

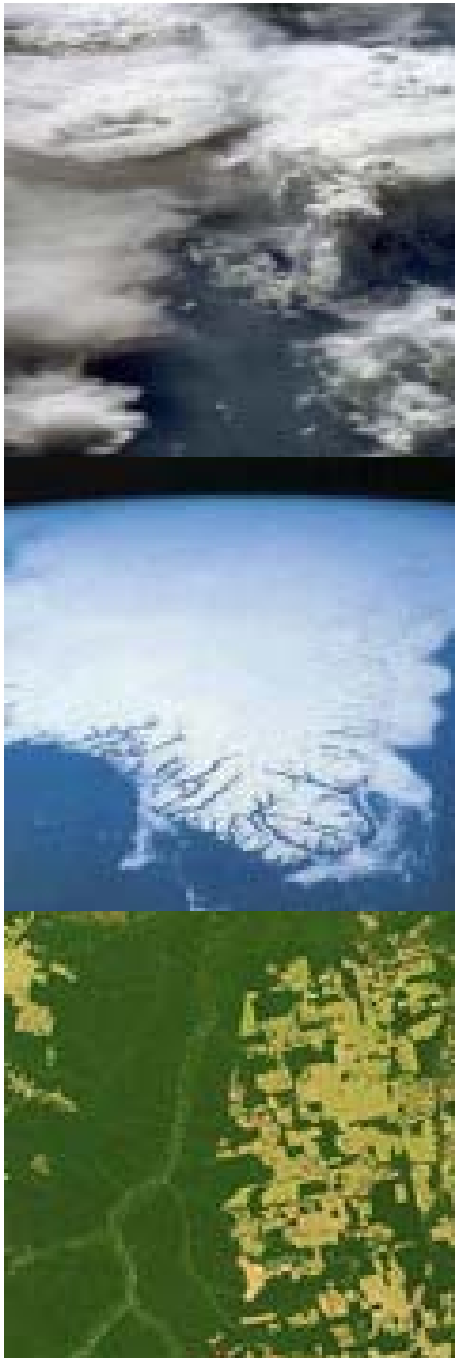
Forschung

Hintergrundwissen

## Die Albedo unseres Planeten ändert sich

Für das Weltklima und die Erwärmung der Erde, global wie regional, ist die Albedo von großer Bedeutung. Der Albedo-Wert sagt aus, wie viel Prozent der Sonnenstrahlung direkt wieder ins Weltall reflektiert wird, ohne dass die Erde ihre Energie aufgenommen hat. Dieser Anteil liegt bei etwa 30%. Veränderungen von Landschaft und Klima können zu Veränderungen in der Albedo führen, die sich auf den Strahlungshaushalt der Erde auswirken und damit zu einer Erwärmung oder Abkühlung führen.

Besonders relevant ist dieser Effekt in drei Fällen:



1) Wenn sich die Wolkenbedeckung ändert, ändert sich auch die Albedo. Da Änderungen der Bewölkung sehr schwer zu modellieren sind, ergibt sich hieraus eine der größten Unsicherheiten der Klimaprognosen.

2) Der Verlust von Seeis im Nordpolarmeer ist einer der wichtigsten regionalen Effekte. Hier wird eine Oberfläche mit hoher Rückstrahlung (Eis) durch eine Oberfläche mit niedriger Albedo (Ozeanwasser) ersetzt. Die Konsequenz ist eine deutlich erhöhte Aufnahme von Energie, die zu einer regional weit stärkeren Erwärmung führt, als sie für den Rest der Welt zu erwarten ist.

3) Schließlich führt der Verlust von Wäldern und die gleichzeitige Ausdehnung landwirtschaftlich genutzten Landes zu einer Erniedrigung der Albedo, da Ackerland heller ist als Waldfläche. Die hieraus reduzierende kühlende Wirkung kann jedoch die anderen nachteiligen Faktoren des Verlustes von Regenwald (CO<sub>2</sub> Zunahme in der Luft und Verlust an Biodiversität) nicht ausgleichen.

