



# *Klimavorhersagen und Klimaprojektionen*

**Wie entstehen Aussagen über das  
zukünftige Klima?**

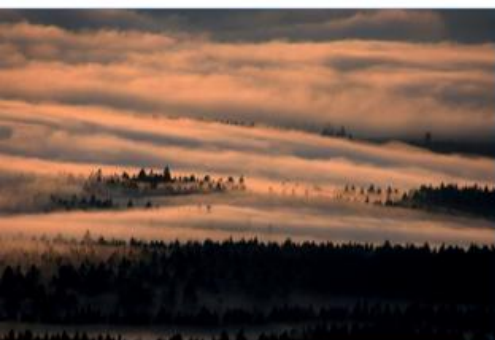




# Inhalt

---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Vorwort .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Einführung:</b>  |           |
| <b>Das Klimasystem und seine Variabilität .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>Klimawandel - Der Mensch als Klimafaktor .....</b>                                       | <b>8</b>  |
| <b>Klimamodellierung .....</b>  | <b>10</b> |
| <b>Klimavorhersagen und Klimaprojektionen .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>Ein Ausblick auf die Witterungsentwicklung der<br/>nächsten Wochen.....</b>              | <b>16</b> |
| <b>Jahreszeitevorschagen werden monatlich vom<br/>DWD veröffentlicht.....</b>               | <b>18</b> |
| <b>Der DWD beteiligt sich an der Entwicklung von<br/>dekadischen Klimavorhersagen .....</b> | <b>20</b> |
| <b>Klimaprojektionen durch den DWD .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>Ausblick.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>Impressum.....</b>   | <b>26</b> |







## Vorwort

*Liebe Leserinnen und Leser,*

*der Deutsche Wetterdienst stellt der Öffentlichkeit durch seine Aktivitäten auf dem Gebiet der Klimavorhersagen und Klimaprojektionen wichtige umwelt- und klimaschutzrelevante Informationen zur Verfügung. Mit der im Juli 2017 in Kraft getretenen Änderung des Gesetzes über den Deutschen Wetterdienst wird der Zugang sowohl zu meteorologischen als auch zu klimatologischen Daten und Diensten vereinfacht.*

*Um die Interpretationsmöglichkeiten zu beleuchten und den Umgang mit diesen Klimavorhersagen und Klimaprojektionen zu erläutern, hat die vorliegende Broschüre zum Ziel, dem/der am Thema Klima und Klimawandel Interessierten einen Überblick über die Grundprinzipien der Klimamodellierung sowie deren Anwendung auf Klimavorhersagen und Klimaprojektionen zu vermitteln.*

*Wie Sie beim Lesen unserer Broschüre feststellen werden, sind wichtige Themen im Bereich der Klimatologie derzeit noch Gegenstand intensiver Forschung und Entwicklung. Auf allen Zeitskalen – von Klimavorhersagen für die nächsten Wochen, Monate und Jahre bis zu den Klimaprojektionen für die nächsten Jahrzehnte und Jahrhunderte – sowie allen räumlichen Skalen – von globaler, über regionaler bis zu lokaler Auflösung – lässt sich die Qualität der aus den Klimasimulationen generierten Produkte und Vorhersagen durch eine Verbesserung des Prozessverständnisses steigern. Der DWD arbeitet deshalb mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen auf nationaler und internationaler Ebene zusammen, um sich den Herausforderungen einer stetigen Verbesserung der Vorhersagen und Projektionen und deren zugrunde liegenden Modellen zu stellen. Diese Anstrengungen dienen dem Ziel unsere Kunden mit Klimainformationen zu versorgen, die auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft beruhen.*

*Unser Ziel ist es, mit der hier vorliegenden Broschüre einen anschaulichen Beitrag zum Verständnis und dem Wissen über das Entstehen von Aussagen über das Klima der Zukunft und über die Aktivitäten des DWD in diesem Bereich zu leisten.*

Dr. Paul Becker

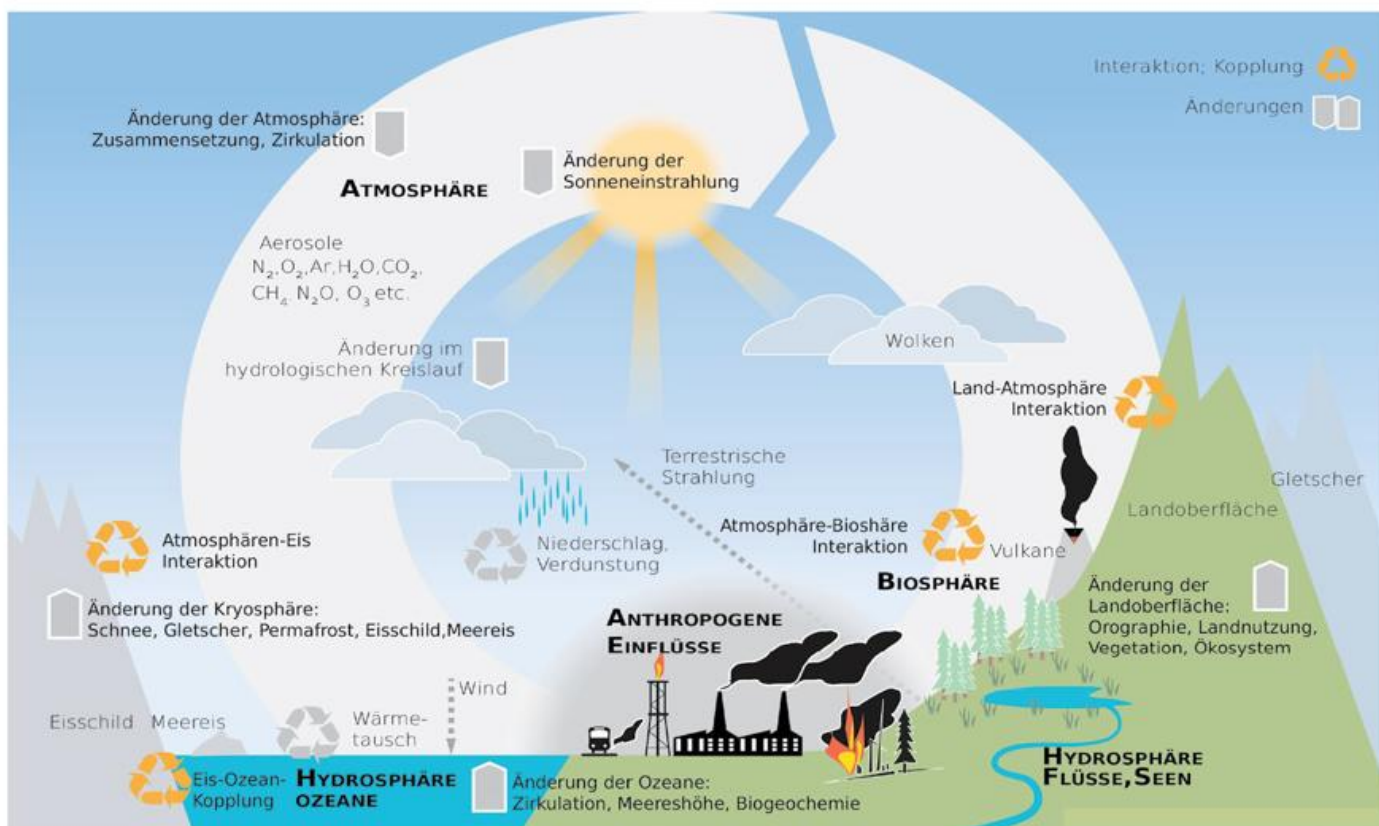
Vizepräsident des Deutschen Wetterdienstes

## Einführung: Das Klimasystem und seine Variabilität

*Der DWD definiert das Klima als eine Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen hinreichend langen Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren. Es gibt vielfältige Wechselwirkungen zwischen der Atmosphäre und der Hydrosphäre (Ozeane, Flüsse, Seen), der Biosphäre (Fauna, Flora), der Lithosphäre (feste, unbelebte Erde) und der Kryosphäre (Eis, Gletscher, Permafrost). Die Gesamtheit dieser Komponenten wird Klimasystem genannt.*

lie den  
bestimmen  
ge  
Seen ),  
äre (Eis ,  
nt .





▲ Komponenten des Klimasystems

Der Hauptantrieb des Klimasystems der Erde ist Energie in Form von Sonneneinstrahlung. Der Beitrag von Wärme aus dem Inneren der Erde kann gegenüber der durch Sonneneinstrahlung bedingten Wärme vernachlässigt werden. Die Sonnenenergie setzt Bewegungen in Atmosphäre und Ozean in Gang und liefert die Existenzgrundlage der Biosphäre. Diese beeinflusst wiederum die Strahlungs- und Bewegungsvorgänge in Atmosphäre und Ozean. Somit sind die einzelnen Komponenten des Klimasystems untereinander gekoppelt. Dadurch kommt es zu Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten, die weitere Reaktionen auf unterschiedlichen Zeitskalen auslösen.

Das Klima der Erde verändert sich im Laufe der Zeit aufgrund der inneren Dynamik des Klimasystems sowie der Einflüsse durch externe Faktoren. Die untere Atmosphäre reagiert sehr schnell, in einem Zeitraum von Minuten bis Tagen auf Veränderungen und weist die größte Variabilität auf. Der trägere tiefe Ozean hingegen, die Eisschilde und der Boden tragen zu den langen Zeitskalen des Klimasystems bei, da sie Reaktionszeiten von Jahrhunderten bis Jahrtausenden aufweisen.

