



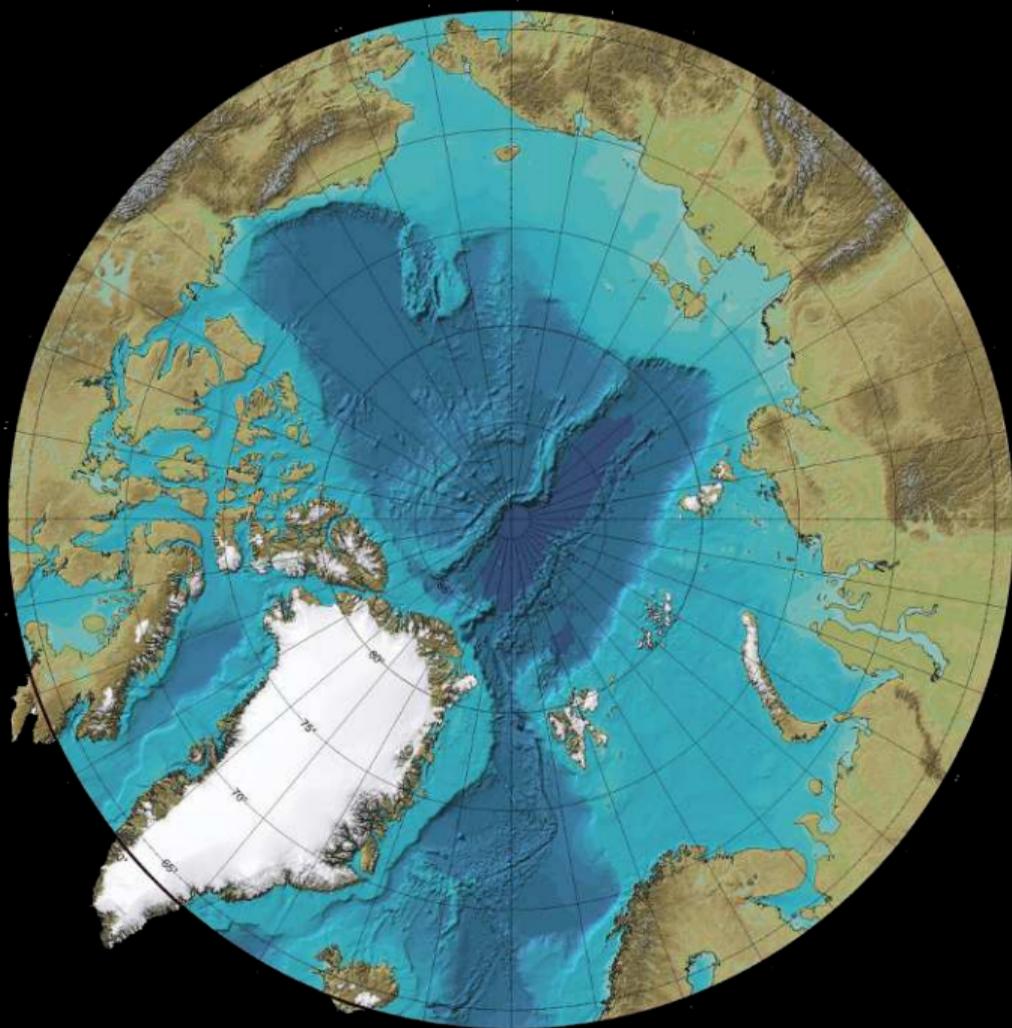
Das Ende der Eis-Zeit?

Dirk Notz

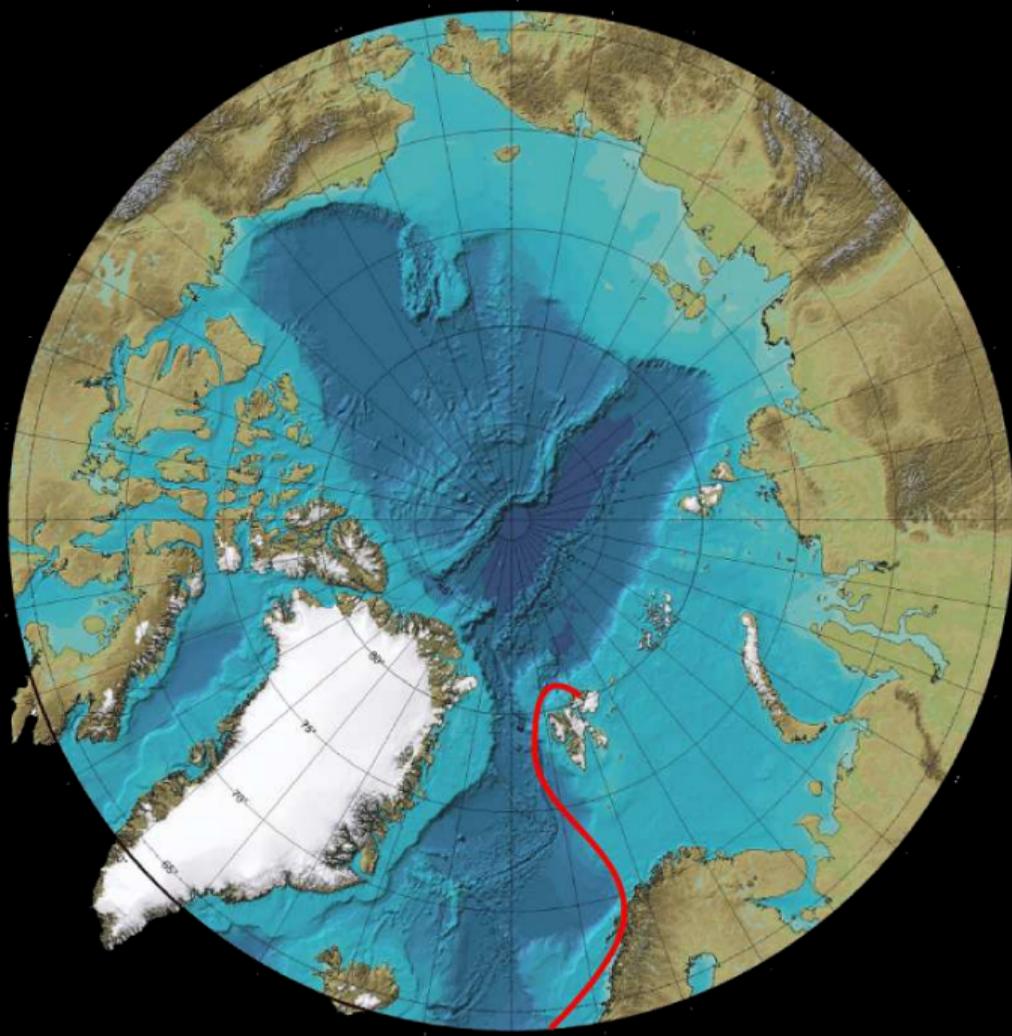
Max Planck Institut für Meteorologie
6. März 2018

