

Die Rolle des Permafrost im Klimasystem Erde

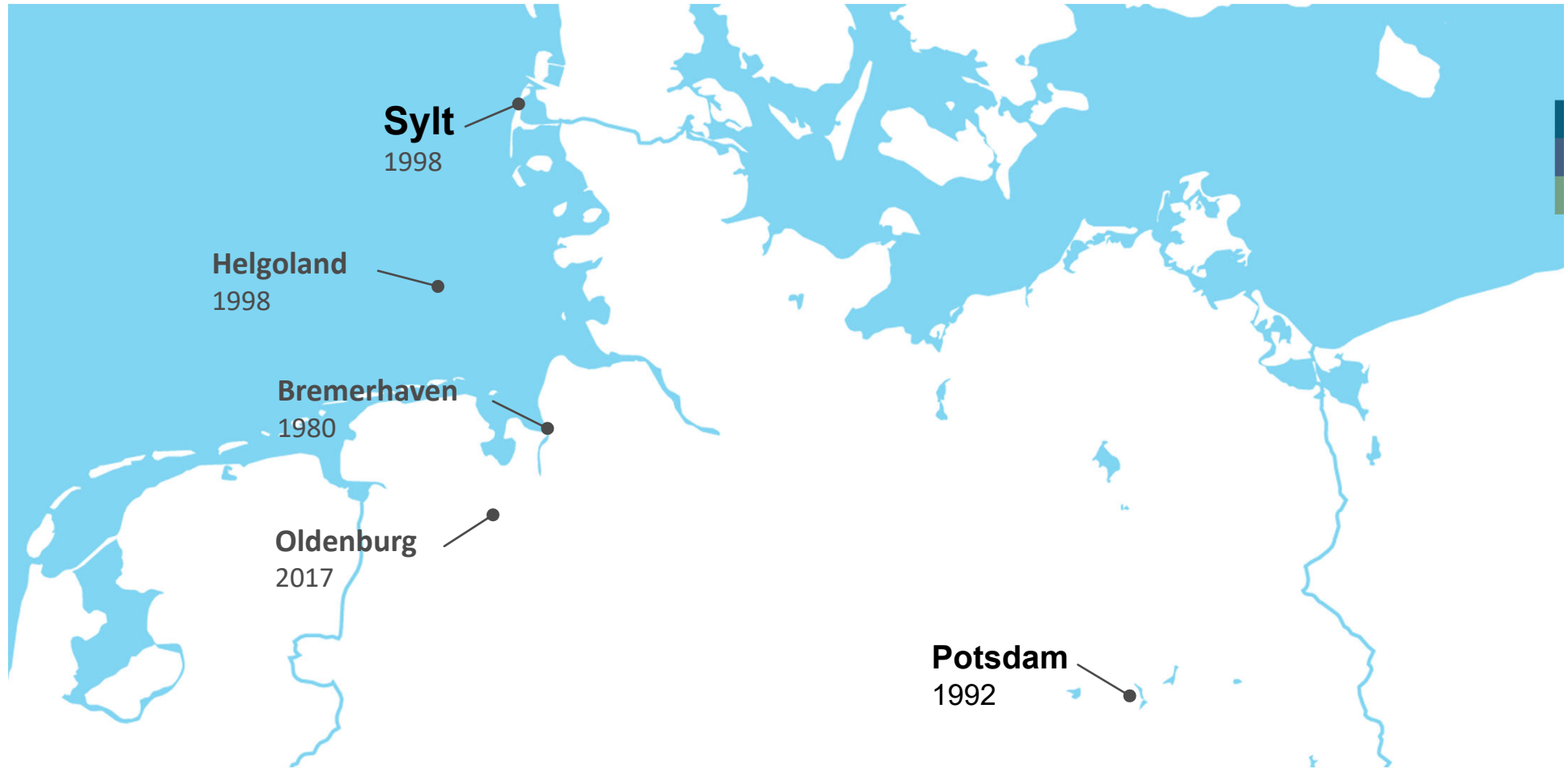
Prof. Dr. Guido Grosse

AWI-Sektion Permafrostforschung

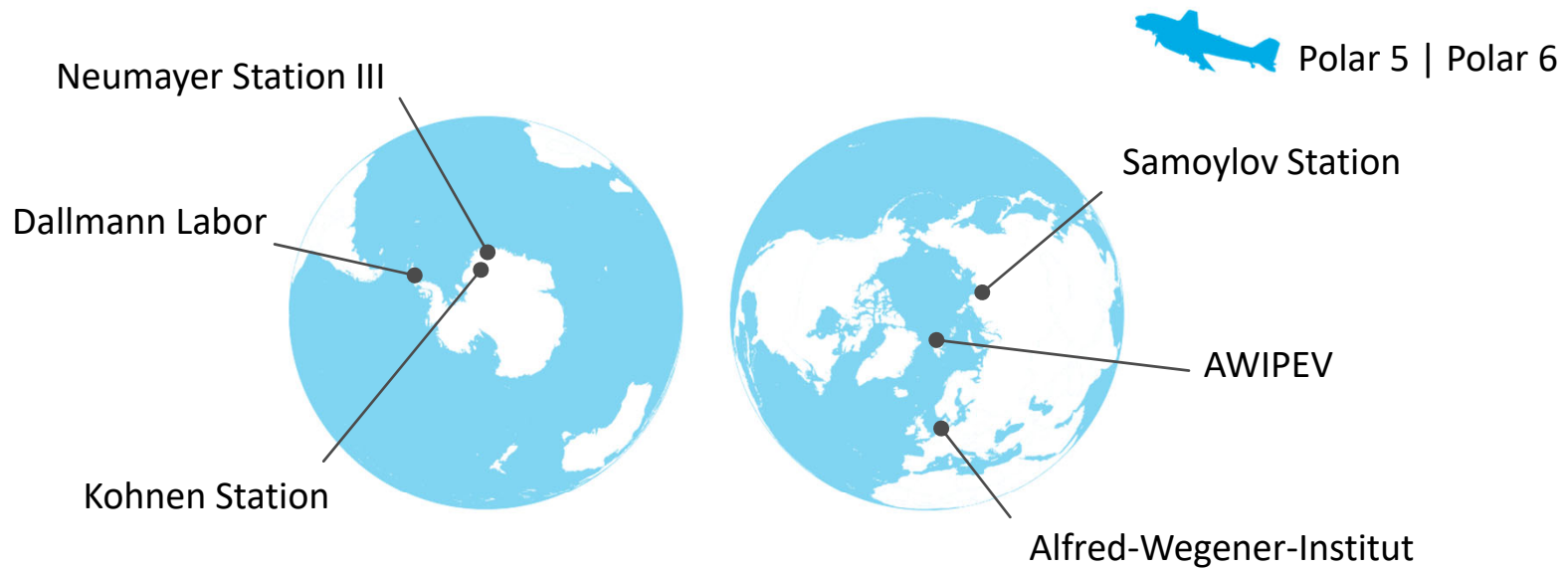


Lena Delta, 11.08.2014

Standorte in Deutschland



Forschungsinfrastruktur



RV Polarstern



RV Mya II



Aade



RC Uthörn



RV Heincke



Foto: AWI / S. Grote

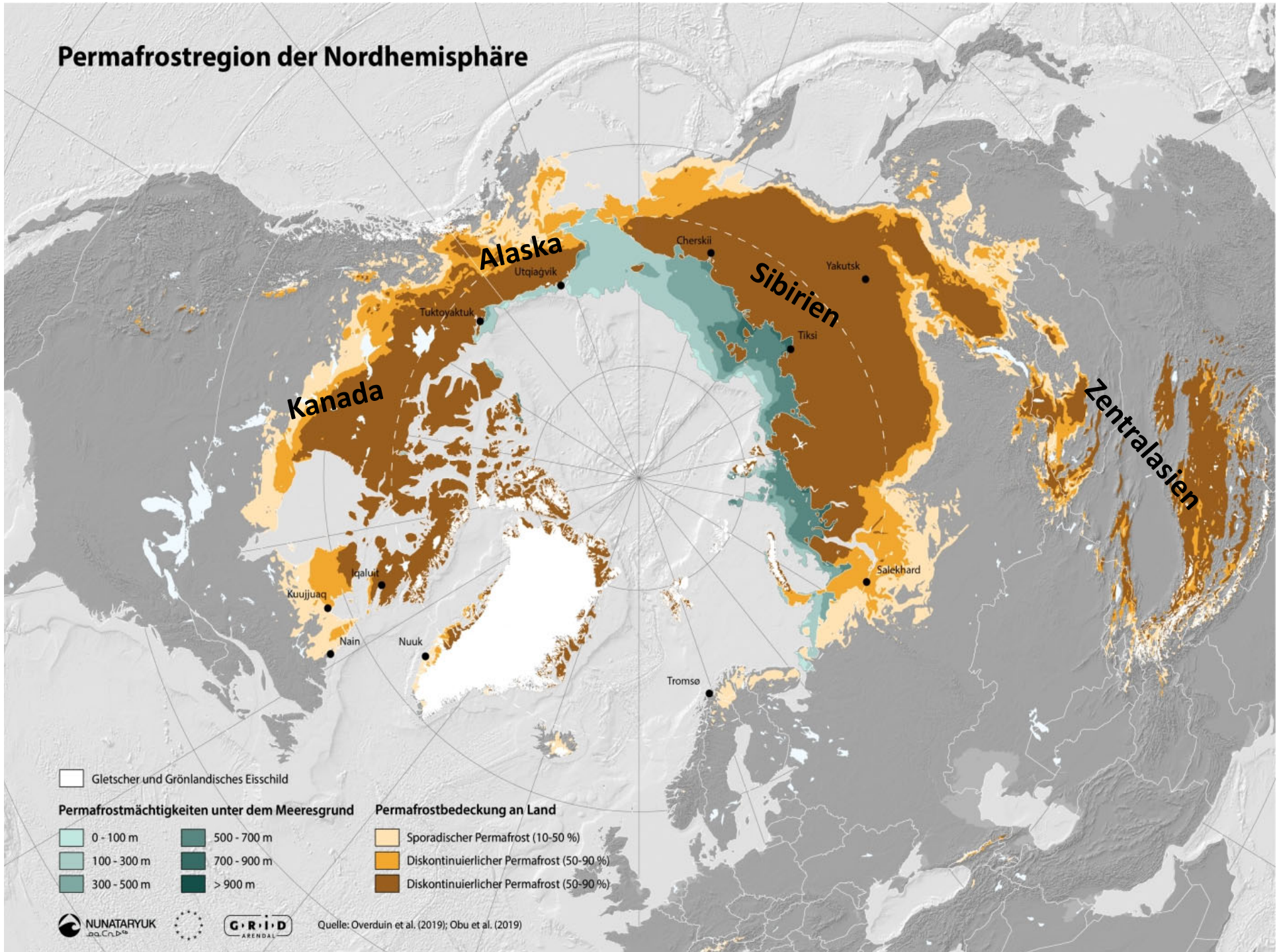
Potsdam 113 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (2018)

Gründung der Forschungsstelle Potsdam des AWI im Jahr 1992

- Schwerpunkte der Forschung:
 - Geowissenschaft in Permafrostregionen
 - Polare Terrestrische Umweltsysteme
 - Atmosphärische Zirkulationen
- Logistik für Expeditionen nach Sibirien



Permafrostregion der Nordhemisphäre



Gletscher und Grönlandisches Eisschild

Permafrostmächtigkeiten unter dem Meeresgrund

- | | |
|--|--|
| 0 - 100 m | 500 - 700 m |
| 100 - 300 m | 700 - 900 m |
| 300 - 500 m | > 900 m |

Permafrostbedeckung an Land

- | |
|---|
| Sporadischer Permafrost (10-50 %) |
| Diskontinuierlicher Permafrost (50-90 %) |
| Diskontinuierlicher Permafrost (50-90 %) |



Quelle: Overduin et al. (2019); Obu et al. (2019)

Permafrostregion der Nordhemisphäre



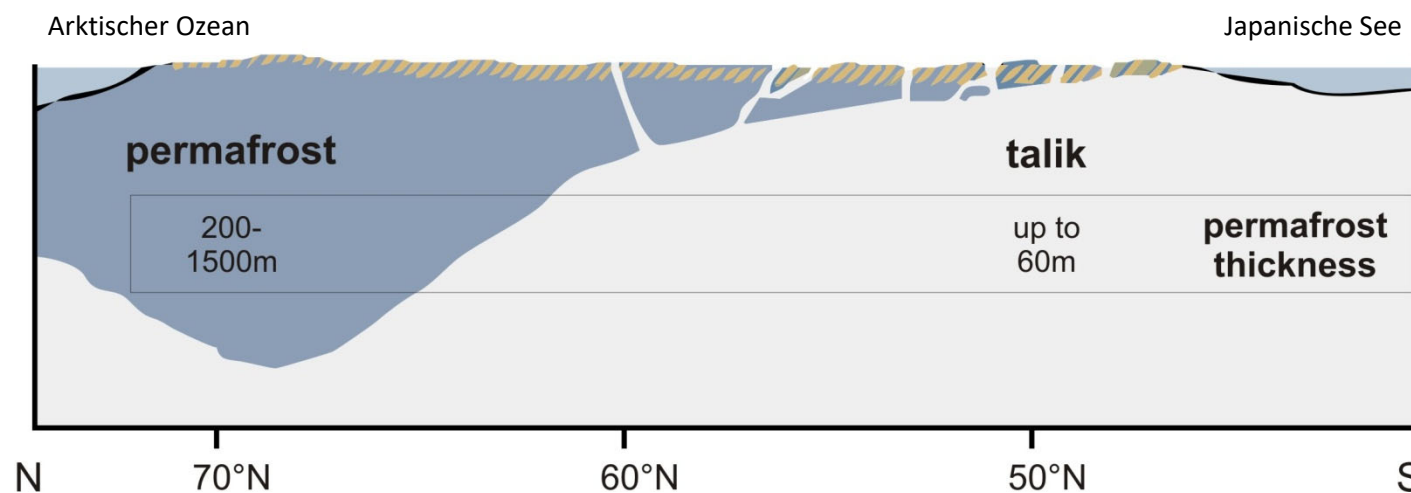
- Untergrund, der für mindestens 2 Jahre unter 0°C bleibt
- 22,8 Mkm² (23%) der Landfläche der Nordhemisphäre
- Bis zu > 2,5 Millionen Jahre alt
- Bis zu 1600 m dick

Permafrostmächtigkeiten unter dem Meeresgrund		Permafrostbedeckung an Land
0 - 100 m	500 - 700 m	Sporadischer Permafrost (10-50 %)
100 - 300 m	700 - 900 m	Diskontinuierlicher Permafrost (50-90 %)
300 - 500 m	> 900 m	Diskontinuierlicher Permafrost (50-90 %)

Wo finden wir Permafrost?

