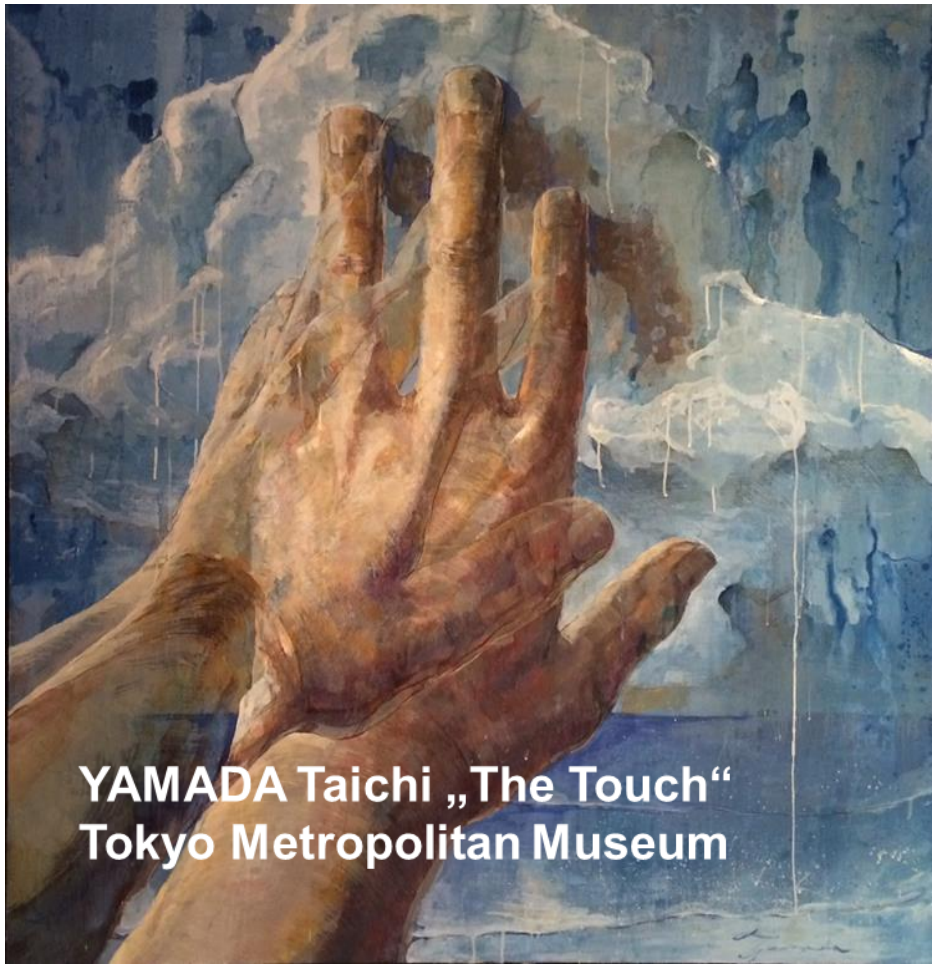
ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG

Arktisches Klimapuzzle: Rolle von Meßdaten und numerischen Wettervorhersage- und Klimamodellen



Klaus Dethloff

Alfred-Wegener-Institut
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung
AWI Potsdam

Kolloquium der Leibniz-Sozietät
“Zur Kopplung von Erd- und Weltraumwetter

zum Gedenken an AKM Ernst-August Lauter

Potsdam, 12.02.2021

HELMHOLTZ GEMEINSCHAFT

“Verständnis des nichtlinearen Klimasystems

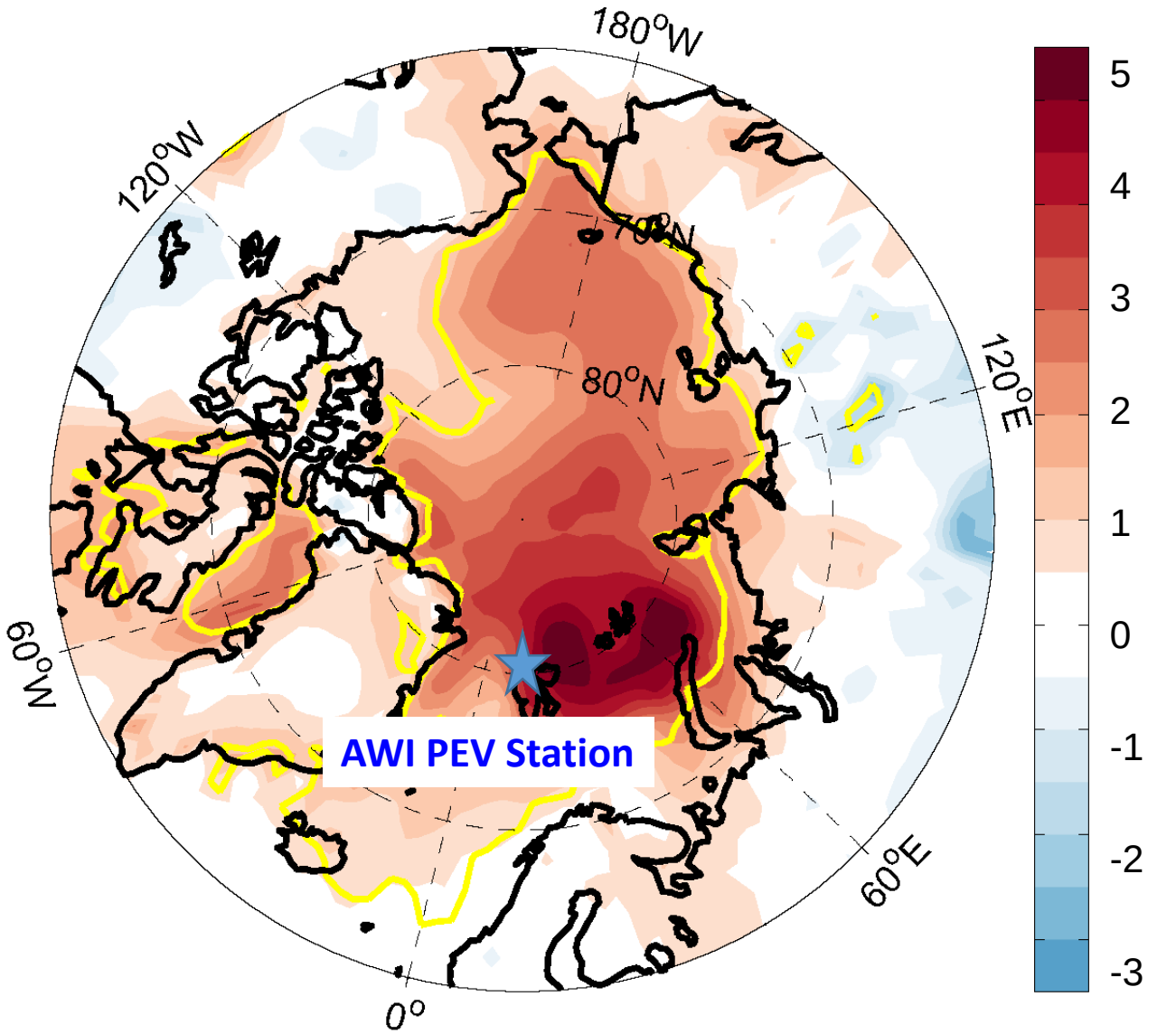
- **There are things we know.**
- **There are things we know we don’t know.**
- **There are things we don’t know we don’t know.**

D. Rumsfeld, former U.S. Secretary of Defense, 2005

OUTLINE

- Gekoppeltes arktisches Klimasystem
- Kleinskalige Prozessparametrisierungen
- Intern erzeugte Variabilität
- Datenassimilation in Wettervorhersagemodellen
- Verbesserung von Klimamodellen

Arktische Verstärkung → Hotspot & Feedbacks im gekoppelten System



Winter surface air temperature change (° C per decade) based on ERA-Interim 1996-2017→ Dahlke et al 2020