Prelude

Die Arktis



Die Arktis



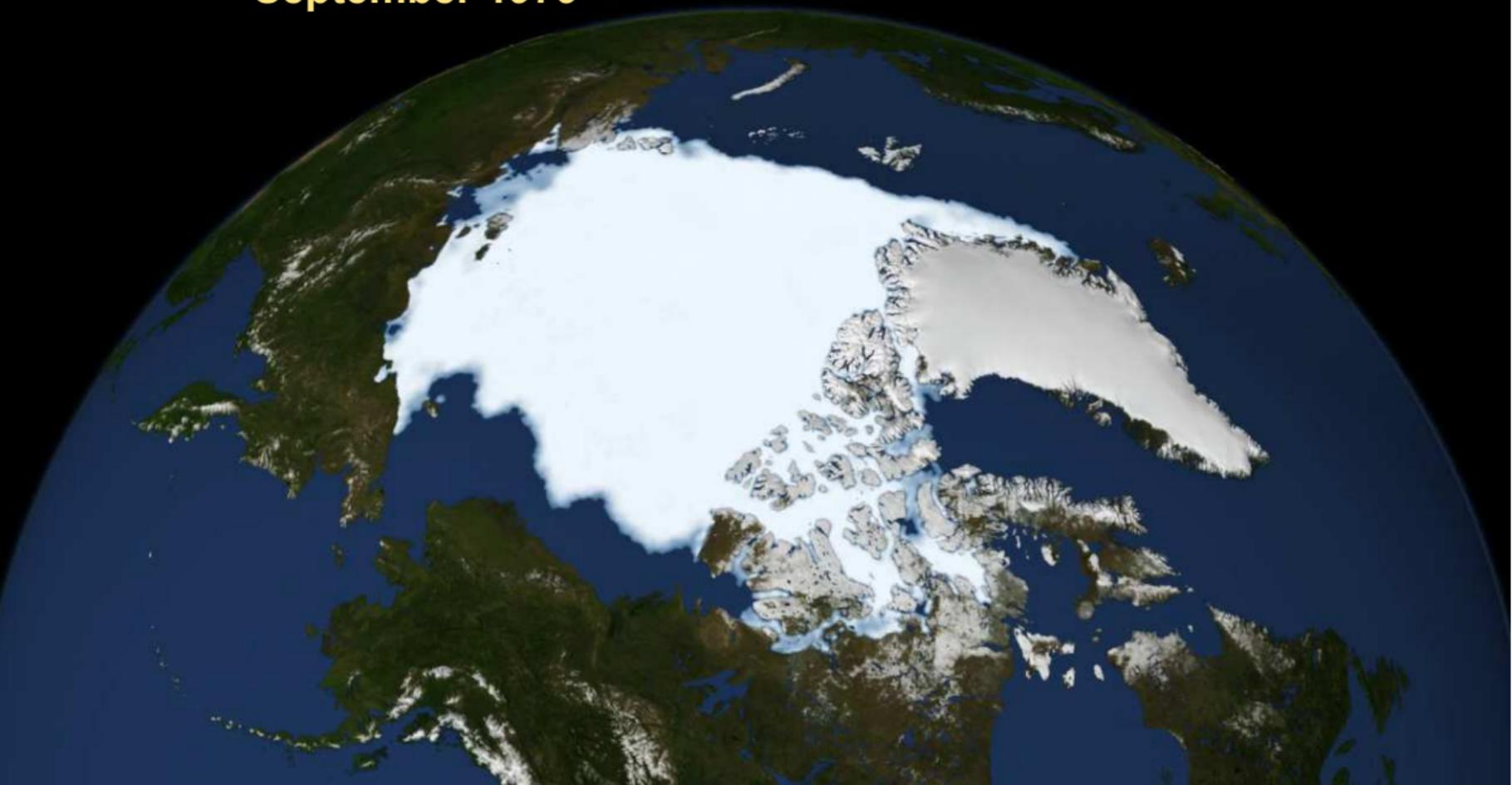
Spitzbergen, Sorgebucht, September 1912



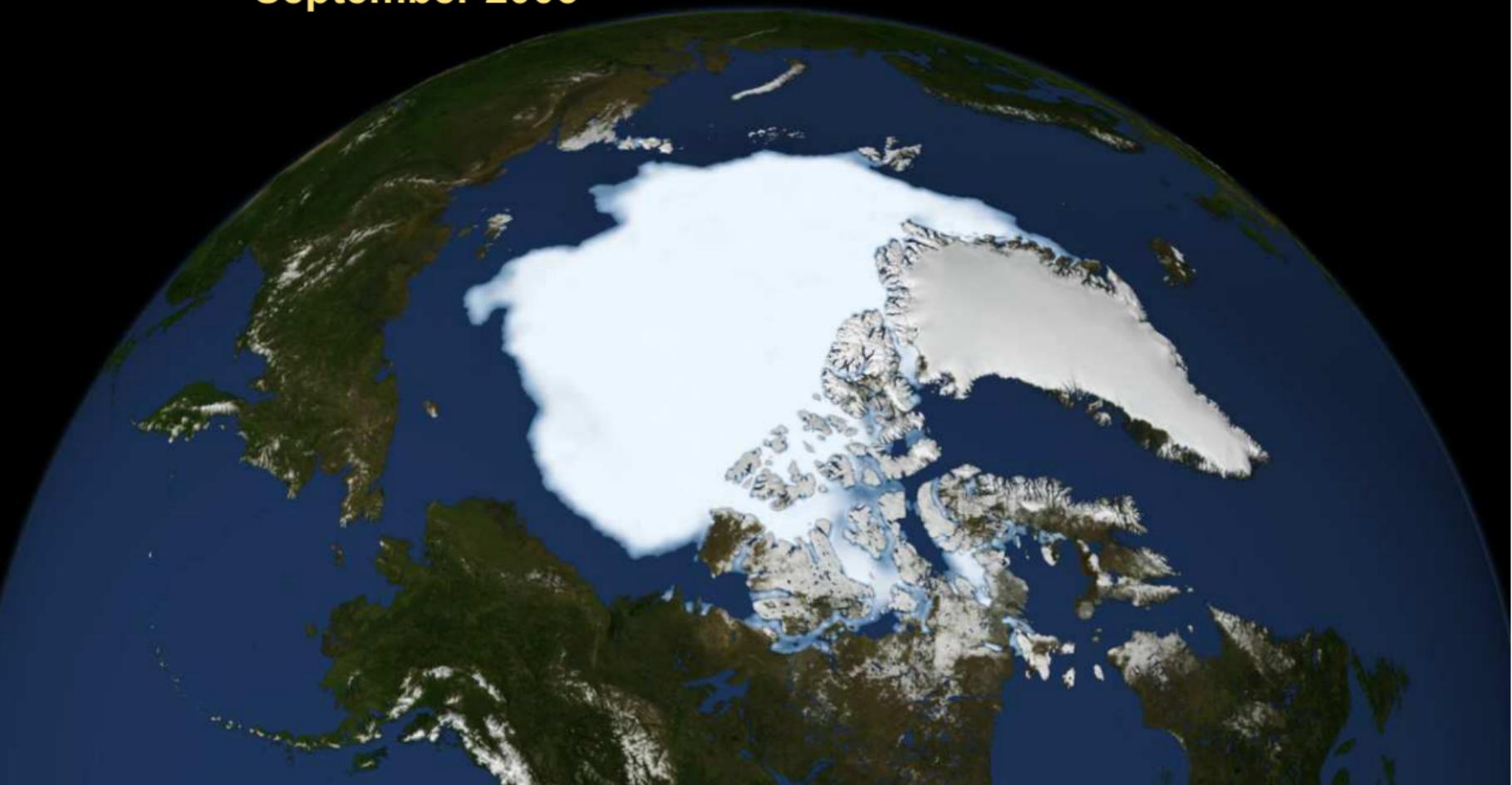
Spitzbergen, Sorgebucht, September 2007



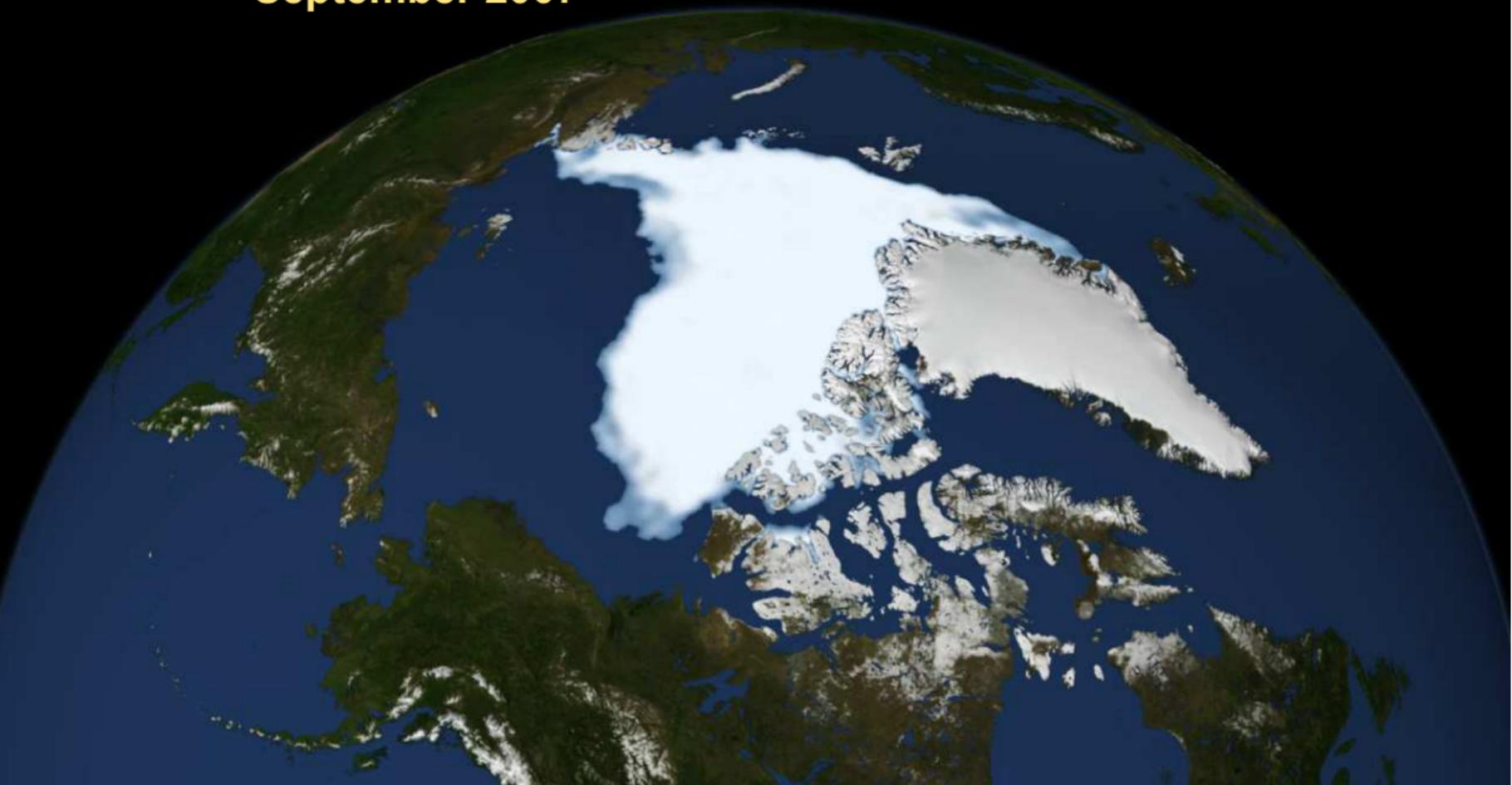
September 1979



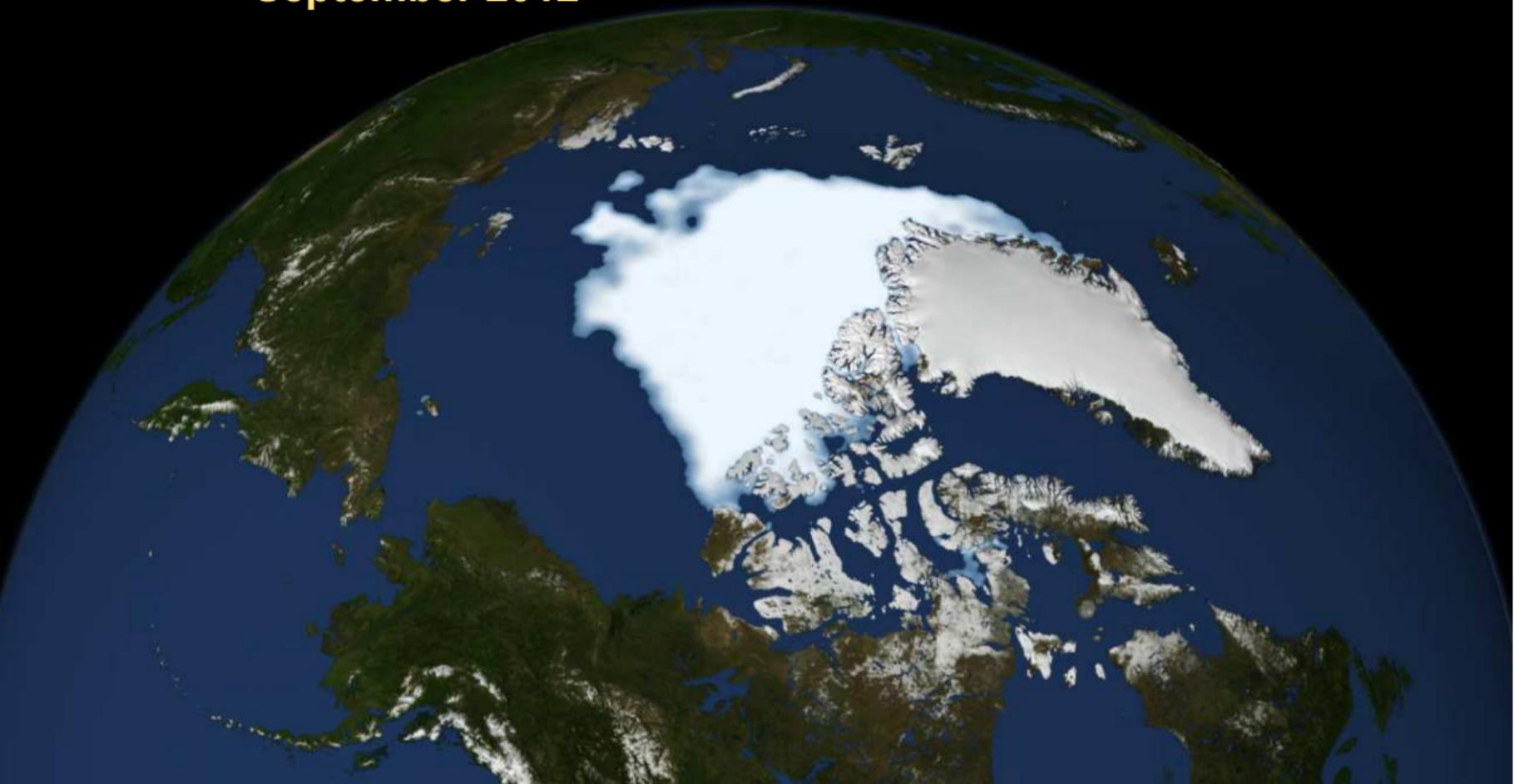
September 2005



September 2007



September 2012



September 20xx??



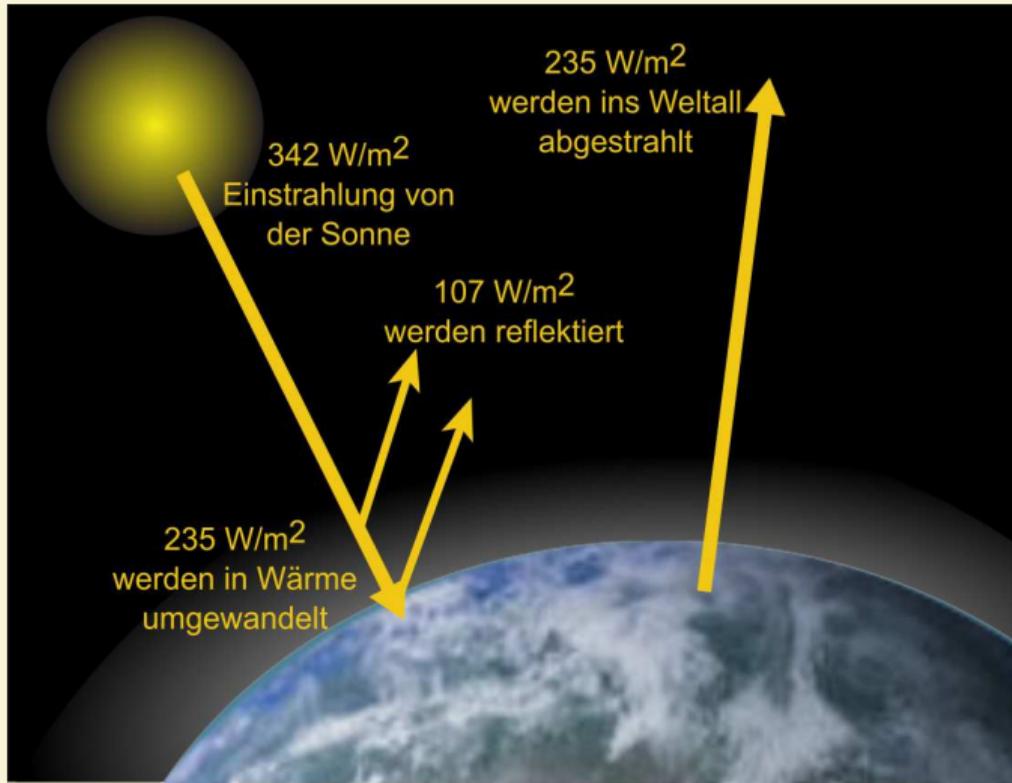
Überblick

- 1 Das Klimasystem der Erde
- 2 Klimawandel früher
- 3 Klimawandel heute
- 4 Warum schmilzt das Eis?
- 5 Ein kurzer Blick in die Zukunft

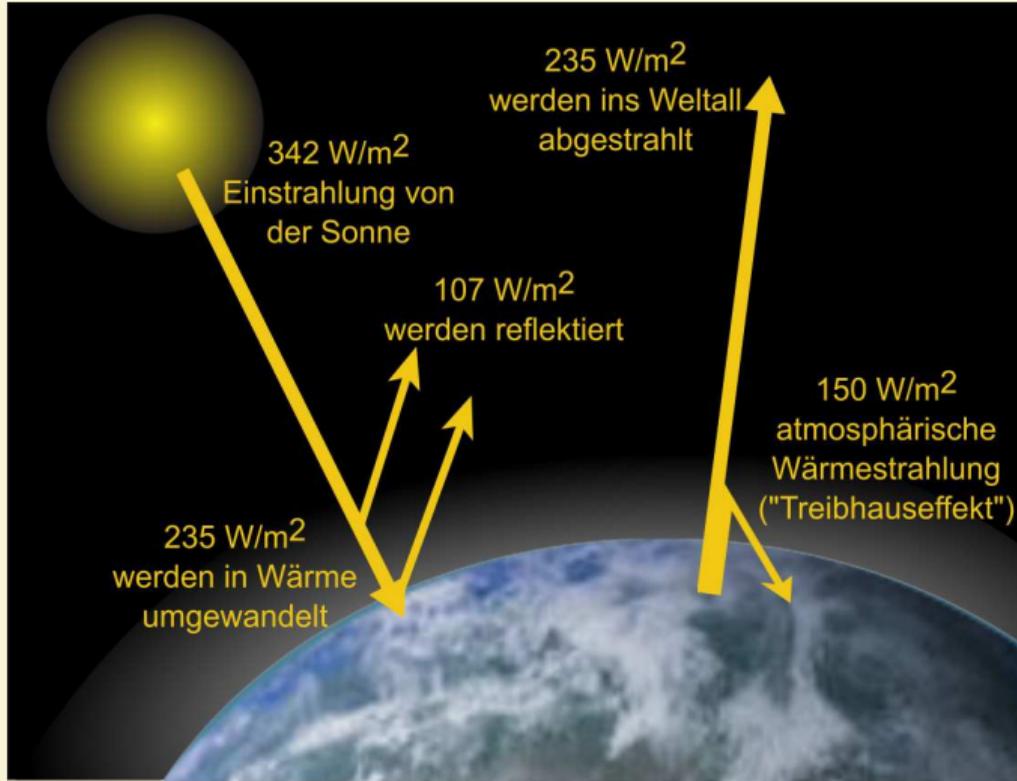


- 1 Das Klimasystem der Erde
- 2 Klimawandel früher
- 3 Klimawandel heute
- 4 Warum schmilzt das Eis?
- 5 Ein kurzer Blick in die Zukunft

