

Arktisches Meereis

- Wassertemperaturen unter Gefrierpunkt im Winter

 Wachsen des Meereises
- Höher Wasser- und Lufttemperaturen im Sommer -> Schmelzen des Meereise und minimale Flächenausdehnung
- Arktisches Meereis: Direkter Einfluss auf Bildung von ozeanischem Tiefenwasser



- Klimawandel: Erhöhte Lufttemperaturen, Sonneneinstrahlung und Ozeantemperaturen im Sommer → Verstärktes Abschmelzen des Meereises im Sommer
- Ausdehnung des arktischen Meereises in den letzten Jahrzehnten stark verringert
- Albedo: Meereis reflektiert >60% der einfallenden Strahlung
- Kühlung der arktischen Atmosphäre

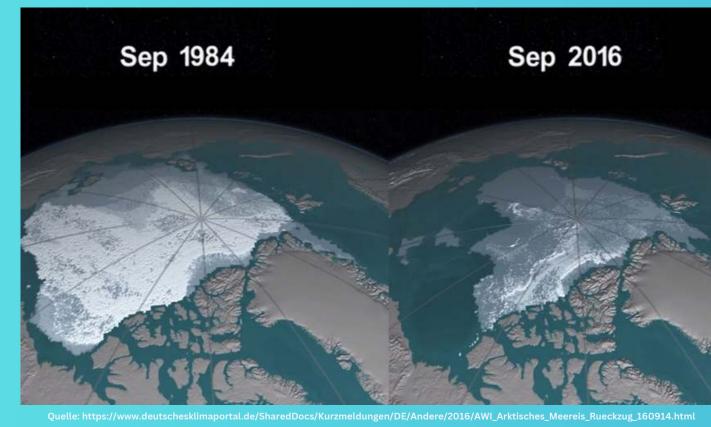
 Auch Einfluss auf europäisches Klima

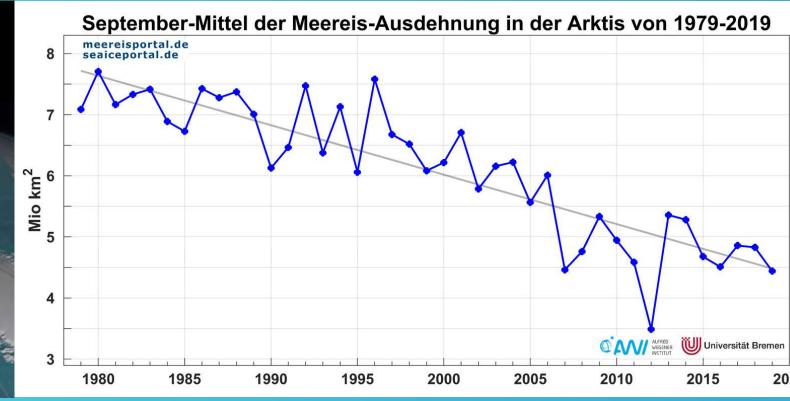


- Positive Rückkopplungen: Erhöhtes Abschmelzen des arktischen Meereises im Sommer
- Dunkle Meeresflächen kommen zum Vorschein Erhöhte Absorption der Strahlung (Albedo: nur 4-7%) Weitere Erwärmung des arktischen Ozeans — Schmelzraten steigen
- Entstehen eines sich immer weiteren verstärkenden Prozesses: Schmelzen des Meereises könnte an unumkehrbaren Punkt
 - Arktischer Ozean möglicherweise in einigen Jahrzehnten im Sommer vollständig eisfrei



