

NATUR UND LANDSCHAFT

Zeitschrift für Naturschutz und Landschaftspflege

91. Jahrgang 2016

Heft

Seiten

DOI:

© 2016 W. Kohlhammer, Stuttgart

Verlag W. Kohlhammer

Wetterextreme und klimatische Extremereignisse als Triebfedern dynamischer Entwicklungen im Naturschutz – eine Literaturrecherche

Weather extremes and extreme climate events as drivers of dynamic trends in nature conservation – a desk review of the literature

Carl Beierkuhnlein, Anja Jaeschke und Anke Jentsch

Zusammenfassung

Im Rahmen einer strukturierten Literaturrecherche werden die aktuellen Schwerpunkte, Trends und Einschränkungen der ökologischen Klimaforschung analysiert. Der Naturschutz muss dem rapiden Erkenntnisgewinn in der Klimaforschung Rechnung tragen. Es ist schwer, mit dieser Entwicklung Schritt zu halten und die Belastbarkeit oder Tragweite einzelner publizierter Befunde zu bewerten. Hier konzentrieren wir uns auf einen Forschungsüberblick zu den ökologischen Implikationen klimatischer Extremereignisse. Forschungsdefizite und Herausforderungen werden ebenso herausgestellt wie Ökosysteme und Regionen, für die bereits gute Kenntnisse vorliegen. Die Effekte von klimatischen Trends, klimatischen Ereignissen und Wetterextremen müssen differenziert betrachtet werden. Auch die Reaktionen von Arten und von Ökosystemen können individuell unterschiedlich ausfallen. Allerdings ist ein allgemeingültiges Muster in vielen Studien zu erkennen: Angesichts zunehmender Ungewissheit muss dem Erhalt der biologischen Vielfalt eine größere Beachtung geschenkt werden.

Klimawandel – Anpassung – Naturschutzstrategien – Ungewissheit – Biodiversität – Wissensdefizite – Forschungsherausforderungen

Abstract

Within the frame of a structured literature review, the current foci, trends and biases of ecological climate change research are analysed. Nature conservation has to consider the rapid development of knowledge in climate change research. However, it is difficult to keep track of developments and to ascertain or evaluate how strong or well-founded published findings are. Here, we highlight the publications that focus especially on the ecological implications of extreme climate events. Research gaps and challenges are pointed out but also ecosystems and geographical regions for which many studies already exist. The effects of climatic trends, climatic events and weather extremes must be considered in a differentiated manner. Similarly, species- and ecosystem-specific responses need to be seen individually. However, there is a certain generality in all studies that indicates the growing importance of biological diversity in face of increasing uncertainty.

Climate change – Adaption – Conservation strategies – Uncertainty – Biodiversity – Knowledge gaps – Research challenges

Manuskripteinreichung: 3. 6. 2014, Annahme: 27. 4. 2016

1 Einleitung

Der Klimawandel ist mit weitreichenden Auswirkungen für Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosysteme verbunden. Diese werden für den Naturschutz eine zunehmende Bedeutung erlangen. Insbesondere werden, neben Trends bei Temperaturen und im Niederschlag, die ökologischen (und ökonomischen) Effekte zunehmender klimatischer Variabilität beziehungsweise wachsender Intensität und Häufigkeit extremer Wetterbedingungen als kritisch betrachtet (z. B. MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT 2007; BEIERKUHNLEIN u. JENTSCH 2013).

Die Ungewissheit bezüglich der tatsächlich realisierten Szenarien und ihrer Klimafolgen ist ein starkes Argument für den grundsätzlichen Erhalt der Biodiversität. Aber Naturschutzstrategien, die sich auf einen historischen Status als Referenz beziehen, werden zunehmend hinterfragt (CHIARUCCI et al. 2010). So betrachtet ist es gerade der Naturschutz, der von der Kombination aus Unsicherheit und zunehmender Klimavariabilität profitieren kann, wenn er bereit ist, sich neu zu orientieren. Dies betrifft nicht nur eine generell stärkere Berücksichtigung von dynamischen Entwicklungen, sondern auch ein Nebeneinander unterschiedlicher Optionen und die Abkehr

von eindeutig definierten Zielzuständen. Damit würde die landschaftliche Vielfalt auch in Schutzgebieten zunehmen.

Die ökologischen Antworten auf wachsende Klimavariabilität werden artspezifisch unterschiedlich ausfallen. Für Schutzgebiete werden individuelle Abschätzungen zu künftigen Risiken erforderlich. Allerdings sind durchaus generelle Mechanismen zu erkennen. Deren frühzeitiges Erkennen eröffnet neue Optionen für den Natur- und Artenschutz. Proaktive Maßnahmen sind gefordert. Einerseits werden neue Schutzgebiete benötigt, andererseits müssen der Schutzstatus und die Gefährdung von Arten kritisch hinterfragt werden. Die Dyna-

mik von Ökosystemen sollte nicht nur toleriert, sondern aktiv begleitet werden, denn sie kann eine rasche Anpassung an neuartige Bedingungen fördern, zum Systemerhalt und zur Gewährleistung ökologischer Dienstleistungen beitragen. Ein Verlust ökologischer Stabilität oder Resilienz könnte mit negativen Konsequenzen für die menschliche Gesellschaft einhergehen (ARMSWORTH u. ROUGHGARDEN 2003).

Im veröffentlichten „Summary for Policymakers“ des 5. Assessment Reports des IPCC wird herausgestellt, dass sich der anthropogene Klimawandel in den letzten Jahrzehnten mit enormer Geschwindigkeit vollzogen hat. Die letzten drei Dekaden repräsentieren die wärmste 30-jährige Periode seit 1 400 Jahren (IPCC 2013)! Auch wenn temporäre und in Modellen nicht prognostizierte Abschwächungen aufgetreten sind, so ist mit einer weiteren Verstärkung dieses Trends zu rechnen. Die atmosphärischen Treibhausgase haben inzwischen Werte erreicht, die im Verlauf der letzten 800 000 Jahre auf diesem Planeten nicht vorkamen (IPCC 2013).