Jet stream & planetary waves
Tropo-stratospheric coupling

Atmospheric heat, humidity and momentum transports

Baroclinic pressure systems

Clouds and precipitation

Thermal radiation

Latent heat fluxes

Sensible heat fluxes

Solar radiation

Vertical coupling processes

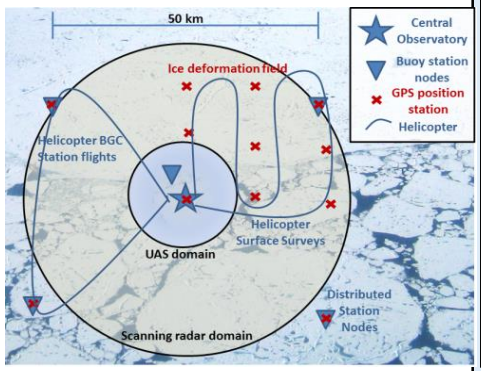
Turbulent fluxes between A-O-I

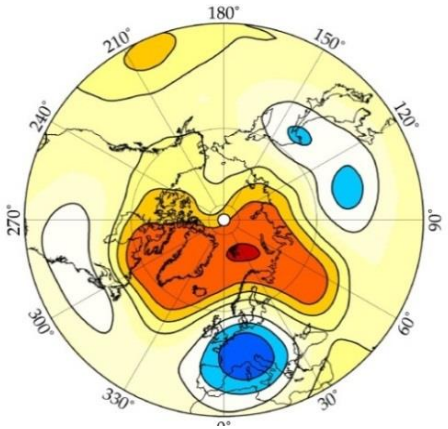
Sea ice (Albedo, Isolation)

Large-scale oceanic transports, vertical convection

Topograpyhy, diabatic heating and coooling, leads, melt ponds

Genestete Beobachtungen und Modellhierarchy





Central Observatory
- Ship based
- Sea ice stations
- ➢ Process scale observations

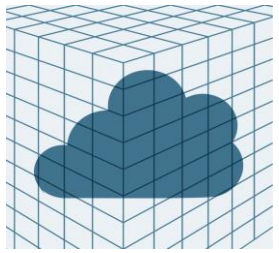
< 5 km

Distributed Network
- Sea ice stations visited by helicopter
- Ocean Buoys, A-O-I data
- Process & regional model
- ➢ Model grid cell

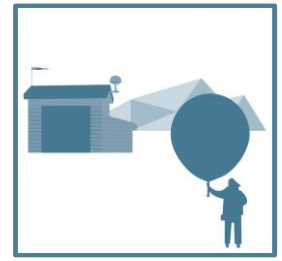
< 50 km

Large-scale linkages
- Collaborating research vessels (Akademik Fedorov, Kapitan Dranitzyn, Admiral Makarov, Akademik Treshnikov)
- Aircraft (Polar 5,6)
- Arctic Buoys, satellites
- Data assimilation studies
- ➢ Hierarchy of Circulation Models

> 1000 km



Large Eddy Simul.



Ground-based

Reg. Clim. Model

Airborne data

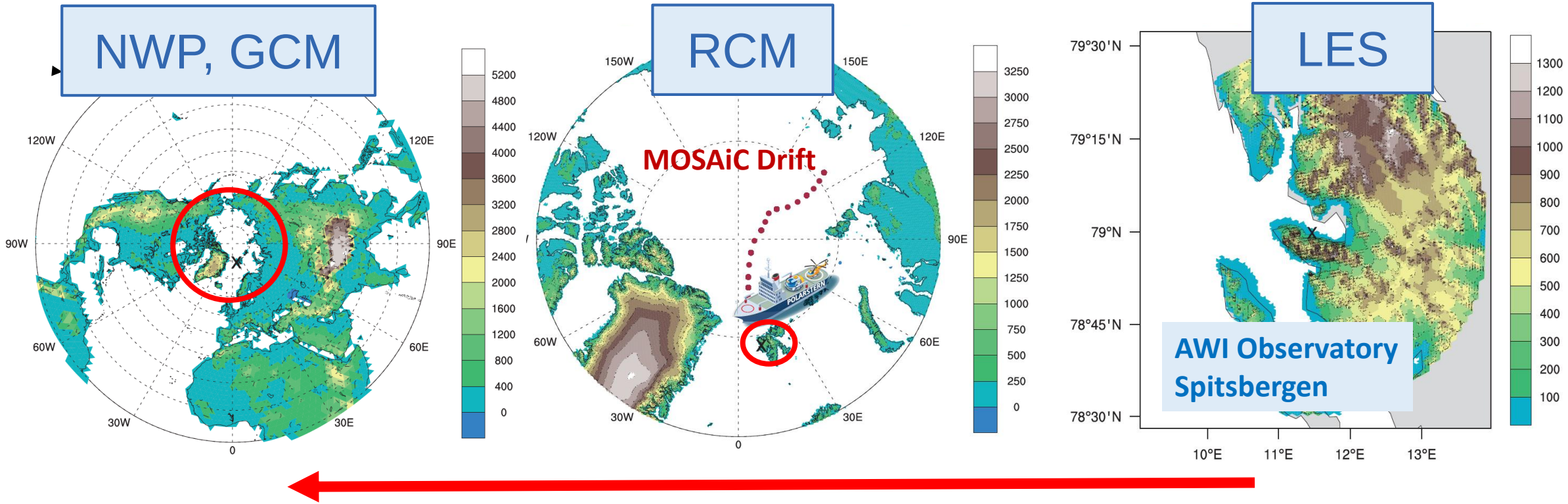
Gen. Circul. Model
Num. Weather Mod.

Satellite data

Strategie für Modellhierarchie & Datenassimilation

Wendisch u. a. 2019

Large-and meso-scale forcing as function of model complexity



Process understanding, in-situ data, satellite data, sub-grid scale parameterisation development for different synoptical conditions

OUTLINE

- Gekoppeltes arktisches Klimasystem
- Kleinskalige Prozessparametrisierungen
- Intern erzeugte Variabilität
- Datenassimilation in Wettervorhersagemodellen
- Verbesserung von Klimamodellen

Verbesserte Parametrisierung von tiefen arktischen Wolken

Regional Arctic climate model HIRHAM5

Implement improved model physics

Reduce complexity (switch off dynamics)

Single-column climate model HIRHAM5-SCM

Improved cloud-radiation interaction

Subgrid-scale processes

Observations (**CPR/CALIOP**)

Cloud Profiling Radar / Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization

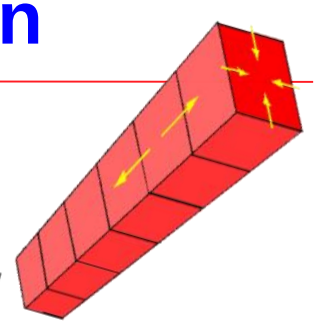
Parameterization (e.g. cloud scheme)

Adapt parameterization by means of satellite data and station data NP 35

Improved setup of tuning parameters

Sensitivity studies with modification of physics

Smaller cloud ice threshold in mixed-phase clouds
More efficient Bergeron-Findeisen process

