Der Klimawandel und sein Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Annette Menzel

Zusammenfassung

Der Klimawandel hat schon heute teils gravierende Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt. Will man – wie z. B. der Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – einen Fußabdruck des Klimawandels in der Natur nachweisen, so gilt es bei dieser Zuordnung der Folgen des Klimawandels wissenschaftlich korrekt vorzugehen: (1) Gezielte Auswahl von Parametern, deren Veränderungen unmittelbar auf den anthropogenen Einfluss über Treibhausgasemissionen zurückzuführen sind. Beispiele: Erwärmung von Atmosphäre und Ozeanen, Anstieg des Meeresspiegels oder Rückgang von Eis- und Schneebedeckung in der Arktis. (2) Feststellen von signifikanten Änderungen in der Tier- oder Pflanzenwelt in geeigneten langfristigen Beobachtungsreihen; diese Änderungen müssen auf o. g. Parameter zurückzuführen sein, nicht-klimatische Einflussfaktoren müssen weitestgehend ausgeschlossen sein. Beispiele: Verfrühung von Blattentwicklung, Blüte oder Fruchtansatz. (3) Untersuchung der raumzeitlichen Muster und der statistischen Übereinstimmung zwischen Änderungen in den Klimaparametern und den beobachteten faunistischen, floristischen oder phänologischen Veränderungen zum eigentlichen Nachweis.

Nicht alle Änderungen sind automatisch dem Klima zuzuschreiben. So spielen z. B. bei geänderten Pollenflugzeiten neben klimatischen Faktoren auch Faktoren wie Landnutzung und -bedeckung, Eutrophierung und Ausbreitung invasiver Pflanzenarten eine maßgebliche Rolle.

Summary

Climate change and its influence on animals and plants

The ongoing rapid climate change has already led to strong changes in the global flora and fauna. For a formal attribution of observed changes to human-induced climate change (as attempted in the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC), however, one needs scientific methods of detection and attribution. These involve (1) selection of suitable parameters, the changes in which can be directly linked to the anthropogenic influence via greenhouse gas emissions, such as warming of atmosphere and oceans, sea level rise, and decline of snow and ice cover in the Arctic. (2) Detection of significant changes in flora or fauna based on long-term observational time series related to one of the climate-related parameters, non-climatic drivers of floristic or faunistic change, such as land use and land degradation, must be largely excluded. Examples for such climate-attributable change include earlier leaf-out, earlier flowering, or earlier fruiting. (3) Lastly, analyses of spatial-temporal patterns and the statistical correlation between changes in the climate parameters and the observed floristic, faunistic, or phenological changes.

Not all changes should automatically be attributed to climate change. Thus, changes in the timing and abundance of pollen production, as an example, also reflect changes in land use and land cover, eutrophication, and newly invasive plant species.

✉ Prof. Dr. Annette Menzel, Technische Universität München, Professur für Ökoklimatologie, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising; amenzel@wzw.tum.de

Rundgespräche Forum Ökologie, Bd. 46 »Tierwelt im Wandel – Wanderung, Zuwanderung, Rückgang«, S. 117–132.
© 2017 Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München – ISSN 2366–2875 – ISBN 978–3–89937–230–4

Einführung

Der folgende Beitrag über den Einfluss des Klimawandels auf Tiere und Pflanzen steht am Ende dieses Rundgesprächs, da er nach Möglichkeit auch auf die vorhergehenden Beiträge eingehen und sie ggf. ergänzen soll. In dem Beitrag wird der Klimawandel im Mittelpunkt stehen, die Antriebsfaktoren für den Wandel in der Tierwelt neben und im Klimawandel sollen beleuchtet und die Argumentationskette von anthropogen verstärktem Klimawandel zu Klimavariationen und Änderungen in der Natur geschlossen werden.

In den bisherigen Beiträgen ist bereits eine Reihe von Antriebsfaktoren genannt worden (Abb. 1), die meisten von ihnen direkt durch den Menschen gesteuert. Eher selten wurden Begriffe im Zusammenhang mit Klima genannt (u. a. Tiere als mobile Sensorplattformen zur Erfassung klimatischer Parameter – ein für mich natürlich besonders faszinierender Aspekt) und ganz selten indirekte Faktoren, z. B. Änderungen in der Nahrungskette. Dies gibt in etwa die Richtung der Diskussion für Bayern und Deutschland vor: viele direkte und einige klimatische und indirekte Faktoren. Im folgenden Beitrag soll dieser Blick etwas auf die ganze Welt erweitert werden: Wo stehen wir global und wie werden diese Faktoren woanders gewichtet?

Klimawandel: die wichtigsten Parameter

Sie alle wissen, dass unser Klimasystem nicht nur die Parameter in der Atmosphäre umfasst, sondern z. B. auch das Meer, das Meereis, die Gletscher, Vulkanaktivität, Bodenbedeckung und Vieles mehr – ein hochkomplexes System, dessen viele Wechselwirkungen nur sehr schwer zu verstehen sind (z. B. Latif 2009). Wo stehen wir? Bei vielen Parametern können wir heute ganz klar eine Veränderung nachweisen, einige Parameter sind statistisch nicht abgesichert. Schwierig einzuordnen ist der Einfluss des Klimawandels auf extreme, selten auftretende Ereignisse wie dem Hochwasser am Simbach (Niederbayern) 2016.

Temperatur- und Meeresspiegelanstieg

Der Begriff »Klimawandel« wird i. d. R. mit Temperaturanstieg, Anstieg des Meeresspiegels und Hitzewellen verknüpft. Tatsächlich ist die globale Mitteltemperatur seit 1850 in zwei Anstiegsperioden um insgesamt etwa 0,85 °C angestiegen (Abb. 2a, IPCC 2013). Die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs ist dabei sehr viel höher als bei den Variationen in der Vergangenheit. Die Mittelwerte der Jahrzehnte zeigen, dass die drei letzten Jahrzehnte wärmer waren als die letzten

Abb. 1. In den bisherigen Beiträgen des Rundgesprächs erwähnte Antriebsfaktoren für den Wandel in der Tierwelt; schwarz: vorwiegend direkte anthropogen bedingte Faktoren; blau: vorwiegend Klimafaktoren; grün: vorwiegend indirekte Faktoren.

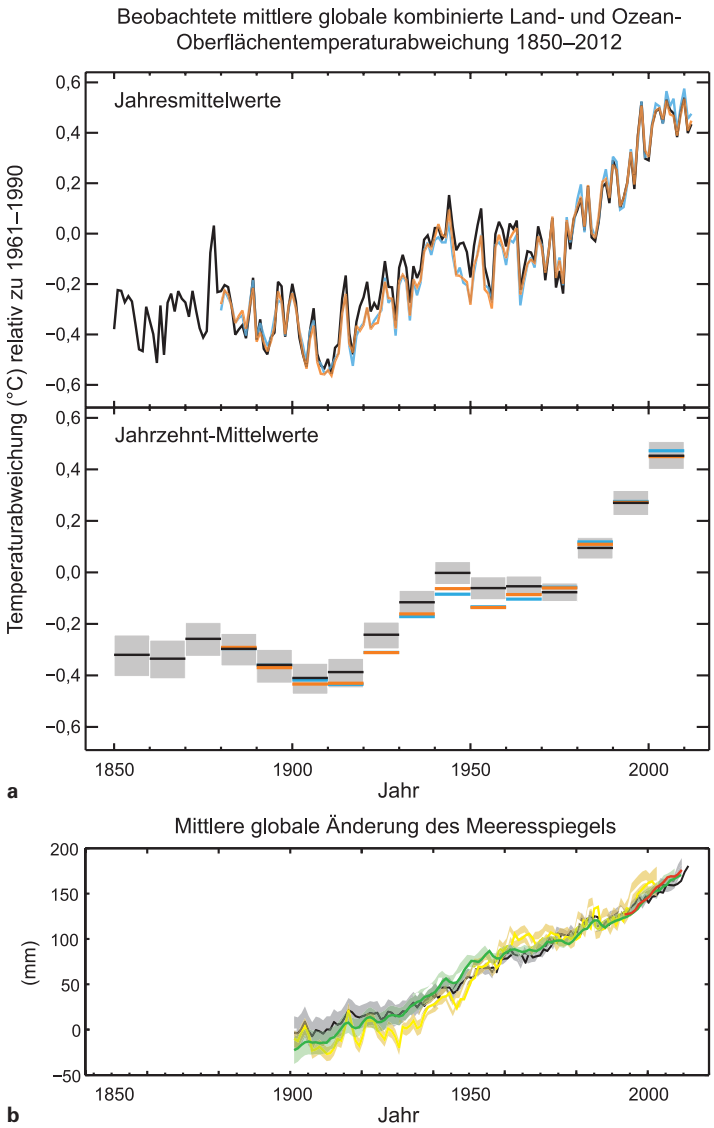


Abb. 2. Äderung von Klimaparametern: **a,** beobachtete mittlere globale kombinierte Land- und Ozean-Oberflächentemperaturabweichung 1850–2012 von drei Datensätzen; oben: Jahresmittelwerte, unten: Jahrzehnt-Mittelwerte, einschließlich der Einschätzung der Unsicherheit für einen Datensatz (schwarz). Die Abweichungen sind relativ zum Mittelwert von 1961–1990; **b,** mittlerer globaler Meeresspiegel bezogen auf das Mittel 1900–1905 des längsten fortlaufenden Datensatzes und mit allen Datensätzen so abgeglichen, dass sie für 1993, dem ersten Jahr mit Satelliten-Höhenmessdaten, den gleichen Wert aufweisen. Alle Zeitreihen (farbige Linien repräsentieren unterschiedliche Datensätze) stellen Jahreswerte dar; Unsicherheiten sind, sofern bewertet, durch farbige Schattierungen angezeigt. – IPCC (2013), Abb. SPM.1a, SPM.3d.