Schematischer Schnitt entlang eines Nord-Süd-Gradienten

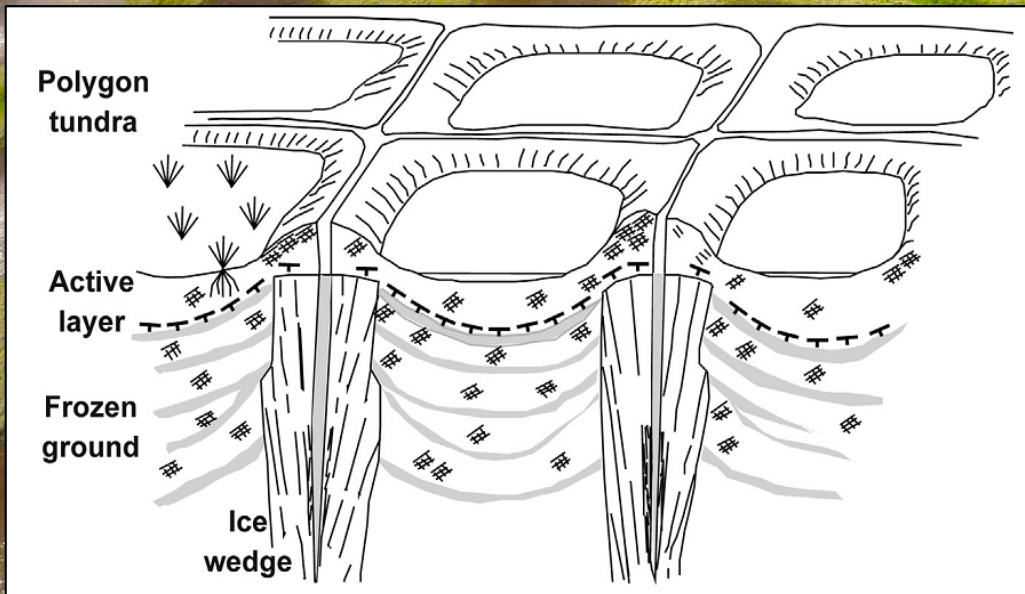
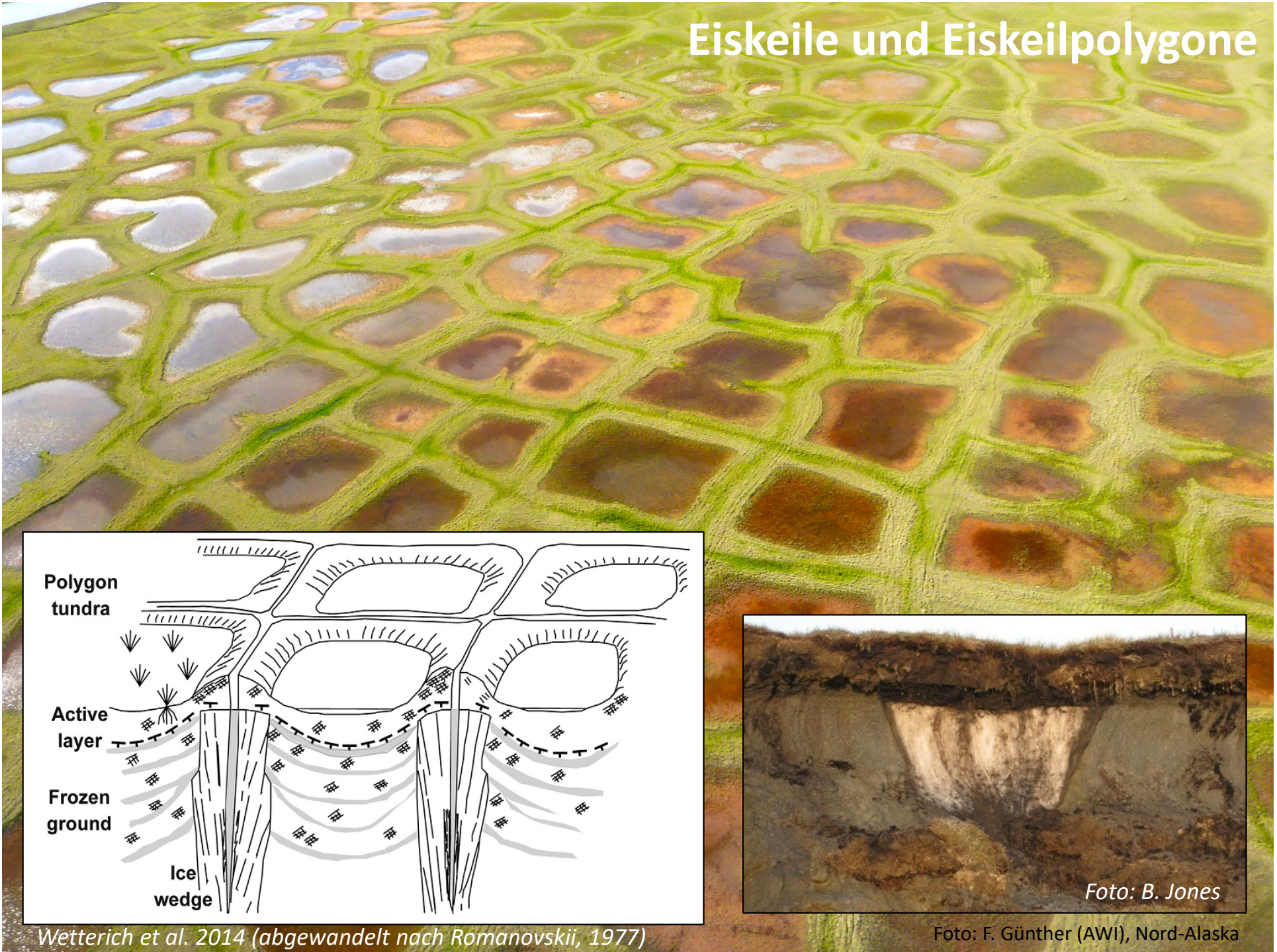
kontinuierlich; >90% der Region	diskontinuierlich; 10-90% der Region	Isolierte Gebiete	Permafrost-Ausdehnung
~ -15°C	~ -10°C	~ 0°C	Mittlere Jahrestemperatur
0.2 - 1.6m	0.5 - 2.5m	0.7 - 4m	Dicke der saisonalen Auftauschicht



Transekt durch den Permafrost Ostsibiriens

Modifiziert nach French (2007) und Koppe (2003)

Eiskeile und Eiskeilpolygone



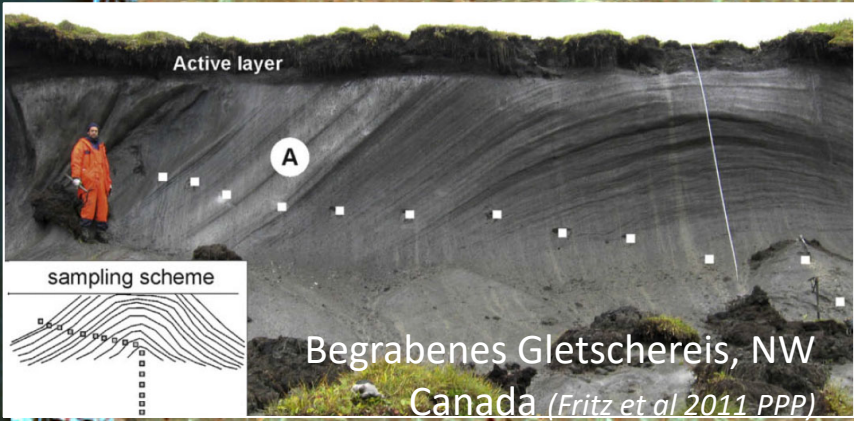
Wetterich et al. 2014 (abgewandelt nach Romanovskii, 1977)



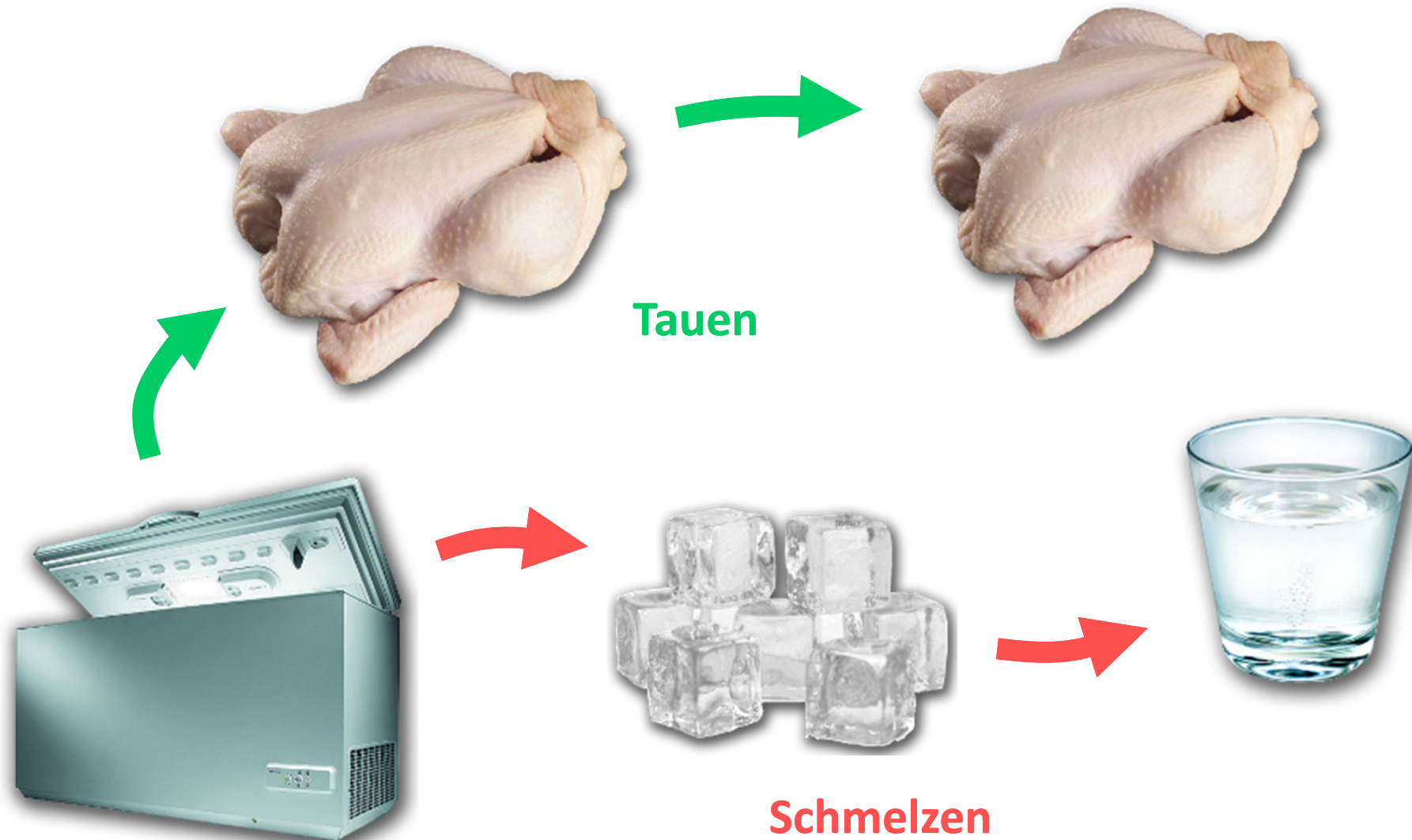
Foto: B. Jones

Foto: F. Günther (AWI), Nord-Alaska





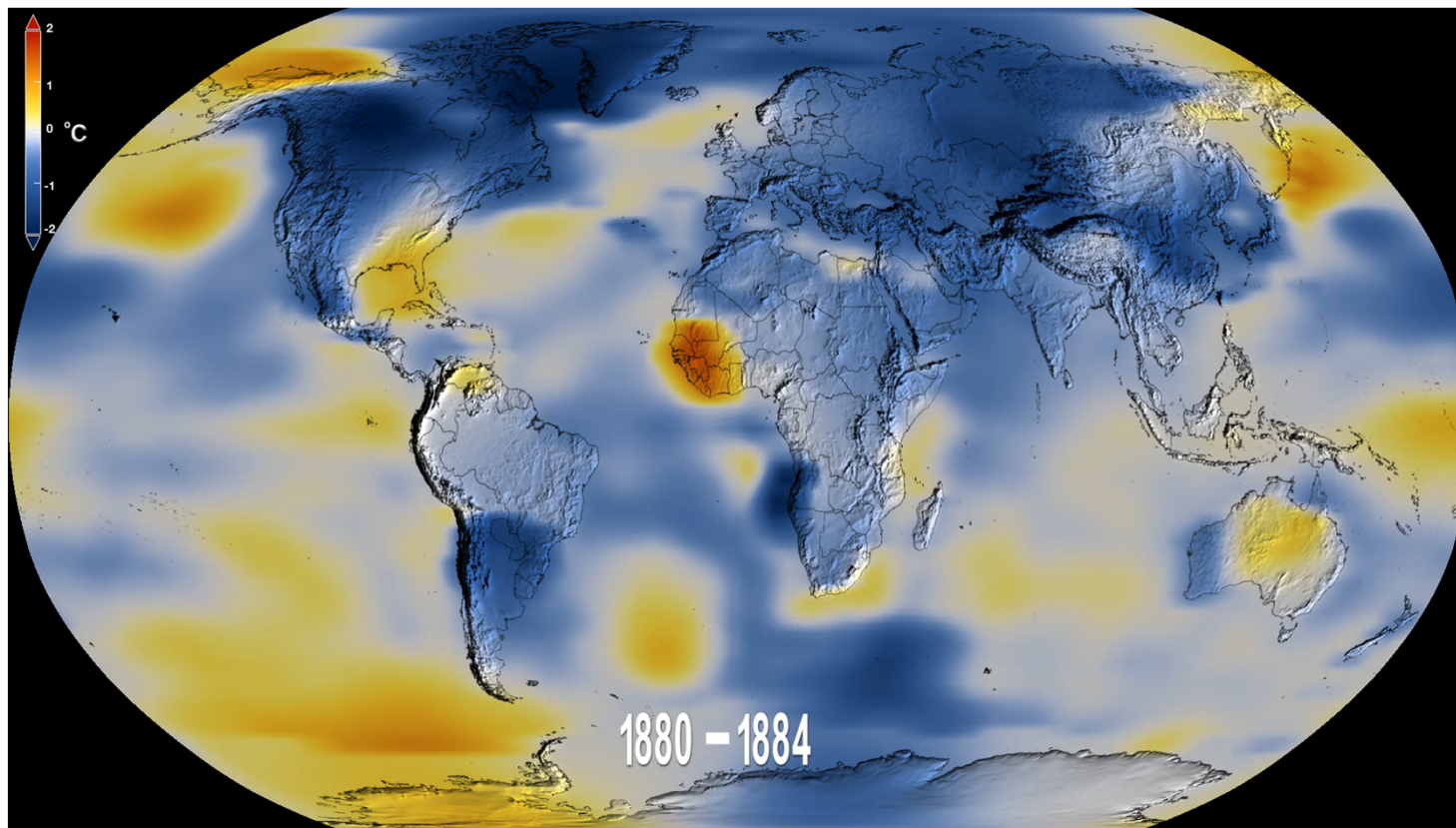
Permafrost – Schmelzen oder Tauen?