Die -18 °C Erde



Die +14 °C Erde



Überblick

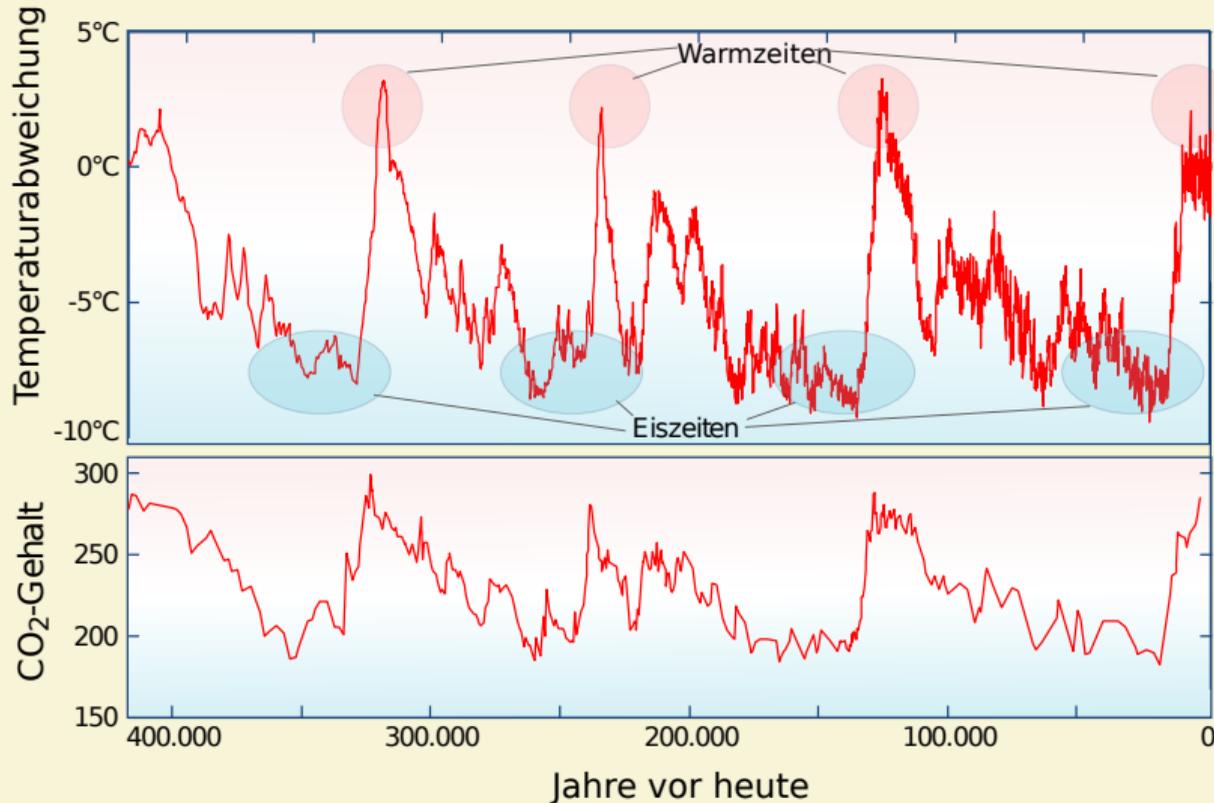
- 1 Das Klimasystem der Erde
- 2 Klimawandel früher**
- 3 Klimawandel heute
- 4 Warum schmilzt das Eis?
- 5 Ein kurzer Blick in die Zukunft



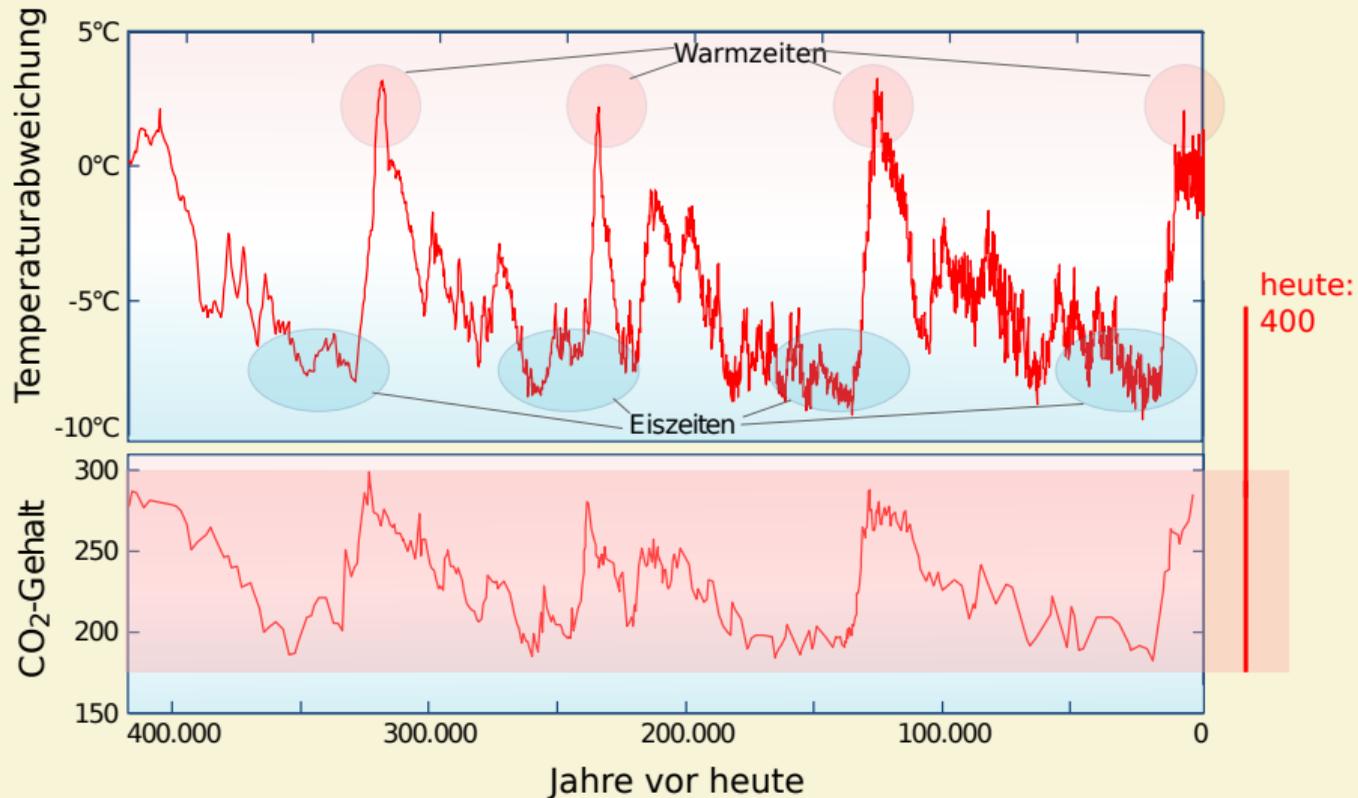
Woher wissen wir etwas über das frühere Klima?



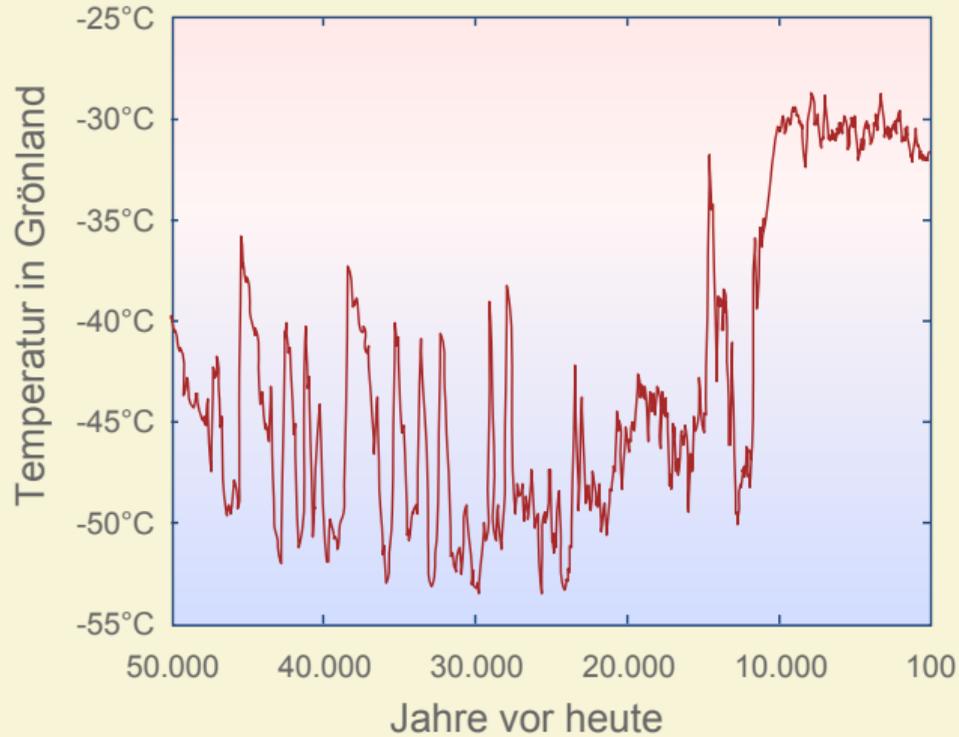
Die vergangenen 400.000 Jahre



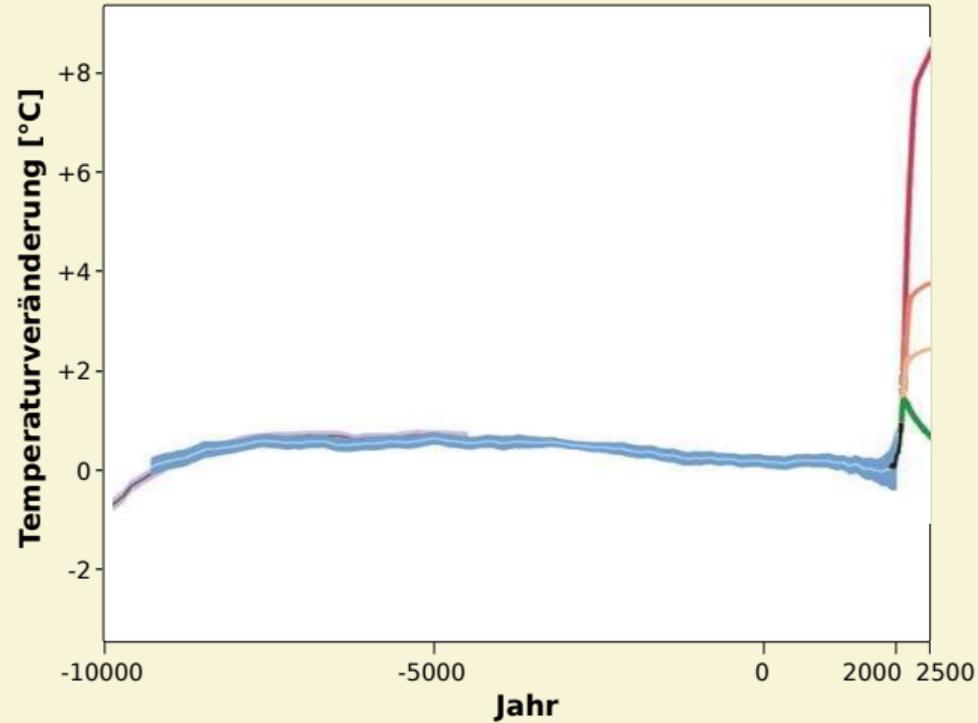
Die vergangenen 400.000 Jahre



Das Ende eines stabilen Klimas?



Das Ende eines stabilen Klimas?

