Reanalyse entspricht. Somit wurde der DSI für ERA-Interim auf der gleichen räumlichen und vertikalen Auflösung, wie die der MiKlip-Modelle berechnet, um so eine sinnvolle Referenz gegenüber den dekadischen Vorhersagemodellen darzustellen.

### *WP 2.2: Dekadisches Vorhersagepotential des DSI.*

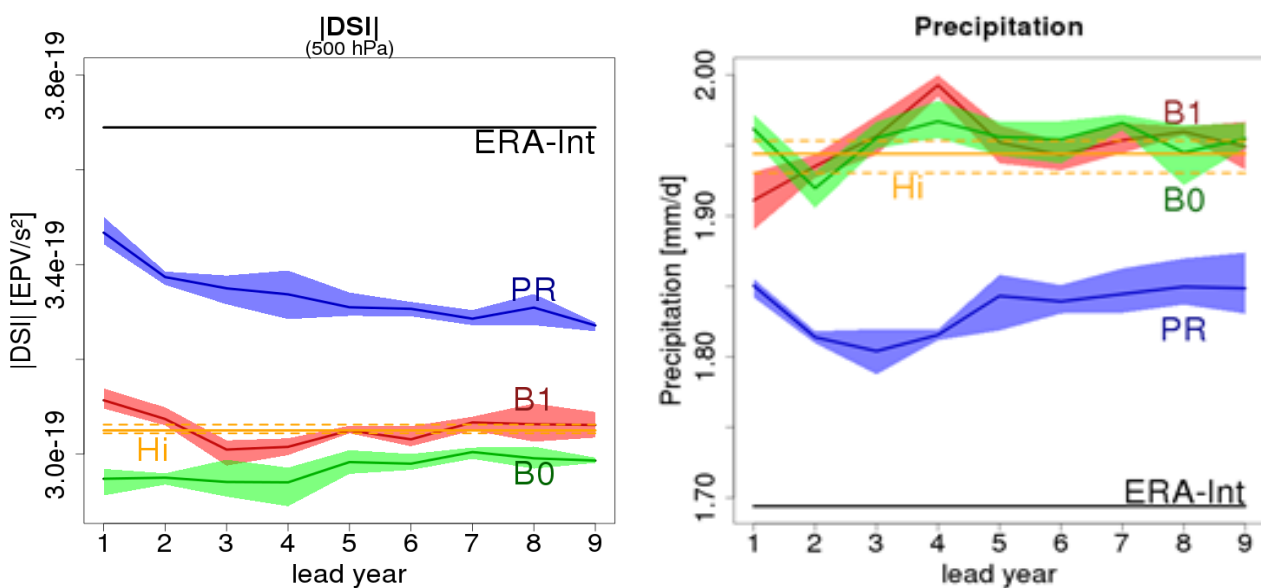
Im Rahmen von WP 2.1. wurde gezeigt, wie sich eine Änderung der Auflösung auf die Amplitude des DSI auswirkt. Durch ein feineres Gitter können mehr nicht-balancierte Prozesse aufgelöst werden, was zu einem Anwachsen der DSI-Amplitude führt.

In WP 2.2. wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Initialisierungen der dekadischen Hindcasts des MPI-ESM-Modells auf den DSI auswirken. Bei den dekadischen Läufen handelt es sich um Baseline0, Baseline1 und Prototype. Im Bezug darauf zeigt Abbildung 2.3 das zeitliche Mittel des  $|DSI|$  über Europa in 500 hPa für Baseline0, Baseline1 und Prototype für die Vorhersagejahre 1 bis 10. Hierbei ist sowohl das jeweilige Mittel als auch der Bereich zwischen dem entsprechenden Minimum und Maximum der ersten drei Ensemblemitglieder dargestellt. Weiterhin ist noch der Mittelwert des  $|DSI|$  von ERA-Interim, dessen horizontale und vertikale Auflösung an die MiKlip-Läufe angepasst wurde, als Referenz dargestellt. Unter der Annahme, dass die Reanalyse die atmosphärische Realität beziehungsweise die Beobachtung perfekt repräsentiert, könnte man in diesem Fall den DSI aus ERA-Interim als Grenze für die maximal auflösbaren nicht-balancierten Prozesse der Modelle verstehen.

Bezüglich der unterschiedlichen Initialisierungsmethoden ist in Abbildung 2.3 zu erkennen, dass sich diese im ersten Vorhersagejahr am meisten bemerkbar machen, da für dieses Jahr der Abstand zwischen den Läufen am größten ist. Für die folgenden Vorhersagejahre scheinen sich die DSI-Beträge immer weiter anzunähern, was darauf zurückzuführen ist, dass die einzelnen Läufe nach der Initialisierung frei laufen. Trotzdem bleibt die ursprüngliche Rangfolge (Prototype vor Baseline1 und Baseline1 vor Baseline0) auch für die restlichen Vorhersagejahre bestehen, wobei alle Läufe den Betrag des DSI in Bezug auf ERA-Interim unterschätzen. Nun ist die Frage, ob sich dieses Verhalten auch für andere, von nicht-balancierten Prozessen geprägte, Variablen zeigt. Im Hinblick darauf zeigt Abbildung 2.3 zudem das zeitliche Mittel des Niederschlags über Europa für Baseline0, Baseline1 und Prototype für die Vorhersagejahre 1 bis 10. Hier zeigt sich, dass der Niederschlag aus allen drei dekadischen Hindcasts den Niederschlag überschätzt, wobei, ähnlich wie schon beim DSI, die Prototype-Läufe auch für den Niederschlag den Reanalysen für alle Vorhersagejahre am nächsten kommen. Zwischen Baseline0 und Baseline1 lassen sich hingegen, was den betragsmäßigen Abstand zu der Reanalyse angeht, kaum Unterschiede ausmachen. Generell macht sich ein Widerspruch zwischen den DSI- und den Niederschlags-Ergebnissen bemerkbar, denn der DSI wird gegenüber ERA-Interim unterschätzt und der Niederschlag überschätzt. Dies ist ein Widerspruch, da der DSI beziehungsweise dessen Betrag ( $|DSI|$ ) alle nicht-balancierten Prozesse in der Atmosphäre diagnostiziert, welche wiederum für Niederschlag verantwortlich sind. Somit sind beide Größen positiv miteinander korreliert (siehe Abbildung 2.2), was dazu führt, dass erhöhte DSI Beträge auch erhöhte Niederschlagswerte zur Folge haben müssten. Der sich so ergebende Widerspruch zu den DSI-Ergebnissen lässt sich damit erklären, dass das zugrunde liegende MPI-ESM-LR-Modell zu viel