Im Gegensatz zur Klimaänderung beinhaltet die Klimavariabilität Schwankungen um mittlere klimatische Zustände auf unterschiedlichen Zeitskalen. Neben den kurzfristigen Reaktionen des Klimasystems, wie z.B. Tages- und Jahresgang, gibt es Schwankungen mit längeren Perioden. Prominentestes Beispiel hierfür ist ein Phänomen im tropischen Pazifik, das unter dem Namen ENSO (El Niño Southern Oscillation) bekannt ist. ENSO basiert auf einer starken Ozean-Atmosphärenkopplung. Hier verändern sich alle 2 bis 10 Jahre die Windverhältnisse und die Meeresströmungen im tropischen Pazifik so stark, dass dies erhebliche Auswirkungen auf das Niederschlagsverhalten in angrenzenden und entfernteren Regionen hat. Als El Niño und La Niña werden in diesem Zusammenhang extreme, einander entgegengesetzte Ereignisse bezeichnet.

Das Klimasystem ist ein offenes System. Das bedeutet, es wird auch von externen Faktoren beeinflusst, wie z.B. von Vulkanausbrüchen, Schwankungen der Sonnenaktivität und Änderungen der Erdbahnparameter. Hinzu kommen die vom Menschen verursachten Eingriffe in die Zusammensetzung der Atmosphäre und Landnutzung.

# Klimawandel – Der Mensch als Klimafaktor

*Klimaänderungen können auf natürliche sowie auf menschliche Einflüsse zurückgeführt werden. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts haben sich die oberflächennahen Luftschichten der Kontinente und Ozeane der Erde deutlich erwärmt. Der Klimawandel zeigt sich unter anderem in der Zunahme von heißen Temperaturextremen, dem stetigen Anstieg des Meeresspiegels und der veränderten Häufigkeit von extremen Niederschlägen in den letzten Jahrzehnten in einigen Regionen. Anthropogene Aktivitäten gelten als Hauptursache. Wesentlich ist dabei vor allem der von Menschen verursachte Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen seit der vorindustriellen Zeit durch verstärkte Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)- und andere Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalten. Ferner haben Veränderungen in der Landnutzung, z.B. durch Abholzung und Versiegelung, einen bedeutsamen Einfluss auf das Klima.*

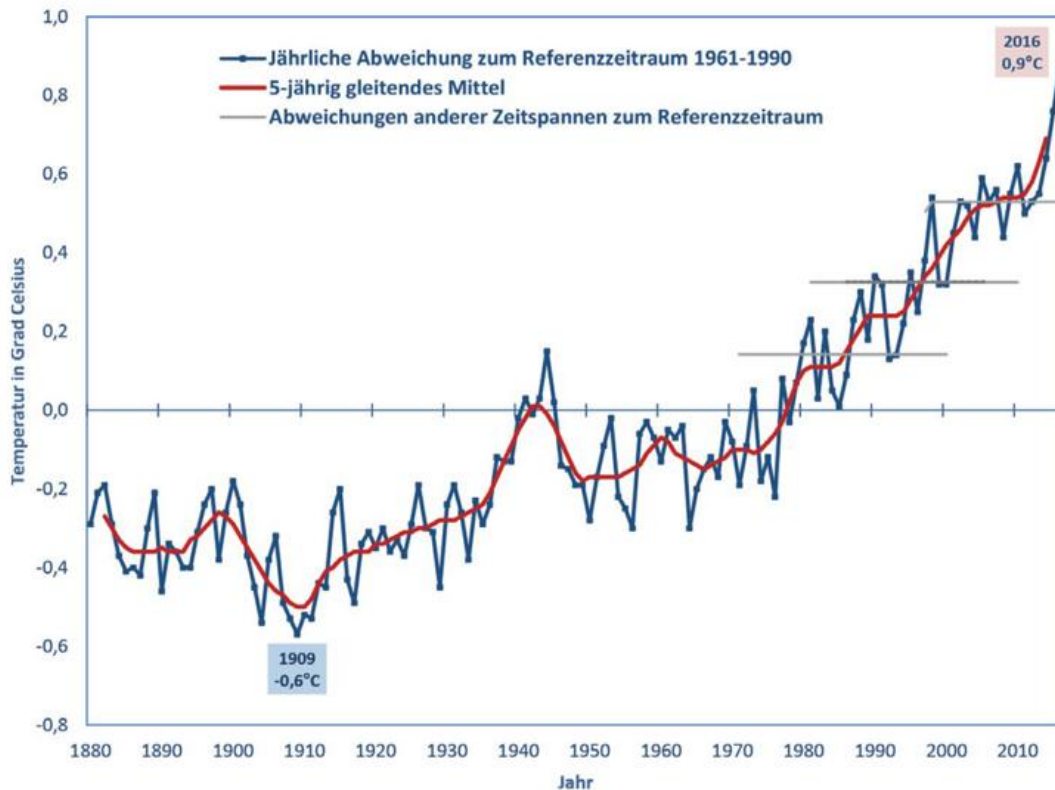
Das Klima wird durch statistische Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerwerte u.a.) über einen genügend langen Zeitraum beschrieben. Im allgemeinen werden Zeiträume von 30 Jahren zugrunde gelegt. Die Frage, wie sich Temperaturen und Niederschläge in Relation zu einer bestimmten Referenzperiode ändern, ist von zentraler Bedeutung. Die Referenzperiode 1961-1990 wird zur Zeit als Standard für langfristige Vergleiche zur Bewertung des Klimawandels genutzt. Ergeben sich durch den Vergleich mit neueren Messdaten eindeutige Unterschiede, ist von Klimaänderungen bzw. einem Klimawandel auszugehen.

Zur Abschätzung des Klimatrends in den nächsten Jahrzehnten und Jahrhunderten wurden Szenarien entwickelt, die den Einfluss des Menschen und mögliche Entwicklungen der Treibhausgaskonzentrationen berücksichtigen.

Zum Beispiel beschreibt das **Weiter-wie-bisher-Szenario** eine Welt, in der die Energieversorgung im Wesentlichen auf der Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte beruht. Ein anderes Szenario wird als **Klimaschutz-Szenario** bezeichnet, da unter dessen Annahmen, die globale Erwärmung bis 2100 auf unter 2 Grad Celsius (°C) gegenüber dem vorindustriellen Niveau beschränkt werden kann (weitere Erläuterungen S. 14).

Abhängig vom Ausmaß der Erderwärmung verändert sich die gesamte atmosphärische Zirkulation. Das wiederum führt zu Veränderungen der Niederschlagsverteilung und einem erwarteten vermehrten Auftreten von Wirbelstürmen. Abschmelzende Eismassen von Gletschern und den Polkappen führen zu einem Anstieg des Meeresspiegels. Vegetationszonen verschieben sich. Nach Beobachtungen schreitet die Erwärmung in der Arktis schneller voran als in anderen Regionen. Wenn Meereis schwindet, erhitzt sich die Atmosphäre stärker, da weniger (helle) Eisflächen das Sonnenlicht zurückwerfen und an deren Stelle dunklere Meeresoberflächen treten. Dadurch wird mehr Sonnenlicht absorbiert.

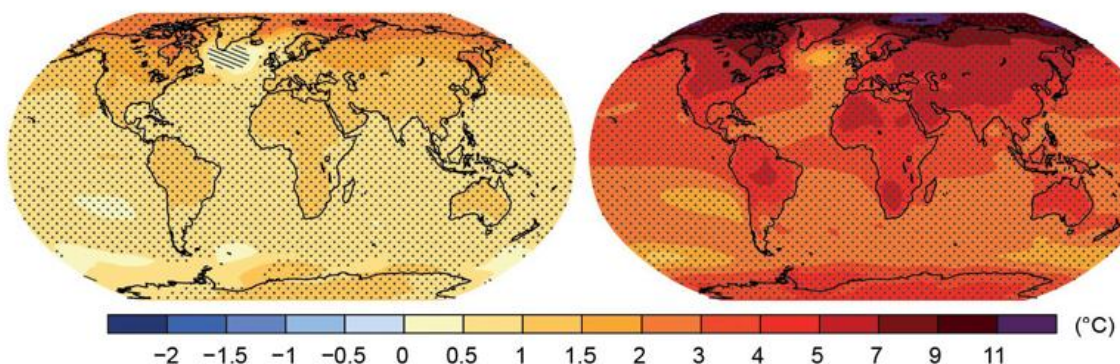




▲ Verlauf der globalen Jahresmitteltemperatur für den Zeitraum 1880 bis 2016 im Vergleich zum langzeitlichen Mittel des Referenzzeitraums 1961-1990. Dargestellt sind auch Abweichungen zu diesem Referenzzeitraum für verschiedene Zeitspannen, die an anderer Stelle in dieser Publikation Erwähnung finden. Quelle der Daten: NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS).

Die globale Durchschnittstemperatur lag 2016 um 0,9 °C über dem Wert des Referenzzeitraums 1961-1990. Die Jahre 2014, 2015 und 2016 waren die wärmsten seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen. Insgesamt war jedes der letzten drei Jahrzehnte wärmer als jedes beliebige vorangegangene Jahrzehnt seit Beginn der Messungen.

Die Ergebnisse von Klimaprojektionen im Fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats (IPCC) zeigen einen weiteren Anstieg der mittleren Temperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts für alle Regionen. Es wird mit einer globalen mittleren Temperaturänderung von 1°C für den Zeitraum 2081-2100 gegenüber dem Zeitraum 1986-2005 auf Basis des Klimaschutzszenarios und von 3,7°C auf Basis des Weiterwieser-Szenarios gerechnet.