Tauender Permafrost



Die arktische Verstärkung des Klimawandels wird durch
Temperaturtrends und Anomalien deutlich

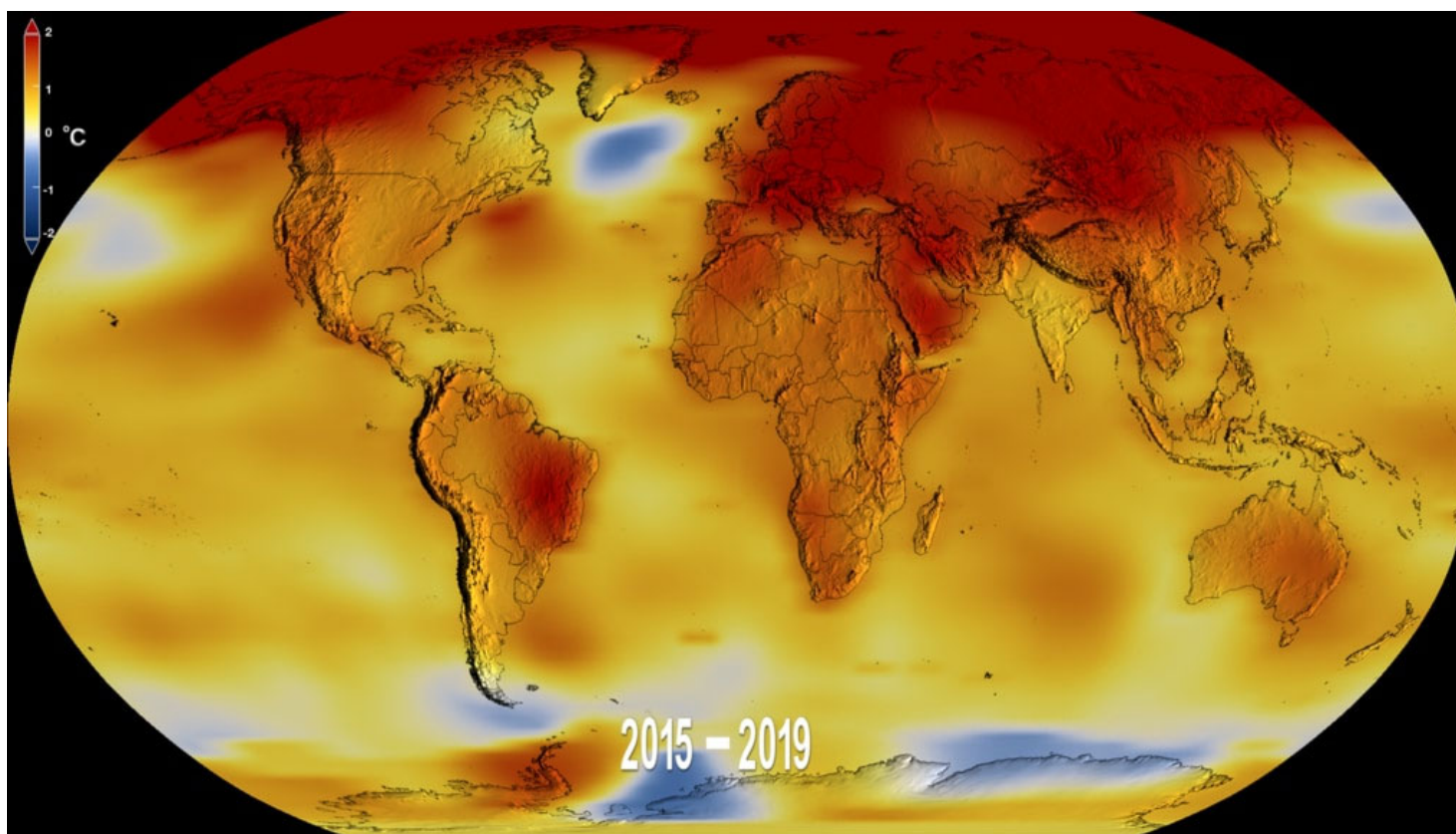


NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS)

Klimawandel in der Arktis



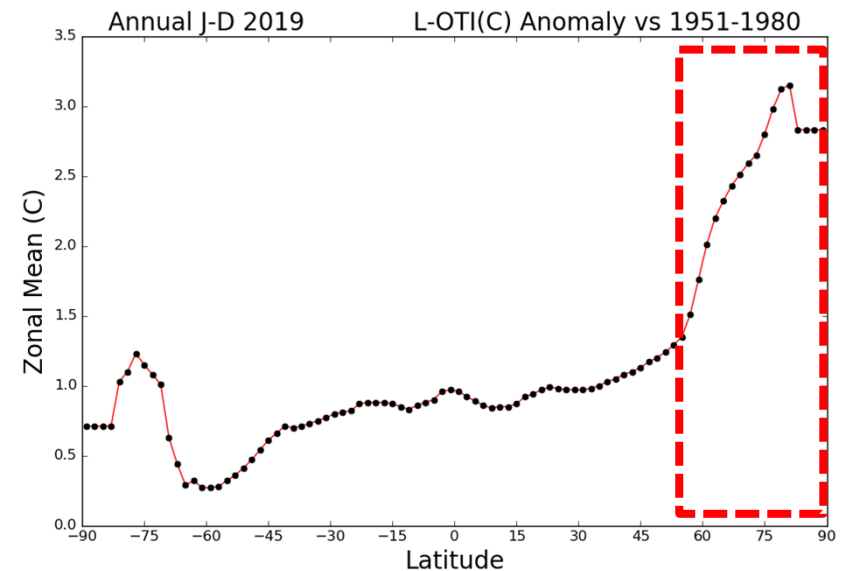
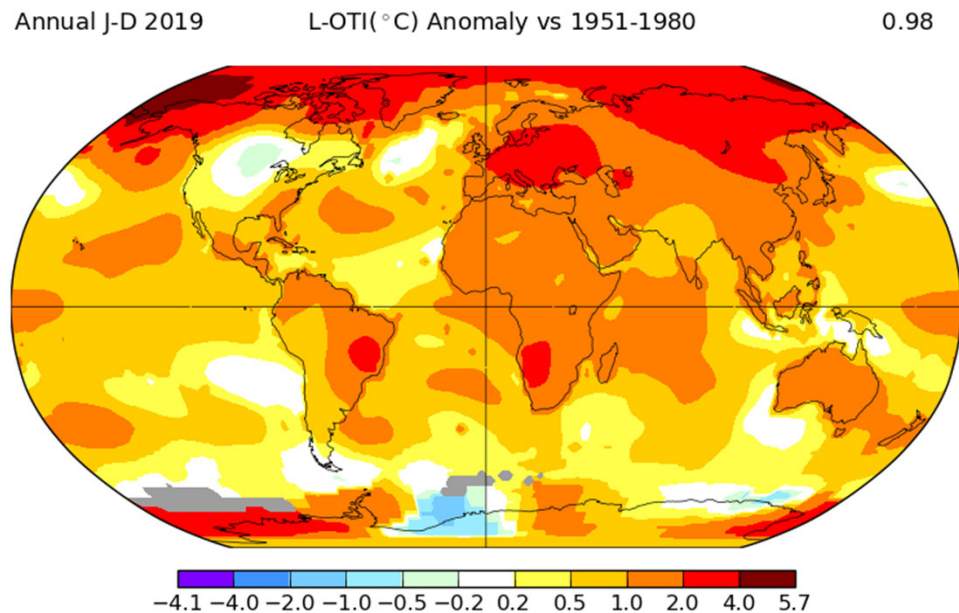
Die arktische Verstärkung des Klimawandels wird durch Temperaturtrends und Anomalien deutlich



NASA Goddard Institute for Space Studies (GISS)

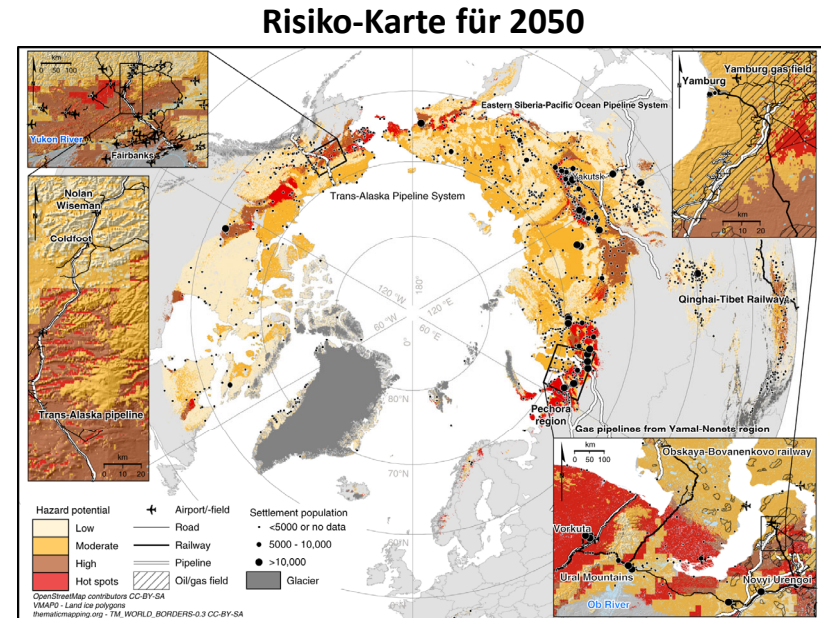
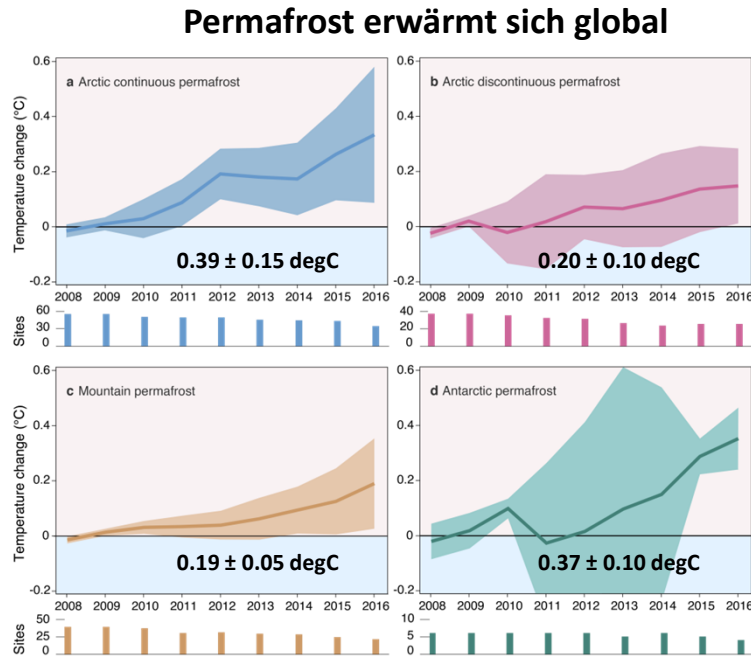
Klimawandel in der Arktis

- Arktische Regionen reagieren stärker auf den Klimawandel als das globale Mittel → Arktische Verstärkung



Anomalien für Landoberflächentemperaturen (GHCNv4) und Meeresoberflächentemperaturen (ERSSTv5) für 2019 (Vergleichszeitraum ist der Mittelwert von 1951-1980).

Globale Permafrost-Erwärmung



Beobachtete Temperaturänderungen im Permafrost der Hocharktis (continuous permafrost), Subarktis und Borealen Zone (discontinuous permafrost), Antarktis und Gebirgspermafrost für 2007-2016:

~4 Millionen Menschen und ~70% der derzeitigen Infrastruktur in der Permafrostregion befinden sich in Gebieten mit hohem Risiko für Permafrosttauen.

Hjort et al., 2018, Nature Communications

→ Permafrost erwärmte sich global im Mittel um 0.3°C (Biskaborn et al., 2019, *Nature Communications*)

Konsequenzen des Auftauens



Romanovsky, UAF Fairbanks



Hubberten, AWI Potsdam



Boike, AWI Potsdam



Hubberten, AWI Potsdam

Konsequenzen des Auftauens



Foto: A. Fedorov, MPIY

- Abruptes Tauen beeinflusst Ökosysteme, Einwohner, und Industrien
- Biogeochemische Veränderungen beeinflussen globale Kreisläufe
- Einige der Veränderungen sind unumkehrbar

AWI-Permafrostforschung: Kernfragen



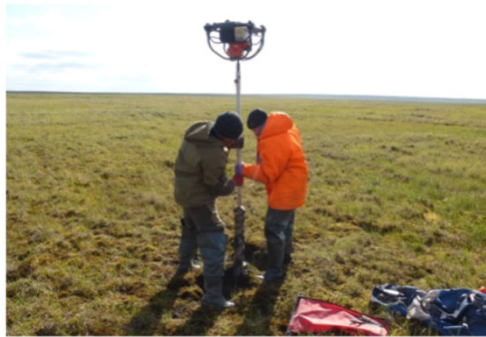
- Welche Regionen tauen?
- Wie schnell schreitet das Tauen voran?
- Was sind die Konsequenzen des Tauens?