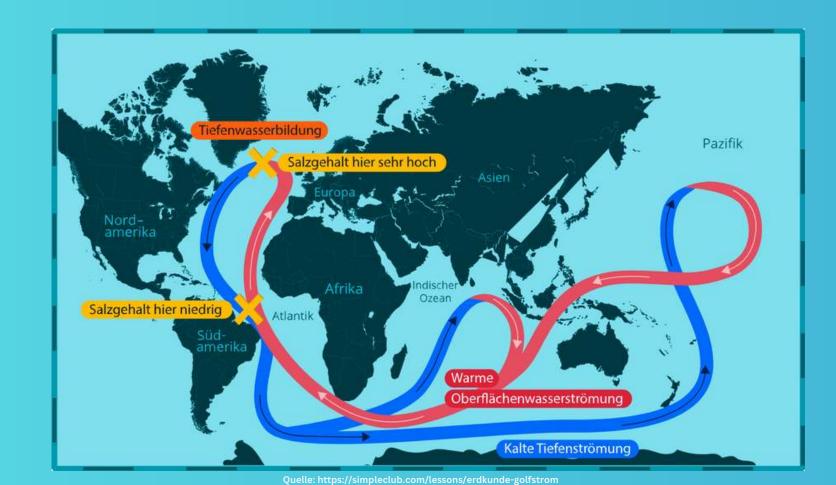
- ABER: Es existieren auch negative Rückkopplungen —— Mehr eisfreie Meeresflächen Höhere Auskühlung der Flächen im Winter — Mehr Bildung von Meereis im Winter
 - Unklar ab das arktische Meereis von alleine kippen kann





Meeresströmungen 🔾 🔾

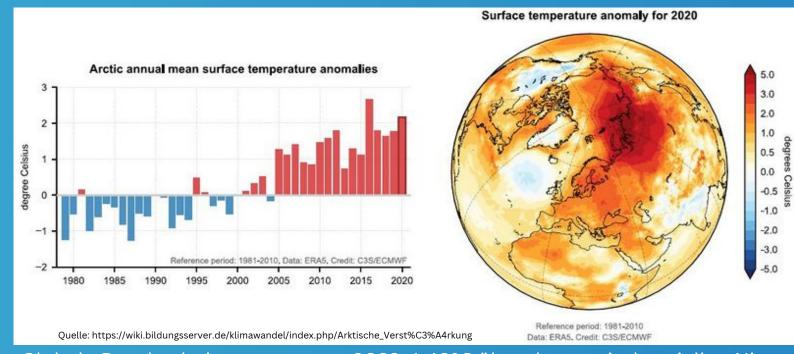
- Ozeanische Tiefenwasserproduktion
- Östlich von Grönland: Absinken von Meerwasser ——> Triebkraft für die Atlantische Umwälzzirkulation (AMOC)
- AMOC: Teil der globalen thermohalinen Zirkulation
- Klima in Europa
- Wasser sinkt in Grönland schließlich ab
- - Ausbilden von Meereis im Winter: Sehr salzhaltige flüssige Lake bleibt im Eis zurück Salzlake: Wasser mit sehr hoher Dichte aufgrund von Salzgehalt und kalten Temperaturen im Eis
 - Salzlake fließt langsam aus dem Eis heraus ist deutlich dichter als das umgebende Meerwasser
 - → Wasser sinkt ab → Tiefenwasserproduktion
 - Abschmelzen des Meereises durch den Klimawandel —— Weniger salzhaltiges dichtes Wasser kann aus
- Außerdem: Salzarmes Schmelzwasser vermischt sich mit salzhaltigem Wasser, somit weniger schweres Wasser Beides führt zu einer gestörten und verminderten Tiefenwasserproduktion
- Zusätzlich: Wasser ist durch Klimaerwärmung wärmer als früher --> führt ebenfalls zu geringerer Dichte
 - Auch Schmelzen der grönländischen Eisschilde trägt zur Verringerung des Salzgehalts bei
- Die Atlantische Umwälzzirkulation schwächt sich durch den Klimawandel ab • Könnte in einigen Jahrzehnten komplett zusammenbrechen — Damit würde ein Kippelement ausgelöst werden Unwiederbringliche Veränderung des Klimas
 - Ohne den warmen Nordatlantikstrom: Deutlich kälteres Klima in Europa, einige °C bis zu 15 °C, vor allem in Nordeuropa:
 - Aber auch in Amerika käme es zu Klimaveränderungen: Ohne "Sogeffekt" des Golfstroms: Steigen des Meeresspiegels dort
 - Veränderte Niederschlagsmuster in Amerika und Afrika
 - ABER: Studienlage nicht eindeutig, unklar wann und ob die Atlantische Umwälzzirkulation komplett verschwinden wird
 - Prognosen: einige Jahrzehnte bis Jahrhunderte bis dies erreicht werden könnte
- Auch andere Faktoren haben Einfluss auf AMOC • Genaue Auswirkungen eines Kollaps der AMOC und des Golfstroms nicht mit Sicherheit prognostizierbar