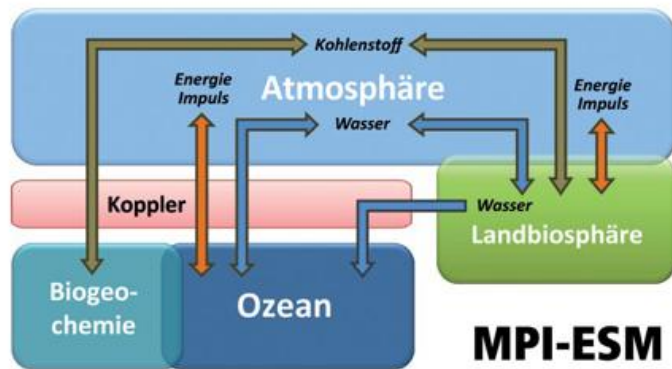


▲ Mittlere Temperaturänderung für den Zeitraum 2081-2100 auf der Basis des Klimaschutz-Szenarios (RCP2.6, links) und des Weiterwieser-Szenarios (RCP8.5, rechts). Dargestellt ist der Unterschied zum Zeitraum 1986-2005. Die Schraffur zeigt Regionen, in denen der Änderungswert kleiner ist als die natürliche Klimavariabilität. Gepunktete Regionen kennzeichnen Änderungswerte, die die natürliche Klimavariabilität übersteigen. Quelle: 5. IPCC-Sachstandsbericht 2013 der Arbeitsgruppe I, Abbildung SPM.8.

# Klimamodellierung

Für die Betrachtung des zukünftigen Klimas wurden anfangs häufig Beobachtungswerte aus der Vergangenheit verwendet und diese für die Zukunft fortgeschrieben. Durch die sich derzeit vollziehende Klimaänderung ist eine derartige Vorgehensweise jedoch nicht mehr möglich. Für Klimavorhersagen und Klimaprojektionen werden daher seit den 1960er Jahren Klimamodelle genutzt.

## Globale und regionale Klimamodelle

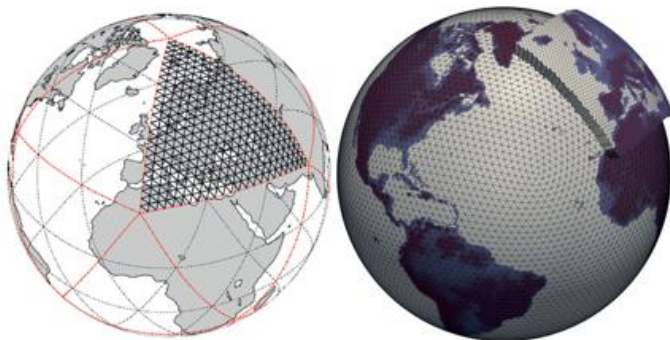


▲ Das Erdsystemmodell des Max-Planck-Instituts (MPI-ESM) koppelt Atmosphäre, Ozean und Landoberfläche durch den Austausch von Energie, Impuls, Wasser und wichtigen Spurengasen wie Kohlendioxid. Es wurde für die Modellvergleichsrechnungen im Rahmen von CMIP5 eingesetzt, die als deutscher Beitrag in den fünften Weltklimastatusbericht des IPCC einfließen. Quelle: DKRZ

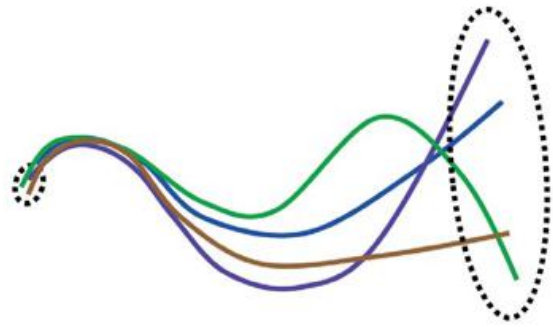
Aussagen über das weltweite Klima der Zukunft können durch globale Klimamodelle (Zirkulationsmodelle - GCMs: Global Circulation Models oder auch Erdsystemmodelle - ESMs: Earth System Models) getroffen werden. In den Anfängen der Klimamodellierung der 1960er Jahre wurden stark vereinfachte Modelle der Dynamik von Atmosphäre und Ozean entwickelt. Mit der rasanten Entwicklung im Bereich der Hochleistungsrechner und dem zunehmenden Verständnis des Klimasystems und seiner Wechselwirkungen nahm auch die Komplexität der Klimamodelle zu. Mittlerweile umfassen globale Klimamodelle neben Atmosphäre und Ozean auch Hydrosphäre, Biosphäre und Kryosphäre.

Klimamodelle basieren auf bekannten physikalischen Gleichungen zur Impuls-, Energie- und Massenerhaltung. Diese Gleichungen werden zunächst so vereinfacht, dass sie für diskrete Gitterpunkte gültig sind. Das Klimasystem wird mit einer großen Anzahl solcher Gitterpunkte überzogen, um alle drei Raumdimensionen einzubeziehen. Der Abstand der Gitterpunkte zueinander bestimmt die räumliche Auflösung des Klimamodells.

Wegen der Vielzahl an Gitterpunkten werden die Gleichungen mit Hilfe von Supercomputern für jeden Gitterpunkt des globalen Gitternetzes gelöst. Für Prozesse, die durch die Modellauflösung nicht abgebildet werden können (z.B. bestimmte Wellen, Turbulenz oder Konvektion) müssen Annahmen gemacht werden. Das geschieht oft mit Hilfe von Messungen, aus denen empirische Zusammenhänge abgeleitet werden. Diese Vorgehensweise wird Parametrisierung genannt, also eine Annäherung an reale Prozesse, die das Klimamodell mit den diskretisierten Gleichungen allein nicht darstellen kann.



▲ ICON (ICOSahedral Nonhydrostatic modelling framework): Das vom Deutschen Wetterdienst und dem Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelte Modell berechnet Wetterprognosen und soll zukünftig auch für Klimaprognosen Anwendung finden. Die Abbildung zeigt das ICON Gitter mit Gitterverfeinerung über Europa.



Die Auflösung globaler Klimamodelle (mit Gitterabständen von derzeit mehr als 100 km) reicht noch nicht aus, um die Unterschiede in den Ausprägungen des Klimawandels einer Region der Erde (z.B. Europa, Deutschland) detailliert zu beschreiben. Hierfür werden regionale Klimamodelle (RCMs; Regional Climate Models) mit einem viel engmaschigeren Netz von Gitterpunkten eingesetzt. Es gibt eine Reihe verschiedener regionaler Klimamodelle, die alle mit den Ergebnissen der globalen Klimamodelle angetrieben werden. In den regionalen Modellen kann die Gitterweite bis auf horizontale Abstände von 1-20 km verringert werden, wodurch mehr Prozesse direkt von den, dem Modell zugrunde liegenden, Gleichungen abgebildet und weniger Prozesse parametrisiert werden müssen. Ein anderer Ansatz verwendet auf beobachtete Zeitreihen basierende statistische Methoden zur räumlichen Verfeinerung der Information und wird daher als empirisch-statistisches Downscaling (ESD) bezeichnet.

Klimamodelle sind im Gegensatz zum natürlichen Klimasystem geschlossene Systeme. Sie können nur Zusammenhänge und Wechselwirkungen von Komponenten darstellen, die in den Modellen abgebildet sind.

### Ensemblebetrachtungen

Um die Unsicherheiten abzuschätzen, die durch das chaotische Verhalten des Klimasystems und die in Modellen nicht, nicht ausreichend oder fehlerhaft beschriebenen Prozesse entstehen, werden heute in vielen Anwendungen Ensemblerechnungen durchgeführt. Dies bedeutet, dass Klimasimulationen für den gleichen Zeitraum mit leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen oder modifizierten Modellparametern mehrmals berechnet werden und somit eine Lösungsvielfalt entsteht. Mit einem einzelnen Modell bekommt man dadurch verschiedene Realisierungen, so dass die Bandbreite der Ergebnisse analysiert werden kann. Durch die Auswertung eines solchen Ensembles von Klimasimulationen können also Aussagen über die Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen des Klimasystems getroffen werden.

Um auch die Unterschiede zwischen verschiedenen Modellen bzw. Modellketten berücksichtigen zu können, verwendet man sogenannte Multi-Modell-Ensemble. Dabei ist wichtig, möglichst viele verschiedene Modelle miteinander zu vergleichen, um die durch unterschiedliche Modellentwicklungen bestehende Bandbreite bestimmen und abdecken zu können.

Auch bei der Auswertung von Ensembles muss bedacht werden, dass nie sämtliche Einflüsse und Unsicherheiten innerhalb des Klimasystems berücksichtigt werden können. Ebenso kann sich die Bandbreite angenommener Voraussetzungen (wie zum Beispiel Emissionsszenarien) als nicht ausreichend herausstellen. Die aus der Analyse von Ensembles resultierenden Änderungen müssen daher immer als Teilmenge der in der Natur möglichen Veränderungen interpretiert werden.



▲ Ein Beispiel für ein dynamisches regionales Klimamodell ist das COSMO (CONsortium for Small-scale MOdelling)-CLM bzw. CCLM Modell, das aus dem Wettervorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes entwickelt und durch eine internationale Gemeinschaft von Wissenschaftlern der CLM (Climate Limited-area Modelling)-Community verwendet und weiterentwickelt wird (<http://www.clim-community.eu>). Quelle: DKRZ



# Klimavorhersagen und Klimaprojektionen

*Klimavorhersagen leiten aus dem vergangenen und aktuellen Zustand der Atmosphäre die Entwicklung des Klimas in der Zukunft für Zeiträume von mehreren Wochen, Jahreszeiten bis zu Dekaden (10-Jahres-Zeiträumen) ab. Wie bei einer Wettervorhersage ist bei einer Klimavorhersage die Kenntnis des aktuellen Zustandes des Klimasystems als Ausgangsbedingung essentiell. Für eine Klimaprojektion ist der Anfangszustand der Atmosphäre nicht entscheidend. Vielmehr werden die Wirkungen auf das zukünftige Klima über mehrere Dekaden bis zu mehr als 100 Jahre umfassende Zeiträume anhand angenommener Vorgaben („Szenarien“) berechnet.*

## **Klimavorhersagen für einige Wochen bis mehrere Jahre**

Wettervorhersagen können die meteorologischen Ereignisse der nächsten Tage sehr detailgenau beschreiben. Vorhersagen, die über die nächsten Tage hinausgehen, sind durch wachsende Unsicherheiten gekennzeichnet. Dies ist zu einem wesentlichen Teil auf das chaotische Verhalten der Atmosphäre zurückzuführen.

