

# Trend der Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre (1967 bis 2018): Vergleich zwischen Klimamodellen und Beobachtungen



**Abstract:** Mittels Satelliten beobachtete Änderungen der Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre werden verglichen mit den von den CMIP5-Klimamodellen prophezeiten Änderungen während der Satelliten-Ära, d. h. von 1976 bis 2018. Insgesamt wurden 196 Klimamodellläufe analysiert (von 24 Klimamodellen). Separate Analysen wurden für die jährlichen Veränderungen sowie für jede einzelne der vier Jahreszeiten durchgeführt. Eine längerzeitliche Reihe (1922 bis 2018) für das Frühjahr, in welcher Messungen am Boden mit Satellitenbeobachtungen kombiniert enthalten sind, wurde ebenfalls mit den Modellergebnissen verglichen. Es stellte sich heraus, dass die Klimamodelle praktisch nicht in der Lage waren, die beobachteten Trends abzubilden. Während die Schneebedeckung den Modellen zufolge in allen vier Jahreszeiten stetig abnehmen sollte, zeigte sich nur im Frühjahr und Sommer eine langzeitliche Abnahme, und das Muster der beobachteten Abnahme während dieser beiden Jahreszeiten wich ziemlich von den Modellprophezeigungen ab. Außerdem zeigen die beobachteten Trends im Herbst und Winter eine langzeitliche Zunahme, obwohl diese Trends statistisch nicht signifikant waren. Mögliche Ursachen für die schlechten Modelleleistungen werden angesprochen.

## Introduction

Die Schneebedeckung ist eine der Hauptkomponenten der Cryosphäre, zusammen mit Meereis, Permafrost und den verschiedenen Eisschilden und Gletschern. Die jahreszeitliche Schneebedeckung repräsentiert eine wesentliche Komponente des hydrologischen Zyklus' in mittleren und hohen Breiten. Außerdem unterstützt die Schneebedeckung auch eine große Wintersport-Industrie, während die Schneeschmelze eine wichtige Wasserquelle für viele Gebiete ist. Als Folge davon schätzen Sturm et al. (2017), dass der finanzielle Wert von Schnee für die menschliche Gesellschaft in der Größenordnung von Billionen Dollar angesiedelt ist. Boelman et al. (2019) unterstreichen, dass das Verständnis von Änderungen und Trends der Schneebedeckung auch bedeutsam ist für Wild-Habitate in Ökosystemen, in denen es jahreszeitlich bedingt schneit.

Zeitweilige Änderungen der Schneebedeckung haben auch einen bedeutenden Anteil am globalen Klimawandel, und zwar aus mindestens zwei Gründen.

Erstens, Schneebedeckung wird weit verbreitet als Indikator von Klimawandel angesehen. Klimamodelle von den siebziger Jahren bis heute haben konsistent prophezeit, dass die vom Menschen verursachte globale Erwärmung infolge zunehmender atmosphärischer Treibhausgas-Konzentrationen zu einem signifikanten und kontinuierlichen Rückgang der Gesamt-Schneebedeckung führen soll. Zweitens, Änderungen der Schneebedeckung können zusätzlich zum Klimawandel beitragen, indem sich die Albedo an der Erdoberfläche ändert und teilweise auch, weil eine Schneedecke den Boden darunter isoliert.

Wöchentliche, aus Satellitenbeobachtungen abgeleitete Beobachtungen auf der Nordhemisphäre stehen von November 1966 an bis heute zur Verfügung (wobei historische Daten bzgl. Schneebedeckung geringere räumliche und zeitliche Auflösung für die Südhemisphäre zeigen). Diese Schätzungen sind gemeinsame Bemühungen zwischen der NOAA und dem *Global Snow Lab* an der Rutgers University. Dieser Datensatz (in der Folge als „Rutgers-Datensatz“ bezeichnet) repräsentiert die längste Aufzeichnung jedweder Umwelt-Variablen auf Satelliten-Basis, und sie wird ausgiebig genutzt von der klimawissenschaftlichen Gemeinschaft.

