

# Hurrikane und Klimawandel 2: Zuordnung

## Erkennung und Zuordnung von Änderungen der Hurrikan-Aktivität

Der gängigen Argumentation zufolge sollte die Hurrikan-Aktivität und besonders deren Intensität zunehmen, wenn sich die Ozeane im Zuge des Klimawandels erwärmen. Allerdings wird in jedem der im 1. Teil erwähnten Zustandsberichte der Zuordnung von Änderungen aus jüngerer Zeit der Hurrikan-Aktivität zur vom Menschen verursachten globalen Erwärmung nur geringes Vertrauen entgegen gebracht (low confidence).

Welche wissenschaftliche Grundlage gibt es, um die Frage zu beantworten, ob es die vom Menschen verursachte globale Erwärmung ist, die eine Änderung der Hurrikan-Aktivität nach sich zieht, oder ob es irgendetwas anderes ist?

Die Erkennung und Zuordnung anthropogener Signale im Klimasystem ist ein neues und rapide sich ausweitendes Feld. Will man eine beobachtete Änderung oder auch nur ein Teil derselben einem kausalen Faktor zuordnen (wie etwa einem anthropogenen Klima-Antrieb), so muss man normalerweise diese Änderung erst einmal erkennen. Eine *erkannte* Änderung ist eine solche, bei der es aufgrund von Beobachtungen sehr unwahrscheinlich ist (weniger als 10% Wahrscheinlichkeit), dass sie allein der internen natürlichen Variabilität geschuldet ist. Eine *Zuordnung* einer Änderung zu irgendetwas impliziert, dass der relative Beitrag kausaler Faktoren evaluiert worden ist, zusammen mit statistischem Vertrauen.

Es gibt einige Umstände, unter denen eine Zuordnung ohne Erkennung angemessen sein kann, obwohl eine Zuordnung immer nur geringes Vertrauen enthält, wenn sie nicht durch eine beobachtete Änderung gestützt wird. Zum Beispiel muss eine Trendanalyse für ein extrem seltenes Ereignis nicht bedeutsam sein. Schließt man eine Zuordnung ohne Erkennung in die Analyse von Auswirkungen des Klimawandels mit ein, reduziert man die Chance einer falschen negativen Zuordnung – und folgert fälschlich, dass der Klimawandel keine Auswirkungen auf gegebene Extrem-Ereignisse hat. Allerdings besteht bei einer Zuordnung ohne vorherige Erkennung das Risiko falscher positiver Zuordnungen – wobei man fälschlich folgert, dass der anthropogene Klimawandel einen Einfluss darauf hat, obwohl das in Wirklichkeit nicht der Fall ist.

Das konzeptionelle Modell der meisten Analysen bzgl. Erkennung und Zuordnung enthält vier Elemente:

- Zeitreihen relevanter Beobachtungen
- die geschätzte Zeitreihe relevanter Klima-Antriebe (wie etwa Treibhausgas-Konzentrationen oder vulkanische Aktivität)
- eine Abschätzung der Auswirkung von Klima-Antrieben auf die interessierenden Klima-Variablen
- eine Abschätzung der internen Variabilität der interessierenden Klima-Variablen – z. B. natürliche Variationen von Ozean, Atmosphäre, Festland,

Cryosphäre usw. beim Fehlen externer Antriebe

Paläoklimatologische Antriebe aus geologischen Aufzeichnungen sind nützlich für Studien bzgl. Erkennung, bieten sie doch eine Grundlage dafür, dass man die gegenwärtige Variabilität mit derjenigen im vorigen Jahrhundert oder so vergleichen kann. *Zeit des Entstehens* ist der Zeitrahmen, in welchem Klimawandel-Signale in verschiedenen Regionen erkennbar werden – ein wichtiges Thema, kann doch die natürliche Variabilität erzwungene Klimasignale über Jahrzehnte verschleiern, vor allem in kleinräumigeren Gebieten.

