Die Arktis verschwindet!
Wie wir der Eisschmelze auf die Spur kommen

Susanne Crewell, Kerstin Ebell, Gunnar Spreen, Manfred Wendisch
Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie

Exkurs – Einblicke in die Wissenschaft, 16. Juni 2020

SFB/Transregio 172

ArctiC Amplification: Climate Relevant Atmospheric and SurfaCe Processes, and Feedback Mechanisms (AC)³

FLUXES
TRANSPORT
CLOUDS
SURFACE
ARCTIC AMPLIFICATION (AC)³

TRANSREGIO TR 172 | LEIPZIG | BREMEN | KÖLN

gefördert durch

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

UNIVERSITÄT LEIPZIG

University of Cologne

Universität Bremen

www.ac3-tr.de

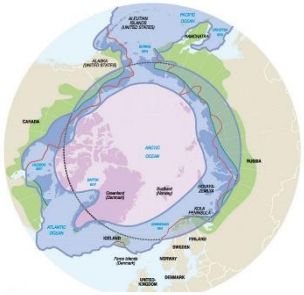
TROPOS
Leibniz Institute for Tropospheric Research

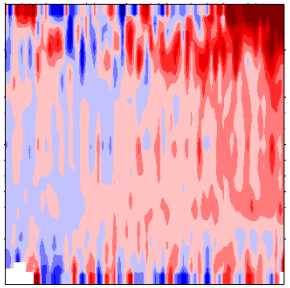
AWI

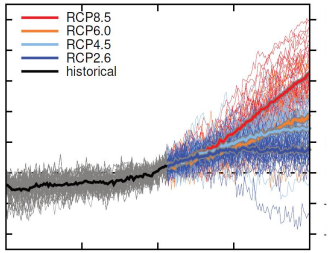
Universität zu Köln

Vortragsübersicht

- Was ist die Arktis?
- Wie verändert sich die Arktis?
- Warum gibt es die arktische Verstärkung?
- Wie sieht die Zukunft der Arktis aus?
- Was sind unsere Forschungsaktivitäten?







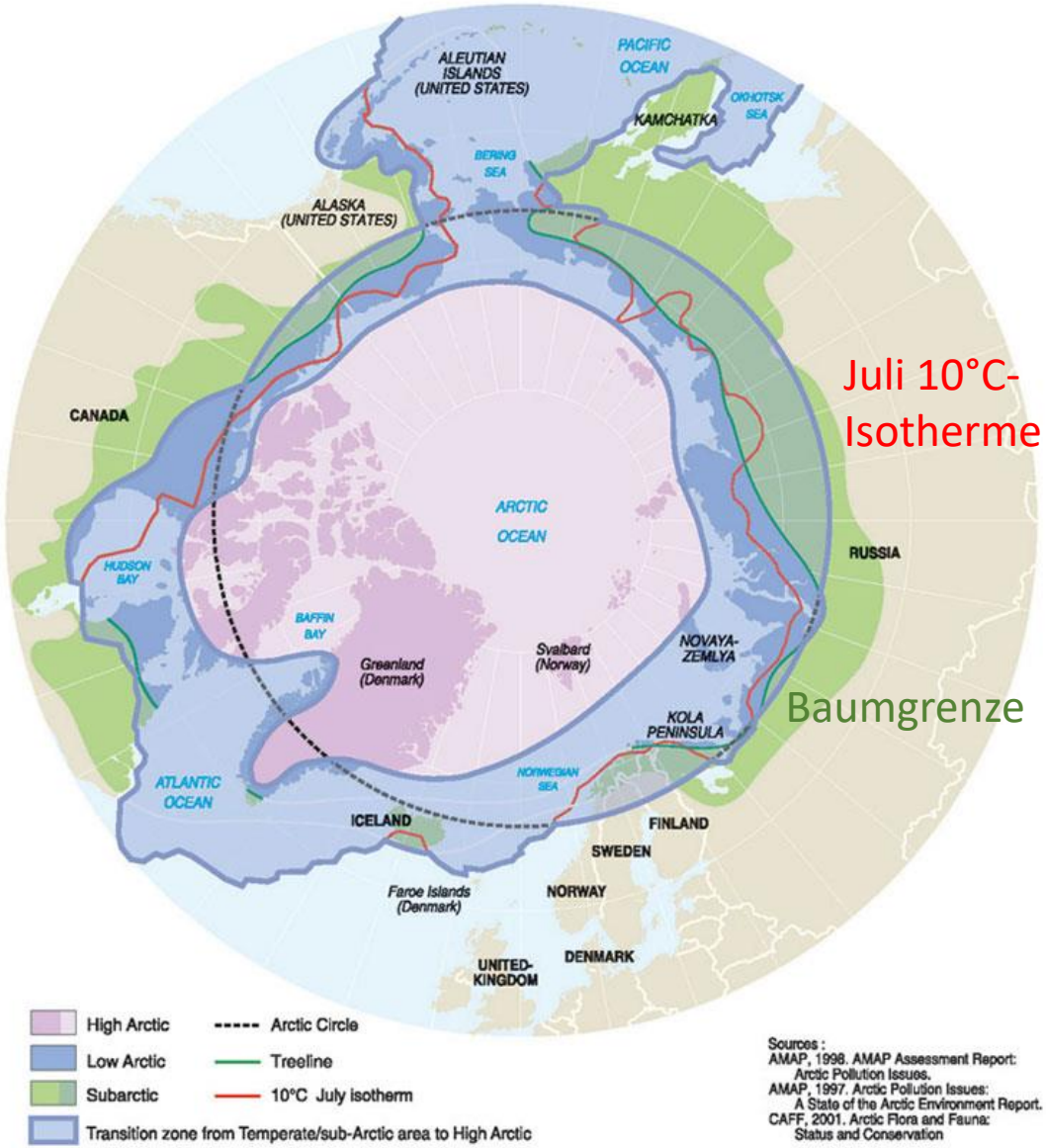
FLUXES
TRANSPORT
CLOUDS
SURFACE
ARCTIC AMPLIFICATION
(AC)³

Universität zu Köln

Was ist die Arktis?

Region

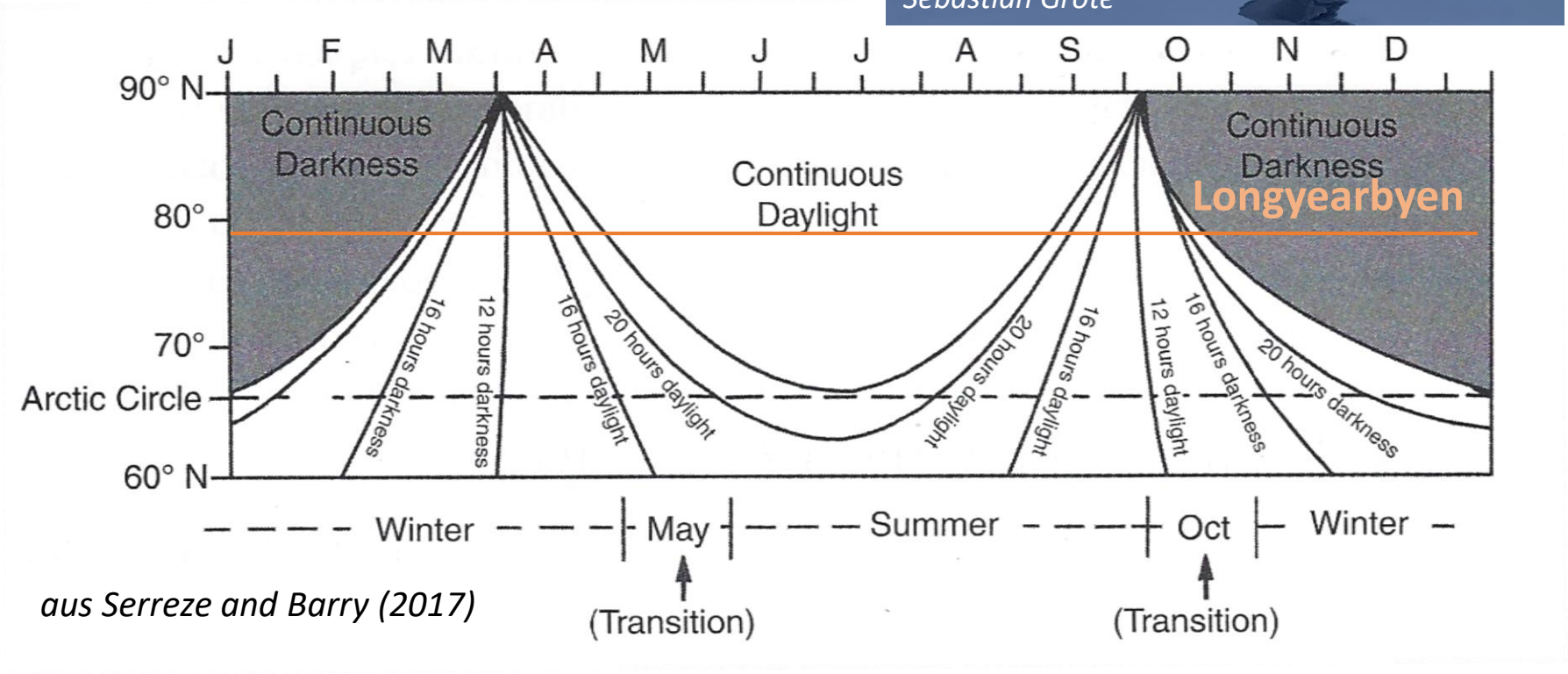
- nördlich des nördlichen Polarkreises (66°33’45.9”N)
- nördlich der Baumgrenze
- nördlich der 10°C Isotherme im Juli
- oft definiert als Gebiet nördlich von 60°N



https://www.arcticcentre.org/EN/arcticregion/Maps/definitions

Die Arktis: ein besonderer Ort

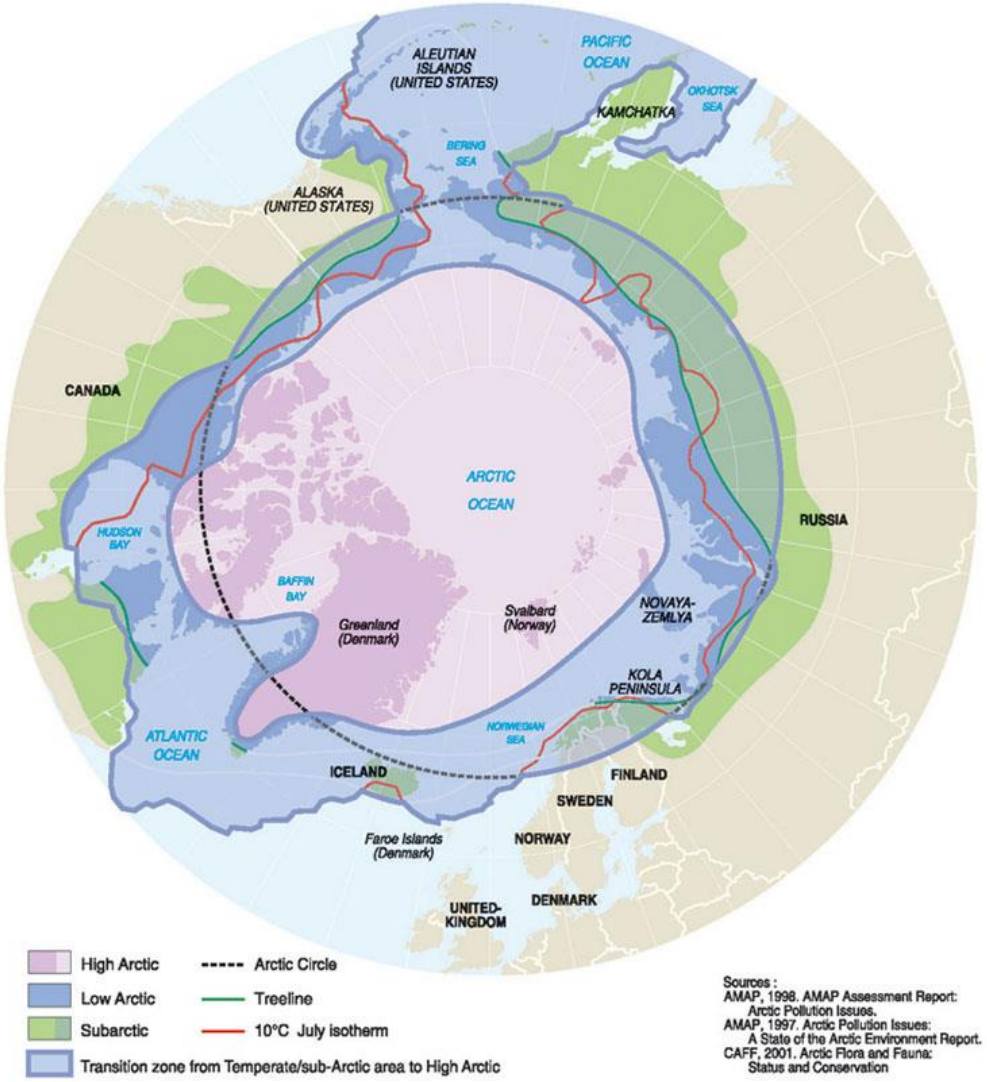
- Polarnacht und Polartag
- niedriger Sonnenstand



aus Serreze and Barry (2017)

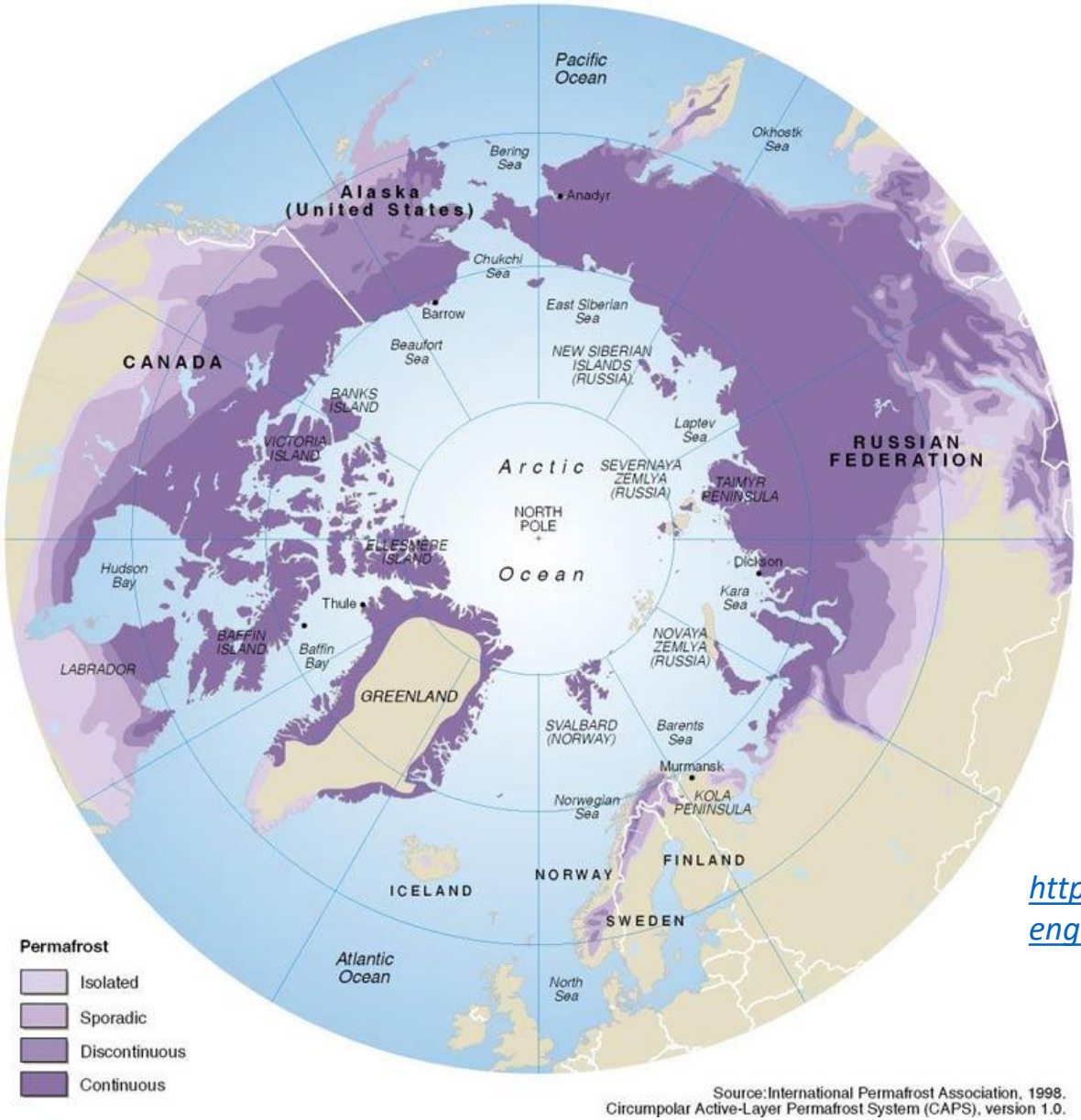
Die Arktis: ein besonderer Ort

- Arktischer Ozean nimmt einen Großteil der Fläche nördlich von 70°N ein
- bedeckt durch Meereis
  → kein eisbedeckter Kontinent wie Antarktis
- Arktische Ozean in etwa 15,5 Mio km^2 groß und bis zu 5.000 m tief
- Meereis und Landflächen durch Schnee bedeckt, Gletscher