Das arktische Klimasystem

- kurz vor der Kippe?

Es ist fünf vor zwölf!



- Globale Durchschnittstemperatur 2023: 1,48°C über dem vorindustriellen Niveau
- Deutlich schnellere Erwärmung der Arktis durch den Klimawandel als globaler Durchschnitt: Schon 4-5°C über dem vorindustriellen Niveau
- Hohe Erwärmung der Arktis

 drastische Veränderungen des arktischen Klimasystems • Positive Rückkopplungen — Klimatische Veränderungen verstärken sich selbst
- Klimaerwärmung wird immer schneller vorangetrieben Im schlimmsten Fall: Auslösen von Kippelementen in der Arktis

Unwiederbringlich Veränderungen des globalen Klimas

Fazit

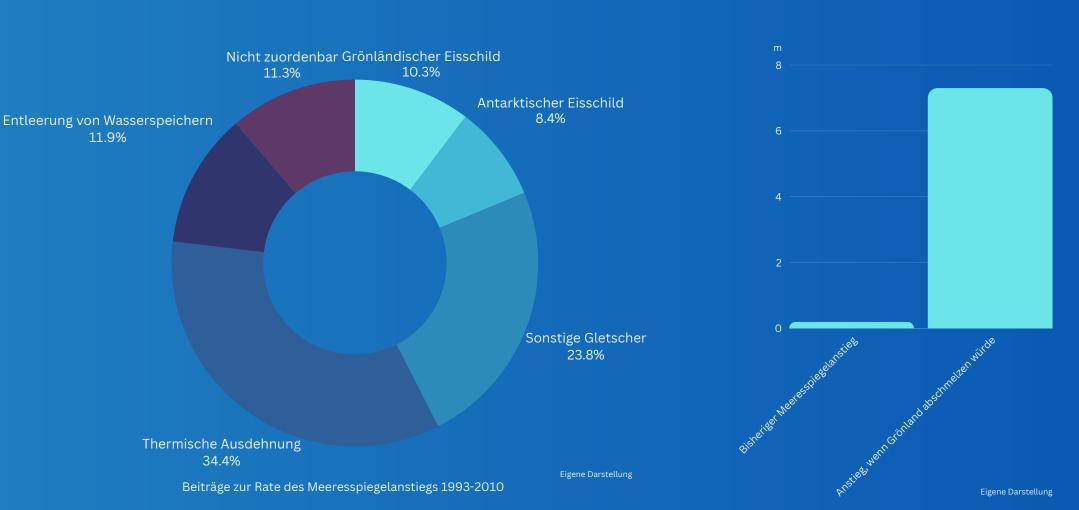
- Arktis: Komplexes und einzigartiges Klimasystem
- Wird durch den Klimawandel stark bedroht
- Arktisches Klimasystem besitzt mehrere Kippelemente Auslösen könnte das globale Klima unwiederbringlich verändern Drastische globale Auswirkungen
- Klimaforschung und Schutz der Arktis sollten in Zukunft global große Priorität besitzen