AWI-Permafrostforschung: Strategie



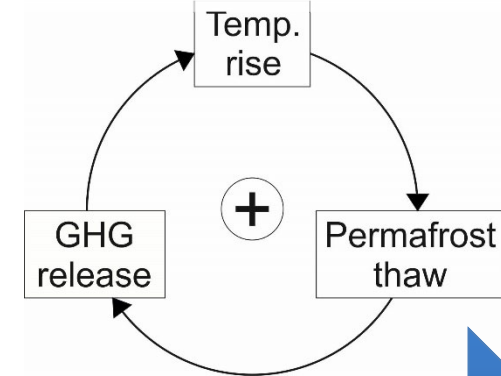
Permafrostbeprobung und -beobachtungen



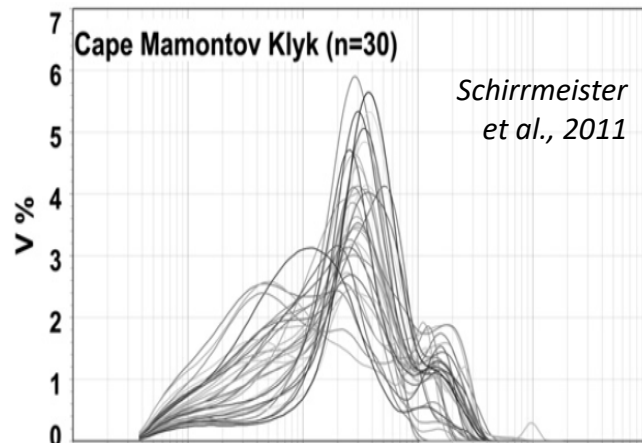
Terrestrische Landschaftsdynamik



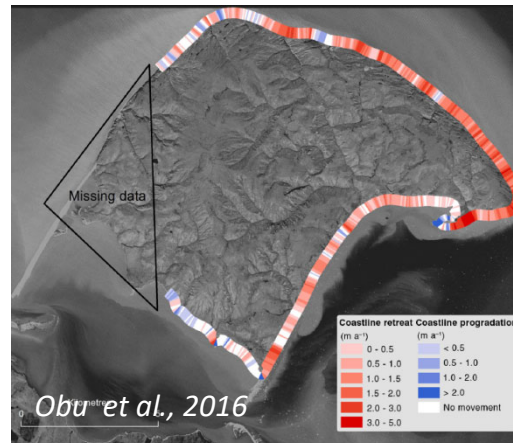
Vulnerabilität und Rückkopplungsprozesse



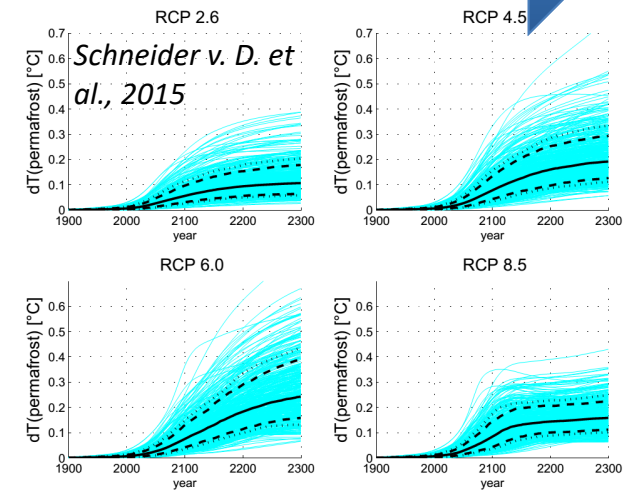
Skalierung von Beobachtungen und Vorhersagen



Feld- und Laborstudien



Fernerkundung



Modellierung

AWI-Permafrostforschung: Feldstudien



Herschel Island
Yukon Küste
Kanada



**Teshekpuk Lake
Observatory**
Nord-Alaska



AWI-PEV Station
Ny Ålesund, Svalbard

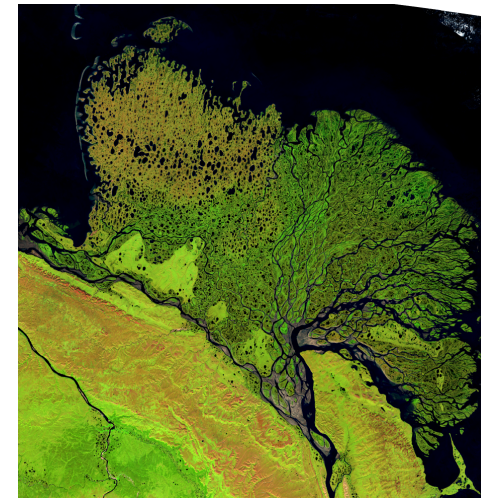


Samoylov Station
Lena Delta, Sibirien

Das sibirische Lena Delta



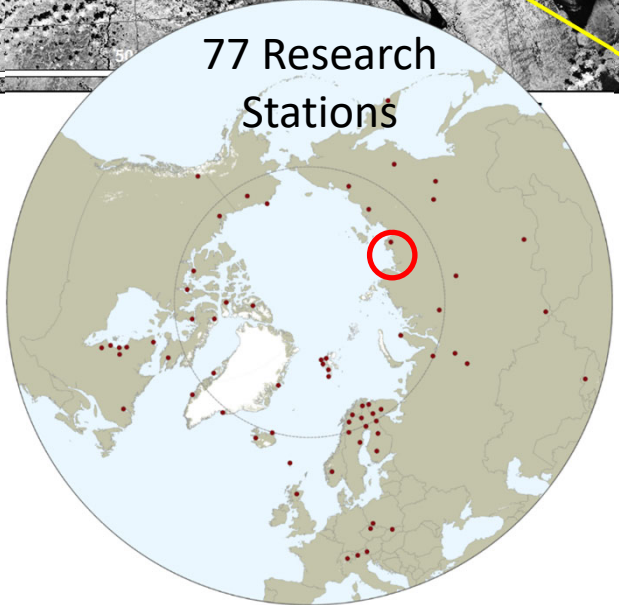
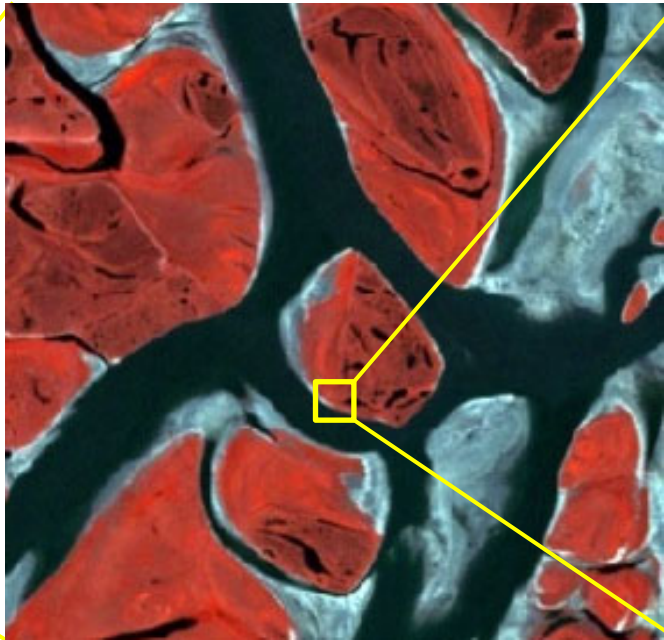
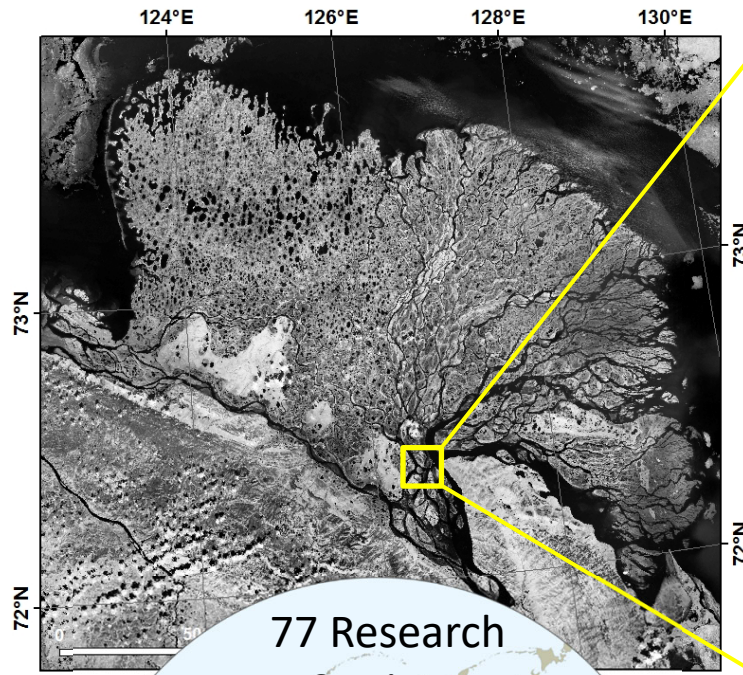
Das Lena Delta entspricht in seiner Größe etwa dem Bundesland Brandenburg



Lena Delta: $\sim 29,500 \text{ km}^2$

Brandenburg: $29,654 \text{ km}^2$

Samoylov Forschungsstation im Lena Delta



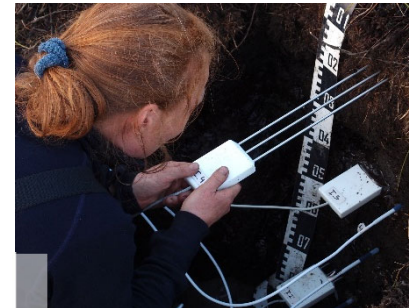
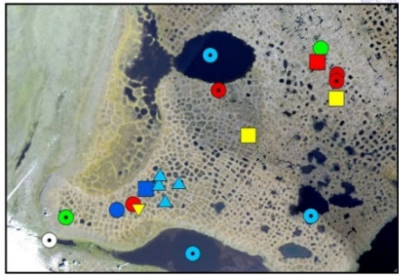
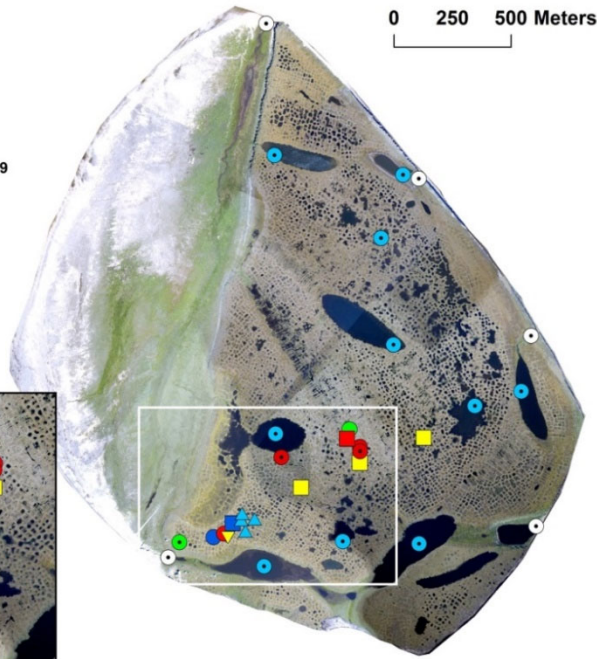
Ein arktisches Permafrost-Langzeitobservatorium

AWI-Koordination: Prof. Dr. Julia Boike und Dr. Anne Morgenstern

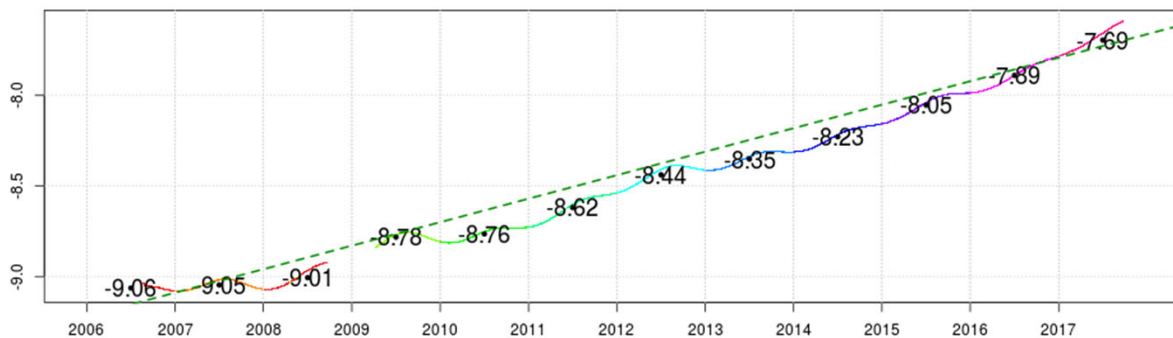
Meteorologie, Klimatologie, und Permafrost

Measurement sites

- Soil and snow station since 2012
- Soil and climate station since 2002
- Soil and climate station 1998-2002
- Mobile eddy covariance 2008
- Eddy covariance 2002-2006 & since 2009
- Eddy covariance 2006-2009
- ▼ Active layer depth measurement plot
- ▲ Pond station
- Water level/temperature
- Discharge measurement
- Borehole (27 m)
- Shallow borehole



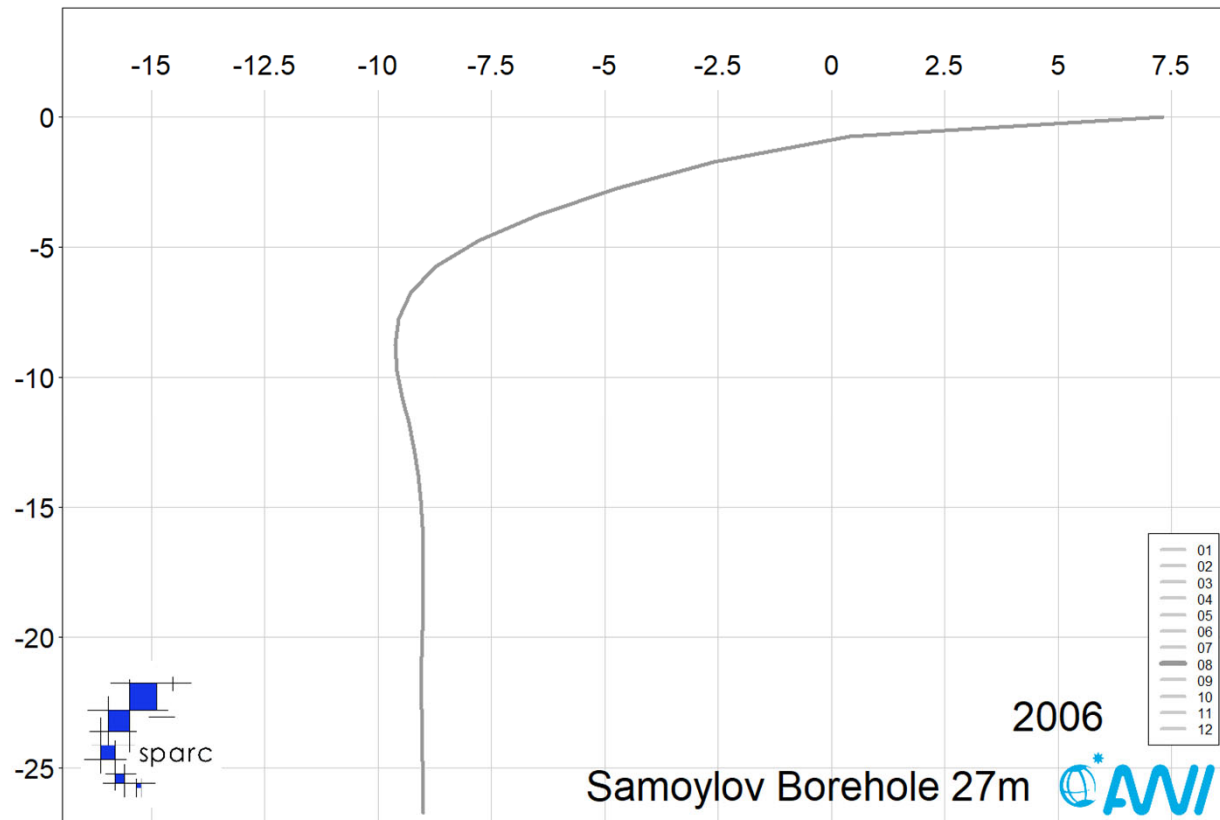
Bohrlochtemperaturen in -20,8m Tiefe seit 2006



Boike et al. 2019. Earth System Science Data

Ein arktisches Permafrost-Langzeitobservatorium

Permafrost im Lena Delta erwärmt sich mindestens seit der Bohrchlochininstallation in 2006



Boike et al. 2019. Earth System Science Data
Biskaborn et al. 2019. Nature Communication.