https://www.arcticcentre.org/EN/arcticregion/Maps/definitions

Die Arktis: ein besonderer Ort



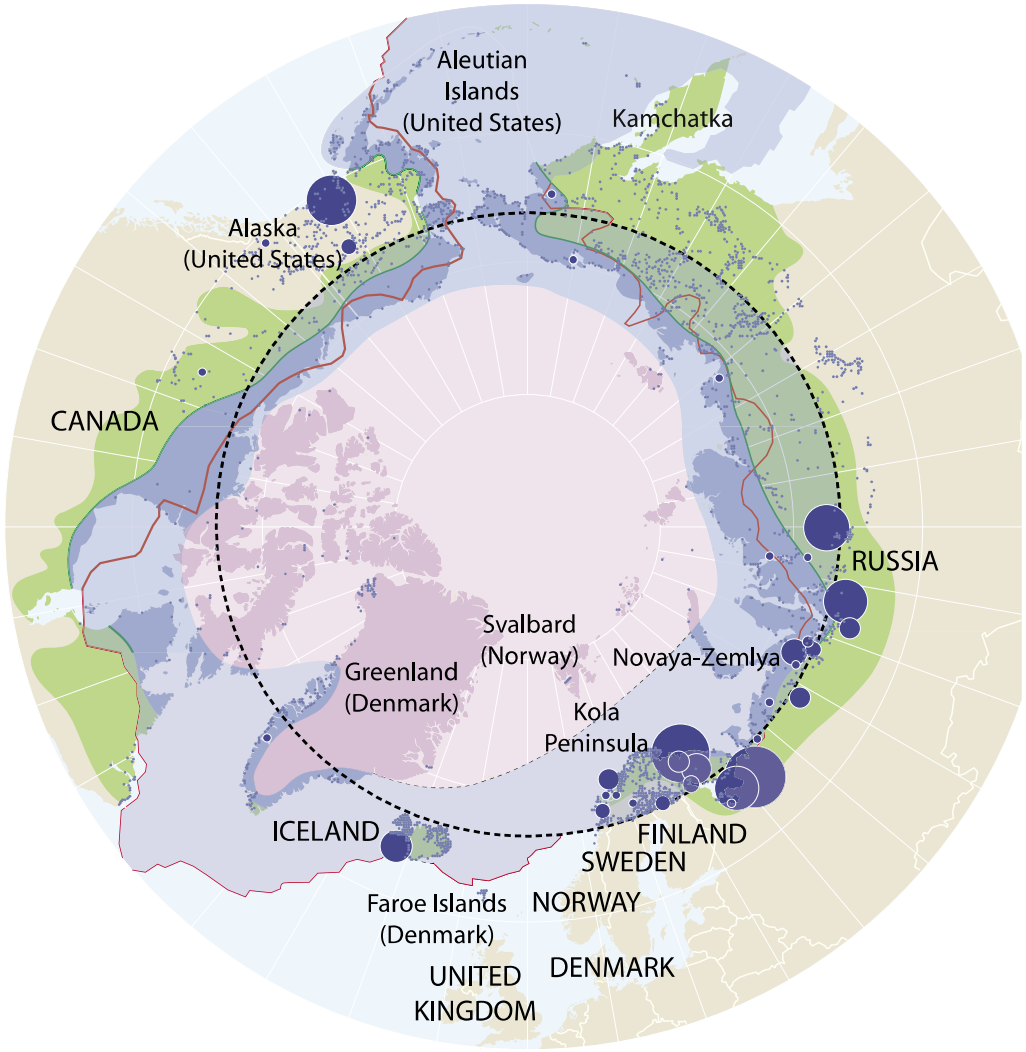
Source: International Permafrost Association, 1998. Circumpolar Active-Layer Permafrost System (CAPS), version 1.0.

- Permafrost über einen Großteil der Landoberfläche
- lange, kalte Winter und kurze, kühle Sommer
- In Sibirien bis zu 1500 m Tiefe

https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/whereis_fg.html

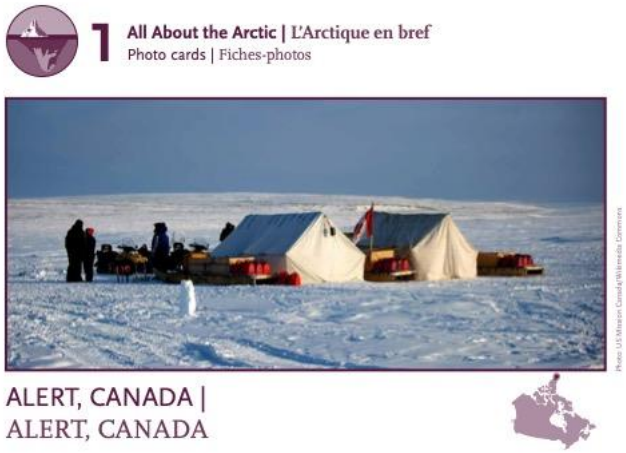
Die Arktis: ein besonderer Ort

- Hohe Arktis:
  „polare Wüste“
- weiter südlich: Tundra mit Flechten, Moosen, Gräsern und Zwergsträuchern
- arktische Landschaft ist vielfältig:
  Gebirge, Gletscher, weite Hügelland-schaften, Sümpfe, Wiesen und Tiefebenen



Correll et al., UNEP Year book 2013

Die Arktis hat viele Gesichter



http://www.canadiangeographic.com/educational_products/activities/polar_knowledge/1-Photo_Cards-LR.pdf

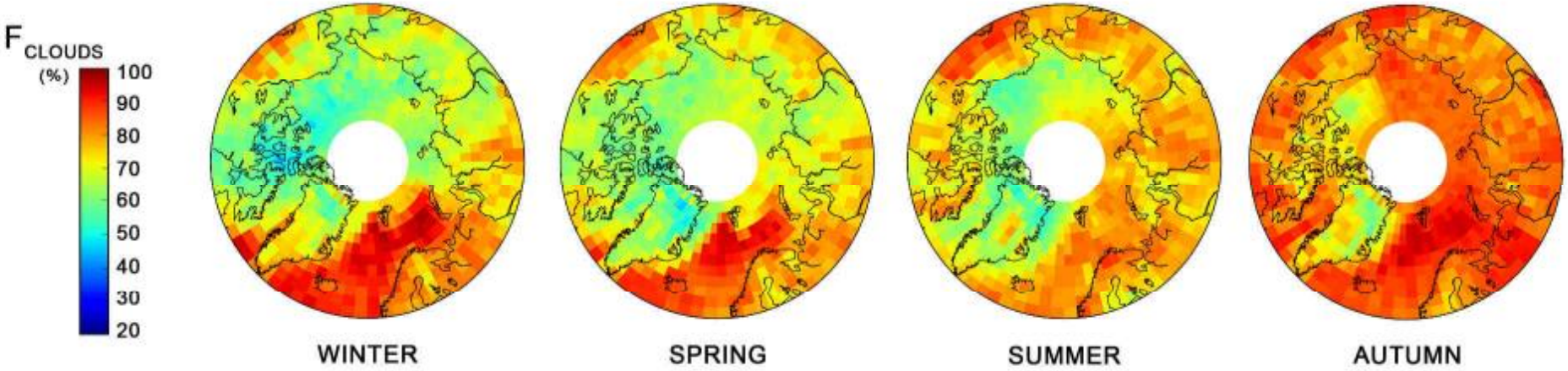
mehr beeindruckende Fotos: https://nsidc.org/cryosphere/photo-gallery/intro

Die Arktis: ein bewölkter Ort

Die Arktis: ein bewölkter Ort

- sehr hohe Wolkenbedeckung

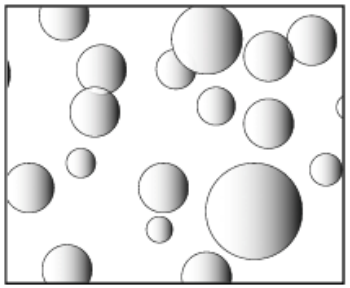
  → Strahlungseffekt von Wolken



Mioche et al. (2015)

Woraus besteht eine Wolke?

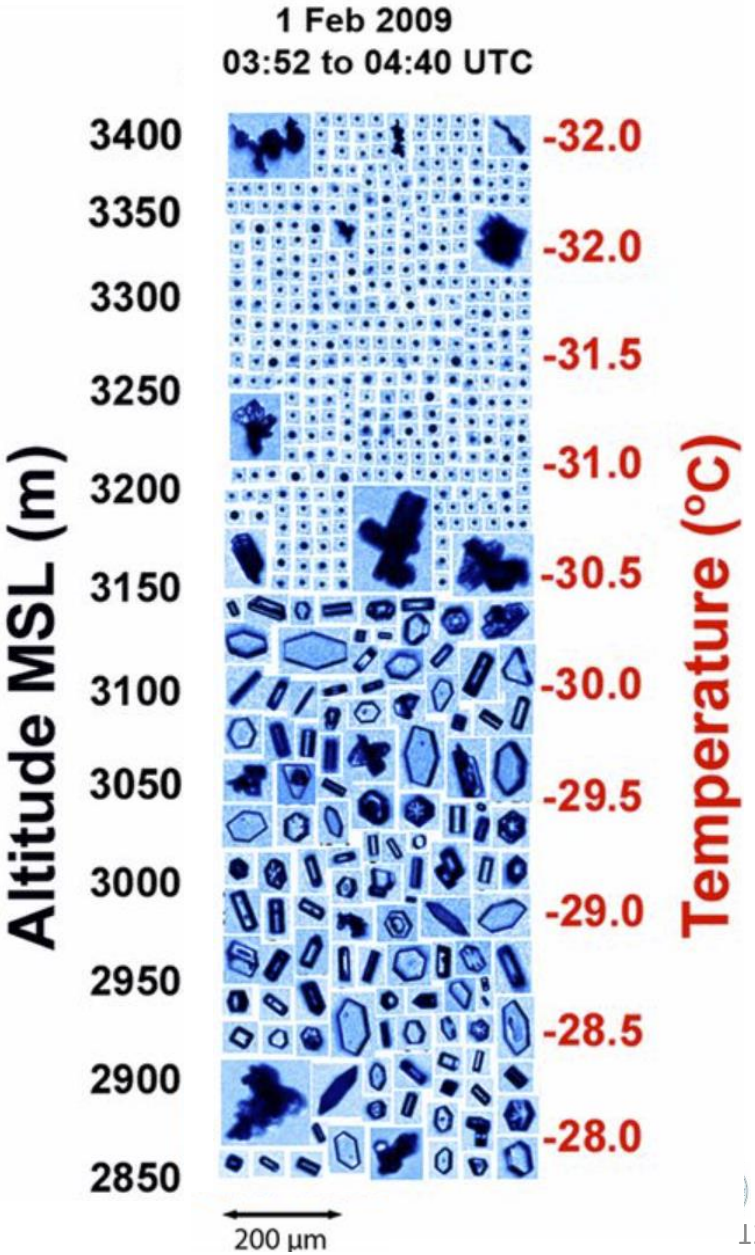
- Wolkentröpfchen aus flüssigem Wasser
  - ca. 0.01 mm groß
  - ca. 100 Tropfen pro Kubikzentimeter



Petty Fig. 7.11

- Eispartikel verschiedener Formen

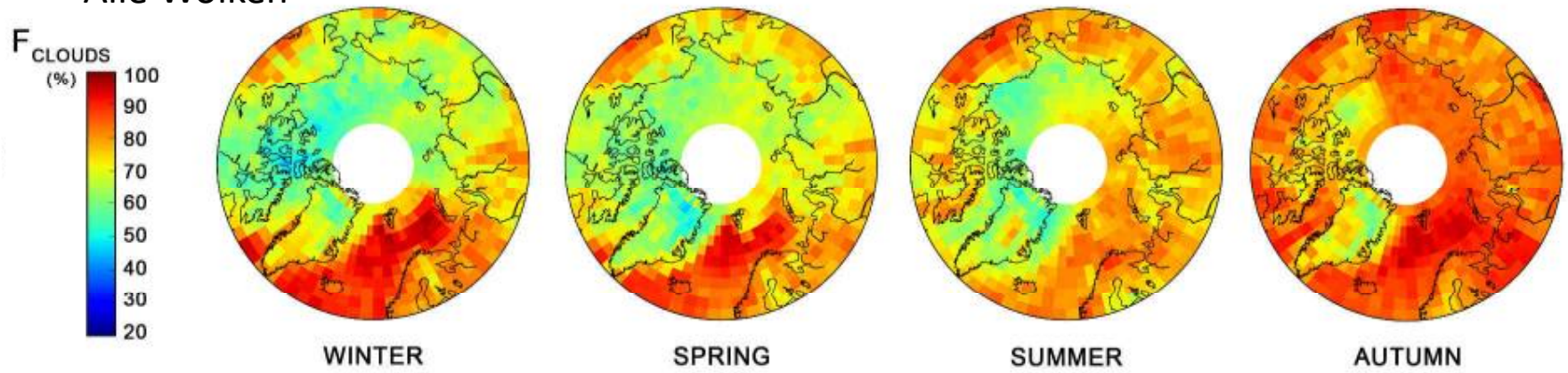
Lawson und Gettelmann (2014)
https://www.pnas.org/content/111/51/18156



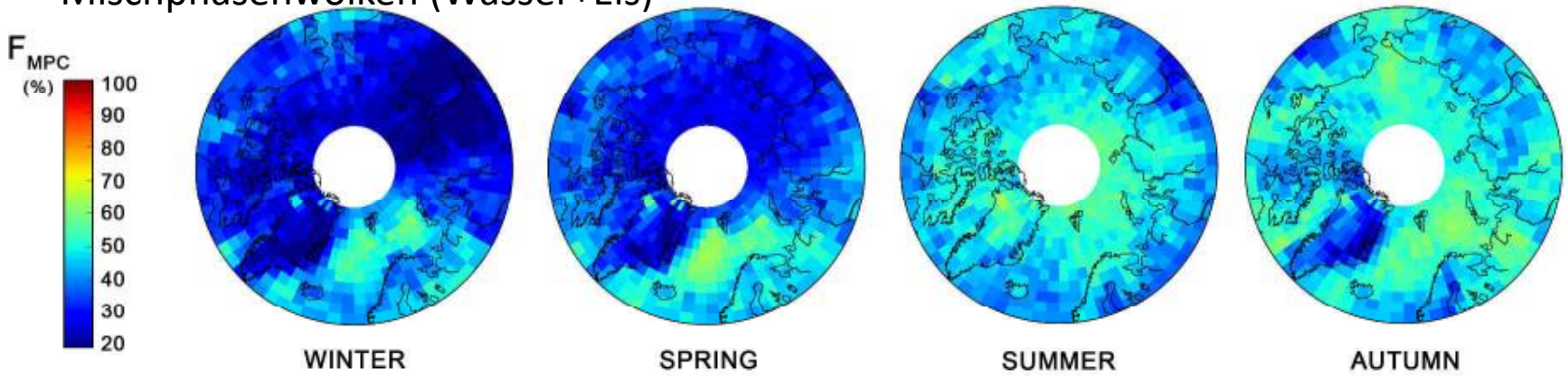
Die Arktis: ein bewölkter Ort

- sehr hohe Wolkenbedeckung → Strahlungseffekt von Wolken

Alle Wolken

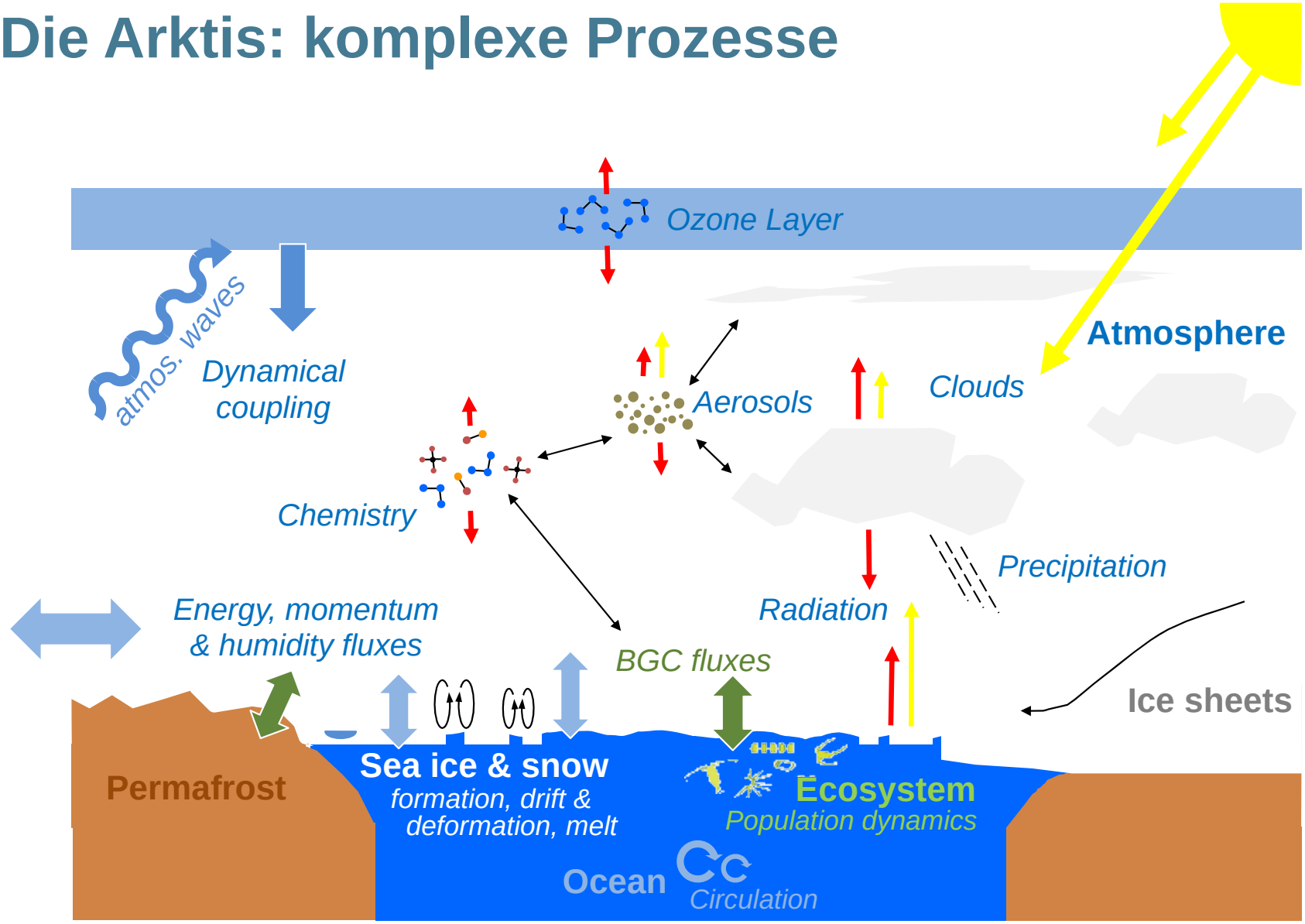


Mischphasenwolken (Wasser+Eis)



Mioche et al. (2015)

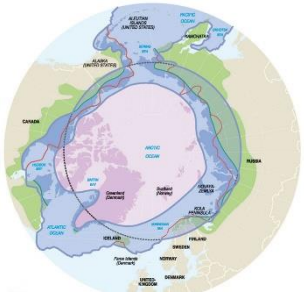
Die Arktis: komplexe Prozesse

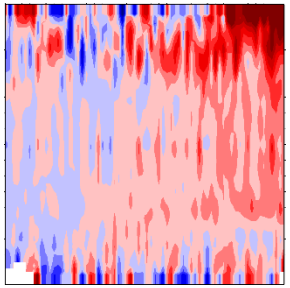


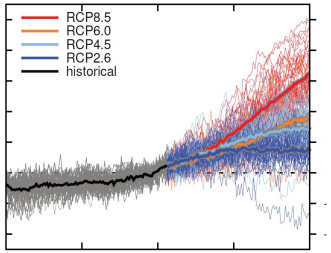
Grafik: AWI

Vortragsübersicht

- Was ist die Arktis?
- **Wie verändert sich die Arktis?**
- Warum gibt es die arktische Verstärkung?
- Wie sieht die Zukunft der Arktis aus?
- Was sind unsere Forschungsaktivitäten?