In diesem Zusammenhang wird vom IPCC die Zunahme extremer Klimabedingungen im Rahmen des Klimawandels als sehr wahrscheinlich gesehen, in einzelnen Teilaspekten als „virtually certain“. Dabei ist zu bedenken, dass der IPCC eine rein statistische Auffassung des Begriffs „extrem“ verfolgt, die auf historischen Zeitreihen basiert.

Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosysteme reagieren in ihrer Verbreitung nicht auf langfristige Mittelwerte, sondern eher auf kurzzeitig und eventuell selten auftretende extreme Bedingungen, die ihre Reproduktion und Existenz unterbinden oder auch ermöglichen (JENTSCH u. BEIERKUHNLEIN 2008; JAESCHKE et al. 2014).

Auch wenn die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit klimainduzierten Extremereignissen sehr intensiv ist (GUTSCHICK u. BASSIRIRAD 2003; JENTSCH et al. 2007; JENTSCH u. BEIERKUHNLEIN 2008; WIGLEY 2009; ZIMMERMANN et al. 2009; BEIER et al. 2012), so bestehen doch unterschiedliche Vorstellungen zu dem, was als „extrem“ anzusehen ist (HEGERL et al. 2011). Vor dem Hintergrund eines zeitlichen Trends erscheint es beispielsweise wenig sinnvoll, extreme Bedingungen über Perzentile (z. B. kleiner als 5 %) oder Auftretenswahrscheinlichkeiten (z. B. Gumbel-Verteilungen) statistisch abzuleiten. Aussagen werden durch den zeitlichen Bezug verändert, und ein Ereignis, das vor 10 Jahren als extrem definiert werden konnte, erfüllt dieses Kriterium evtl. schon heute nicht mehr, obwohl es nach wie vor dieselbe Intensität und ökologische Wirkung besitzt. Auch

beeinflusst die unterschiedliche Länge von Messreihen der Wetterstationen, ob ein Ereignis an einem Standort als „extrem“ zu sehen ist.

Klimaprojektionen beziehungsweise -modelle sind ebenfalls nicht zur Beurteilung bzw. Abschätzung klimatischer Extremereignisse der Zukunft oder zu erwartender konkreter Wetterbedingungen geeignet, da sie auf der dann benötigten hohen zeitlichen Auflösung versagen. Es ist auch nicht das Ziel von Klimamodellen, Extrema abzuschätzen, sondern mittlere Bedingungen zu projizieren.

Schließlich bliebe als dritter Weg die Beurteilung von Extremen nach ihrem Effekt in der Natur. Die irreversible Schädigung von Organismen könnte beispielsweise ein geeignetes Kriterium sein. Nun reagieren aber verschiedene Arten artspezifisch unterschiedlich auf ein konkretes Witterungs- oder Wetterereignis beziehungsweise auf klimatisch extreme Bedingungen, und das gilt auch für Lebensgemeinschaften. Was für eine Art „extrem“ sein mag, wird von anderen Arten toleriert, von weiteren sogar bevorzugt. Alle klimatisch in ihrer Verbreitung begrenzten Arten erfahren jeweils an ihren Arealrändern natürlicherweise klimatische Extrembedingungen.

Eine einfache und allgemeingültige Definition des Begriffes „extrem“ ist deshalb kaum möglich. Sinnvoll erscheint es, von veränderter Klimavariabilität zu sprechen, was der Realität entspricht. Doch ist klimatische Variabilität noch schwerer zu fassen bzw. für Naturschutzpraktiker und die Allgemeinheit zu vermitteln, weshalb wir uns wohl mit dem Begriff „Extremereignis“ arrangieren müssen.

Die Unterscheidung zwischen einem Trend, d. h. der allmählichen Veränderung einer Klimavariablen, und einem Extremereignis ist eine Frage der zeitlichen Auflösung. Ein diskretes Ereignis kann durch sein plötzliches Auftreten charakterisiert werden, unabhängig da-

von, ob es periodisch wiederkehrend, erwartet oder gewöhnlich in seinem Erscheinen ist. Aber auch ein „diskretes Ereignis“ hat eine gewisse Andauer. Bei langlebigen Organismen kann ein verregneter oder extrem heißer Sommer als ein „Ereignis“ in ihrem Leben gesehen werden. Ferner ist der Zeitpunkt des Ereignisses relevant für Ökosysteme und Organismen, sozusagen das Timing.

Der IPCC (2007, 2013) definiert Extremereignisse als seltene Ereignisse, die durch kleinräumiges Auftreten zu einer bestimmten Zeit im Jahr und meist über eine kurze Dauer charakterisiert sind. Damit ist eine schnelle Zu- oder Abnahme einer Klimavariablen verbunden. Der Charakter solcher Ereignisse variiert von Ort zu Ort und auch zwischen den Jahreszeiten. Wenn bestimmte Wetterlagen über einen längeren Zeitraum bestehen bleiben, wie z. B. erhöhte Tagesmitteltemperaturen über mehrere Wochen oder geringe Niederschläge über mehrere Monate, spricht man von einem extremen Klimaereignis. Die Grenzen zwischen Wetterextremen und klimatischen Extremereignissen lassen sich folglich oft nur schwer ziehen.

2 Methodisches Vorgehen

Die Recherche im ISI Web of Knowledge erfolgte in der Datenbank ISI Web of Science (Thomson Reuters). Zunächst wurden Suchterme zum Themenfeld Wetterextreme und extreme Klimaereignisse entwickelt. Um die Suche präzise und umfassend zu gestalten, wurden die Ereignisse folgenden Hauptsuchtermen zugeordnet: Frost, Hitze und Dürre, Stürme, Starkregen, Extreme.