Untersuchung von Permafrostablagerungen



- Quartäre Ablagerungen: Landschafts- und Umweltentwicklung in der Eiszeit und während vergangener Erwärmungsperioden
- Permafrost als wichtiger Kohlenstoffspeicher: biogeochemische Eigenschaften
- Permafrost-Vulnerabilität aufgrund von Eisgehalt und Anfälligkeit für Auftauen



Photo: S. Weege

Untersuchung von organischen Substanzen im Permafrost

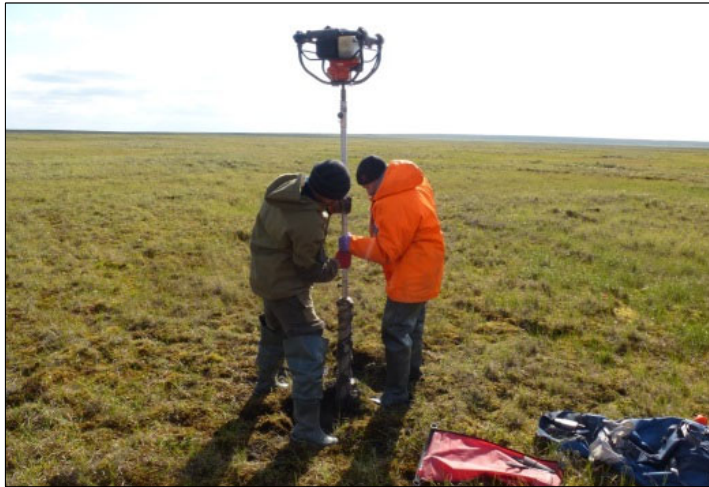


Foto: Strauss

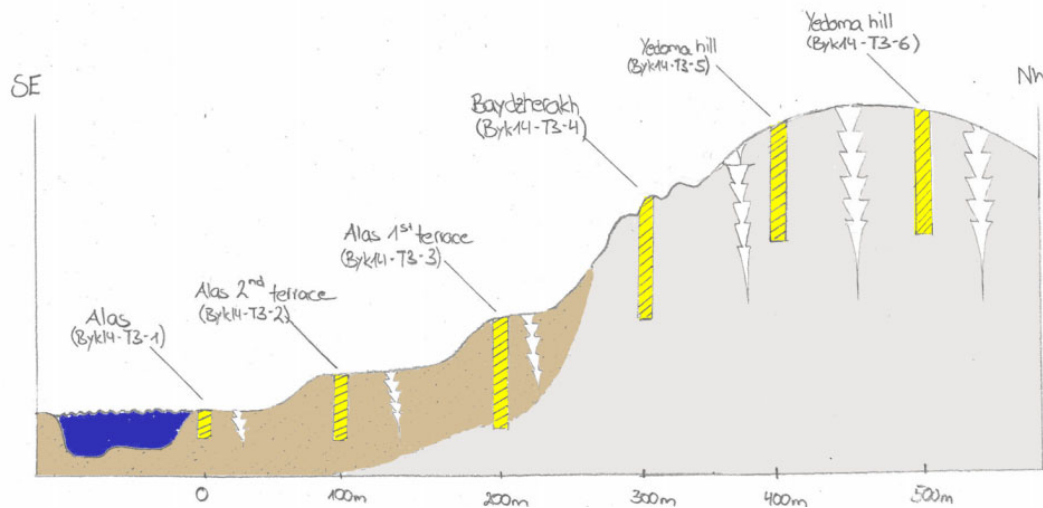


Itkilik River Yedoma-Aufschluss, Alaska

Beprobung entlang von Landschaftsgradienten



Lena Delta, August 2014





Expedition Bykovsky Halbinsel April 2017



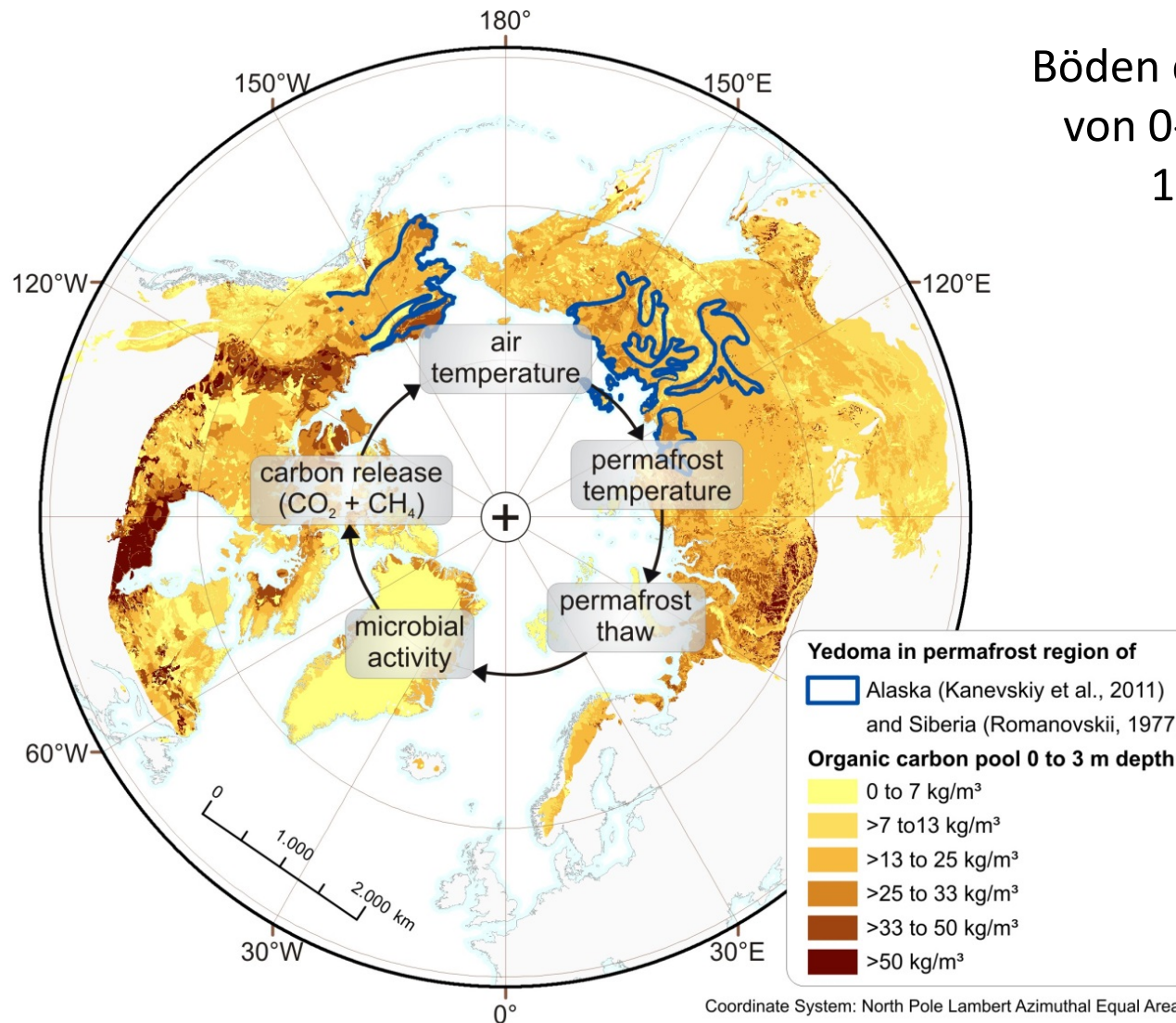
**Tiefe Kernbohrungen in Permafrostlandschaften
zur Charakterisierung der Kohlenstoff-Dynamik**

Fotos: J. Strauss
und G. Grosse

Permafrost Kohlenstoff-Rückkopplung



Böden der Permafrostregion
von 0-3m Tiefe speichern
1035 +/-150 PgC



Permafrost Kohlenstoff-Rückkopplung



Tiefe Kohlenstoffspeicher in Permafrost-Sedimenten

A sleeping giant?

As the planet warms, vast stores of methane — a potent greenhouse gas — could be released from frozen deposits on land and under the ocean. **Amanda Leigh Mascarelli** reports on the race to understand a ticking time bomb.

nature reports climate change | VOL 3 | APRIL 2009 | www.nature.com/reports/climatechange

CARBON STORAGE

A permafrost carbon bomb?

The fate of permafrost soil carbon following thaw depends on hydrology.

Claire C. Treat and Steve Frolking

NATURE CLIMATE CHANGE | VOL 3 | OCTOBER 2013 | www.nature.com/natureclimatechange

PERMAFROST CARBON STORAGE

Pandora's freezer?

NATURE CLIMATE CHANGE | VOL 3 | MAY 2013 | www.nature.com/natureclimatechange

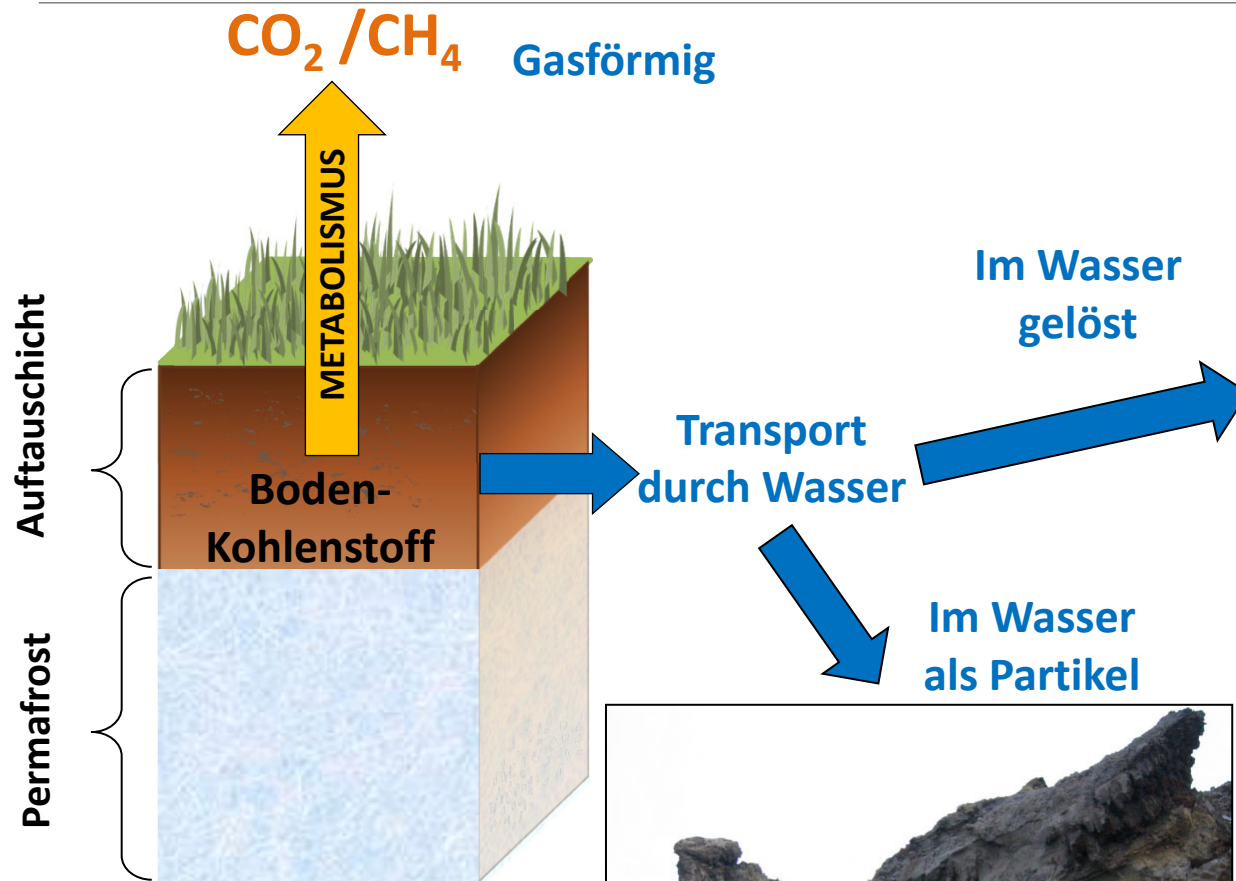
Globale Kohlenstoffspeicher

Permafrostböden	→ 1330-1580 GtC
Submariner Permafrost	→ ? GtC
Atmosphäre	→ 830 GtC
Vegetation	→ 550 GtC
Fossile Brennstoffe	→ 4,130 GtC
Globale Böden	→ 2,300 GtC
Globaler Ozean	→ 38,000 GtC



Strauss et al. 2017 (Earth Science Reviews), Hugelius et al. 2014 (Biogeosciences), Walter Anthony et al. 2014 (Nature), Schuur et al. 2015 (Nature)

Wie kommt der Kohlenstoff aus dem Permafrost?



