

# Klima im Wandel: Bedeutung, Unsicherheiten, Risikopotentiale

Geowissenschaftliche Forschungen erweitern nicht nur unsere Kenntnisse der Erdgeschichte, sondern dienen auch dazu, Grundlagen und Folgen des Klimawandels zu untersuchen.

VON JUCUNDUS JACOBET

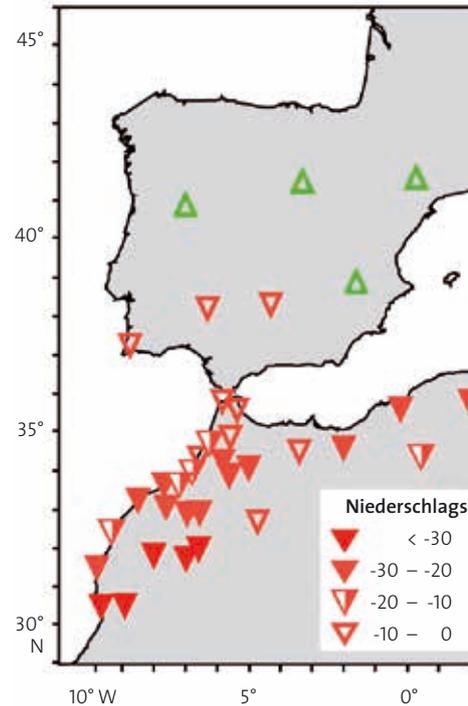
ÄNDERT SICH UNSER Klima, ist dies nicht nur bedeutsam, weil die klimatischen Verhältnisse ein zentraler Bestimmungsfaktor für den gesamten Naturhaushalt und die Lebensgrundlage menschlicher Gesellschaften sind, sondern weil sich damit eine Fülle unterschiedlicher Prozesse und Phänomene verbindet: Nicht allein die globale Mitteltemperatur ist zu betrachten, vielmehr sind weitere wichtige Klimaelemente wie Niederschlag oder Wind betroffen, und es kann zu besonders markanten Veränderungen bei klimatischen und meteorologischen Extremereignissen kommen. All dies wird häufig mit großen regionalen Unterschieden verbunden sein. Nicht zuletzt hat der Klimawandel auf der Erde zahlreiche Auswirkungen, etwa Änderungen des Meeresspiegels, des Eisvolumens, des Wasserhaushalts, der Vegetationsbedeckung oder der Geomorphodynamik.

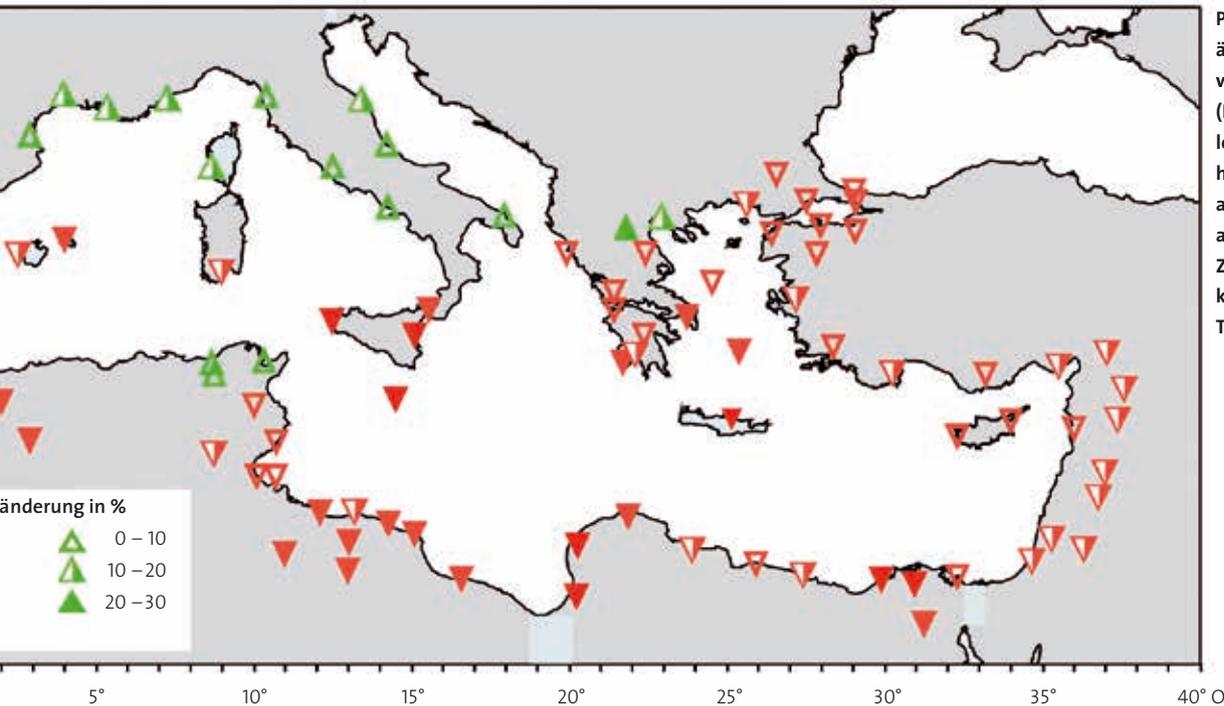
Einen besonderen Akzent hat das Forschungsfeld des Klimawandels durch die menschlichen Eingriffe ins Klimasystem bekommen, wobei hier vor allem die Freisetzung klimawirksamer Spurengase (anthropogen verstärkter Treibhauseffekt), unterschiedliche Partikelemissionen und landnutzungsbedingte Veränderungen der Erdoberflächenbeschaffenheit zum Tragen kommen. Angesichts der skizzierten Bedeutung von Klimaänderungen ist es von großem Interesse, etwas über den bevorstehenden Klimawandel zumindest der kommenden Jahrzehnte zu erfahren, wie er sich unter Bedingungen der menschlichen Einflussnahme mutmaßlich entwickeln dürfte.