Hinter jedem Hauptsuchterm verbirgt sich ein Term mit einer unterschiedlichen Anzahl an Schlagwörtern (Tab. 1). Um unterschiedliche Schreibweisen zu berücksichtigen, wurde das Trunkierungszeichen * verwendet. Bis auf den

Tab. 1: Eingesetzte Schlagwörter zu den Hauptsuchtermen „Ereignisse“ im Rahmen der internationalen Literaturrecherche zu „Auswirkungen von Wetterextremen und extremen Klimaereignissen auf Ökosysteme und Organismen“.

Table 1: Keywords used for the principal search terms under ‘events’ in the international literature review on ‘effects of weather extremes and extreme climatic events on ecosystems and organisms’.

Hauptsuchterme	Schlagwörter im ISI Web of Science
Frost	*frost event* OR severe night frost* OR *spring frost* OR freeze-thaw* OR thaw-freeze* OR late frost* OR severe frost* OR *ground frost* OR extreme frost* OR extreme cold*
Hitze & Dürre	heat wave* OR heatwave* OR severe heat* OR *temperature event* OR dry spell* OR extreme heat* OR *winter warming* OR warm* winter OR summer drought* OR spring drought* OR autumn drought* OR severe drought*
Stürme	extreme storm* OR *winter storm* OR hurricane* OR typhoon* OR cyclone* OR tornado* OR storm surge* OR *windstorm* OR *wind storm* OR *tropical storm* OR ice storm*
Starkregen	extreme flood* OR summer flood* OR extreme rain* OR torrential rain* OR extreme precipitation OR *rainfall event* OR heavy rain* OR hail* OR wet spell*
Extreme	extreme event* OR extreme weather event* OR climat* extreme* OR extreme meteorological event* OR extreme weather* OR extreme climat* event*

Tab. 2: Eingesetzte Schlagwörter zu Einschränkungen bzw. zum Ausschluss von Artikeln im Rahmen der Hauptsuchterme der internationalen Literaturrecherche zu „Auswirkungen von Wetterextremen und extremen Klimaereignissen auf Ökosysteme und Organismen“.

Table 2: Keywords used to limit or exclude articles for the principal search terms in the international literature review on 'effects of weather extremes and extreme climatic events on ecosystems and organisms'.

Verknüpfung	Schlagwörter im ISI Web of Science
Hauptsuchterme in „Topic“	Frost, Hitze und Dürre, Stürme, Starkregen, Extreme
AND in „Topic“	wetland* OR floodplain* OR peat* OR bog* OR fen* OR swamp* OR mire OR grassland* OR meadow* OR pasture* OR heath* OR shrubland* OR forest* OR woodland* OR tundra OR taiga OR savanna* OR marsh* OR steppe OR desert* OR aquatic* OR limn* *bird* OR avian OR insect* OR butterfly* OR beetle* OR arthropod* OR moth* OR amphibian* OR reptile* OR mollusc* OR mollusk* OR vertebrate* OR *invertebrate* OR mammal*
AND in „Topic“	climat* change* OR global change* OR climat* warming
NOT in „Topic“	palaeo* OR paleo* OR pleistocene OR holocene

Hauptsuchterm „Extreme“, wurden alle weiteren Hauptsuchterme mit den Suchtermen folgender Bereiche eingeschränkt bzw. ausgeschlossen: Ökosysteme (Einschränkung)/Organismen (Einschränkung), Klimawandel (Einschränkung), Paläontologie (Ausschluss).

Die Hauptsuchterme wurden entweder mit Suchtermen der „Ökosysteme“ oder mit denen der „Organismen“ verknüpft (Tab. 2). Die Suchterme zu „Auswirkun-

gen von Wetterextremen und extremen Klimaereignissen auf Ökosysteme und Organismen“ ergaben 1 681 Einträge. In einer Vorauswahl erfolgte eine Trennung der Dokumenttypen sowie ein Aussortieren von Artikeln ohne konkreten Bezug zu Extremereignissen. Hiernach verblieben 778 themenrelevante Artikel. Mit den in Titel, Schlüsselwörtern und Abstract enthaltenen Informationen erfolgte die Auswertung in einer Access-Datenbank.