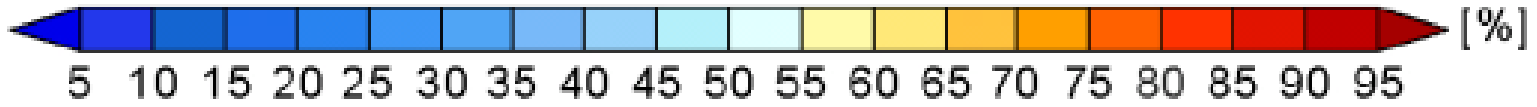


СП35-NP35 2007 - 2008

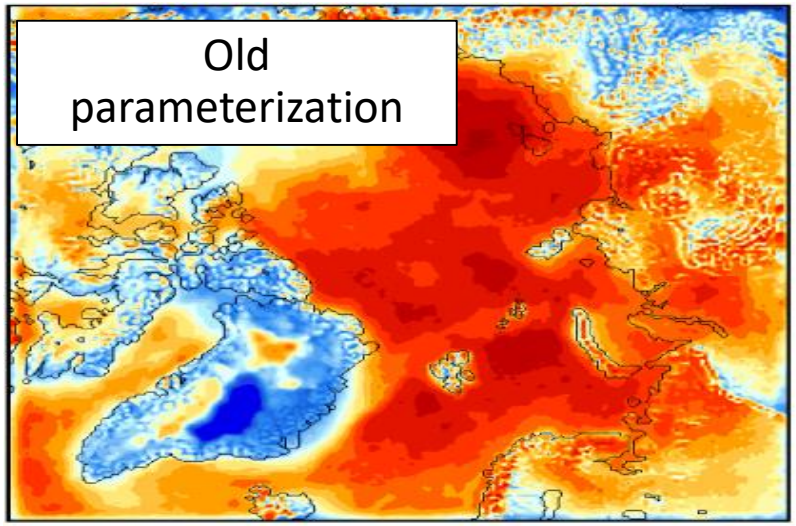
Verbesserte Parametrisierung tiefer arktischer Wolken

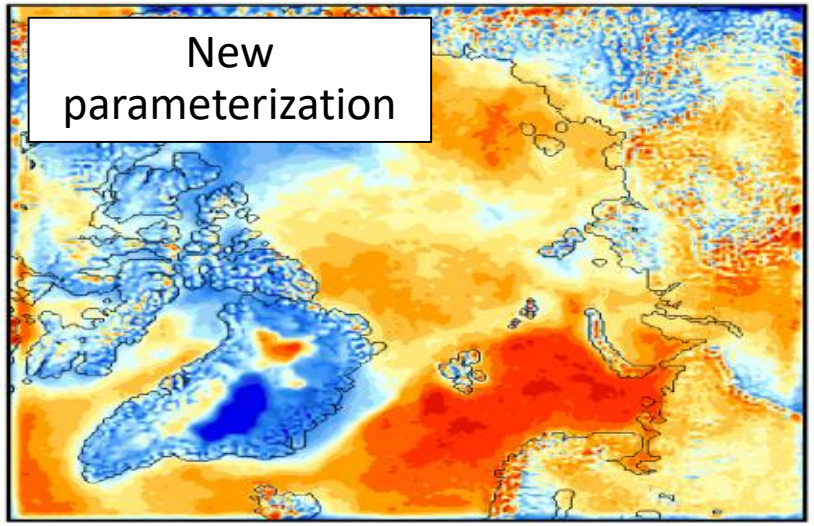
Tiefe Wolken kontrollieren Oberflächenenergiebudget und Eisschmelze

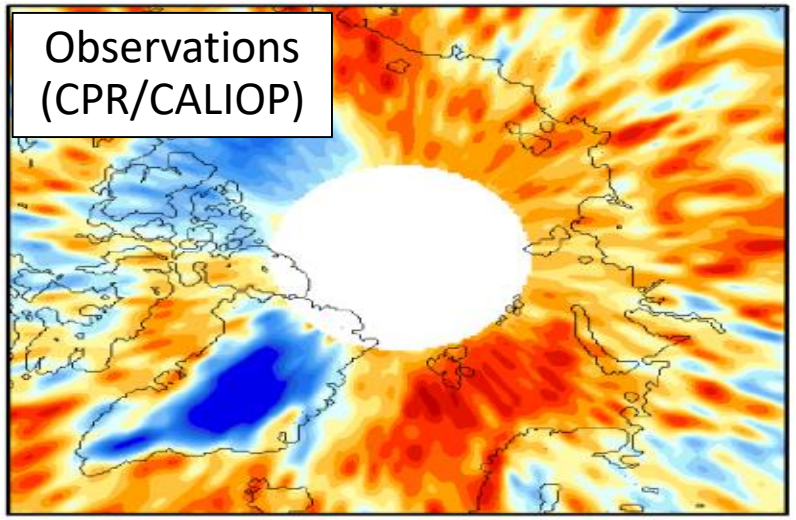
Cloud cover in autumn (2006 – 2010)



Klaus et al.,
Geophys. Res.Lett. 2016







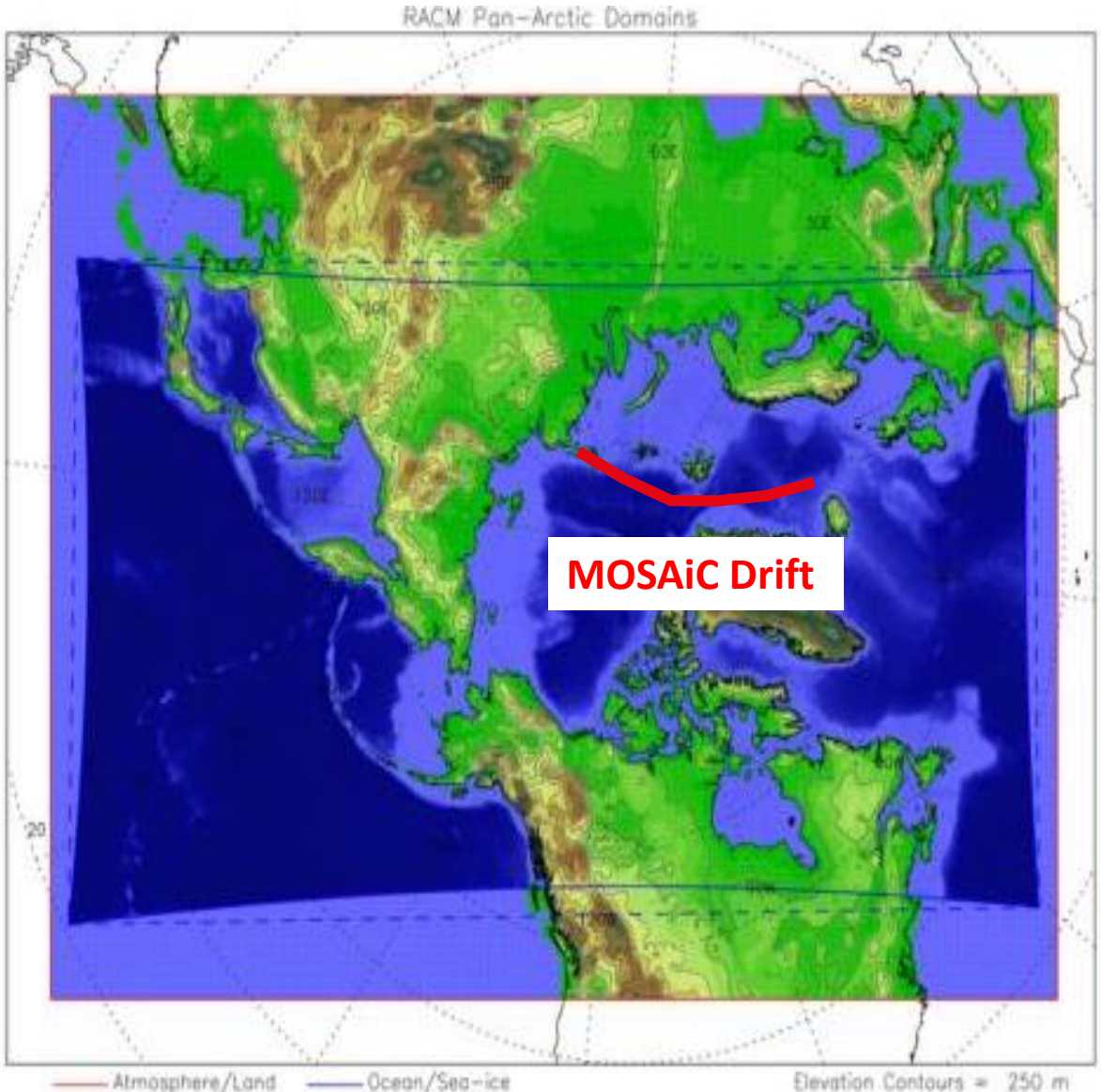
- **Verbesserte tiefe Mischphasenwolken**
- **Arktische Wolkenbedeckung um 15% reduziert**
- **Zusammensetzung des Wolkenwassers mit flüssigen Wasserdroplets und Eiskristallen verändert**
- **Strahlungsantrieb durch Wolken um 15 W/m^2 reduziert**