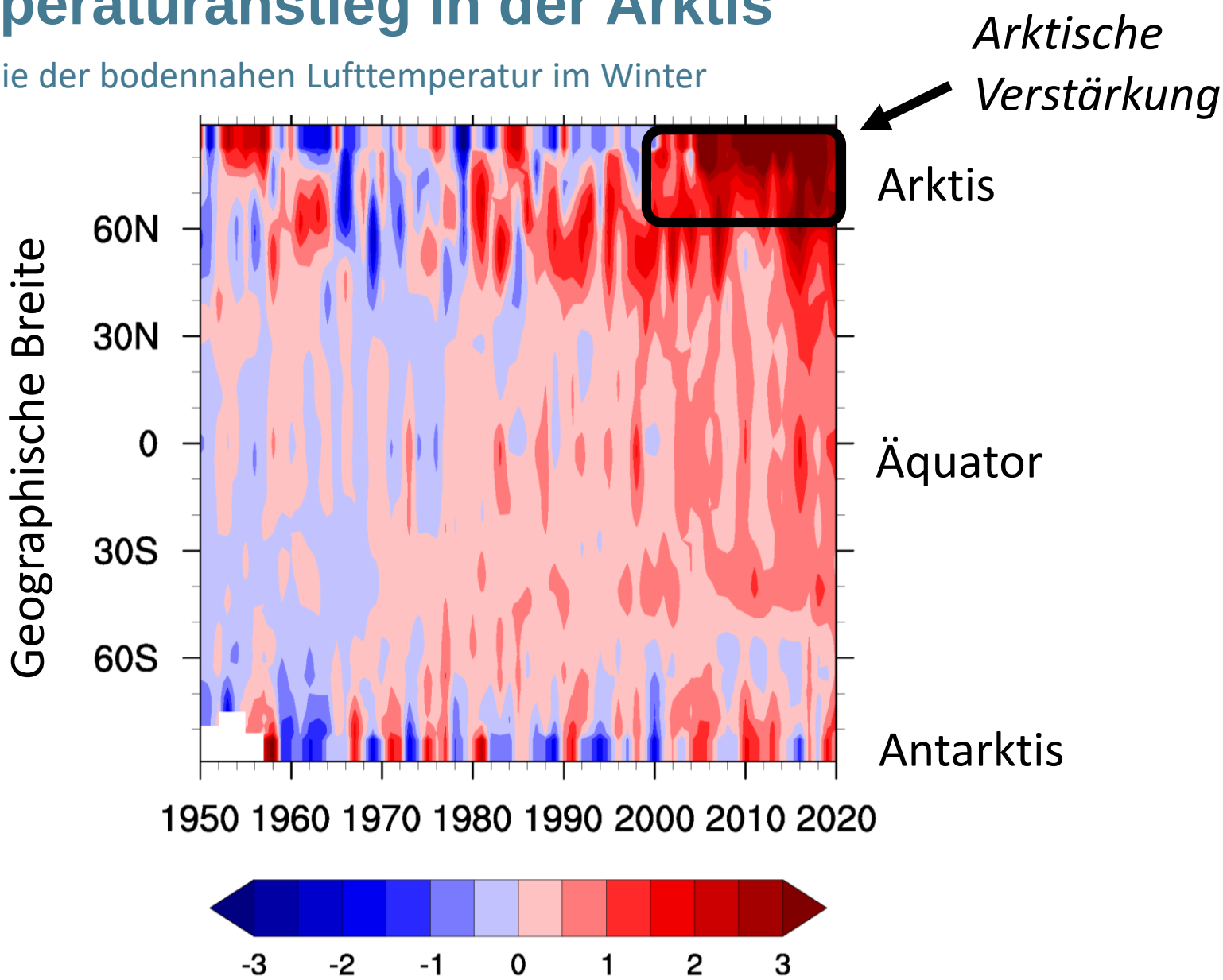






Temperaturanstieg in der Arktis

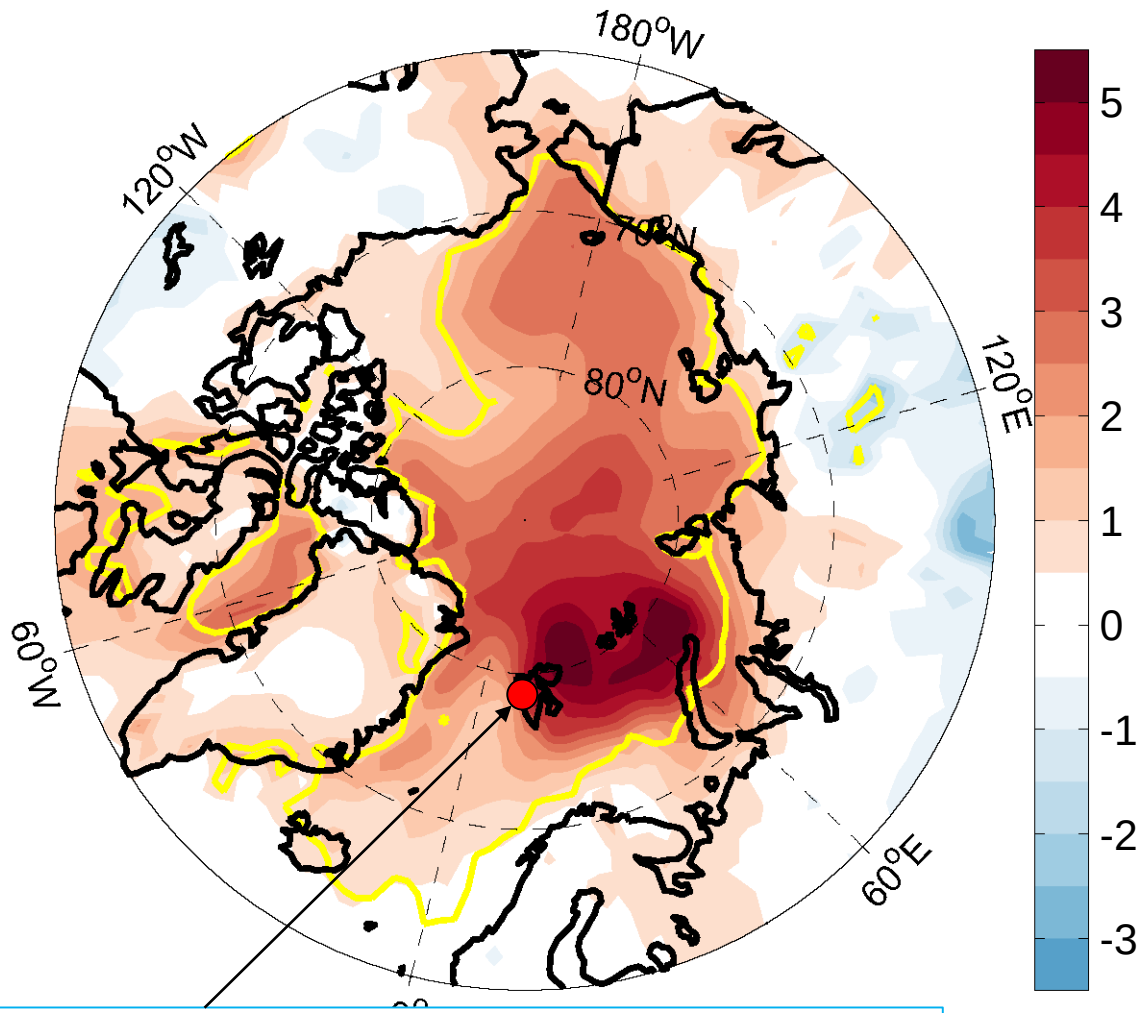
Anomalie der bodennahen Lufttemperatur im Winter



Referenzperiode: 1951-1980, Daten von NASA

Updated from *Wendisch et al.. 2017, EOS*

Temperaturanstieg in der Arktis



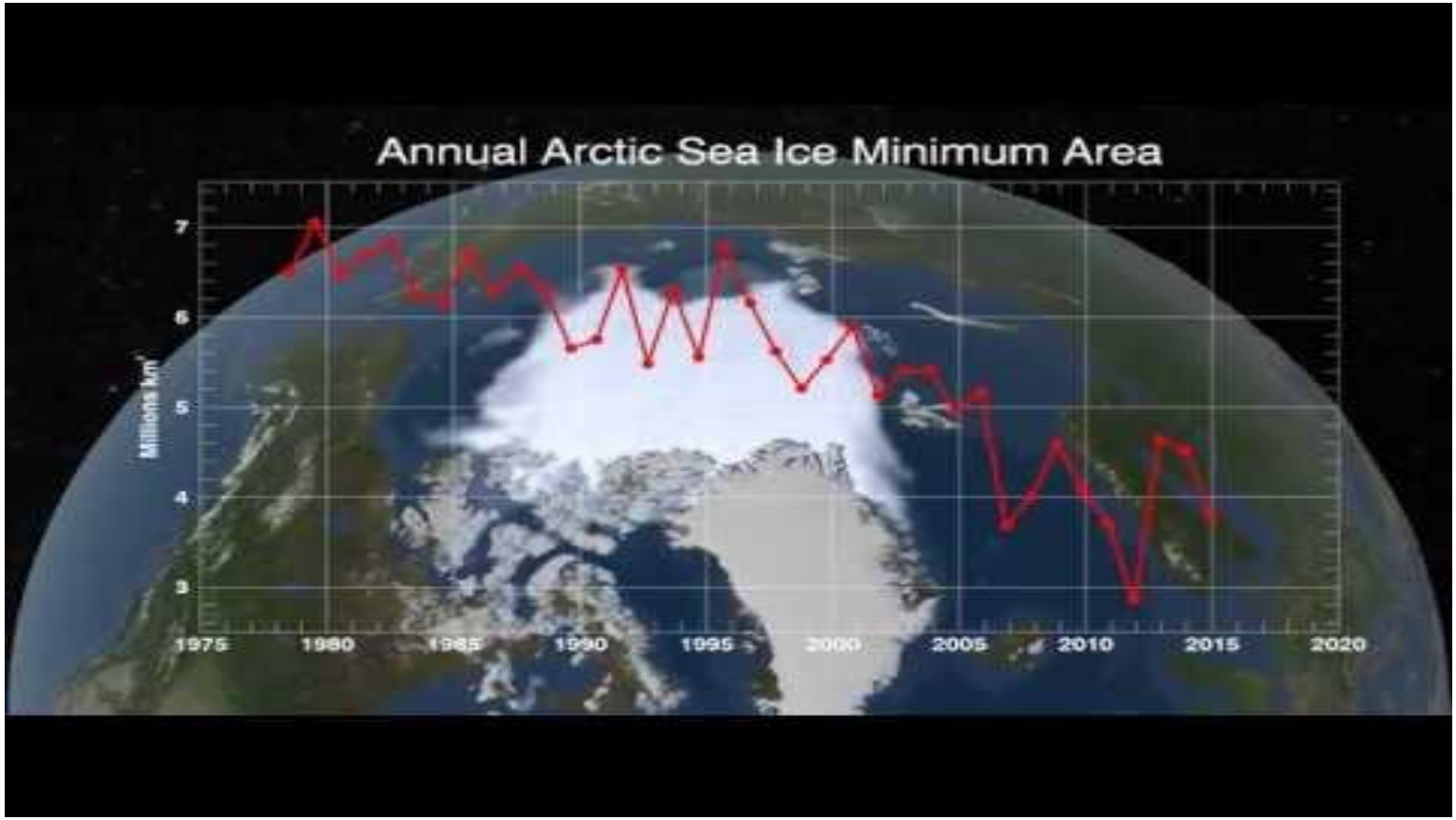
Winter Temperaturänderung in °C pro Dekade

2m Lufttemperatur basierend auf Daten 1996-2017 (ERA-interim)

Maturilli et al., 2017

AWIPEV Forschungsstation
des Alfred-Wegener-Institut und des französischen Polarforschungs-Institut Paul Emile Victor in Ny-Ålesund

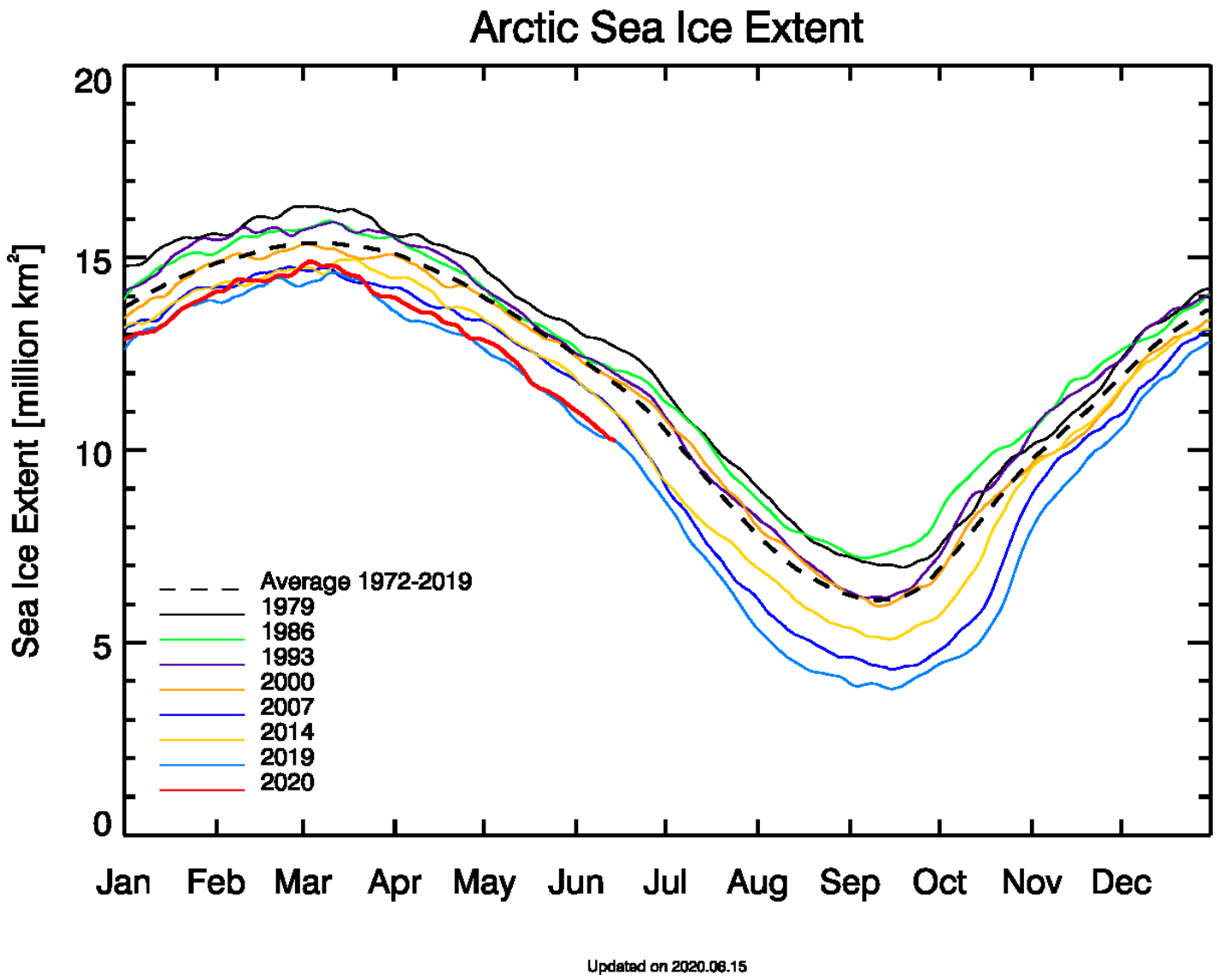
Abnahme der Meereisausdehung



https://www.youtube.com/watch?v=ULEFPCIPP7Y

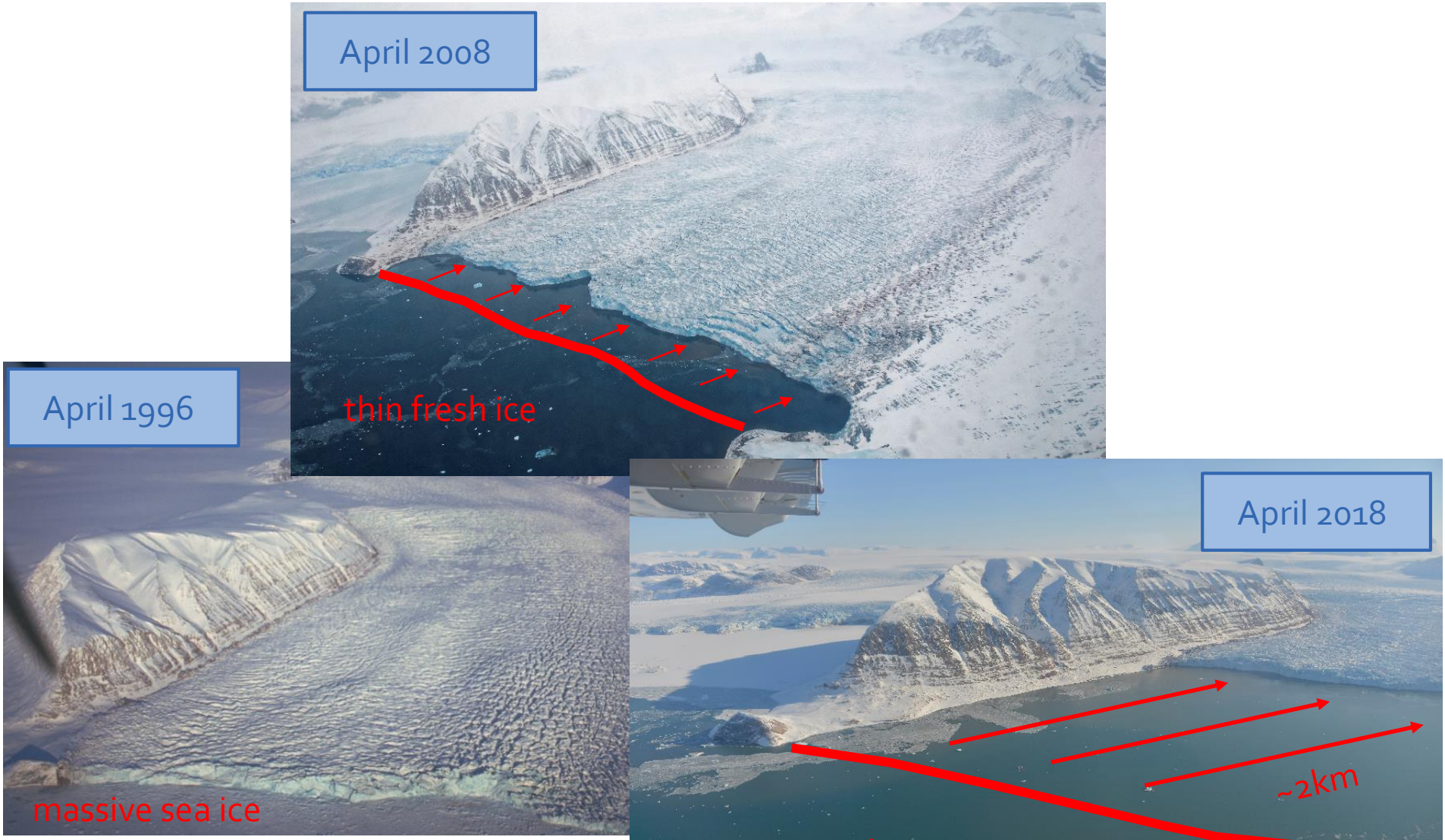
September-Meereisausdehnung
Abnahme um 12,8 % / Dekade
IPCC, SROCC (2019)