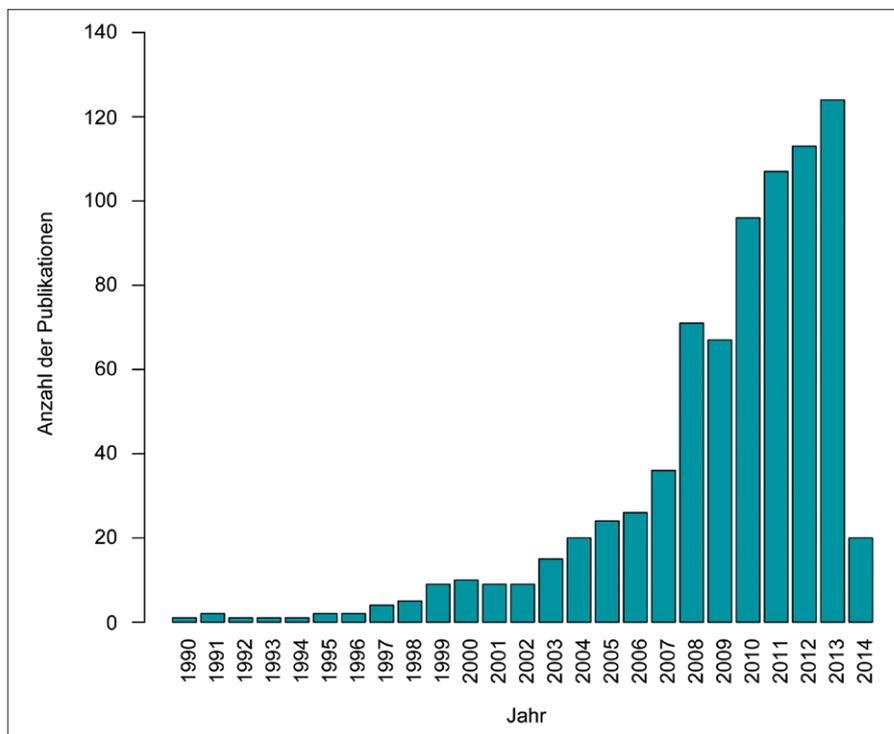


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der im Rahmen der Literaturrecherche zum Thema „Auswirkungen von Wetterextremen und extremen Klimaereignissen auf Ökosysteme und Organismen“ gefundenen Publikationen (n = 1 681). Das Jahr 2014 bildet Suchtreffer bis zum 17.3.2014 ab. Der singuläre Artikel von LATHAM (1947) ist hier in dieser Darstellung nicht berücksichtigt.

Fig. 1: Years of publication of the publications found (n=1 681) in the literature review on 'Impacts of weather extremes and extreme climate events on ecosystems and organisms'. The column for the year 2014 is based on search hits up to 17 March 2014 only. The singular article by LATHAM (1947) is not shown.

Folgende „Kriterien“ wurden dabei berücksichtigt: Ökosystem, Biom, Klimazone, Kontinent, Untersuchungsland, Schutzgebietsstatus, Methode, Manipulationsmethode bei Experimenten, Anzahl der Manipulationen, Betrachtungszeitraum, Jahreszeit, Saisonalität, atypisches Ereignis, untersuchte Klimavariablen, Ereignistyp, Extremereignis, Anzahl der Extremereignisse, Frequenz und Dauer des Ereignisses, Effekte, Parameter, Reaktion, Ökosystemfunktion, Taxa. Jedem Parameter wurden Ökosystemfunktionen zugeordnet.

3 Ergebnisse der Literaturrecherche

Der Suchzeitraum umfasst alle in der Datenbank verfügbaren Jahre bis zum 17.3.2014. Erste Publikationen entstanden aber erst in nennenswertem Umfang Anfang der 1990er-Jahre. Die starke Zunahme in den letzten Jahren spiegelt das wachsende Interesse an der Thematik wider (Abb. 1). Aus dem gesamten Spektrum relevanter Publikationen (n = 778) beschäftigen sich 643 Artikel mit terrestrischen Ökosystemen. Aquatische Ökosysteme wurden mit 124 Artikeln deutlich weniger intensiv untersucht. Waldökosysteme stellen mit Abstand (40 %) das am besten untersuchte terrestrische Ökosystem hinsichtlich Wetterextreme oder klimatischer Extreme dar, gefolgt von Grasland und Gebüsch (z. B. Heiden), die Anteile von 21 % und 8 % an terrestrischen Ökosystemen erreichen. Zu „genutztem Land“, worunter sowohl Ackerland als auch urbane Strukturen fallen und nicht generell jede Form von Landnutzung, gibt es mit 1 % und 9 Publikationen ausgesprochen wenig Literatur, die mit den gewählten Suchtermen detektiert wird. Mit 67 % sind Süßwasserbiome wie Flüsse, Bäche und Seen die am häufigsten untersuchten aquatischen Ökosysteme. Im marinen Bereich fand bisher nur sehr wenig Forschung zur Thematik statt.

Die in dieser Untersuchung verfolgte Gliederung der Klimazonen basiert auf der Klimaklassifikation nach Köppen-Geiger (GEIGER 1961), die fünf Hauptgruppen bildet: Tropen, Subtropen, gemäßigte Zone, Subpolargebiete und Polargebiete. Gebirge und mithin auch alpine Gebiete sind als azonale Vegetationszone gesondert zu betrachten. Innerhalb der gemäßigten Klimazone erfolgte eine Unterteilung in temperate und mediterrane Gebiete. Polargebiete umfassen sowohl die Arktis als auch die Antarktis. Insgesamt wurden in 332 Publikationen Klimazonen angegeben. Temperate Gebiete sind die am häufigsten untersuchten Gebiete, gefolgt von mediterranen Gebieten (Abb. 2). Bezüglich

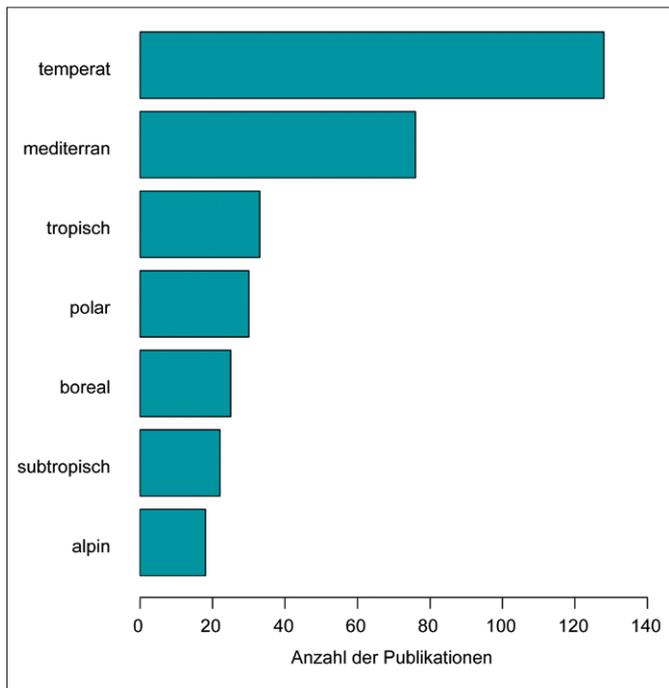


Abb. 2: Verteilung der in der Literaturrecherche detektierten relevanten Publikationen auf Klimazonen und azonale Hochgebirge („alpin“), basierend auf der Klassifikation von Köppen-Geiger. Die dortige „gemäßigte“ Zone wurde hier zusätzlich in „temperat“ und „mediterran“ unterteilt. 446 Artikel machen allerdings keine Angabe zur Klimazone. Polare und subpolare Zone werden hier gemeinsam betrachtet.