## Erkennung

Es gibt drei Hauptschwierigkeiten bei der Erkennung von Signalen der Änderung der Hurrikan-Aktivität:

- sehr lange Zeitmaßstäbe in den Ozeanen, was zu einer substantiellen Verzögerung zwischen externen Antrieben und der Auswirkung auf den Klimawandel nebst dessen Auswirkungen führt
- natürliche Variabilität mit hohen Amplituden in den Ozeanbecken in Zeitmaßstäben von Jahr zu Jahr und von Jahrtausend zu Jahrtausend.
- starke regionale Variationen, sowohl innerhalb der Ozeane als auch der Hurrikan-Aktivität

Auf der Grundlage der zuvor zusammengefassten Beobachtungen kann man folgende Zusammenfassung hinsichtlich der Änderungen globaler oder regionaler Hurrikan-Aktivitäten geben:

- globale Hurrikan-Aktivität: kleine, aber signifikante Trends abnehmender Hurrikan-Häufigkeit und zunehmender Stärke von Hurrikanen
- globaler Anteil in Prozent von Hurrikanen der Stärke 4/5: zunehmender Trend seit 1970, obwohl die Qualität der Daten vor dem Jahr 1988 umstritten ist
- Rate der Verstärkung: Hinweise auf eine globale Zunahme trotz nicht übereinstimmender Datensätze
- Zugbahnen: im Zeitraum 1982 bis 2012 polwärtige Verlagerung der Breite, in der Hurrikane im Mittel die maximale Intensität ihres Lebenszyklus' erreicht haben
- Atlantische Hurrikane: zunehmender Trend seit 1970, jedoch wurde eine vergleichbare Aktivität auch im Zeitraum 1950 bis 1960 beobachtet.
- Hurrikane in anderen Gebieten: Aufzeichnungen von Beobachtungen sind zu kurz, aber es gibt keinerlei Hinweise auf Trends, die über die natürliche Variabilität hinausgehen.

Die Grundlage von Beobachtungsdaten (seit 1970 oder sogar seit 1850) ist zu kurz, um die volle Auswirkung der natürlichen internen Variabilität abzuschätzen, welche mit großräumigen Meeresströmen assoziiert ist.

Paläoklimatologische Analysen zeigen aber, dass die derzeitige Hurrikan-Aktivität nicht ungewöhnlich ist.

## Quellen von Variabilität und Änderung

Erkennt man keinerlei signifikante Änderungen der globalen oder regionalen Hurrikan-Aktivität, müssen Zuordnungs-Verfahren ohne Erkennungen angewendet werden. Diese Verfahren erfordern die Abschätzung der Beiträge externer Antriebe (z. B.  $\text{CO}_2$ , Vulkane, solar) zur Klima-Variabilität/-Änderung plus der natürlichen internen Variabilität im Zusammenhang mit den großen Meeresströmen. In einem Zuordnungs-Verfahren in zwei Schritten sind Änderungen von Zwischen-Variablen (Wassertemperatur der Ozeane, Windscherung, Luftfeuchtigkeit) nützlich bei der Identifikation physikalischer Vorgänge, wobei eine Erwärmung zu einer Änderung der Hurrikan-Aktivität beitragen kann.

Der Schwerpunkt in diesem Abschnitt liegt auf der Identifikation von Quellen der Änderung und der Variabilität während des Zeitraumes seit 1850, also seit historische Daten verfügbar sind.

Häufig wird hinsichtlich einer Zunahme der Hurrikan-Aktivität argumentiert, dass sie einher geht mit einem Anstieg der globalen Wassertemperatur. Abbildung 4.1 zeigt die Variabilität global gemittelter Wassertemperaturen (SST) seit 1850 zusammen mit externen Antrieben durch  $\text{CO}_2$  aus Vulkanen und der Sonne.

Man erkennt in Abbildung 4.1a, dass die Wassertemperaturen im Jahre 1910 global ein Minimum durchlaufen haben, um danach bis etwa 1945 rapide zu steigen. Die erhöhte atlantische Hurrikan-Aktivität von den dreißiger bis zu den fünfziger Jahren war aufgetreten, als die globalen Wassertemperaturen etwa  $0,8^\circ\text{C}$  niedriger lagen als heute. Dieser Erwärmungsphase folgte eine Periode mit leichter Abkühlung bis etwa zum Jahre 1976, nach welchem die Temperaturen wieder zu steigen begannen.