OUTLINE

- Gekoppeltes arktisches Klimasystem
- Kleinskalige Prozessparametrisierungen
- Intern erzeugte Variabilität
- Datenassimilation in Wettervorhersagemodellen
- Verbesserung von Klimamodellen

Regionales Arktisches Klimasystem Model RASM
Dethloff, Maslowski et al., 2021, The Cryosphere Discussions

Atmosphere	WRF3	50km / 25km, 40 levels
Land	VIC	50km / 25km, 3 Soil Layers
Ocean	POP2	1/12° (~9km) & 1/48° (~2.4km) 45 / 60 levels (20m@5m/100m@5m)
Sea ice	CICE5	1/12°/1/48°, 5 thickness categories Anistropic(EAP)/Isotropic(EVP) rheology
Coupler	CPL7x	Flux exchange every 20/10 min, inertial resolving w/ minimized lag



Hindcast-Simulationen mit bekannten atmosphärischen Daten

Dekadische Rückschau-Simulationen mit regionalem arktischen Klimamodell RASM von September 1979 bis September 2020

→ Reale bekannte atmosphärische Daten liefern seitlichen Modellantrieb
→ Dadurch bessere Übereinstimmung mit Beobachtungsdaten in der Arktis

- **Atmosphärische Randbedingungen**

an seitlichen Rändern des regionalen Modells → 6-stündliche NCEP Daten 1979 bis 2011; danach bis September 2020 aus Analysen der NCEP Climate Forecast Version CFS.

- **Anfangsbedingungen im Ozean und Meereis**

Stand-alone Ozean-Eismodell Lauf (1948-1979), angetrieben durch Daten des Coordinated Ocean-ice Reference Experiments Phase II.

- **Klimatologische seitliche Ozeanrandbedingungen**

Klimatologie des Washington Polar Science Center Hydrographic version 3.0.

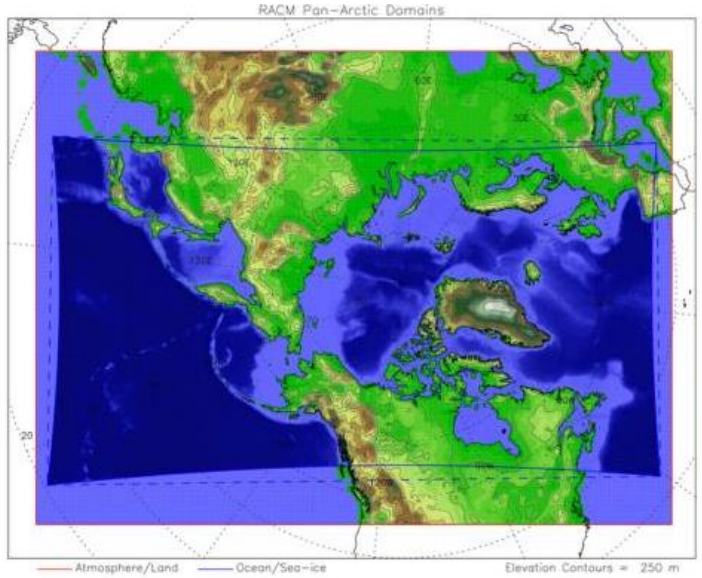
Jahreszeiten Simulationen von November 2019 bis Mai 2020

Ensemblesimulationen mit dem gekoppelten regionalen Modell RASM im Vorhersagemodus von 1. November 2019 bis 1. Mai 2020

30 Ensemblemember → initialisiert mit NCEP CFS operationellen Vorhersagen um 00.00 Uhr jedes Novembertages 2019, aber 6 Stunden später und danach jeweils mit völlig identischen seitlichen Randantrieben in der Atmosphäre für alle Ensemblemitglieder bis Mai 2020

Ensembleläufe → 30 verschiedene Anfangszustände in der Atmosphäre, aber identische seitliche Antriebe 6 Stunden später

Run 1 mit 1. Nov 2019
Run 2 mit 2. Nov 2019
Run 3 mit 3. Nov 2019
……
……
run30 mit 30. Nov 2019



Die Unterschiede in den Tendenzen des thermodynamischen Meereisvolumens (km^3/day) relative zum RASM Ensemblemittel bei Simulationen mit 30 Ensemble Mitgliedern von November 2019 bis April 2020 zeigen trotz der fixierten positiven AO Phase oberhalb von 500 hPa eine starke intern generierte Eisvariabilität

Ergebnisse im Review → Dethloff et al. 2021

OUTLINE

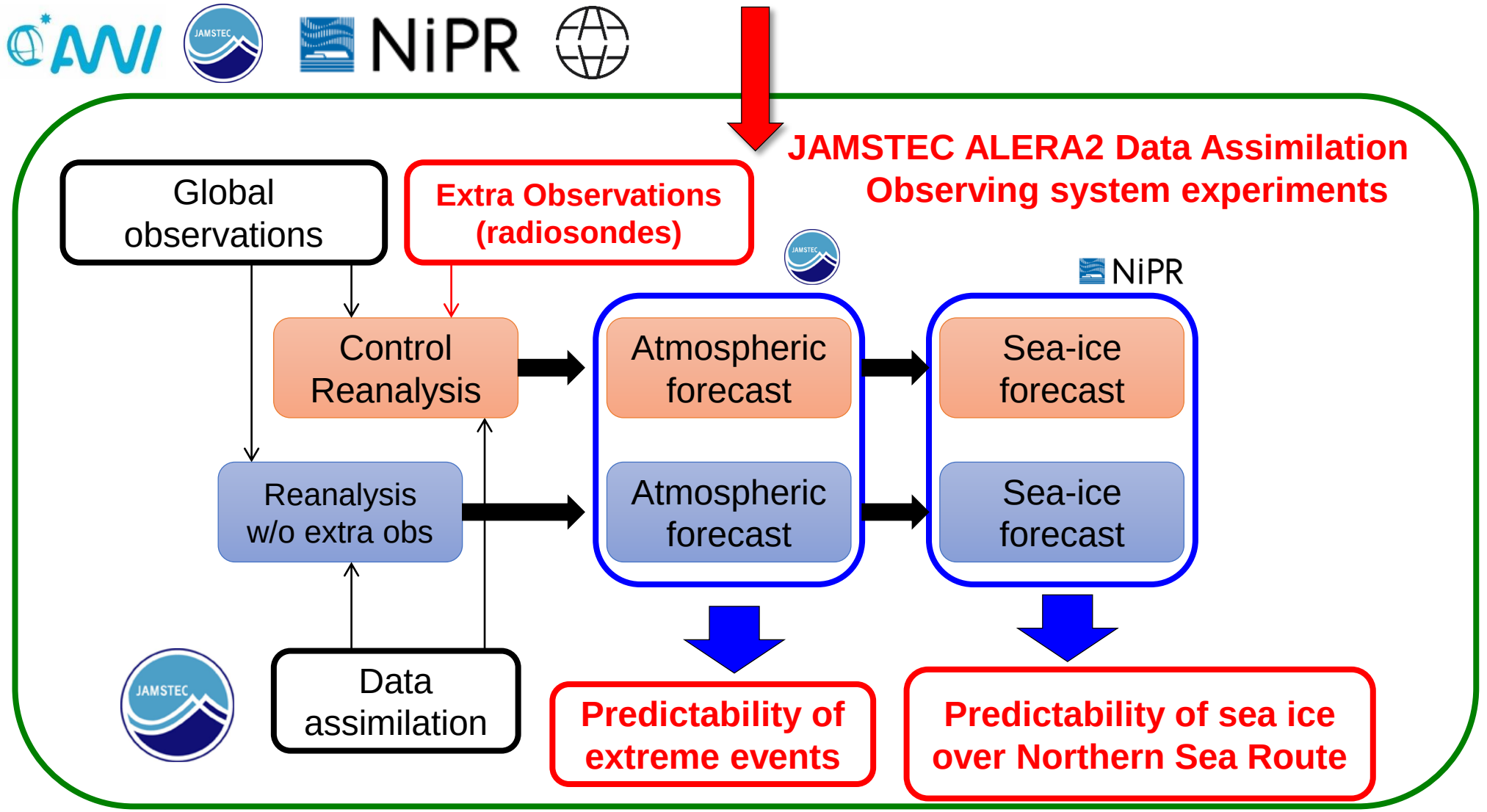
ALFRED-WEGENER-INSTITUT
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG

- Gekoppeltes arktisches Klimasystem
- Kleinskalige Prozessparametrisierungen
- Intern erzeugte Variabilität
- Datenassimilation in Wettervorhersagemodellen
- Verbesserung von Klimamodellen

HELMHOLTZ GEMEINSCHAFT

Datenassimilation-Studien für MOSAiC & YOPP → Inoue et al. 2015

Special Observing periods (RVs Polarstern, Mirai, Oden; Ny-Ålesund, Alert, Eureka, Cape Baranova, MOSAiC)

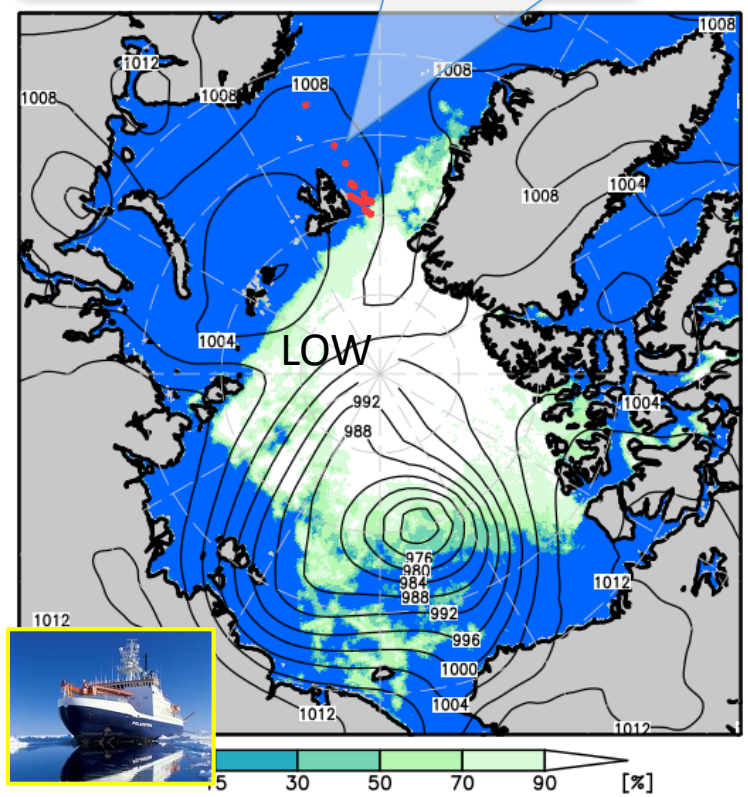


Der Fall der großen arktischen Zyklone am 6. August 2012

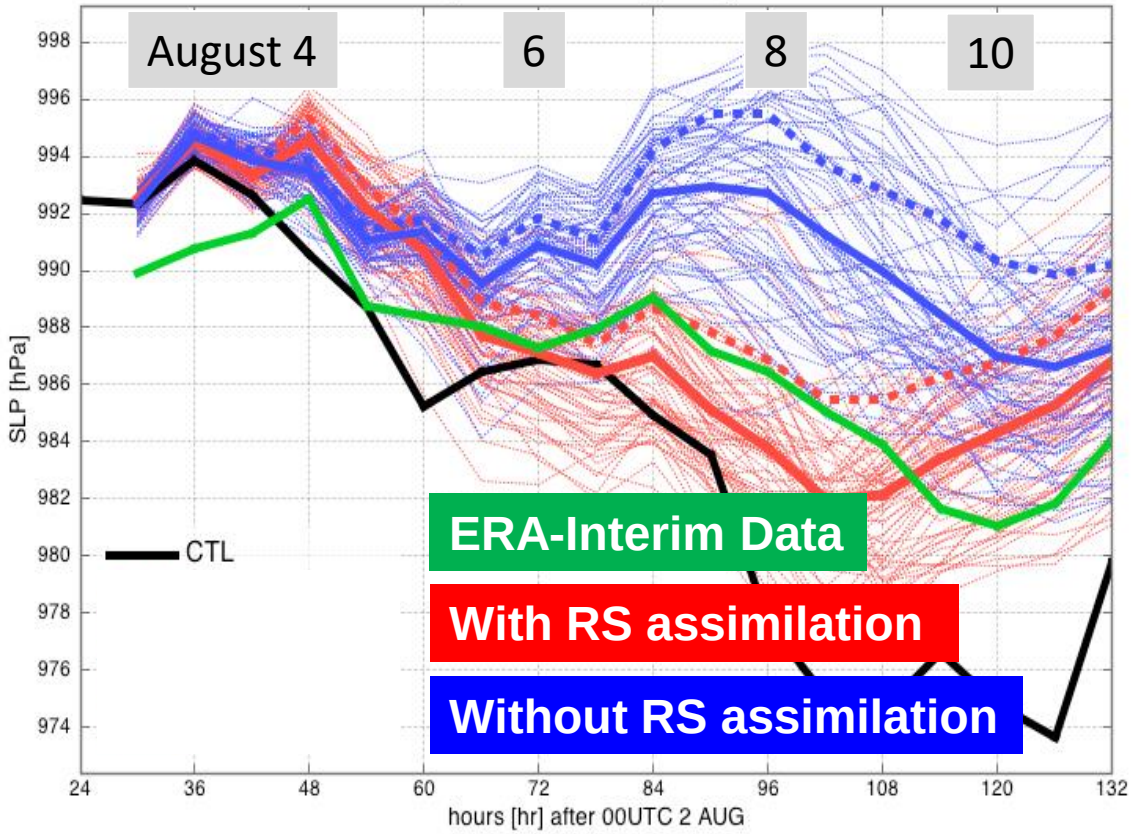
- Polarstern radiosondes → Assimilation into Japanese Earth simulator
- **Thick lines: mean of 63 ensemble member, resolution; T119, L48**

Better prediction of central pressure of the Arctic cyclone, if radiosonde (RS) observation from RV Polarstern were assimilated → Ono et al, JAMES 2016