Niederschlag simuliert, welcher keine Verbindung mit, durch den DSI beschriebenen, auslösenden und nicht-balancierten Prozessen aufweist.

Eine Berechnung des Mean-Square-Error-Skill-Score (MSESS) mit der Klimatologie von ERA-Interim als Maß für die dekadische Vorhersagegüte zeigt für Europa, dass der Prototype-Lauf unter den Versionen des Vorhersagesystems sowohl für den DSI (siehe Abbildung 2.4, links) als auch für den Niederschlag (siehe Abbildung 2.4, rechts) die größte Güte für alle Vorhersagejahre aufweist. Darüber hinaus zeigt sich, dass der MSESS für den DSI allgemein größer ist, als der des Niederschlags, was für eine bessere Vorhersagegüte des DSI spricht. Hierbei wurde jeweils zuerst ein Ensemblemittel aus den ersten drei Mitgliedern und dann erst der MSESS berechnet. Allerdings fällt auch auf, dass der MSESS für beide Variablen (beim DSI auch auf allen Druckleveln, wobei die 500 hPa hier nur exemplarisch dargestellt ist) für alle dekadischen Vorhersageläufe negativ ist, was bedeutet, dass diese schlechter als die Klimatologie und somit eigentlich für die dekadische Vorhersage nicht geeignet sind.



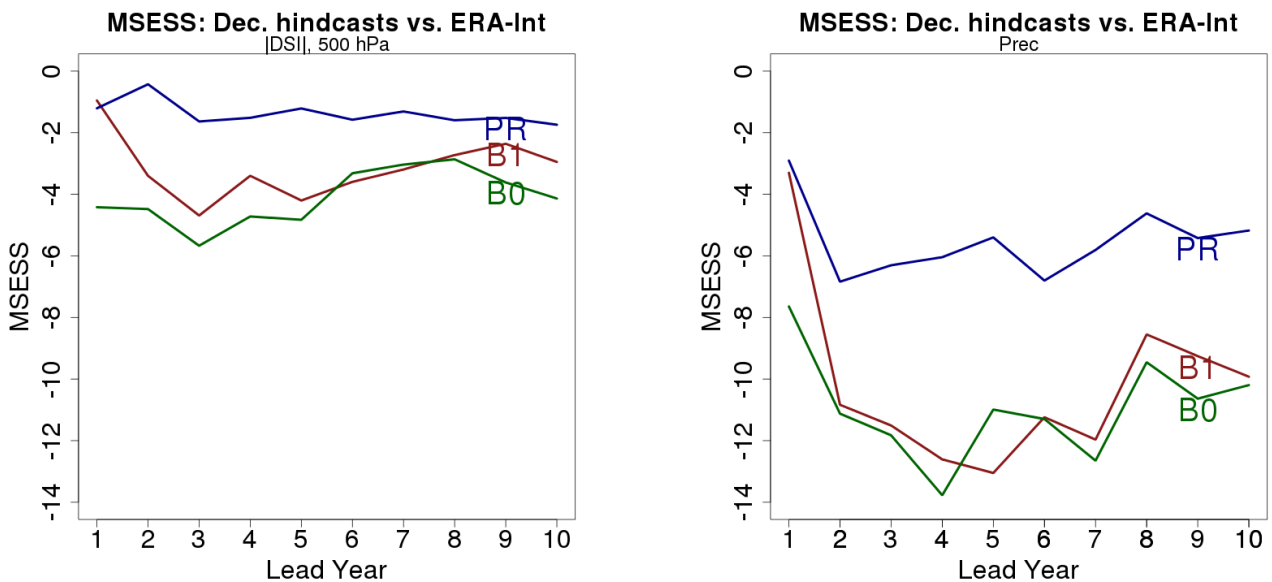
**Abbildung 2.3:** |DSI| (linke Abbildung) sowie Niederschlag (rechte Abbildung) in 500 hPa für Baseline0-LR, Baseline1-LR sowie Prototype für die Vorhersagejahre 1 bis 9. Die schwarze Linie zeigt das Mittel der ERA-Interim Daten über den betrachteten Zeitraum. Die Darstellung bezieht sich auf ein räumliches Mittel über Europa.