Fig. 2: Distribution of the publications detected in the literature review among climatic zones and the azonal category of high mountains ('alpin'), based on the classification by Köppen-Geiger. Köppen-Geiger's temperate zone is further subdivided into temperate and Mediterranean ('temperat', 'mediterran'). However, 446 articles state no climatic zone. Polar and subpolar zones are combined under 'polar'.

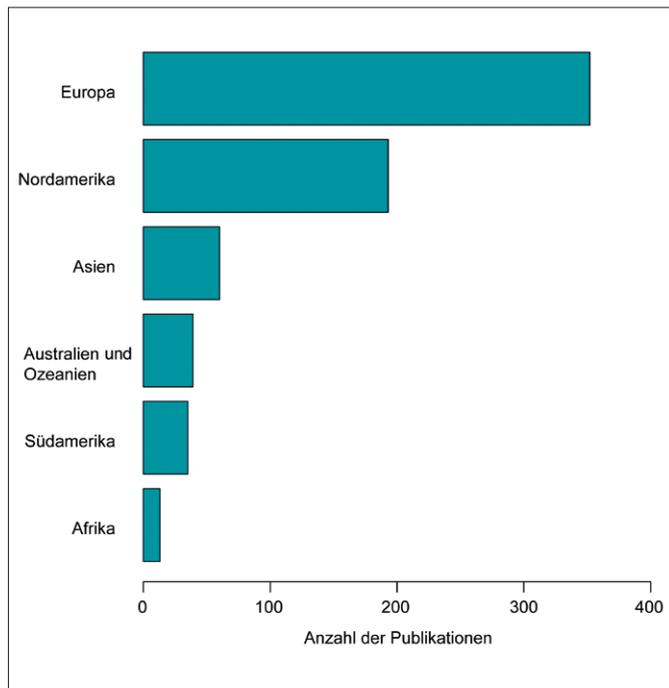


Abb. 3: Geographische Verteilung der relevanten Literatur auf Kontinente (n = 691). Von insgesamt 778 Artikeln fehlen nur bei 87 Artikeln entweder Angaben zur räumlichen Zuordnung oder sie sind Kontinent-übergreifend beziehungsweise unabhängig von einem räumlichen Kontext zu sehen.

Fig. 3: Geographic distribution of the relevant literature among continents (n = 691). Out of a total of 778 articles, only 87 either lack an explicit spatial reference, or are cross-continental or independent of a spatial frame of reference.

der geographischen Zuordnung sind 691 Publikationen räumlich einem Kontinent zugeordnet. Europa ist der am intensivsten erforschte Raum bezüglich dieser Thematik (Abb. 3)

Als häufigste Methode des wissenschaftlichen Vorgehens ist die Freilandbeobachtung zu nennen. Experimentelle Artikel befassen sich vorwiegend mit der Simulation von Dürre (Abb. 4, S. 378).

Der häufigste Betrachtungszeitraum beträgt zwischen einem und drei Jahren. Der Schwerpunkt liegt damit auf relativ kurzfristigen Untersuchungen zu Auswirkungen von Extremereignissen. Diese Einschränkung ergibt sich aus den Vorgaben der Forschungsförderung. Programme zur Förderung von Langzeitforschung gibt es kaum. Langfristige Effekte können folglich wissenschaftlich ganz schlicht nicht untersucht werden.

Zu Wetterextremen und klimatischen Extremereignissen finden die meisten Studien im Sommer statt. Im Winter wurden lediglich wenige Arbeiten durchgeführt. Ganzjährige Studien nehmen einen sehr geringen Anteil ein.

Die meisten Studien finden zu klimatischen Extremereignissen im engeren

Sinne statt, d. h., sie befassen sich mit länger andauernden und im Mittel zu erwartenden extremen Bedingungen, wie beispielsweise einer länger anhaltenden Dürre (Abb. 5, S. 378). Kurzfristig wirkende Wetterextreme werden deutlich weniger oft untersucht. Selten werden beide Extremereignistypen bezüglich ihrer Auswirkungen auf Ökosysteme oder Organismen differenziert betrachtet. Leider erfolgt auch in den allermeisten Studien keine klare begriffliche Trennung zwischen Klima, Wetter und Witterung. Dürre ist mit Abstand das klimatische Extremereignis, das am stärksten untersucht wurde. Danach folgen Hitzewellen und Frost bzw. extrem niedrige Temperaturen. Für warme Winter waren die wenigsten Publikationen zu finden, was angesichts der letzten Jahre verwundert.

Starkregenereignisse führen die untersuchten Wetterextreme an, gefolgt von Stürmen und Überflutungsereignissen.

Aus den untersuchten Parametern geht hervor, dass Extremereignisse am häufigsten im Hinblick auf die Produktivität von Ökosystemen untersucht wurden. Studien zu Nährstoffkreislauf und Gasaustausch sind ebenfalls häufig und

rangieren noch vor der Wasserregulation und der biologischen Vielfalt. Die Fitness von Organismen sowie Herbivorie und Krankheiten wurden überraschend selten untersucht. Da diese Kategorien allerdings sehr allgemein gefasst sind, und teils, wie die biologische Vielfalt, sehr uneinheitlich definiert und verstanden werden, ergeben sich Grenzen für eine präzise Dokumentation der Literatur.