Adaptiert nach Striegl et al., 2005, GRL

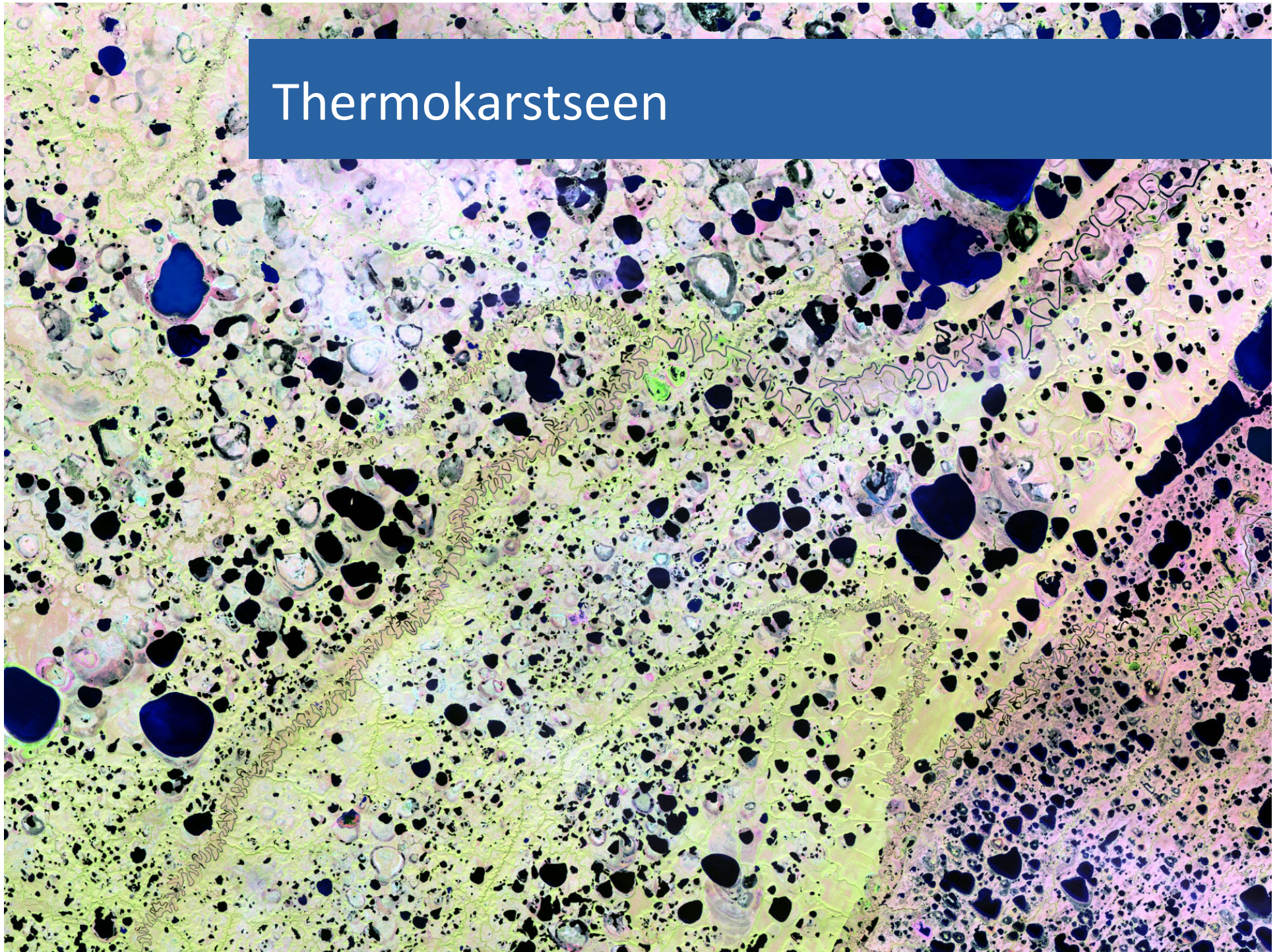


Photo: K. Wickland

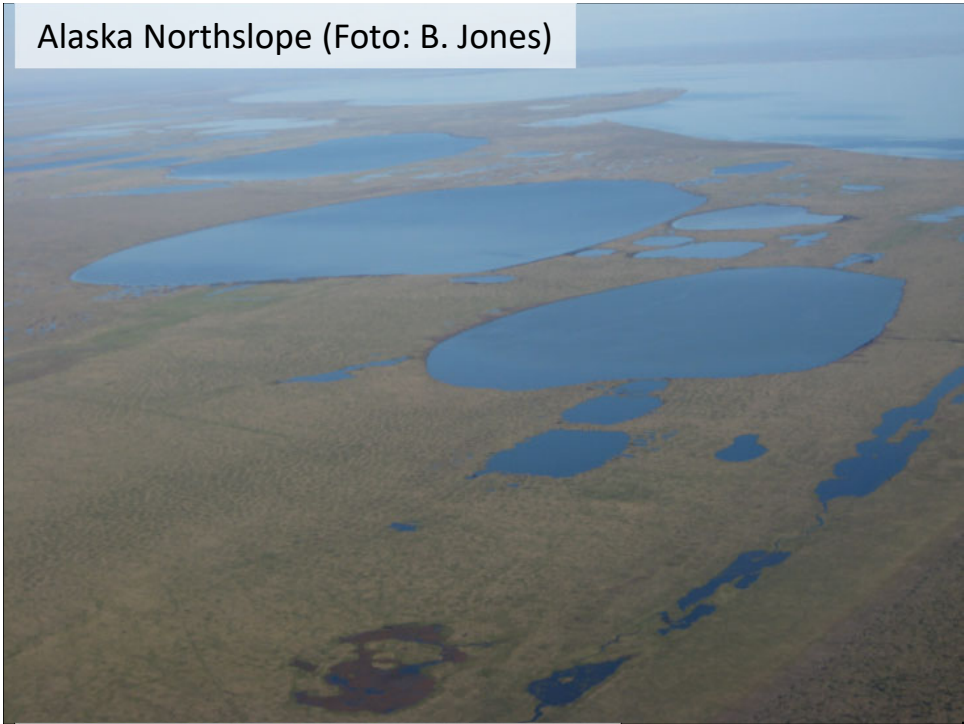


Beispiel: Küstenerosion

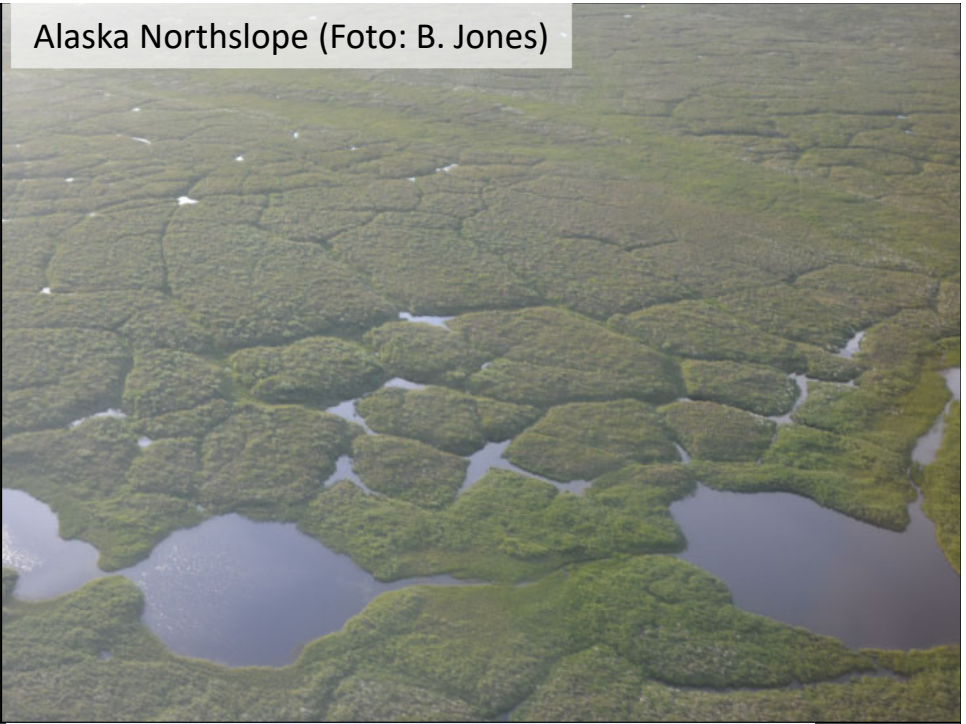
Thermokarstseen



Alaska Northslope (Foto: B. Jones)



Alaska Northslope (Foto: B. Jones)



Interior Alaska (Foto: L. Farquharson)

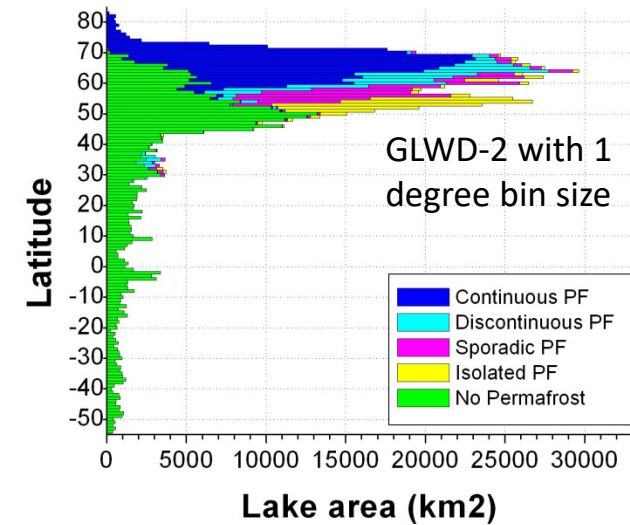
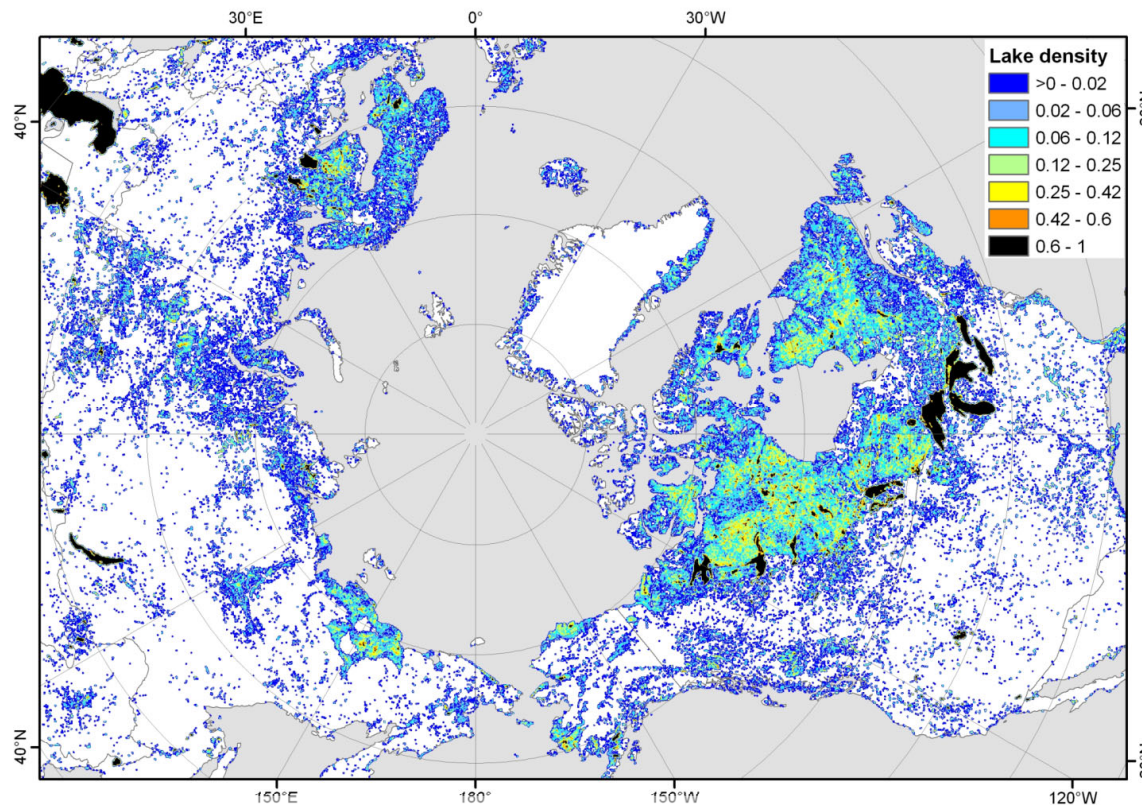


Mackenzie Delta Region, Canada (Foto: H. Lantuit)



Seen in Permafrostregionen

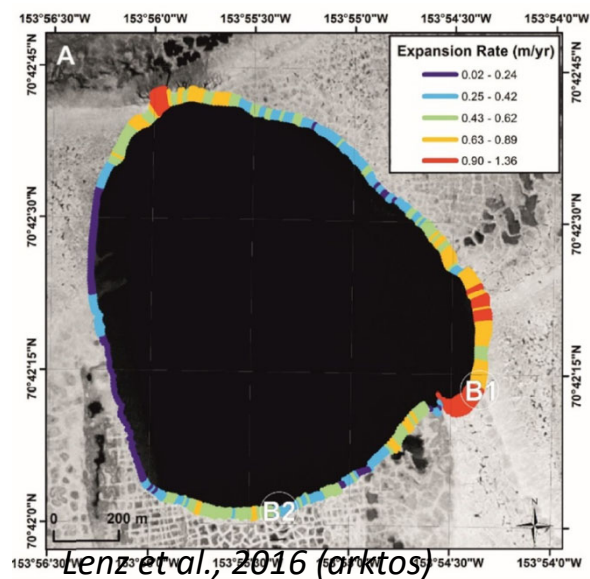
Globale Seenverteilung



*Grosse et al., 2013, Treatise on Geomorphology
Based on GLWD-1 and -2 (Lehner & Doell, 2004)*

Thermokarstseen: Ufererosion

Thermo-erosion am Seeufer von
Peatball Lake, Nord Alaska



Fotos: B. Jones, USGS

Thermokarst-Seen

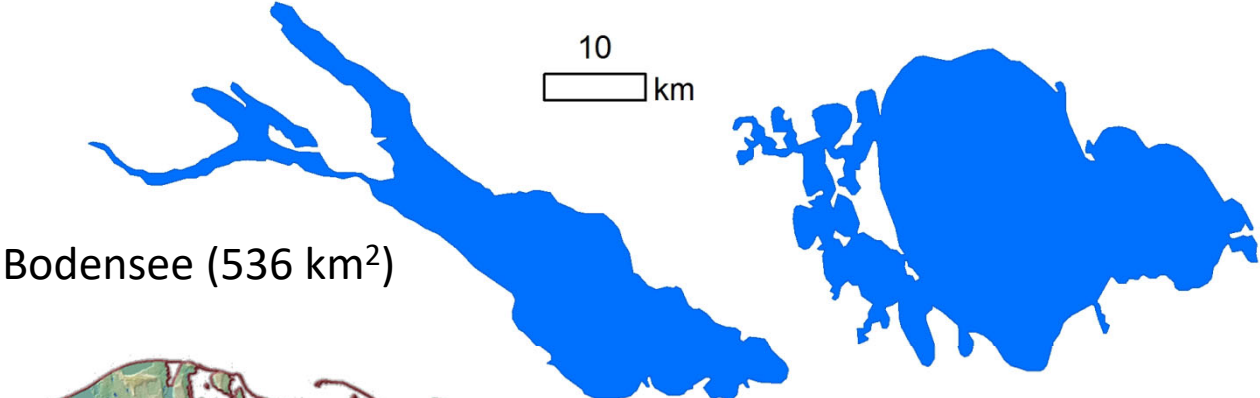
- Thermokarst-Seen sind eine wichtige Landschaftskomponente in Permafrostregionen
- Wie groß werden Thermokarst-Seen?