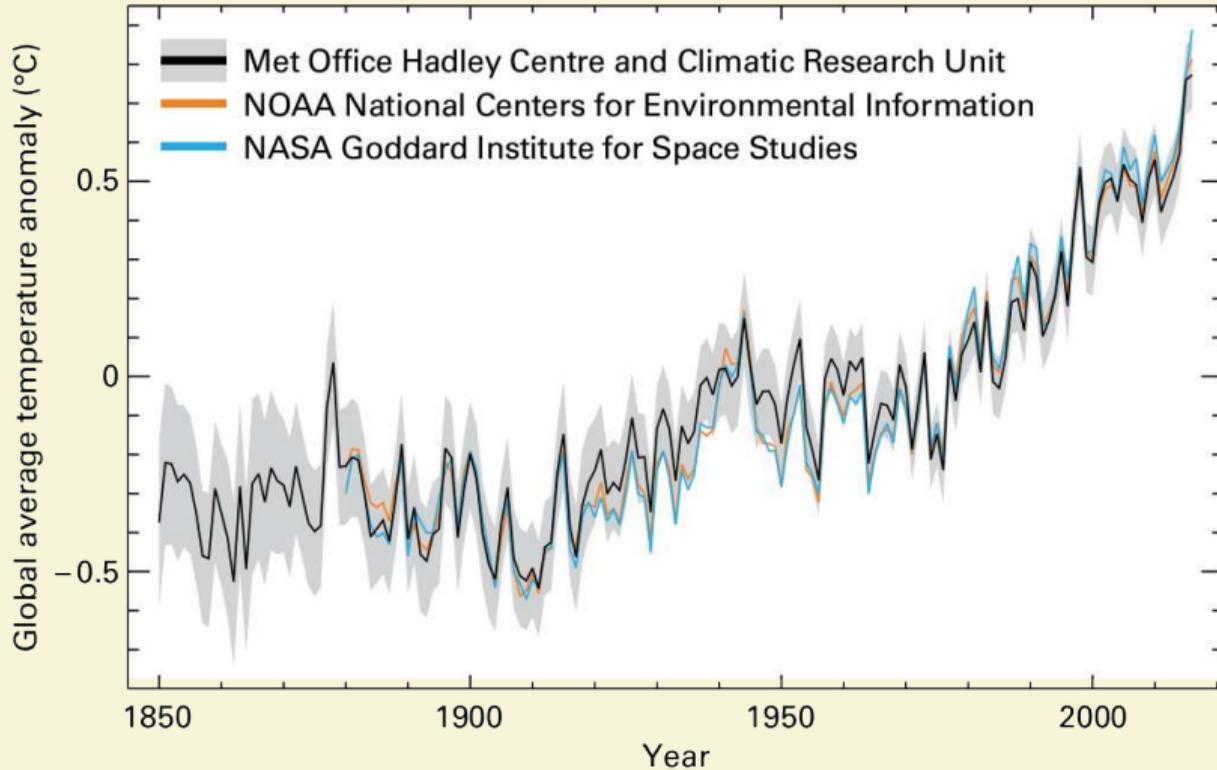


Überblick

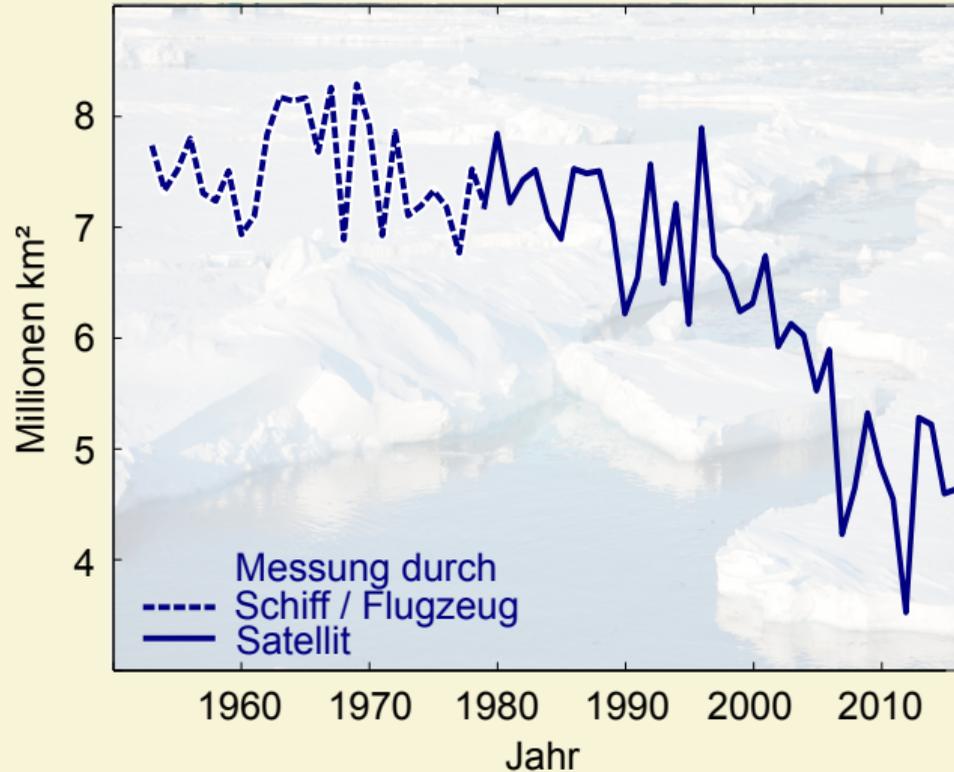
- 1 Das Klimasystem der Erde
- 2 Klimawandel früher
- 3 Klimawandel heute**
- 4 Warum schmilzt das Eis?
- 5 Ein kurzer Blick in die Zukunft



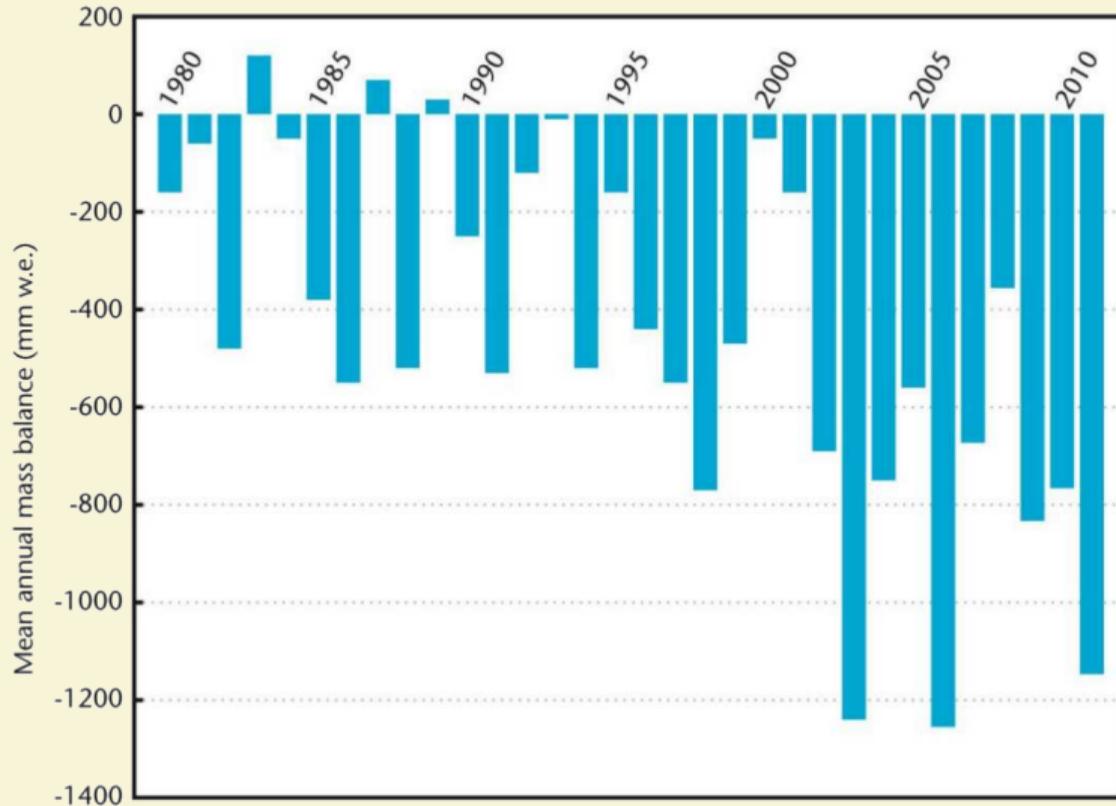
Die globale Temperatur steigt



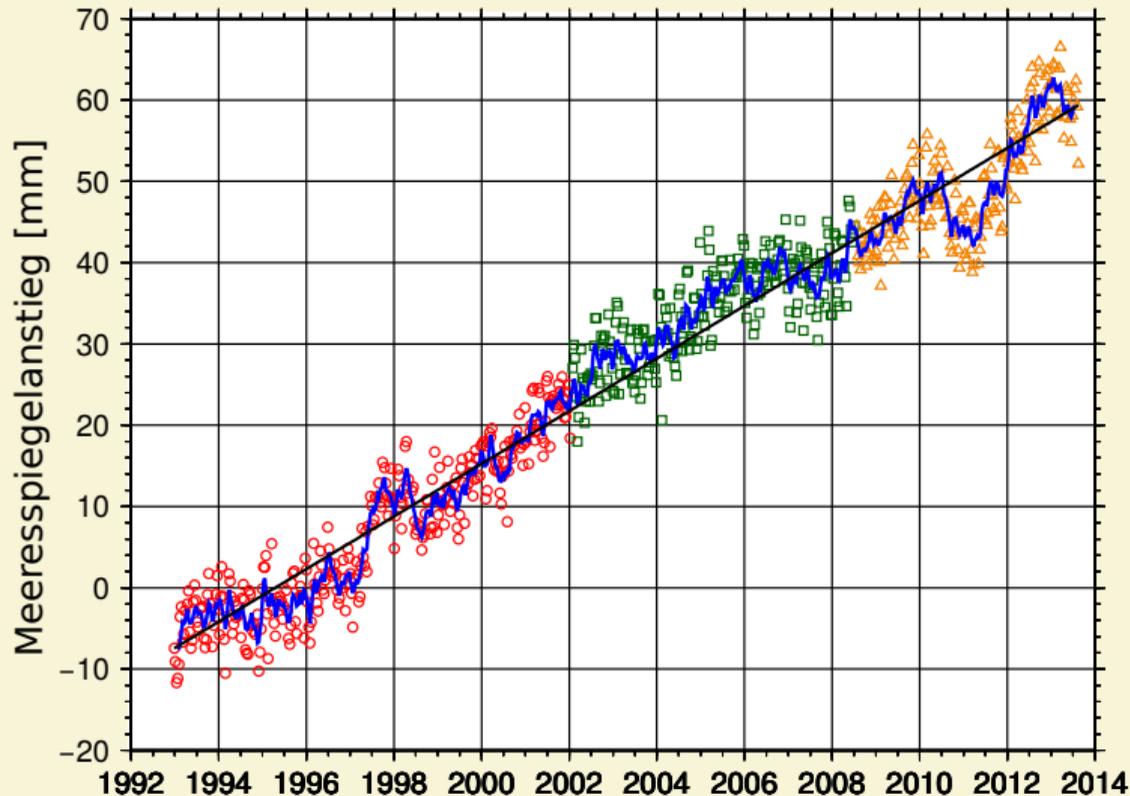
Das Meereis in der Arktis schwindet



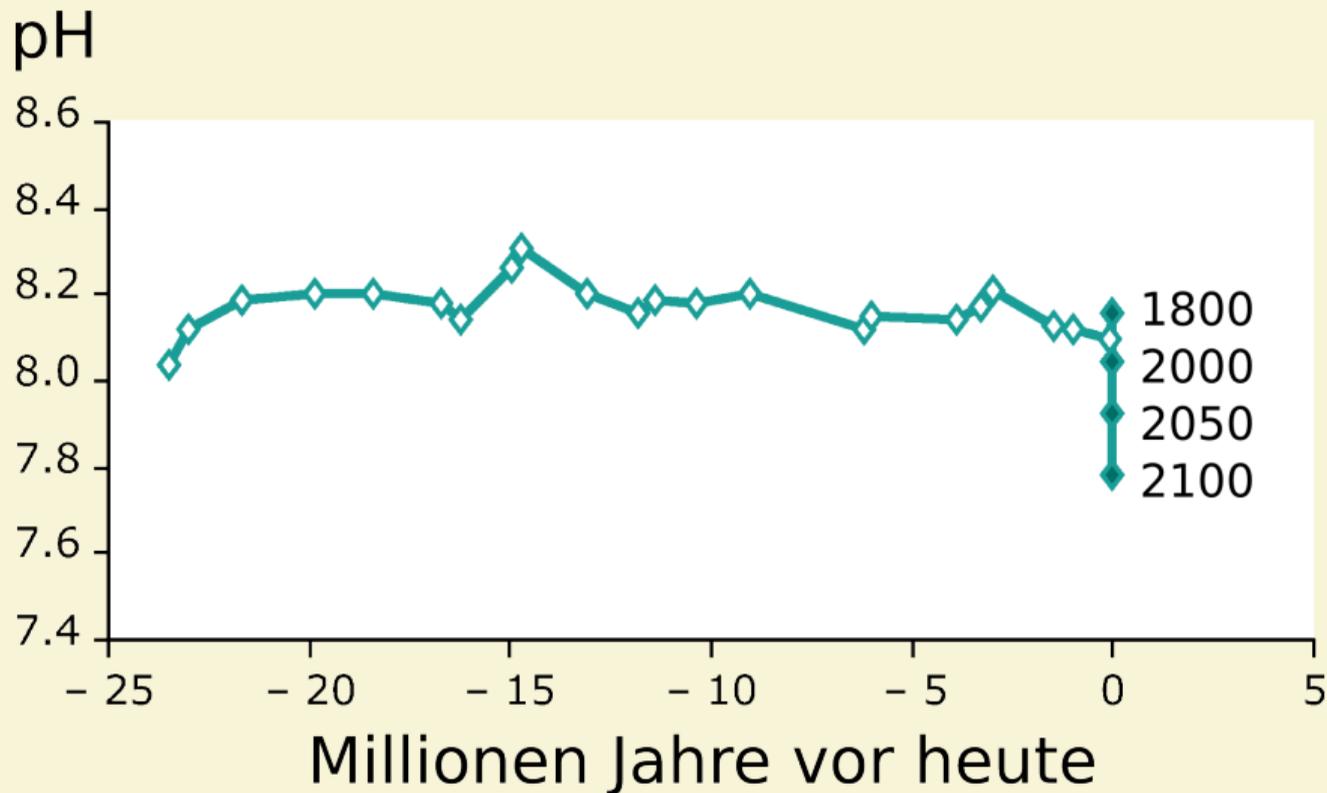
Die Gletscher schmelzen



Der Meeresspiegel steigt



Die Ozeane versauern



Überblick

- 1 Das Klimasystem der Erde
- 2 Klimawandel früher
- 3 Klimawandel heute
- 4 Warum schmilzt das Eis?**
- 5 Ein kurzer Blick in die Zukunft



Warum schmilzt das Eis?

