

Wechselwirkungen zwischen der Arktis und den mittleren Breiten

Dörthe Handorf¹

Gemeinsam mit: Ralf Jaiser¹, Annette Rinke¹, Klaus Dethloff¹,
Judah Cohen², Tetsu Nakamura³, Jinro Ukita⁴, Koji Yamazaki³

¹Alfred Wegener Institute, Helmholtz Zentrum für Polar- und Meeresforschung,
Forschungsstelle Potsdam

²Atmospheric and Environmental Research, Inc., Lexington, Massachusetts, USA

³Hokkaido University, Sapporo, Japan

⁴Niigata University, Niigata, Japan

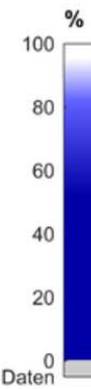
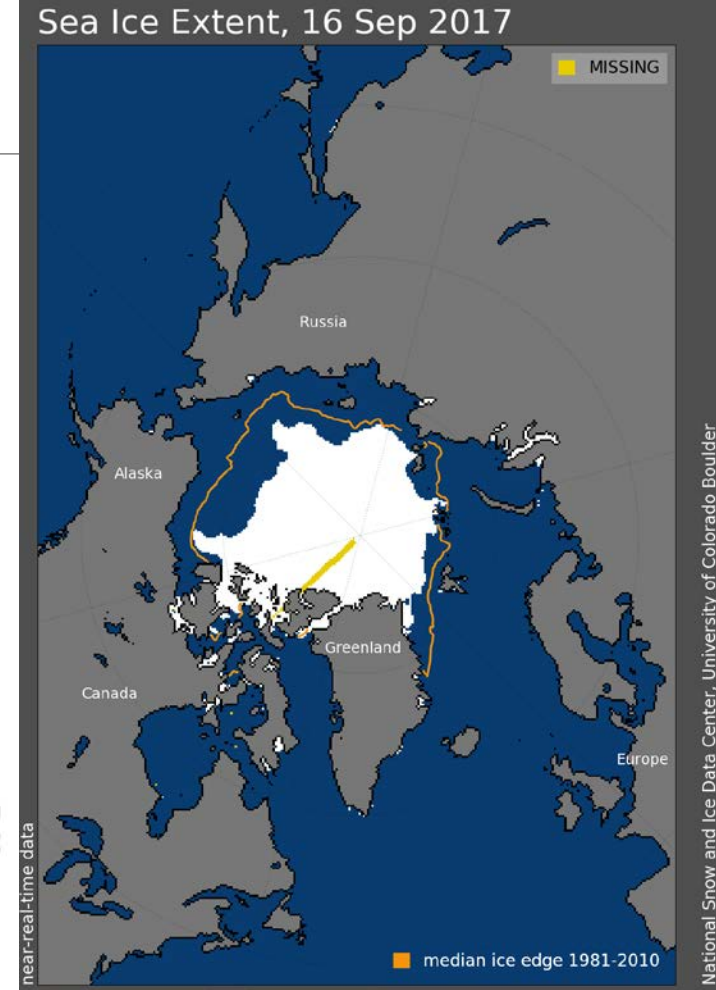
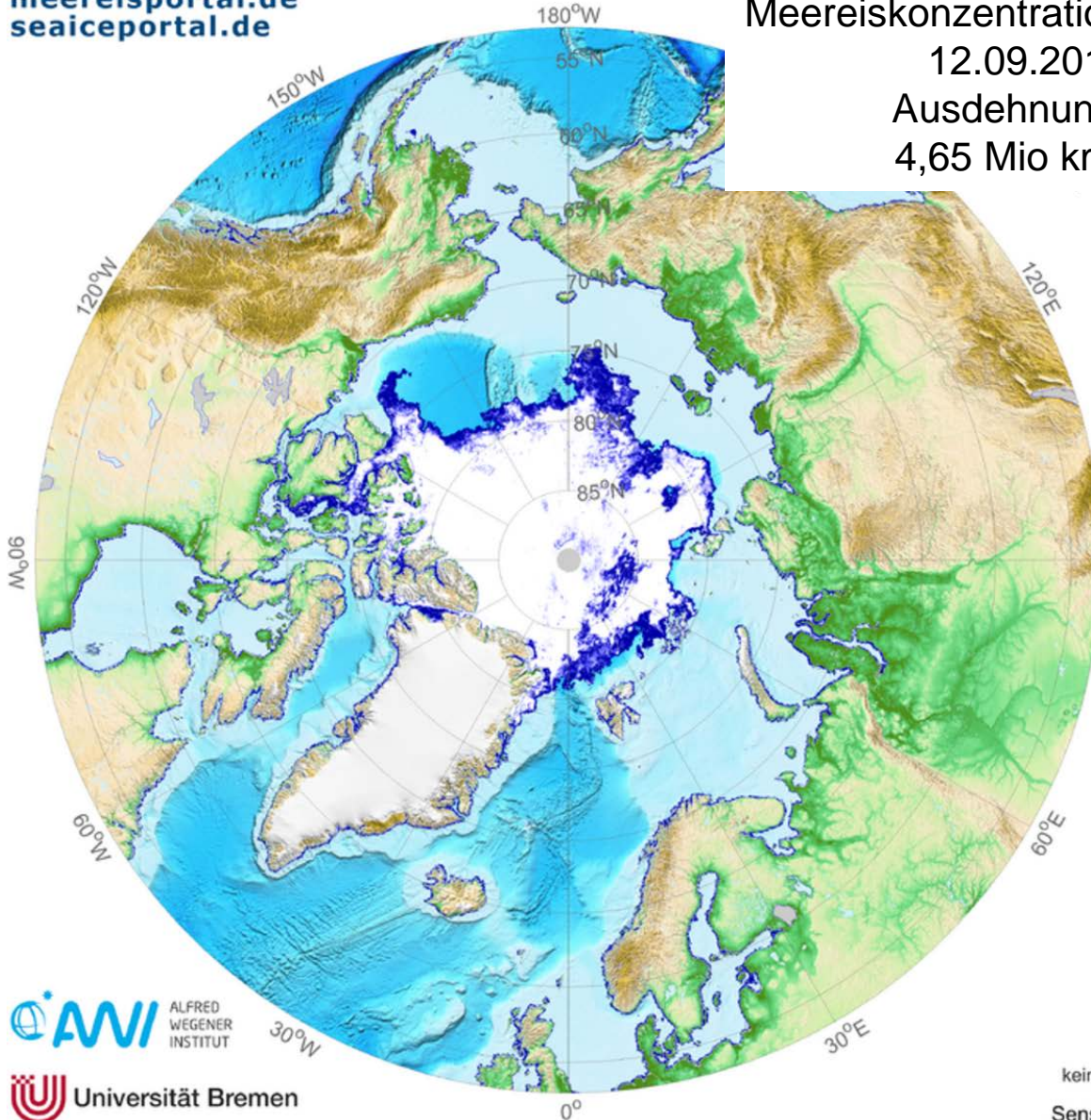
Kolloquium „Die Arktis in der globalisierten Welt“ 5. Oktober 2017

Arctic Sea Ice © AWI/Mario Hoppmann CC-BY 4.0

Die aktuelle Situation in der Arktis – Das Meereisminimum

meereisportal.de
seaiceportal.de

Meereiskonzentration
12.09.2017
Ausdehnung:
4,65 Mio km²

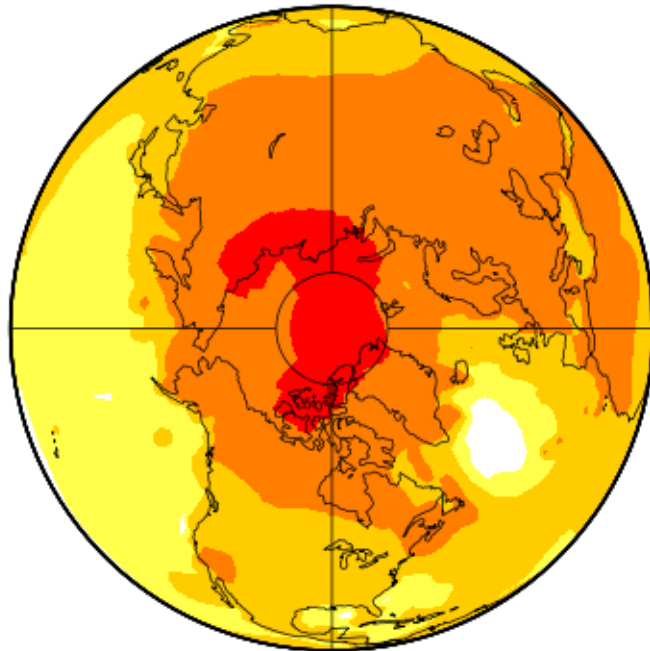
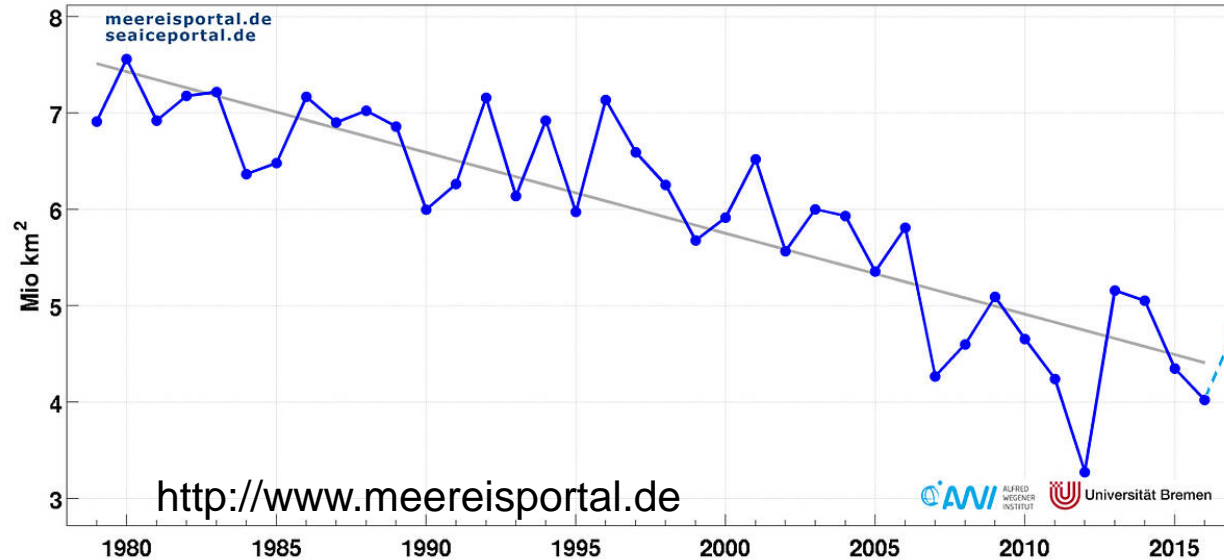


Sensor: AMSR2

- Meereisrückgang über Beaufortsee, Ostsibirischer See, Laptev-, Kara- und nördlicher Barentssee

Arktische Verstärkung und Rückgang des arktischen Meereises

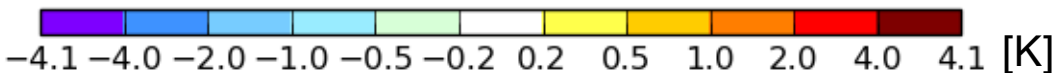
Rückgang der arktischen Meereisausdehnung im September, 1979-2017