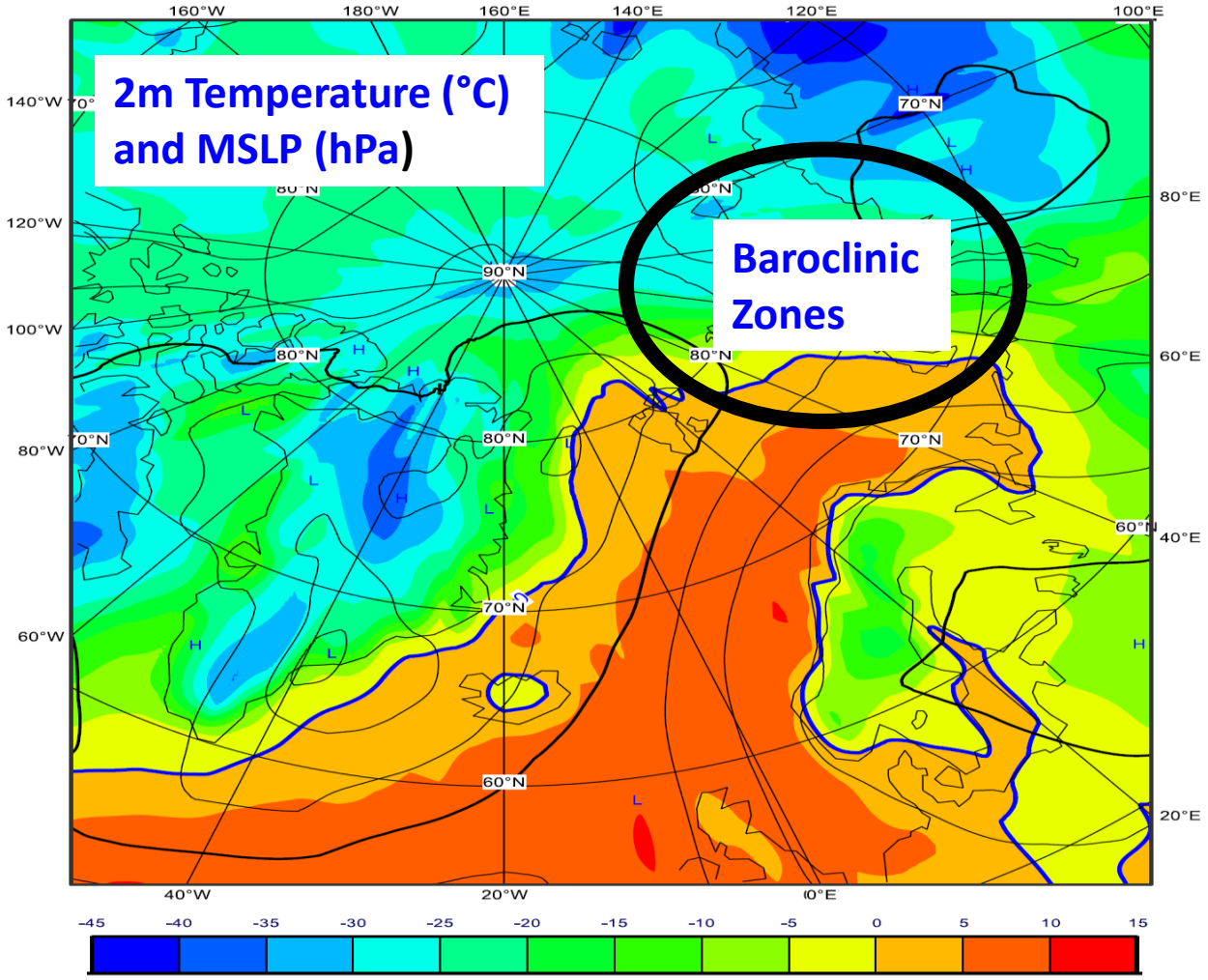
13-29 July 2012
Radiosonde observations
at RV Polarstern (2 RS per day)



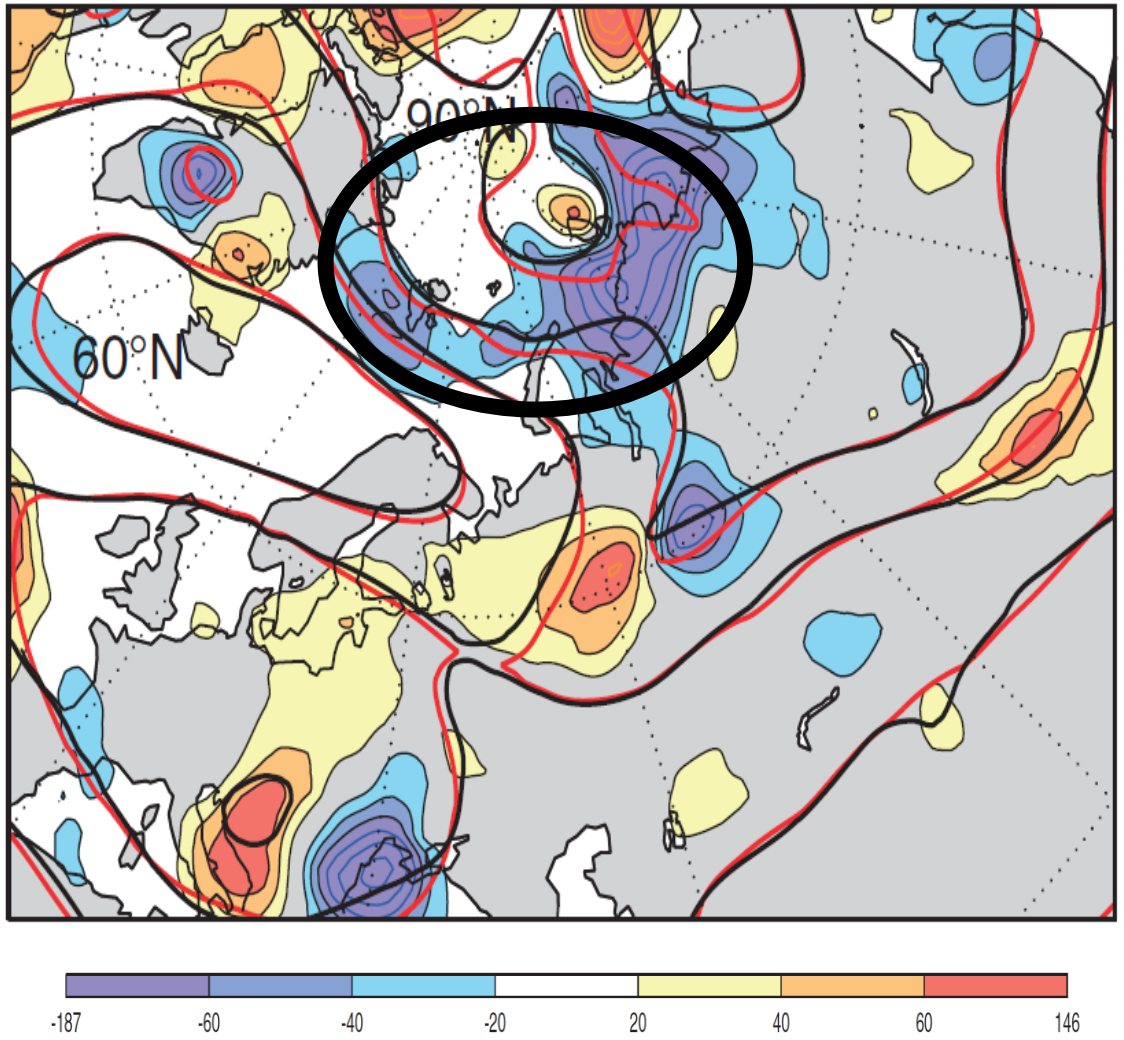
Central sea level pressure (hPa) of the cyclone