Da der errechnete zukünftige Zustand der Atmosphäre stark von den Anfangsbedingungen abhängig ist, werden diese in der Vorhersagemodellrechnung berücksichtigt. Für bestimmte Wettersituationen können schon geringe Abweichungen von diesen Anfangsbedingungen zu ganz verschiedenen Wetterentwicklungen in der Zukunft führen.

Im Rahmen von Klimavorhersagen können dennoch Abschätzungen über Klimatrends des kommenden Monats, der kommenden Jahreszeiten oder des kommenden Jahrzehnts getroffen werden.

Dies wird dadurch ermöglicht, dass neben der Atmosphäre auch andere Komponenten des Klimasystems mit sogenanntem „langem Gedächtnis“ in den Modellrechnungen berücksichtigt werden. Das sind vor allem der Ozean und das Meereis. Der Begriff „langes Gedächtnis“ bezieht sich dabei auf die Trägheit, mit der das System auf Änderungen reagiert. Zum Beispiel wirkt der Einfluss von Sonne, Wind und Regen auf den Ozean viel länger nach und wird zu einem anderen Zeitpunkt und Ort an die Atmosphäre zurückgegeben.



► Beispielhafte Darstellung des chaotischen Verhaltens in der Atmosphäre. Bei nur geringen Verschiebungen der Startposition resultieren sehr unterschiedliche Lösungen des Gleichungssystems: Beim Start innerhalb der Ellipse links oben bewegen sich alle Resultate in einem eng begrenzten Gebiet rechts oben (linke Abbildung). Liegt der Startwert nur etwas verschoben, ist eine größere Bandbreite an Ergebnissen möglich (mittlere Abbildung). Ganz unvorhersehbar wird das Ergebnis, wenn der Startwert relativ zentral liegt (rechte Abbildung).



Quelle: Buizza, R.: Chaos and Weather Prediction. ECMWF, 2002.

Die Komponenten mit „langem Gedächtnis“ geben dem Wetterchaos auf längeren Zeitskalen eine Struktur. Eben solche Strukturen wollen Klima-Vorhersagemodelle prognostizieren.

Grundsätzlich werden umfangreiche Klimavorhersagen für vergangene Zeiträume, sogenannte Nachhersagen, benötigt, um auf deren Basis Aussagen über das Klimaverhalten des Modells und seiner Fehler treffen zu können und um daraus Trends für die Zukunft abzuleiten.

Eine Klimavorhersage startet mit allen für das Klimasystem vorliegenden Informationen. Dazu werden alle weltweit verfügbaren Beobachtungsdaten in das Klimamodell eingespeist (assimiliert) und zahlreiche Modell-Simulationen unter leicht veränderten Be-

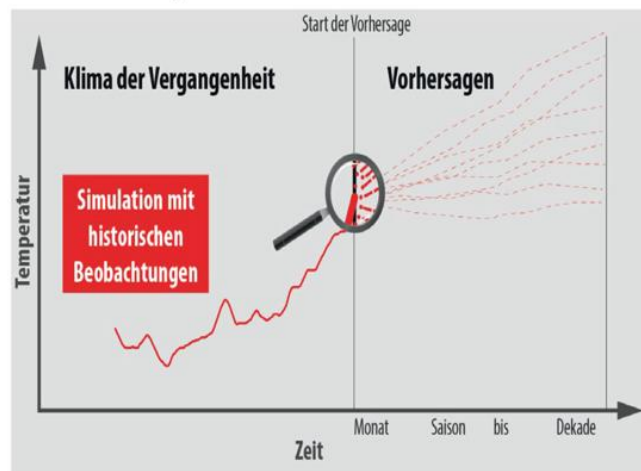
dingungen durchgeführt. Solch ein Ensemble von Vorhersagen wird zur Bestimmung der Bandbreite und Wahrscheinlichkeit von klimatischen Ereignissen herangezogen.

Die Monats-, Jahreszeiten- oder dekadischen Vorhersagen geben Wahrscheinlichkeiten an, ob und wie stark die entsprechenden zukünftigen Zeiträume wärmer/kälter oder auch trockener/feuchter als im langzeitlichen Mittel eines zeitnahen Bezugszeitraums erwartet werden. Der Bezugszeitraum zur Berechnung von solchen Anomalien umfasst in der Regel die Jahre 1981 bis 2010. Für Monatsvorhersagen wird das gleitende Mittel der letzten 20 Jahre betrachtet.

ein Ensemble der Bandbreite schen Ereignissen

er dekadischen an, ob undünftigen Zeiträume feuchter als Bezugszeitraums itraum zur Be umfasst in der itsvorhersagen 10 Jahre betrachtet

## Klimavorhersagen



► Schematische Darstellung zur Klimavorhersage: Der Startpunkt im Klimavorhersagemodell ist vom Verlauf des Klimas in der Vergangenheit abhängig. Verschieden ausgeprägte Anfangsbedingungen (siehe Lupe), die zu unterschiedlichen Modellverläufen für Zeiträume in der Zukunft führen, werden berücksichtigt und führen zu einem Vorhersage-Ensemble. Die Auswertung des Ensembles ermöglicht Aussagen über die Bandbreite und Wahrscheinlichkeit von klimatischen Ereignissen.

ersagen



### **Klimaprojektionen für mehrere Jahrzehnte bis Jahrhunderte**

Im Vergleich zu Klimavorhersagen sind Klimaprojektionen nur noch unwesentlich vom Anfangszustand abhängig. Einen weit größeren Einfluss haben die Randbedingungen. Darunter versteht man externe Einflussfaktoren. Neben natürlichen Einflussgrößen wie z.B. Schwankungen der Solarkonstante und Vulkanausbrüchen spielen die anthropogenen Eingriffe in das Klimasystem wie die Emission von Treibhausgasen und die Veränderung der Landnutzung eine wichtige Rolle.

Für Klimaprojektionen werden die für die kommenden Jahrzehnte und Jahrhunderte zu erwartenden Änderungen in Form von Szenarien abgeschätzt. Für die

getroffenen Annahmen liefert eine Klimaprojektion Informationen über den zukünftigen Zustand des Klimasystems.

Bei den verwendeten Szenarien handelt es sich um sogenannte repräsentative Konzentrations-Pfade (RCPs: Representative Concentration Pathways), welche sehr unterschiedliche sozio-ökonomische Entwicklungen und, damit verbunden, unterschiedliche Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt der Erde bzw. deren Energiehaushalt repräsentieren. Diese werden auf unterschiedliche zukünftige Änderungen der Treibhausgasemissionen zurückgeführt.

Aktuell stehen 4 Szenarien bis zum Jahr 2100 im Fokus, die während der Vorbereitungen auf den 5. Sachstandsbericht des IPCC entwickelt wurden: RCP2.6 (Klimaschutz-Szenario), RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 (Weiter-wie-bisher-Szenario). Sie bilden die Grundlage zur Abschätzung der Bandbreite zukünftiger Klimaänderungen.

Die Ziffern in den Szenariennamen repräsentieren den unter den jeweiligen Annahmen zu erwartenden zusätzlichen Strahlungsantrieb am Ende des 21. Jahrhunderts, also die dem Klimasystem zusätzlich zugeführte Energie (z.B. 8,5 W/m<sup>2</sup> (Watt pro Quadratmeter) im RCP8.5 im Jahr 2100 gegenüber den Jahren 1861-1880).

Weltweit werden Klimaprojektionen im Rahmen von CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) koordiniert und erzeugt. CMIP ist ein Projekt des globalen Klimaforschungsprogramms WCRP (World Climate Research Programme).

Um eine Einschätzung der Verlässlichkeit eines Klimamodells zu bekommen, ist es nötig, Zeiträume in der Vergangenheit zu simulieren, in welchen möglichst umfassend Beobachtungsdaten vorliegen. Kriterien zur Evaluierung sind unter anderen die zufriedenstellende Wiedergabe des Mittelwertes über den Untersuchungszeitraum, der Häufigkeitsverteilung der Werte, der Minimal- und Maximalwerte (Größenordnung und Häufigkeit des zeitlichen Auftretens) oder des Jahresganges, des räumlichen Musters und des Änderungssignals im Untersuchungszeitraum. Darüber hinaus ist wesentlich, ob ein Klimamodell in der Lage ist, die sogenannte Klimasensitivität realistisch zu reproduzieren. Unter Klimasensitivität versteht man in der Regel die Erwärmung der Atmosphäre in Folge einer Verdopplung der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre.

## Klimaprojektionen



▲ Schematische Darstellung zur Klimaprojektion: Die schwarze Linie beschreibt die natürliche Klimaschwankung eines Modells (GCM) im Gleichgewicht. Das ist der sogenannte Kontrolllauf ohne externe Einflussfaktoren. Die schwarzen Punkte repräsentieren unterschiedliche Klimazustände, die als Startzeitpunkte für die historischen Läufe verwendet werden. Ab diesen Startpunkten wird das Gleichgewicht des Klimasystems durch Veränderung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre gestört. Die unterschiedlichen Anfangsbedingungen führen zu unterschiedlichen Realisierungen, die verschiedene zukünftige Klimaentwicklungen innerhalb eines Szenarios repräsentieren sollen. Typischerweise liegen zwischen den Startpunkten etwa 50 Jahre.