Meereisausdehnung: Jahresverlauf



https://seaice.uni-bremen.de/sea-ice-concentration/amsre-amsr2/time-series/

Rückgang von Gletschern: Kronebreen, Svalbard



Bilder: AWI

Auftauen des Permafrostes und Erosion

Auftauender Permafrost (Sibirien)

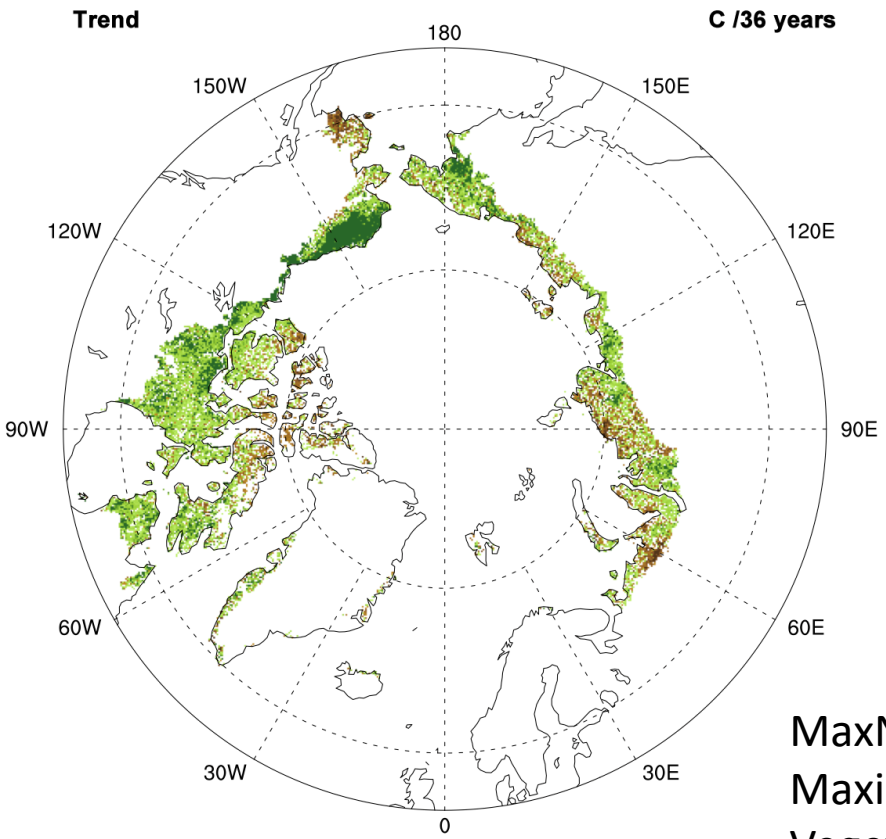
weltweite Zunahme der Permafrosttemperaturen: 0,29°C ±0,12°C (2007-2016)

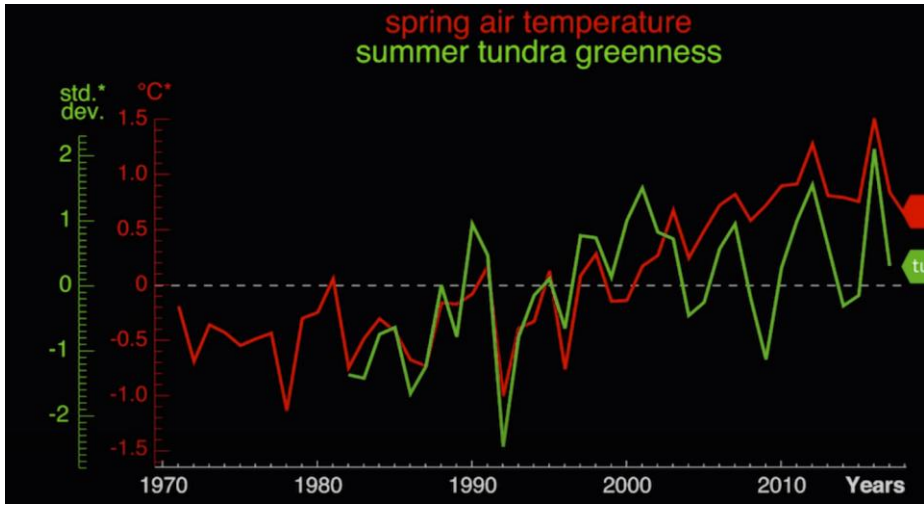
IPCC SROCC (2019)

Küstenerosion (Alaska)

„Grünere“ Arktis

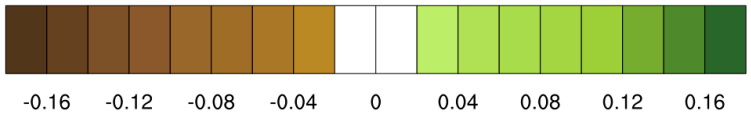
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):
Maß für die Konzentration grüner Vegetation





Box et al., Key indicators of Arctic climate change: 1971–2017
https://www.youtube.com/watch?v=O9uunW_DBZ

MaxNDVI:
Maximalwert in der
Vegetationsperiode



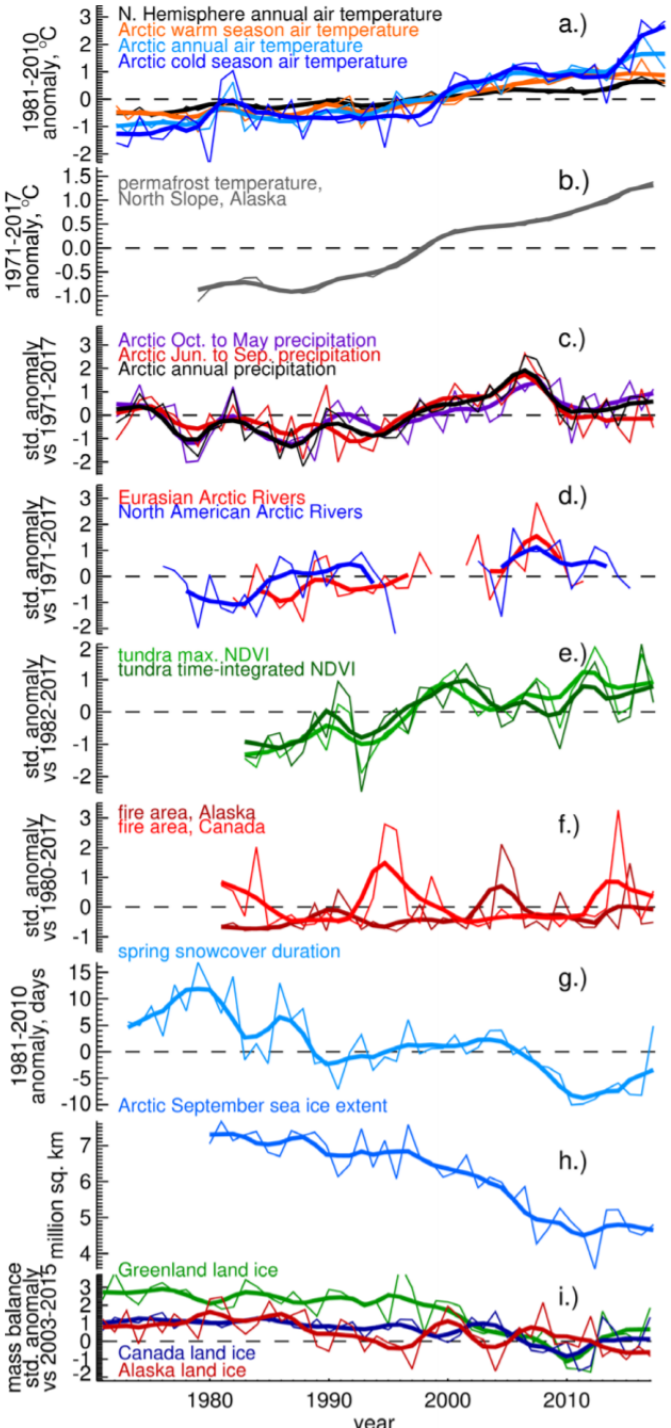
Gesamttrend im MaxNDVI (1982-2017)

Epstein et al. (2019)

Änderungen

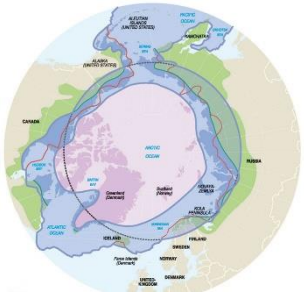
Box et al., Key indicators of Arctic climate change: 1971–2017;
https://www.youtube.com/watch?v=O9uunW_DBZ

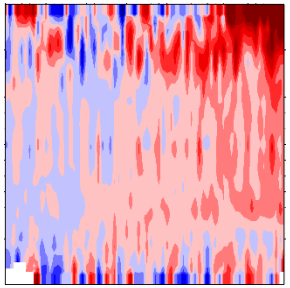
- Lufttemperatur
- Permafrosttemperatur
- Niederschlag
- Abfluss der kontinentalen Flüsse
- Vegetation der Tundra
- Waldbrandfläche
- Dauer der Schneebedeckung im Frühjahr
- Meereisausdehnung
- Massenbilanz der Gletscher

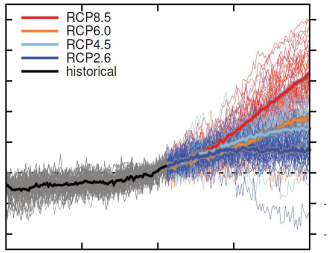


Vortragsübersicht

- Was ist die Arktis?
- Wie verändert sich die Arktis?
- **Warum gibt es die arktische Verstärkung?**
- Wie sieht die Zukunft der Arktis aus?
- Was sind unsere Forschungsaktivitäten?







Rückkopplung

- Rückkopplungsmechanismen erhöhen Komplexität im Klimasystem

- Rückkopplungsmechanismen können eine ursprüngliche Veränderung im System
  → verstärken
  → abschwächen

- positive (negative) Rückkopplung
  → ursprüngliche Veränderung im System (z.B. Zunahme der Temperatur) hat einen Effekt auf andere Variablen im System, die die ursprüngliche Veränderung verstärken (abschwächen)

Oberflächenalbedo

- Albedo
  → Wieviel solare Strahlung wird reflektiert?
  → Wieviel wird absorbiert?

- Wasser:

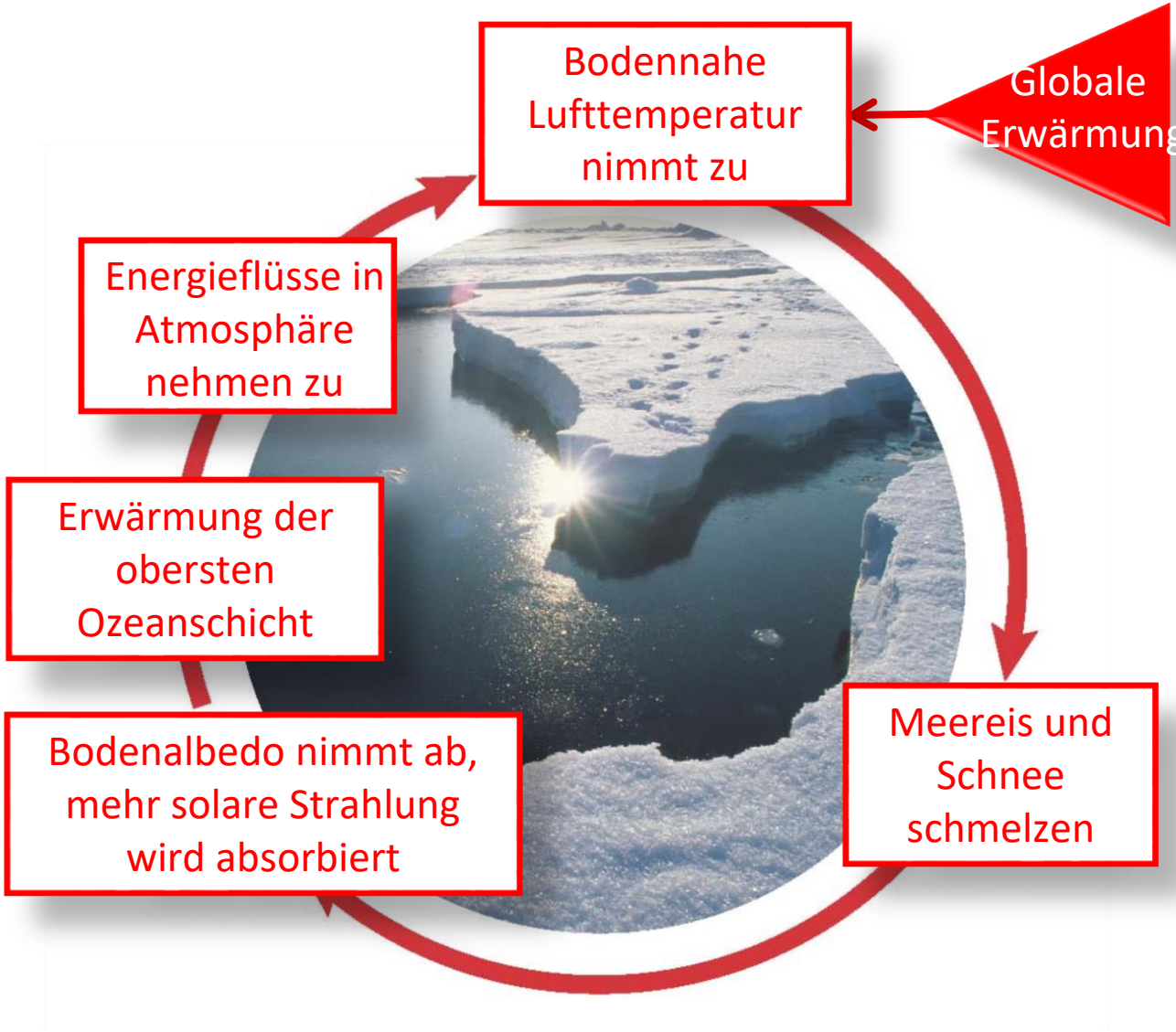
Sonenstand	Albedo
> 45°	5 %
> 30°	8 %
> 20°	12 %
> 10°	22 %

- Meereis: ~0,7

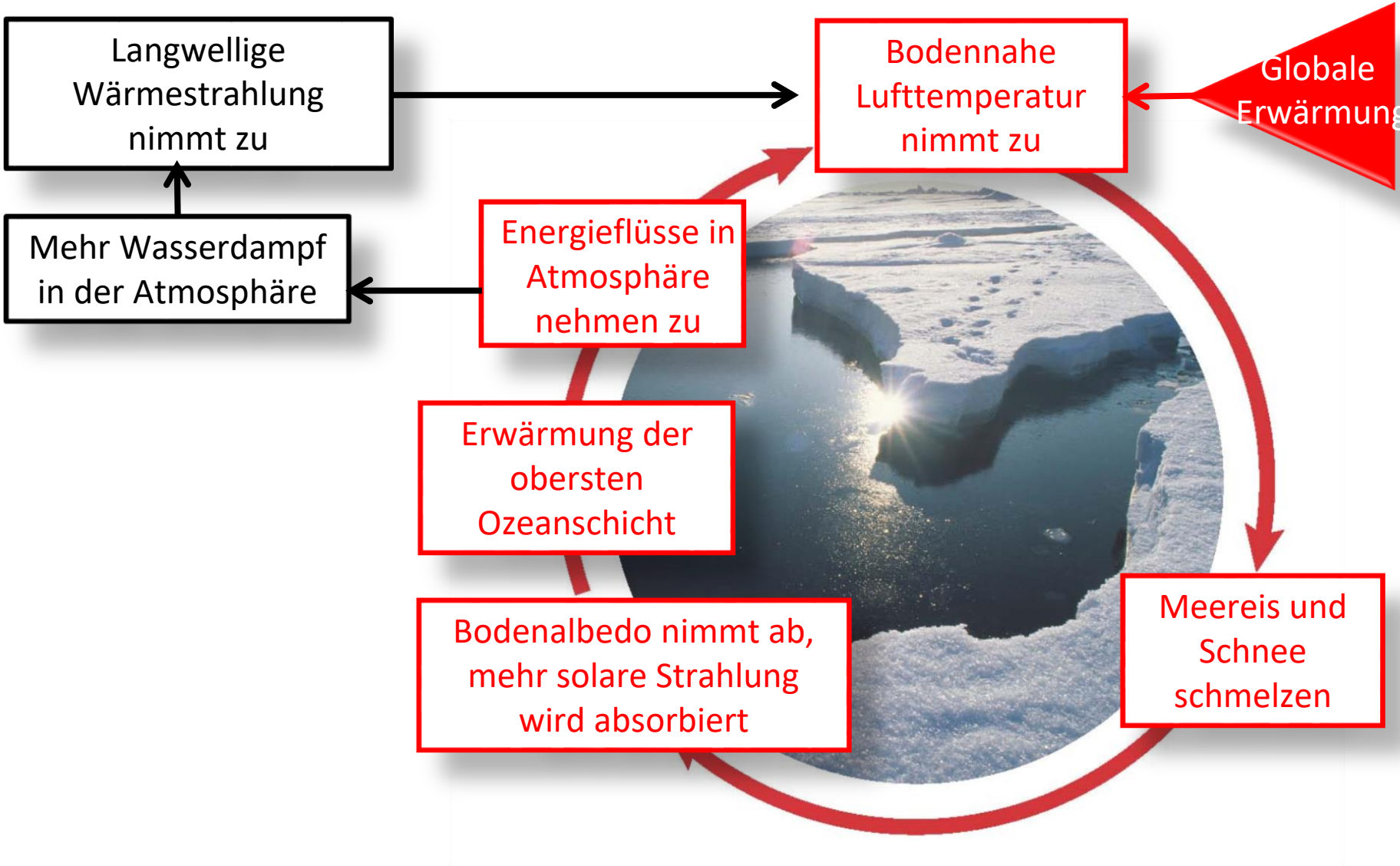
- Schnee: 0,8-0,9

Albedo-Rückkopplung

positiv!