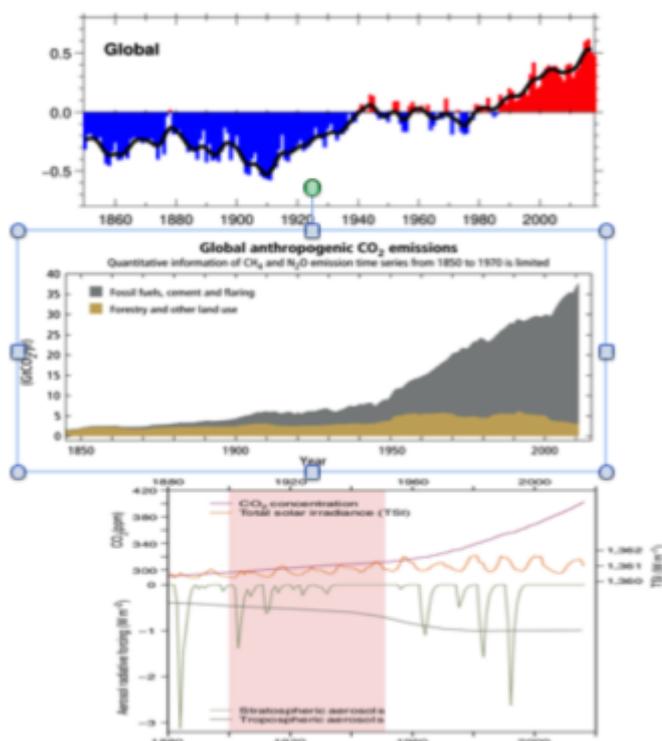


Abbildung 4.1: (oben) Wassertemperatur-Anomalien global (°C) aus HadSST. (Mitte) anthropogene CO<sub>2</sub>-Emissionen; Quelle: IPCC AR 5. (Unten) jährliche mittlere Zeitreihe von Klima-Treibern: atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration, stratosphärische Aerosole (Vulkanausbrüche), solare Gesamt-Einstrahlung sowie troposphärische Aerosole; Quelle: Hegerl et al. (2018)

Die globale Erwärmung der Ozeane von 1910 bis 1945 um 0,6°C ist vergleichbar mit der Erwärmung um 0,7°C im Zeitraum 1976 mit 2018. Hinsichtlich der jüngsten Erwärmung zeichnete das IPCC folgende Zuordnung:

- „Es ist *extrem wahrscheinlich*, dass über die Hälfte der beobachteten Erwärmung von 1951 bis 2010 der Zunahme anthropogener Treibhausgase und anderen anthropogenen Antrieben geschuldet ist. Das *best estimate* des anthropogenen Beitrags zur Erwärmung ist ähnlich der beobachteten Erwärmung während dieses Zeitraumes“.

Mit anderen Worten, das *best estimate* des IPCC ist, dass die *gesamte* Erwärmung seit 1951 vom Menschen verursacht ist.

Was aber war dann die Ursache der Erwärmung zu Beginn des 20. Jahrhunderts? Dieser Frage ist bemerkenswert wenig Aufmerksamkeit seitens der Klimawissenschaftler zuteil geworden. Eine fehlende Erklärung der Ursachen jener Erwärmung vermindert die Glaubwürdigkeit des IPCC-Statements bzgl. der Erwärmung ab 1951.

...

Eindeutig waren hinsichtlich der Erwärmung zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch andere Faktoren außer CO<sub>2</sub> im Spiel (Abb. 4.1 Mitte). Hinsichtlich externer Strahlungsantriebe würde eine Periode relativ geringer vulkanischer Aktivität im Zeitraum 1920 bis 1960 einen relativen Erwärmungseffekt haben, obwohl der Zeitraum 1945 bis 1960 Schauplatz einer leichten insgesamt Abkühlung war. Der solare Antrieb zu Beginn des 20. Jahrhunderts auf Erwärmungen unterschiedlicher Magnitude ist unklar, obwohl diese Magnituden unzureichend bzgl. eines solaren Einflusses sind, um ein direkter Haupt-Antrieb der globalen Erwärmung Anfang des 20. Jahrhunderts sein zu können.

...

### **Ändert die globale Erwärmung die internen Zustände der Variabilität?**

Die internen Zustände der Variabilität im Zusammenhang mit großräumigen Ozean-Zirkulationen werden oftmals als ‚Oszillationen‘ bezeichnet. Es ist jedoch unrichtig, diese Oszillationen als ‚zyklisch‘ zu betrachten, sind doch deren Periode und Häufigkeit unregelmäßig. Im Prinzip kann eine bestimmte Oszillation aufhören zu bestehen oder ihren Zustand der Variabilität ändern, weil deren internen Zustände assoziiert sind mit der nicht linearen Dynamik des gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Systems.

