



Szenarien-Experiment: Eis und Schnee

Lehrerhandreichung zum Arbeitsblatt

Motivation

Ziel des Arbeitsblattes ist es zum einen, das Verständnis der Feedback-Prozesse im Klimasystem zu festigen (insbesondere die „Eis-Albedo-Rückkopplung“) und zum anderen zu verdeutlichen, wie unterschiedlich sich der Klimawandel regional auswirken könnte. Das RCP 8.5 Szenario spiegelt dabei das Szenario mit der größten Zunahme des Anthropogenen Strahlungsantriebs (Verstärkung des anthropogenen Treibhauseffektes) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wieder.

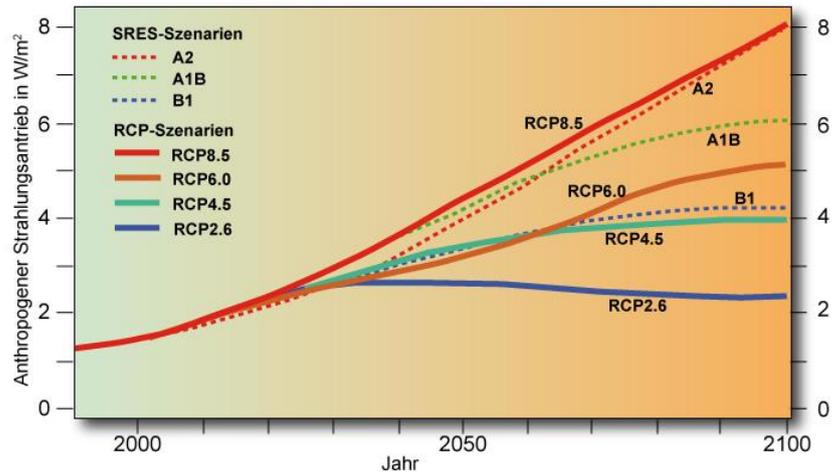
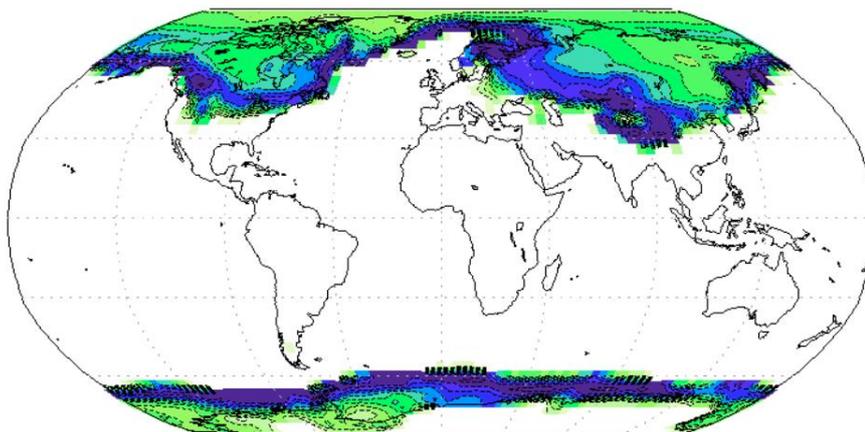
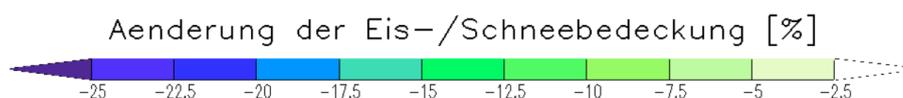


Abbildung 1: Strahlungsantrieb bis 2100 im Vergleich zu vorindustriell (ca. 1765): SRES und RCP-Szenarien im Vergleich. Eigene Darstellung nach IPCC (2013): Climate Change 2013, Working Group I: The Science of Climate Change, Figure 12.3

1. Untersuchung der regionalen Entwicklung der Eis- und Schneebedeckung mit dem MSCM



Änderung der mittleren Eis- und Schneebedeckung im Jahresmittel bis 2095, Szenario: RCP 8.5