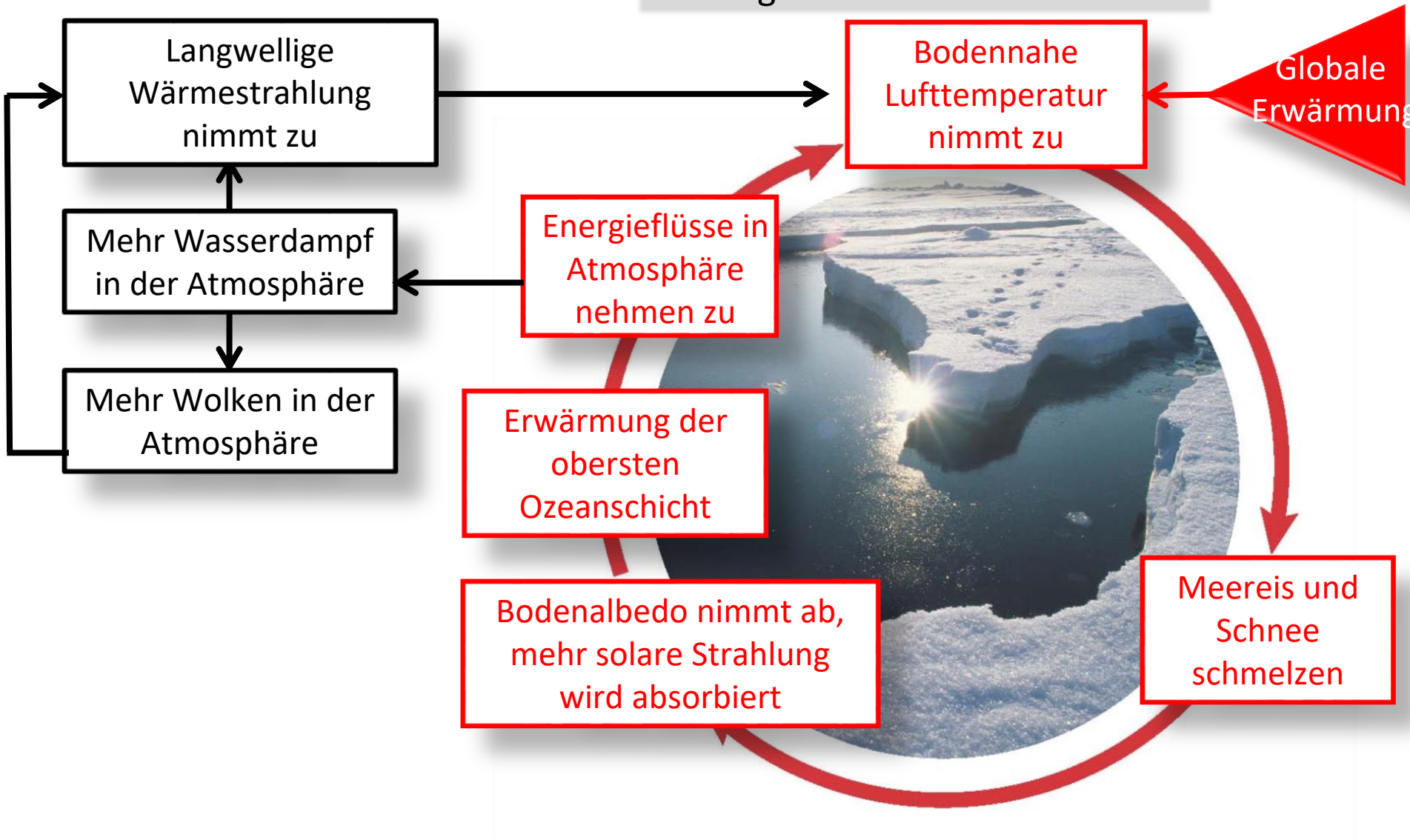


Wasserdampf-Rückkopplung **positiv!**

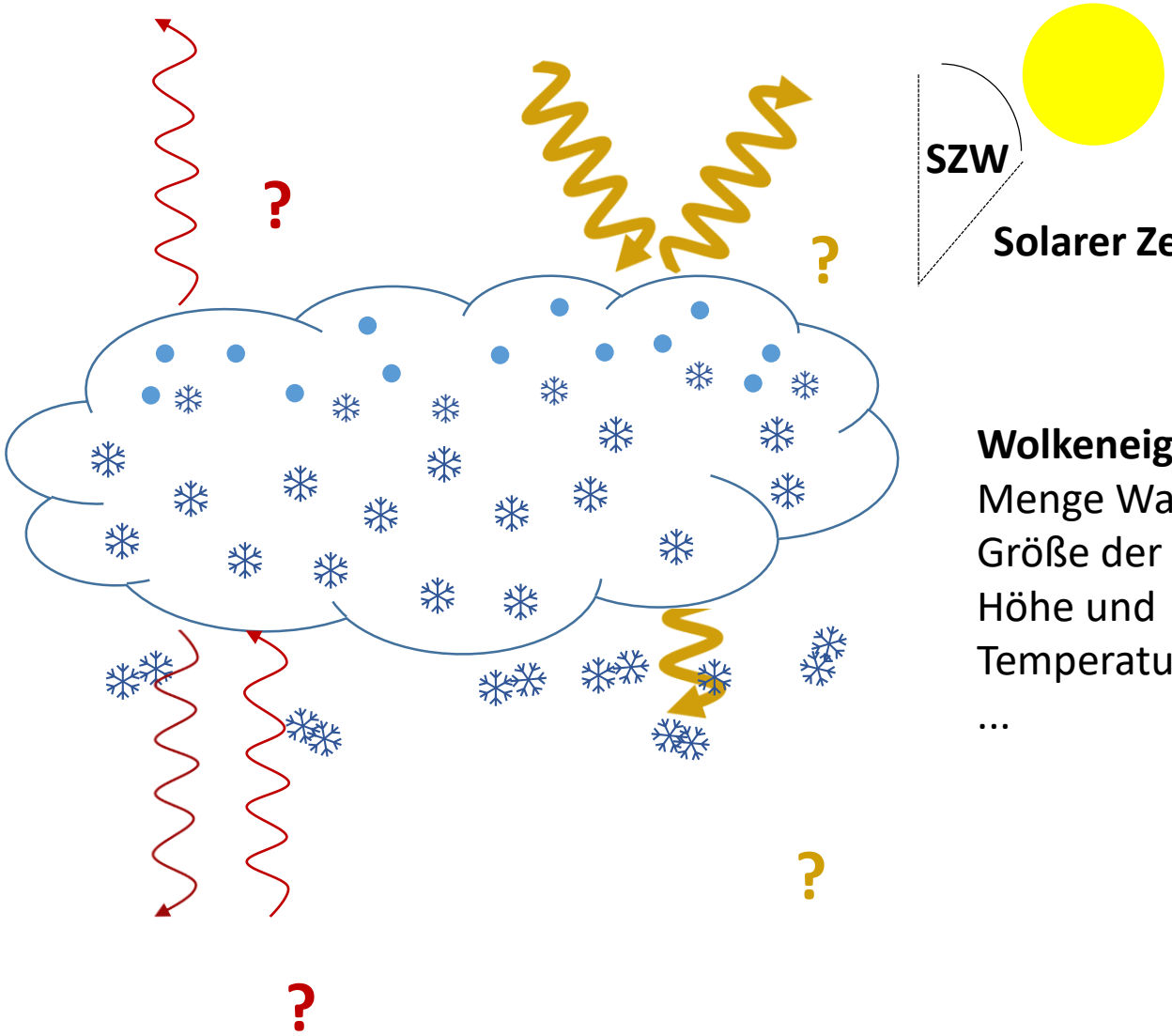


Wolken-Rückkopplung

positiv oder negativ
→ hängt u.a. von Bodenalbedo ab



Was macht Wolken so kompliziert?

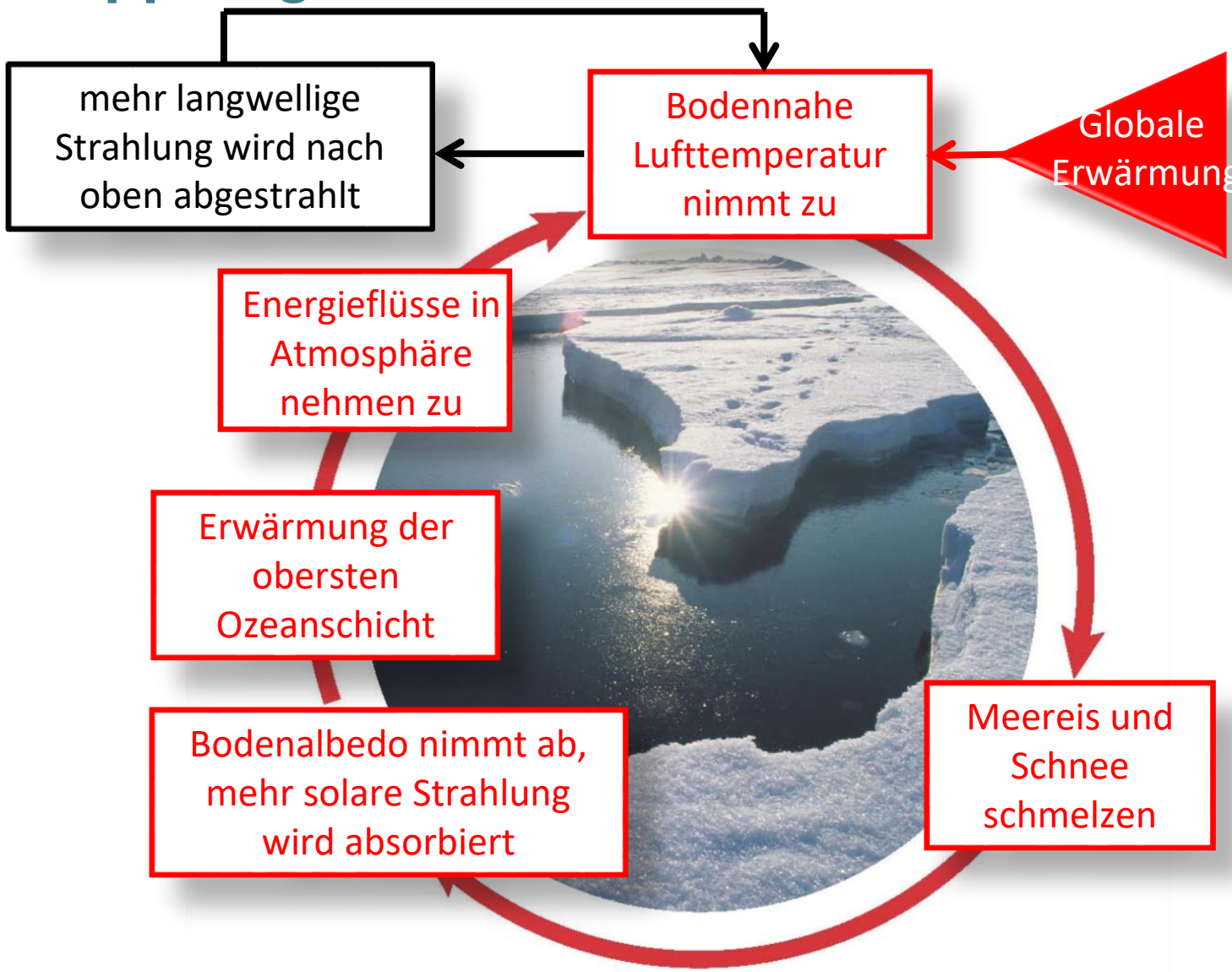


Temperatur und Feuchte in der Atmosphäre

Wolkeneigenschaften:
Menge Wasser/Eis,
Größe der Teilchen,
Höhe und
Temperatur der Wolke,
...

Planck-Rückkopplung **negativ**

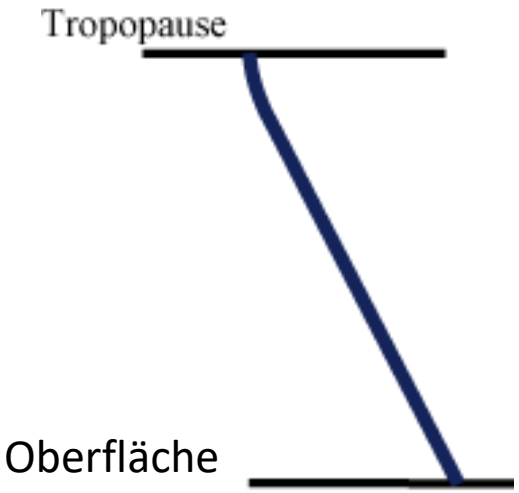
(langwellige Strahlung proportional zu Temperatur^4)



Temperaturgradient-Rückkopplung **positiv!**

- es spielt eine Rolle, wie (in welcher Höhe) sich die Atmosphäre erwärmt!

Unverändertes Temperaturprofil



www.climate.be

Arktis: Erwärmung der untersten Atmosphärenschichten bleibt in den untersten Schichten →Temperaturgradient-Rückkopplung ist positiv

Können wir die arktischen Rückkopplungseffekte quantifizieren?

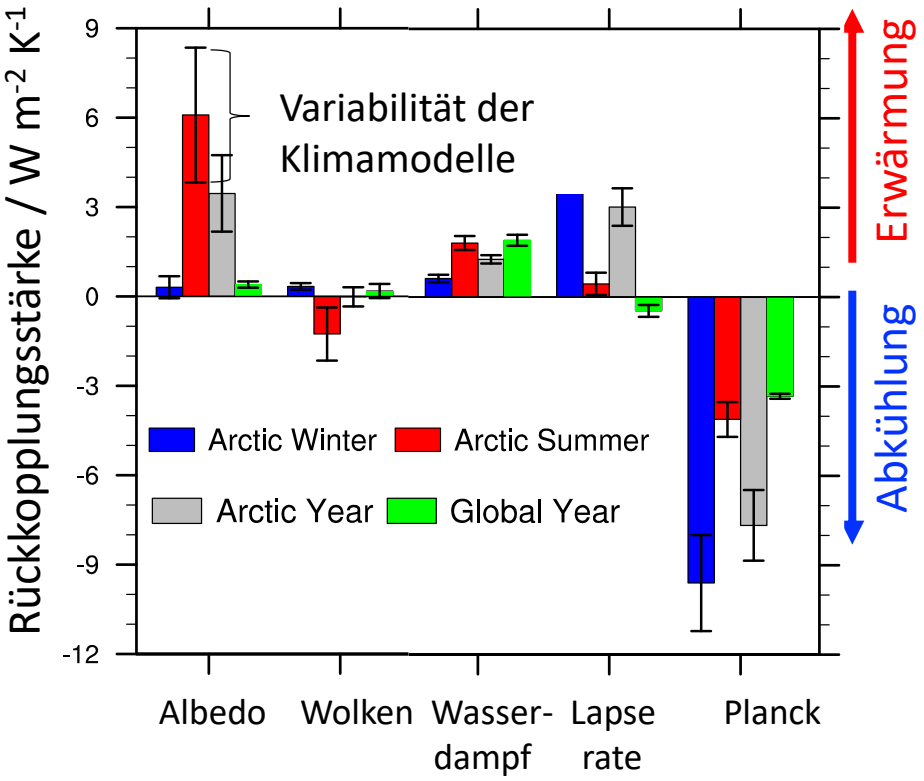
Änderung in bodennaher Temperatur

↓

Änderung in anderer Variable (z.B. Bodenalbedo, Wolken,...)