Verschiedene Messungen am Boden von lokalem Schneefall und Ausdehnung der Schneedecke erweitern die entsprechenden Daten auf die Zeit vor der Satelliten-Ära. Brown und Robinson (2011) konnten diese Datenquellen mit dem Rutgers-Datensatz kombinieren, um Schätzungen der Ausdehnung der Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre für März und April bis zurück zum Jahre 1922 abgeben zu können (und bis zurück zu 1915 für Nordamerika). Mittels Mittelung der beiden monatlichen Schätzungen leiteten sie eine kombinierte „Frühjahrs“-Schätzung ab.

Während der siebziger und Anfang der achtziger Jahre gaben die mittels Satelliten gewonnenen Schätzungen und Trends der Schneebedeckung innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu Verwirrung Anlass. Obwohl die Klimamodelle prophezeit hatten, dass die globale (und hemisphärische) Schneebedeckung infolge der anthropogen verursachten globalen Erwärmung abnehmen sollte, hat die Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre zumindest seit Beginn der Aufzeichnung tatsächlich *zugenommen*. Seinerzeit ließ dieser Umstand Skeptizismus hinsichtlich der Validität der Klimamodelle aufkommen.

Ende der achtziger Jahre begann die mittlere Schneebedeckung endlich zu schrumpfen. Obwohl Robinson und Dewey (1990) warnten, dass es immer noch „zu früh sei, um eine anthropogene Ursache der jüngsten Abnahme der hemisphärischen Schneebedeckung festzumachen“, erneuerte diese Trendumkehr das Vertrauen in Klimamodelle und die AGW-Theorie (welche inzwischen in der Öffentlichkeit immer mehr Interesse geweckt hatte).

Mit der Zeit wurde jedoch immer offensichtlicher, dass die beobachteten Änderungen der Schneebedeckung so ziemlich anders verliefen als von den Modellen prophezeit. Während die Modelle ein Schrumpfen in allen vier Jahreszeiten simuliert hatten, beschränkte sich die beobachtete Schrumpfung weitgehend auf Frühjahr und Sommer, aber nicht auf Herbst und Winter.

Außerdem erfolgte das Schrumpfen im Frühjahr und Sommer hauptsächlich in einer einzigen Stufe Ende der achtziger Jahre. Das heißt, die mittlere

Schneebedeckung im Frühjahr und Sommer war bis Ende der achtziger Jahre weitgehend konstant, ging dann zurück und verharrte seitdem wieder weitgehend konstant auf dem niedrigeren Niveau. Die Klimamodelle hatten mehr oder weniger einen kontinuierlichen Trend, aber keine stufenartige Änderung angenommen. Obwohl Foster et al. (2008) vorsichtigerweise nicht ausschließen wollten, dass ein Teil der Schrumpfung „zumindest teilweise einer vom Menschen verursachten Erwärmung zugeordnet werden kann“, argumentierten sie aber doch, dass diese stufenartige Änderung viel konsistenter mit einer Verschiebung der Arktischen Oszillation einher gegangen war, oder auch irgendeiner anderen Verschiebung des Klima-Regimes.

Nichtsdestotrotz zeigten viele Studien: wenn man einen linearen Trend berechnet für die beobachteten Frühjahrs- (oder Sommer-)Werte in einem Zeitraum, welcher diese Stufenänderung (d. h. 1967 bis 2012) mit erfasst, führte dieser Rückgang zu einem „negativen Trend“ und dazu, dass die von den Klimamodellen angenommene kontinuierliche Abnahme ebenfalls einen „negativen Trend“ für jene Jahreszeiten implizierte (und das auch für die anderen Jahreszeiten). Außerdem implizierten die jährlichen Mittelwerte ebenfalls einen insgesamt negativen Trend, da die beobachtete Schrumpfung im Frühjahr und Sommer erfolgte. Angemerkt wurde auch, dass die Klimamodelle immerhin den jährlichen Zyklus der Schneebedeckung nachbilden konnten.