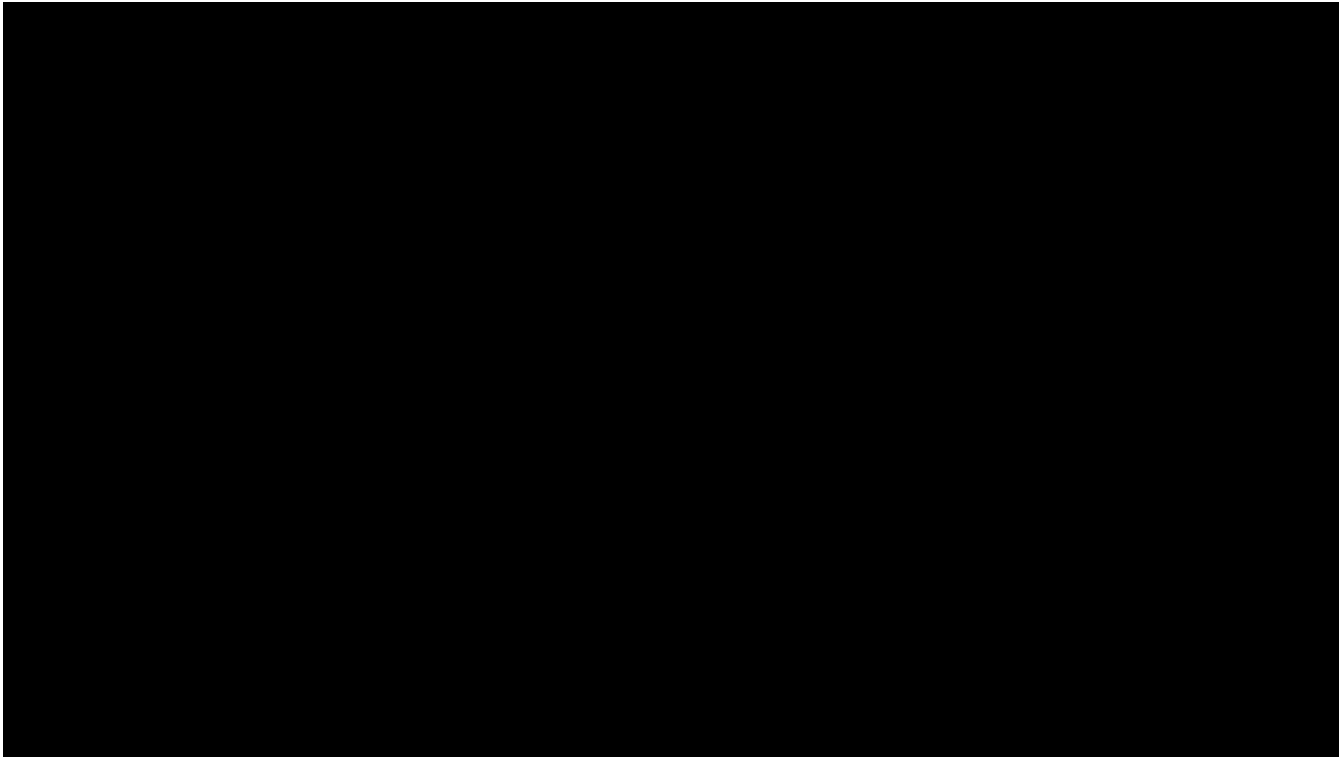
Arktische Verstärkung

Anomalien des Jahresmittels der bodennahen Lufttemperatur 2007-2016 zum Mittel 1951-1980

Goddard Institute for Space Studies
<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>



Polarfront-Strahlstrom in ca. 10 km Höhe



MERRA data, Jan. 2012, NASA

Farbig: Windgeschwindigkeit

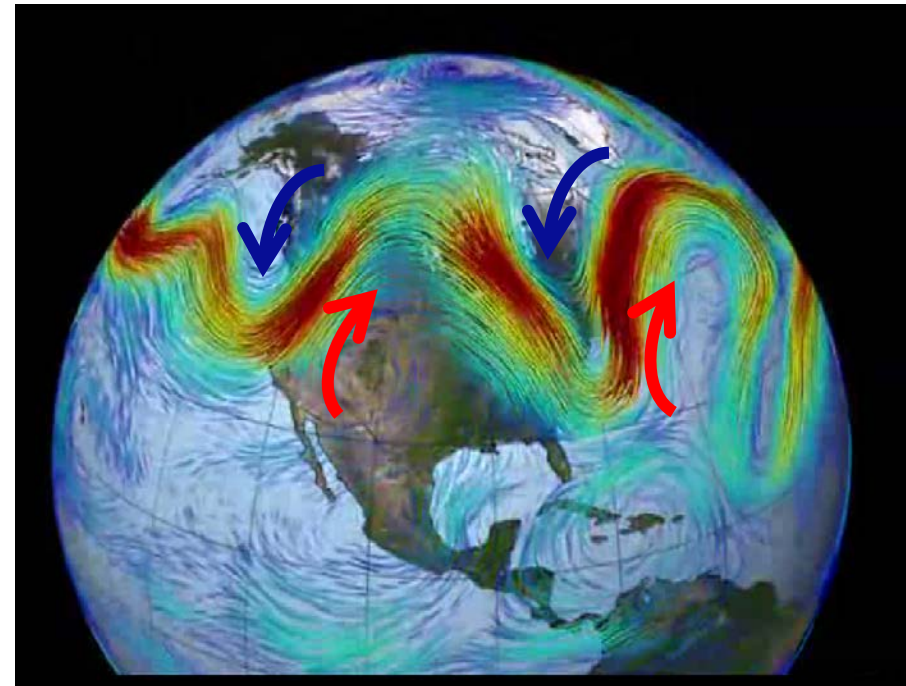
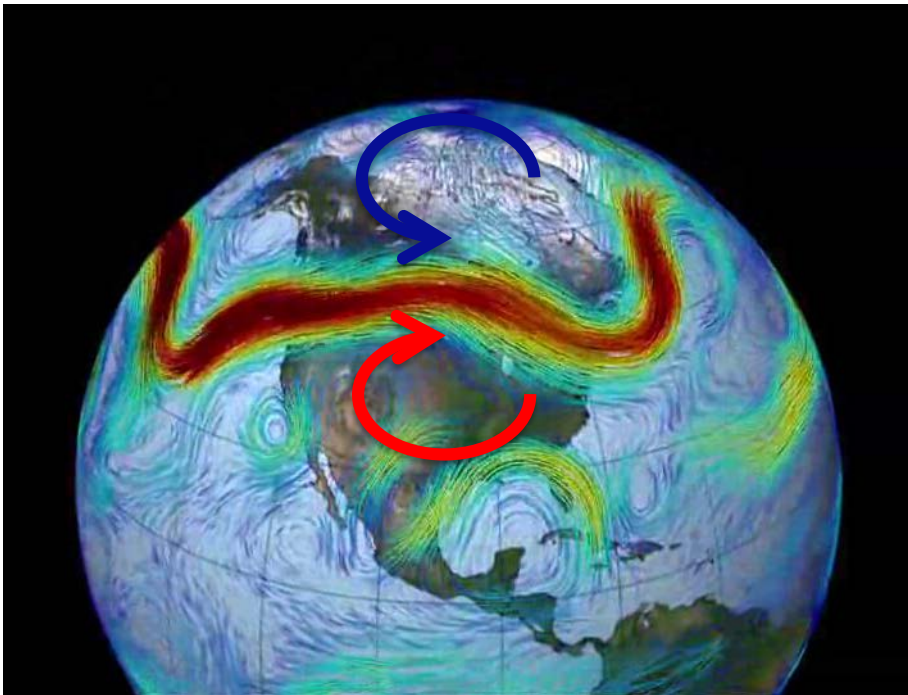
Polarfront-Strahlstrom in ca. 10 km Höhe Zwei Zustände der atmosphärischen Zirkulation

Zonaler Strahlstrom

Planetare Wellen mit kleiner Amplitude

Mäandrierender Strahlstrom

Planetare Wellen mit großer Amplitude



MERRA Daten, Jan. 2012, NASA

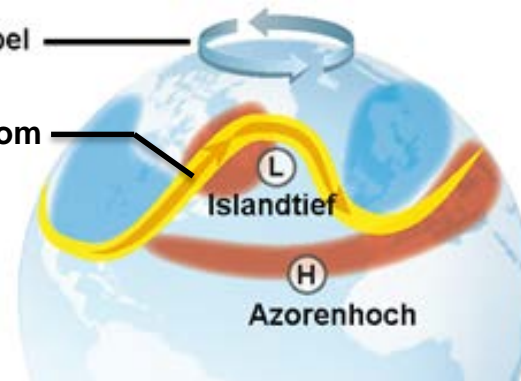
Zwei Zustände der atmosphärischen Zirkulation über dem Nordatlantisch-Europäischem Sektor

Zonaler Strahlstrom
Planetare Wellen mit kleiner Amplitude



Polarwirbel

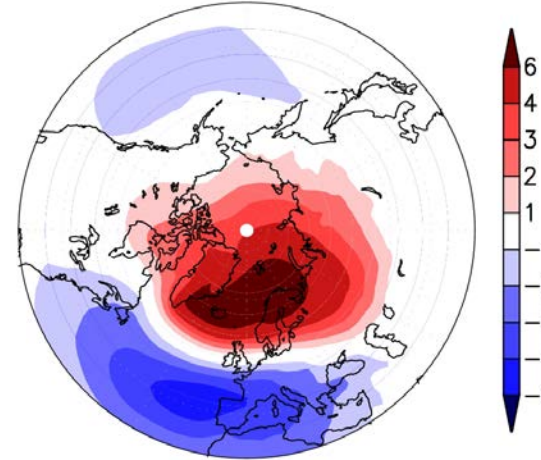
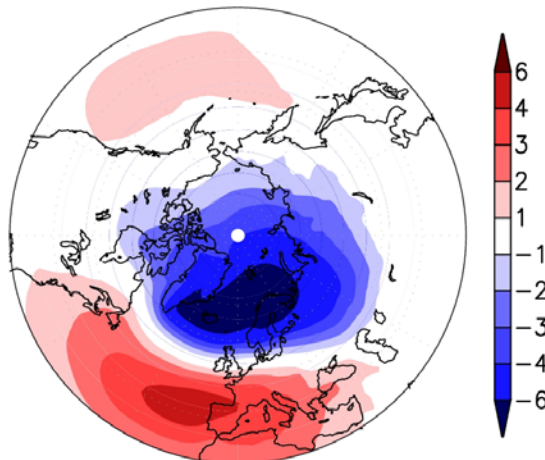
Strahlstrom



Mäandrierender Strahlstrom
Planetare Wellen mit großer Amplitude

Korrespondierendes **Anomalienmuster des Bodenluftdrucks**
(Abweichung von mittlerer Druckverteilung)

Nordatlantische Oszillation in positiver Phase (NAO+)



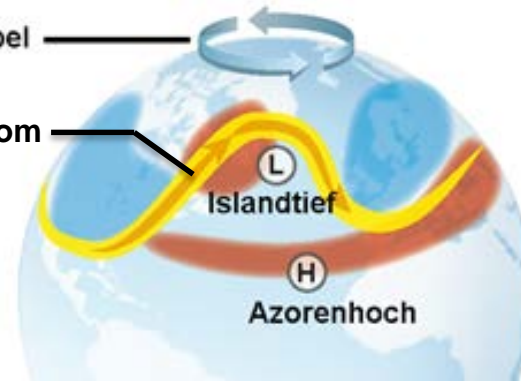
Nordatlantische Oszillation in negativer Phase (NAO-)

Zwei Zustände der atmosphärischen Zirkulation über dem Nordatlantisch-Europäischem Sektor

Zonaler Strahlstrom
Planetare Wellen mit kleiner Amplitude



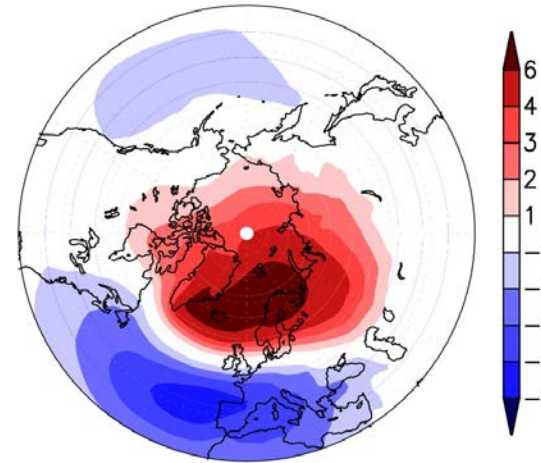
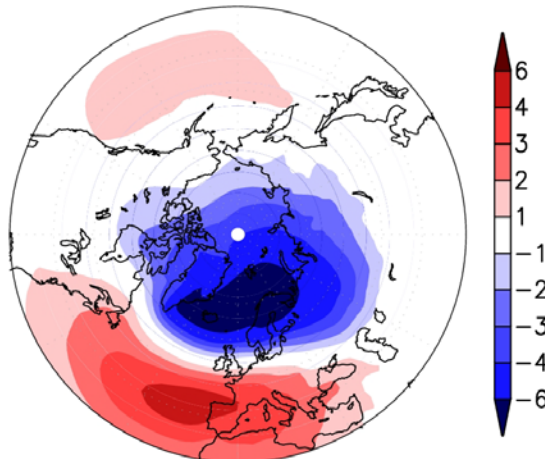
Polarwirbel
Strahlstrom