Das Problem ist, dass die Initialisierung die Modelle zu nah an die Beobachtung gesetzt werden und es aber gleichzeitig Diskrepanzen zwischen den Beobachtungen und der eigenen Modellklimatologie gibt. Folglich driften die dekadischen Vorhersagemodelle von ihrem Startwert in Richtung der uninitialisierten Läufe. Dieser systematische und nicht stationäre Fehler (die Abweichung ist Abhängig von der Zeit) trägt dazu bei, dass das Vorhersagepotential der dekadischen Hindcasts von vornherein gemindert wird. Diesbezüglich wurde von Kharin et al. (2012) eine Methode vorgestellt, die eine Bias-Korrektur für ein vom Vorhersagejahr abhängigen Drift ermöglicht.

Bei ersten Versuchen mit einer von Kruschke et al. (2015) vorgestellten Driftkorrektur, welche auf der Veröffentlichung von Kharin et al. (2012) fußt, konnten deutliche Verbesserungen des MSESS sowohl für den Niederschlag als auch den DSI festgestellt werden, so dass diese Variablen nun auch für bestimmte Vorhersagejahre besser waren als die ERA-Interim-Klimatologie. Beim DSI zeigte sich insbesondere in den unteren Druckniveaus ein signifikantes Vorhersagepotential, welches sowohl für



3 als auch für 10 Ensemblemitglieder für alle drei dekadischen Vorhersagemodelle größer war als das des Niederschlags. Somit konnte nach einer ersten Driftkorrektur gezeigt werden, dass der DSI auf der dekadischen Zeitskala besser vorherzusagen ist als der Niederschlag. Dies eröffnet die Möglichkeit über die dekadische Variabilität des DSI auch eine Aussage über den Niederschlag auf der dekadischen Zeitskala treffen zu können.



**Abbildung 2.4:** MSESS des  $|DSI|$  in 500 hPa (a) und des Niederschlags für Baseline0-LR, Baseline1-LR sowie Prototype für die Vorhersagejahre 1 bis 10. Als Referenz diente jeweils die entsprechende ERA-Interim Klimatologie.

## 2. Zahlenmäßiger Nachweis

Berechnungen und Simulationen wurden auf dem HLR des DKRZ und dem MiKlip-Server durchgeführt, die keine einzelnen Positionen des zahlenmäßigen Nachweises dieses Verbundprojektes sind. Der zahlenmäßige Nachweis der Universität zu Köln wurde bereits am 16.02.2016 durch die Verwaltung der Universität zu Köln (Frau Straub, Dezernat 7) an den Projektträger auf dem dafür vorgesehenen Formblatt zugestellt.

## 3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die in VESPA erzielte Identifikation und Diagnose von Prozessen, die ursächlich für das Zustandekommen dekadischer Klimavariabilität verantwortlich sind, trägt zu einer verbesserten Beurteilung der dekadischen Vorhersagbarkeit von Extremereignissen bei. Jenes ist wiederum für eine Vielzahl von Nutzern, wie z.B. (Rück-) Versicherungsunternehmen, Energieunternehmen und Politik, von großer Relevanz.

Diesbezüglich hätten die Arbeiten ohne die BMBF Zuwendung nicht durchgeführt werden können, wobei Art und Höhe der Zuwendung sowie der Umfang der geleisteten Arbeiten angemessen war, um die Projektziele zu erreichen.

#### 4. Voraussichtliche Nutzung und Verwertbarkeit der Ergebnisse

In das Zentrale Evaluierungssystem (CES) sind vier Plug-Ins zur Berechnung von Blocking-Indizes, des Dynamischen Zustandsindex, der ETCCDI-Indizes sowie zur prozessorientierte Evaluierung des Monsun-Systems eingegangen. Ferner wurden die Daten der ECHAM6 Sensitivitätsstudie mit warmen und kalten Anomalien der Nordatlantischen Meeresoberflächentemperatur und die Niederschlagsdatenbank zur Verfügung gestellt. Dies ermöglicht eine einfache und effiziente Weiterverwendung der Ergebnisse. Somit können unter anderem zukünftige Entwicklungen des MiKlip-Modell-Systems über die berechneten Indizes direkt mit den vorausgegangenen verglichen werden. Hierbei könnte eine Abweichung von Blockierungswetterlagen oder nicht-balancierten Prozessen im Allgemeinen eine Auswirkung auf die dekadische Vorhersagbarkeit von Extremereignissen haben oder Änderungen identifiziert werden, die sich auf die Vorhersage-Güte in West- und Nordwestafrika auswirken. Die Auswertungen tragen zu einem auf physikalischen Zusammenhängen basierendem Verständnis des dekadischen Vorhersagesystems und damit sowohl zu dessen Weiterentwicklung wie zur Kommunikation mit künftigen Nutzern bei.

Darüber hinaus ist geplant die entwickelten Methoden und Plug-Ins in der zweiten Phase von MiKlip ebenfalls anzuwenden, auch eine Auswertung von zukünftigen CMIP6-Experimenten ist möglich. Die Niederschlagsdatenbank findet Anwendung sowohl in der zweiten Phase von MiKlip als auch in anderen Projekten (z.B. im EU-Projekt DACCIWA, engl.: *Dynamics-aerosol-chemistry-cloud interactions in West Africa*).

#### 5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

In der Projektphase von Teilvorhaben I sind keine relevanten Ergebnisse bekannt geworden, die eine Umstellung unserer Projektvorhaben nach sich gezogen hätten.