150 Jahre. Der Meeresspiegel ist in den letzten 100 Jahren um 19 cm gestiegen (Abb. 2b, IPCC 2013). Verbunden mit dem Temperaturanstieg hat sich die Anzahl der Hitzetage erhöht. Die Verteilung der Temperaturen ist breiter, d. h. variabler geworden. Obwohl sich der Mittelwert zu höheren Temperaturen hin verschoben hat, treten weiterhin einzelne extreme Kälte-

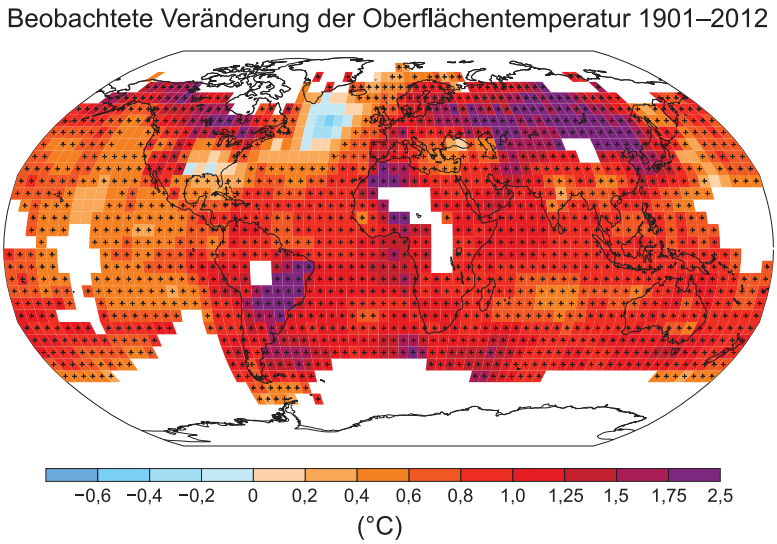


Abb. 3. Karte der beobachteten Veränderungen der Erdoberflächentemperatur 1901–2012, abgeleitet von Temperaturtrends, ermittelt aus der linearen Regression eines Datensatzes (orange Linie in Abb. 2a oben). Die Trends wurden dort berechnet, wo die Datenverfügbarkeit eine verlässliche Einschätzung erlaubt (d. h. nur für Gitterzellen mit Zeitreihen, die zu über 70 % vollständig sind und mehr als 20 % Datenverfügbarkeit in den ersten und letzten 10 % der Zeitperiode). Andere Flächen sind weiß. Gitterzellen mit einem auf dem 10%-Niveau signifikanten Trend sind mit + markiert. – IPCC (2013), Abb. SPM.1b.

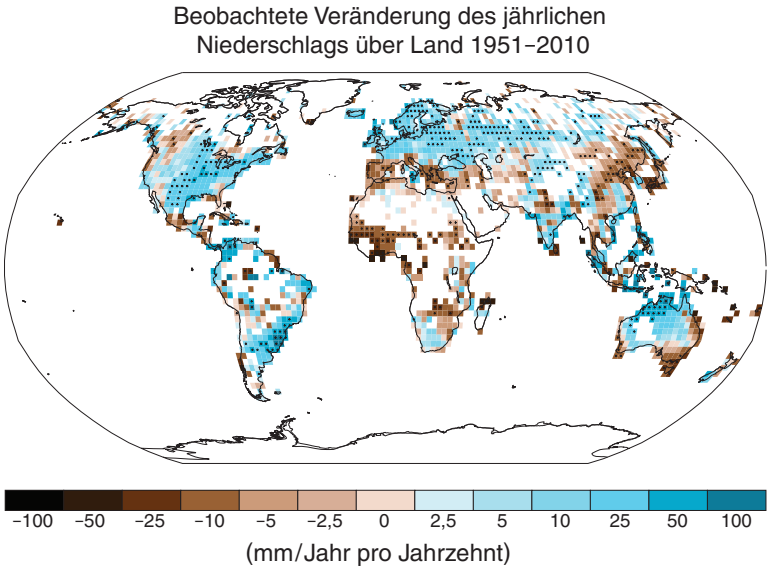


Abb. 4. Karte der beobachteten Niederschlagsänderungen 1951–2010 (die Trends der jährlichen Akkumulierung wurden unter Verwendung der gleichen Kriterien wie in Abbildung 2 berechnet) von einem Datensatz. – IPCC (2013), Abb. SPM.2.

bzw. Frostereignisse auf, was den Anbau kälteempfindlicher Pflanzen wie Zitronen und Orangen in Deutschland nach wie vor nicht möglich macht.

Abbildung 3 zeigt die Änderungen der Mitteltemperatur über die letzten 110 Jahre (IPCC 2013). Mit wenigen Ausnahmen, z. B. über dem Atlantik südlich von Grönland, ist es weltweit fast überall wärmer geworden, besonders stark in den mittleren und höheren Breiten der Landflächen auf der Nordhalbkugel und z. B. in den Küstenregenwäldern in Brasilien. Deutschland ist von der Erwärmung ebenfalls betroffen.

Niederschläge, Salzgehalt und pH-Wert im Meer

Etwas komplexer ist die Karte der Niederschlagsänderungen der letzten 60 Jahre (Abb. 4, IPCC 2013). Man könnte die Veränderungen stark vereinfacht zusammenfassen: In den Gegenden, in den es schon immer viel Niederschlag gab, hat er etwas zugenommen, in den Gegenden, die bisher schon wenig Niederschlag hatten, etwas abgenommen. In Europa ist eine markante Teilung zu erkennen zwischen der Mitte und dem Norden, wo es nässer, und dem Süden, wo es trockener geworden ist. Der Niederschlagsrückgang in dem Gebiet südlich der Sahara ist besonders für die Langstreckenzieher unter den Zugvögeln von besonderer Bedeutung.

Einen (kleinen) Ausschnitt der insgesamt beobachteten Veränderungen zeigt Abbildung 5 in einer Übersicht. Die Veränderungen im Salzgehalt der Ozeane hängen vom Wasserkreislauf ab, je nachdem, ob mehr oder weniger Niederschlag fällt bzw. wie sich Verdunstung und Niederschlag geändert haben. Die Veränderung des Säuregehalts im Ozean ist heute noch nicht zur Sprache gekommen. Aber gerade für alle Kalk bildenden Organismen in den Meeren ist eine pH-Abnahme um 0,1, d. h. ein Säureanstieg von 26 %, eine große Gefährdung.

Polare Verstärkung in der Arktis

Einen besonderen Punkt möchte ich an dieser Stelle herausgreifen: den Klimawandel in der Arktis. In der Arktis wirkt die sog. polare Verstärkung (polar amplification), d. h., hier kommt es zu einer stärkeren Temperaturerhöhung als in den angrenzenden Gebieten. Da die Eis- und die Schneebedeckung (arktisches Meereis, Schneebedeckung der Nordhemisphäre im Frühjahr, Grönlandeisschild) zurückgehen (Abb. 6; IPCC 2013), nimmt der Kühlungseffekt durch die kurzwellige Reflexion (Albedo) ab und die Temperaturerhöhung verstärkt sich, z. B. auch in den Permafrostgebieten. Wir haben dann eine Rückkopplung auf das Klimasystem, nicht nur über die Albedo, sondern auch über das aus dem Boden freigesetzte Methan. Insgesamt führt dies zu einer höheren Vulnerabilität für die dortige Pflanzen- und Tierwelt und für indigene Völker. Auch aus diesem Grund ist der Eisbär (*Ursus maritimus*) zu einer absoluten Charakterart für den Klimawandel geworden.