## Hintergrund Wolkenbedeckung und Aerosole

Zu 1: Wetterbeobachter schätzen schon seit vielen Jahrzehnten die Bedeckung des Himmels mit Wolken. Die Notizen aus diesen Beobachtungen sind bis heute für die Trendanalyse zuverlässiger und konsistenter als automatisierte Systeme, wie sie in den USA und Kanada eingeführt wurden.

Allein: Die Abweichung der Wolkenbedeckung vom langjährigen Mittel (Anomalie) weist keinen erkennbaren langjährigen Trend auf. Auch Satellitenprogramme, die z.T. seit 1983 durchgängig betrieben werden, zeigen global keine signifikante Tendenz.

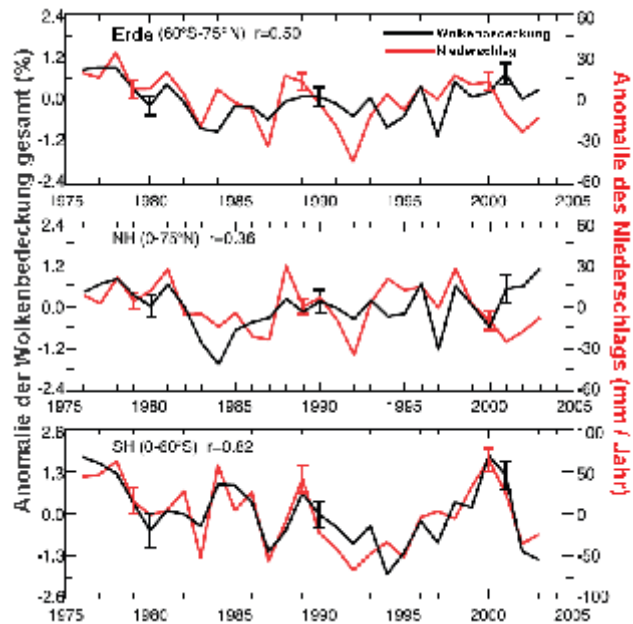


Bild 1: Abweichung der Wolkenbedeckung vom langjährigen Mittelwert für die Erde insgesamt und beide Halbkugeln. Quelle: IPCC 2007 (Fig 3.22)

Änderungen sind messbar im von Satelliten gemessenen Strahlungsfluss an der Obergrenze der Atmosphäre. Die Grafik zeigt Messungen für die tropischen Breiten (20°N bis 20°S), in denen es den intensivsten Strahlungsfluss gibt.

Dargestellt ist in rot die von der Erde ausgehende langwellige Strahlung, die sich in diesem Zeitraum von 1985 bis 1999 um ca.  $0,7 \text{ W/m}^2$  erhöht hat. In hellblau dargestellt ist die vom System Erde aufgrund der Albedo reflektierte kurzwellige Strahlung. Auffälligstes Signal ist zunächst die erhöhte Reflexion kurzwelliger Strahlung durch den Ausbruch des Mt. Pinatubo 1991, der zu einer Abkühlung über ca. 1 Jahr führte. Der Trend in der Reflexion geht aber nach unten. Es wurden ca.  $2,1 \text{ W/m}^2$  weniger an kurzwelliger Strahlung reflektiert. Die Erde hat also in den Tropen mehr Energie aufgenommen. Satellitendaten zeigen für denselben Zeitraum einen Rückgang in der tropischen Bewölkung, der diese Werte erklären könnte.