Im Rahmen des Teilvorhabens II ist das zentrale Ergebnis die Prozess-basierte Evaluierung der Repräsentation des westafrikanischen Monsuns in Klimamodellen. Dabei wurden einfach anwendbare Metriken erstellt, mit denen Klimamodelle untereinander und mit Referenzenbeobachtungen (z.B. Reanalysen) verglichen werden können. Ein ähnlicher, auf Metriken fokussierter Ansatz ist von anderen Stellen nicht bekannt. Dennoch ist erwähnenswert, dass auch an anderen Stellen Prozesse des Monsun-Systems verstärkt in den Fokus der Modell-Evaluation kommen (z.B.: James et al. 2015). Im Rahmen eines neuen, vom britischen Wetterdienst koordinierten Projektes zur Klimaprojektion in Afrika bis 2050 („IMPALA“, <http://www.metoffice.gov.uk/research/interproj/impala>) wird ein neuer Schwerpunkt auf die prozessorientierte Validierung des britischen Modellsystems gelegt, welche auch für dekadische Vorhersagen genutzt wird. Diese Entwicklung gegen Ende des Projektes wird durch eine Kooperation genutzt, die in MIKLIP 2 ((WP-E5-PROMISA) intensiviert werden soll.

#### 6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse

##### Begutachtete Zeitschriften:

- Diatta, S., & Fink, A. H. (2014). Statistical relationship between remote climate Indices and West African monsoon variability. *International Journal of Climatology*, 34(12), 3348–3367. <http://doi.org/10.1002/joc.3912>.
- Sanogo, S., Fink, A. H., Omotosho, J. A., Ba, A., Redl, R., & Ermert, V. (2015). Spatio-temporal characteristics of the recent rainfall recovery in West Africa. *International Journal of Climatology*, 35, 4589–4605. <http://doi.org/10.1002/joc.4309>

- van der Linden, R., A. H. Fink, and R. Redl (2015). Satellite-based climatology of low-level continental clouds in southern West Africa during the summer monsoon season. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 1186–1201, DOI: 10.1002/2014JD022614.

#### **Bisherige Konferenz- und Workshopbeiträge:**

- *4<sup>th</sup> AMMA International Conference, Toulouse, France, Pr.4D.2, p. 184 (02.-06.07.2012)*: Knippertz P., A. H. Fink, R. Schuster, J. Trentmann, and C. Yorke. The representation of ultra-low clouds over the southern West African monsoon region in observations, re-analysis, and climate models. (Vortrag)
- *4<sup>th</sup> AMMA International Conference, Toulouse, France, Pr.4D.3, p. 185. (02.-06.07.2012)*: Schuster R., A. H. Fink, and P. Knippertz. Simulation of ultra-low clouds over the southern West African Monsoon region in the regional model WRF. (Vortrag)
- *Statusseminar, Berlin (14.-15.02.2013)*: U. Ulbrich, U. Cubasch, I. Höschel, A. Fink, R. Schuster, P. Nevir, A. Pasternack: Variability of Extremes, its causes and predictability on decadal time scales in ensembles of climate simulations. (Poster)
- *DKRZ workshop, Hamburg (26.02.2013)*: Höschel, I. Kirchner: Variability of Extremes, its causes and predictability on decadal time scales in ensembles of climate simulations. (Poster)
- *EGU-2013, Wien (07.-12.04.2013)*: Höschel, J. Körper, U. Cubasch: Influence of North Atlantic Sea Surface Temperature on NAO and European Winter Climate. (Vortrag, krankheitsbedingt abgesagt)
- AMOC meeting, Baltimore (16.-19.07.2013): Höschel, J. Körper, U. Cubasch: The Influence of Decadal Variability in North Atlantic Sea Surface Temperature on Climate Extremes. (Poster)
- *Modul E workshop, Berlin (16.-18.10.2013)*: I. Höschel: The Influence of Decadal Variability in North Atlantic Sea Surface Temperature on Climate Extremes. (Poster)
- *Modul E workshop, Berlin (16.-18.10.2013)*: A. Pasternack: The Dynamic State Index (DSI) as proxy for decadal variability of convective processes. (Poster)
- *Modul E workshop, Berlin (16.-18.10.2013)*: R. Schuster, A. Fink: Process based analysis of the West African Monsoon System in MiKlip. (Poster)
- *Modul E workshop, Berlin (16.-18.10.2013)*: I. Höschel: Connections between AMV and temperature extremes. (Vortrag)
- *Modul E workshop, Berlin (16.-18.10.2013)*: A. Pasternack: The Dynamic State Index (DSI) as proxy for decadal variability of convective processes. (Vortrag)
- *Modul E workshop, Berlin (16.-18.10.2013)*: R. Schuster. Process based analysis of the West African Monsoon System in MiKlip Baseline 1. (Vortrag)
- *Statusseminar, Karlsruhe (12.-14.02.2014)*: U. Ulbrich, U. Cubasch, A. Fink, P. Nevir, I. Höschel, A. Pasternack, R. Schuster, K. Roth: Variability of Extremes, its causes and predictability on decadal time scales in ensembles of climate simulations. (Vortrag)
- *AG Wechselwirkungen im Klimasystem der Erde - workshop, Berlin (17.02.2014)*: I. Höschel: Connections between AMV and temperature extremes. (Vortrag)
- *31st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, San Diego, California, USA, IB.7. (30.03-04.04 2014)*: Fink A. H. and S. Diatta. Statistical relationship between remote climate Indices and West African monsoon variability. (Vortrag)