Grönländischer Eisschild



- 69% weltweiten Süßwasservorräte: In Gletschern
- Davon: 89% antarktischer Eisschild und 10% grönländischer Eisschild Eisschilde: Bedeutende Größe im globalen Wasserhaushalt und Klimasystem
- Klimawandel: Weltweit Abschmelzen von Eisvorkommen in Gletschern und Eisschilden • Steigen von Temperaturen in der Arktis deutlich schneller als im globalen Durchschnitt
- Grönländischer Eisschild: Besonders stark betroffen, stärker als Antarktis
- Abschmelzende Eismassen: Anstieg des Meeresspiegel weltweit
- 1870-2004: Globaler Meeresspiegel um 195 mm angestiegen 🖴 Rate von 1,46 mm/Jahr
- Bisheriger Anstieg erscheint eher gering. Aber: Jährliche stieg Anstiegrate im 20. Jh. immer weiter an • Lag 1993-2010 bei 3,2 mm/Jahr. Rate wird vermutlich noch weiter steigen
- Weiterer Beiträge zum Meeresspiegelanstieg: Thermische Ausdehnung der Ozeane Klimaerwärmung ebenfalls dafür verantwortlich
- Zukunft: Beitrag der Gebirgsgletscher wird abnehmen, Beiträge der großen Eisschilde: Zunahme
- Stark Zunahme vor allem in Grönland, dort große Eisverluste
- 🔥 🔹 Bisheriger Beitrag des Grönländischen Eisschildes zum Meeresspiegelanstieg wirkt eher klein
- Aber: Würde der komplette Eisschild abschmelzen (2,9 Mio km³) —> Meeressspiegelanstieg um 7,3 m!! Ungebremste Zunahme des Klimawandels

 Ab Erwärmung von spätestens 3°C Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes nicht mehr aufhalther
- Unklar, wie schnell der Meeresspiegelanstieg in den nächsten Jahrzehnten voranschreiten wird —— Gegenstand aktueller Forschungen.
- Prognosen: Meeresspiegel könnte bis 2100 um bis zu weitere 830 mm im Vergleich zu 2000 ansteigen!!





- Arktischer Permafrost: Liegt als submariner Permafrost vor
- Niedrige Wassertemperaturen: Dauerhaft gefrorener Meeresboden
- Größter Teil des arktischen submarinen Permafrostes: In sibirischen Schelfmeeren, stammt aus der letzten Eiszeit
- Gase im Permafrost: Gashydrate, speziell: Methanhydrate
- Gas ist von gefrorenen Wassermolekülen umgeben —— Speicherung im Boden
- Größte Gasvorräte im Permafrost der Arktis: In Ostsibirien. Weltweit Schätzungen: Über 60000 Gt Kohlenstoff gespeichert
- Klimawandel -> Erwärmung und Destabilisierung des Permafrostes -> Schließlich Auftauen des Permafrostes und Freisetzung der Gase • Methan: Deutlich klimawirksameres Gas als CO₂. Freisetzen von gespeicherten Gasvorkommen
- → Weiteres Vorantreiben des Klimawandels • Dadurch Zersetzen von Permafrost und Freisetzen von weiteren Gasvorräten — Positive Rückkopplung
- Im schlimmsten Fall Punkt erreicht, an dem sich das globale Zersetzen von Permafrost nicht mehr aufhalten lässt
- Unkontrolliertes Zersetzen von Permafrost global Freisetzen großer Mengen an klimaschädlichen Gasen
- ABER: Unklar wie schnell sich Permafrost durch den Klimawandel zersetzt. Genauso unklar wie viele Gasvorkommen im Permafrost existieren und wie schnell diese freigesetzt werden. Schätzungen sagen es könnte teilweise bis zu Jahrhunderten dauern bis große Gasvorkommen vollständig freigesetzt werden
- Unwahrscheinlich, dass sich sehr große Mengen an Methanhydraten in den nächsten Jahrzehnten zersetzen
- An möglichen Zukunftsszenarien muss weiter geforscht werden