- Temperatur der letzten 3 Jahrzehnte wärmer als in allen Jahrzehnten seit 1850
- 1983–2012 wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 1400 Jahre auf Nordhemisphäre *(w)*
- Temperaturanstieg 1880–2012 um 0,85 °C (kombinierte Land- und Ozean-Oberflächentemperatur)
- Ozean (obere 0–700 m) hat sich von 1870–1971 *(w)* bzw. 1971–2010 *(ps)* erwärmt
- Niederschläge über Landoberflächen in den mittleren Breiten zugenommen (seit 1951) *(hV)*
- Veränderungen im Salzgehalt der Ozeane je nach Änderungen im Wasserkreislauf *(sw)*
- pH-Wert Meeresoberflächenwasser um 0,1 abgenommen = 26 % Anstieg Säuregehalt *(hV)*
- Massenverlust 1992–2011 des grönländischen und antarktischen Eisschildes *(hV)*
- Abschmelzen der Gletscher fast überall *(hV)*
- Geringere Ausdehnung der Schneebedeckung auf Nordhemisphäre im Frühjahr seit Mitte des 20. Jh. *(shV)*
- Permafrost-Temperaturen seit 1980er Jahren angestiegen *(hV)*
- Arktisches Meereis um +3,5 % pro Jahr 1979–2012 abgenommen *(sw)*
- Mittlerer globaler Meeresspiegel um 0,19 m seit 1901 angestiegen *(sw)*

Abb. 5. Liste einiger der im IPCC-Bericht (2013) festgehaltenen Veränderungen. Angaben zur bewerteten Wahrscheinlichkeit: *ps*: praktisch sicher (99–100 %), *sw*: sehr wahrscheinlich (90–100 %), *w*: wahrscheinlich (66–100 %). Angaben zum Vertrauensniveau: *shV*: sehr hoch, *hV*: hoch. – Zusammengestellt aus IPCC (2013).

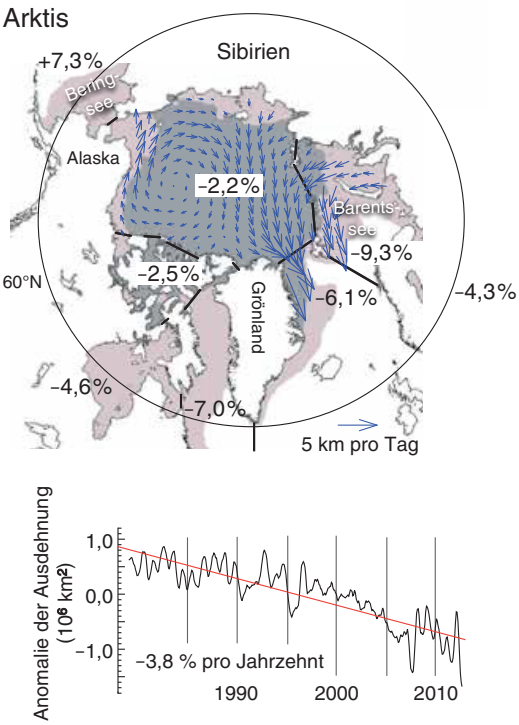


Abb. 6. Mittleres Zirkulationsmuster von Meereis und die dekadischen Trends (%) der jährlichen Anomalien der Meereisausdehnung (d. h. nach Entfernung des Jahresgangs) in verschiedenen Regionen der Arktis. Pfeile zeigen die mittlere Richtung und Geschwindigkeit der Eisdrift an. Die mittlere Meereisbedeckung, beruhend auf Satellitenbeobachtungen, in maximaler (minimaler) Ausdehnung im Zeitraum von 1979 bis 2012 ist in Orange (Grau) schattiert. – IPCC (2014a), Abb. FAQ 4.1 (Abbildung 1).

Ursachen des Klimawandels

Die Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) sind seit Beginn der Industrialisierung angestiegen und steigen immer noch stark an (Abb. 7, IPCC 2014b). Die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre liegt seit 2016 dauerhaft über 400 ppm. Sie ist damit auf einem Niveau, wie es seit den letzten 800 000 Jahren nicht vorgekommen ist (IPCC 2014b, S. 44). Die CO_2-Konzentration in der Vergangenheit lässt sich über Eisbohrkerne aus der Antarktis feststellen; in diesen sind Luftblasen enthalten, aus denen sich die historischen Konzentrationen von Treibhausgasen bestimmen lassen.

Die Hauptquellen der Treibhausgasemissionen sind nach wie vor die Nutzung fossiler Brennstoffe (CO_2) und durch Landnutzungsänderungen freigesetztes Methan und Lachgas.

Klimawandel – ein Spiel (?) mit gezinkten Würfeln

Welche Belege gibt es für den Einfluss des Menschen? Die Schwierigkeit dieses Nachweises lässt sich anhand eines Würfelspiels mit dem Ziel, die Zahl 6 zu erzielen, aufzeigen: Im Durchschnitt sollte bei $^1/_6$ aller Würfe die Zahl 6 kommen. Beim Klimawandel gibt es sozusagen einen gezinkten Würfel, mit dem die Zahl 6 etwas häufiger kommt. Vereinfacht dargestellt wird nun simuliert, wie oft man mit einem gezinkten Würfel und wie oft man mit einem normalen Würfel ein bestimmtes Ergebnis bekommt; dies lässt sich in Wahrscheinlichkeiten ausdrücken. Daraus lässt sich ableiten, dass das Muster und die Höhe der Erwärmung, die wir messen, nur mit einem »gezinkten Würfel«, d. h. mit menschlichem Einfluss, zu erklären ist. Abbildung 8 zeigt die beobachtete Erwärmung (schwarz) und den Einfluss der Treibhausgase (grün) seit 1951. Bei den sonstigen anthropogenen Antrieben (gelb) sind Aerosole enthalten, die eine kühlende Wirkung haben. Die Summe der anthropogenen Antriebe entspricht jedoch dem beobachteten Temperaturanstieg, daher kommt der IPCC zu dem Ergebnis: *»Es ist äußerst wahrscheinlich, dass mehr als die Hälfte des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Oberflächentemperatur von 1951–2010 durch den anthropogenen Anstieg der THG-Konzentrationen zusammen mit anderen anthropogenen Antrieben verursacht wurde.«* (IPCC 2014b, Kap. 1.3, S. 48).

Weltweit wurden derartige Simulationen für die verschiedenen Parameter durchgeführt und die beobachteten und die simulierten Veränderungen verglichen. Von der Liste in Abbildung 5 ergeben sich daraus folgende Parameter, die, neben dem Temperaturanstieg, ebenfalls anthropogen beeinflusst sind: Wahrscheinliche Einflüsse auf globalen Wasserkreislauf seit 1960, Rückgang der Gletscher seit 1960, Schmelzen des Grönlandeises seit 1993, Rückgang des arktischen Meereises seit 1979, Anstieg des Wärmegehalts der Ozeane seit 1970 sowie des globalen Meeresspiegels (IPCC 2013).

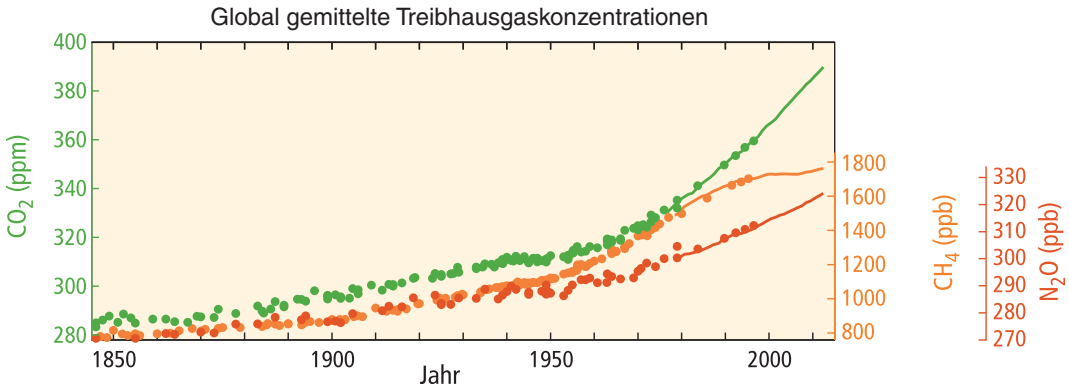


Abb. 7. Atmosphärische Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2, grün), Methan (CH_4, orange) und Lachgas (N_2O, rot), ermittelt aus Eisbohrkerndaten (Punkte) und aus direkten atmosphärischen Messungen (Linien). – IPCC (2014b), Abb. SPM.1c.