# Ein Ausblick auf die Witterungsentwicklung der nächsten Wochen

*Auf Grund des chaotischen Verhaltens der Atmosphäre lassen sich über einen Zeitraum von mehr als etwa 14 Tagen keine belastbaren Wettervorhersagen durchführen. Jedoch sind Trendvorhersagen möglich, bei denen ein Ensemble von Vorhersagen mit jeweils leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen entwickelt und mit Hilfe statistischer Analysen ausgewertet wird.*

## **DWD-Aktivitäten im Bereich der Monatsvorhersage**

Monatliche Vorhersagen schließen die Lücke zwischen der mittelfristigen Wettervorhersage bis zu einem Zeitraum von 14 Tagen und der Jahreszeitenvorhersage.

Im Rahmen von monatlichen Vorhersagen lassen sich Eintrittswahrscheinlichkeiten von Über- bzw. Unterschreitungen bestimmter Schwellenwerte der Temperatur, des Niederschlags und des Windes berechnen. Damit können generelle Tendaussagen getroffen werden.

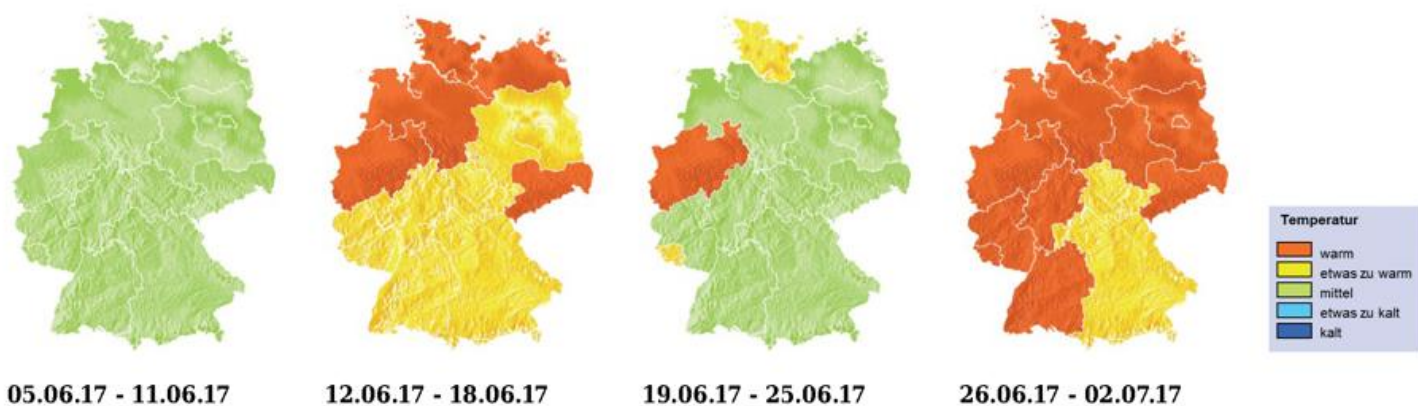
Die vom DWD erstellten Prognosen basieren auf dem monatlichen Vorhersagesystem des Europäischen Zentrums für Mittelfristige Wettervorhersagen (EZMW, englisch: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF). Das EZMW wird von 34 Staaten gemeinsam getragen, um die notwendigen Ressourcen für die aufwendigen Simulationen zu bündeln.



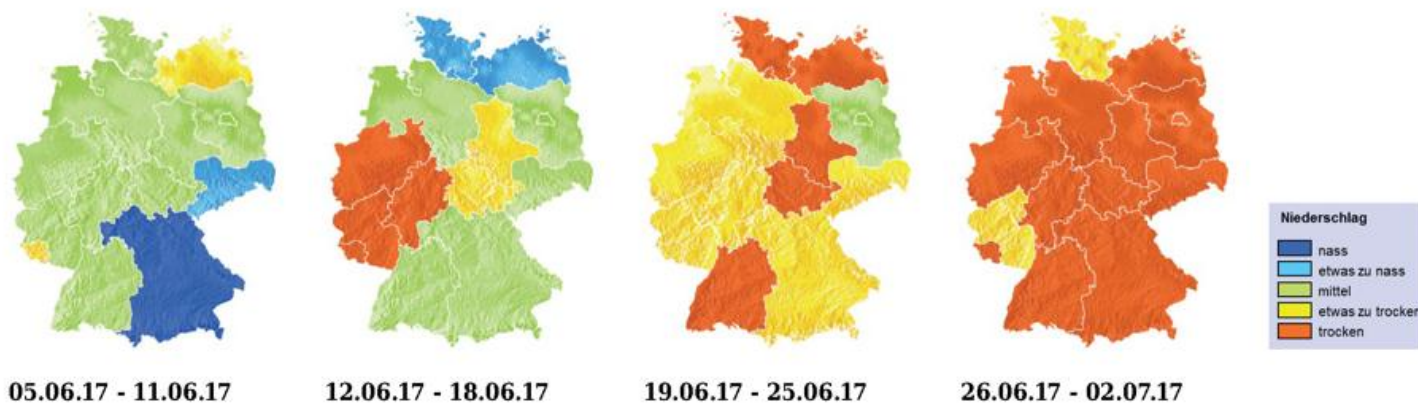
## Ergebnisse

Bei der 4-Wochen-Trendvorhersage des DWD werden Abweichungen zu einem Referenzklima (Temperatur, Niederschlag, Wind) der letzten 20 Jahre für 13 Regionen in Deutschland (Bundesländer) als wöchentlich gemittelter Ausblick auf die folgenden vier Wochen erstellt.

Es handelt sich um eine lokale Auswertung der wöchentlichen Prognosen der 51 Modellläufe des IFS Ensembles des EZMW (IFS -Integrated Forecasting System - heißt das am EZMW genutzte Modell).



▲ *Wahrscheinlichste Temperaturklasse. Die Prognose zeigt für die erste und dritte Woche in Deutschland überwiegend normale Bedingungen. In der zweiten Woche und zum Ende des Vorsagezeitraums ist überall mit einer höheren Temperatur gegenüber dem langjährigen Mittel des Bezugszeitraums 1997-2016 zu rechnen.*



▲ *Wahrscheinlichste Niederschlagsklasse. Die Modellergebnisse zeigen für Deutschland insgesamt keinen einheitlichen Trend, aber einen Wechsel von überwiegend mittleren bis nassen Bedingungen in der ersten Woche allmählich hin zu überwiegend trockener Witterung in der vierten Woche.*

# Jahreszeitenvorhersagen werden monatlich vom DWD veröffentlicht



Für die Vorhersage der kommenden Jahreszeiten sind verschiedene Komponenten des Klimasystems von Relevanz: **hohe Luftschichten**, die über der wetteraktiven Schicht, der Troposphäre liegen, der **Boden**, der Wärme, Wasser und Eis aufnimmt und abgibt, auf dem sich Vegetation entwickelt und wieder zurückgeht, das **Meereis**, dessen Ausdehnung auf das Wettergeschehen in den polaren und subpolaren Regionen wirkt und vor allem der **Ozean**, der auf langen Zeitskalen Wärme transportiert und abgibt. Aus diesem Zusammenspiel ergeben sich großräumige Klimaschwankungen, wie das El Niño Phänomen, der Monsunregen oder die auf das Europäische Wetter einwirkende Nordatlantische Oszillation (NAO). Die Qualität der Jahreszeitenvorhersage basiert deshalb darauf, wie gut das zugrunde liegende Klimamodell diese Klimaschwankungen erfasst.

## DWD-Aktivitäten im Bereich der Jahreszeitenvorhersage

Jahreszeitenvorhersagen sind Gegenstand intensiver Forschung und Weiterentwicklung. Für einige Regionen der Welt können sie jedoch schon heute die Grundlage für Entscheidungen liefern.

Der Deutsche Wetterdienst ermöglicht mit der Bereitstellung saisonaler Vorhersagen eine frühzeitige

Planung von Maßnahmen und Anpassung an relevante Klimaereignisse, wie z.B. Hitzewellen oder Dürren, besonders im Falle bevorstehender extremer Wetterereignisse. Diese Vorhersagen werden, monatlich aktualisiert, auf der Webseite des DWD ([www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage](http://www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage)) veröffentlicht.



◀ Gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) und der Universität Hamburg (UHH) entwickelt und betreibt der Deutsche Wetterdienst ein System zur Jahreszeitenvorhersage, das GCFS (German Climate Forecast System). Damit werden im Routinebetrieb globale Jahreszeitenvorhersagen erstellt und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Die Grundlage dafür bildet das Erdsystem-Modell des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-ESM). Das Ensemble für die Jahreszeitenvorhersage mit GCFS soll zukünftig in ein internationales Multi-Modell-Ensemble für Jahreszeitenprognosen im Rahmen des am EZMW eingerichteten Copernicus-Klimawandeldienstes eingebunden werden. Dadurch wird es möglich sein, das GCFS Ensemble von Jahreszeitenvorhersagen um die Anzahl der Mitglieder in internationalen Vorhersagen zu vergrößern und statistisch robustere Aussagen über die künftige Entwicklung abzuleiten. Der Copernicus Klimawandeldienst versteht sich als europäischer Beitrag zur WMO-Initiative „Global Framework for Climate Services“ (GFCS).

## Ergebnisse

Saisonale Vorhersagen für bestimmte Regionen wie z.B. Europa bzw. Deutschland weisen noch viele Unsicherheiten auf, die von verschiedenen Klimasystemkomponenten und deren komplexen Wechselwirkungen hervorgerufen werden.