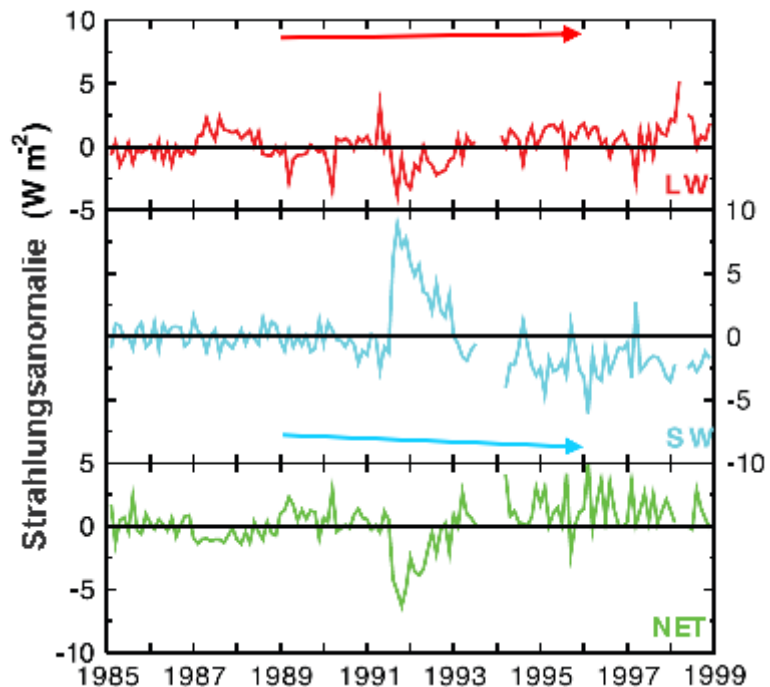


Bild 2: Strahlungsanomalie der letzten 15 Jahre Quelle: IPCC 2007 Fig. 3.23

Solche Studien zeigen, dass sich die Wolkenforschung bemüht, aus einzelnen Puzzlesteinen ein Gesamtbild zu erstellen. Erst die Einbeziehung von Messungen der nächsten zwei bis drei Jahrzehnte werden aber vermutlich Schlüsse über globale Trends zulassen.

Hinzu kommen direkte Aerosoleffekt vor allem in den mittleren Breiten der Nordhalbkugel durch Luftverschmutzung, die manchmal als „globale Verdunklung“ bezeichnet werden (siehe Text für den Unterricht), aber eigentlich nur regional sind. Die meisten Partikel in der Luft streuen das Sonnenlicht zurück und erhöhen die Albedo. Ganz besonders gilt dies für Sulfatpartikel, die aus Schwefeldioxid entstehen. Global summiert schätzt man, dass diese Aerosoleinflüsse zur Strahlungsbilanz der Erde seit 1750 mit einer Abkühlung im Bereich von  $-0,5 \text{ W/m}^2$  ( $\pm 0,4 \text{ W/m}^2$ ) beigetragen haben könnten.



### Der Verlust von Schnee- und Eisflächen, insbesondere in der Arktis

Zu 2: Generell zeichnet sich ab, dass die globale Schneebedeckung abnimmt. Die Schwankungen sind jedoch sehr groß und variieren von Jahr zu Jahr und von Region zu Region. Am größten sind sie nicht etwa im Winter, sondern im Herbst oder Sommer, wenn die Schneebedeckung insgesamt geringer ist.

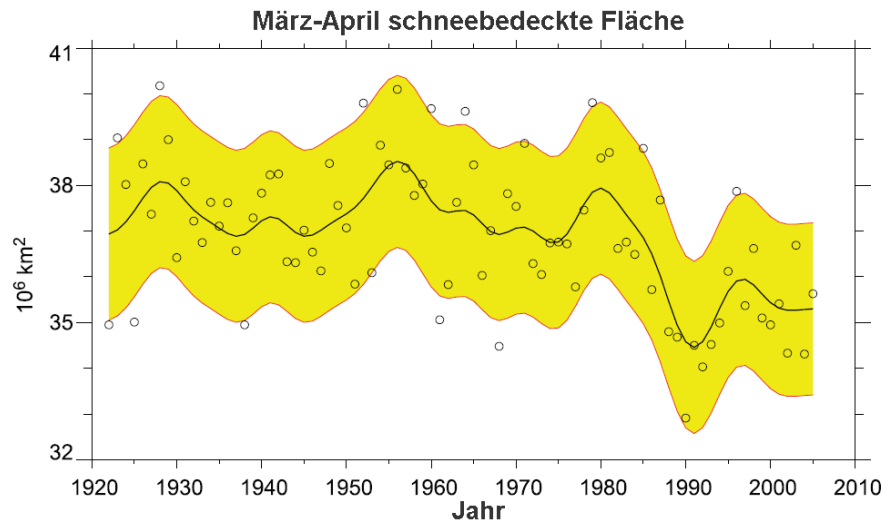


Bild 3: Schneebedeckte Fläche auf der nördlichen Hemisphäre in den Monaten März und April; seit 1972 beruhen die Werte auf Satellitenbeobachtungen. Quelle: IPCC 2007, Fig. 4.2