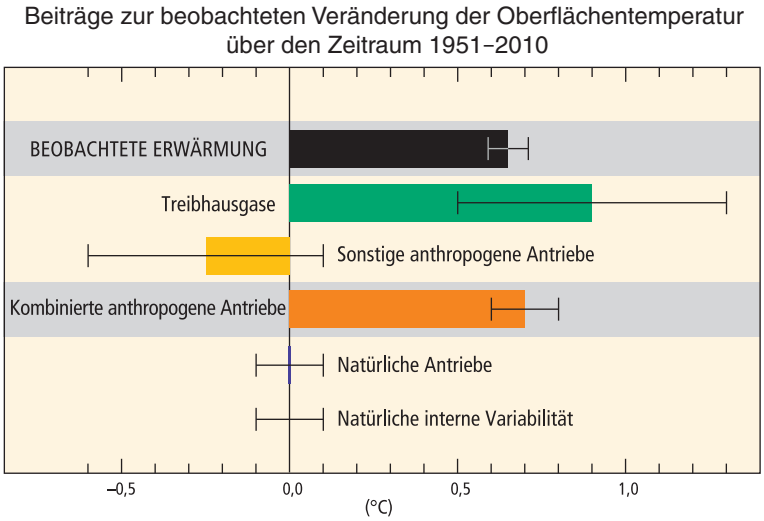


Abb. 8. Abgeschätzte *wahrscheinliche* Bandbreiten (durch Antennen gekennzeichnet) und deren Mittelpunkte (Balken) für Erwärmungstrends über den Zeitraum 1951–2010 durch gut durchmischte Treibhausgase, sonstige anthropogene Antriebe (darunter der Abkühlungseffekt durch Aerosole und die Auswirkungen von Landnutzungsänderung), kombinierte anthropogene Antriebe, natürliche Antriebe und natürliche interne Klimavariabilität (der Teil der Klimavariabilität, der sogar ohne Antriebe spontan innerhalb des Klimasystems auftritt). Die beobachtete Änderung der Oberflächentemperatur ist schwarz dargestellt, mit einem Unsicherheitsbereich von 5 bis 95 % aufgrund der Unsicherheiten in den Beobachtungen. Für die Bandbreiten der den jeweiligen Antrieben zugeordneten Erwärmung (farbig) wurden Beobachtungen mit Klimamodellsimulationen kombiniert, um den Beitrag jedes einzelnen äußeren Antriebs zur beobachteten Erwärmung abzuschätzen. Der Beitrag der kombinierten anthropogenen Antriebe kann mit einer geringeren Unsicherheit geschätzt werden als die separate Schätzung der Beiträge von Treibhausgasen und von anderen anthropogenen Antrieben. Der Grund dafür ist, dass sich diese beiden Beiträge teilweise ausgleichen, wodurch sich das resultierende Signal durch Beobachtungen besser eingrenzen lässt. – IPCC (2014b), Abb. SPM.3.

Bei den beobachteten Niederschlagsänderungen (vgl. Abb. 4) ist der anthropogene Einfluss statistisch nicht abgesichert. Ähnliches gilt für Beobachtungen der Temperaturänderungen auf kleinerer Skala, z. B. regional für einzelne Gebiete Bayerns.

Dem Klimawandel zugeordnete Folgen

Im letzten IPCC-Bericht ist im Kapitel »Zuordnung von Klimaänderungen und Auswirkungen« lediglich zu lesen: *»In den letzten Jahrzehnten haben Klimaänderungen Auswirkungen auf natürliche Systeme und solche des Menschen auf allen Kontinenten und in den Ozeanen verursacht. Diese Folgen sind auf den beobachteten Klimawandel zurückzuführen, unabhängig von dessen Ursache; sie zeigen die Empfindlichkeit natürlicher Systeme und solcher des Menschen gegenüber dem sich ändernden Klima.«* (IPCC 2014b, Kap. 1.3, S. 48).

Die Änderungen wurden in drei Kategorien eingeteilt:

- Physikalische Systeme: Gletscher, Schnee, Eis und/oder Permafrost; Flüsse, Seen, Überschwemmungen und/oder Dürren; Küstenerosion und/oder Meeresspiegeländerungen.
- Biologische Systeme: terrestrische Ökosysteme; Wald- und Flächenbrände; Meeresökosysteme.
- Bewirtschaftete Systeme und solche des Menschen: Nahrungsmittelproduktion; Existenzgrundlagen, Gesundheit und/oder Wirtschaft.

Für jeden dieser Systeme wurden dann der Beitrag des Klimawandels (geringfügig bzw. wesentlich) sowie das Vertrauen in die Zuordnung zur Klimaänderung (sehr gering, gering, mittel, hoch, sehr hoch) errechnet. Die Zuordnung ergab, dass der Beitrag des Klimawandels auf allen Kontinenten auf nahezu alle dort relevanten Faktoren als wesentlich gelten kann (IPCC 2014b, Abb. 1.11a, S. 51). Bezüglich der beobachteten Folgen für terrestrische Ökosysteme sowie für Meeresökosysteme wird z. B. auf allen Kontinenten der Beitrag des Klimawandels als wesentlich eingestuft (Ausnahme: Südamerika: geringfügiger Beitrag an den Folgen in terrestrischen Ökosystemen).

Bei den extremen Wetter- und Klimaereignissen ist die Zuordnung, welche davon mit welcher Wahrscheinlichkeit als Folge des Klimawandels stattfinden, etwas schwieriger. In Abbildung 9 sind die im IPCC-Bericht aufgelisteten Extrem-

Ereignis und Trend	Sind Veränderungen seit 1950 aufgetreten?	Menschlicher Beitrag zur Veränderung
Wärmere und/oder weniger kalte Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Sehr wahrscheinlich
Wärmere und/oder häufigere heiße Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Sehr wahrscheinlich
Häufigere und/oder längere Wärmeperioden/Hitzewellen über den meisten Landflächen	Mittleres Vertrauen auf der globalen Ebene; wahrscheinlich in großen Teilen Europas, Asiens und Australiens	Wahrscheinlich
Häufigere, stärkere und/oder größere Niederschlagsmenge von Starkniederschlägen	Wahrscheinlich mehr Landflächen mit Zunahmen als mit Abnahmen	Mittleres Vertrauen
Intensivere und/oder längere Dürren	Geringes Vertrauen auf der globalen Ebene; wahrscheinlich Veränderungen in einigen Regionen	Geringes Vertrauen
Intensivere tropische Wirbelsturmaktivität	Geringes Vertrauen in langfristige (100-jährige) Veränderungen; praktisch sicher im Nordatlantik seit 1970	Geringes Vertrauen
Häufigere und/oder größere extrem hohe Meeresspiegel	Wahrscheinlich (seit 1970)	Wahrscheinlich

Abb. 9. Extreme Wetter- und Klimaereignisse: Bewertung auf globaler Ebene von kürzlich beobachteten Veränderungen und dem Beitrag des Menschen zu diesen Veränderungen; Angaben zur bewerteten Wahrscheinlichkeit: praktisch sicher: 99–100 %; sehr wahrscheinlich: 90–100 %; wahrscheinlich: 66–100 %. – Gekürzt aus IPCC (2013), Tab. SPM.1.

ereignisse zusammenfassend und verkürzt dargestellt. Bei einigen Parametern ist der Zusammenhang eindeutig wie z. B. bei dem Trend zu wärmeren Tagen und Nächten. Bei anderen, wie z. B. den Dürren, ist die Zuordnung schwieriger und der Beitrag des Menschen wird eher gering bewertet.

Nichtsdestotrotz haben Extremereignisse für die Pflanzenwelt sehr große Auswirkungen. Dürre ist eine der großen unterschätzten Naturgefahren, dazu kommen seit einigen Jahren häufigere und intensivere Waldbrände und Starkregenereignisse bzw. Überflutungen. Rahmstorf und Coumou schreiben dazu: »Viele Klimawissenschaftler – auch wir – beantworten Medienanfragen zu einem bestimmten extremen Wetterereignis für gewöhnlich mit dem Satz, dass dieses eine Ereignis nicht direkt dem Klimawandel zugeschrieben werden kann. Das wird in der Öffentlichkeit oft in der Weise falsch verstanden, dass das Ereignis nicht mit der globalen Erwärmung zusammenhängt, obwohl es der Fall sein könnte – wir können es eben nur nicht mit Sicherheit sagen«.[1] »Hut ab« vor Professor M. Grambow, dem Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft und Bodenschutz im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, der im Umweltausschuss des Bayerischen Landtags am 16. Juni 2016 antwortete, dass ein Ereignis wie das Hochwasser am Simbach 2016 im Grunde genommen nur mit dem Klimawandel denkbar und erklärbar ist: »Wenn es den Klimawandel gibt, dann schaut er genauso aus«.[2]

Zukünftiger globaler und regionaler Klimawandel

Die Prognose für die Zukunft hängt stark davon ab, welches der durchgerechneten Szenarien wir verwenden. Wenn wir das Szenario »weiter wie bisher« (entspricht i. W. dem Szenario RCP8.5 in IPCC 2013 und 2014b) wählen, würde dies bis Ende des Jahrhunderts bedeuten: in der Arktis Temperaturanstiege bis 10 °C, weniger Niederschlag in den semiariden subtropischen Hochdruckgürtel und mehr Niederschlag in den Tropen und den Polargebieten (Abb. 10 rechts; IPCC 2013). Das Szenario RCP2.6 geht dagegen von einer stringenten Minderung der Treibhausgasemissionen aus (Abb. 10 links).

Die regionalen Schlüsselrisiken hängen ebenfalls davon ab, welches Szenario zugrunde gelegt wird. Verwendet man wieder die auf Seite 124 genannten Kategorien und Faktoren, so ist der Bereich Existenzgrundlagen, Gesundheit und/oder Wirtschaft auf allen Kontinenten ein Schlüsselrisiko. Das heißt, in der globalen Betrachtungsweise haben Wirtschaft und menschliche Gesundheit eine sehr hohe Bedeutung, was künftige Risiken durch den Klimawandel betrifft. In Europa und in Nordamerika kommen z. B. Wald- und Flächenbrände als Schlüsselrisiken dazu, während in Südamerika biologische Systeme nicht zu den Schlüsselrisiken zählen. Mit wenigen Ausnahmen gehören auch die Faktoren Küstenerosion und/oder ansteigender Meeresspiegel sowie Flüsse, Seen, Überschwemmungen und/oder Dürren zu den Schlüsselrisiken (IPCC 2014b, Abb. 2.4).