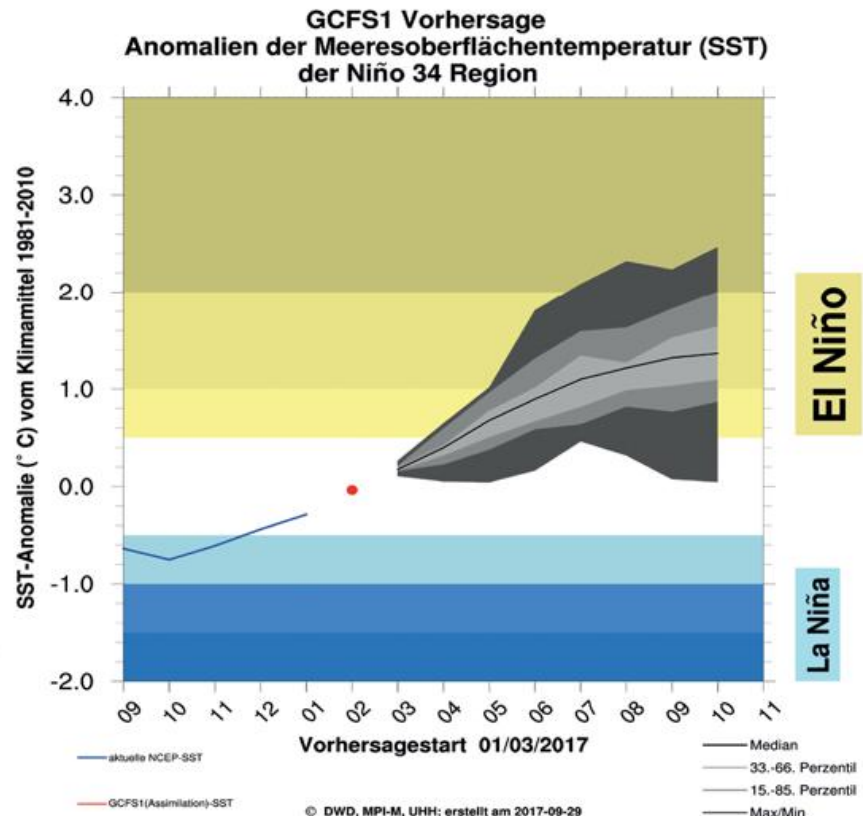
Ein Anwendungsbeispiel für eine robustere Jahreszeitenvorhersage ist die Vorhersage des El Niño-Ereignisses im tropischen Pazifik, einer sehr starken Änderung des Klimaverhaltens. Als Maß für die Stärke eines solchen Ereignisses wird die mittlere Anomalie der Meeresoberflächentemperatur in einer bestimmten Region des Pazifik (Niño 3.4 Region) verwendet. Liegt diese Anomalie länger als drei aufeinander folgende Monate oberhalb von  $0,5^{\circ}\text{C}$ , so spricht man von einem El Niño-Ereignis.

Unter normalen Bedingungen ist das Klima im tropischen Pazifik von Passatwinden geprägt, die das warme Oberflächenwasser von der amerikanischen Küste an die asiatische Küste treiben. Bei einem El Niño-Ereignis kommt es zu einer Abschwächung oder Umkehr der Passatwinde und damit zu einem Rück-

lauf des warmen Oberflächenwassers in Richtung Osten. Dies hat starke Auswirkungen auf das Niederschlagsverhalten in vielen angrenzenden und entfernteren Regionen und führt beispielsweise auch zu Einbrüchen beim Fischfang vor der südamerikanischen Pazifikküste.

In der Abbildung kann man aus der „Rauchfahne“ erkennen, wie groß die Bandbreite der Vorhersagen der einzelnen GCFS Ensemblemitglieder sein kann. Eine schmale Fahne zeigt, dass alle Mitglieder aus den leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen heraus trotzdem zu ähnlichen Ergebnissen kommen. Je breiter diese Fahne wird, desto größer wird die Unsicherheit des erwarteten Ergebnisses. Ein Anwachsen dieser Unsicherheit im Prognoseverlauf ist normal. Je dunkler die Farbe desto intensiver die Anomalie. Die blauen Farben des Hintergrundes weisen auf ein La Niña-Ereignis hin. La Niña ist ein entgegengesetztes Phänomen zu El Niño. Die Passatwinde verstärken sich und das Oberflächenwasser wird nach Westen getrieben.

► *Rückschau und Prognose der Anomalie der Meeresoberflächentemperatur (SST) im tropischen Pazifik. Hierfür wurde die Temperatur im zentralen tropischen Pazifik (Niño 3.4 Region) jeweils über einen Monat gemittelt. Die Anomalie ist die Abweichung der Temperatur von ihrem Klimamittelwert des Bezugszeitraums 1981-2010. Die blaue Linie zeigt die Beobachtungen des amerikanischen Wetterdienstes. Der rote Punkt stellt die Analyse des Modells für den unmittelbar vor der Vorhersage liegenden Zeitraum dar. Die „Rauchfahne“ mit den unterschiedlichen Grautönen repräsentiert die Ensemblevorhersage des GCFS, die für dieses Gebiet in den nächsten Monaten erwartet wird. Die Farbtöne beschreiben den prozentualen Anteil der Prognosen im Abstand zum Median des Ensembles. Quelle: [www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage](http://www.dwd.de/jahreszeitenvorhersage)*



# Der DWD beteiligt sich an der Entwicklung von dekadischen Klimavorhersagen



*Dekadische Vorhersagen beschreiben den Trend der Klimaentwicklung der nächsten Jahre bis zu einem Jahrzehnt. Damit decken sie einen für Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft relevanten Zeitraum ab und haben eine besondere Bedeutung für die Planung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Die Verbesserung der Qualität und Verlässlichkeit dekadischer Vorhersagen in Verbindung mit der Entwicklung eines regionalen Ensemble-Klimavorhersagesystems stellt derzeit einen Schwerpunkt in der deutschen Klimaforschung dar.*

## DWD-Aktivitäten im Bereich der mittelfristigen Vorhersagen

Die dekadischen Klimavorhersagen sind weltweit derzeit ein besonderer Forschungsgegenstand, da sie einen Zeitraum abdecken, der für vielerlei Planungen relevant ist. Sie sind das zentrale Thema im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt MiKlip (Mittelfristige Klimaprognosen), an dem der DWD als Partner beteiligt ist.

Das Projekt hat zum Ziel, mittelfristige Klimaprognosen zu erforschen und ein globales dekadisches Klimavorhersagesystem zu entwickeln. Dieses Modellsystem wird zur Vorhersage der zukünftigen Änderungen sowohl im mittleren Klima als auch seinen extremen Wetterausprägungen auf einer Zeitskala von bis zu

zehn Jahren eingesetzt werden. Damit lassen sich Aussagen über den erwarteten Trend des Klimas sowie Brennpunkte der Klimaänderung ableiten. Die für Entscheidungsträger ausschlaggebende regionale Verfeinerung der dekadischen Vorhersagen wird ebenfalls innerhalb des MiKlip Projekts voran gebracht. Ein weiterer Schwerpunkt liegt im Nutzerdialog. Dieser hat zum Ziel, maßgeschneiderte Produkte der dekadischen Vorhersagen gemeinsam mit den Nutzern zu entwickeln.

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Projektvorhabens ist eine direkte Übernahme des Modellsystems in den operationellen Betrieb des DWD vorgesehen.



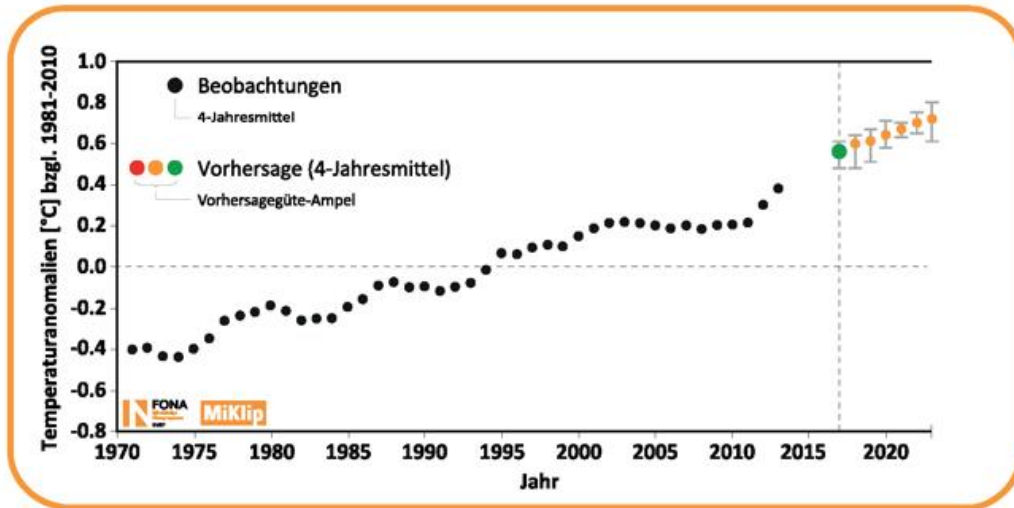
## Ergebnisse

Innerhalb des MiKlip Forschungsprojekts werden verschiedene Experimente zur Vorhersagbarkeit, zum Prozessverständnis und zum Nachweis der Vorhersagegüte durchgeführt.