Mit dem Vergleich linearer Trends im Frühjahr über einen bestimmten Zeitraum könnte man argumentieren, dass es eine gewisse Übereinstimmung gebe zwischen Klimamodell-Prophezeiungen und Beobachtungen. Im Einzelnen fand der beobachtete negative Frühjahrestrend der Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre Eingang in den verbreitet zitierten 5. Zustandsbericht des IPCC (2013), was dort zu einem Hauptargument für die Schlussfolgerung wurde, dass die globale Erwärmung seit den fünfziger Jahren sehr ungewöhnlich sei. „Die Erwärmung des Klimas ist eindeutig, und seit den fünfziger Jahren sind viele der beobachteten Änderungen beispiellos über Jahrzehnte und Jahrtausende. Ozean und Atmosphäre haben sich erwärmt, **die Schnee- und Eismenge hat sich verringert**, der Meeresspiegel ist gestiegen, und die Konzentrationen von Treibhausgasen auch“ (Hervorhebung von mir [= dem Autor]).

Einige Studien sind noch weiter gegangen und zogen „Erkennungs- und Zuordnungs“-Studien heran auf der Grundlage von Klimamodellen. Damit wollen sie belegen, dass der Rückgang der Frühjahrs-Schneebedeckung nicht mit der natürlichen Variabilität erklärt und nur der vom Menschen verursachten globalen Erwärmung geschuldet sein kann. Im Wesentlichen werden in diesen Studien die Ergebnisse der CMIP5-Klimamodelle mit „ausschließlich natürlichen Antrieben“ und die Ergebnisse derjenigen Modelle, in die „natürliche und anthropogene Antriebe“ eingehen, verglichen mit den beobachteten Trends im Frühjahr, wobei nur mit letzteren ein negativer Trend simuliert worden ist. Dies ist ein ähnlicher Ansatz wie vom IPCC im AR 5 angewendet, um zu der Folgerung zu kommen dass „es *extrem wahrscheinlich* ist, dass menschlicher Einfluss die dominante Ursache der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist“. Soon et al. (2015) zeigte jedoch, dass die Konstrukteure der CMIP5-Modelle nur einen kleinen Satz verfügbarer Schätzungen berücksichtigt haben, während die Erwärmung vielen (wenn nicht allen)

Schätzungen zufolge mit natürlichen Klimaänderungen erklärt werden kann.

Aber selbst wenn man sich nur die linearen Trends anschaut, zeigen sich rätselhaft Diskrepanzen zwischen Modellprophetieungen und Beobachtungen. Erstens, die beobachteten negativen linearen Trends im Frühjahr sind messbar größer bzgl. der Magnitude als von den Modellen simuliert. Obwohl das verbreitet bekannt war, scheint es nicht viel Kritik an der Zuverlässigkeit der Klimamodelle hervorgerufen zu haben – vielleicht weil die Vorzeichen des Trends in diesem Falle gleich sind. Eine zweite Diskrepanz ist, dass die Schneebedeckung auf dem tibetischen Plateau und allgemeiner in China in allen Jahreszeiten zugenommen hat, während es den Klimamodellen zufolge in diesen Gebieten zu einer Abnahme derselben gekommen sein sollte.

Eine dritte wesentliche Diskrepanz jedoch ist deutlich kontroverser und hat eine heftige Debatte ausgelöst. Während der letzten Jahre gab es in vielen Gebieten der Nordhemisphäre schwere Schneestürme im Herbst und Winter. Teils aus diesem Grunde zeigen die linearen Trends für Herbst und Winter eine Zunahme der Schneebedeckung oder zumindest eine konstante Ausdehnung derselben. Dies steht in scharfem Gegensatz zu den Klimamodellen, welche (wie oben ausgeführt) für alle Jahreszeiten eine kontinuierliche Abnahme simuliert hatten.

Räisänen (2008) argumentierte, dass die Reaktion des winterlichen Gesamt-Schneefalls auf die globale Erwärmung nicht trivial ist, weil steigende Temperaturen auch die Niederschlagsmenge zunehmen lassen, und falls es kalt genug ist, diesen Niederschlag als Schnee fallen zu lassen, kann das unter dem Strich zu einer Zunahme des Schneefalls führen. Während einer Erwärmungsperiode prophezeien die Modelle für einige Gebiete zunehmenden Schneefall (wo die mittlere Temperatur unter etwa  $-20^{\circ}\text{C}$  liegt), aber eine Abnahme in anderen Gebieten. Allerdings sind die Gebiete, in denen die Modelle zunehmenden Schneefall simulieren, bereits von einer Schneedecke überzogen. Daher kann die beobachtete Zunahme der winterlichen Schneebedeckung auf diese Weise nicht erklärt werden.