Fingerabdruck des Klimawandels

Wie lässt sich ein Fingerabdruck des Klimawandels nachweisen (Rosenzweig et al. 2008)? In dem 4. IPCC-Bericht von 2007 wurde dieser Nachweis zum ersten Mal erbracht. Im Bericht der Working Group II gibt es dazu das Kapitel »Derzeitiger Kenntnisstand über beobachtete Auswirkungen von Klimaänderungen auf die natürliche und menschliche Umwelt« (IPCC 2007). Uns wurde damals vorgegeben, welche Systeme zu betrachten sind, und diese haben wir anhand der dazu veröffentlichten Fachliteratur betrachtet. Wir haben nach signifikanten Änderungen in den letzten 2–3 Jahrzehnten gesucht und haben dabei alle Faktoren, wie sie z. B. heute schon als vorwiegend anthropogen bedingt genannt worden sind (vgl. Abb. 1 oben), als Antriebsfaktoren ausgeschlossen. Die Änderungen durften also z. B. nichts mit Überdüngung oder Landnutzungsänderungen zu tun haben. Im Stadium des 4. IPCC-Berichts konnte man bereits den Klimawandel auf die Temperatur hin zuordnen, d. h., für die kontinentalen Temperaturänderungen konnte man den anthropogenen

1 Zitiert aus: WeltN24 GmbH (27.03.14: Klimawandel schafft Extreme, von Thilo Resenhoeft): https://www.welt.de/print/die_welt/wissen/article13948158/Klimawandel-schafft-Extreme.html [zuletzt aufgerufen am 27.10.17].

2 Zitiert aus: https://www.bayern.landtag.de/aktuelles/sitzungen/aus-den-ausschuessen/umweltausschuss-zieht-schluesse-aus-hochwasserkatastrophe-in-simbach/ [zuletzt aufgerufen am 27.10.17].

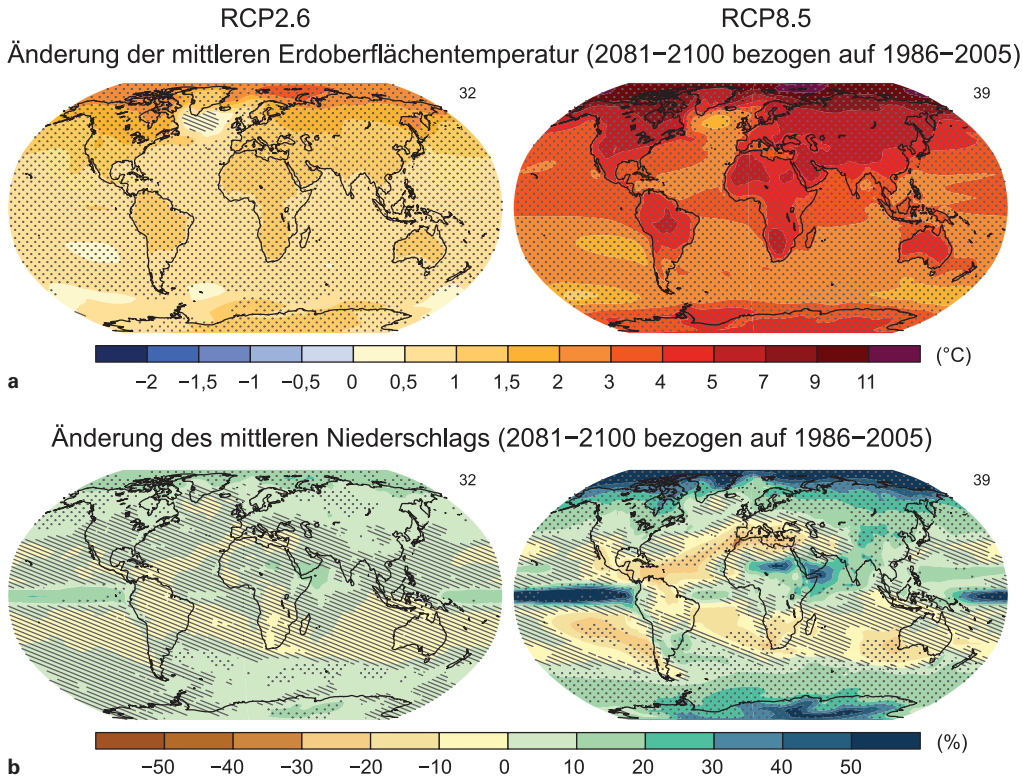


Abb. 10. Karten der CMIP5-Multimodell-Mittel-Ergebnisse für die Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 für 2081–2100 von der Änderung der jährlichen mittleren Erdoberflächentemperatur (**a**) und der durchschnittlichen prozentualen Änderung des jährlichen mittleren Niederschlags (**b**), bezogen auf 1986–2005. Die Zahl der für die Berechnungen des Multimodell-Mittel verwendeten CMIP5-Modelle ist in der rechten oberen Ecke in jedem Feld angegeben. Regionen, in denen das Multimodell-Mittel im Vergleich zur natürlichen internen Variabilität klein ist, sind schraffiert dargestellt (d. h. kleiner als eine Standardabweichung der natürlichen internen Variabilität in den 20-Jahres-Mitteln). Punktiert sind Regionen, in denen das Multimodell-Mittel im Vergleich zur internen Variabilität groß ist (d. h. größer als zwei Standardabweichungen der internen Variabilität in den 20-Jahres-Mitteln) und wo mindestens 90 % der Modelle mit dem Vorzeichen der Änderung übereinstimmen. – IPCC (2013), Abb. SPM.8a,b.

Einfluss bereits als sehr wahrscheinlich angeben. Wir haben davon ausgehend untersucht, wie unsere Ökosysteme auf diesen regionalen Einfluss reagieren.

In einer dieser Studien haben wir phänologische Änderungen untersucht und dazu über 120 000 Datenreihen ausgewertet. Für den Zeitraum 1971–2000 zeigten über 3/4 von ihnen (davon 1/3 signifikant) eine Verfrühung um ca. 2,5 Tage/Dekade und nur ca. 1/4 (davon 3 % signifikant) eine Verspätung der Blattentfaltung, der Blüte und des Fruchtansatzes (Abb. 11a,b; Menzel et al. 2006). Landwirtschaftliche Aktivitäten (z. B. Zeitpunkt für Aussaat, Umpflügen, Ernte) zeigten dagegen nur in knapp der Hälfte der Fälle eine Verfrühung (davon 13 % signifikant; Abb. 11c), was bedeutet, dass die Landwirte an den bisherigen Terminen i. W. festhalten. Für Deutschland haben wir die Daten zu Blattaustrieb, Blüte und Fruchtansatz in der Natur und die Ankunftszeiten von Zugvögeln in Helgoland im Frühjahr in einer anderen Studie mit den Werten des Nordatlantischen Oszillations-Index[3] im

3 NOA-Index: Maß für Schwankung des Druckverhältnisses zwischen dem Islandtief im Norden und dem Azorenhoch im Süden über dem Nordatlantik. Positive Werte bedeuten i. d. R. milde und feuchte Wetterbedingungen in Europa, z. T. begleitet von Stürmen, negative i. d. R. kalte Winter in Mitteleuropa.

Februar und März und der Temperaturen im März und April verglichen (Walther et al. 2002). Ab ca. 1980 ist eine deutliche Verfrühung der phänologischen Phasen zu erkennen, die stark mit den Frühjahrstemperaturen und dem NOA-Index zusammenhängt. Über die Gefahr der zeitlichen Entkopplung, wenn z. B. bei einzelnen Komponenten in der Nahrungskette diese Verschiebungen nicht synchron stattfinden, ist bereits an anderer Stelle berichtet worden (Fiedler 2017).