Mäandrierender Strahlstrom
Planetare Wellen mit großer Amplitude

➤ **Können arktische Änderungen die Häufigkeit des Auftretens von bevorzugten Zirkulationszuständen (NAO-Phasen) beeinflussen?**

Nordatlantische Oszillation in positiver Phase (NAO+)



Nordatlantische Oszillation in negativer Phase (NAO-)

Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen

Reduziertes Meereis im August/September

Zusätzliche Wärme im Ozean gespeichert

Wärmere Obfl.-Temperaturen in nachfolgenden Monaten

Verringerte vertikale Stabilität der Atmosphäre

**Synoptisch-
skalige
arktische
Reaktion**

**Ein möglicher dynamischer
Mechanismus für Verbindungen
zwischen der Arktis und
den mittleren Breiten?**

Abgeschwächter stratosphärischer Polarwirbel/
Negative Nordatlantische Oszillation

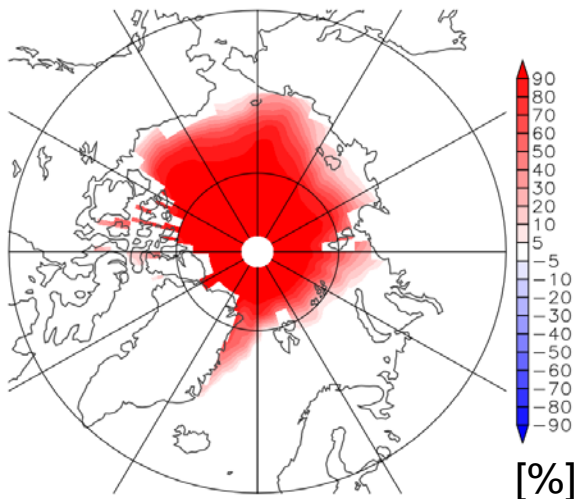
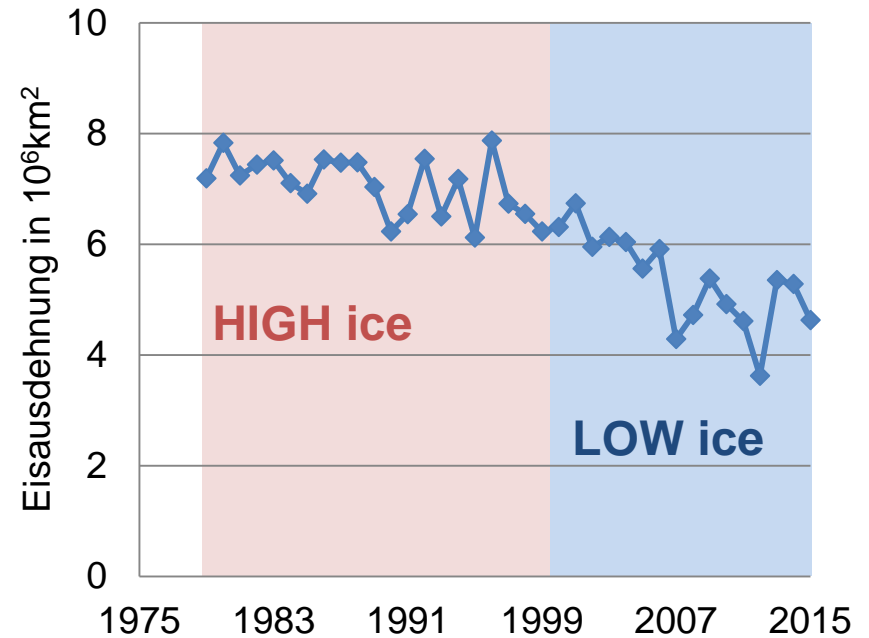
Erhöhte Wahrscheinlichkeit für kalte Winter
über Eurasien

**Großskalige
Reaktion**

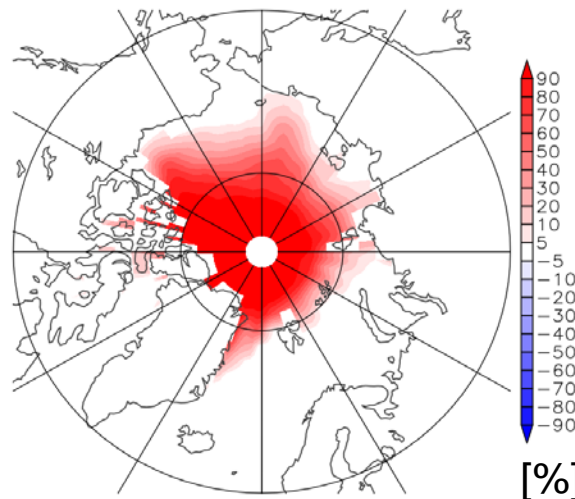
Änderungen
der Schnee-
bedeckung

Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen – ERA-Interim Daten

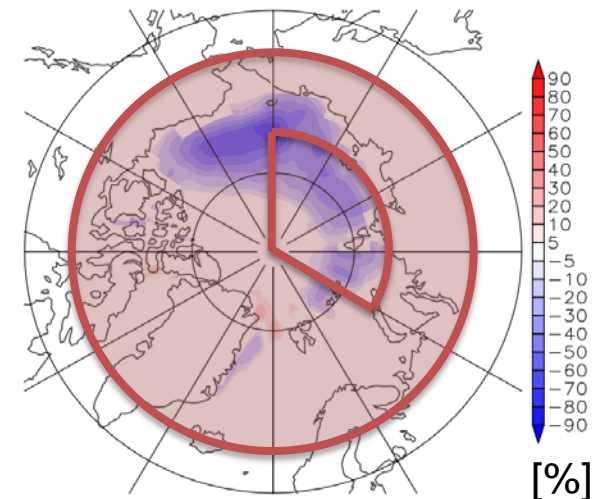
- **ERA-Interim Reanalyse Datensatz**
- Daten von Wettervorhersagemodell mit assimilierten atmosph. Beobachtungen
- Analysen für 1979-2014
- **September Eiskonzentration (%)**
- **Hohe Meereisausdehnung**
HIGH ice (1979/80-1999/00)
- **Geringe Meereisausdehnung**
LOW ice (2000/01-2013/14)



HIGH



LOW

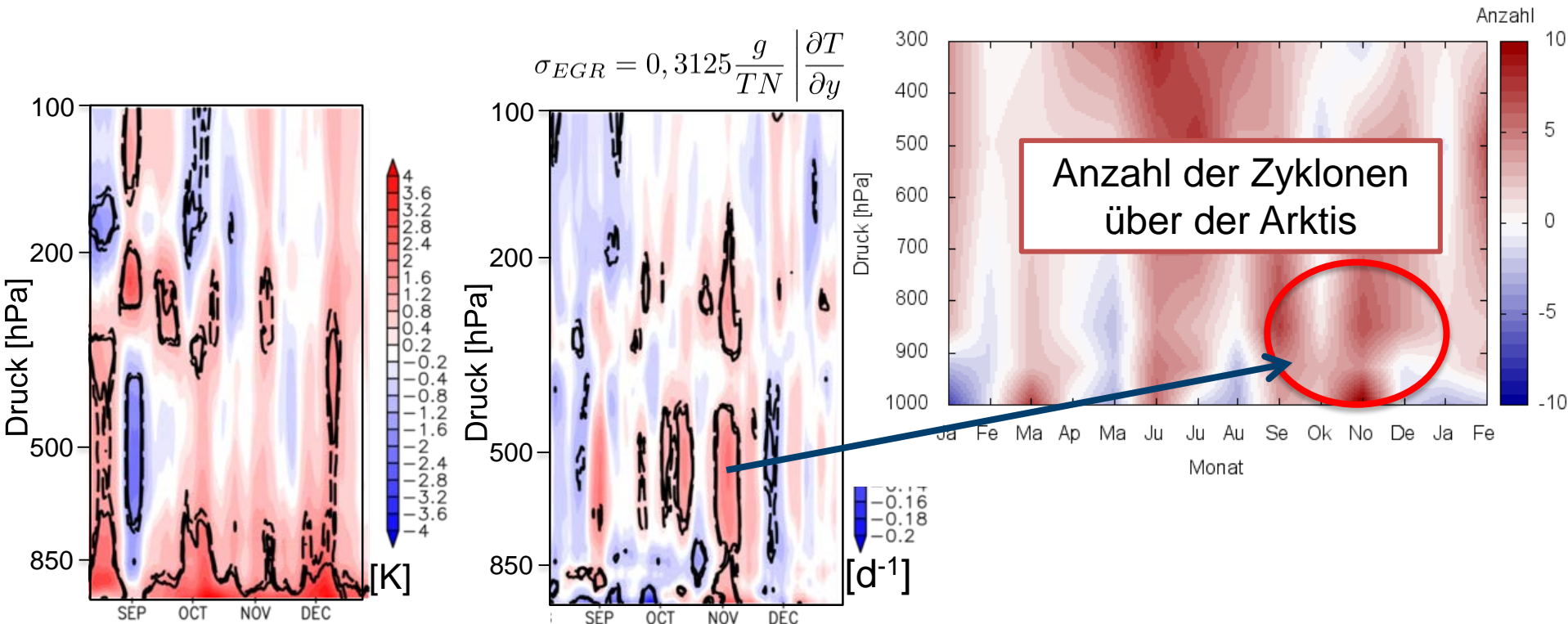


LOW-HIGH

Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen – ERA-Interim Daten

Barokline Reaktion in der Arktis im Herbst

low minus high ice Bedingungen in ERA-Interim, Gebietsmittel über sibirischen Arktischen Ozean



Temperatur
höhere Temperaturen in unterer Troposphäre



Eady Wachstumsrate
Erhöhte Baroklinität in mittlerer Troposphäre
Intensivierung der Zyklonenentstehung

Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen – ERA-Interim Daten



✓ **Reduziertes Meereis im August/September**

✓ **Zusätzliche Wärme im Ozean gespeichert**

✓ **Wärmere Obfl.-Temperaturen in nachfolgenden Monaten**

✓ **Verringerte vertikale Stabilität der Atmosphäre**

✓ **Verstärkte Wettersysteme im Herbst**

Synoptischskalige arktische Reaktion

Änderungen der Schneebedeckung

Einfluss auf planetare Wellen im Spätherbst & Winter-Änderungen in der Wellenausbreitung