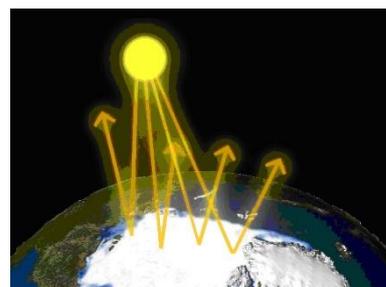
Aufgaben

- 1) Veränderungen der mittleren Eis- und Schneebedeckung (Jahresmittel) im RCP8.5-Szenario bis zum Jahr 2095:

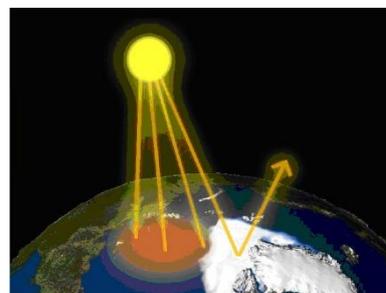
- a) In den **Kernbereichen** nimmt die Eis- und Schneebedeckung um bis zu -15% im Vergleich zu 1950 dem MSCM zufolge ab. Allein über der Antarktis verändern sich große Teile der Eis- und Schneebedeckung nicht.
- b) In den **Randbereichen** finden die stärksten Abnahmen der Eis- und Schneebedeckung statt. Hier reduziert sich die Eis- und Schneebedeckung bis 2095 um -20% bis zu mehr als -25% im Vergleich zu 1950.

2) Erklärungen für die unterschiedlichen Veränderungen der Eis- und Schneebedeckung im Kern- und Randbereich:

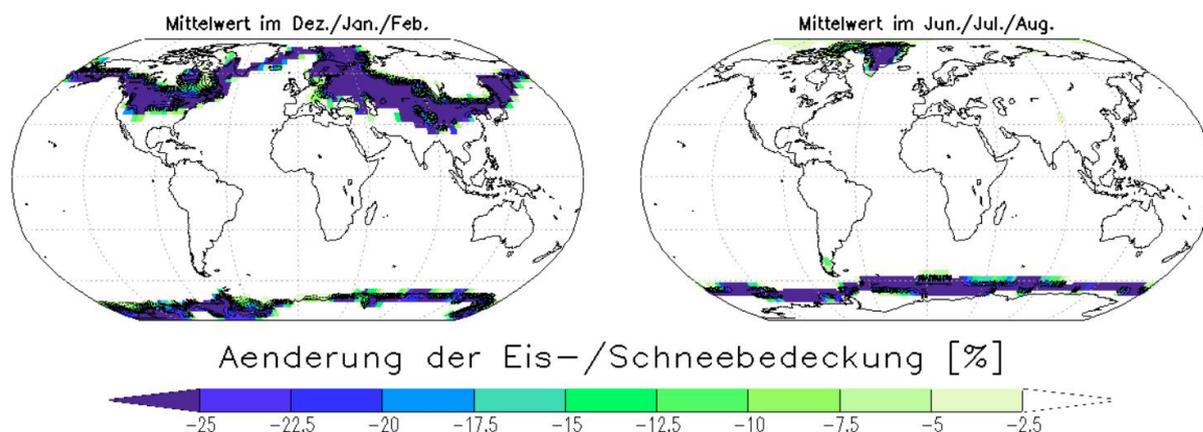
1. Änderungen in den **Kernbereichen**: Der Kern der Arktis und besonders der Antarktis erfahren relativ geringe Änderungen im Bedeckungsgrad mit Eis- und Schnee. Damit ist aber nicht ausgeschlossen, dass die Eis- und Schneedicke erheblichen Änderungen ausgesetzt sein könnte.