Den Fingerabdruck des Klimawandels, wie er im IPCC-Bericht 2007 dargestellt ist, zeigt Abbildung 12 für physikalische Systeme (Schnee, Eis und gefrorener Boden; Hydrologie; Küstenprozesse; blaue Punkte) und für biologische Systeme (terrestrische, Meer- und Süßwassersysteme; grüne Punkte); die Temperaturänderung im Zeitraum 1970–2004 ist im Hintergrund dargestellt. Da alle Datenreihen ausgewertet worden sind, die sich signifikant verändert hatten, konnte man auf dieses Weise überprüfen, inwieweit die Entwicklung dem entsprach, was die Temperaturänderung sozusagen postulieren würde. Tatsächlich haben sich 90 % der Reihen so entwickelt, wie man das bei der gemessenen Temperaturerhöhung erwarten würde, z. B. eine Verfrühung der Vegetation und eine frühere Ankunft der Zugvögel. Folgende »Fußabdrücke« wurden gefunden (IPCC 2007):

- Terrestrische Systeme: Früheres Frühjahr, längere Wachstumsperiode; Änderung in der Produktivität; Änderung der Verbreitungsgebiete von Arten; Invasionen von Arten; Änderung in der Zusammensetzung der Vegetation. Beispiele: Ausbreitung von *Ilex aquifolium* (Europäische Stechpalme) nach Skandinavien (Walther et al. 2005); Aufwärtswandern von Arten im Gebirge in die Gipfelregionen, z. B. in den Alpen; Veränderungen im NDVI (normalized difference vegetation index) seit 1981 (Myneni et al. 1997) Änderungen in der Saisonalität in den CO_2-Konzentrationen (Keeling et al. 1996).
- Land- und Forstwirtschaft: Änderungen in der Phänologie; wenig Änderungen im Ackerbau; die Auswirkung von Hitzewellen, Dürren, Extreme sind spürbar; Änderungen in der Produktivität im Wald. Beispiele: Zunahme von Weinqualität und -erträgen (Bock et al. 2013a); nahezu unveränderter Zeitpunkt der Heuernte, obwohl der Zeitpunkt der Blüte sich stark verfrüht hat (Bock et al. 2013b), möglicherweise hat dies mit irgendwelchen Förderprogrammen zu tun.
- Menschliche Gesundheit: Sterblichkeit in Hitzewellen; Änderungen in der Verbreitung von Vektoren in Teilen Afrikas und Europas;

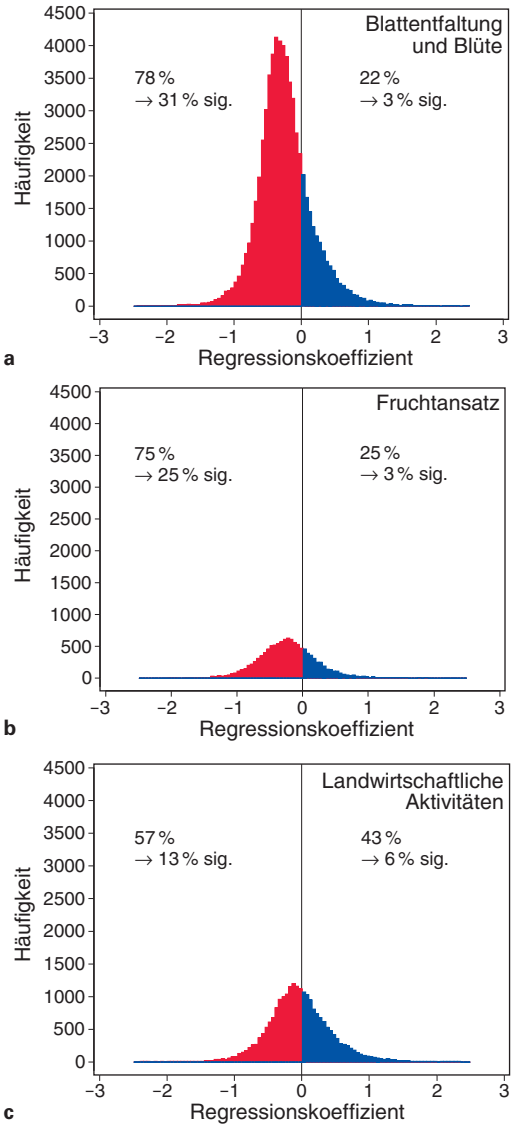
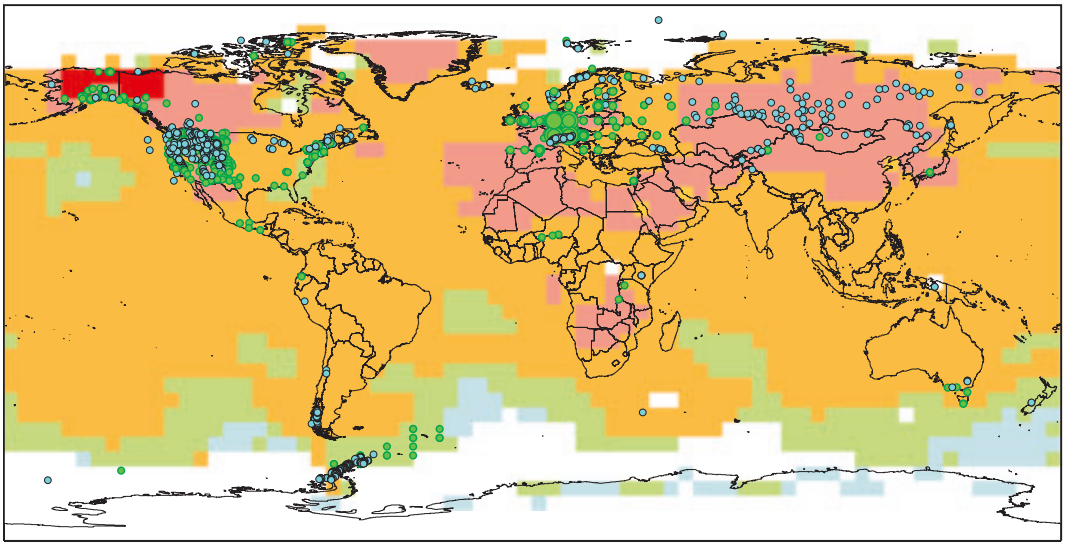


Abb. 11. Änderungen in der Phänologie (Häufigkeit des Ereignisses gegen Regressionskoeffizienten) in Europa 1971–2000: **a,** Blattentfaltung, Blüte; **b,** Fruchtreife; **c,** landwirtschaftliche Aktivitäten (z. B. Aussaat, Pflügen, Ernte); *n* (gesamt) ~120 000. – Ergänzt nach Menzel et al. (2006).



	NAM	LA	EUR	AFR	AS	ANZ	PR*	TER	MFW**	GLO
			28,115					28,586		28,671
	355	53	119	5	106	6	120	764	1	765
	455	5		2	8	0	24		85	
	94%	98%	94%	100%	96%	100%	91%	94%	100%	94%
	92%	100%	89%	100%	100%	–	100%	90%	99%	90%

Beobachtete Datenreihen

- Physikalische Systeme (Schnee, Eis und gefrorener Boden; Hydrologie; Küstenprozesse)
- Biologische Systeme (terrestrische, Meer- und Süsswassersysteme)

Europa ***
1-30
31-100
101-800
801-1200
1201-7500

Temperaturänderung °C
1970-2004

-1.0 -0.2 0.2 1.0 2.0 3.5

physikalisch	biologisch
Zahl der signifikanten beobachteten Änderungen	Zahl der signifikanten beobachteten Änderungen
Anteil jener Änderungen in Prozent, die mit der Erwärmung im Einklang stehen	Anteil jener Änderungen in Prozent, die mit der Erwärmung im Einklang stehen

* Polarregionen beinhalten auch beobachtete Veränderungen biologischer Meer- und Süßwassersysteme.
** Meer- und Süßwasser beinhaltet beobachtete Veränderungen in einzelnen und sich über große Flächen erstreckenden Gebieten in Ozeanen, auf kleinen Inseln und Kontinenten. Gebiete großräumiger Änderungen im Meer sind auf der Karte nicht dargestellt.
*** Die Kreise in Europa stellen 1 bis 7500 Datenreihen dar.

Abb. 12. Gemeinsame Darstellung der örtlichen Lage signifikanter Veränderungen bei den Datenreihen physikalischer Systeme (Schnee, Eis, gefrorener Boden; Hydrologie; Küstenprozesse) und biologischer Systeme (terrestrische, Meer- und Süßwassersysteme) und Veränderungen der Oberflächentemperaturen 1970–2004. Von etwa 80 000 Datenreihen aus 577 Studien wurde ein Teilsatz von ca. 29 000 Datenreihen (davon ca. 28 000 aus europäischen Studien) ausgewählt, die folgenden Kriterien entsprachen: (1) 1990 oder später endend; (2) einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren umfassend und (3) eine signifikante Veränderung in die eine oder andere Richtung aufweisend, wie in Einzelstudien festgestellt. Diese Datenreihen sind etwa 75 Studien entnommen (von denen ~70 seit dem 3. Sachstandsbericht neu sind). Für die weiß markierten Regionen sind die klimatischen Beobachtungsdaten nicht ausreichend, um einen Temperaturtrend abschätzen zu können. Die 2 × 2 Kästen zeigen die Gesamtzahl der Datenreihen mit signifikanten Veränderungen (obere Zeile) und den Anteil jener Änderungen (in Prozent), die mit der Erwärmung im Einklang stehen (untere Zeile) für (i) kontinentale Gebiete: Nordamerika (NAM), Lateinamerika (LA), Europa (EUR), Afrika (AFR), Asien (AS), Australien und Neuseeland (ANZ) und die Polarregionen (PR) sowie (ii) auf globaler Ebene: terrestrisch (TER), Meer- und Süßwasser [Marine and Freshwater (MFW)] und global (GLO). Die Zahlen der Studien in den sieben Regional-Kästen (NAM, …, PR) entsprechen in der Summe nicht den Endsummen auf globaler Ebene (GLO), weil die Zahlen für die Regionen – außer für die Polarregionen – die Zahlen für Meer- und Süßwassersysteme (MFR) nicht miteinschließen. Gebiete großräumiger Änderungen im Meer sind auf der Karte nicht dargestellt. – IPCC (2007), Abb. SPM.1.

früherer Beginn der Pollensaison und größere Menge an allergenem Pollen.