Teshekpuk Lake, Alaska



Thermokarst-Seen

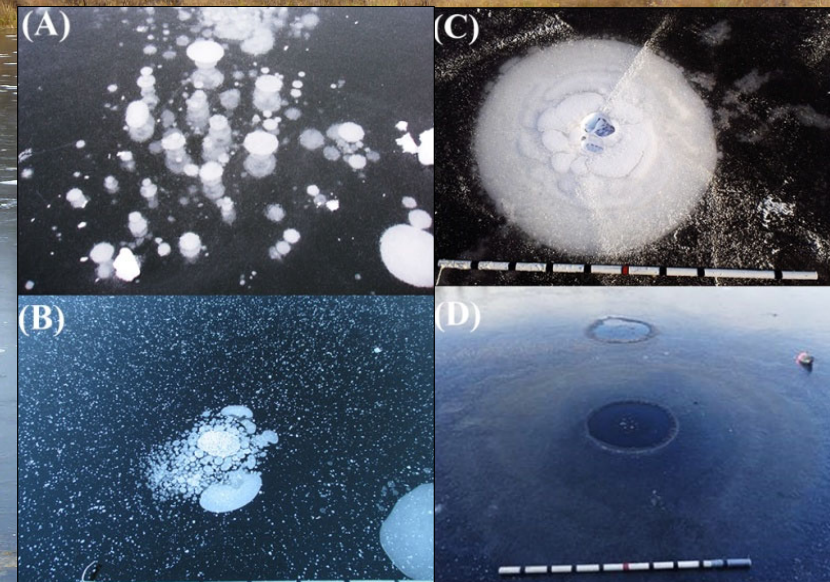
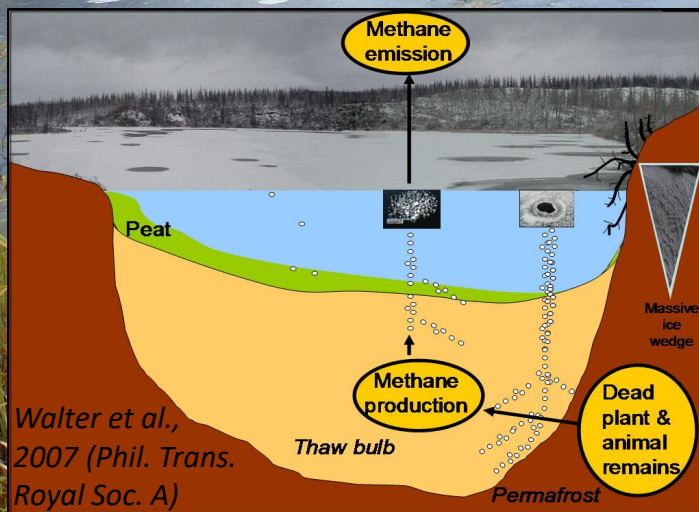


Bodensee (536 km²)

Teshekpuk Lake, Alaska (850 km²)



Thermokarstseen: Hotspots für CH₄-Emissionen



Beispiele verschiedener CH₄ Blasenklassen im Seeis (Lindgren et al., 2015)

Thermokarstseen: Hotspots für CH₄-Emissionen



Drew Point (Alaska)

Küstenerosion



Yedoma-Küste (NO-Siberien)

Küstenerosion



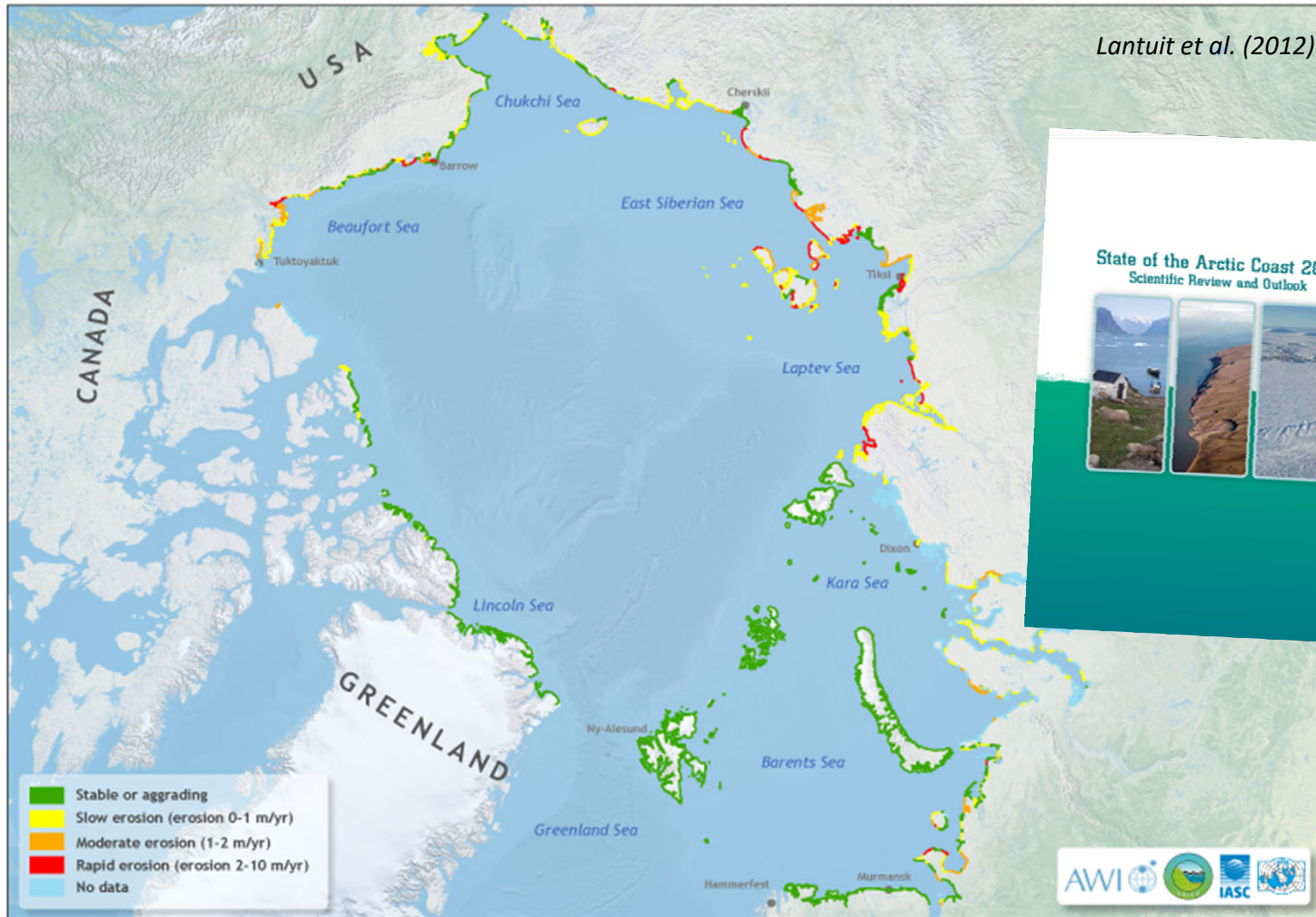
Arktische Permafrost-Küstenerosion



- Etwa 34 % der weltweiten Küsten sind Permafrostküsten
- Mittlere Erosionsraten von bis zu 20 m/Jahr
- Maximale Raten stellenweise >50m/Jahr



Permafrost-Küsten: Arktische Küstenerosion



Map by Lantuit, H., Overduin, P. P., 2008. Data used with permission from the Arctic Coastal Dynamics Project GIS v 1.0 beta

Permafrost-Küsten: Arktische Küstenerosion

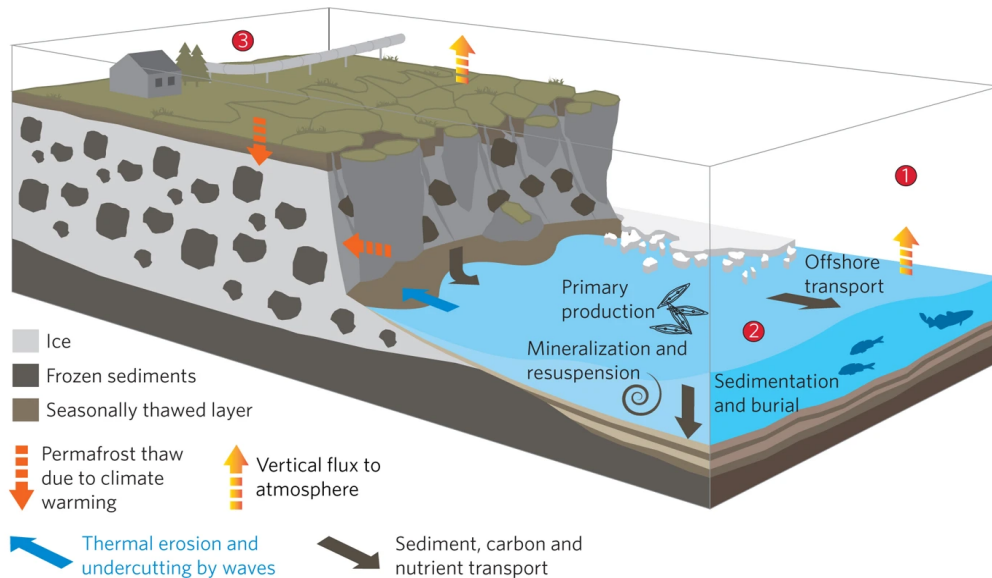


Published: 04 January 2017

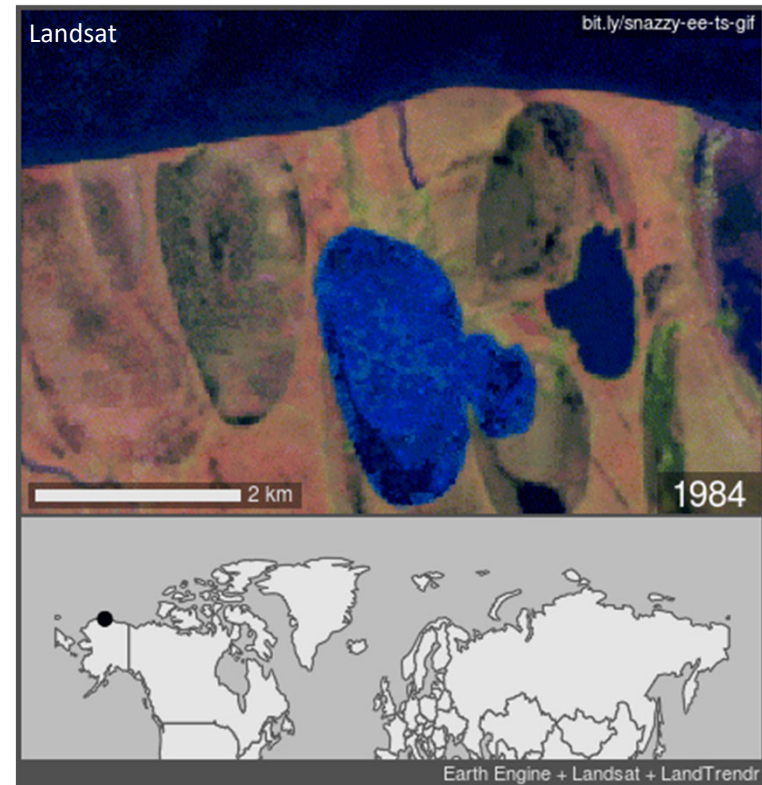
Collapsing Arctic coastlines

Michael Fritz , Jorien E. Vonk & Hugues Lantuit

- 1 Climatic and biogeochemical impact**
 - Vertical greenhouse gas release
 - Lateral relocation of sediment, carbon and nutrients
 - Sediment, carbon and nutrient burial
- 2 Marine ecosystem impact**
 - Increased nutrient supply
 - Ocean acidification
 - Higher turbidity and decreased light transmission
- 3 Socio-economic impact**
 - Infrastructure damage
 - Cultural heritage loss
 - Loss of fishing and hunting ground
 - Coastal community relocation