↓

Änderung der Strahlungsbilanz am Oberrand der Atmosphäre (in W m^{-2})



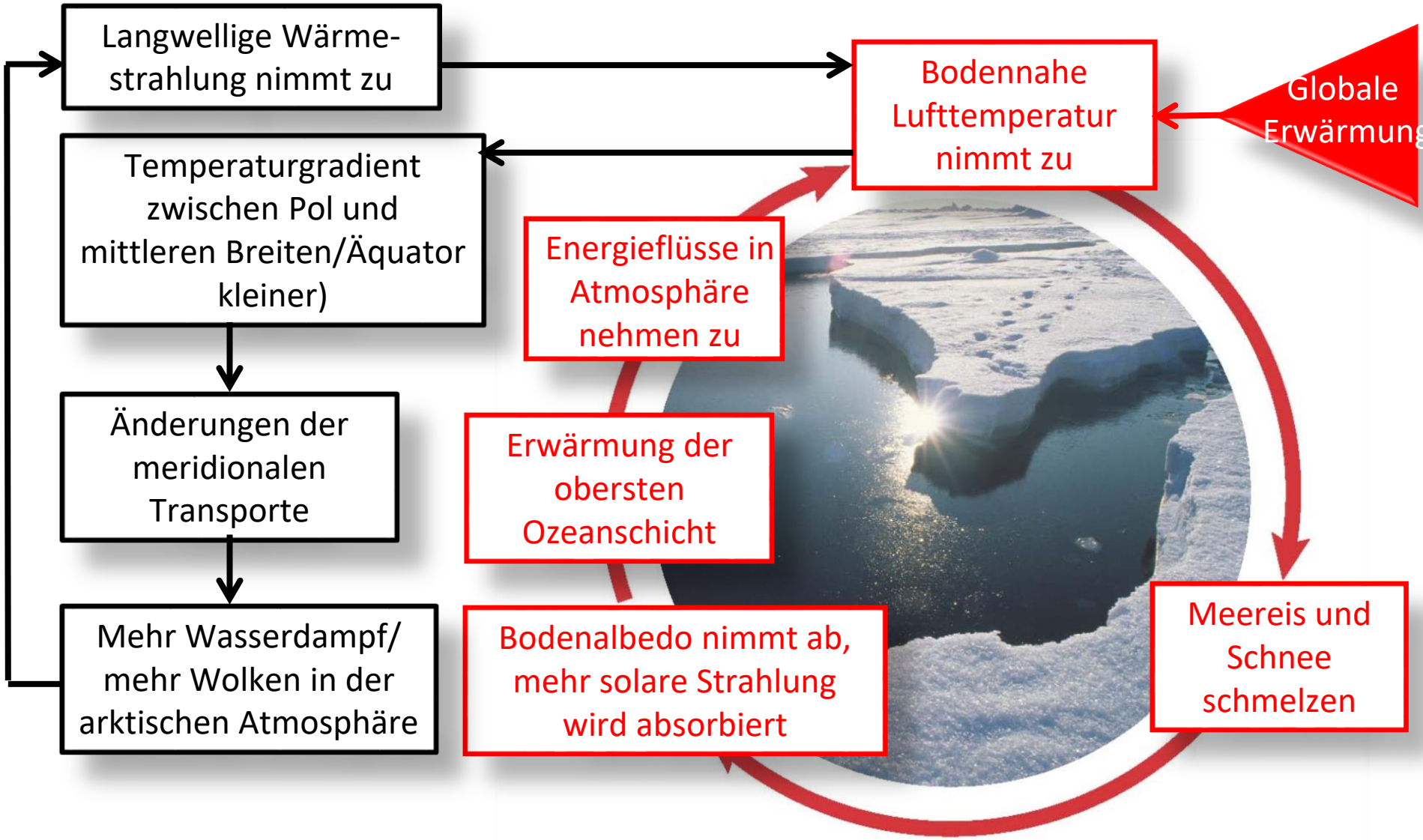
nach Block et al. (2019) „Climate models disagree on the sign of total radiative feedback in the Arctic"

→ große Unterschiede zwischen Klimamodellen

→ insbesondere Wolkenprozesse noch nicht gut verstanden
  → Unsicherheit im Rückkopplungseffekt von Wolken

→ kein Konsens über den Gesamteffekt

Fernwirkungen

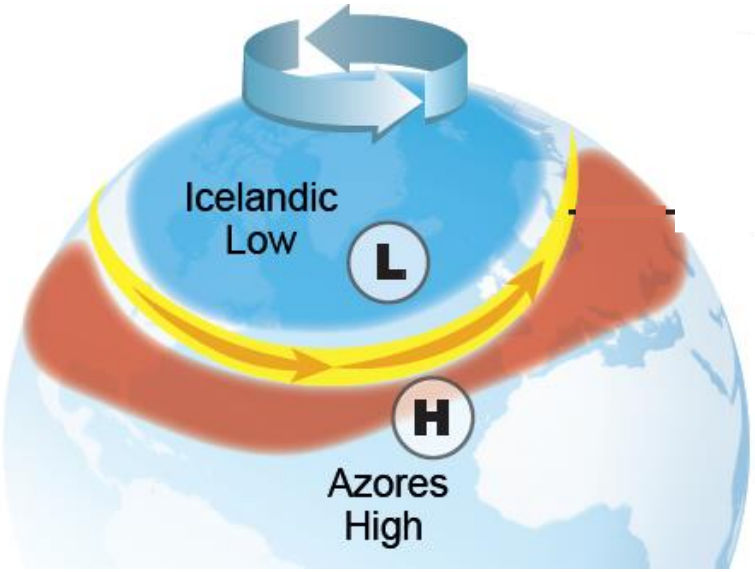


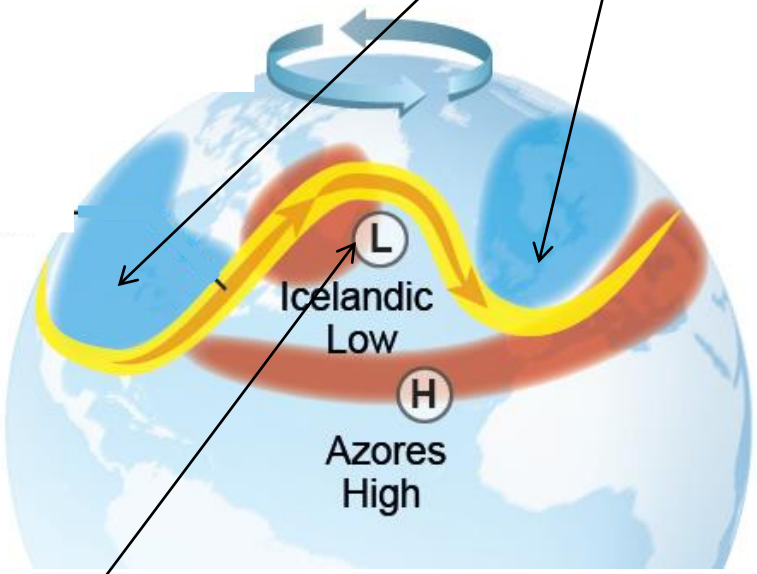
Veränderungen des polaren Jetstreams

- Abnahme des meridionalen Temperaturgradienten
  → Abnahme des Jetstreams

stabiler Jetstream → **mäandrierender Jetstream**

Potential für Kaltlufteinbrüche
➔ Europa und USA



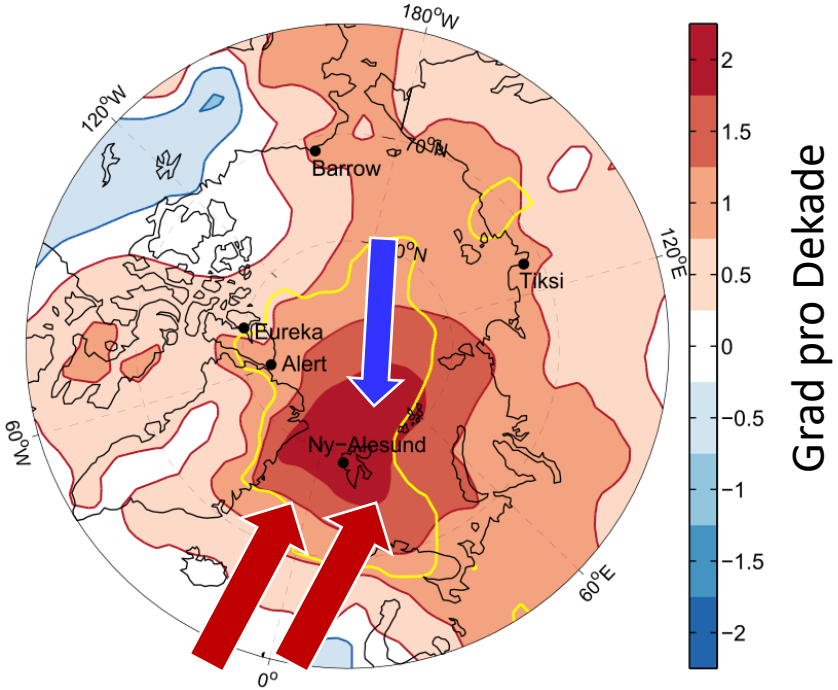


Advektion von warmer, feuchter Luft in den atlantischen Sektor der Arktis

Grafik: AWI

Zirkulationsänderungen: Auswirkungen auf Svalbard

Temperaturtrend im Winter (DJF), 850 hPa-Level, 1996-2016



Dahlke und Maturilli (2017)

Nördliche Luftmassen bringen kalte Luft

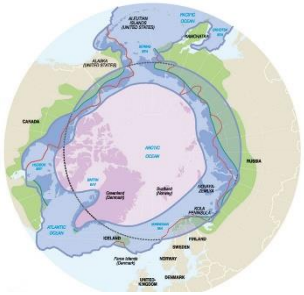
Südliche Luftmassen bringen warme Luft

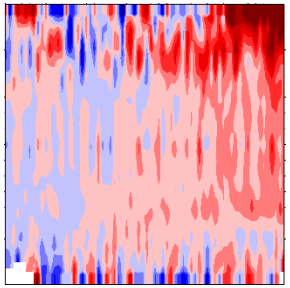
- Luftmassen kommen häufiger vom Nordatlantik

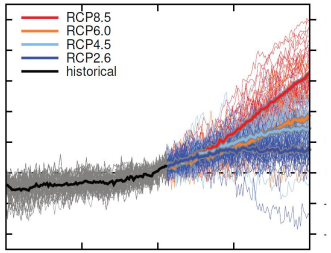
Änderungen in der Zirkulation tragen ca. zu 25% (0.45 K) zur Erwärmung in der Troposphäre (Winter) über Svalbard bei!

Vortragsübersicht

- Was ist die Arktis?
- Wie verändert sich die Arktis?
- Warum gibt es die arktische Verstärkung?
- **Wie sieht die Zukunft der Arktis aus?**
- Was sind unsere Forschungsaktivitäten?



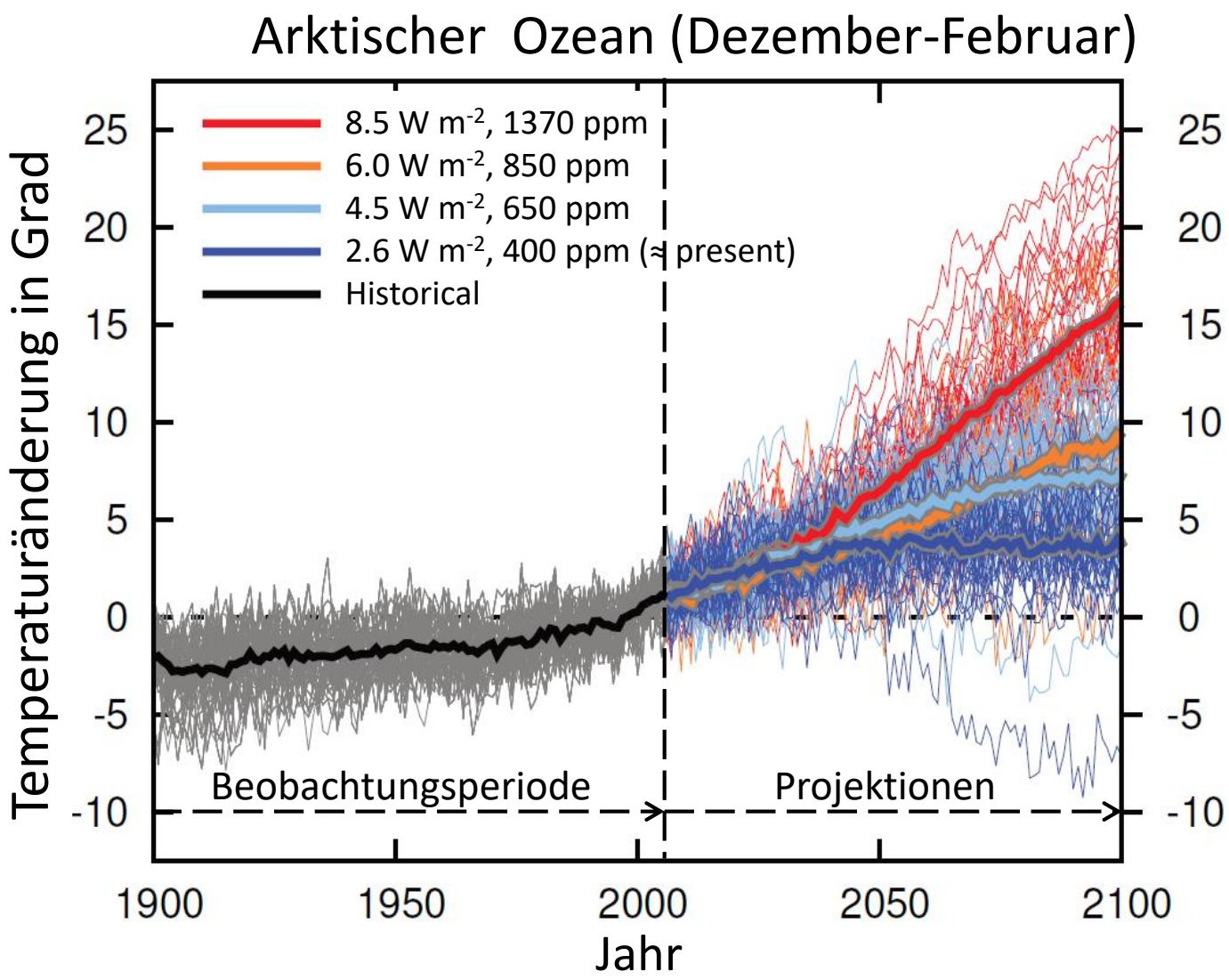




FLUXES
TRANSPORT
CLOUDS
SURFACE
ARCTIC AMPLIFICATION
(AC)³

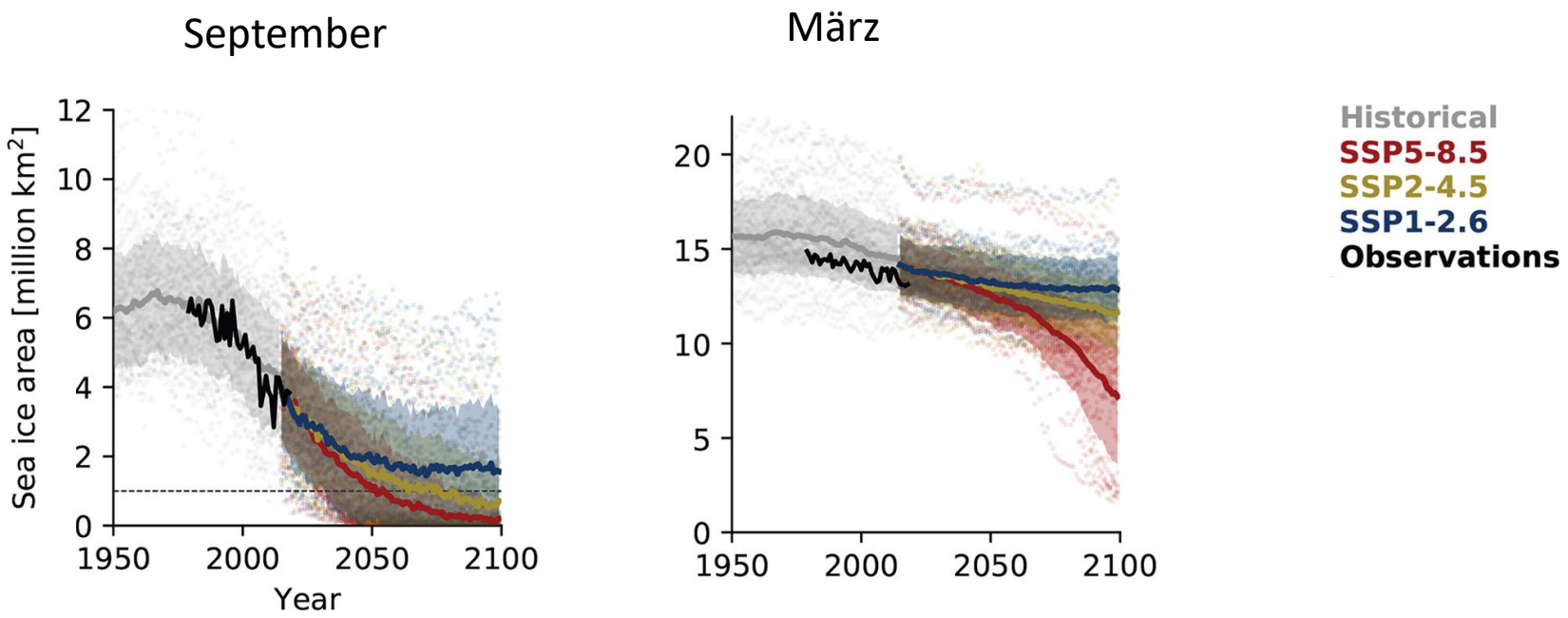
Universität zu Köln

Bodennahe Lufttemperatur



IPCC (2013), Annex 1

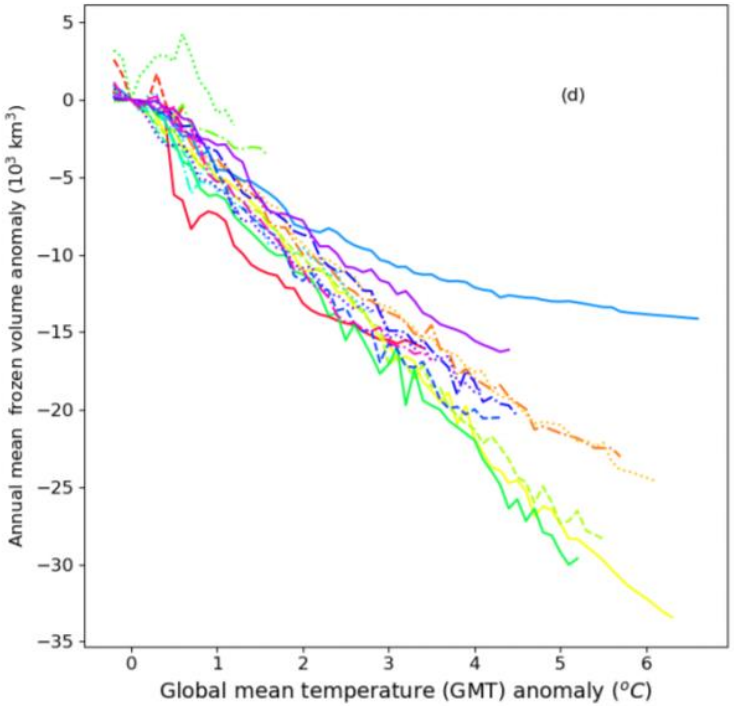
Meereisausdehnung



Seasonal Prediction Intercomparison Project SIMIP (2020). Arctic sea ice in Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP*6). Geophysical Research Letters.* https://doi.org/10.1029/2019GL086749

Permafrost

Jahresmittel des getauten Volumen

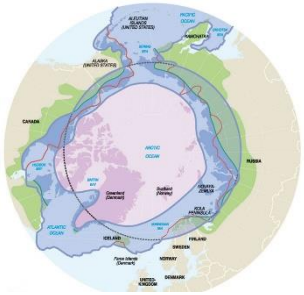


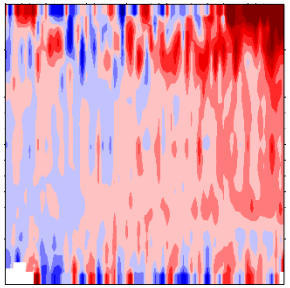
Burke, E. J., Zhang, Y., and Krinner, G.: Evaluating permafrost physics in the CMIP6 models and their sensitivity to climate change, The Cryosphere Discuss., https://doi.org/10.5194/tc-2019-309 in review, 2020.