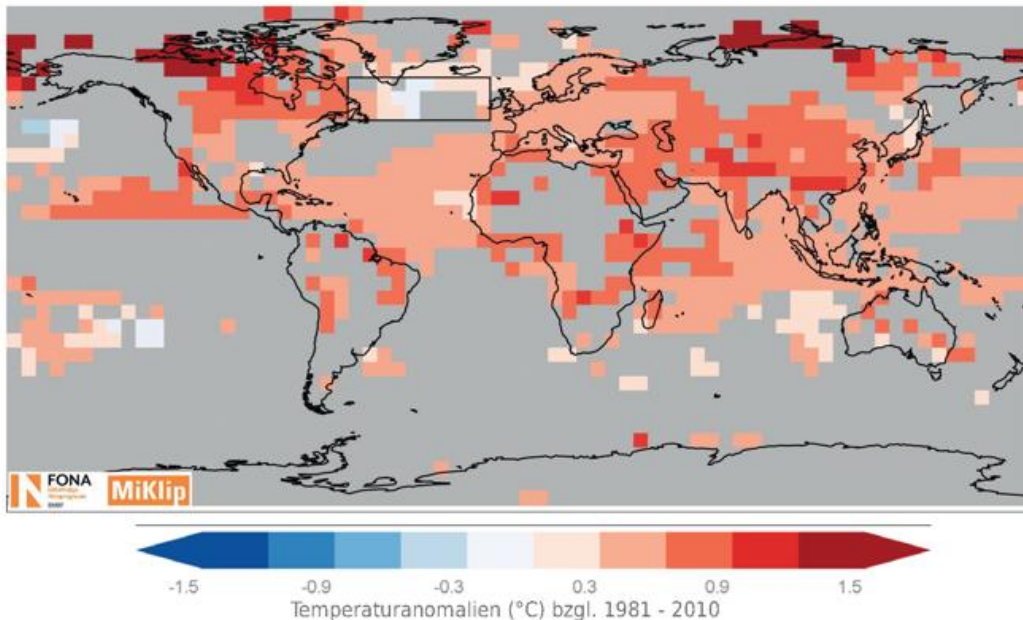
Zur Illustration des Forschungsstands hinsichtlich der dekadischen Vorhersagen (die derzeit keinesfalls als Grundlage von Entscheidungen verwendet werden dürfen) werden nachstehend Teile der Anfang 2017

veröffentlichten Ergebnisse der Entwicklungsphase dargestellt. Ziel des dekadischen Klimavorhersage-systems ist es, Tendenzen des Klimas über längere Zeiträume (beispielsweise 4-Jahres-Zeiträume der

Jahre 2017-2020, 2018-2021 etc bis 2023-2026) und größere Gebiete (z.B. 250-500 km) darzustellen. Die Mittelwerte werden aus den Ergebnissen einzelner Ensemblemitglieder ermittelt.



▲ Anomalien der globalen 4-Jahresmitteltemperatur in Bezug zum Zeitraum 1981-2010; beobachtete Entwicklung und Vorhersage. Die Vorhersagen der Ensemblemittel für die global gemittelte Oberflächentemperatur für vier Jahre weisen auf eine kontinuierliche Zunahme hin und liegen über den bisher ermittelten Beobachtungen. Für den Vorhersagezeitraum 2017-2020 wird eine Anomalie von +0.6°C berechnet. Je nach dem Grad der Vorhersagegüte in der Vergangenheit werden farblich unterschiedlich gekennzeichnete Werte ausgewiesen. Quelle: MiKlip Vorhersage-Webseite ([www.fona-miklip.de/1/vorhersage](http://www.fona-miklip.de/1/vorhersage))



▲ Temperaturanomalien am Beispiel des Mittels über 4 Jahre für den Zeitraum 2017-2020 in Bezug zum Zeitraum 1981-2010. Es werden nur diejenigen Gitterboxen koloriert, die in der Vergangenheit ein bestimmtes Vorhersagegüteniveau aufgewiesen haben. Regional fällt der Trend der Temperaturanomalie unterschiedlich aus. Jedoch ist nur für wenige Regionen eine geringere Temperatur als im Bezugszeitraum zu erwarten. Eine relativ starke, positive Anomalie zeigt sich in einigen Regionen innerhalb des nördlichen Polarkreises. Quelle: MiKlip Vorhersage-Webseite ([www.fona-miklip.de/1/vorhersage](http://www.fona-miklip.de/1/vorhersage))

# Klimaprojektionen durch den DWD



*Klimamodelle sind in der Lage, das Klima der Zukunft mit Hilfe von Szenarien zu projizieren. Mit ausreichend großen Ensembles von Klimaprojektionen, welche in Zusammenarbeit mit einer Vielzahl an Institutionen weltweit zur Verfügung gestellt werden, ist es möglich, statistische Aussagen über mögliche zukünftige Klimazustände zu treffen. Solche Ensembleauswertungen bilden zum Beispiel die Grundlage für den Deutschen Klimaatlas des DWD. Ferner trägt der DWD zur Weiterentwicklung der Regionalisierungsmethoden bei, um die Auswirkungen eines veränderten Weltklimas auf die klimatischen Verhältnisse z.B. in Deutschland besser zu beschreiben.*

## **DWD-Aktivitäten im Bereich der Klimaprojektionen**

Der DWD widmet sich bisher vor allem den regionalen Klimaprojektionen mit dem Fokus auf Europa und Deutschland. Dazu werden weltweit verfügbare Daten der jeweils aktuellsten Klimaprojektionen gesammelt, ausgewertet und den Nutzern zur Verfügung gestellt.

Derzeit werden regionale Klimaprojektionen durch das CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) Projekt des WCRP koordiniert. Für Europa liegen aktuell Simulationen mit einer räumlichen Gitterweite von etwa 50 km (0,44°) und 12,5 km (0,11°) vor. Analog zu den Klimavorhersagen werden die Ergebnisse der Projektionen häufig in Form von Abweichungen von einem relativ zeitnahen Bezugszeitraum angegeben. Die Abweichungen werden auch als Klimaänderungssignal bezeichnet.

Die internationalen Aktivitäten werden national durch verschiedene Forschungsprojekte unterstützt wie beispielsweise das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderte Expertennetzwerk oder das vom BMBF geförderte Verbundprojekt ReKliEs-De (Regionale Klimaprojektionen

Ensemble für Deutschland). An beiden ist der DWD beteiligt. Die CMIP5 Simulationen, die im Fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats Berücksichtigung fanden, werden systematisch für Deutschland ausgewertet und durch weitere regionale Klimaprojektionen, sowohl mit dynamischen als auch mit statistischen Verfahren, ergänzt.

Im Zusammenhang mit dem deutschen Beitrag an den globalen CMIP6 Simulationen und der Datenbasis für den Sechsten IPCC Bericht wirkt der DWD am vom BMBF geförderten Verbundprojekts CMIP6-DICAD (Bereitstellung des nationalen Beitrags zur Datenbasis des IPCC/AR6 und Unterstützung der CMIP6+-Aktivitäten in Deutschland) mit.

Der DWD verwendet hierfür das Erdsystemmodell des MPI (Abbildung S. 10) und trägt dabei mit Szenario-Experimenten zum internationalen CMIP6 Ensemble von globalen Klimaprojektionen bei. Ein weiteres Ziel des DWD in diesem Projekt ist die Weiterentwicklung des ICON Modells für klimatologische Zeiträume mit einer lokalen Gitterverfeinerung über Europa.

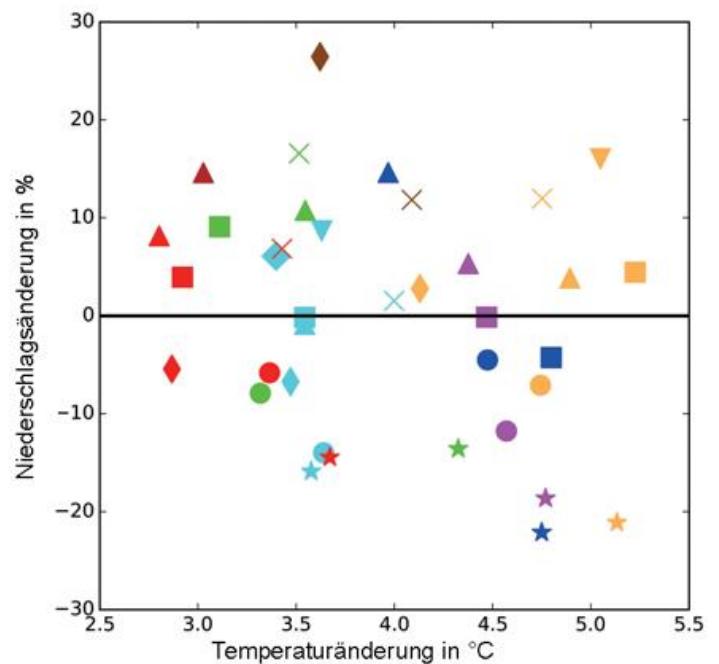
## Ergebnisse

In regelmäßigen Abständen werden neue globale und regionale Klimaprojektionen mit aktualisierten Szenarien und verbesserten Modellen erzeugt, die für die Klimafolgenforschung und Politikberatung von Interesse sind. Kernaufgabe ist dabei, robuste Änderungssignale relevanter Klimaparameter und -indizes vor dem Hintergrund der bestehenden Szenarien-, Klimasystem- und Modellunsicherheiten abzuleiten. Spezielle methodische Herausforderungen bestehen bei der Ableitung von Ergebnissen für extreme atmosphärische, ozeanographische und hydrologische Bedingungen. Bei diesen Aufgaben sind stets die spezifischen Nutzeranforderungen zu berücksichtigen.

Nach der Auswertung der Klimaprojektionen für das Emissionsszenario RCP8.5 (Weiter-wie-bisher-Szenario) zeigt sich für Deutschland im Zeitraum 2071-2100 ein Anstieg der bodennahen Temperatur von 2,8 bis 5,2 im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971-2000. Die Projektion der Niederschlagsänderung ist zwischen den Klimaprojektionen der unterschiedlichen regionalen Klimamodelle sehr uneinheitlich. Demnach kann es in Deutschland im Jahresmittel zu einer Abnahme oder auch Zunahme von bis zu  $\pm 26\%$  kommen.