...

Obwohl in vielen Studien die beobachteten Trends der Frühjahrs-Schneebedeckung mit denen der Klimamodelle verglichen worden waren, gab es derartige Vergleiche der Trends in anderen Jahreszeiten kaum. Außerdem haben sich die meisten Vergleiche exklusiv auf lineare Trends konzentriert, während die beobachteten Trends oftmals unterschiedliche, nicht lineare Fluktuationen von Jahr zu Jahr aufweisen. Daher vergleichen wir in dieser Studie die beobachteten Trends der Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre direkt mit den von den CMIP5-Klimamodellen im Nachhinein simulierten Trends, und zwar für alle vier Jahreszeiten. Unsere Analyse vergleicht sowohl lineare Trends als auch die Zeitreihe selbst.

*[Die folgenden sehr langen Ausführungen enthalten viele technische und physikalische Details, für die auf das Original verwiesen wird. Nur eine Graphik daraus soll hier stellvertretend folgen. Weiter geht es danach mit ‚Discussion and conclusions‘. Anm. d. Übers.]*

...

Wie Soon et al. (2015) anmerkten, betrachten die CMIP5-Modelle nur eine kleine Teilreihe der verfügbaren Schätzungen der Gesamt-solaren Einstrahlung, und jede dieser Schätzungen geht davon aus, dass die jeweilige Teilreihe implizit eine relativ konstante Energie-Freisetzung seit Mitte des 20. Jahrhunderts aufweist (vielleicht mit einer geringen Abnahme). Inzwischen ergeben sich aus der „internen Variabilität“ jedes Modells unterschiedliche Zufalls-Fluktuationen (da sie Zufall sind). Daher neigt die interne Variabilität der Modelle dazu, die verschiedenen Trends im *Multi-Model-Mean* auszugleichen.

...

Man betrachte die modellierten Trends der winterlichen Schneebedeckung (JDF) im Vergleich zu den Beobachtungen (Abbildung). Klimamodelle prophezeien eine langzeitliche Abnahme der winterlichen Schneebedeckung, die aber *nicht* beobachtet worden ist. Tatsächlich zeigen die Beobachtungen alles in allem eine Zunahme der winterlichen Schneebedeckung, obwohl diese nicht statistisch signifikant ist. Seit Beginn des 21. Jahrhundert lag die Schneebedeckung zumeist über dem Mittel der Jahre 1967 bis 2016.

Zusammenfassend prophezeien die Klimamodelle eine statistisch signifikante Schrumpfung der winterlichen Schneebedeckung, welche nicht beobachtet worden ist (Bild (c) in der Abbildung), nicht einmal nach über 50 Jahren der Beobachtungen. Allerdings ist diese Schrumpfung in *einigen* Modellen nicht statistisch signifikant:

## Northern Hemisphere snow cover (Winter, DJF)

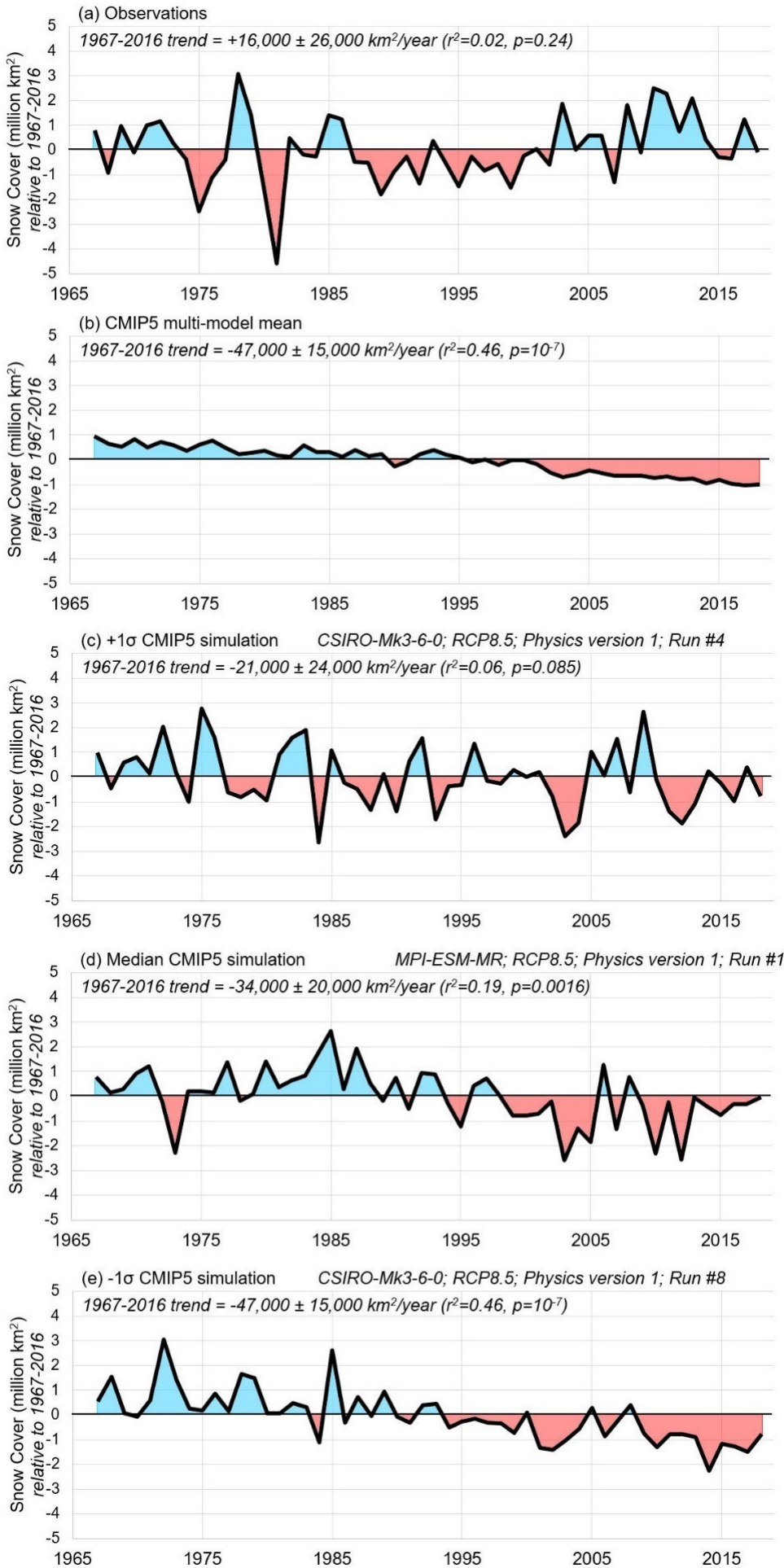


Abbildung: Gemittelte Trends der winterlichen Schneebedeckung auf der Nordhemisphäre (im Vergleich zum Mittel des Zeitraumes 1967 bis 2016). (a) Beobachtungen, (b) das CMIP5-*Multi-Model-Mean*, (c) die CMIP5-Simulation äquivalent zu +1 S.D., (d) die *median* CMIP5-Simulation, (e) selbige äquivalent zu -1 S.D. Die Unsicherheits-Bandbreiten der linearen Trends korrespondieren mit dem doppelten Standard-Fehler in Verbindung mit dem linearen *fit*.

...

## Diskussion und Schlussfolgerungen

...

Die CMIP5-Klimamodelle erwarteten eine Abnahme der Schneedecke in allen vier Jahreszeiten, weil sie davon ausgehen, dass ...

1) ... die Trends der Schneebedeckung auf der Nordhalbkugel weitgehend berechnet worden sind aus den modellierten globalen Trends der Lufttemperatur, und

2) ... die globalen Temperaturtrends seit Mitte des 20. Jahrhunderts dominiert sind von einer vom Menschen verursachten globalen Erwärmung infolge gestiegener atmosphärischer Treibhausgas-Konzentrationen.