- *31<sup>st</sup> Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, San Diego, California, USA, IB.6. (30.03-04.04.2014)*: van der Linden R., A. H. Fink, R. Schuster, and P. Knippertz. Climatology of continental stratus over the southern West African monsoon region. (Vortrag)
- *Lange Nacht der Wissenschaften, FU Berlin (11.05.2014)*. I. Höschel: Wie wird das Wetter in 10 Jahren? (Vortrag)
- *Module E-Meeting, Offenbach (13.-14.10.2014)*: U. Ulbrich, U. Cubasch, A. Fink, P. Nevir, I. Höschel, A. Pasternack, R. Schuster, K. Roth, F. Landrock: Evaluation of precipitation and related dynamical causes in the North Atlantic region. (Vortrag)
- *EMS, Prag: I. Höschel, U. Cubasch (06.-10.10.2014)*: The representation of the 1990s warming of the North Atlantic subpolare gyre in the MiKlip decadal prediction system. (Vortrag)
- *WCRP - Climate Symposium, Darmstadt (13.-17.10.2014)*: I. Höschel, U. Cubasch: Variability of maximum and minimum temperatures on decadal time scales. (Poster)
- *Abschlussseminar, Offenbach (22.02.-26.02.2015)*: I. Höschel, J. Grieger, H. Rust, U. Ulbrich, and U. Cubasch. The 1990s warming in the North Atlantic Subpolar Gyre in Hindcasts of the MiKlip Decadal Prediction System. (Poster)
- *Abschlussseminar, Offenbach (22.02.-26.02.2015)*: A. Pasternack, J. Grieger, I. Höschel, U. Ulbrich und P. Nevir. Teleconnection between PNA and NAO and its influence on the Dynamic State Index for the European region. (Poster)
- *Abschlussseminar, Offenbach (22.02.-26.02.2015)*: R. Redl, T. Engel und A. H. Fink. Process based analysis of the West African Monsoon in the MiKlip decadal prediction system. (Vortrag)
- *EGU-2015, Wien (12.-17.04.2015)*: Andy Richling, Henning Rust, Uwe Ulbrich: Representation of Atmospheric Blocking in the MiKlip Decadal Prediction System. (Poster)

#### **Geplante Publikationen:**

- Höschel I., S. Illing, J. Grieger, U. Cubasch and U. Ulbrich: Event-based validation of North Atlantic sea surface temperature in decadal Hindcasts. (in Vorbereitung)
- Pasternack A. and P. Névir. A further generalization of Bernoulli's Theorem for atmospheric dynamics and the relation to the Dynamic State Index. (in Vorbereitung)
- Redl R. and A.H. Fink (2016). Process Based Analysis of the West African Monsoon in Regional and Global Climate Models. (in Vorbereitung)
- Richling A., H.W. Rust and U. Ulbrich. Representation of Atmospheric Blocking in the MiKlip Decadal Prediction System. (in Vorbereitung)

#### **Literaturverzeichnis**

Berry, G. J., C. D. Thorncroft, and T. Hewson, 2007: African Easterly Waves during 2004—Analysis Using Objective Techniques. *Mon. Weather Rev.*, 135, 1251, doi:10.1175/MWR3343.1.

Born, K., A. H. Fink, and P. Knippertz, 2010: Meteorological processes influencing the weather and climate of Morocco. *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*, P. Speth, M. Christoph, and B. Diekkrüger, Eds., Springer Berlin Heidelberg, 150–163.

Claußnitzer, A., Langer, I., Névir, P., Reimer, E., and Cubasch, U. (2008b). Process-oriented statistical-dynamical evaluation of 1m precipitation forecasts. *Adv. Geosc.*, 16:33–41.

- Claußnitzer, A., N vir, P., Langer, I., Reimer, E., and Cubasch, U. (2008a). Scale-dependent analyses of precipitation forecasts and cloud properties using the dynamic state index. *Meteorologische Zeitschrift*, 17:813–825.
- Claußnitzer, A. and N vir, P. (2009). Analysis of quantitative precipitation forecasts using the dynamic state index. *Atmos. Res.*, 94(4):694–703.
- Compo, G. P., S. Whitaker, J., Sardeshmukh, P. D., Matsui, N., Allan, R. J., Yin, X., Gleason, B., Vose, R. S., Rutledge, G., Bessemoulin, P., Br nnimann, S., Brunet, M., Crouthamel, R. I., Grant, A. N., Groisman, P. Y., Jones, P. D., Kruk, M. C., Kruger, A. C., Marshall, G. J., Maugeri, M., Mok, H. Y., Nordli, ., Ross, T. F., Trigo, R. M., Wang, X. L., Woodruff, S. D., and J. Worley, S. (2011). Review article: The twentieth century reanalysis project. *QJRMS*, 137:1–28.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Holm, E. V., Isaksen, L., Kallberg, P., K hler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thepaut, J.-N., and Vitart, F. (2011). The era-interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *QJRMS*, 137:553–597.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J. H., Willett, K. M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Tank, A. M. G. K., Kruger, A. C., Marengo, J., Peterson, T. C., Renom, M., Rojas, C. O., Rusticucci, M., Salinger, J., Elayah, A. S., Sekele, S. S., Srivastava, A. K., Trewin, B., Villarroel, C., Vincent, L. A., Zhai, P., Zhang, X., and Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The hadex2 dataset. *JGR*, 118(5):2098–2118.
- Feng, S., and Q. Hu, 2008: How the North Atlantic Multidecadal Oscillation may have influenced the Indian summer monsoon during the past two millennia. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L01707, doi:10.1029/2007GL032484.
- Fink, A. H. and A. Reiner, 2003: Spatio-temporal Variability of the Relation between African Easterly Waves and West African Squall Lines in 1998 and 1999. *J. of Geophys Res.*, 108(D11), ACL 5-1–5-17, 4332, doi:10.1029/2002JD002816.
- Fink, A. H., M. Christoph, K. Born, T. Br ucher, K. Piecha, S. Pohle, O. Schulz, and V. Ermert, 2010a: Regional geography of West and Northwest Africa: An Introduction. *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*, P. Speth, M. Christoph, and B. Diekkr ger, Eds., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 54–58.
- Fink, A. H., H. Paeth, V. Ermert, S. Pohle, and M. Diederich, 2010b: Meteorological processes influencing the weather and climate of Benin. *Impacts of Global Change on the Hydrological Cycle in West and Northwest Africa*, P. Speth, M. Christoph, and B. Diekkr ger, Eds., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 135–149.