Kaltluftausbrüche während eines Skandinavienhochs

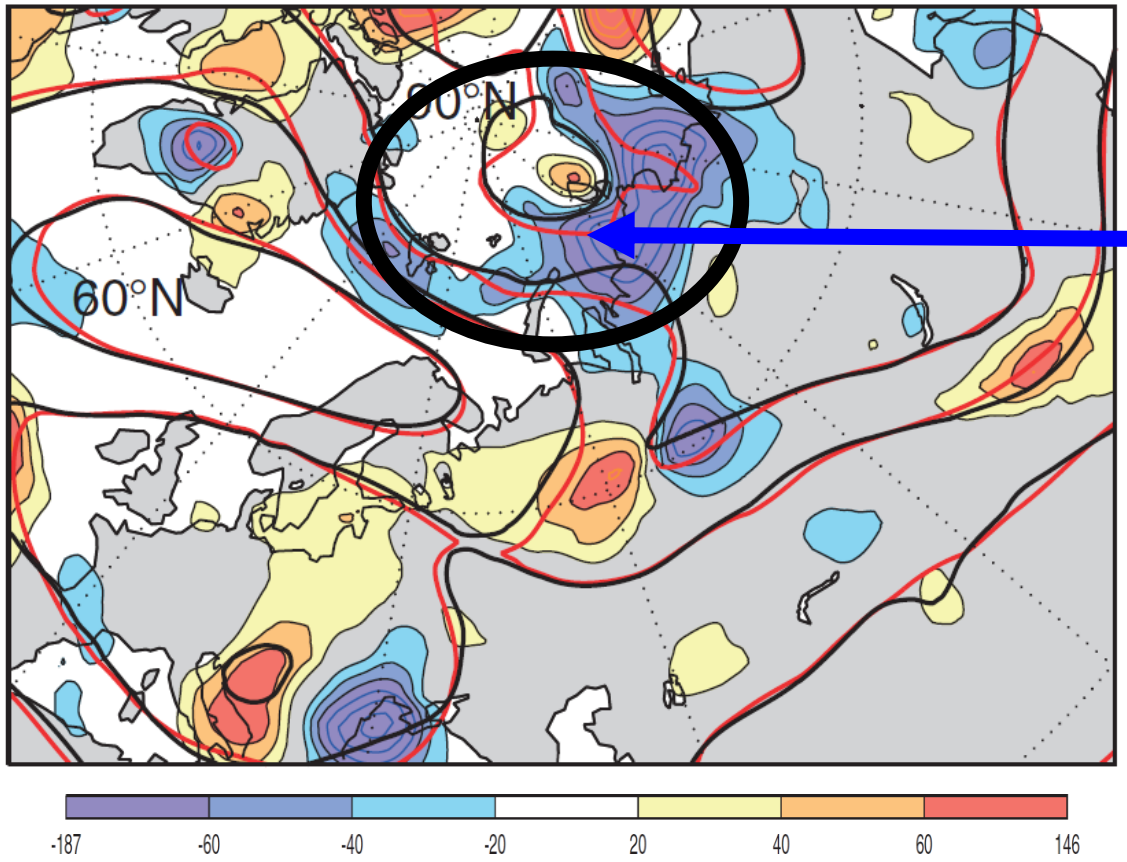


Scandinavian blocking pattern: 24. February 2018
Warm air inflow & Cold Air outbreaks over Siberia in Baroclinic Zone→ Day et al. 2019, QJRMS



Geopotential errors at 500 hPa in ECMWF forecast compared to operational analysis (at 24 February 2018 plus 96 hours) due to Baroclinic Zones

Nordpoldriftplattform von AARI & ROSHYDROMET



500 hPa geopotential absolute errors in ECMWF control forecast compared to the operational analysis (started 24 February 2018, 0000UTC, plus 96 hours during Scandinavian blocking: Day et al. 2019, QJRMS

Radiosonde observations in baroclinic zones over Arctic Ocean with highest forecast errors→ improve NWP predictions of baroclinic systems in ICON model used at Roshydromet: Picture AARI St. Petersburg

OUTLINE

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

- Gekoppeltes arktisches Klimasystem
- Kleinskalige Prozessparametrisierungen
- Intern erzeugte Variabilität
- Datenassimilation in Wettervorhersagemodellen
- Verbesserung von Klimamodellen

HELMHOLTZ GEMEINSCHAFT

Atmosphärisches Model ICON → Nahtlosmodellansatz

ICOsahedral **N**onhydrostatic model → Same models for NWP and Climate: Köhler 2021

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Numerical **W**eather **P**rediction mode
ICON-NWP

Max-Planck-Institut für Meteorologie

Climate mode
ICON-A

Karlsruher Institut für Technologie

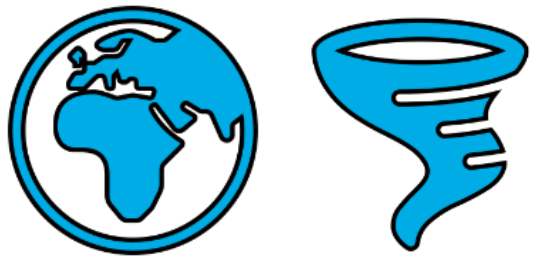
Extension: **A**erosols and **R**eactive **T**race gases
ICON-ART

Non-hydrostatic core

$$\frac{dp}{dz} \neq -\rho g$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dz} - g$$