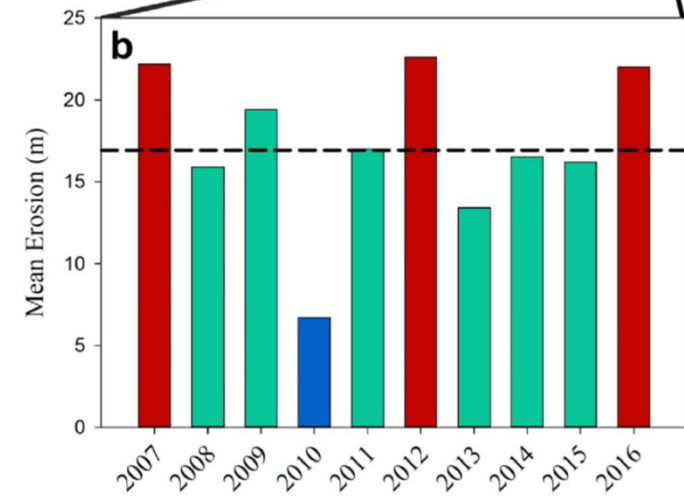
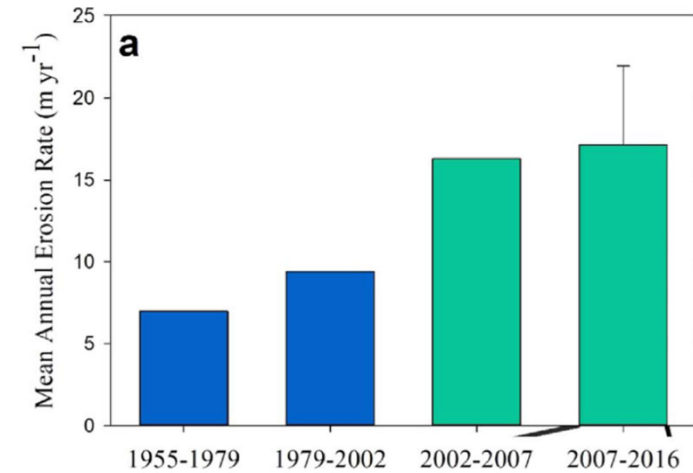
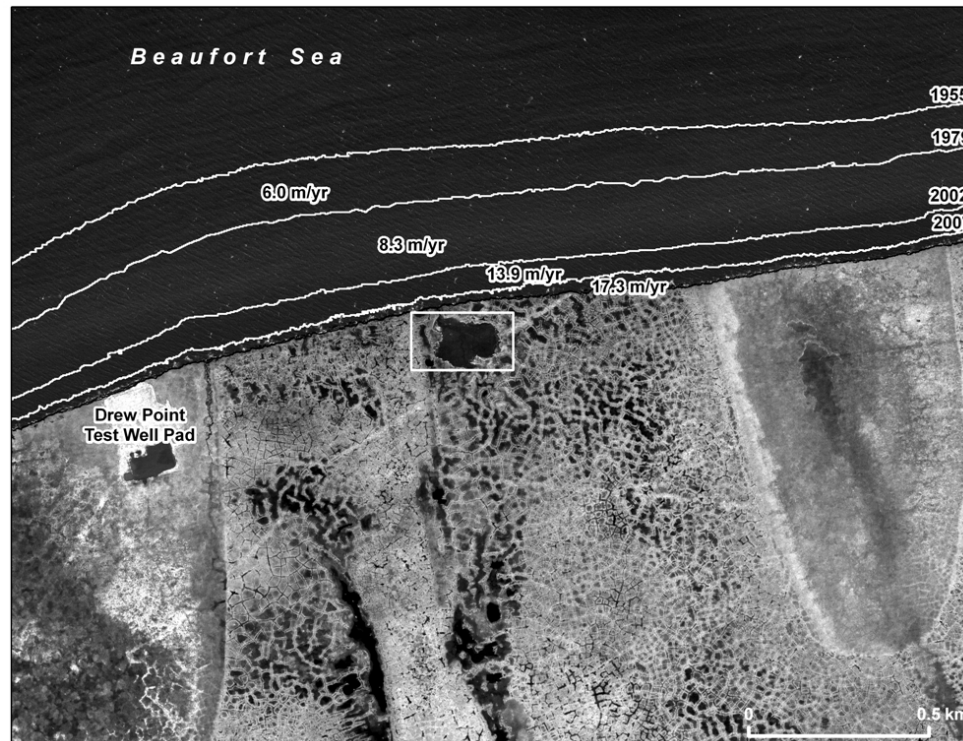


Fritz et al 2017 (Nature Climate Change)



Anstieg der Erosionsraten

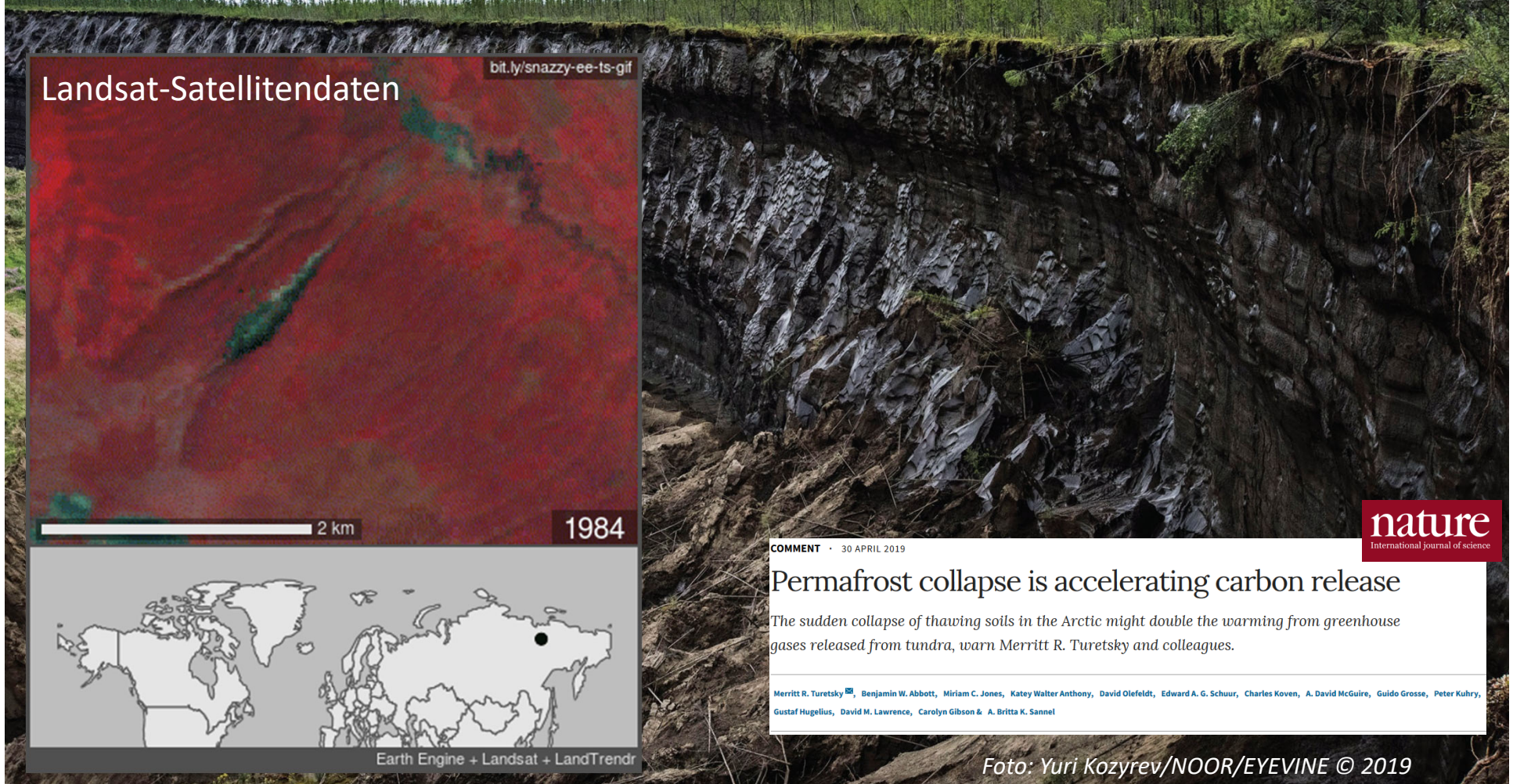
Erosion bei Drew Point, Alaskanische Beaufort-See-Küste



Jones et al., 2018 (ERL)

Batagaika Taurutschung, Ost-Sibirien:

Permafrost-Kollaps beschleunigt Kohlenstofffreisetzung



Earth Engine + Landsat + LandTrendr



COMMENT • 30 APRIL 2019

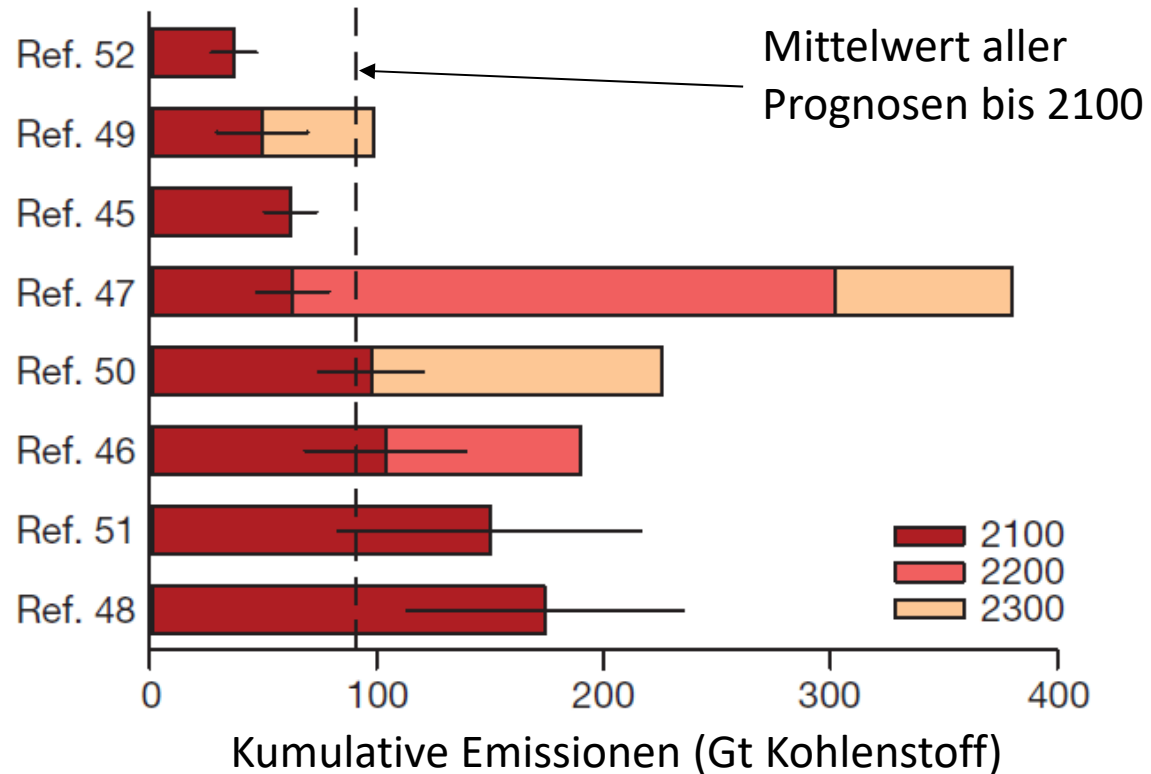
Permafrost collapse is accelerating carbon release

The sudden collapse of thawing soils in the Arctic might double the warming from greenhouse gases released from tundra, warn Merritt R. Turetsky and colleagues.

Merritt R. Turetsky, Benjamin W. Abbott, Miriam C. Jones, Katey Walter Anthony, David Olefeldt, Edward A. G. Schuur, Charles Koven, A. David McGuire, Guido Grosse, Peter Kuhry, Gustaf Hugelius, David M. Lawrence, Carolyn Gibson & A. Britta K. Sannel

Foto: Yuri Kozyrev/NOOR/EYEVINE © 2019

Permafrost Kohlenstoff-Feedback



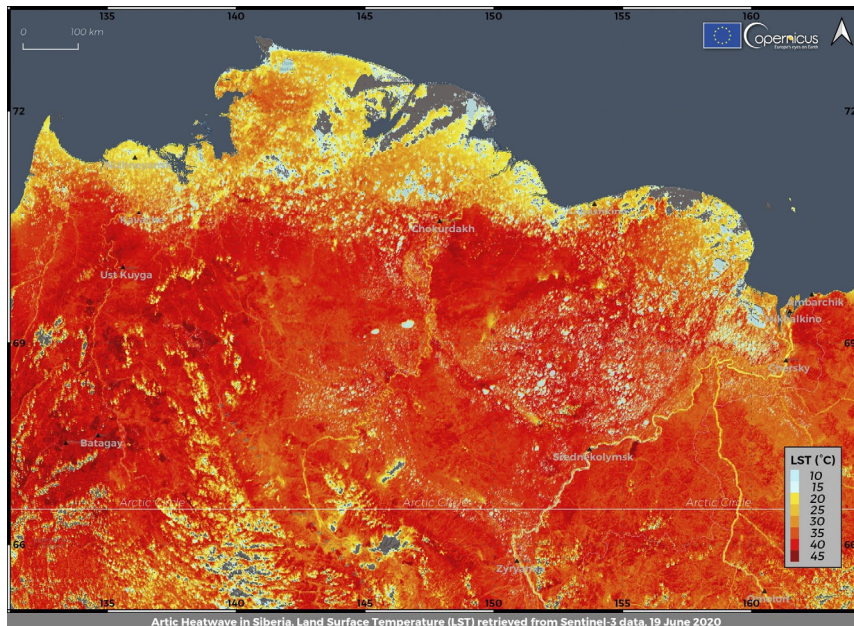
Modellprognosen der potentiellen kumulativen Kohlenstofffreisetzung aus tauendem Permafrost bis 2100, 2200, und 2300.

Alle Prognosen (außer refs 50 und 46) basieren auf dem RCP 8.5 bzw dem A2 Szenario im IPCC AR4.

Zusätzliche Überraschungen?



Hitzewellen in der Arktis: Juni 2020



- Landoberflächentemperaturen bis zu 45 Grad Celsius nördlich des Arctic Circle im June 2020
- Rekord-Lufttemperaturen von >38 Grad Celsius in Verkhoyansk

(Quelle: ECMWF Copernicus Climate Change Service via AP)

Gas-Emissionskrater in NW Sibirien



Zusammenfassung

- Permafrost und Permafrostlandschaften sind sehr dynamische Komponenten des Erdsystems
- Grundeis-Entstehung und -Schmelze ist ein wichtiger Antrieb für die Landschaftsdynamik
- Der Klimawandel in der Arktis beschleunigt den Verlust von Permafrost
- Biogeochemische Rückkopplungen wirken global

Grossen Dank für Beiträge zu diesem Vortrag an:

H.-W. Hubberten, J. Boike, L. Schirrmeister, J. Strauss, H. Lantuit, J. Lenz, H. Lantuit, K. Walter Anthony, I. Nitze, M. Fuchs, F. Günther, und viele andere...



2014 08 19