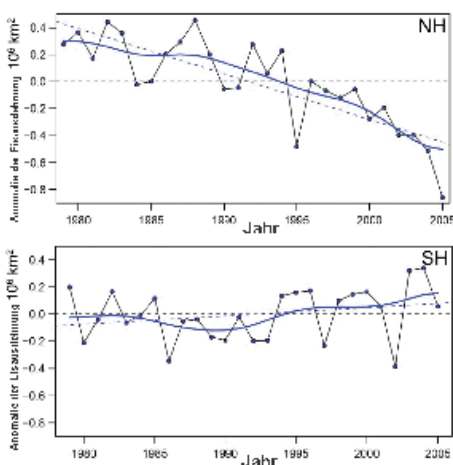


Bild 4: Abweichung von der mittleren Seeisbedeckung über die letzten 30 Jahre. Quelle: IPCC 2007, Fig. 4.8

Eine zurückgehende Schneebedeckung wird die Erderwärmung ebenso fördern, wie eine Abnahme des Seeises insbesondere im Nordpolarmeer. Seit den frühen 1970er Jahren wird die Ausdehnung des Seeises von Satelliten mit einer Unsicherheit von typischerweise 5% beobachtet.

Während für das Südpolargebiet kaum Veränderungen zu verzeichnen sind, zeigt sich im Nordpolargebiet eine deutliche Abweichung vom langjährigen Mittel. Der Verlust an Seeis liegt bei etwa 2,7% pro Jahrzehnt über die letzten 30 Jahre.

Am deutlichsten wird der dramatische Trend am Nordpol anhand der Eisfläche, die den Sommer überlebt. Diese Fläche schrumpfte um 7,4% pro Jahrzehnt. Aus dem Trend ist ablesbar, dass bereits in wenigen Jahrzehnten das gesamte Nordpolarmeer im Sommer eisfrei sein wird. Für den Eisbären, der darauf spezialisiert ist, Robben an Eislöchern zu jagen, wird dies das Aussterben bedeuten.

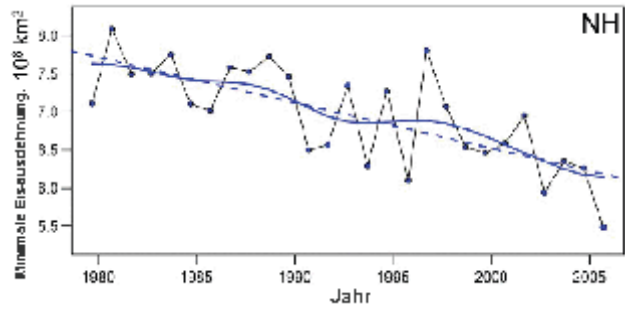


Bild 5: Trend in der minimalen Ausdehnung des Seeees, Quelle: IPCC 2007



Photo: Heather Crawford sxc

### Landnutzung ändert das Bild der Erde

Zu 3: Im Wald führt die Struktur des Laubdaches dazu, dass Licht stärker aufgenommen wird. Der Unterschied zu unbewaldetem Land wird noch ausgeprägter, wenn die Landschaft von Schnee bedeckt ist, da im Wald immer Mehrfachreflexionen erhalten bleiben.