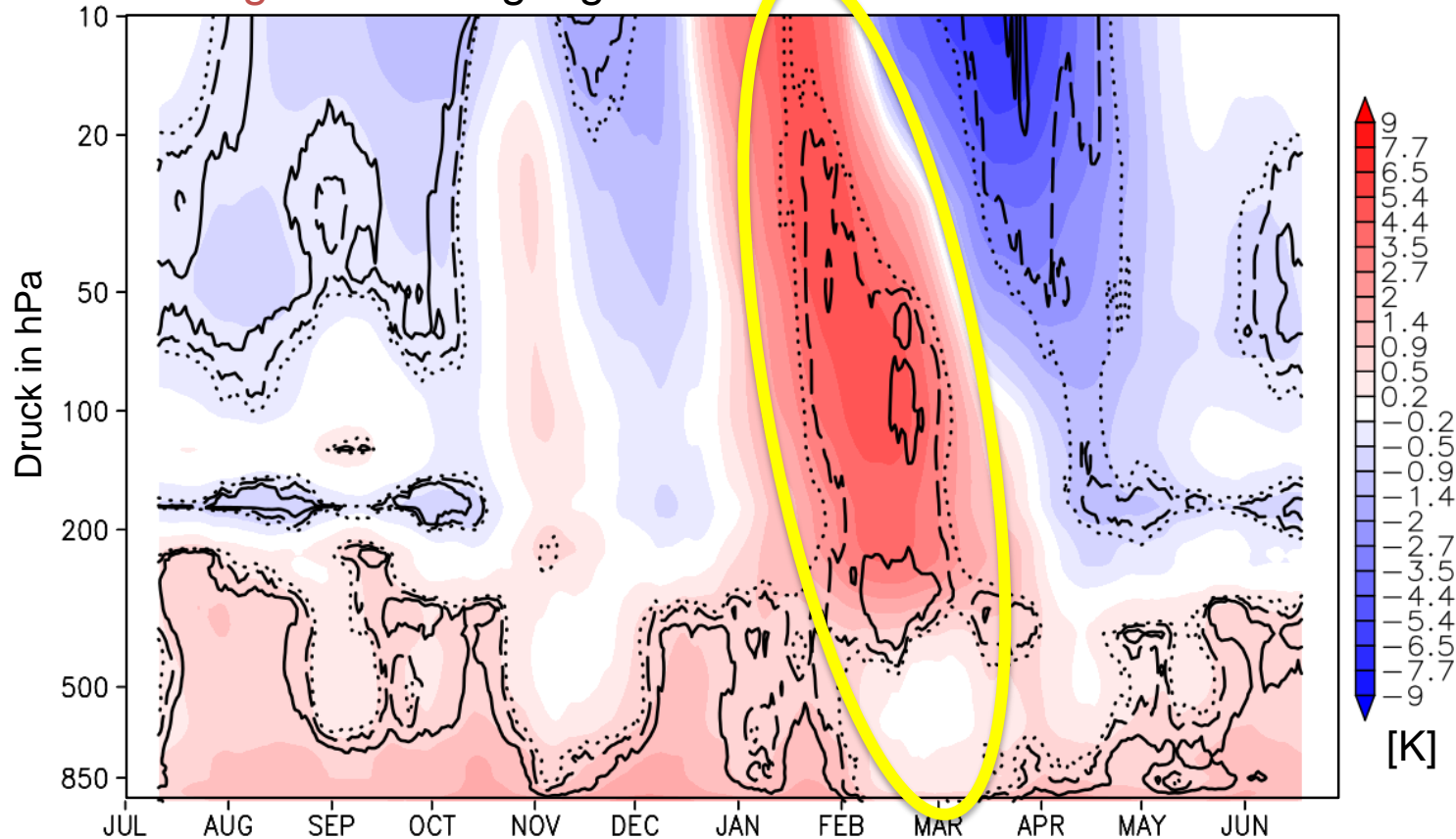
Abgeschwächter stratosphärischer Polarwirbel/
Negative Nordatlantische Oszillation

Erhöhte Wahrscheinlichkeit für kalte Winter über Eurasien

Großskalige Reaktion

Temperaturänderungen über der Polarregion – ERA-Interim Daten

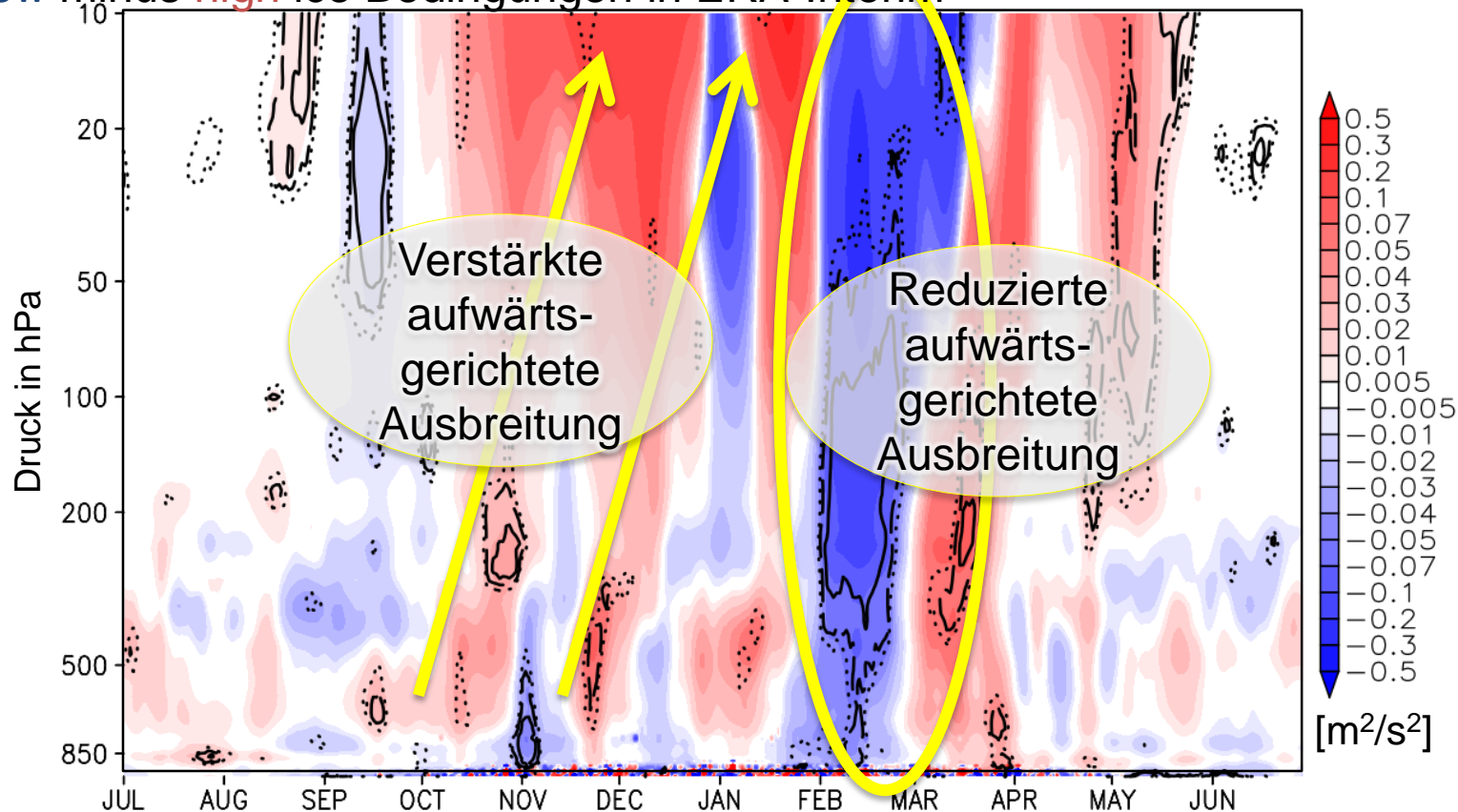
Temperatur [K], Gebietsmittel über 65°N-85°N
für low minus high ice Bedingungen in ERA-Interim



- Ganzjährig höhere troposphärische Temperaturen
 - Globale Erwärmung
 - Arktische Verstärkung
- Starke signifikante Erwärmung der polaren Stratosphäre im Spätwinter
 - Störung/Zusammenbruch des Polarwirbels? → Ja, strato. W-Wind reduziert

Änderungen der vertikalen Ausbreitung planetarer Wellen über der Polarregion – ERA-Interim Daten

Vertikalkomponente Eliassen-Palm Flussvektor [m^2/s^2] Gebietsmittel über 65°N - 85°N für low minus high ice Bedingungen in ERA-Interim



- Verstärkte aufwärtsgerichtete Ausbreitung planetarer Wellen im Herbst/Frühwinter
 - Störung des Polarwirbels → Zusammenbruch des Wirbels
- Vertikale Wellenausbreitung ist im Februar abgeschwächt aufgrund des Zusammenbruch des Wirbels
 - Ohne W-Wind keine vertikale Wellenausbreitung möglich

Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen – ERA-Interim Daten



✓ **Reduziertes Meereis im August/September**

✓ **Zusätzliche Wärme im Ozean gespeichert**

✓ **Wärmere Obfl.-Temperaturen in nachfolgenden Monaten**

✓ **Verringerte vertikale Stabilität der Atmosphäre**

✓ **Verstärkte Wettersysteme im Herbst**

**Synoptisch-
skalige
arktische
Reaktion**

Änderungen
der Schnee-
bedeckung

✓ **Einfluss auf planetare Wellen im Spätherbst & Winter-
Änderungen in der Wellenausbreitung**

**Abgeschwächter stratosphärischer Polarwirbel/
Negative Nordatlantische Oszillation**

**Erhöhte Wahrscheinlichkeit für kalte Winter
über Eurasien**

**Großskalige
Reaktion**

Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen– ERA-Interim Daten

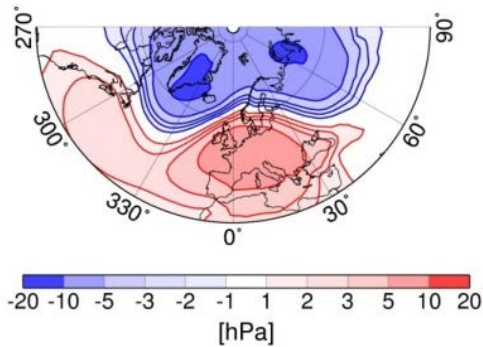


Bevorzugte großskalige Zirkulationsmuster (Zirkulationsregime) über der nordatlantisch-eurasischen Region

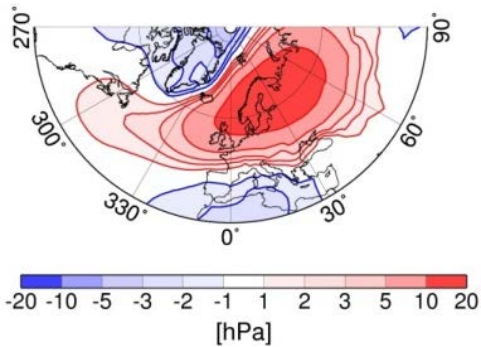
Cluster-Analyse von täglichen Feldern des Bodenluftdrucks
ERA-Interim 1979-2015, DJFM