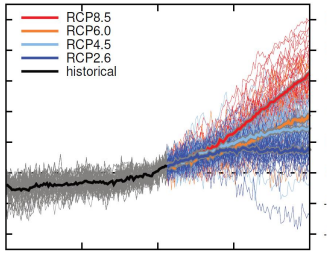
Große Unsicherheiten bei der Abschätzung der zukünftigen Kohlenstoff- und Methanemissionen

Vortragsübersicht

- Was ist die Arktis?
- Wie verändert sich die Arktis?
- Warum gibt es die arktische Verstärkung?
- Wie sieht die Zukunft der Arktis aus?
- **Was sind unsere Forschungsaktivitäten?**





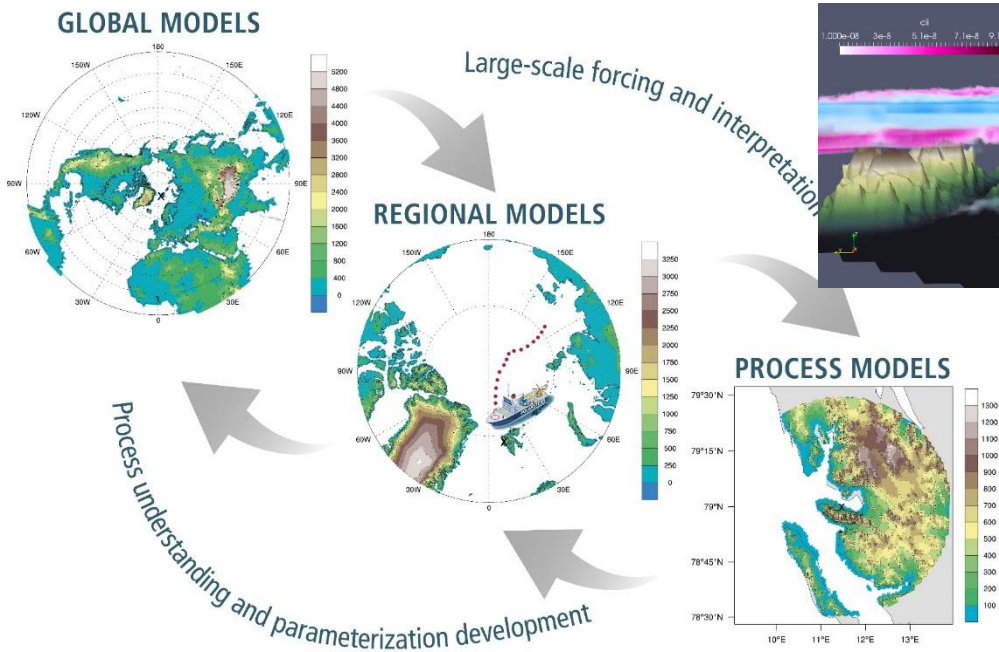


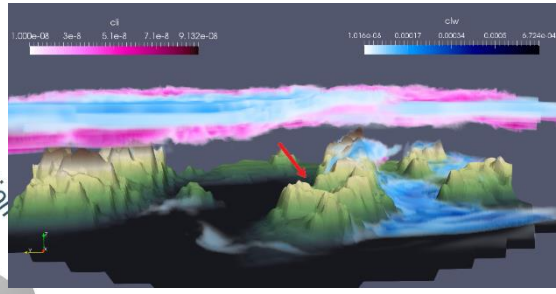
FLUXES
TRANSPORT
CLOUDS
SURFACE
ARCTIC AMPLIFICATION
(AC)³

Universität zu Köln

Wie können wir die arktische Verstärkung besser verstehen?

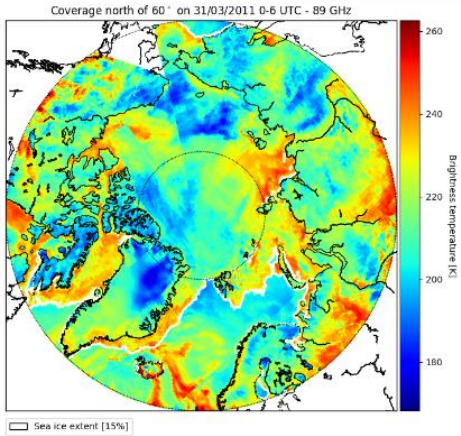
Tobias Donth




Vera Schemann

Kerstin Ebell

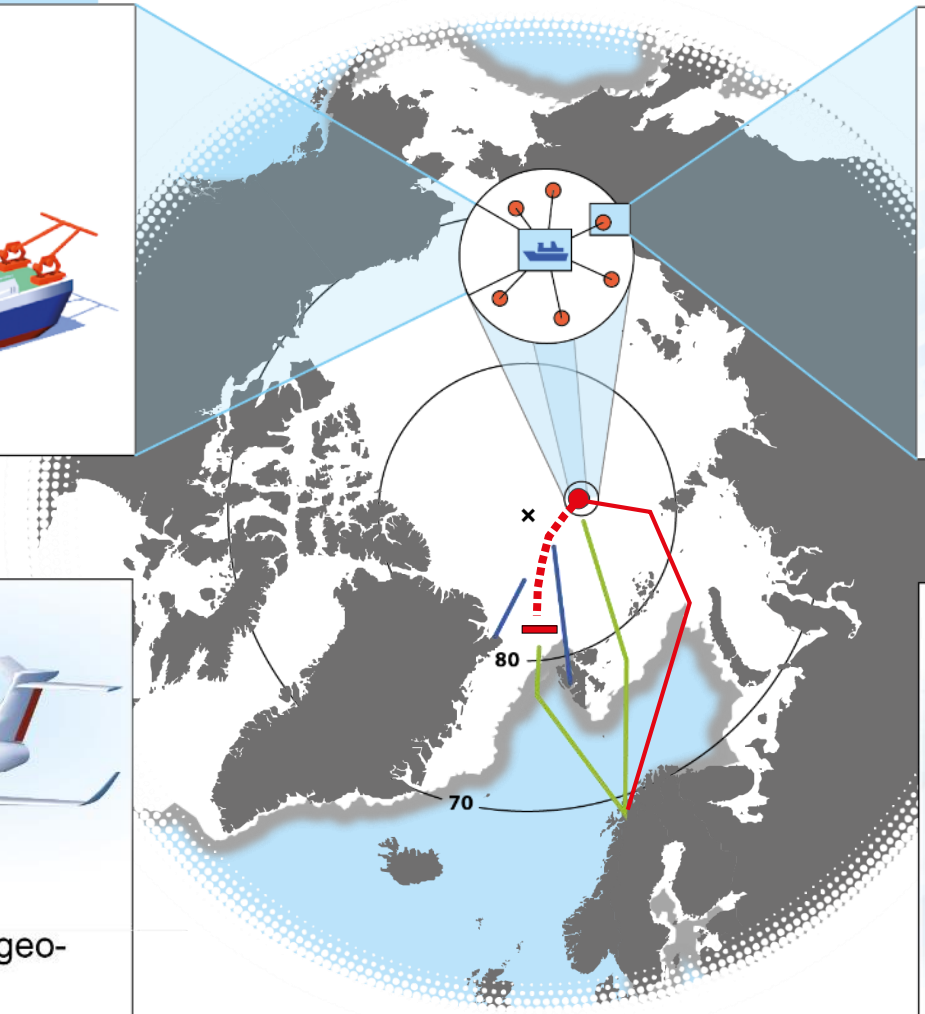
Marlen Brückner



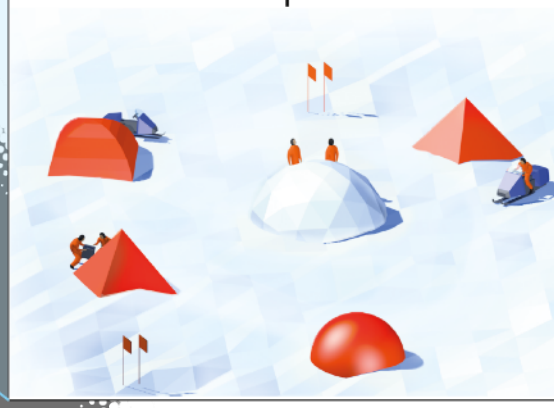
MOSAiC-Expedition

September 2019 — Drift — September 2020

Central observatory:
RV Polarstern



Network of camps on the ice



Operations of research aircraft and helicopters

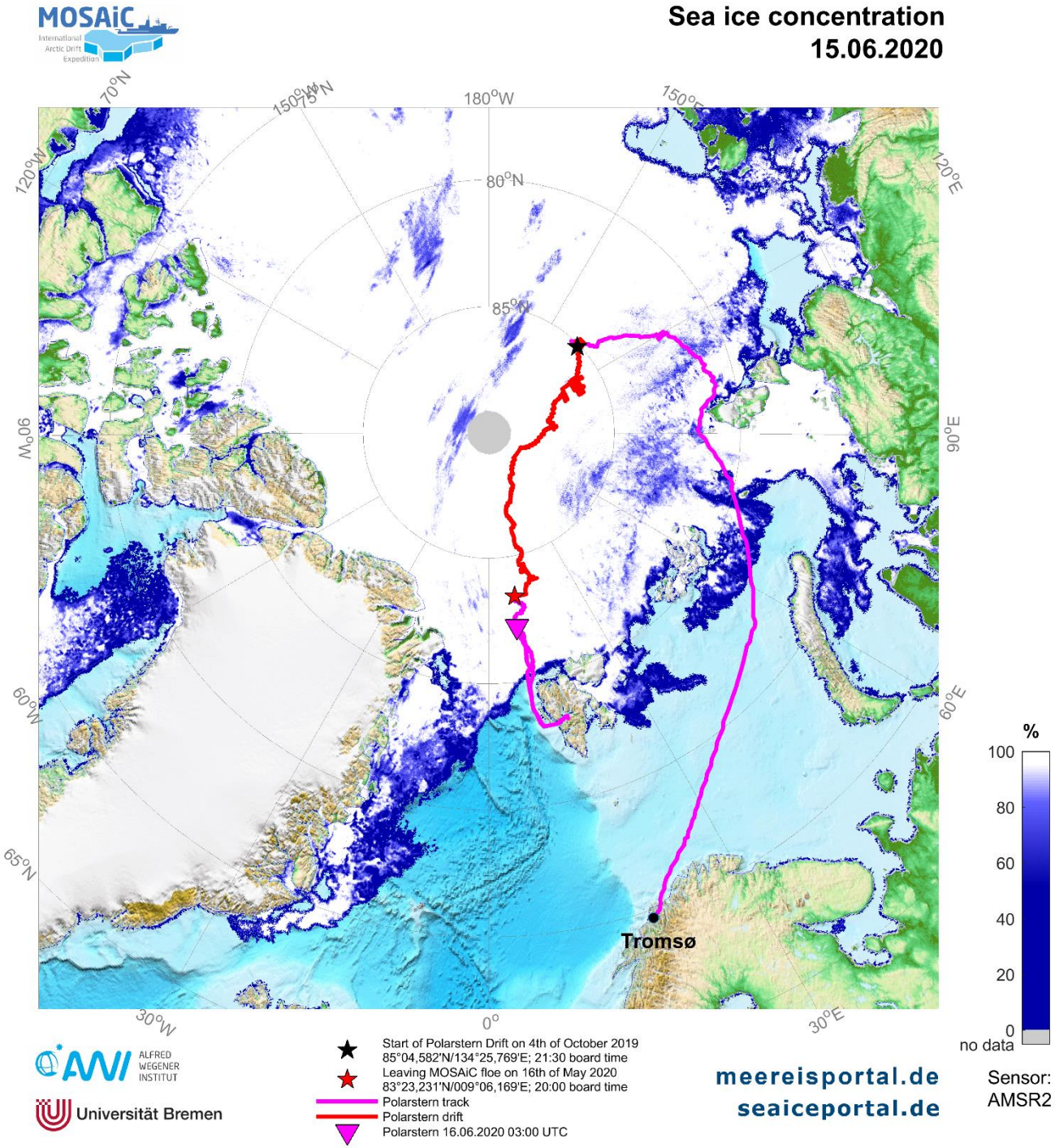
- Extended vertical and geographical coverage

Visits by four icebreakers from MOSAiC partners

- Broader geografic coverage and supply

Folie: AWI

Aktuelle MOSAiC Drift



MOSAiC-Expedition

https://follow.mosaic-expedition.org

erster Schritt auf dem Meereis;
Untersuchung ob Eisscholle geeignet ist

MOSAiC-Expedition: $(AC)^3$ Beiträge

Picture: Christian Rohleder, DWD

https://twitter.com/tropos_de

Aktive und passive Fernerkundungsmessungen in verschiedenen Spektralbereichen zur Wolken-Charakterisierung

TROPOS Leibniz Institute for Tropospheric Research

Universität zu Köln

MOSAiC-Expedition: $(AC)^3$ Beiträge

Foto: Gunnar Spreen

MOSAiC-Expedition: $(AC)^3$ Beiträge

Charakterisierung von Schnee- und Eiseigenschaften

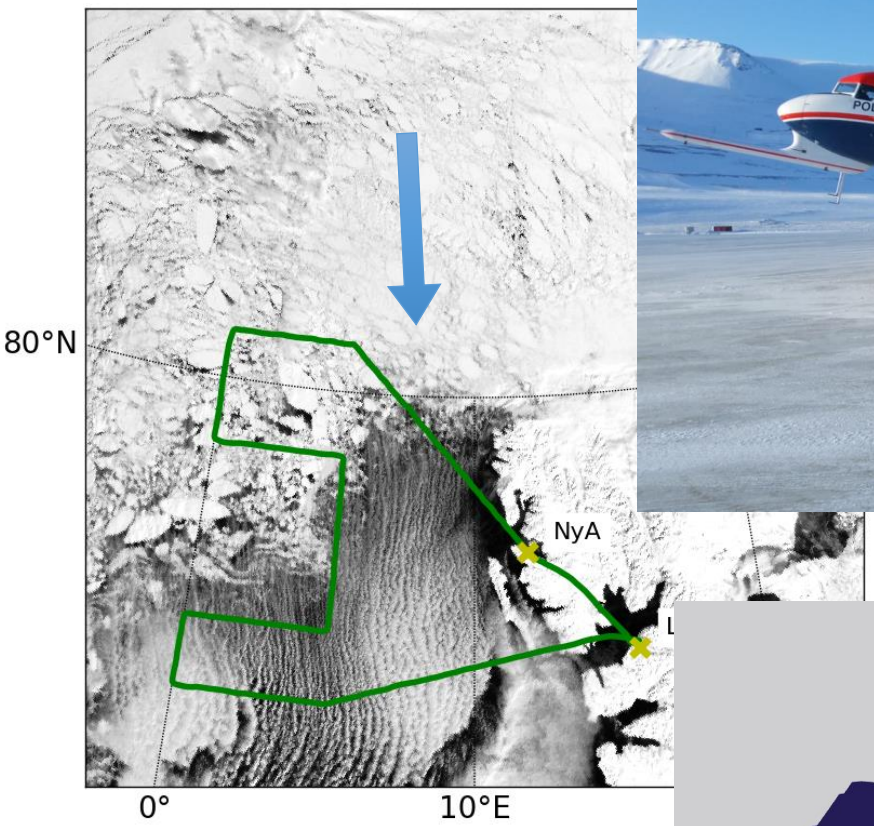
Foto: Gunnar Spreen

MOSAiC-Expedition: $(AC)^3$ Beiträge

Ersteller: Stephan Schoen | Urheber: Alfred-Wegener-Institut / Stephan Schön, Sächsische Zeitung