2. In den **Randbereichen** sind die Abnahmen der Eis- und Schneebedeckung wesentlich stärker ausgeprägt. Verantwortlich dafür ist vor allem die Eis-Albedo-Rückkopplung. Beim Abschmelzen der Eis- und Schneedecke kommt die darunterliegende, wesentlich dunklere Wasseroberfläche bzw. Landoberfläche mit einer deutlich geringeren Albedo zum Vorschein. Ein größerer Anteil der Sonnenstrahlung wird absorbiert, die Wasseroberfläche bzw. die Landoberfläche und darüber liegende Luftschichten werden dementsprechend wärmer, was wiederum dazu führt, dass auch benachbarte Eis- und Schneeschichten schmelzen. Es handelt sich hierbei um einen sich selbst verstärkenden Mechanismus - eine positive Rückkopplung.



3) **Änderung der mittleren Eis- und Schneebedeckung: Unterschiede Sommer/Winter 2095, RCP 8.5**



- **Nordwinter (Dez./Jan./Feb.):**
 - Im Nordwinter zeigen sich auf der Nordhemisphäre die stärksten und flächenmäßig größten Abnahmen in der Eis- und Schneebedeckung. Große Randbereiche mit Abnahmen der Eis- und Schneebedeckung um mehr als 25% werden sichtbar.
 - Der Kernbereich ist flächenmäßig geringer, aber sonst weitestgehend nicht beeinträchtigt.

- Die Antarktis zeigt im Südsommer über den ganzen Meereisbereich starke Abnahmen.
- **Nordsommer** (Jun./Jul./Aug.):
 - Im Nordsommer finden insgesamt die geringsten Änderungen der Eis- und Schneebedeckung statt, da in dieser Zeit ohnehin nur wenige Flächen der Nordhalbkugel mit Eis- und/oder Schnee bedeckt sind.
 - Starke Abnahmen über **Grönland**: Das Klima Grönlands ist eher fremdbestimmt und wird stark durch die nordamerikanische und eurasische Landmasse und vor allem den Nordatlantik beeinflusst. Dadurch gibt es im Sommer umfangreiche Schmelzvorgänge an der Oberfläche, die sich über nahezu der Hälfte des Eisschildes erstrecken und deren Wasser größtenteils ins Meer abfließt. Ein anderer Teil des Eises geht auch durch das Kalben ins Meer verloren.
 - Für den Randbereich der **Antarktis** werden ebenfalls im Nordsommer (Südwinter) stärkere und flächenmäßig ausgedehntere Abnahmen der Eis- und Schneebedeckung sichtbar. Dabei sind die Flächen mit Abnahmen weiter nach Norden über dem Meer ausgedehnt.

2. Folgen der Änderungen der Eis- und Schneebedeckung

Anregung: Die Diskussion der Folgen der Änderungen der Eis- und Schneebedeckung könnten alternativ auf der Basis der Klimawiki-Artikel auch als Kurzreferate an Schüler bzw. Schülergruppen vergeben werden.

Auswirkungen der Änderungen des arktischen Meereises (Klimawiki: Meeresspiegelanstieg (einfach), Arktisches Meereis)	
- auf den Meeresspiegel?	Das Schmelzen des arktischen Meereises hat keinen Einfluss auf den Meeresspiegel. Meereis verdrängt so viel Wasservolumen, wie es nach dem Schmelzen einnimmt.
- auf das Wetter in Mitteleuropa?	Als Folge einer geringeren Meereisaustrahlung wird der Polarwirbel geschwächt. Durch die wärmere Atmosphäre in den hohen Breiten wird der Temperaturgegensatz zwischen den polaren und den mittleren Breiten verringert und damit der Polar-Jet bzw. die Polarfront und die Nordatlantische Oszillation schwächer. Als Folge können Kaltluftmassen aus den arktischen Breiten bis nach Europa und die USA und warme Luft in die Polargebiete vordringen. Ein schwächerer Polar-Jet bewegt sich langsamer von Westen nach Osten und mäandriert stärker. Als Folge kann es zu blockierenden Wetterlagen kommen, durch die Extremwetter längere Zeit stationär bleiben. Für Europa bedeutet das zum Beispiel, dass sowohl Kälteperioden im Winter wie Hitzewellen im Sommer über einen längeren Zeitraum anhalten können.
- auf den weiteren Klimawandel?	Die Eis-Albedo Rückkopplung wird die Erwärmung durch Treibhausgase auch weiterhin über der Arktis verstärken und für ein weiteres Abschmelzen des arktischen Meereises an den Rändern sorgen.