Anomalien des Bodenluftdrucks der fünf Zirkulationsregime

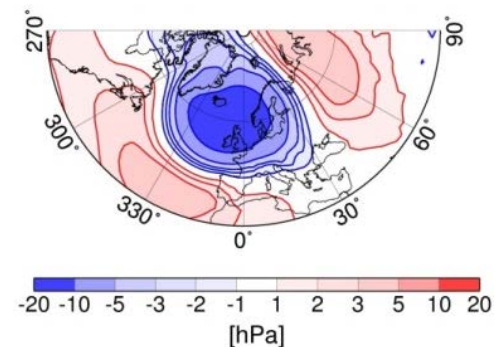
NAO+



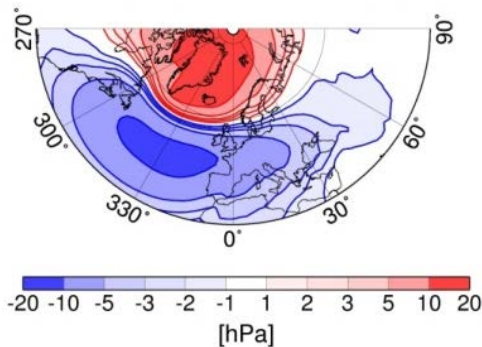
SCAN/SIB Blocking



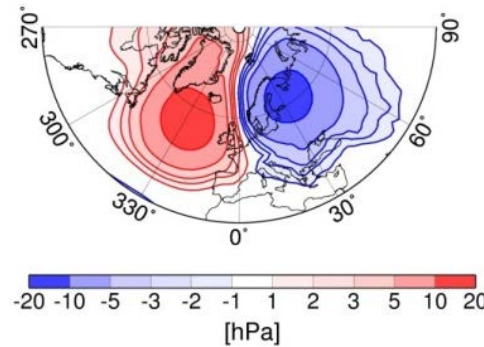
ATL-



NAO-



DIPOLE

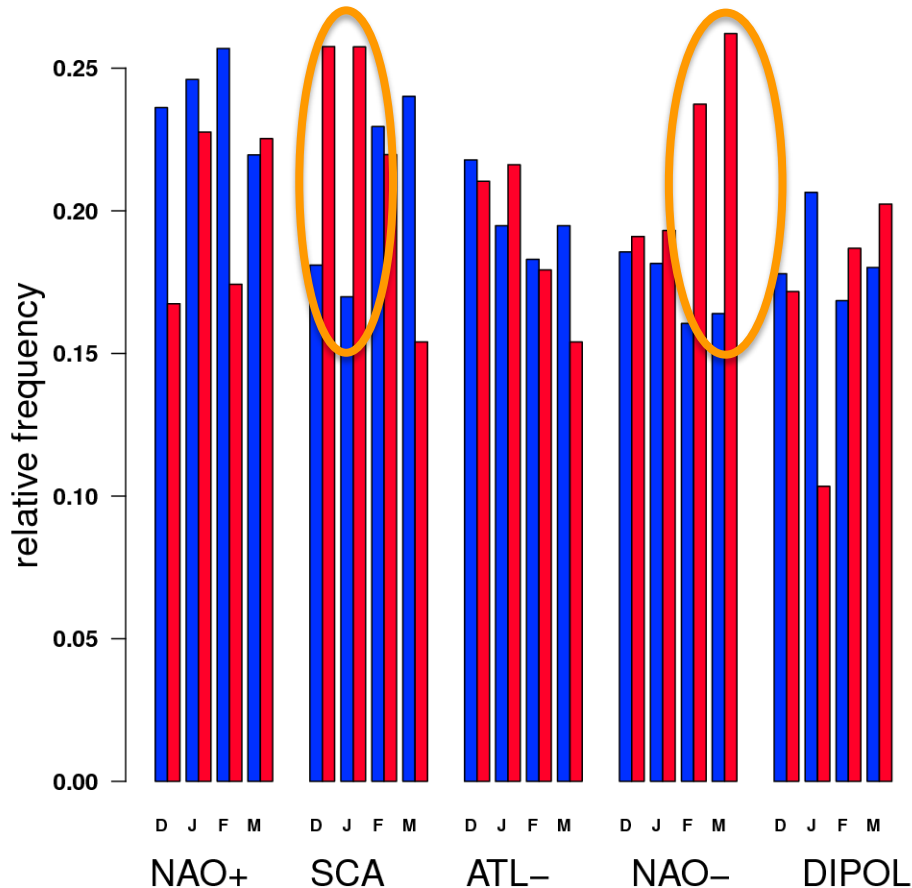


Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen– ERA-Interim Daten



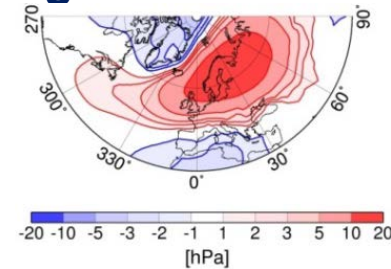
Häufigkeit des Auftretens der bevorzugten großskaligen Zirkulationsmuster über der nordatlantisch-eurasischen Region

Relative Häufigkeit des Auftretens für **high ice Bedingungen (blau)** & für **low ice Bedingungen (rote Balken)**

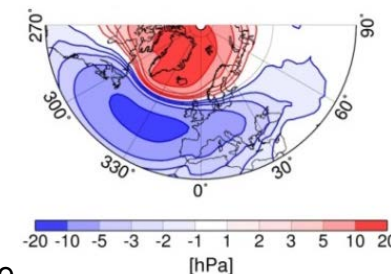


Zirkulationsregime, die signifikant häufiger auftreten für **low ice Bedingungen**

➤ **Dezember und Januar**
Häufigeres Auftreten von **SCAN/SIB Blocking**



➤ **Februar und März**
Häufigeres Auftreten von **NAO-**



Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen

Reduziertes Meereis im August/September

Zusätzliche Wärme im Ozean gespeichert

Wärmere Obfl.-Temperaturen in nachfolgenden Monaten

Verringerte vertikale Stabilität der Atmosphäre

**Herausforderung:
Repräsentation in Klimamodellen?**

Abgeschwächter stratosphärischer Polarwirbel/
Negative Nordatlantische Oszillation

Erhöhte Wahrscheinlichkeit für kalte Winter
über Eurasien

**Synoptisch-
skalige
arktische
Reaktion**

**Großskalige
Reaktion**

Änderungen
der Schnee-
bedeckung

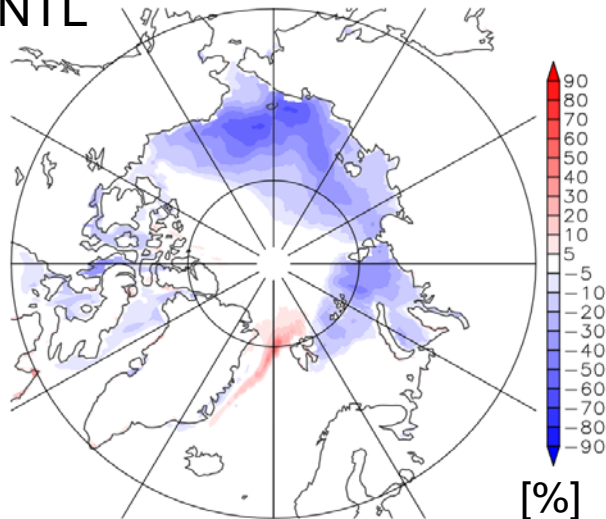
Darstellung des Einflusses des Meereisrückgangs in Klimamodellen



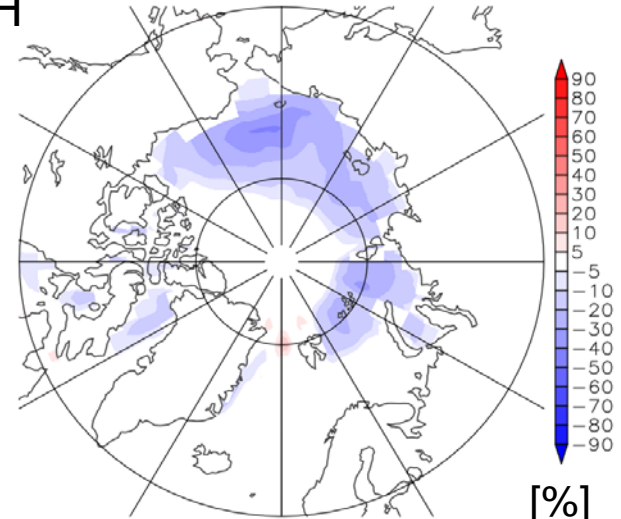
- Modell: AFES (Atmospheric general circulation model For Earth Simulator)
- 2 Modellsimulationen, je 60 Jahre Zeitscheibenexperimente
 - CNTL: High ice Bedingungen, Beobachtungen von 1979 bis 1983
 - NICE: Low ice Bedingungen, Beobachtungen von 2005 bis 2009
 - **Nur Meereis ist zwischen den Simulationen unterschiedlich**
- Verbesserte Darstellung der Wärmeflüsse durch das Meereis
- Nakamura et al. (2015, JGR); Jaiser et al. (2016, submitted)

Eiskonzentrationskarten im Herbst (SON) für low minus high ice Bedingungen

AFES
NICE-CNTL



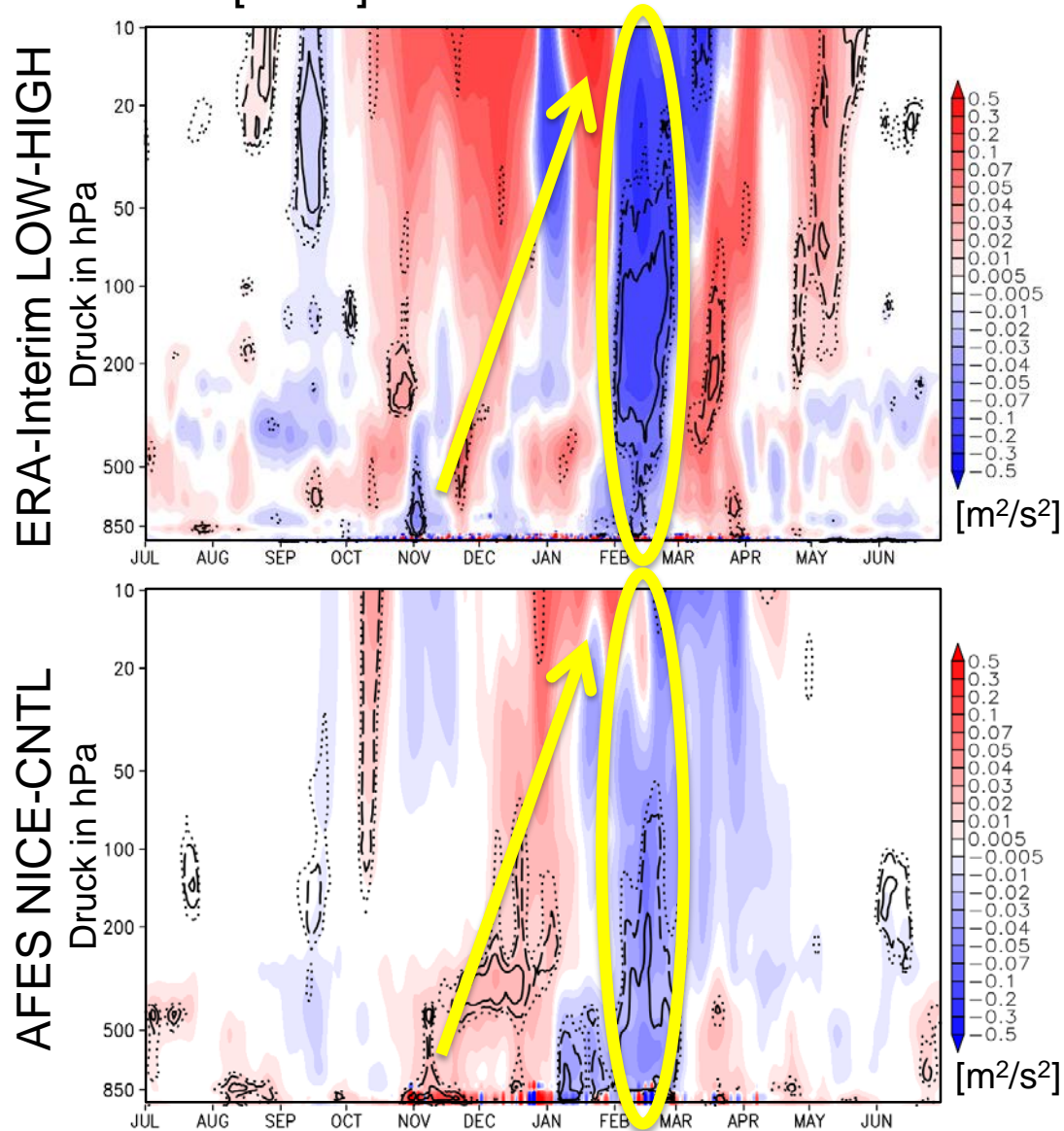
ERA-Interim
LOW-HIGH



Änderungen der vertikalen Ausbreitung planetarer Wellen über der Polarregion - Modell & ERA-Interim

Vertikalkomponente Eliassen-Palm Flussvektor [m^2/s^2] Gebietsmittel über 65°N - 85°N für low minus high ice Bedingungen

- Ähnliche Anomalien im Winter
- Reduzierter vertikaler Fluss im Februar ist hochsignifikant in beiden Datensätzen
- **Diese Übereinstimmung zeigt den deutlichen Einfluss von Meereisänderungen auf atmosphärische Zirkulationsänderungen**
- ERA-Interim ist im Frühwinter deutlich gestörter
- Einfluss zusätzlicher Prozesse