- Honda, M., Nakamura, H., Ukita, J., Kousaka, I., and Takeuchi, K. (2001). Interannual seesaw between the aleutian and icelandic lows. part i: Seasonal dependence and life cycle. *Journal of Climate*, 14(6):1029–1042.
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., and Gu, G. (2009). Improving the global precipitation record: Gpcp version 2.1. *GRL*, 36.
- James, R., R. Washington, and R. Jones, 2015: Process-based assessment of an ensemble of climate projections for West Africa. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 1221–1238, doi:10.1002/2014JD022513.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D. (1996). The ncep/ncar 40-year reanalysis project. *BAMS*, 77:437-471.
- Kharin, V. V., Boer, G. J., Merryfield, W. J., Scinocca, J. F., and Lee, W.-S. (2012). Statistical adjustment of decadal predictions in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 39.19:L19705.
- Knight, J. R., Folland, C. K., and Scaife, A. A. (2006). Climate impacts of the atlantic multidecadal oscillation. *GRL*, 33:L17706.
- Knippertz, P., M. Christoph, and P. Speth, 2003: Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the largescale circulation in recent and future climates. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 83, 67–88, doi:10.1007/s00703-002-0561y.
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebita, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K., and Takahashi, K. (2015). The jra-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, 93(1):5–48.
- Kruschke, T., Rust, H. W., Kadow, C., Müller, W. A., Pohlmann, H., Leckebusch, G. C., and Ulbrich, U. (2015). Probabilistic evaluation of decadal prediction skill regarding northern hemisphere winter storms. *Meteor. Z*
- Lavaysse, C., C. Flamant, S. Janicot, D. J. Parker, J.-P. Lafore, B. Sultan, and J. Pelon, 2009: Seasonal evolution of the West African heat low: a climatological perspective. *Clim. Dyn.*, 33, 313–330, doi:10.1007/s00382-009-0553-4.
- Leckebusch, G. C., Renggli, D., and Ulbrich, U. (2008). Development and application of an objective storm severity measure for the northeast atlantic region. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(5):575–587.
- Mathieu, P-P., Sutton, R. T., Dong, B. and Collins., M. (2004). Predictability of Winter Climate over the North Atlantic European Region during ENSO Events. *Journal of Climate*, 17(10):1953-1974.
- McCabe, G. J, Betancourt, J. L., Gray, S. T., Palecki, M. A., and Hidalgo, H. G. (2008). Associations of multi-decadal sea-surface temperature variability with us drought. *Science Direct Quarternary International*, 188:31–40.
- Peterson, T. C., 2005: Climate change Indices. *World Meteorol. Organ. Bull.*, 54, 83–86.
- Pfahl, S. (2014). Characterising the relationship between weather extremes in Europe and synoptic circulation features. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14:1461–1475.

- Pfahl, S. and Wernli, H. (2012). Quantifying the relevance of atmospheric blocking for co-located temperature extremes in the Northern Hemisphere on (sub-)daily time scales. *Geophys. Res. Lett.*, 39:L12807.
- Pinto, J. G., Reyers, M., and Ulbrich, U. (2011). The variable link between pna and nao in observations and in multi-century cgcm simulations. *Climate Dynamics*, 36(1):337–354.
- Pozo-Vázquez, D., Esteban-Parra, M., Rodrigo, F., and Castro-Diez, Y. (2001). The association between enso and winter atmospheric circulation and temperature in the north atlantic region. *Journal of Climate*, 14(16):3408–3420.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., ya Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., van den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., and Becke, E. (2014). The ncep climate forecast system version 2. *JoC*, 27:2185–2208.
- Schubert, S., Gutzler, D., Wang, H., Dai, A., Delworth, T., Deser, C., Findell, K., Fu, R., Higgins, W., Hoerling, M., Kirtman, B., Koster, R., Kumar, A., Legler, D., Lettenmaier, D., Lyon, B., Magana, V., Mo, K., Nigam, S., Pegion, P., Phillips, A., Pulwarty, R., Rind, D., Ruiz-Barradas, A., Schemm, J., Seager, R., Stewart, R., Suarez, M., Syktus, J., Ting, M., Wang, C., Weaver, S., and Zeng, N. (2009). A u.s. clivar project to assess and compare the responses of global climate models to drought-related sst forcing patterns: Overview and results. *JOC*, 22:5251–5272.
- Selz, T. (2010). Der Dynamische Zustandsindex - Berechnung aus Reanalysedaten und Anwendung auf das El Niño-Phänomen. PhD thesis, Freie Universität Berlin."
- Shaman, J. and Tziperman, E. (2011). An atmospheric teleconnection linking enso and southwestern european precipitation. *Journal of Climate*, 24(1):124–139.
- Sillmann, J. and Croci-Maspoli, M. (2009). Present and future atmospheric blocking and its impact on European mean and extreme climate. *Geophys. Res. Lett.*, 36:L10702.
- Sutton, R. T. and Hodson, D. L. R. (2005). Atlantic ocean forcing of north american and European summer climate. *science*, 309:115–118.
- Tibaldi, S. and Molteni, F. (1990). On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42A:343–365.
- Trenberth, K. E. and Shea, D. J. (2006). Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *GRL*, 33:L12704.
- Uppala, S. M., Kallberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., Bechtold, V. D. C., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G. A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R. P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A., Beljaars, A. C. M., Vandeberg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, L., Janssen, P. A. E. M., Jenne, R., P. McNally, A., Mahfouf, J.-F., Morcrette, J.-J., Rayner, N. A., Saunders, R. W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., and Woollen, J. (2005). The era-40 re-analysis. *QJRMS*, 131(612):2961–3012.