## Klimaprojektionen

Das künftige Klima lässt sich zwar nicht real vorhersagen wie etwa das morgige Wetter, aber unter bestimmten Szenario-Annahmen der weiteren menschlichen Aktivitäten lassen sich mit globalen Klimamodellen die entsprechend veränderten großskaligen Verhältnisse im Klimasystem simu-

lieren; dabei sind nicht konkrete Einzelzustände von Belang, sondern deren längerfristige Statistik unter geänderten Randbedingungen. Derartige Klimaprojektionen können auf zwei Wegen auf die regionale Ebene herunterskaliert werden: entweder, indem höher aufgelöste regionale Modelle (angetrieben durch ein globales Modell) herangezogen werden (dynamisches Downscaling), oder, indem man statistische Verfahren einsetzt, die aus großskaligen Modellprädiktoren regionale oder lokale Klimaänderungen abschätzen (statistisches Downscaling). Die Abbildung zeigt ein Beispiel aus dem Mittelmeerraum, der als besonders klimasensitiv gilt und bei fortschreitender globaler Erwärmung in weiten Teilen des Südens und Ostens von teils empfindlichen Niederschlags-einbußen betroffen sein könnte. Die hier zugrundeliegenden statistischen Methoden sind in jüngster Zeit immer weiter fortentwickelt und auf zusätzliche Größen (Starkniederschläge, Trockenperioden) ausgeweitet worden. Darüber hinaus werden in Augsburg derzeit auch Forschungsprojekte bearbeitet, in denen der Klimawandel und seine Auswirkungen regional oder thematisch alternativ fokussiert werden, etwa mit Blick auf atlantische Warm- und Kaltwasserereignisse vor der Westküste Afrikas, auf hochwasserträchtige Gebietsniederschläge im süddeutsch-österreichischen Raum (insbesondere im Zusammenhang mit sog. Vb-Zyklonen), auf die Feinstaubbelastung im Freistaat Bayern (soweit von meteorologischen





Prozentuale Niederschlagsänderungen im Mittelmeerraum während der Regenperiode (Herbst, Winter, Frühjahr) im letzten Dezennium des 21. Jahrhunderts. Die Darstellung basiert auf statistischem Downscaling aus simulierten großskaligen Zirkulationsänderungen bei kontinuierlichem Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen.

und klimatologischen Bedingungen beeinflusst) oder auf die hochalpinen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse im Zugspitzgebiet.

### Unsicherheiten

Um solche Zukunftsprojektionen richtig zu verstehen, ist es wesentlich, sich über deren zahlreiche Unsicherheiten im Klaren zu sein. Sie resultieren nicht nur aus der Ungewissheit über die tatsächliche Weiterentwicklung von Bevölkerungsdynamik, Weltwirtschaft, Umfang und Art des Energieverbrauchs sowie Formen und Intensitäten der Landnutzung (dies wird in unterschiedlichen Szenarien zu berücksichtigen versucht), sondern auch aus Ungenauigkeiten sowohl der numerischen wie der statistischen Modellierungen. Dies versucht man zu quantifizieren, indem viele verschiedene Klimamodelle mit jeweils mehreren Realisationen (sog. Multimodell-Ensembles) zugrundegelegt werden oder bei statistischen Abschätzungen Modellensembles, generiert aus alternativen Kalibrierungsperioden, herangezogen werden. Schließlich erzeugt auch die Überlagerung von anthropogener Klimabeeinflussung und natürlicher Klimavariabilität (bedingt durch Schwankungen in solarer und vulkanischer Aktivität sowie klimasystemintern ausgelöst durch Wechselwirkungen wie z. B. zwischen Ozean und Atmosphäre) Unsicherheiten hinsichtlich der tatsächlich resultierenden Klimaentwicklung, die prinzipiell nicht vollständig ausgeräumt werden können.

### Risikopotentiale

Gleichwohl bleibt die Klimaforschung bestrebt, Unsicherheiten soweit möglich einzugrenzen und zu quantifizieren, um auch die potentiellen Risiken des Klimawandels besser einschätzen zu können. Von diesen vielfältigen Risiken seien exemplarisch nur drei markante Fälle genannt:

- 1) Die verstärkte Eisflussdynamik in Auslassgletschern der großen Inlandeisschilde, die zwar auch ein eher zyklisches Phänomen sein kann, andererseits jedoch das Risiko anhaltend beschleunigter Eisverluste und damit erhöhter Raten des Meeresspiegelanstiegs beinhalten kann.
- 2) Eine gegenüber den mittleren Klimaänderungen überproportionale Häufung oder Intensivierung von Extremereignissen, die neue Dimensionen vorsorgender Anpassungsmaßnahmen erforderlich werden lassen kann (etwa im Hochwasserschutz).
- 3) Das Erreichen kritischer Schwellenwerte im Klimasystem, an denen Instabilitäten eintreten und eine allmähliche Entwicklung in einen raschen Umschwung im Systemzustand übergeht. Erdgeschichtlich sind abrupte Zustandswechsel im Klimasystem durchaus bekannt, ihr Risiko im Kontext der künftigen Klimaentwicklung muss weiter erforscht werden.

### DER AUTOR

*Prof. Dr. Jucundus Jacobeit ist Inhaber des Lehrstuhls für Physische Geographie und Quantitative Methoden an der Universität Augsburg mit fachlichem Schwerpunkt im Bereich der Klimaforschung. Er gehört der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften an.*