Mensch



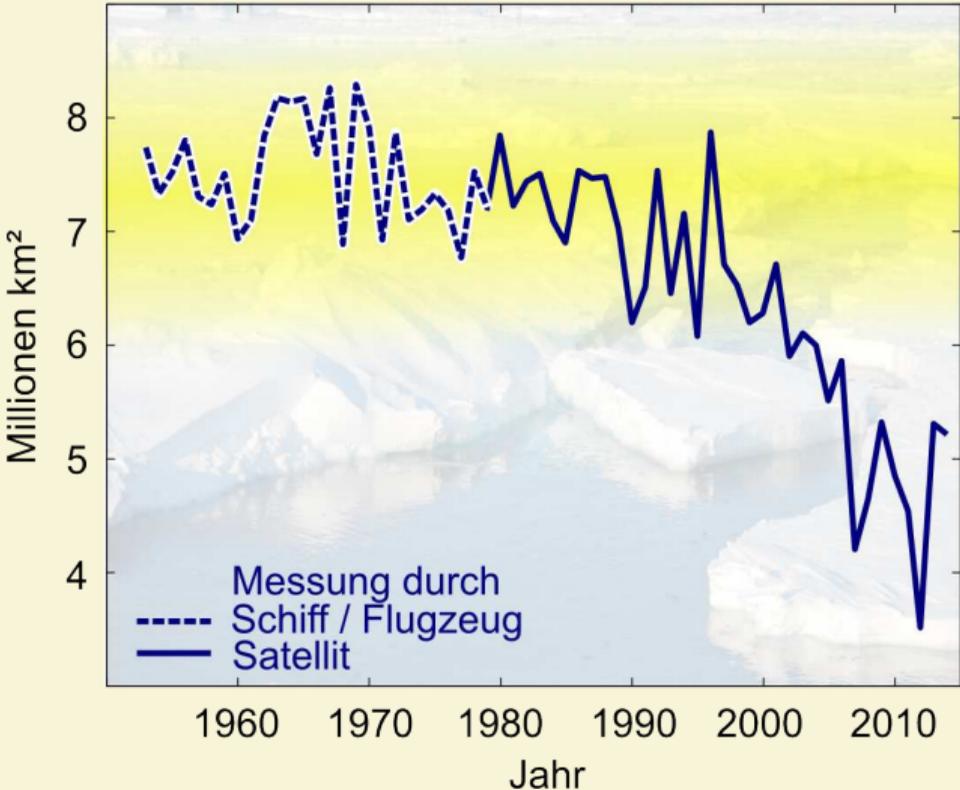
Sonne



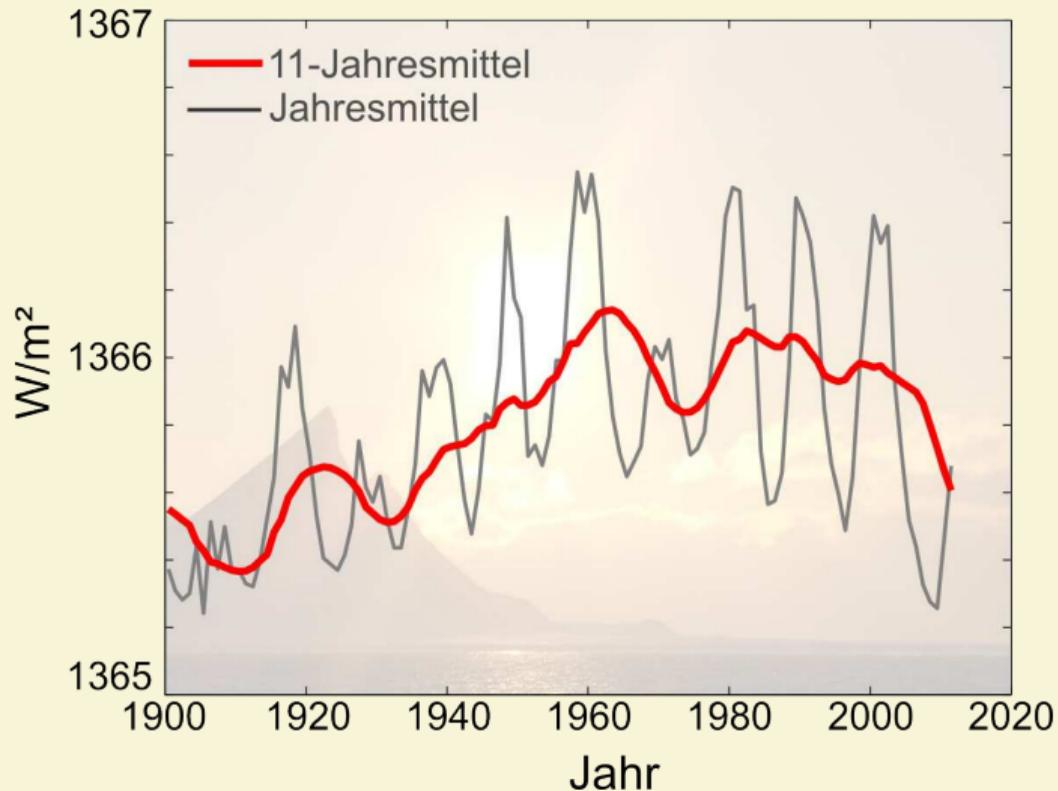
Zufall



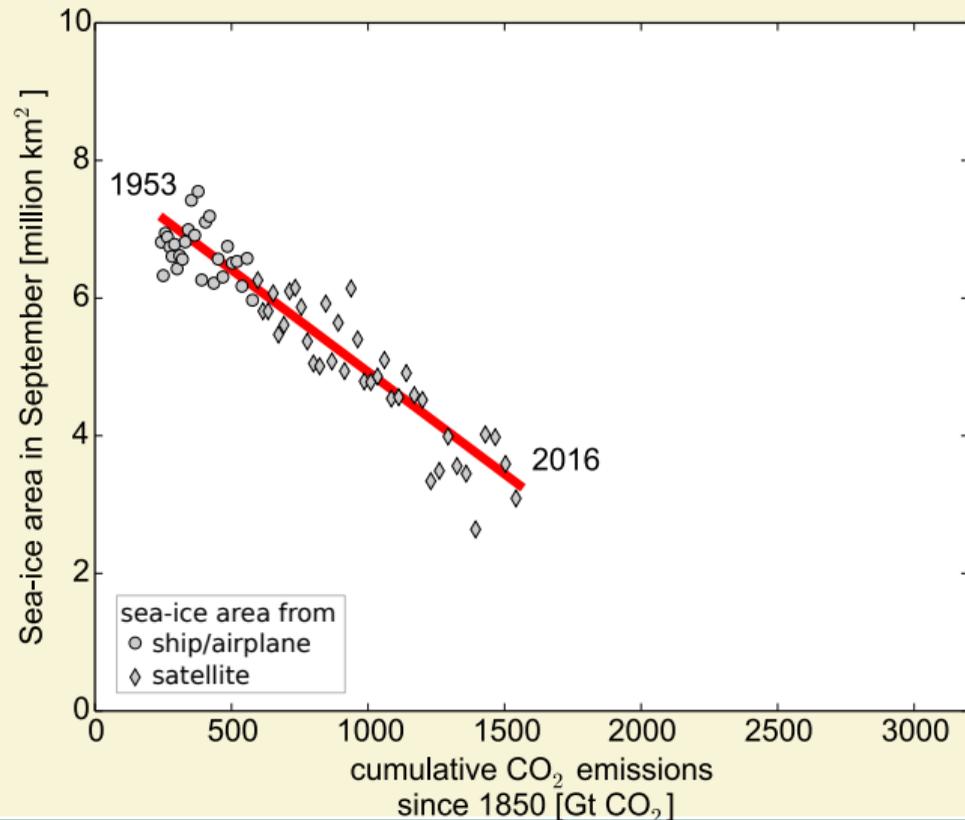
Natürliche Schwankungen sind zu gering



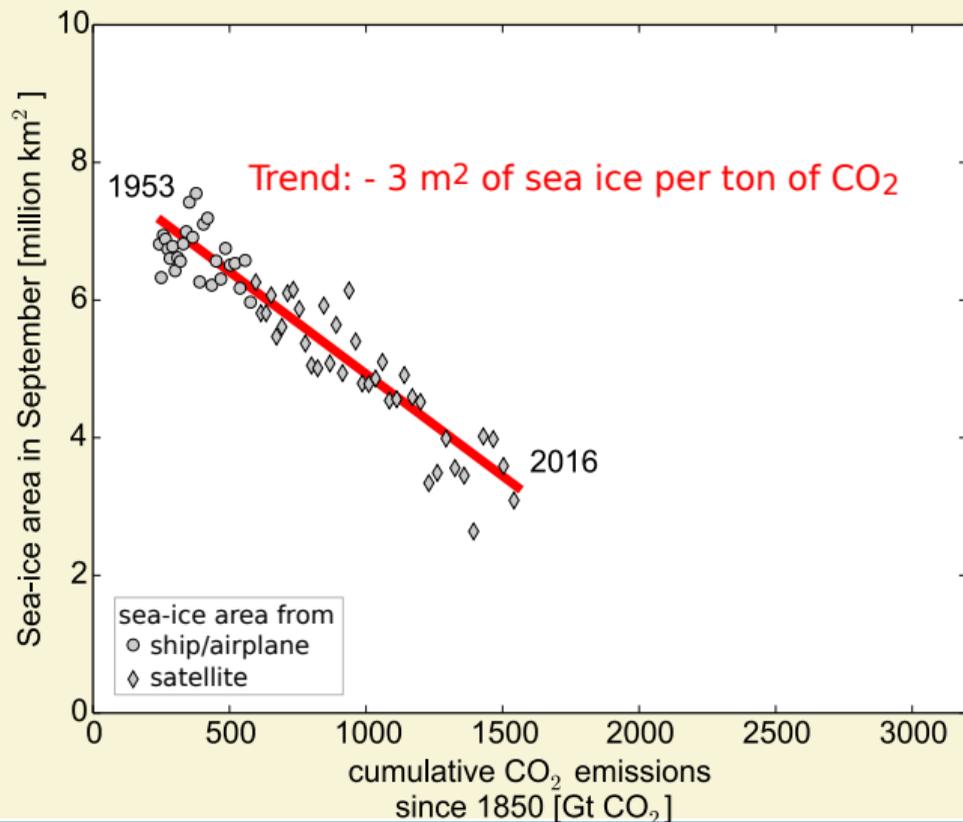
Die Sonneneinstrahlung hat leicht abgenommen



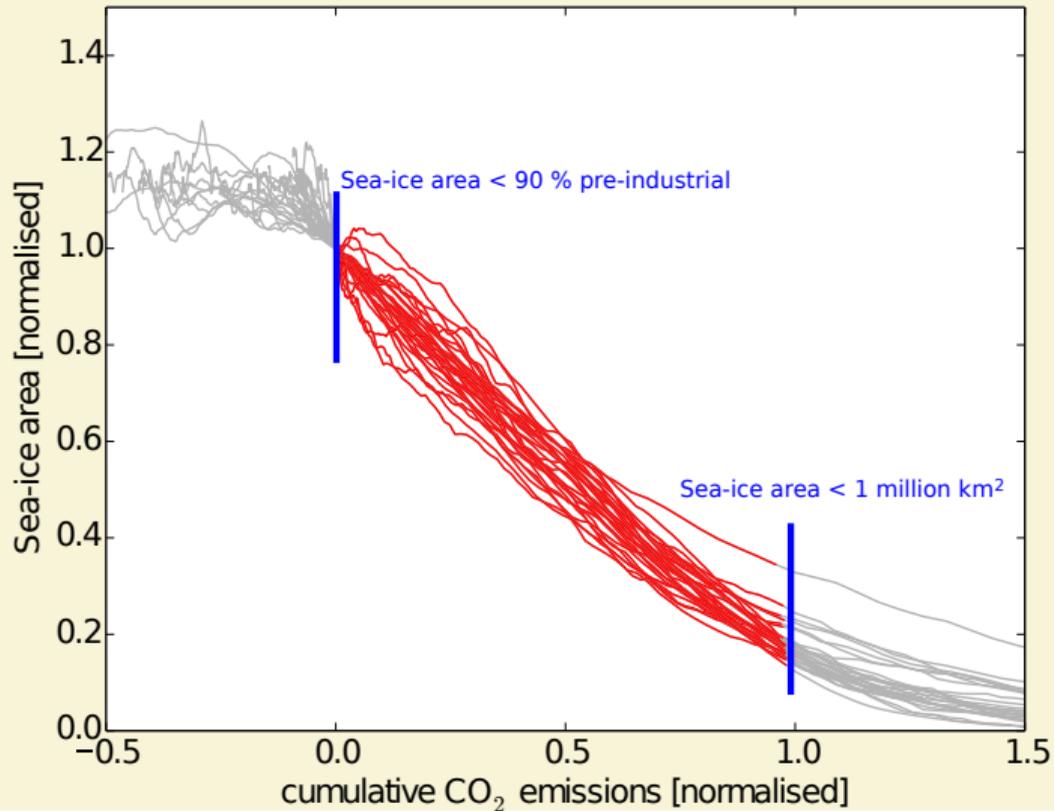
Meereisverlust vor allem durch CO₂-Emissionen verursacht