- Wang, Y., S. Li, and D. Luo, 2009: Seasonal response of Asian monsoonal climate to the Atlantic Multidecadal Oscillation. *J. Geophys. Res.*, 114, D02112, doi:10.1029/2008JD010929.
- Weber, T. and N evir, P. (2008). The dynamic state index (dsi) - interpretation and application on the synoptic scale. *Tellus A*, 60:1–1.
- Zanchettin, D., Franks, S. W., Traverso, P., and Tomasino, M. (2008). On enso impacts on european wintertime rainfalls and their modulation by the nao and the pacific multi-decadal variability described through the pdo index. *International Journal of Climatology*, 28(8):995– 1006.
- Zhang, R. and Delworth, T. L. (2006). Impact of atlantic multidecadal oscillations on india/sahel rainfall and atlantic hurricanes. *GRL*, 33(17):L17712.
- Zhang, R. and Delworth, T. L. (2007). Impact of the atlantic multidecadal oscillation on north pacific climate variability. *GRL*, 34:L23708.
- Zhang, R., Delworth, T. L., and Held, I. M. (2007). Can the atlantic ocean drive the observed multidecadal variability in northern hemisphere mean temperature? *GRL*, 34:L02709.



Projektleiter: Univ.-Prof. Dr. Uwe Ulbrich (Teilvorhaben 1, Freie Universität Berlin)  
PD Dr. Joaquim G. Pinto (Teilvorhaben 2, Universität zu Köln)

Wiss. Mitarbeiter: M.Sc. Alexander Pasternack, M.Sc. Andy Richling, Dipl.-Math. Ines Höschel, Dr. Jens Grieger, B.Sc. Franz Landrock, PD Dr. Peter Névir (Teilvorhaben 1, Freie Universität Berlin)

Prof. Dr. Andreas H. Fink, Dipl.-Met. Robert Redl (Teilvorhaben 2, Universität zu Köln)

Berlin, den 30.06.2016

(Uwe Ulbrich)

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Verbundvorhaben: MiKlip-VESPA: Variabilität von Extremen, ihre Ursachen und Vorhersagbarkeit auf der dekadischen Zeitskala in Ensembles von Klimasimulationen.  Schlussbericht des Teilvorhabens I (Freie Universität Berlin)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr. Ulbrich, Uwe M.Sc. Pasternack, Alexander M.Sc. Richling, Andy Dipl. Math. Höschel, Ines Dr. Grieger, Jens B.Sc. Landrock, Franz PD. Dr. Névir, Peter	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2015
	6. Veröffentlichungsdatum Juli 2016
	7. Form der Publikation Technische Informationsbibliothek (TIB)
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Freie Universität Berlin -Institut für Meteorologie Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10 12165 Berlin	9. Ber. Nr. Durchführende Institution --
	10. Förderkennzeichen *) 01LP1110A
	11. Seitenzahl 28
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 34
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben ---	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) ---	
18. Kurzfassung Das Teilvorhaben I von MiKlip-VESPA befasste sich mit der dekadischen Vorhersage des Risikos für meteorologische Extremereignisse. Die zugrunde liegende methodische Idee ist, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von extremen Wetter- und Klimaereignissen mit den relevanten großskaligen Bedingungen, die physikalisch mit der Erzeugung dieser Ereignisse verbunden sind, variiert. Hierbei bilden u.a. multidekadische Schwankungen im Ozean die Basis für die dekadische Vorhersagbarkeit. Es zeigte sich, dass die multidekadischen Schwankungen im Nordatlantik (AMV) einen Einfluss auf die großskalige Zirkulation (NAO), die Temperatur und den Niederschlag haben. Deren korrekte Wiedergabe ist somit auch relevant für das MiKlip-Modellsystem und dessen unterschiedlich initialisierte Vorhersageläufe. Bei der Analyse wurde der Fokus auf ein Ereignis im nordatlantischen subpolaren Wirbel Mitte der 1990er Jahre gelegt. Dabei wurden der Erfolg und die Notwendigkeit der Initialisierung gezeigt. Im Projekt VESPA wurden zudem Methoden entwickelt und angewendet, um die Güte des MiKlip-Modell-Systems in Hinblick auf Blockierungswetterlagen und damit letztlich auch auf Hitze- beziehungsweise Kältewellen über Europa zu bewerten. Dies unterstützt die Entwicklung von Klimaschutz- und Anpassungsstrategien. Es zeigte sich, dass die initialisierten Vorhersageläufe (Baseline1, Prototype) über der Atlantik-Region gegenüber den uninitialisierten Simulationen (Historicals) saisonweise eine signifikante Vorhersagegüte bezüglich der Blockierungshäufigkeit besitzen. Zudem wurde analysiert, inwieweit ein Transport von Vorhersagbarkeit aus den Tropen in die Extra-Tropen im Modell-System in Bezug auf meteorologische Extremereignisse repräsentiert wird. Ein Ergebnis ist, dass zum einen statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen meteorologischen Extremereignissen der mittleren Breiten und dominierenden Variabilitätsmoden der Tropen in den Reanalysen nachgewiesen werden können. Zum anderen werden aktive bzw. inaktive Korrelationsphasen zwischen NAO- und PNA-Index in den Reanalysen, dem vorindustriellen Kontrolllauf sowie den uninitialisierten Simulationen wiedergefunden. Darüber hinaus wurde untersucht, ob die Verbindung des Niederschlags über Europa mit dessen auslösenden physikalischen Prozessen (durch den Dynamischen Zustandsindex (DSI) diagnostiziert) im MiKlip-Modell-System Beobachtungs-konform wiedergegeben wird, und ob der Niederschlag ein Vorhersagepotential aufweist. Es zeigt sich, dass das zugrunde liegende MPI-ESM-LR-Modell zu viel Niederschlag simuliert, welcher keine Verbindung mit den durch den DSI beschriebenen, auslösenden und nicht-balancierten Prozessen aufweist. Es konnte gezeigt werden dass der Prototype-Lauf sowohl für den DSI als auch für den Niederschlag eine höhere Güte für alle Vorhersagejahre aufweist als die vorherigen Modellsystem-Versionen. Darüber hinaus stellt sich heraus, dass die Vorhersagegüte des DSI allgemein größer ist, als die des Niederschlags.	
19. Schlagwörter Dekadische Vorhersage, MiKlip, Europa, meteorologische Extremereignisse, NAO, DSI, blockierende Wetterlagen, Meeresoberflächentemperaturen, AMV, AMO, Telekonnexionen, Prozess-orientierte Evaluation, Vorhersagbarkeit, Klimamodellierung	
20. Verlag --	21. Preis --