Einfluss anderer Faktoren: Beispiel Pollenflug

Das folgende Beispiel soll verdeutlichen, welche Aspekte es zu berücksichtigen gilt, wenn wir zwischen dem Anteil des Klimawandels und dem Einfluss anderer maßgeblicher Faktoren an einem Ereignis differenzieren wollen.

Der Pollenflugkalender reicht praktisch schon über das ganze Jahr (PID 2017). Anhand phänologischer Daten wissen wir, dass die Pollensaison früher beginnt und durch eine längere Blühperiode teilweise auch später endet. Die Antriebsfaktoren dieser Änderungen sind die Temperaturveränderungen, d. h. der Klimawandel. Durch Studien zur Artverbreitung wissen wir über Änderungen in den Verbreitungsarealen und Häufigkeiten der betreffenden Pflanzen und dass es invasive Arten gibt, die das »Pollenloch« im Spätherbst ausfüllen. Hier spielen neben dem Klimawandel Änderungen in der Landnutzung und -bedeckung, Eutrophierung und die Globalisierung eine wichtige Rolle. Und dass die Pollenmenge bzw. die Pollenallergenität zugenommen haben, hat vermutlich mit der steigenden CO_2-Konzentration in der Atmosphäre zu tun bzw. mit der Luftverschmutzung.

Zur Blühphänologie haben Bock et al. (2014) festgestellt, dass auf der Kanalinsel Guernsey 85 % von 232 Arten bei der Temperaturerhöhung im Zeitraum 1985–2011 ihre Blütezeit verkürzen. In einer Population ändern sich erster, Haupt-, und letzter Blühzeitpunkt nicht einheitlich bei 60 Arten (17 % der untersuchten Arten) in Montana; 56 % zeigen die größten Änderungen (Verfrühung) bei der ersten Blüte, während die Hauptblüte weiter etwa zur selben Zeit kommt (Vergleich 1974–1983 und 2003–2012, CaraDonna et al. 2014). Und vergleicht man wind- mit insektenbestäubten Pflanzen, so verfrüht sich die erste Blüte am meisten und damit verlängert sich die Pollensaison (Ziello et al. 2012a).

Bei der Veränderung der jährlichen Pollenmenge ergab eine Analyse der Zeitreihen eine Zunahme bei 59 % (signifikant bei 14 %) der Zeitreihen; 9 Arten zeigten eine signifikante Zunahme der Pollenmenge, wobei bei Baumpollen die Zunahme stärker war (Ziello et al. 2012b). Auf der Zugspitze gibt es eine Pollenfalle. Für Birkenpollen konnten Jochner et al. (2015) nachweisen, dass die Pollenmenge nicht von der Windrichtung abhängig ist, die Allergenität jedoch schon: Pollen, der mit dem Wind aus südlichen Richtungen herantransportiert wird, hat ein höheres allergenes Potenzial als Pollen, der z. B. aus dem Norden Europas stammt.

Bei allen diesen Überlegungen dürfen wir auch nicht vergessen, dass sich viele Menschen zu 90 % ihrer Zeit in Räumen aufhalten. Hier wird der Klimaeffekt vollkommen überlagert von der Frage, wie lange sich jemand in einem bestimmten Raum aufhält und wie lange er diesen Raum lüftet. Unter Umständen beträgt die Konzentration an Pollen in einem Raum nur noch 10–15 % der Außenkonzentration (Menzel et al. 2016).

Auswirkungen des Klimawandels: Aktuelle Beispiele

Mit dem Klimawandel ändern sich auch die Erträge und damit die Preise in der Landwirtschaft. In trockenen und wärmeren Jahren verzeichnet die FAO z. B. Einbrüche bis 15 % bei der globalen Maisernte oder bei der Sojaernte in den USA (Matiu et al. 2017). Beim Mais sind es v. a. die trockenen Jahre, die die Erntemengen drücken.

In Bayern treten seit einigen Jahren in trockenen, schneearmen Wintern Waldbrände auf, z. B. im November 2011 am Sylvensteinspeicher, im Dezember 2015 am Kramer bei Garmisch-Partenkirchen und Silvester 2016 am Jochberg beim Kochelsee.

In Mittelfranken sehen wir seit dem heißen Sommer 2015 absterbende Kiefern. In einer Kooperation mit der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft untersuchen wir derzeit u. a. mithilfe einer Drohne, warum nun nach dem zweiten Jahrhundertsommer gerade an den Waldrändern die Kiefern absterben.

Weiter untersuchen wir gerade 7 Schmetterlingsarten in Süddeutschland: Wie ändert sich ihr Erscheinen als Imagines und wie ändern sich die Futter- und die Nektarpflanzen in Tagen pro Dekade und in Tagen pro °C? Eines der Ergebnisse ist, dass es trotz zahlreicher Verschiebungen offenbar nicht zu einem Mismatch, d. h. einer zeitlichen Entkopplung, kommt.

Fazit

Zusammenfassend könnte man die wichtigsten Punkte wie folgt darstellen:

- Der Klimawandel findet statt.
- Die Rolle der Treibhausgase ist unbestritten.
- Wir müssen uns an das veränderte Klima anpassen und gleichzeitig die Emission der Treibhausgase mindern.
- Deutschland/Bayern erwärmen sich stärker als das globale Mittel.
- Niederschlagsänderungen sind unsicher.
- Extremereignisse nehmen zu.
- Wir müssen uns an Hitzewellen, Dürren und Starkniederschlagsereignisse anpassen.
- Der Fußabdruck des Klimawandels in der Natur ist messbar.

Literatur

Bock, A., T. H. Sparks, N. Estrella & A. Menzel. 2013a. Climate-induced changes in grapevine yield and must sugar content in Franconia (Germany) between 1805 and 2010. – PLOS ONE, 8 (7): e69015; doi: 10.1371/journal.pone.0069015.

– 2013b. Changes in the timing of hay cutting in Germany do not keep pace with climate warming. – Global Change Biology, 19 (10): 3123–3132.

Bock, A., T. H. Sparks, N. Estrella, N. Jee, A. Casebow, C. Schunk, M. Leuchner & A. Menzel. 2014. Changes in first flowering dates and flowering duration of 232 plant species on the island of Guernsey. – Global Change Biology, 20 (11): 3508–3519.

CaraDonna, P. J., A. M. Iler & D. W. Inouye. 2014. Shifts in flowering phenology reshape a subalpine plant community. – Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 111 (13): 4916–4921.

Fiedler, W. 2017. Änderungen im Brut- und Zugverhalten bei Vögeln. – In: Bayer. Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Tierwelt im Wandel: Wanderung, Zuwanderung, Rückgang. Pfeil, München: 43–56.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. – In: Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC) [Parry, M. L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, C. E. Hanson & P. J. van der Linden (eds.)]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK. Deutsche Übersetzung durch ProClim, Österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007; www.de-ipcc.de/media/content/IPCC2007-WG2.pdf [zuletzt aufgerufen am 27.10.17].

– 2013. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. – In: Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim, Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, Bern/Wien/Bonn, 2014; www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/deutch/ar5-wg1-spm.pdf [zuletzt aufgerufen am 27.10.17].

– 2014a. Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Häufig gestellte Fragen und Antworten – Teil des Beitrags der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). – Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (Hrsg.). Deutsche Übersetzung durch die deutsche IPCC-Koordinierungsstelle und Klimabüro für Polargebiete und Meeresspiegelanstieg, Bonn, 2017; http://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC_AR5_WGI_FAQ_deutsch.pdf [zuletzt aufgerufen am 27.10.17].

– 2014b. Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). – Hauptautoren, Pachauri, R. K. & L. A. Meyer (Hrsg.). IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016, 145 S.; www.de-ipcc.de/media/content/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf [zuletzt aufgerufen am 27.10.17].

Jochner, S., M. Lüpke, J. Laube, I. Weichmeier, G. Pusch, C. Traidl-Hoffmann, C. Schmidt-Weber, J. T. M. Buters & A. Menzel. 2015. Seasonal variation of birch and grass pollen loads and allergen release at two sites in the German Alps. – Atmospheric Environment, 122: 83–93.

Keeling, C. D, J. F. S. Chin & T. P. Whorf. 1996. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO2 measurements. – Nature, 382 (6587): 146–149.

Latif, M. 2009. Klimawandel und Klimadynamik. – 1. Aufl., UTB, Stuttgart, 219 S.

Matiu et al. 2017 (in revision).