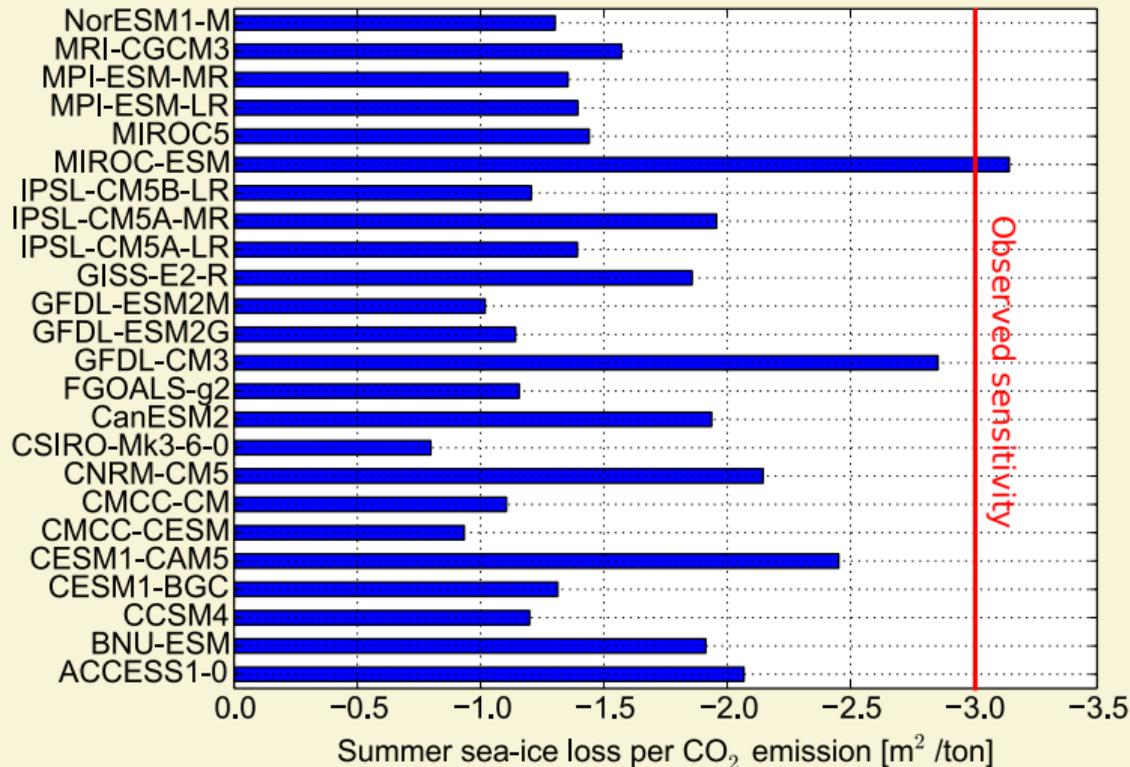
Meereisverlust vor allem durch CO₂-Emissionen verursacht



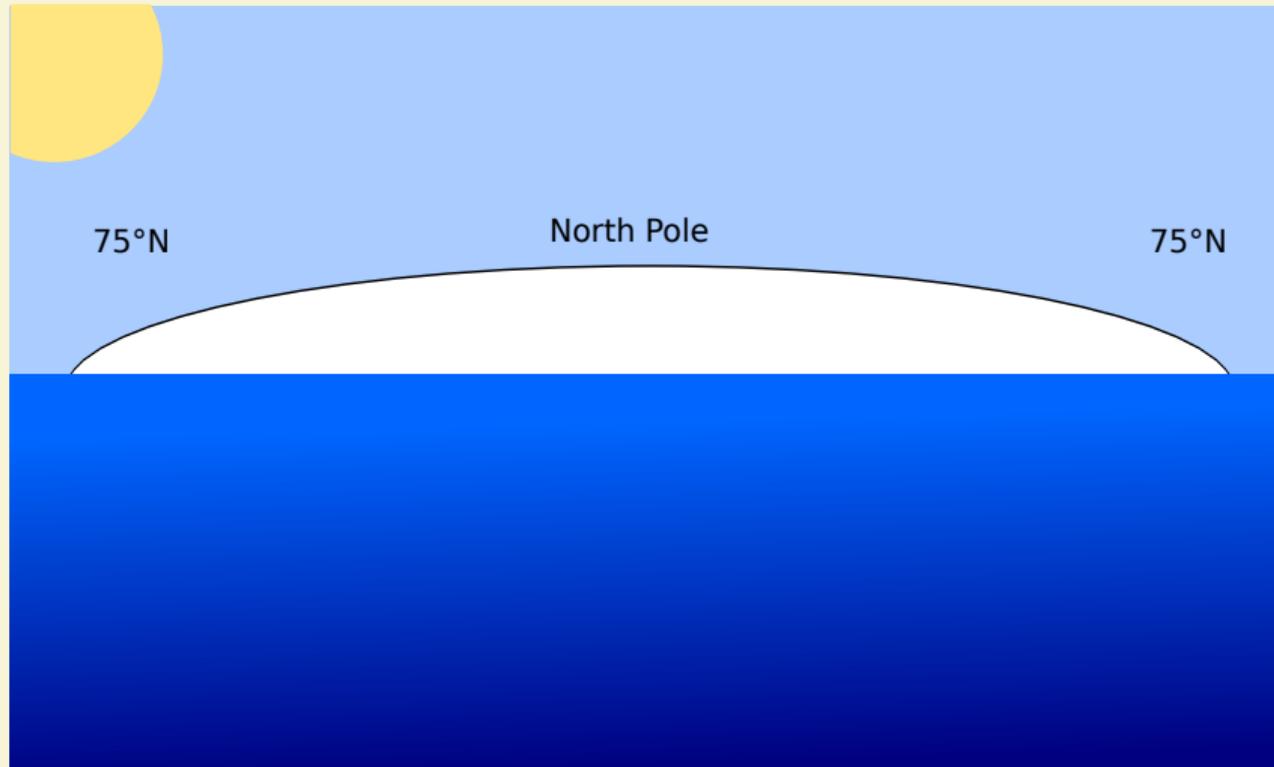
Arktisches Meereis im September in CMIP5 Modellen



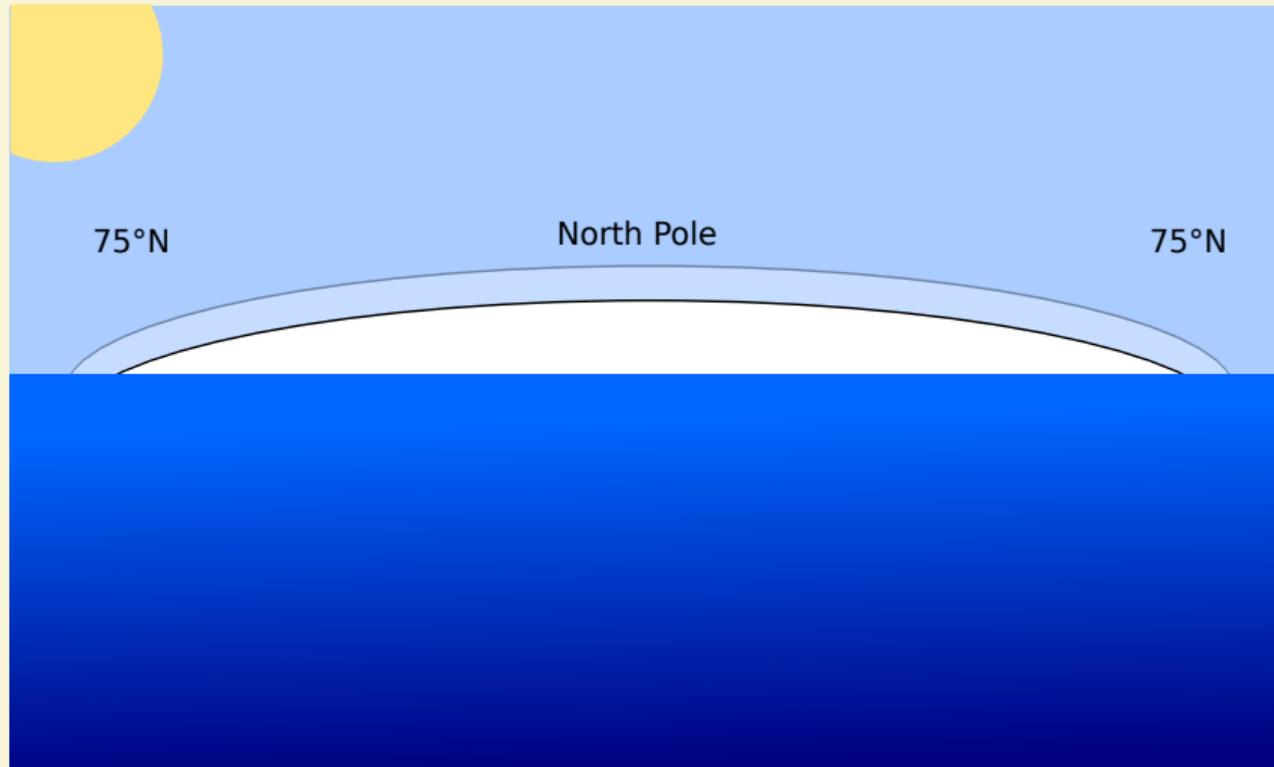
In den Simulationen wird die Sensitivität unterschätzt



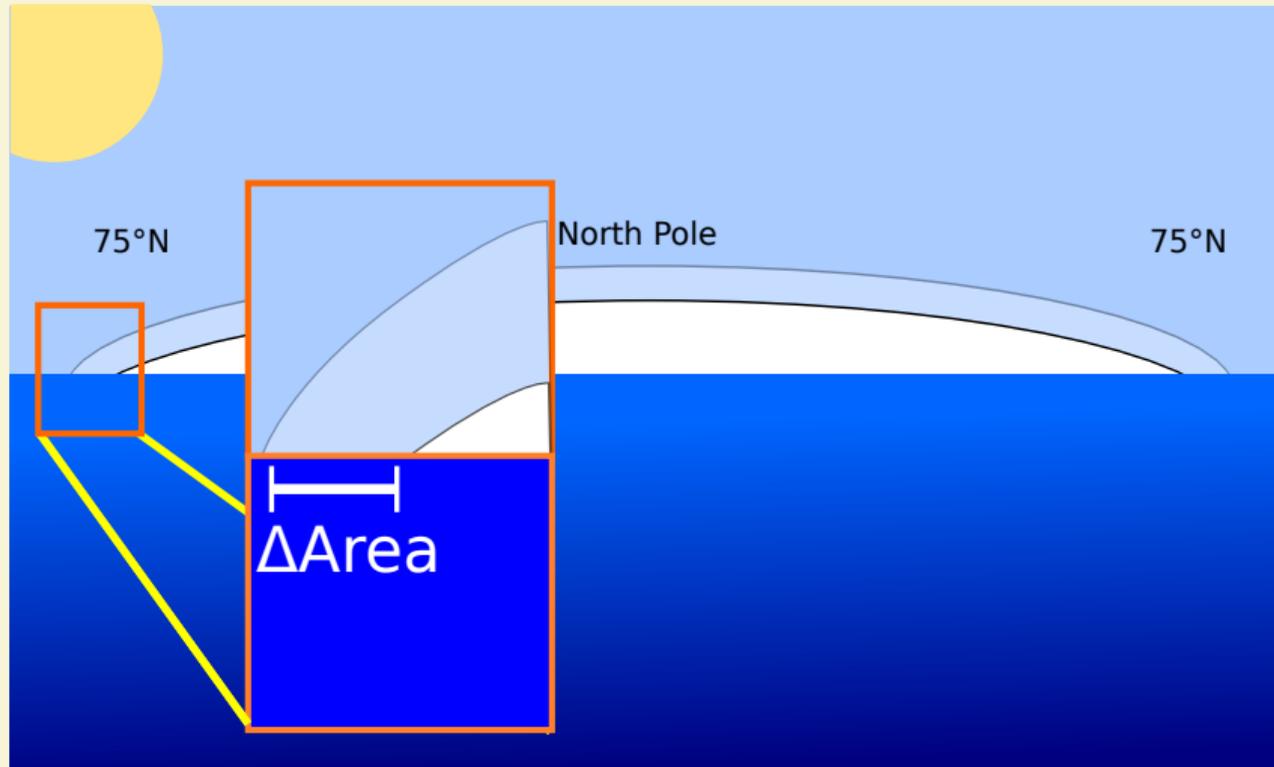
Ein konzeptionelles Bild der Eisschmelze