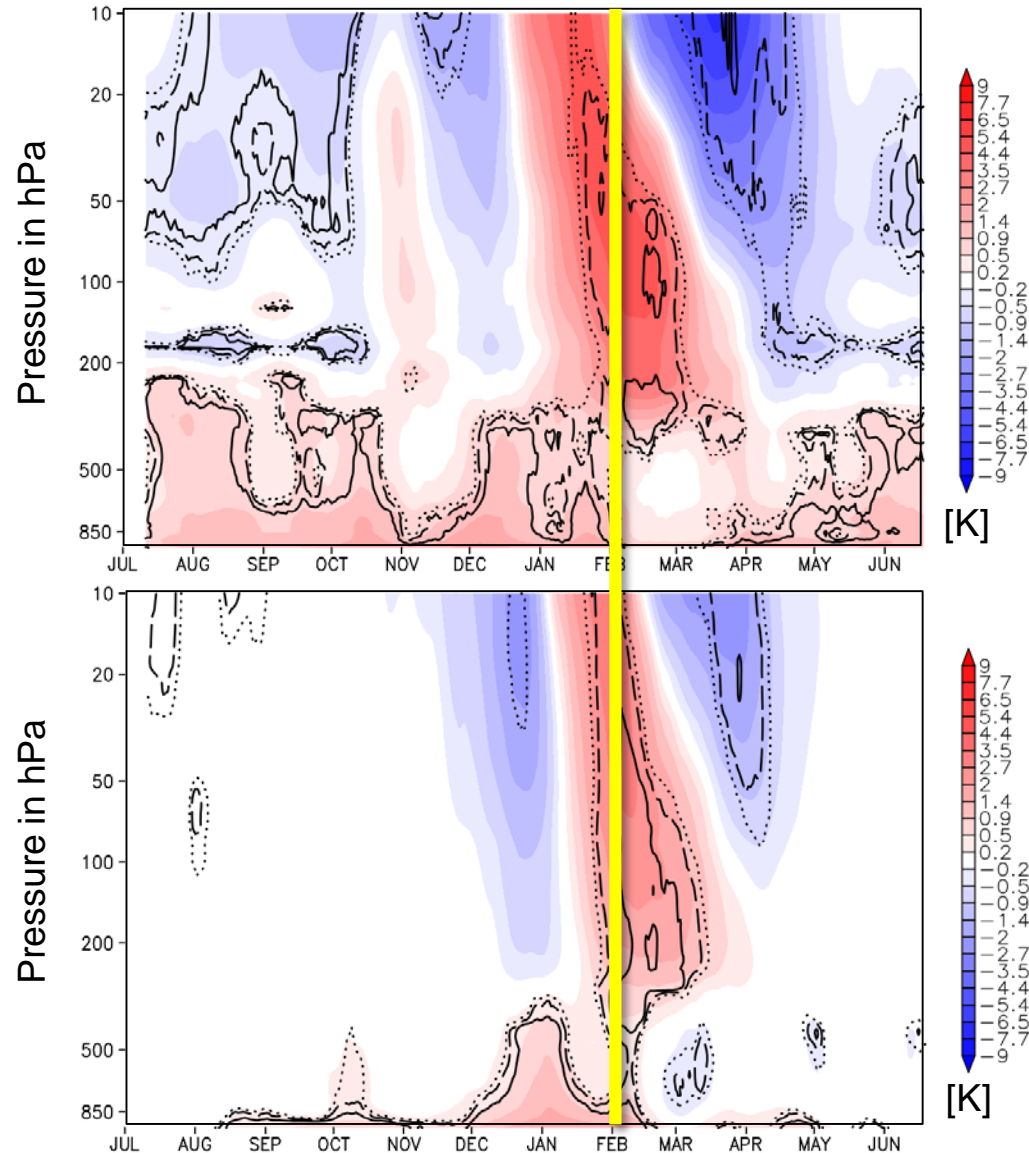


Temperaturänderungen über der Polarregion - Klimamodell & ERA-Interim Daten

Temperatur [K], Gebietsmittel über 65°N-85°N
für low minus high ice Bedingungen

- Sehr gute Übereinstimmung zwischen Modell und Reanalyse im Winter (und Herbst)
- ERA-Interim zeigt generelles Signal der globalen Erwärmung
- AFES bodennahe Erwärmung allein durch Meereisrückgang
- Atmosphärische Modelle mit realistischem Meereisantrieb können die dynamischen Prozesse (Tropo-Strato-WW) reproduzieren und zeigen das beobachtete **negative NAO Signal im (Spät)-Winter**

MODEL AFES NICE-CNTL ERA-Interim LOW-HIGH



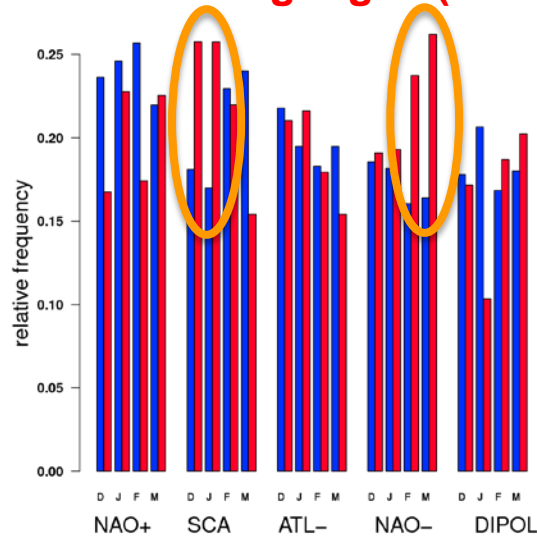
Meereisrückgang & nachfolgende atmosphärische Zirkulationsänderungen – Klimamodel & ERA-Interim

Bevorzugte Zirkulationsmuster über der nordatlantisch-eurasischen Region

Relative Häufigkeit des Auftretens für high ice Bedingungen (blau) & für low ice Bedingungen (rote Balken)

Zirkulationsregime, die signifikant häufiger auftreten für low ice Bedingungen

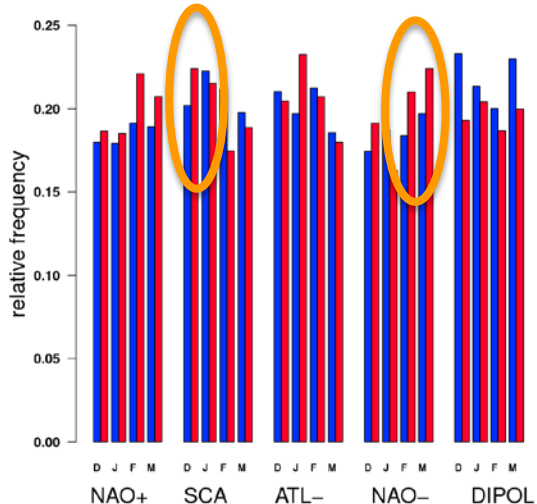
ERA-Interim



➤ **Dezember und Januar**
Häufigeres Auftreten von **SCAN/SIB Blocking**

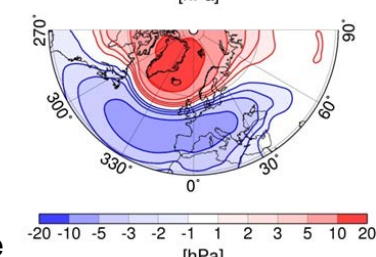
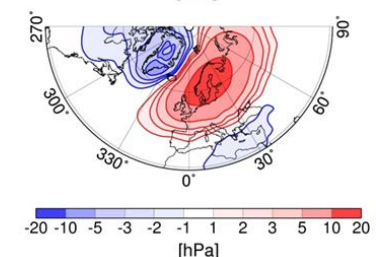
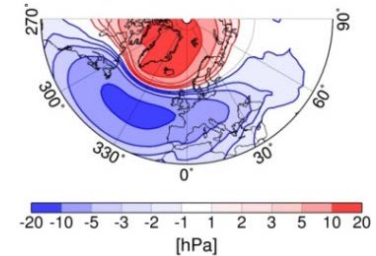
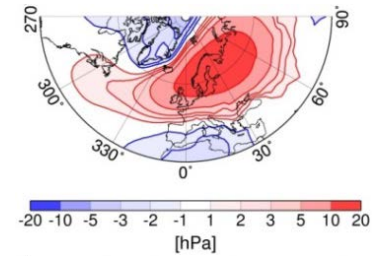
➤ **Februar und März**
Häufigeres Auftreten von **NAO-**

Modell AFES

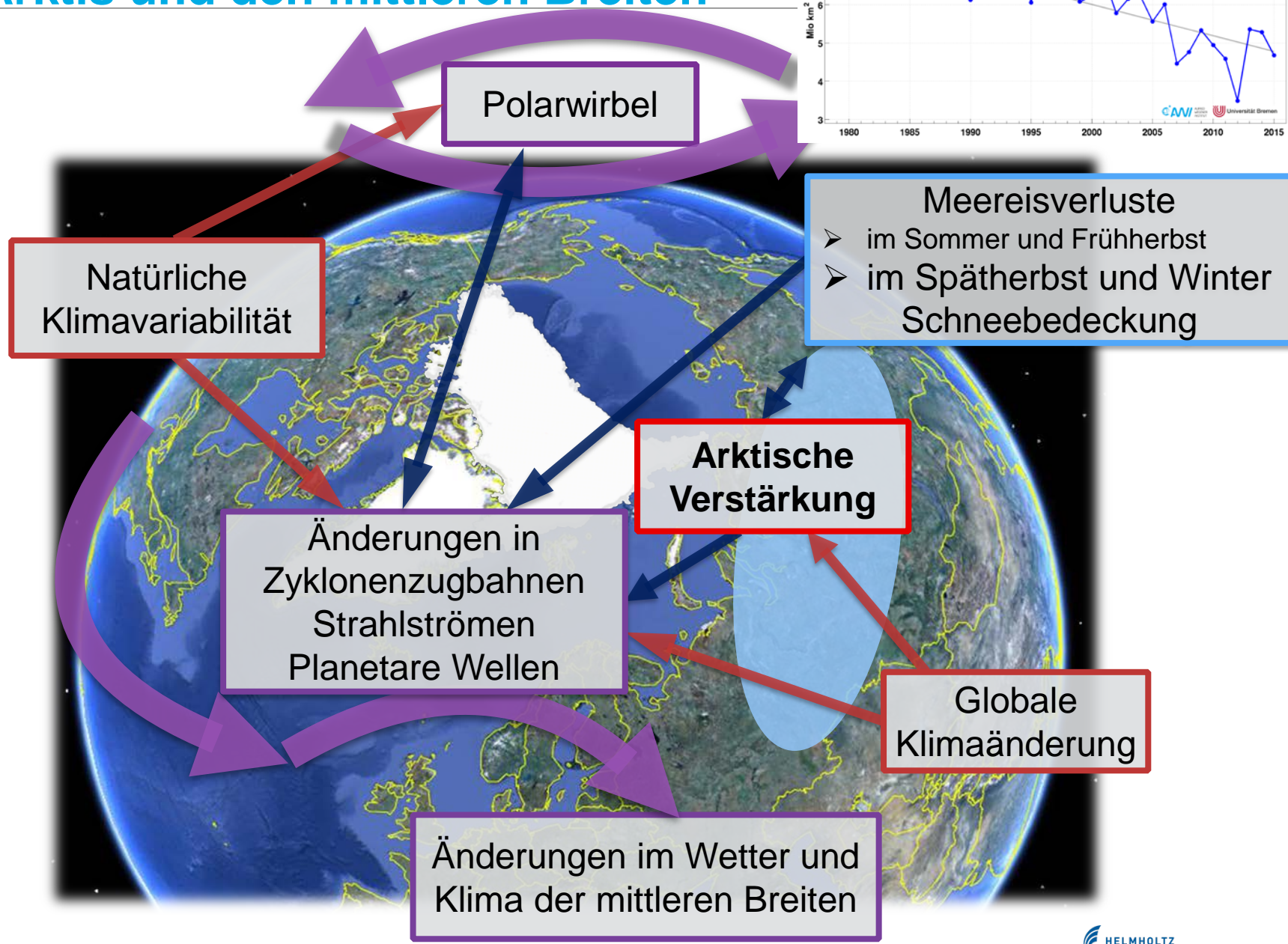
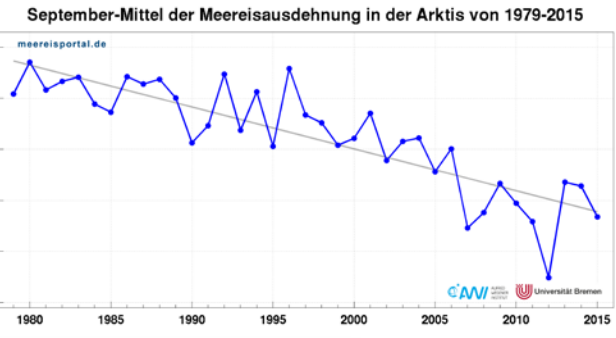


➤ **Dezember**
Häufigeres Auftreten von **SCAN/SIB Blocking**

➤ **Februar und März**
Häufigeres Auftreten von **NAO-**



Dynamische Verbindungswege zwischen der Arktis und den mittleren Breiten



Arktische Meereisänderungen sind bedeutender Antrieb für atmosphärische Zirkulationsänderungen