Der Reproduktionserfolg von Pflanzen wird durch Starkregenereignisse, Hitzewellen und Dürren beeinflusst. Blüte und Fruchtbildung stellen besonders sensible Phasen dar (SCHWINNING et al. 2005). Auch Veränderungen in der Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften nach Dürren (LLORET et al. 2004), Starkregen (DAVIS et al. 2000; BATES et al. 2005) und Hitzewellen (WHITE et al. 2001) wurden dokumentiert. Verschiebungen der Pflanzenphänologie auf Grund von Niederschlags- und Dürreereignissen konnten beobachtet werden (FAY et al. 2000; LLORENS et al. 2004; JENTSCH et al. 2009). Allerdings erwiesen sich die pflanzliche Biomasse und die oberirdische Produktivität in der Folge einzelner Extremereignisse als ausgesprochen resi-

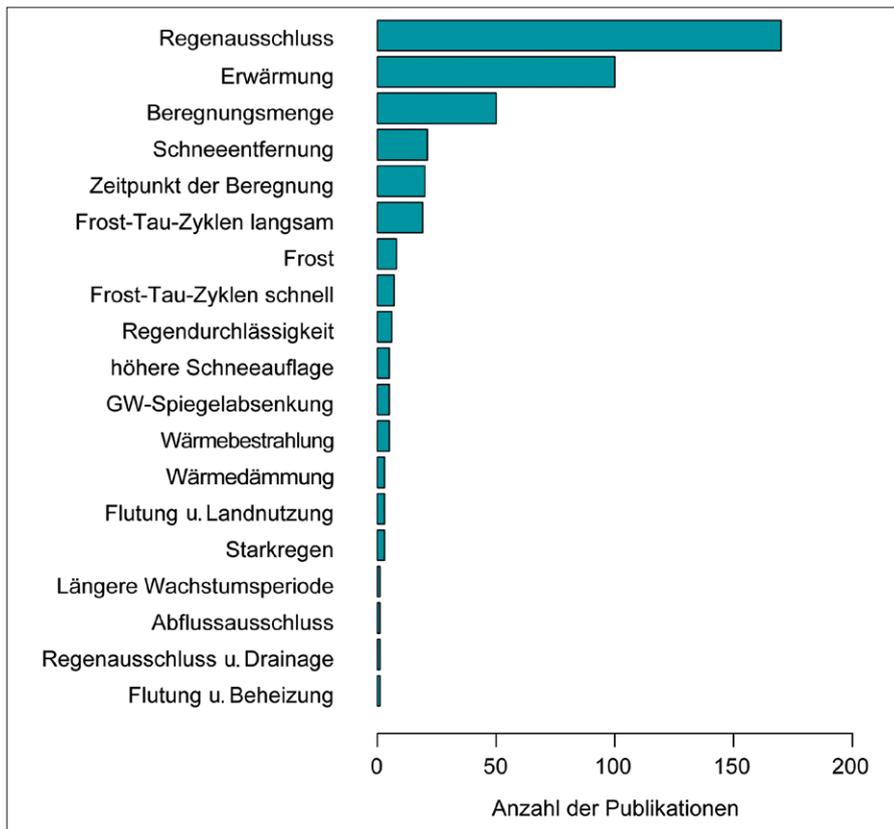


Abb. 4: In der Literatur dokumentierte experimentelle Manipulationsmethoden zur Simulation von Wetterextremen oder klimatischen Extremereignissen (n = 429). Aufwändig zu simulierende sowie kombinierte Ereignisse werden selten durchgeführt, was nichts über deren ökologische Bedeutung aussagt.

Fig. 4: Experimental manipulation methods to simulate weather extremes or extreme climate events documented in the literature (n = 429). Combined events or events that are difficult to simulate are rarely simulated; this, however, says nothing about their ecological relevance.

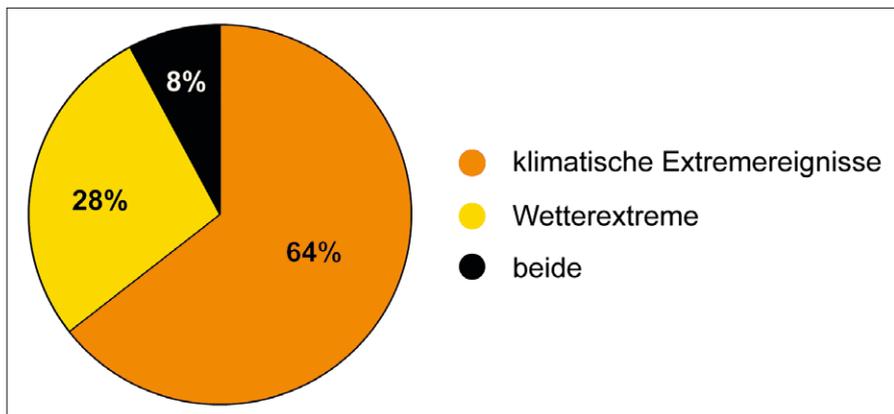


Abb. 5: Betrachtung expliziter Extrembedingungen des Klimas und des Wetters in der Fachliteratur zu ökologischen Konsequenzen des Klimawandels. Die meisten Arbeiten befassen sich mit extremen Klimabedingungen (z. B. extremes Niederschlagsdefizit über die gesamte Vegetationsperiode), weniger häufig werden kurzfristig auftretende Wetterextreme untersucht (z. B. Starkregenereignisse, Stürme). Nur in wenigen Fällen werden beide Typen von extremen Bedingungen explizit und vergleichend untersucht (schwarz).