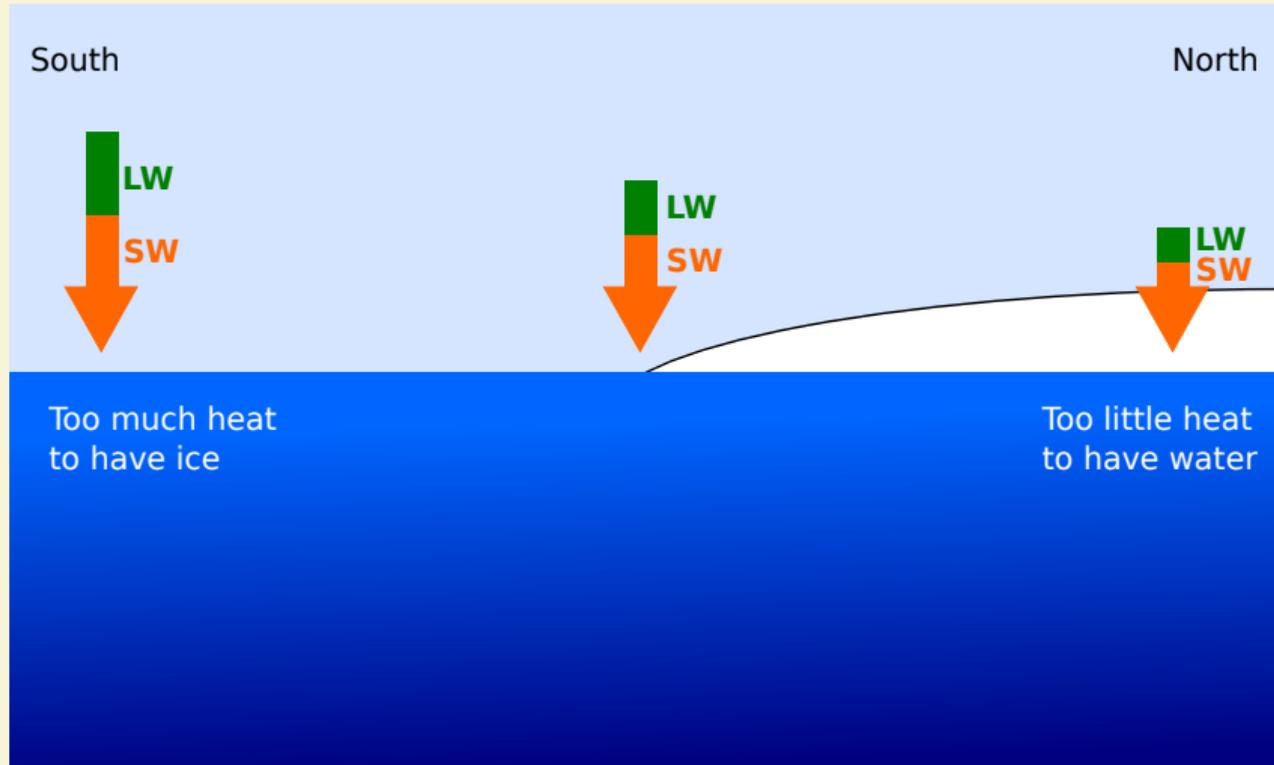
Es wird wärmer, und das Eis wird dünner...



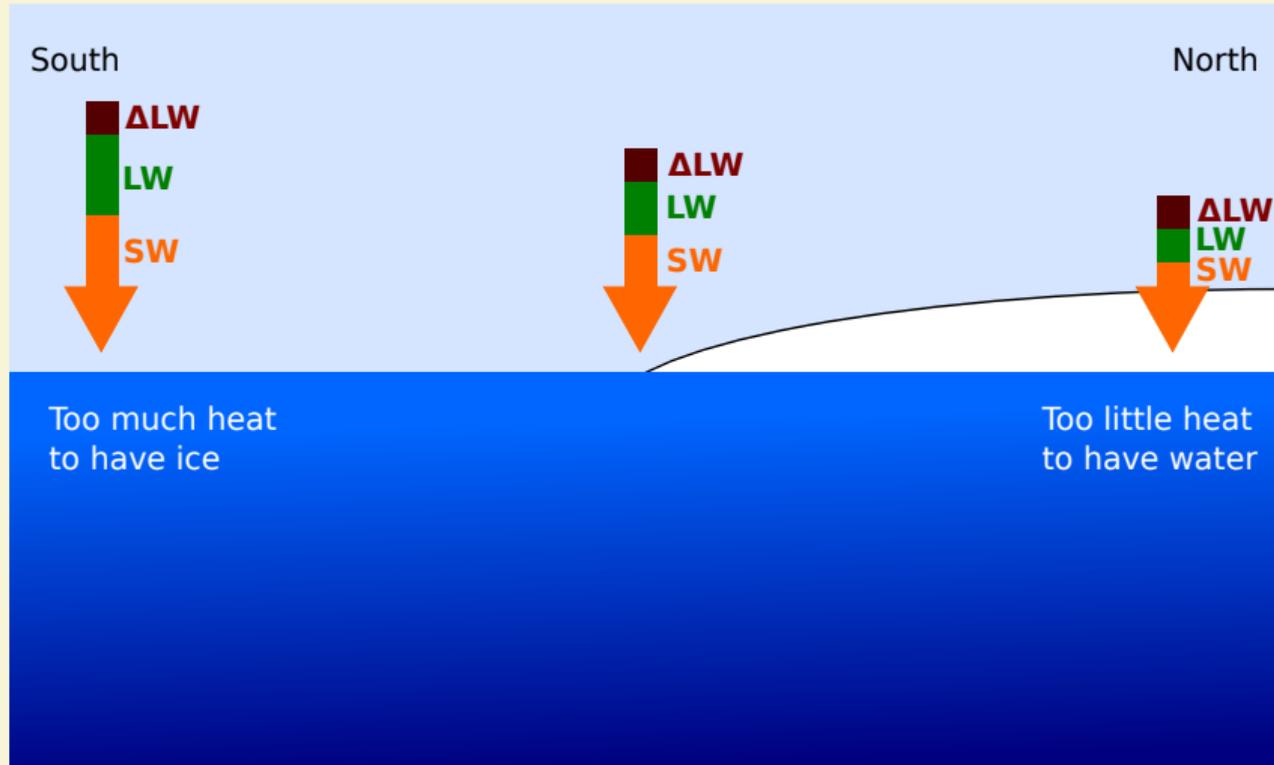
Der Verlust an Eisvolumen führt zu einem Rückgang der Eisfläche



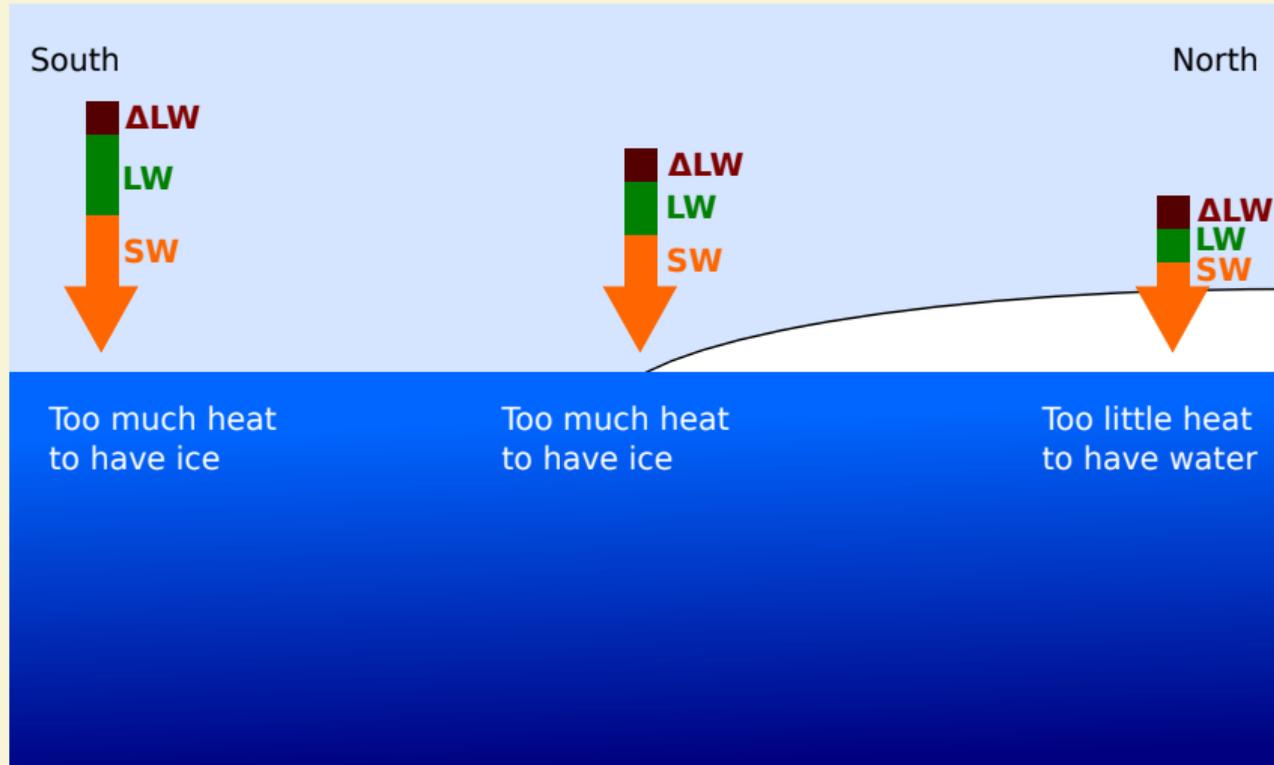
Die einfallende Energie am Eisrand



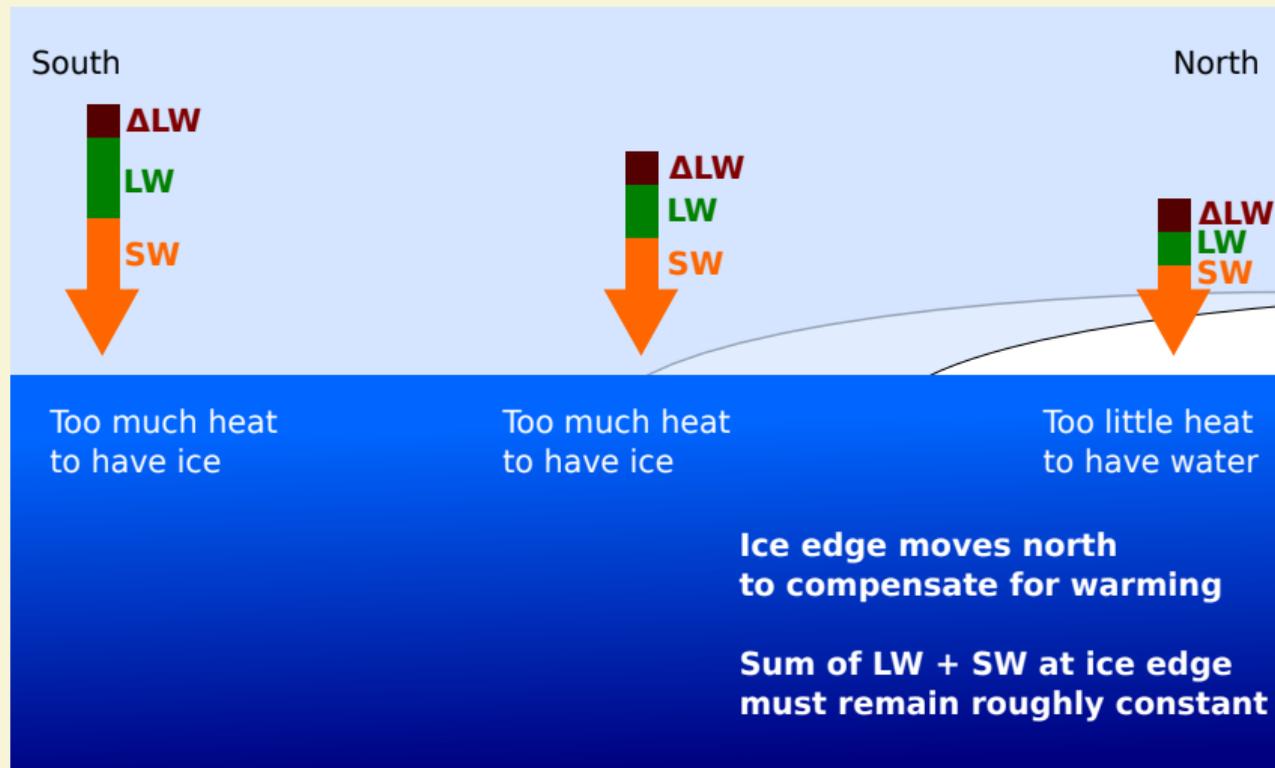
Es wird wärmer...



Es wird wärmer...