Diese letzte Tatsache der Annahme der Modelle einer vom Menschen verursachten globalen Erwärmung wird bestätigt durch die formellen „Erkennungs- und Zuordnungs“-Studien der Frühjahrs-Schneebedeckung. Die Unfähigkeit der Klimamodelle jedoch, die beobachteten Trends der Schneebedeckung korrekt abzubilden zeigt, dass beide Hypothesen problematisch sind. Es gibt viele andere mögliche Erklärungen:

a) Die Modelle mögen korrekt sein hinsichtlich ihrer Prophezeiungen einer vom Menschen verursachten globalen Erwärmung, doch fehlen grundlegende atmosphärische Zirkulationsmuster oder Auswirkungen derselben, welche die Trends der nordhemisphärischen Schneebedeckung beeinflussen können.

b) Die Modelle mögen die Größenordnung der vom Menschen verursachten globalen Erwärmung überschätzen und daher auch den „menschlichen“ Beitrag zu den Schneedecken-Trends überschätzen. Dies wäre konsistent mit vielen Studien aus jüngerer Zeit, welche zu dem Ergebnis kamen, dass die „Klima-Sensitivität“ von Treibhausgasen von den Modellen viel zu hoch angesetzt wird.

c) Die Modelle mögen die Rolle natürlicher Klimaänderungen unterschätzen. Zum Beispiel unterschätzen die CMIP5-Klimamodelle signifikant die natürlich auftretenden multidekadischen Trends der Ausdehnung des arktischen Meereises. Andere haben festgestellt, dass die Modelle nur sehr schlecht beobachtete Trends der Niederschlagsmenge erklären können, ebenso wie Temperaturtrends in der mittleren und oberen Atmosphäre.

d) Die Modelle mögen fälschlich natürliche Klimaänderungen menschlichen Ursachen zuordnen. Tatsächlich zeigten Soon et al. (2015), dass es die CMIP5-Modelle versäumen, jedwede Schätzungen hoher solarer Variabilität zu

berücksichtigen für ihre „natürlichen Antriebe“. Falls sie das getan hätten, könnten viele, wenn nicht alle beobachteten Temperaturtrends mit Änderungen des solaren Outputs erklärt werden.

Es ist möglich, dass mehr als einer der obigen Faktoren relevant ist, weshalb wir uns mehr Forschung hinsichtlich aller vier Möglichkeiten wünschen. Für jetzt fordern wir, dass die Projektionen der Klimamodelle bzgl. Trends der Schneebedeckung in Vergangenheit und Zukunft mit größter Vorsicht und größtem Skeptizismus betrachtet werden sollten. Änderungen der nordhemisphärischen Schneebedeckung haben bedeutende Implikationen für die Gesellschaft und lokale Ökosysteme. Daher ist es wichtig, dass sich die Planungen bzgl. zukünftiger Änderungen der Schneebedeckung nicht auf unzuverlässige Projektionen stützen.

Eine Möglichkeit für regionale und globale Klima-Modellierer, die Zuverlässigkeit ihrer Projektionen der Schneebedeckung zu verbessern, besteht darin, „Bias-Korrekturen“ anzubringen, damit die ‚Nachhersagen‘ mehr auf einer Linie mit den Beobachtungen liegen. Dieses Verfahren ist inzwischen zu einem Standardverfahren geworden bei Studien zu Auswirkungen des Klimawandels. Dabei stimmen wir Ehret et al. (2012) zu, dass jedwede derartiger Bias-Korrekturen allen Endverbrauchern klar und transparent erklärt werden.

Mittlerweile gibt es seit über 50 Jahren Messreihen mit Satellitendaten, womit man die klimatische Variabilität der Schneebedeckung in jeder der vier Jahreszeiten untersuchen kann. Darum ist die beobachtete historische Variabilität der Schneebedeckung in jeder Jahreszeit eine weitaus plausiblere Grundlage für Planungen zur Anpassung an das Klima als jedwede gegenwärtige Modellprojektion.

...

## References

Available in the full PDF of the paper here:

<https://www.mdpi.com/2076-3263/9/3/135/pdf>

© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2019/03/22/northern-hemisphere-snow-cover-trends-1967-2018-a-comparison-between-climate-models-and-observations/>

Übersetzt von [Chris Frey](#) EIKE