Fig. 5: Explicit consideration of extreme climate conditions and weather extremes in the scientific literature on the ecological impacts of climate change. Most papers examine extreme climatic conditions (e.g. extreme precipitation deficit across the entire vegetation period). Short-term weather extremes are studied less frequently (e.g. torrential rainfall events, storms). Only few papers examine both types of extreme conditions in an explicit and comparative manner (black slice of the pie chart).

lient (JENTSCH et al. 2011). Eine Verstärkung der Niederschlagsvariabilität führte allerdings zu verringerter Biomasse und Futterqualität bei temperaten Graslandarten (WALTER et al. 2012).

Auch die Länderauswertung zeigt klare Defizite außerhalb der industrialisierten Länder. Diese Forschungsdefizite sollten erkannt werden und in der internationalen Naturschutzpolitik zum Handeln auffordern. Für außereuropäische Schutzgebiete von globaler Relevanz liegen kaum Kenntnisse vor, wie sich deren Arten und Ökosysteme angesichts zukünftig erwarteter Zunahme extremer Klimabedingungen verhalten werden. Eine solche aus den Forschungsoptionen wohlhabender Staaten bzw. den Einschränkungen von Entwicklungsländern erwachsene Ignoranz ist mittelfristig nicht zu akzeptieren.

Bezüglich der in der Forschung eingesetzten Methoden herrschen Freilandbeobachtungen vor. Dies ist aus Sicht des Naturschutzes zu begrüßen, weil solche Forschung realitätsnäher ist als Experimente oder Modellierungen, allerdings haben diese Feldforschungsprojekte oft nur eine kurze Laufzeit. Computersimulationen spielen zu der hier betrachteten Thematik der Extremereignisse im Naturschutz eine untergeordnete Rolle. Dies mag zunächst überraschen, da Modellierungen zu künftiger Artverbreitung oder Klimahüllen eine weite Verbreitung erlangt haben. Allerdings ist es deutlich schwieriger, sich in Computermodellen mit dem Einfluss einzelner Extremereignisse zu befassen, auch wenn erste Ansätze entwickelt wurden (ZIMMERMANN et al. 2009). Beklagenswert ist jedoch das Defizit in der experimentellen Forschung, das sicherlich damit zusammenhängt, dass man im Naturschutz und an Schutzgütern wie Schutzgebieten oder schützenswerten Arten ungerne Experimente vornimmt. Diese wären jedoch wahrscheinlich das effizienteste Werkzeug, um zu testen, wie sich naturschutzrelevante Arten und Lebensgemeinschaften unter künftigen Klimabedingungen und -extremen verhalten werden und ob denn überhaupt Handlungsbedarf besteht. Im Vergleich mit geowissenschaftlichen sind biologische Arbeiten unterrepräsentiert (aber siehe BATTISTI et al. 2006; ILG et al. 2008; TRYJANOWSKI et al. 2009; RITTENHOUSE et al. 2010).

Allgemeine Wetterextreme sind in ihren Implikationen für den Naturschutz wenig untersucht. Dies kann daran liegen, dass man sich auf meteorologische Langzeitdaten stützen muss. Es gibt Hinweise, dass Extremereignisse zugenommen haben und noch zunehmen werden, aber Starkregen, Stürme sowie Überschwemmungen traten schon immer auf. Insbesondere Hitzewellen haben

deutlich zugenommen, und es wird mit einer weiteren Verschärfung gerechnet (IPCC 2013). In Mitteleuropa hat sich die Dauer von Hitzeperioden in den letzten 120 Jahren verdoppelt (DELLA-MARTA et al. 2007). Mitunter ist es schwer, Hitzeperioden von Dürreperioden zu trennen, doch müssen diese nicht zwingend miteinander einhergehen.

In einer Studie von BATTISTI et al. (2006) wurde im Jahr 2003 die Reaktion des Pinien-Prozessionsspinners (*Thaumetopoea pityocampa*) auf die Hitzewelle in Südeuropa untersucht. In den letzten 30 Jahren hatten wärmere Winter bereits dazu geführt, dass sich die Art sowohl nach Norden als auch in der Höhe ausbreiten konnte. Ein Drittel der Höhenausbreitung innerhalb der letzten 30 Jahre erfolgte allein im Jahr 2003. Ursächlich für diese rapide Ausbreitung scheint eine vermehrte nächtliche Wanderungsbewegung während ungewöhnlich warmer Nächte zu sein.

Extremer Hitze- und Kältestress kann zu Populationszusammenbrüchen führen. Besonders markant sind die Wirkungen einzelner Spätfrostereignisse. Regionale Anpassungen innerhalb einer Art kennzeichnen die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens. Bei Gräsern konnte experimentell gezeigt werden, dass der geographische Ursprung aber auch experimentell evozierte Wetterextrem-Erfahrung individuelle Reaktionen und Schädigung beeinflussen (BEIERKUHNLEIN et al. 2011; KREYLING et al. 2012a). Zu ähnlichen Ergebnissen kommt eine Studie zur Spätfrostsensitivität bei juvenilen Rotbuchen (*Fagus sylvatica*), wo lokale Anpassungen der Herkünfte unterschiedliche Blattschädigung erklären (KREYLING et al. 2012b).

Mit dem Klimawandel gehen divergente Veränderungen in den Niederschlagsmustern einher. Es kann regional zu Zunahmen, in benachbarten Regionen aber auch zu Abnahmen des Niederschlags kommen. Auch großräumig ist mit uneinheitlichen Entwicklungen zu rechnen. Allerdings neigt die menschliche Wahrnehmung dazu, das Auftreten natürlicher Gefahren, die die Menschen direkt betreffen (z. B. Überflutung), besonders stark zu erfahren und damit in ihrer aktuellen Bedeutung oder in ihren zeitlichen Entwicklungen eventuell zu überschätzen (PHILIPP u. JACOBEIT 2003; GLASER et al. 2004).