Fesselballonaufstiege für Energieflüsse – Vorexperiment in 2017

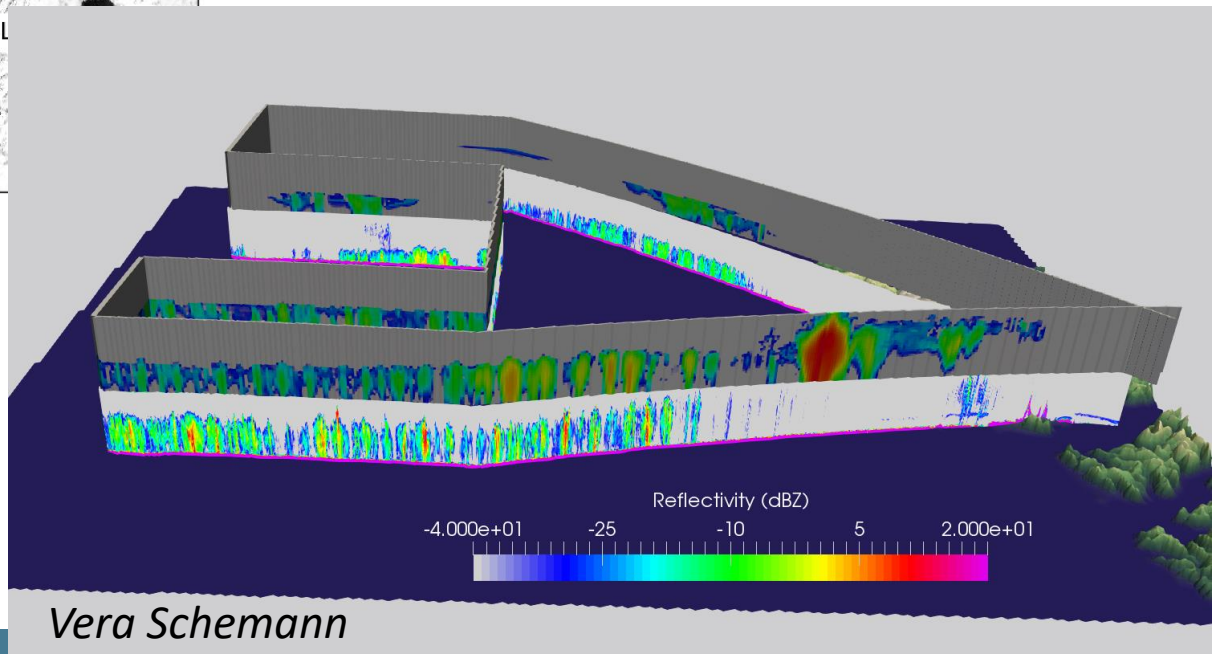
Kaltluftausbrüche



Polar 5 + MiRAC (Microwave Radar/ Radiometer for Arctic Clouds)

ACLOUD Kampagne 2017
MOSAiC-ACA März April abgesagt

Sommerkampagne ungewiss

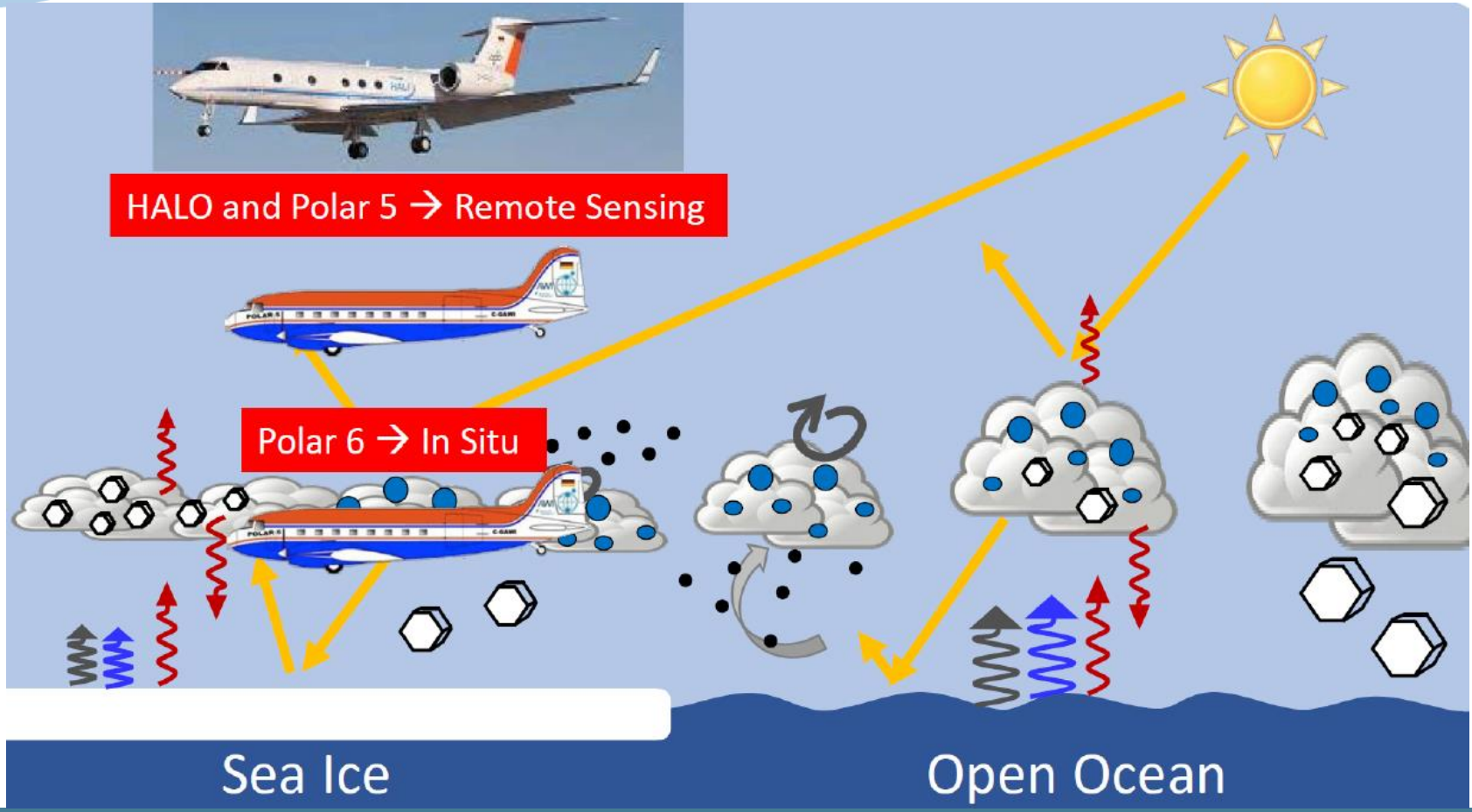


Vera Schemann

HALO (AC)³ Frühjahr 2022

HALO – ArctiC Amplification:
Climate Relevant Atmospheric and
SurfaCe Processes, and Feedback Mechanisms

Mission status: *Enry*

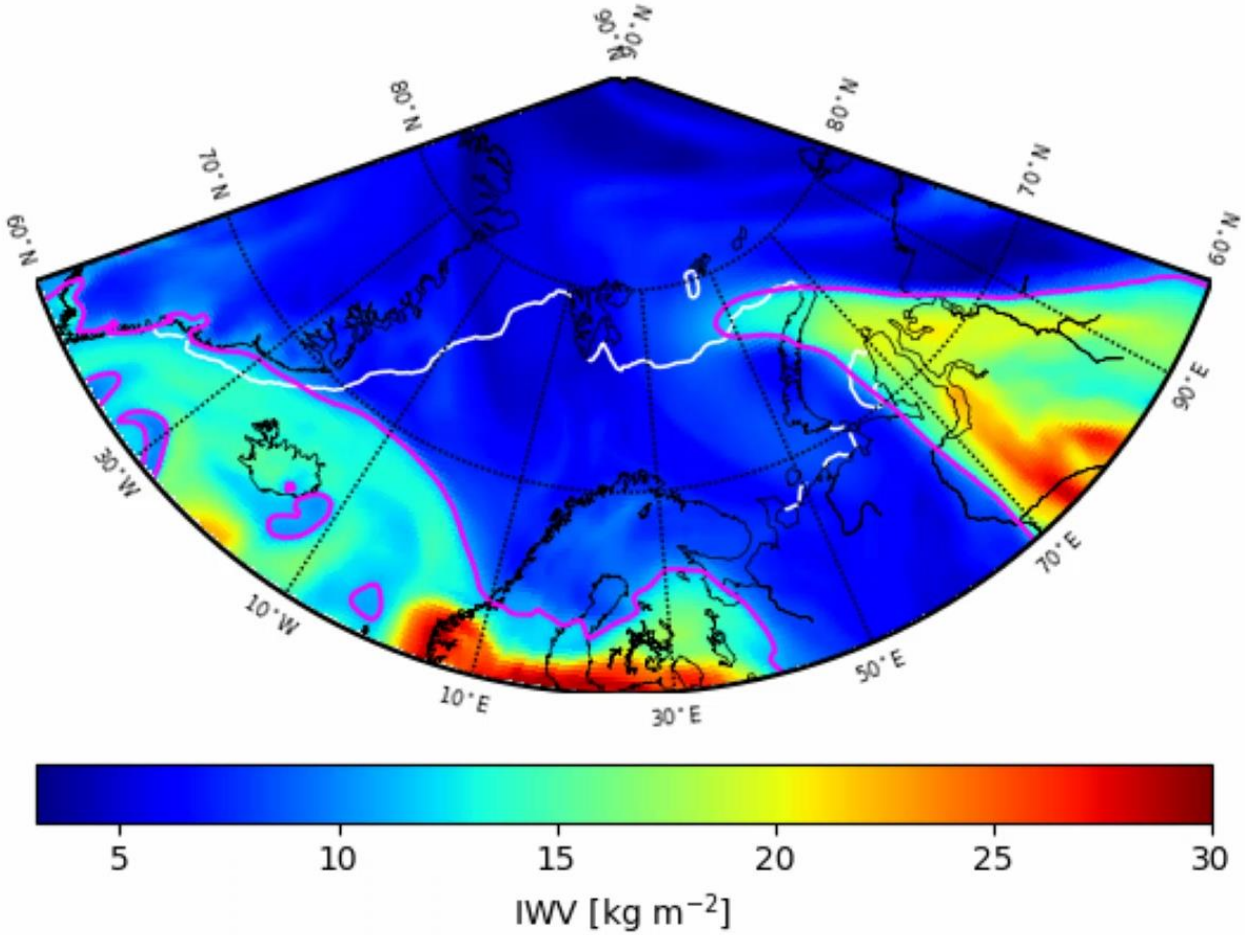


Atmospheric Rivers (AR)

Transport von warmer und feuchter Luft in die Arktis

→ Wieviel Energie wird in die Arktis transportiert?

→ Wieviel Niederschlag (Regen / Schnee) bringen Ars?



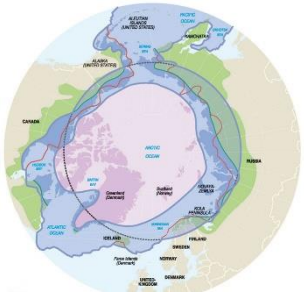
Detektion nach Guan and Waliser

Melanie Lauer

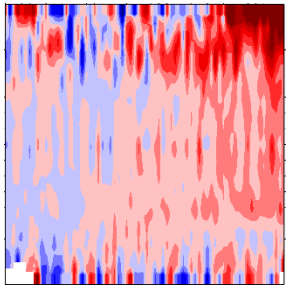
Gesamtwasserdampfgehalt (IWV) einer Luftsäule aus ERA5

Vortragsübersicht

- Arktis ist komplexes System mit sehr besonderen Bedingungen

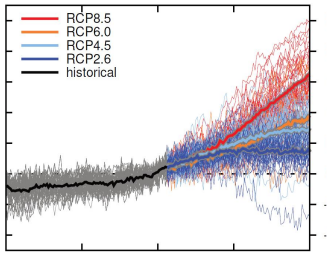


- Erwärmung der Arktis mehr als doppelt so hoch wie im globalen Mittel
  → Veränderungen in Meer- und Gletschereis, Permafrost..
  → „New Arctic“



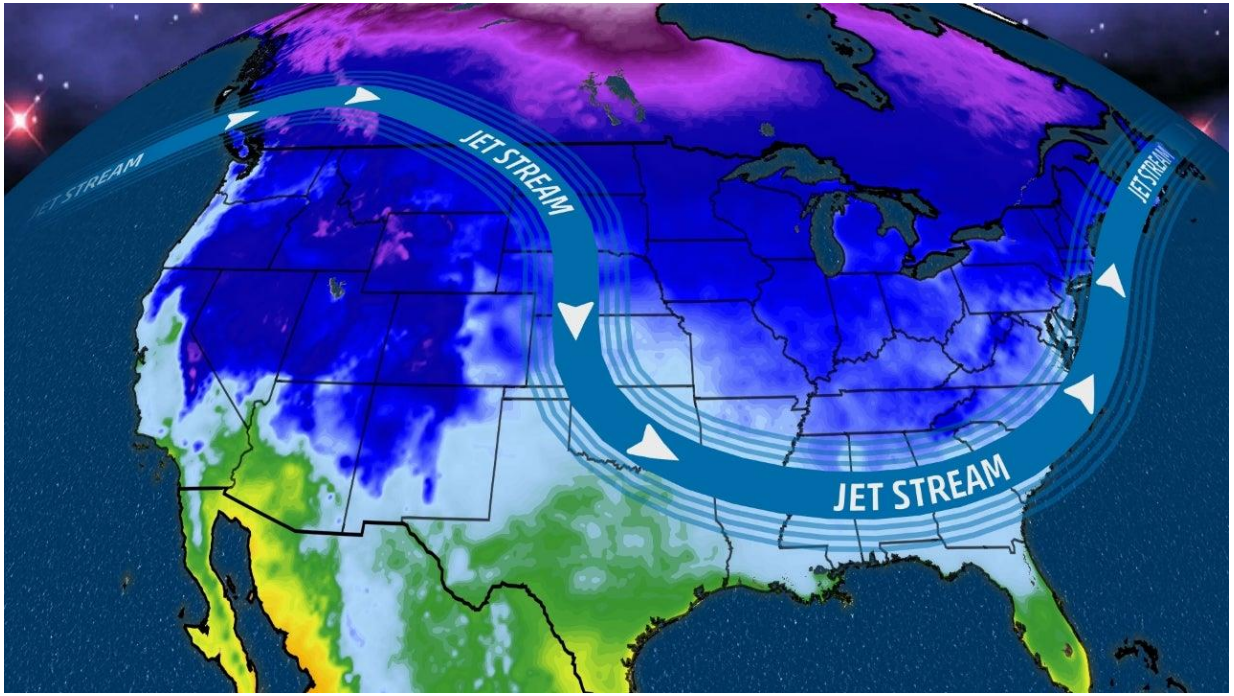
- Hohe Unsicherheit in der Quantifizierung der verschiedenen Rückkopplungsprozesse und Transporte

- Arktis weist die höchsten Erwärmungsraten aber auch Unsicherheiten bei Klimaabschätzung auf
  → ca. 2050 voraussichtlich kein Meereis im Sommer

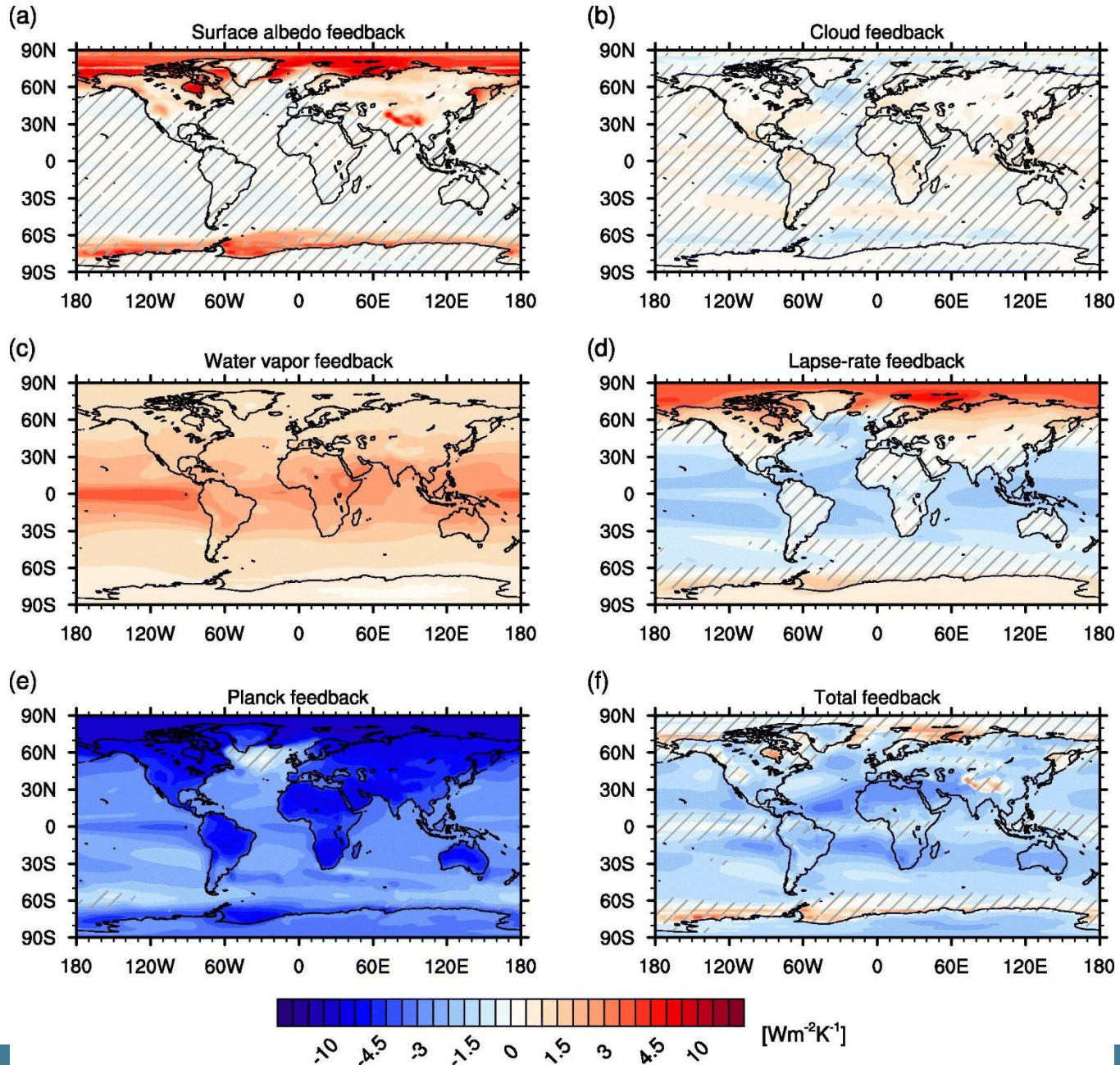


- Besseres Verständnis der Rückkopplungsprozesse und Transporte notwendig
  → detailliertere Beopbachtungen notwendig

Beispiel: Rekordkälte in den USA November 2019



„An arctic cold blast has shattered hundreds of mid-November cold records across the central and eastern U.S. this week...“

www.wunderground.com, 14 Nov 2019

Rückkopplungen