## Document Control Sheet

1. ISBN oder ISSN Planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. Title Consortia project: MiKlip-VESPA: Variabilität von Extremen, ihre Ursachen und Vorhersagbarkeit auf der dekadischen Zeitskala in Ensembles von Klimasimulationen (In German)  Schlussbericht des Teilvorhabens I (Freie Universität Berlin)	
4. author(s) (family name, first name(s)) Prof. Dr. Ulbrich, Uwe M.Sc. Pasternack, Alexander M.Sc. Richling, Andy Dipl. Math. Höschel, Ines Dr. Grieger, Jens B.Sc. Landrock, Franz PD. Dr. Névir, Peter	5. end of project December 2015
	6. publication date July 2016
	7. form of publication Technische Informationsbibliothek (TIB)
8. performing organization(s) (name, address)  Freie Universität Berlin -Institute of Meteorology Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10 12165 Berlin	9. originator's report no. --
	10. reference no*) 01LP1110A
	11. no. of pages 28
12. sponsoring agency (name, address)  Ministry of Education and Research (BMBF) 53170 Bonn, Germany	13. no. of references 34
	14. no. of tables 0
	15. no. of figures 17
16. supplementary notes ---	
17. presented at (title, place, date) ---	
18. abstract Subproject I of MiKlip-VESPA addressed the decadal prediction of the risk of meteorological extreme events. The basic idea was, that the occurrence probability of extreme weather and climate events varies with physically related large scale processes, which are associated with this kind of events. In this regard, multi-decadal oscillations of the ocean are one basic prerequisite for decadal predictability. It can be shown that the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMV) is essentially affecting the North Atlantic Oscillation (NAO), as well as temperatures and precipitation. Thus, the correct representation of this process is highly relevant for the MiKlip model system. Here, the analysis focusses on an event of the North Atlantic subpolar gyre during the mid-1990s. The results show the success and the necessity of the initialization. Furthermore, methods were developed and applied in VESPA in order to assess the skill of the MiKlip model system w.r.t. to blockings over Europe and thus also to the occurrence of heat and frost waves over this region. This approach can be a basis for the development of strategies for the adaptation to climate change and variability. Initialized hindcast runs (Baseline1, Prototype) are superior to the un-initialized runs (Historical) in terms of predictive skill due to improved blocking frequency predictions over the North Atlantic region. Moreover, transport mechanisms of predictability of extreme events from the tropics to the extra-tropics were analyzed. One result is a statistically significant connection between meteorological extremes in the mid-latitudes and dominating variability modes in the tropics according to reanalysis data. In addition, the occurrence of active or inactive correlation phases between NAO and PNA found in reanalysis data could also be detected in the pre-industrial control-run and the Historical runs. Furthermore, it was analyzed whether the relationship between precipitation and its triggering physical processes, diagnosed by the Dynamic State Index (DSI), is correctly represented by the MiKlip model system over Europe, and which of these quantities is superior w.r.t. prediction skill. It turns out that the parametrization scheme of the MPI-ESM model produces too much precipitation which is unrelated to its triggering non-balanced processes (as specified by the DSI). Additionally, it can be shown that the Prototype run outperforms all other hindcast sets in terms of prediction skill for both DSI and precipitation. The prediction skill of the DSI is generally better than that for precipitation.	
19. keywords decadal prediction, MiKlip, Europe, meteorological extreme events, NAO, DSI, blockings, sea surface temperatures, AMV, AMO, teleconnections, process-oriented evaluation, predictability, climate modelling	
20. publisher --	21. price --