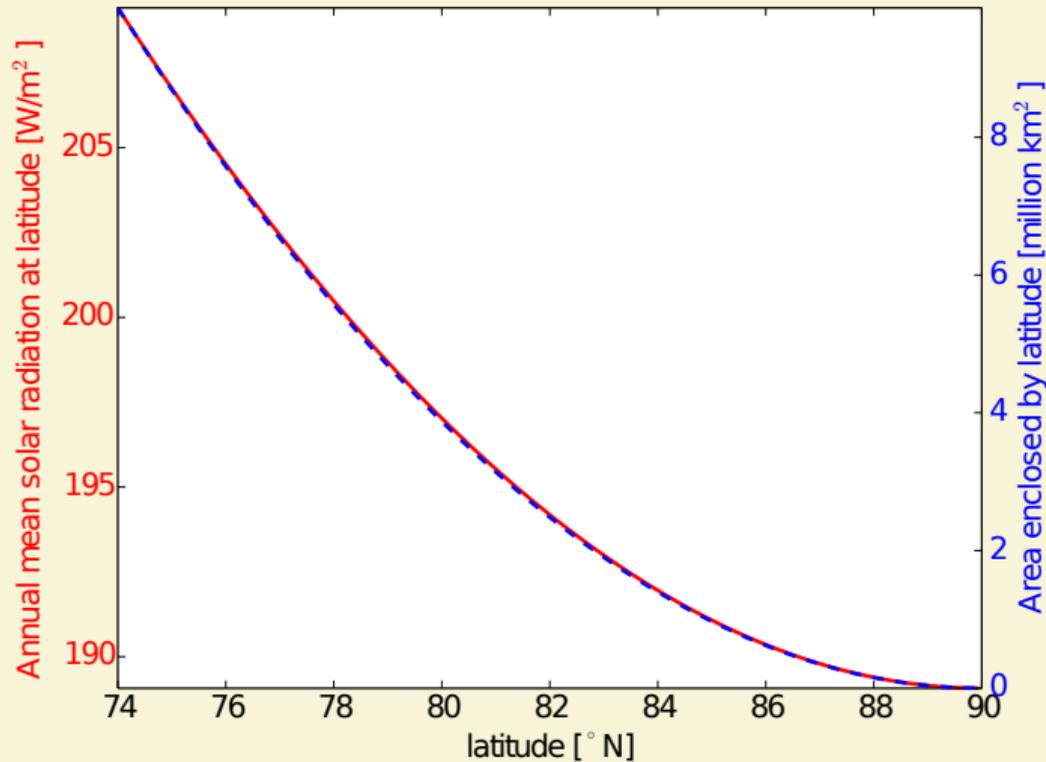
Der Eisrand wandert nordwärts



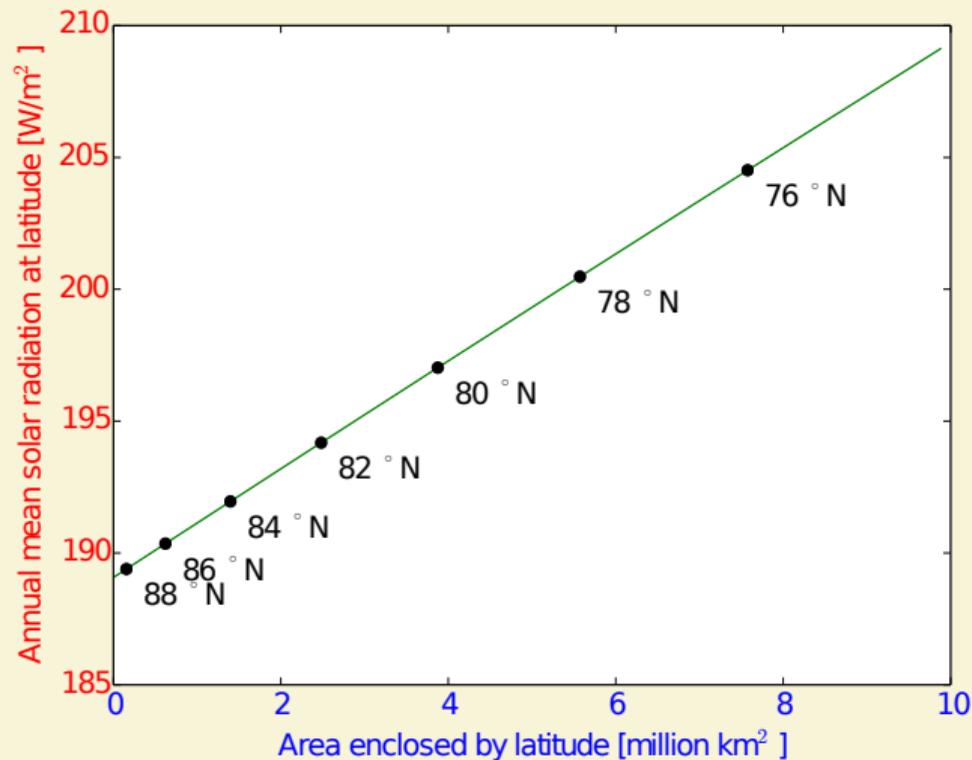
Funktionsweise des linearen Zusammenhangs

- 1 Für jede Tonne CO_2 , die ausgestoßen wird, steigt die einfallende Wärmestrahlung etwa linear an.
- 2 Um den Anstieg der einfallenden Wärmestrahlung um z.B. 1 W/m^2 auszugleichen, verschiebt sich die Eiskante nordwärts, bis die einfallende Sonnenstrahlung um 1 W/m^2 abgenommen hat.

Breitenabhängigkeit der Solarstrahlung und der Meereisfläche



Breitenabhängigkeit der Solarstrahlung und der Meereisfläche



Funktionsweise des linearen Zusammenhangs

- 1 Für jede Tonne CO₂, die ausgestoßen wird, steigt die einfallende Wärmestrahlung etwa linear an.
- 2 Um den Anstieg der einfallenden Wärmestrahlung um z.B. 1 W/m² auszugleichen, verschiebt sich die Eiskante nordwärts, bis die einfallende Sonnenstrahlung um 1 W/m² abgenommen hat.
- 3 Die Änderung der Eisfläche hängt linear von der Änderung der einfallenden Sonnenstrahlung am Eisrand ab.

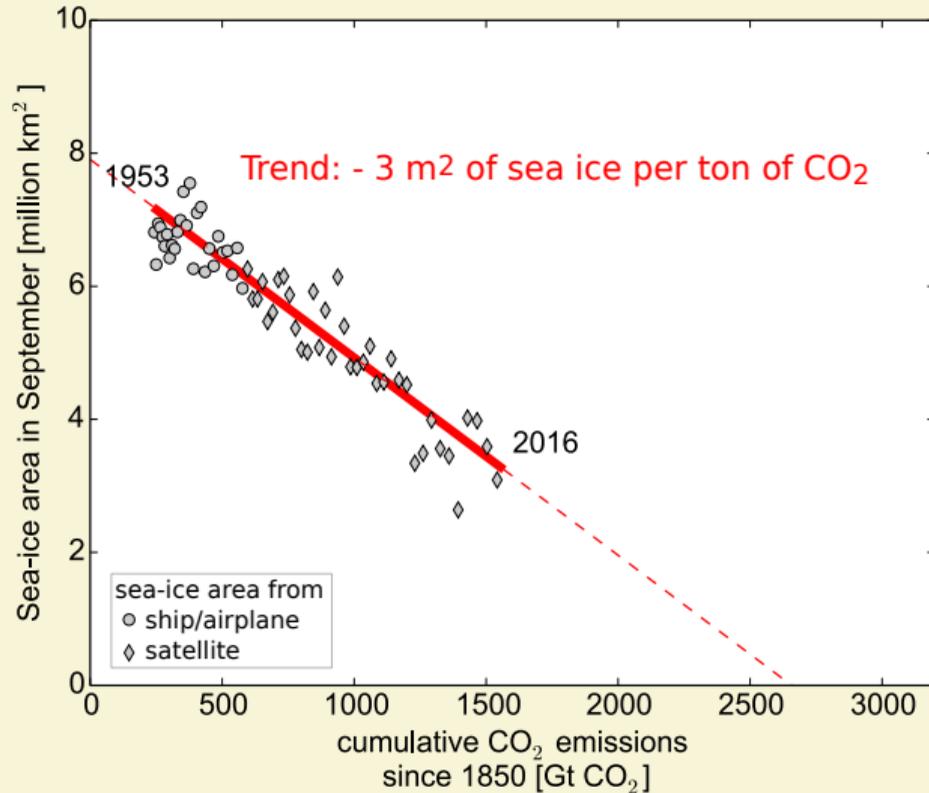
Funktionsweise des linearen Zusammenhangs

- 1 Für jede Tonne CO₂, die ausgestoßen wird, steigt die einfallende Wärmestrahlung etwa linear an.
- 2 Um den Anstieg der einfallenden Wärmestrahlung um z.B. 1 W/m² auszugleichen, verschiebt sich die Eiskante nordwärts, bis die einfallende Sonnenstrahlung um 1 W/m² abgenommen hat.
- 3 Die Änderung der Eisfläche hängt linear von der Änderung der einfallenden Sonnenstrahlung am Eisrand ab.
- 4 Aus (1) bis (3) folgt, dass für jede Tonne CO₂ Ausstoß die Eisfläche etwa um den gleichen Betrag abnimmt.

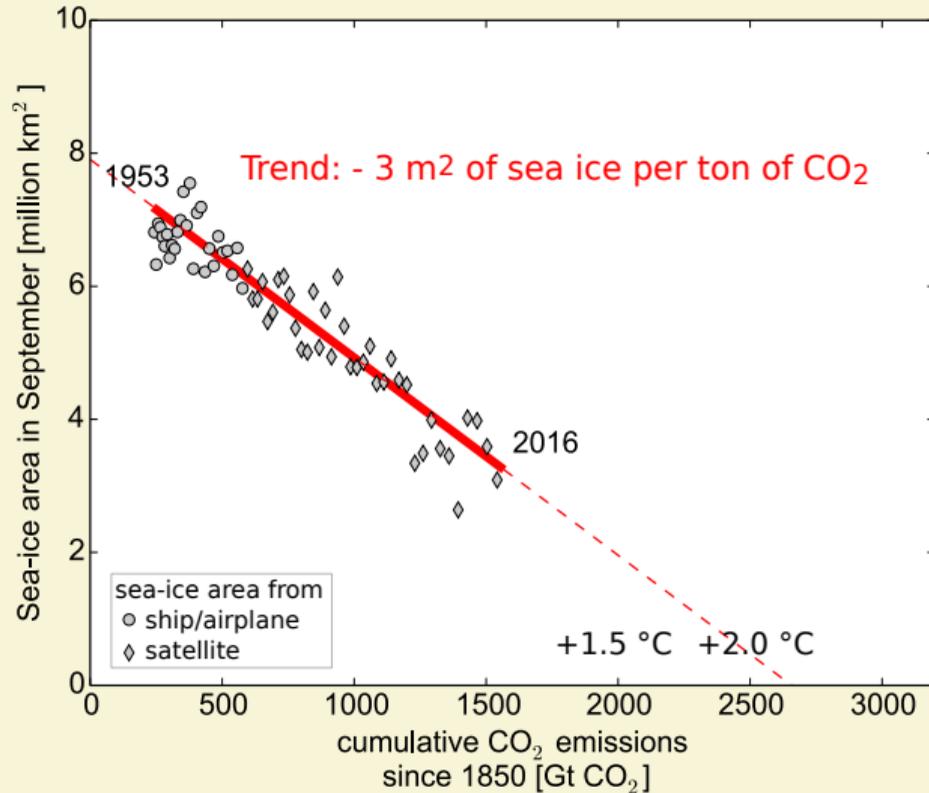
Überblick

- 1 Das Klimasystem der Erde
- 2 Klimawandel früher
- 3 Klimawandel heute
- 4 Warum schmilzt das Eis?
- 5 Ein kurzer Blick in die Zukunft**

Die zukünftige Entwicklung des Meereises



Die zukünftige Entwicklung des Meereises



Ein paar Zahlen zur zukünftigen Entwicklung

- etwa **1000 Gigatonnen CO₂** dürften maximal noch emittiert werden, um mit hoher Wahrscheinlichkeit das 2 °C-Ziel zu erreichen.

Ein paar Zahlen zur zukünftigen Entwicklung

- etwa **1000 Gigatonnen CO₂** dürften maximal noch emittiert werden, um mit hoher Wahrscheinlichkeit das 2 °C-Ziel zu erreichen.
- etwa **40 Gigatonnen CO₂** emittiert die Menschheit im Moment jedes Jahr.

Ein paar Zahlen zur zukünftigen Entwicklung

- etwa **1000 Gigatonnen CO₂** dürften maximal noch emittiert werden, um mit hoher Wahrscheinlichkeit das 2 °C-Ziel zu erreichen.
- etwa **40 Gigatonnen CO₂** emittiert die Menschheit im Moment jedes Jahr.
- etwa **3000 Gigatonnen CO₂** entsprechen den bekannten Öl- , Kohle- und Gasreserven

- Das Klima der Erde erwärmt sich

- Das Klima der Erde erwärmt sich
- Die fortschreitende Erwärmung kann schon in wenigen Jahrzehnten zu einem Klimazustand führen, dem der moderne Mensch noch nie ausgesetzt war

- Das Klima der Erde erwärmt sich
- Die fortschreitende Erwärmung kann schon in wenigen Jahrzehnten zu einem Klimazustand führen, dem der moderne Mensch noch nie ausgesetzt war
- Das 2 °C Ziel liesse sich prinzipiell erreichen.

- Das Klima der Erde erwärmt sich
- Die fortschreitende Erwärmung kann schon in wenigen Jahrzehnten zu einem Klimazustand führen, dem der moderne Mensch noch nie ausgesetzt war
- Das 2 °C Ziel liesse sich prinzipiell erreichen.
- Zum Erhalt des Arktischen Meereises im Sommer reicht das 2 °C Ziel vermutlich nicht aus.