- Änderungen im Meereisantrieb ändern die Häufigkeit des Auftretens der **bevorzugten Zirkulationsregime** der chaotischen Atmosphäre
- Die Troposphäre-Stratosphäre-Wechselwirkungen sind für die dynamischen Verbindungswege zwischen der Arktis und den mittleren Breiten entscheidend
- Atmosphärische Modelle mit realistischem Meereisantrieb reproduzieren das beobachtete **negative NAO Signal im (Spät)-Winter** und die zugehörigen Prozesse

Schlussfolgerungen für die Modellierung des Einflusses arktischer Klimaänderungen auf das Wetter und Klima in mittleren Breiten

- Grundlegende atmosphärendynamische Prozesse müssen hinreichend gut dargestellt sein, insbesondere Wellenanregung und Wellenausbreitung
- Adäquate Implementierung des Oberflächenantriebs ist wichtig
→ bedeutsam für gekoppelte Atmosphären-Ozean-Meereis-Modelle
- Potential für verbesserte **Vorhersagen auf Zeitskalen von Jahreszeiten bis Dekaden** und darauf aufbauenden Klimafolgen-Studien

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



AWI

ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR-
UND MEERESFORSCHUNG

Referenzen:

Crasemann, B., D. Handorf, R. Jaiser, K. Dethloff, T. Nakamura, J. Ukita, K. Yamazaki (2017), Can preferred atmospheric circulation patterns over the North Atlantic-Eurasian region be associated with Arctic sea ice loss? *Polar Sci.*, doi:10.1016/j.polar.2017.09.002

Cohen, J. J. A. Screen, J. C. Furtado, M. Barlow, D. Whittleston, D. Coumou, J. Francis, K. Dethloff, D. Entekhabi, J. Overland, J. Jones, (2014), Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*, 7, 627–637, doi:10.1038/ngeo2234

Handorf, D., R. Jaiser, K. Dethloff, A. Rinke, and J. Cohen (2015), Impacts of Arctic sea ice and continental snow cover changes on atmospheric winter teleconnections. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2015GL063203

Jaiser, R., K. Dethloff, D. Handorf, A. Rinke, and J. Cohen (2012), Planetary- and synoptic-scale feedbacks between tropospheric and sea ice cover changes in the Arctic, *Tellus, Ser. A*, 64, 11595, doi:10.3402/tellusa.v64i0.11595.

Jaiser, R., K. Dethloff, and D. Handorf (2013), Stratospheric response to Arctic sea ice retreat and associated planetary wave propagation changes, *Tellus, Ser. A*, 65, 19375, doi:10.3402/tellusa.v65i0.19375.

Jaiser, R., T. Nakamura, D. Handorf, K. Dethloff, J. Ukita, K. Yamazaki (2016), Atmospheric winter response to Arctic sea ice changes in reanalysis data and model simulations. *JGR*.

Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa, J. Ukita (2015), A negative phase shift of the winter AO/NAO due to the recent Arctic sea-ice reduction in late autumn. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 3209–3227, doi: 10.1002/2014JD022848.



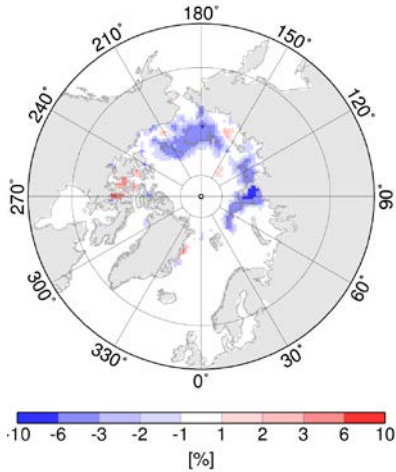
ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR-
UND MEERESFORSCHUNG

Zusatzfolien

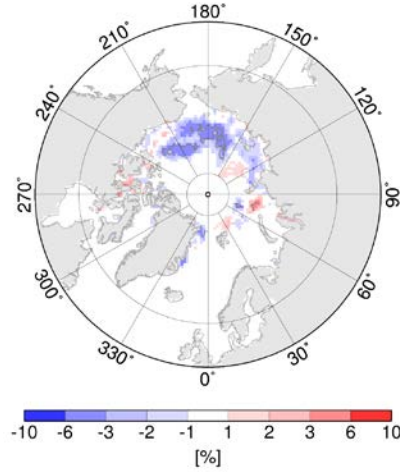
Sea ice retreat & subsequent atmospheric circulation changes – ERA-Interim data

Sea ice concentration

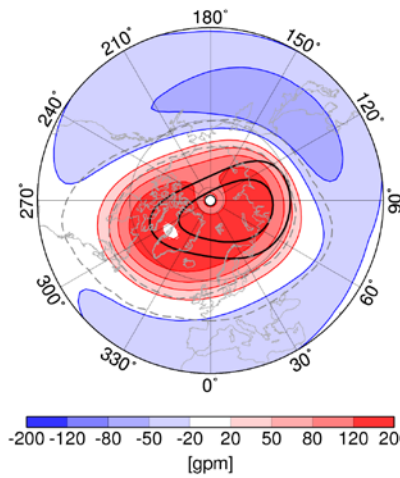
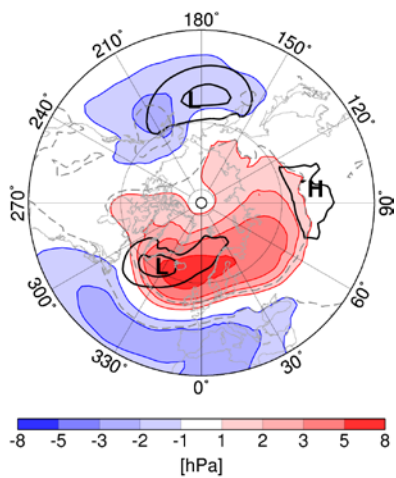
September



September



Atmospheric circulation



February

Winter

Sea level pressure

GPH 50hPa

36% explained Covariance

63% expl. Covariance

Planetary-scale response in Feb. Coupled Patterns 1979-2015

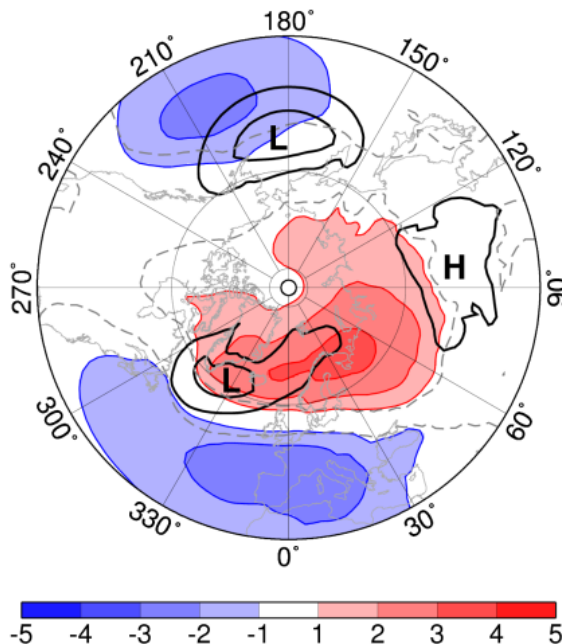
- Statistical relation between sea ice retreat and changes of atmospheric circulation patterns
- Changes of centers of action, similarity with pattern of **NAO** in negative phase
- Observed changes in troposphere and stratosphere

➤ **Challenge:**
Representation in models?

Arctic Oscillation signal in AFES

- AFES NICE minus CNTL shows very realistic sea ice anomalies
 - Realistic estimates of heat flux through sea ice
- AFES is able to show the negative AO response (Motivation)