### KOMPONENTEN DES STRAHLUNGSANTRIEBS

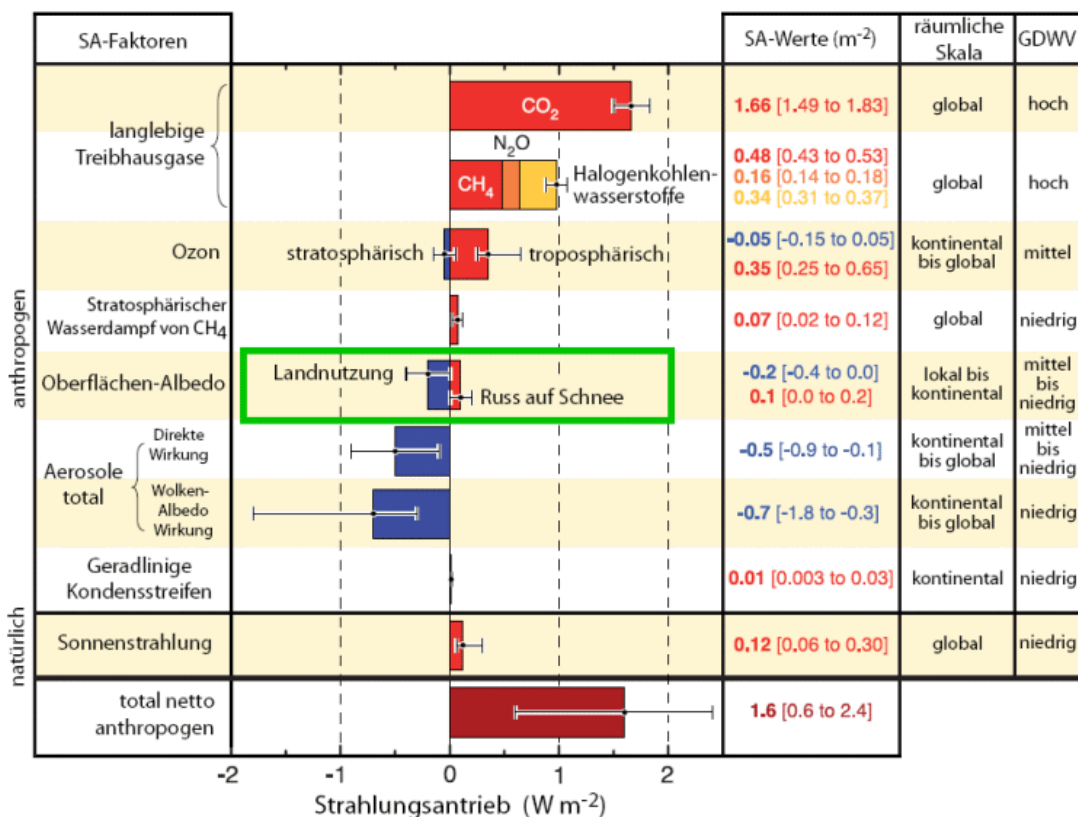


Bild 6: Der Strahlungsantrieb dient als Maß für die Erwärmung (positiv, rot) oder Abkühlung (negativ, blau) der unteren Luftschicht. Die Grafik zeigt grün umrahmt den Beitrag von Landnutzung und Ruß auf Schnee zur globalen Gesamtänderung von 1750 bis 2005. Quelle: Originalgrafik

Seit 1750 mag die Entwaldung zu einer Änderung im Strahlungsantriebes im Bereich von  $-0,2 \text{ W/m}^2$  ( $\pm 0,2 \text{ W/m}^2$ ) geführt haben. Der Holzschlag erhöhte die Albedo der Erde. Die größten Unsicherheiten liegen in einer eindeutigen Klassifikation der damaligen und heutigen Landschaftstypen, die in unterschiedlichen Studien unterschiedlich abgeschätzt werden. Auch für Ackerland kann je nach Bestellung mit verschiedenen Pflanzen eine andere Albedo angenommen werden. Für Weideland ist eine Abschätzung des Effektes einfacher.



Bild 7: Ruß und Straßenstaub auf Schnee.  
Photo: Curtis Calhoun

Durch die Emission von Ruß arbeiten wir Menschen aber auch gleichzeitig wieder an einer Verdunklung der Erdoberfläche. Insbesondere Ruß auf Eis und Schnee führt global gesehen zu einer relevanten Abnahme der Albedo. Er lässt auch Schnee und Eis schneller schmelzen. Partikel und Abgase, die wir in die Atmosphäre entlassen, können z.T. über weite Wege transportiert werden. Insbesondere auf der nördlichen Halbkugel findet man sie auch in den Gletscher- und Meereisflächen nördlich des Polarkreises wieder. Dort kann sich die Albedo um bis zu 1% verringern. Der resultierende Strahlungsantrieb liegt global im Bereich von  $0,1 \text{ W/m}^2$  ( $\pm 0,1 \text{ W/m}^2$ ), setzt also der Abkühlung durch die Landnutzung eine etwa halb so große Erwärmung entgegen.