Multiple scales



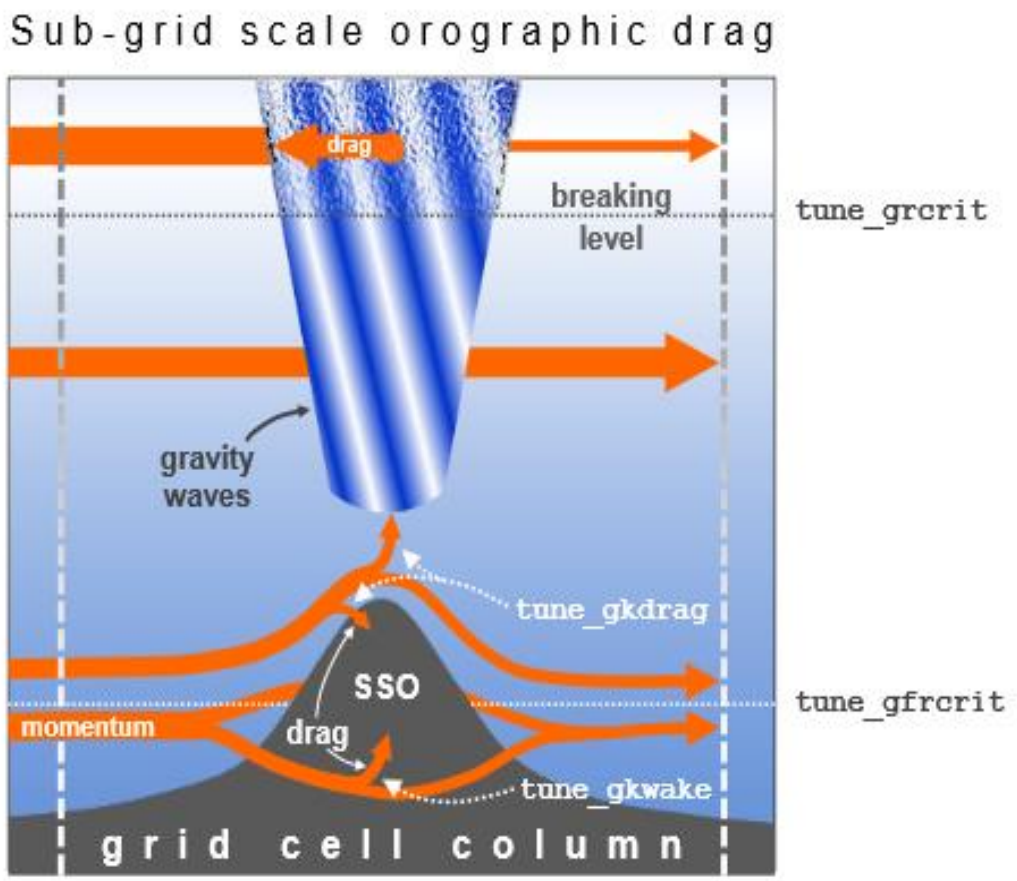
global — 100m

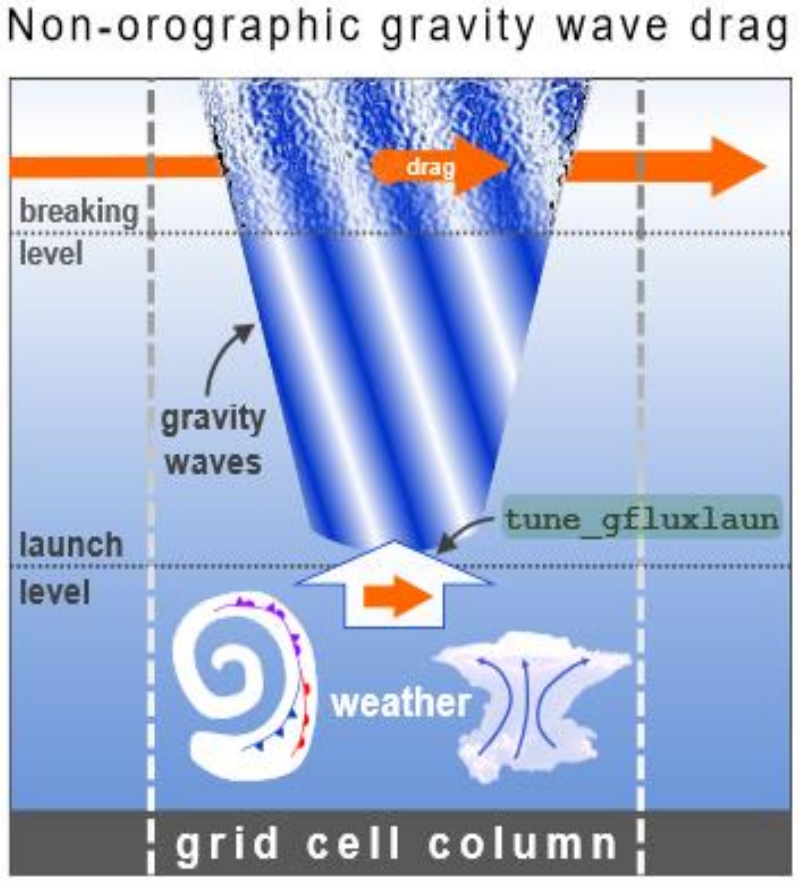
Icosahedral grid

Seasonal ensemble simulations from September -May 1979/80 – 2016/17

$1.Sep \pm$ 6h, 12h

Tuning des Gravity Wave Drags: SSO und NOG





F. Prill, D. Reinert, D. Rieger, G. Zängl (2019), ICON Model Tutorial, April 2019, Working with the ICON Model Practical Exercises for NWP Mode and ICON-ART

$ICON_{CTL}$ → Standard setup:
With SSO Drag & NOG Drag

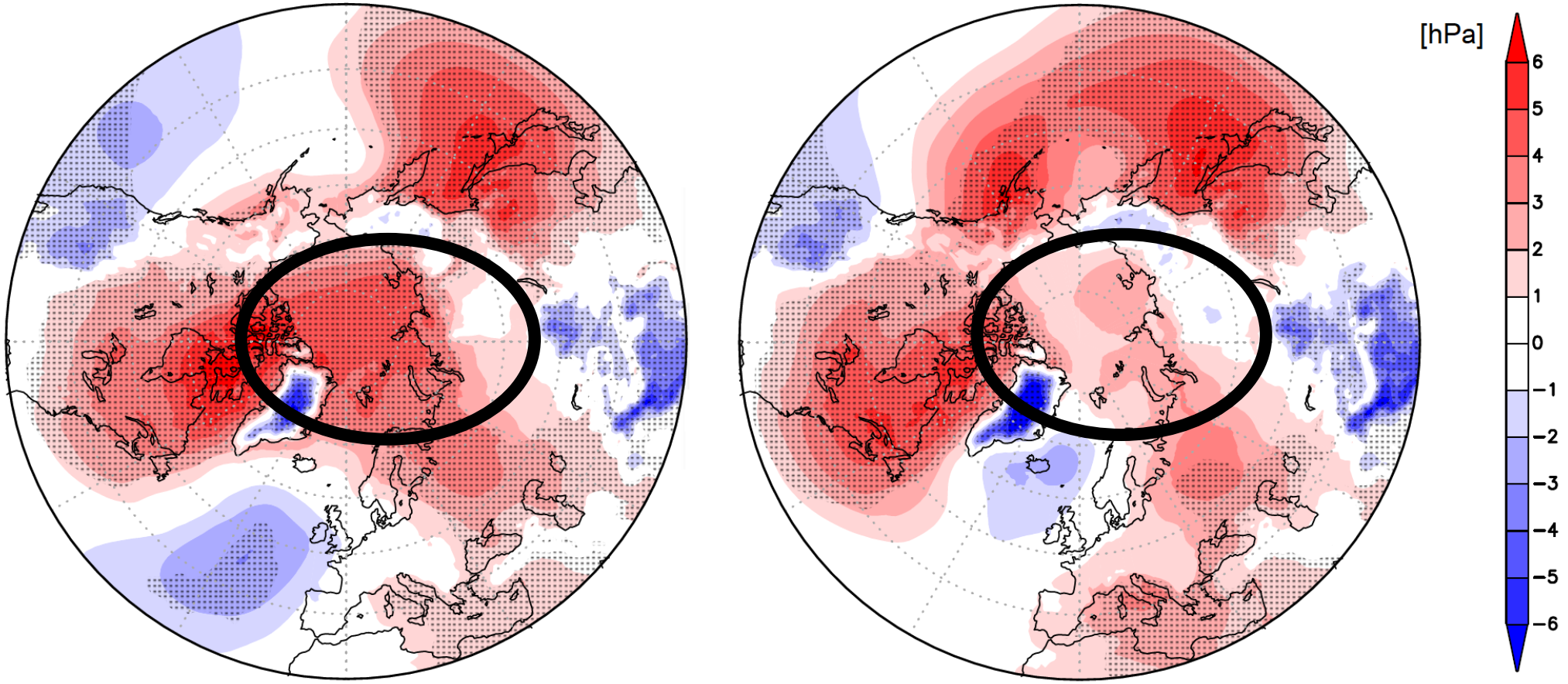
$ICON_{GWD-}$ → Tuned setup:
With same SSO Drag & Reduced NOG by 20 %

Köhler et al., Earth and Space Science 2021, accepted

Januar Bodenluftdruck Fehler (hPa)

$ICON_{CTL}$ - ERA-Interim

$ICON_{GWD-}$ - ERA-Interim



Arctic high pressure bias is significantly reduced!

Köhler et al., Earth and Space Science 2021, accepted

Zusammenfassung:

- **Kritische Rolle von sub-grid-skaligen Parametrisierungen in NWP und Klimamodellen**

  Meereisdynamik, Schneebedeckung, Gemischte Eis-Wasserwolken, Turbulente Flüsse im A-O-I-L System, Permafrost, Energiekaskade, Schwere-, Barokline- und Planetare Wellen, Tropo-Stratosphärenkopplung und Ozonchemie

- **Zusätzliche Radiosonden und Datenassimilation in der Arktis in baroklinen Zonen nötig**

- **Starke intern generierte Eisvariabilität durch atmosphärischen Antrieb → zusätzliche Verstärkung durch Ozeanzirkulation?**

- **Quantifizierung natürlicher Variabilität und externer Antriebe bei Klimaänderungen durch Ensemblesimulationen > 30 … 300?**

References:

- S. Dahlke et al., 2020, The observed recent surface air temperature development across Svalbard and concurring footprints in local sea ice cover. International Journal of Climatology. 40. 10.1002/joc.6517.
- M. Wendisch et al, 2019, Transregional Collaborative Research Centre TR 172, ArctiC Amplification: Climate Relevant Atmospheric and SurfaCe Processes, and Feedback Mechanisms (AC)3, Proposal, 72 S.
- D. Klaus et al. 2016, New insight of Arctic cloud parameterization from regional climate model simulations, satellite-based and drifting station data, , Geophysical Research Letters . doi: 10.1002/2015GL067530
- K. Dethloff, W. Maslowski, et al., 2021, Arctic sea ice anomalies during the MOSAiC winter 2019/20, The Cryosphere Discuss, https://doi.org/10.5194/tc-2020-375, in review, 2021.
- J. Ono et al. 2016, The impact of radiosonde data on forecasting sea-ice distribution along the Northern Sea Route during an extremely developed cyclone, J. Adv. Model. Earth Syst., 8, 292–303, doi:10.1002/2015MS000552.
- J. J. Day et al, 2019, Increased Arctic influence on the midlatitude flow during Scandinavian Blocking episodes, Q. J. R. Meteorol. Soc. 145, 3846–3862.
- R. Köhler et al, 2021, Improved Circulation in the Northern Hemisphere by Adjusting Gravity Wave Drag Parameterisations in Seasonal Experiments with ICON-NWP, Earth and Space Science, in press