Auswirkungen der Änderungen der Schneebedeckung auf den Kontinenten (Klimawiki: Eis-Albedo-Rückkopplung)	
- auf den weiteren	Eine positive Eis-Albedo-Rückkopplung kann die Erwärmung der Atmosphäre enorm beschleunigen. Landoberflächen haben eine deutlich geringere Albedo

Klimawandel?	als Schnee- oder Eisflächen. Daher nehmen eis- bzw. schneefreie Flächen erheblich mehr Wärme auf. Diese Rückkopplung sorgt für eine besonders starke Temperaturzunahme in den entsprechenden Gebieten.
--------------	--

Auswirkungen der Änderungen des Grönlandeises (Klimawiki: Grönländischer Eisschild, Abschwächung der thermohalinen Zirkulation)	
- auf den Meeresspiegel?	Das Abschmelzen des Grönlandeises trägt zum Meeresspiegelanstieg bei. Abschätzungen über den zukünftigen Beitrag zum Meeresspiegelanstieg variieren jedoch erheblich. Ein komplettes Abschmelzen des Grönlandeises könnte zu einem Meeresspiegelanstieg von 7 m führen.
- auf die Meeresströmungen im Nordatlantik?	Das Abschmelzen großer Eismassen führt zu einem verstärkten Süßwassereintrag in den Nordatlantik. Dieser Effekt trägt zu einer Verringerung der Dichte in den nordatlantischen Absinkgebieten der meridionalen Umwälzirkulation (MOC) und damit zu einer Schwächung der Tiefenwasserproduktion und des Wärmetransports durch den Golfstrom und den Nordatlantikstrom bei. Die meisten Klimamodelle stimmen darin überein, dass eine Schwächung der MOC in den betroffenen Regionen nicht zu einer Abkühlung unter die vorindustriellen Werte führen wird, d.h. dass die Erwärmung etwa in Westeuropa lediglich schwächer ausfallen wird als ohne eine Veränderung der MOC.

Auswirkungen der Änderungen des Eises auf dem antarktischen Kontinent (Klimawiki: Antarktischer Eisschild, Ursachen des aktuellen Meeresspiegelanstiegs)	
- auf den Meeresspiegel ?	<ul style="list-style-type: none"> - Auf dem antarktischen Kontinent befinden sich 70 % der weltweiten Süßwasservorräte. Bei einem gänzlichen Abschmelzen der Antarktis würde der globale Meeresspiegel um 56 m ansteigen. - Jedoch wird für das 21. Jahrhundert das oberflächliche Abschmelzen des antarktischen Eisschildes wegen der niedrigen Temperaturen als gering eingeschätzt. Ausnahmen sind die Küstenzonen und die Antarktische Halbinsel. - Der Schneefall wird dagegen zunehmen, weil die Atmosphäre sich erwärmt und mehr Wasserdampf aufnehmen kann. Netto wird damit die Masse des Eisschildes um ca. 5 % zunehmen und damit zu einer Absenkung des Meeresspiegels nur durch Schneefall und oberflächliches Abschmelzen um 2 cm nach dem Szenario RCP2.6 und um 4 cm nach dem Szenario RCP8.5 bis 2100 führen. - Der Antarktische Eisschild kann jedoch nicht nur an Masse durch oberflächliches Abtauen verlieren, sondern auch durch den Abfluss von Eis über verschiedene Auslassgletscher Richtung Meer. Dadurch kann der Antarktische Eisschild durchaus einen positiven Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels bis 2100 leisten, der vom Weltklimarat IPCC mit einem mittleren Wert von 4 cm unabhängig von den Szenarien angegeben wird. - Insgesamt schätzt der IPCC den Meeresspiegelanstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts nur durch die dynamische Eisbewegungen des Antarktischen Eisschildes auf -1 bis +16 cm, unabhängig von den Szenarien.