► Temperatur- und Niederschlagsänderungssignale (Gebietsmittel für Deutschland) für den Zeitraum 2071-2100 relativ zum Bezugszeitraum 1971-2000 und für das Weiter-wie-bisher-Szenario. Deutlich wird auch hier, dass die von den verschiedenen Klimaprojektionen projizierten Temperatur- und Niederschlagsveränderungen eine gewisse Bandbreite aufspannen. Während alle Klimaprojektionen eine, allerdings verschieden stark ausgeprägte, Zunahme der Temperatur zeigen, ist die Änderung der Niederschlagssumme weniger eindeutig und sowohl eine Abnahme als auch eine Zunahme der jährlichen Niederschlagssumme wird projiziert.

Quelle: DWD/ReKliEs-De Newsletter Nr. 2 (verändert)



### Der Deutsche Wetterdienst berät und unterstützt Nutzer von Klimadaten bei Fragen zur Anpassung an den Klimawandel

Unsere Leistungen umfassen:

- Beratungsleistungen zu allen Fragen rund um das Thema Klimawandel
- Statistische Auswertung von Klimaprojektionsdaten
- Abgabe von Klimaprojektionsdaten und -produkten (u.a. über das Climate Data Center des DWD)

Diesbezügliche Anfragen können an den DWD per E-Mail gerichtet werden: [klima.offenbach@dwd.de](mailto:klima.offenbach@dwd.de)



# Ausblick

Zur Wahrnehmung seines gesetzlichen Auftrags stellt der Deutsche Wetterdienst meteorologische und klimatologische Informationen von der Wettervorhersage bis zur Klimaprojektion bereit. Für den Zeitraum jenseits der traditionellen Wettervorhersage werden dazu Klimamodelle eingesetzt. Heutige Klimamodelle bilden die wesentlichen Komponenten des Klimasystems ab. Insgesamt müssen sie jedoch weiter optimiert werden, um das Klimasystem mit all seinen Komponenten und Wechselwirkungen besser zu beschreiben und die Güte der Vorhersagen und Projektionen zu verbessern. Die Erweiterung verfügbarer Beobachtungsdaten und die Auswertung von Ensembles sind wichtige Voraussetzungen für den Abbau von Unsicherheiten. Statistische Modelle bilden zudem einen vielversprechenden Ansatz und können in Zukunft verstärkt zur Ensembleerweiterung in Betracht gezogen werden.

Eine weitere Herausforderung ist die Bereitstellung von Ergebnissen in höherer räumlicher Auflösung bis hin zur lokalen Gemeindeebene. Mit der zunehmenden Verfeinerung der Gitterweite der numerischen Modelle rücken weitere Komponenten des Klimasystems in den Fokus, die in ihrer Komplexität noch nicht vollständig in den Klimasystemmodellen enthalten sind, wie z.B. die Klimawirkung von Gebäuden und die Atmosphärenchemie. Solch offene Fragestellungen werden in der Klimaforschung verfolgt und gegebenenfalls in die nächste Generation der Klimamodelle implementiert.

Insbesondere für saisonale und dekadische Vorhersagen bedarf es weiterer Anstrengungen, um Unsicherheiten zu mindern und die Aussagekraft auf regionaler Ebene zu verbessern. Ihre besondere Bedeutung wurde im jetzigen globalen Klimaforschungsprogramm WCRP hervorgehoben. Für die Entwicklung von Klimavorhersagen und Projektionen stellt auch die Zusammenarbeit mit potentiellen Nutzern, z.B. aus der Versicherungs- und Windenergiebranche, dem Katastrophenschutz, der Landwirtschaft oder dem Transportwesen eine wichtige Aufgabe dar.

Langfristig verfolgt der DWD das Ziel nahtloser Vorhersagen und Klimaprojektionen auf allen Zeit- und Raumskalen (seamless prediction) und hat mit der Umstellung auf das ICON Modell begonnen. Es wird erwartet, dass durch dieses ‚State-of-the-art‘-Modellsystem die Prognosen des künftigen Klimas verbessert werden. Ziel der DWD-Aktivitäten ist die Versorgung der Nutzer mit verbesserten Produkten im Bereich der Klimavorhersagen und Klimaprojektionen.

# Impressum

## Autoren

Jennifer Brauch, Kristina Fröhlich, Barbara Früh, Heidi Seybert, Christian Steger

## Redaktion

Barbara Früh, Heidi Seybert

## Gestaltung und Satz

Michael Kügler, Marcel Reichel, Heidi Seybert

## Fotonachweis

DWD: 3 (links, mitte: Claudia Hinz), 5

ESA: 22, ESA-ATG Medialab: 24

Panthermedia.net: 3 (rechts: Ingram V. Cicorella), 8 (kptan), 16 (Robby Böhme),

18 (oben: Markus Gann, unten: Ueli Bögle), 20 (Klaus Raab)

Pixabay: 4, 6, 12, 14

## Abbildungsnachweis:

Titelseite: DWD/Fotolia.de (Erdglobus: Anton Balazh, alte Seekarte: caz)

DWD (wenn nicht anders gekennzeichnet)

## Online-Ausgabe

Dieses Heft liegt als digitales Dokument auf unserer Internetseite

[www.dwd.de/klimavorhersagenundprojektionen](http://www.dwd.de/klimavorhersagenundprojektionen)

Die Online-Ausgabe unterliegt der Lizenz



[http://creativecommons.org/](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de)

[licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de)

## Zitierhinweis

DWD (2017): Klimavorhersagen und Klimaprojektionen;

Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main,

Deutschland, 28 Seiten.

ISBN 978-3-88148-501-2 (Print)

ISBN 978-3-88148-502-9 (Online)

**Redaktionsschluss:** August 2017





**Deutscher Wetterdienst**

Abt. Klima- und Umweltberatung  
Zentrales Klimabüro  
Frankfurter Straße 135  
63067 Offenbach/Main

Tel: +49 (0) 69 / 8062 - 2912  
Fax: +49 (0) 69 / 8062 - 2993  
E-Mail: [klima.offenbach@dwd.de](mailto:klima.offenbach@dwd.de)

*Hier geht es zur  
Klimaforschung*



Über [www.dwd.de](http://www.dwd.de) gelangen Sie  
auch zu unseren Auftritten in:



## Die internationale Zusammenarbeit zum Schutz und zur Erforschung des Klimas

Im November 2017 fand in Bonn die von den Vereinten Nationen organisierte 23. Vertragsstaatenkonferenz (englisch: 23rd Conference of the Parties - COP23) der UN Klimarahmenkonvention (UN-FCCC) unter der Präsidentschaft der Fidschi-Inseln statt. Diese, wie auch die vorangegangene Weltklimakonferenz in Marrakesch im Jahr 2016, hat sich mit der Umsetzung der von der Pariser Weltklimakonferenz (COP21) im Dezember 2015 vereinbarten Anstrengungen zum Schutz des Klimas befasst. Während der COP21 gelang ein entscheidender Durchbruch, indem sich 197 Länder erstmals auf ein allgemeines, rechtsverbindliches, weltweites Klimaschutzübereinkommen geeinigt haben. Es umfasst einen globalen Aktionsplan, der die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C, möglichst 1,5°C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen soll, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels einzudämmen. Trotz des angekündigten Ausstiegs der USA aus diesem internationalen Abkommen erzielte die COP23 wichtige Fortschritte bei dessen Umsetzung. Im sogenannten „Talanoa Dialog“ wird 2018 eine Bestandaufnahme durchgeführt inwieweit die bisherigen Zusagen zur Emissionsminderung ausreichen, um damit für die Staatengemeinschaft einen Anreiz für ehrgeizigeres Handeln im Klimaschutz zu schaffen. Ein weiterer Aspekt der COP23 betrifft die Klärung der Frage, wie Staaten ihre Treibhausgasemissionen messen und darüber berichten. Der für das kommende Jahr angekündigte Sonderbericht des Weltklimarates (englisch: Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5°C in Verbindung mit den dazu notwendigen politischen Maßnahmen wird vermutlich den Ausgang der nächsten COP24 Ende 2018 im polnischen Kattowitz stark beeinflussen.

Die wissenschaftliche Basis des Paris-Abkommens stellte der im Jahr 2013/2014 erschienene Fünfte Sachstandsbericht des IPCC dar. Der IPCC wurde vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gegründet und ist sowohl ein zwischenstaatlicher Ausschuss als auch ein wissenschaftliches Gremium. Die Berichte des IPCC nehmen Bezug auf die wissenschaftlichen Veröffentlichungen zahlreicher Experten zum Klimawandel, beschreiben mögliche Entwicklungen des Klimas auf der Erde und deren Auswirkungen und verdeutlichen, dass ohne signifikante Reduktion der Emission von Treibhausgasen das Klima der Erde und in der Folge deren Erscheinungsbild sich sehr wahrscheinlich wesentlich von dem heutigen unterscheiden wird.

Die Klimaforschung spielt weltweit, in Europa und in Deutschland eine wichtige gesellschaftliche Rolle. Sie widmet sich im Schwerpunkt nicht nur der Erarbeitung der naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels, der Konzeption von Klimamodellen und der Durchführung von globalen, regionalen und lokalen Klimasimulationen sondern auch dem Ergründen von Auswirkungen und der Identifizierung von möglichen Maßnahmen zur Reduzierung der Erwärmung und Stärkung der Anpassung an den Klimawandel. Auf internationaler Ebene finden zurzeit die Vorbereitungen zum Sechsten Sachstandsbericht des IPCC statt, der bis zum Jahr 2022 veröffentlicht werden soll. Die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse auf der Grundlage von Klimabeobachtungen und -simulationen werden darin Berücksichtigung finden.

## **Herausgeber**

Deutscher Wetterdienst  
Abteilung Klima und Umweltberatung  
Zentrales Klimabüro  
Frankfurter Straße 135  
63067 Offenbach/Main

Stand: November 2017