Menzel, A., T. H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, R. Ahas, K. Alm-Kuebler, P. Bissolli, O. Braslavská, A. Briede, F. M. Chmielewski, Z. Crepinsek, Y. Curnel, Å. Dahl, C. Defila, A. Donnelly, Y. Filella, K. Jatczak, F. Måge, A. Mestre, Ø. Nordli, J. Peñuelas, P. Pirinen, V. Remišova, H. Scheifinger, M. Striz, A. Susnik, A. J. H. van Vliet, F.-E. Wielgolaski, S. Zach & A. Zust. 2006. European

phenological response to climate change matches the warming pattern. – Global Change Biology, 12 (10): 1969–1976.
Menzel, A., M. Matiu, R. Michaelis & S. Jochner. 2016. Indoor birch pollen concentrations differ with ventilation scheme, room location and meteorological factors. – Indoor Air, 27 (3): 539–550.
Myneni, R. B., C. D. Keeling, C. J. Tucker, G. Asrar & R. R. Nemani. 1997. Increased plant growth in the northern latitudes from 1981 to 1991. – Nature, 386 (6626): 698–702.
PID (Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst). 2017. Pollenflugkalender für Deutschland. – www.pollenstiftung.de/pollenvorhersage/pollenflugkalender [zuletzt aufgerufen am 27.10.17].
Rosenzweig, C., D. Karoly, M. Vicarelli, P. Neofotis, Q. Wu, G. Casassa, A. Menzel, T. L. Root, N. Estrella, B. Seguin, P. Tryjanowski, C. Liu, S. Rawlins & A. Imeson. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. – Nature, 453 (7193): 353–357.
Walther, G.-R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. C. Beebee, J.-M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg & F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. – Nature, 416 (6879): 389–395.
Walther, G.-R., S. Berger & M. T. Sykes. 2005. An ecological 'footprint' of climate change. – Proceedings of the Royal Society B, 272 (1571): 1427–1432.
Ziello, C., A. Böck, N. Estrella, D. Ankerst & A. Menzel. 2012a. First flowering of wind-pollinated species with the greatest phenological advances in Europe. – Ecography, 35 (11): 1017–1023.
Ziello, C., T. H. Sparks, N. Estrella, J. Belmonte, K. C. Bergmann, E. Bucher, M. A. Brighetti, A. Damialis, M. Detandt, C. Galán, R. Gehrig, L. Grewling, A. M. Gutiérrez Bustillo, M. Hallsdóttir, M.-C. Kockhans-Bieda, C. De Linares, D. Myszkowska, A. Pàldy, A. Sánchez, M. Smith, M. Thibaudon, A. Travaglini, A. Uruska, R. M. Valencia-Barrera, D. Vokou, R. Wachter, L. A. de Weger & A. Menzel. 2012b. Changes to airborne pollen counts across Europe. – PLOS ONE, 7 (4): e34076; doi: 10.1371/journal.pone.0034076.

Diskussion

C. Fischer: Wie kann man sich die gestiegene Allergenität gegen Pollen erklären? Gibt es dazu Vorstellungen?

A. Menzel: Der Mensch ist ja nicht gegen den Pollen an sich allergisch, sondern gegen Proteine im Pollenkorn, z. B. gegen Bet v 1, das Hauptallergen bei Birkenpollen. Man weiß, dass beispielsweise in den Städten unter erhöhtem Ozon und erhöhten Stickoxiden die Allergenität, das heißt, die Menge an Allergenen im Pollenkorn, erhöht ist. Warum aber die Allergenität speziell bei den von Süden über die Alpen transportierten Pollenkörnern erhöht ist, wissen wir noch nicht.

M. Flür: Inwieweit trägt Ihrer Meinung nach die Massenproduktion von Fleisch zum Klimawandel bei? Amerikanische Wissenschaftler haben festgestellt, dass die Tierhaltung über den Flächenverbrauch (u. a. Abholzung von Regenwald), den Nährstoffeintrag und die Methanproduktion der Tiere zu dem Klimawandel beiträgt und dass der Verzehr von weniger Fleisch und Fisch eine Möglichkeit wäre, die Treibhausgasemissionen zu vermindern.

A. Menzel: Sie sprechen mit Ihrer Frage mehrere Aspekte an. Zum einen geht es um unsere Ernährung in der Zukunft unter geänderten klimatischen Bedingungen. Wenn immer mehr Menschen sich weltweit fleischlastig ernähren wollen, bringt die Produktion dieser Nahrung natürlich immense Probleme mit sich, beispielsweise in Bezug auf das Wasser. In Bezug auf die Treibhausgase ist es so, dass Lachgasemissionen viel mit der Düngung und Methanemissionen viel mit der agrarischen und tierischen Produktion zu tun haben. Das ist aber schon lange bekannt und diese Quellen werden auch entsprechend bei der Bewertung des anthropogenen Einflusses berücksichtigt.

J. H. Reichholf: In Bayern gibt es eine der ältesten Wetterwarten, auf dem Hohen Peißenberg. Bei der Vorbereitung des Rundgesprächs hatten wir eigentlich gehofft, dass Sie mehr zu den speziell bayerischen Veränderungen sagen, damit wir die Befunde, die für Mitteleuropa zusammengetragen worden sind, besser hätten einordnen können. Das habe ich jetzt vermisst.

A. Menzel: Dazu hätte ich gerne sprechen können, aber das Thema ist mir etwas anders kommuniziert worden. Das Observatorium auf dem Hohen Peißenberg besteht seit 1781, damals war es der Societas Meteorologica Palatina der Mannheimer Akademie zugeordnet. Auch aus dieser sehr langen Zeitreihe geht der Temperaturanstieg ganz klar hervor. In Bayern ist die Erwärmung stärker als der globale Durchschnitt. Es gibt eine saisonale Aufspaltung mit einer höheren Erwärmung im Winter und einer geringeren Änderung in den Übergangsjahreszeiten, vor allem im Herbst. Wir haben in Bayern auch Niederschlagsänderungen und sehr viele phänologische Änderungen zu verzeichnen. Daneben ist für Bayern der Höhengradient zwischen Unterfranken und der Zugspitze sehr wichtig. Hier sehen wir in den höheren Lagen eine stärkere Erwärmung, das heißt, die Alpen sind in besonderem Maße betroffen. Was in Zukunft in Bayern kritisch werden wird, ist der Niederschlag in ohnehin schon niederschlagsarmen Gebieten wie Unterfranken, wo wir weniger als 500 Millimeter Jahres- und sehr wenig Sommerniederschlag haben. Wenn es dort um ein bis zwei Grad wärmer wird, wird es zu Wasserknappheit und Dürren kommen.

W. Tanner: Könnten Sie kurz sagen, wie die von Ihnen eingangs gezeigte Kurve von dem globalen Temperaturanstieg [Abb. 2a, Seite 119] zustande kommt? Handelt es sich um Messungen an einzelnen Punkten und wenn ja, um wie viele und in welcher Höhe wird jeweils gemessen? Wie entsteht diese Kurve? Ich meine, auch schon Kurven gesehen zu haben, die diesen Temperaturanstieg nicht so deutlich oder gar nicht gezeigt haben.

A. Menzel: Die Kurve beginnt um etwa 1870, weil man sagt, ab dieser Zeit gibt es genügend Stationen für eine gute globale Abdeckung. Die ersten meteorologischen Instrumente hatte zwar schon Galileo Galilei konstruiert, 1611 das erste Thermometer, und es gibt vor 1870 eine ganze Reihe von Aufzeichnungen aus den alten Universitätsstädten wie Prag oder Uppsala. In die Kurve gehen Daten von Messstationen über dem ganzen Globus ein. Bei den Meerestemperaturen liegen zu Beginn der Kurve historische Messungen von Schiffen vor, wo die Meerestemperatur registriert wurde. Es gibt immer noch einzelne Gebiete, vor allem die polaren Regionen, von denen nicht genügend Daten vorliegen; diese Bereiche sind auf den Karten bzw. den einzelnen Produkten ausgeblendet und entsprechend mit weißen Flecken gekennzeichnet [vgl. Abb. 3, Seite 120].

W. Tanner: Wie viele Messpunkte sind größenordnungsmäßig in der Temperaturkurve enthalten?

A. Menzel: Die von mir gezeigte Kurve der Temperatur-Jahresmittelwerte stammt aus dem 5. Sachstandsbericht von 2013 des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), das 1988 im Auftrag von 130 Regierungen vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gegründet worden ist. Die genaue Anzahl der Messstationen pro Grid-Zelle müsste ich nachschlagen, es handelt sich größenordnungsmäßig um mehrere Tausende von Stationen.[1] Der Deutsche Wetterdienst betreibt allein schon etwa 1000 Stationen.

1 Vgl. dazu https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch1s1-3-2.html: "Despite the fact that many recent observations are automatic, the vast majority of data that go into global surface temperature calculations – over 400 million individual readings of thermometers at land stations and over 140 million individual *in situ* SST [sea surface temperature] observations – have depended on the dedication of tens of thousands of individuals for well over a century." [Zuletzt aufgerufen am 27.10.17].

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Rundgespräche Forum Ökologie (ab Band 44)

Jahr/Year: 2017

Band/Volume: 46

Autor(en)/Author(s): Menzel Annette

Artikel/Article: Der Klimawandel und sein Einfluss auf Tiere und Pflanzen 0117-0132-

Lizenz-CC-BY-ND