Weil die historischen Aufzeichnungen nicht besonders weit zurückreichen, vor

allem in anderen Gebieten als dem Atlantischen Ozean, ist es sinnvoll, paläoklimatische Hinweise dieser Oszillationen in Betracht zu ziehen.

...

Der NCA4 (2017; Kapitel 5) kam zu dem Ergebnis, dass das Vertrauen gering ist hinsichtlich der Auswirkung einer vom Menschen verursachten globalen Erwärmung auf Änderungen dieser internen Zustände im Zusammenhang mit der großräumigen Ozean-Zirkulation.

...

## Schlussfolgerungen

Modelle und die Theorie zeigen, dass Hurrikan-Intensität und Regenmenge in einem sich erwärmenden Klima zunehmen sollten. Es gibt aber keine Theorie, die eine Änderung der Anzahl der Hurrikane oder eine Änderung von den Zugbahnen derselben im Zusammenhang mit höheren Temperaturen umfasst.

Eine überzeugende Zuordnung jedweder Änderungen erfordert, dass eine Änderung der Hurrikan-Charakteristika mittels Beobachtungen erkannt wird mit einer Änderung, die über die natürliche Variabilität hinausgeht.

Aus Beobachtungen geht hervor, dass der globale Prozentsatz von Hurrikanen der Kategorien 4/5 zunimmt, obwohl die Stärke der Zunahme abhängig ist vom untersuchten Zeitraum, wobei aus manchen Gebieten vor dem Jahr 1987 nur fragwürdige Beobachtungen vorliegen. Wegen der kurzen Zeit mit Datenaufzeichnungen erfordert die Zuordnung jedweden Anteils dieser Zunahme zur anthropogenen globalen Erwärmung eine sorgfältige Auswertung der Daten und der Zustände der natürlichen Variabilität in jeder einzelnen Region, in der Hurrikane auftreten.

Während Theorie und Modelle zeigen, dass die Regenmenge bei Hurrikanen in einem sich erwärmenden Klima zunehmen sollte, sind Beobachtungs-Analysen aufgrund von Satellitendaten bisher in bedeutsamer räumlicher oder zeitlicher Auflösung nicht durchgeführt worden.

Es gibt einige Hinweise für eine globale Verlangsamung der Verlagerung tropischer Zyklone im letzten halben Jahrhundert, aber diese beobachteten Änderungen sind bis jetzt noch nicht halbwegs zuverlässig dem anthropogenen Klimawandel zugeordnet worden.

Zwar hat es im Atlantik seit 1970 eine gewisse Zunahme der Hurrikan-Aktivität gegeben, doch ist diese vermutlich getrieben durch Änderungen der Atlantischen Multidekadischen Oszillation (AMO) und des *Atlantic Meridional Mode* (AMM). Simulationen von Klimamodellen zeigen, dass die jüngste Rate der Intensivierung atlantischer Hurrikane über das hinausgeht, was man von der natürlichen internen Variabilität erwarten kann.

Falls die anthropogene globale Erwärmung eine Zunahme bzgl. mancher Aspekte der Hurrikan-Aktivität verursacht, sollte diese Zunahme global auftreten und nicht nur in einem einzelnen Ozeanbecken. Ein Problem dabei besteht darin, dass die Daten für eine Erkennung auf globaler Ebene unzureichend sind.

Betrachtet man ein einzelnes Ozeanbecken, ist eine korrekte Interpretation und Simulation der natürlichen internen Variabilität unabdingbar wichtig, doch ist unser Verständnis und unsere Fähigkeit, die natürliche interne Variabilität zu simulieren, äußerst begrenzt.

Alles in allem ist das Trendsinal der Hurrikan-Aktivität noch nicht über die Hintergrund-Variabilität natürlicher Prozesse hinausgegangen. Anthropogener Klimawandel kann Änderungen der Hurrikan-Aktivität verursacht haben, die noch nicht erkennbar sind, und zwar wegen der geringen Größenordnung dieser Änderungen im Vergleich zur geschätzten natürlichen Variabilität oder wegen Grenzen der Beobachtbarkeit. Aber an diesem Punkt gibt es keinen überzeugenden Beweis dafür, dass die anthropogen verursachte globale Erwärmung eine Änderung der Hurrikan-Aktivität verursacht hat.

Link: <https://judithcurry.com/2019/02/20/24737/#more-24737>

Übersetzt von [Chris Frey](#) EIKE