Sea level pressure

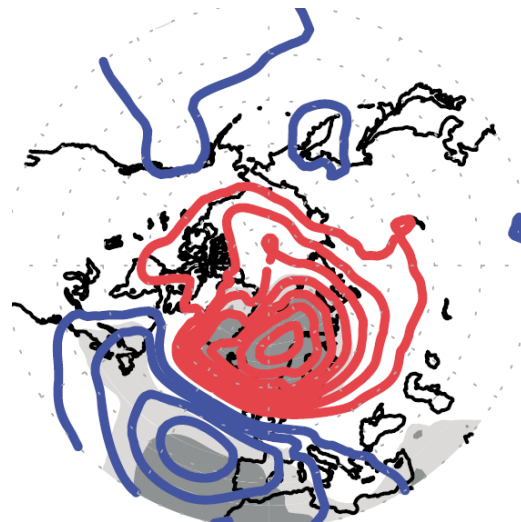


ERA-Interim

Low minus high

Jaiser et al. 2012

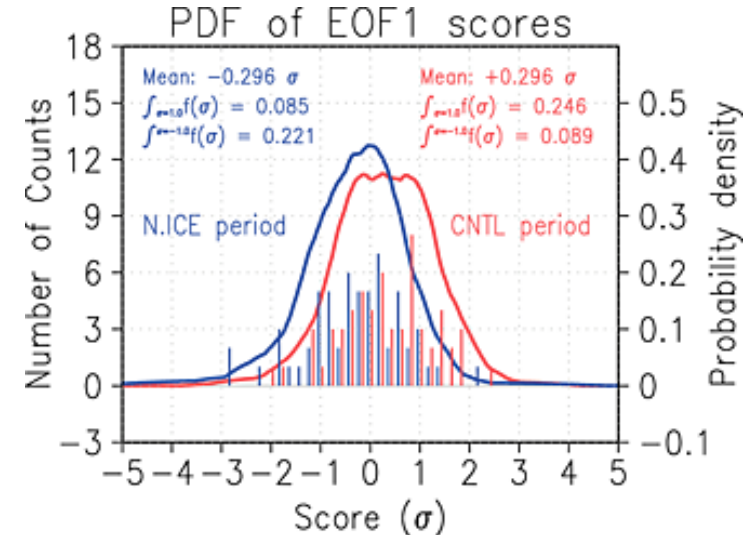
AO phase shift



AFES

NICE minus CNTL

Nakamura et al. 2015

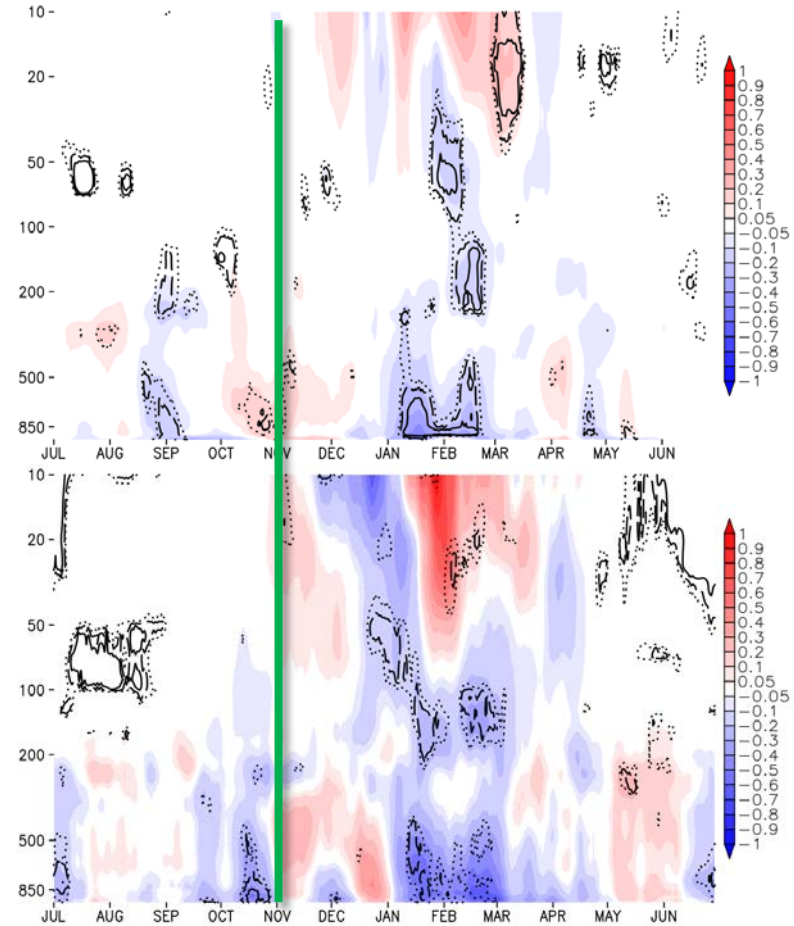
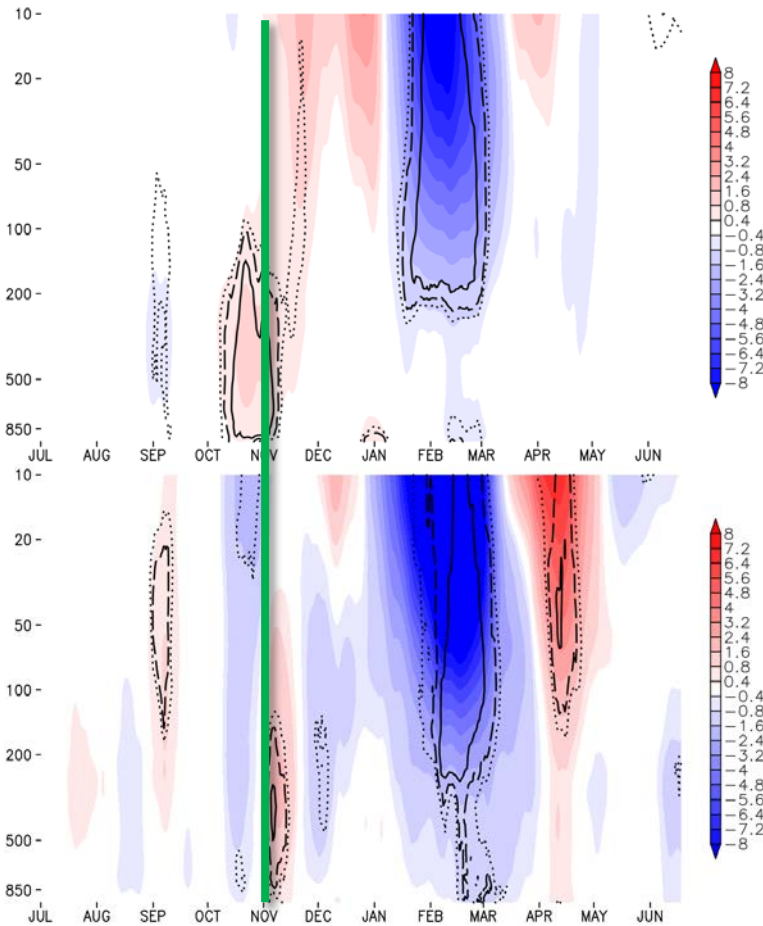


Polar cap mean 65°N-85°N low ice minus high ice conditions

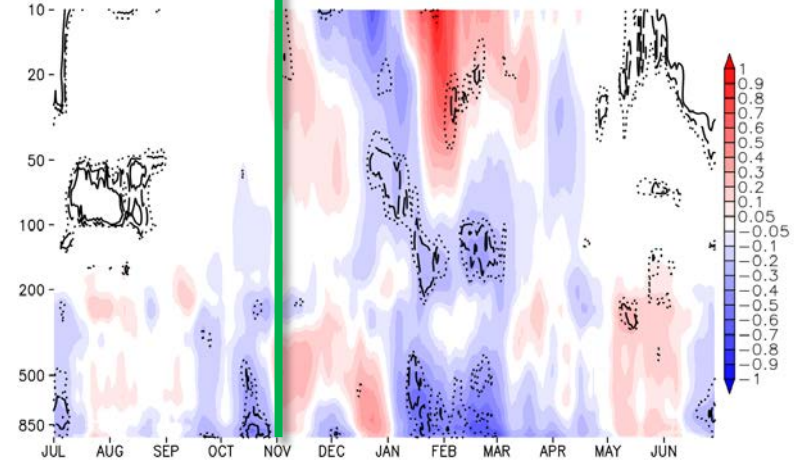
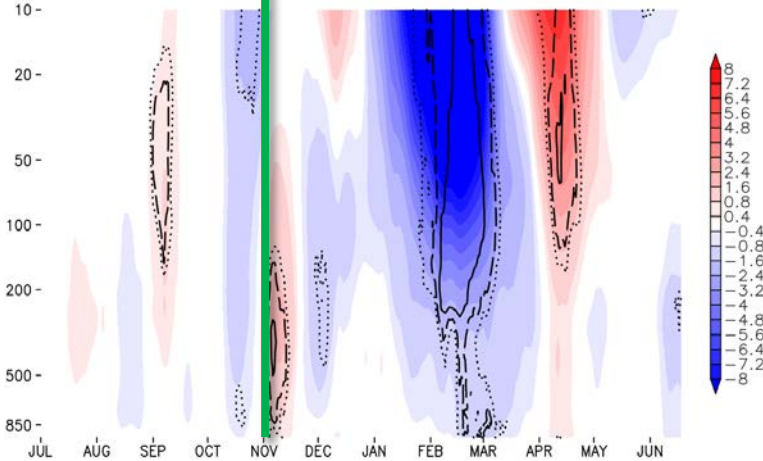
Zonal wind

Synoptic scale heat flux

AFES
NICE-CNTL



ERA-Interim
LOW-HIGH



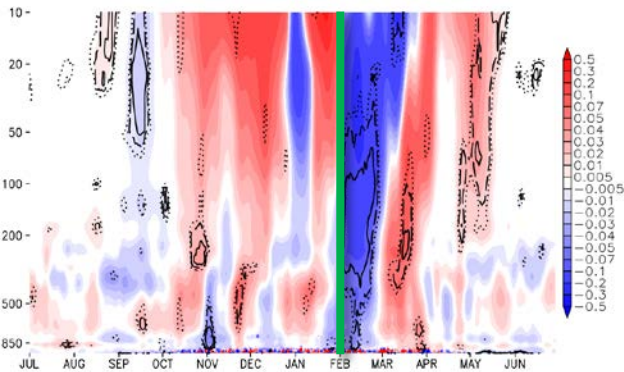
- Positive zonal wind anomaly in October/November reaching stratosphere
- Relation with synoptic scale heat flux anomaly
- ERA-Interim shows signal later

Our vortex breakdown hypothesis is clearly related to Sudden Stratospheric Warmings (SSWs)

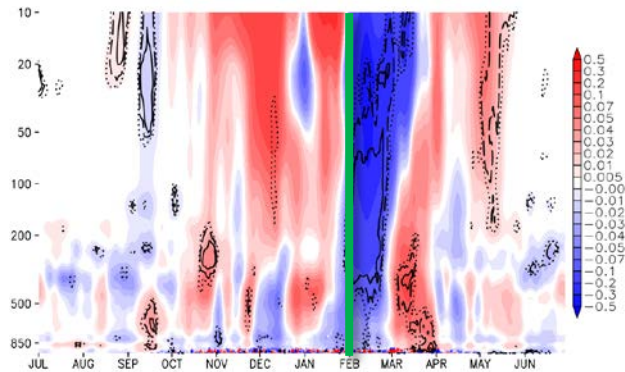
- Decadal frequency of SSWs varies
 - 1979/80 to 1989/90 (80s): 8 SSWs in 11 winters
 - 1990/91 to 1999/00 (90s): 2 SSWs in 10 winters
 - 2000/01 to 2013/14 (LOW): SSW in every winter (14 years)
- Largest difference in SSW count/frequency between LOW and 90s

Polar cap mean 65°N-85°N of vertical EP flux component on planetary scales

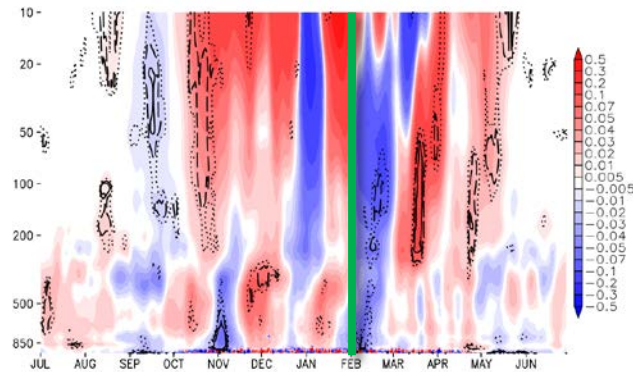
LOW-HIGH



LOW-80s



LOW-90s



- The upward/downward signal is strongest if LOW is compared to 80s
 - SSW frequency is similar → Approval of our sea ice hypothesis
 - Process of sea ice influence differs from “classical” SSW event
 - The low SSW count in 90s is associated with a general climatology shift
- Early winter up/down disturbance related to 90s

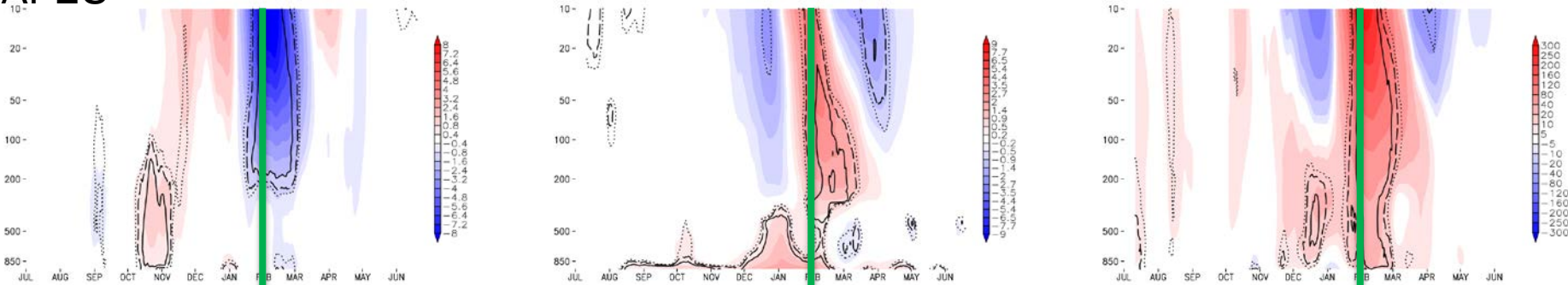
ECHAM6 experiments

- Similar approach as for AFES experiment
- 2 model runs with 120 perpendicular years each
 - 20 years spin of = 100 years of data
 - HICE: High ice conditions as observed from 1979 to 1983
 - LICE: Low ice conditions as observed from 2005 to 2009
- Constant SST, CO₂ and other forcing
 - No climate change signals except for sea ice changes
- Model resolution T63, 90 vertical levels, 0.01hPa model top
- Integration of computationally fast ozone chemistry (SWIFT)
 - Next talk

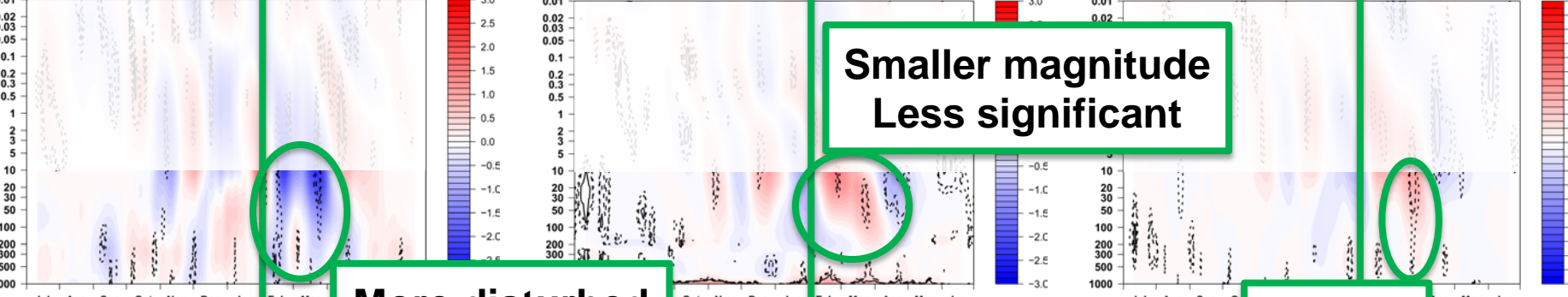
ECHAM6 LOW-HIGH ice conditions

Polar cap mean 65°N-85°N low ice minus high ice conditions

AFES Zonal wind Temperature Geopotential heights



ECHAM6



ERA-Interim