Durch Dürre und Starkregenereignisse können Invasionen beeinflusst werden (KREYLING et al. 2008), wobei Dürre die Invasionsrate von Pflanzen verringert und Starkregen die Etablierungswahrscheinlichkeit neuer Arten erhöht. Bisher werden aber vor allem Auswirkungen von Dürren auf etablierte Arten untersucht (PARMESAN et al. 2000). So führte

eine Dürre in den USA zum Zusammenbruch von Insekten-Populationen verschiedener Taxa (HAWKINS u. HOLYOAK 1998).

Die negativen Effekte einer extremen Überflutung auf Populationen und Reproduktion des Weißstorks (*Ciconia ciconia*) in Mittel- und Osteuropa wurden von TRYJANOWSKI et al. (2009) aufgezeigt. Eine Studie zu nordamerikanischen Brutvögeln befasste sich mit den Folgen von Stürmen (RITTENHOUSE et al. 2010). Signifikante Effekte auf die Abundanz einzelner Arten wurden festgestellt.

4 Schlussfolgerungen für den Naturschutz und kritische Anmerkungen

Da es „den Naturschutz“ nicht gibt, muss eine Beurteilung von Entwicklungen und Befunden im Hinblick auf Schutzobjekte, einzelne Schutzgebiete, Lebensgemeinschaften oder schützenswerte Arten, differenziert erfolgen. Man kann aber verallgemeinernd herausstellen, dass im Naturschutz künftig mehr noch als bisher eine funktionelle Sicht gefordert ist.

Zusammenfassend ist herauszustellen, dass dem Erhalt der Biodiversität angesichts dieser Entwicklungen eine noch stärkere Bedeutung zukommt, als dies schon bisher der Fall ist, da individuelle Beeinträchtigungen oder Förderungen von Artpopulationen zu erwarten sind. Auf der Ebene von Lebensgemeinschaften und Ökosystemen kann eine Beeinträchtigung einer Art nur dann durch die Förderung anderer Arten funktionell ausgeglichen werden, wenn eine entsprechend hohe Vielfalt gegeben ist (YACHI u. LOREAU 1999). Die Vielfalt innerhalb funktioneller Artengruppen ist deshalb keineswegs redundant, sondern kann als eine Absicherung gegenüber extremen Klimabedingungen gesehen werden! Dieser Aspekt der Biodiversität, als Versicherung für das Funktionieren der Natur unter veränderten Klimabedingungen zu wirken, muss noch mehr herausgestellt werden.

Weniger als die Ungewissheit bezüglich einer tatsächlich erfolgenden globalen und regionalen allgemeinen Erwärmung sind es veränderte Niederschlagsverhältnisse, verschobene Saisonalität und zunehmende klimatische Extremereignisse, die den Naturschutz herausfordern. Verunsicherung resultiert dabei sowohl aus voneinander abweichenden Vorhersagen als auch aus den ungewissen Konsequenzen für die Natur, wenn sich lokal neuartige Klimabedingungen und -ereignisse einstellen werden.

Insbesondere die Ungewissheit der zukünftigen Entwicklung des Niederschlags erzeugt im Naturschutz Verunsicherung,

beispielsweise im Hinblick auf zukünftige Zielzustände für Artpopulationen und Ökosysteme. Niederschlag ist einerseits bereits heute zeitlich und räumlich deutlich variabler als die Temperatur. Hierzu kommt nun, dass regional sehr unterschiedliche Entwicklungen in der Menge und zeitlichen Verteilung von Niederschlägen erwartet werden, und dass die hierzu formulierten Vorhersagen weniger Konsens im Vergleich verschiedener Modelle aufweisen, als dies bei der Temperatur der Fall ist. Die allgemeine Gleichsetzung des Klimawandels mit globaler Erwärmung kann nicht auf die für den Naturschutz relevante regionale und lokale Skala heruntergebrochen werden. Hitze und Dürre müssen beispielsweise nicht miteinander einhergehen, wie an den starken Effekten von Frühjahrsdürren zu erkennen ist. Und es ist in vielen Fällen sogar wahrscheinlich, dass mit zunehmenden Temperaturen auch die Niederschläge im Mittel zunehmen werden.

Die wichtigste Konsequenz aus den Ungewissheiten im Hinblick auf die künftigen Niederschlagsverhältnisse für den Naturschutz ist es erneut, verschiedene Optionen zukünftiger Entwicklungen im Auge zu behalten und mithin ein Spektrum möglicher Zielzustände zu formulieren und nicht einen bestimmten. Neuartig und teils sicherlich schwer zu akzeptieren wird es deshalb sein, dass im Naturschutz eindeutige, konkrete Ziele der Vergangenheit angehören.

Rasche Entwicklungen und rascher Fortschritt im Erkennen von Zusammenhängen zwischen veränderten Umweltbedingungen und den Auswirkungen in der Natur erfordern zudem eine rasche Übertragung neuer Erkenntnisse in die Praxis. Gerade hier zeigen sich aber die größten Hürden. Angesichts der stattfindenden Entwicklungen ist es mehr denn je notwendig, die Naturschutzforschung wieder näher an die Ökologie und Klimafolgenforschung heranzuführen. Nicht zuletzt durch den eingeschränkten Zugang zu den in internationalen peer reviewed Journals veröffentlichten Befunden der aktuellen Forschung hat sich eine wachsende Entfernung zwischen Praxis und Forschung ergeben. Auch die enorme Geschwindigkeit des Erkenntnisgewinns in der ökologischen Forschung ist ein Problem, denn der Naturschutz tendiert dazu, sich eher langfristige und wenig flexible Ziele zu setzen.

Diese Distanz zwischen Naturschutz und Forschung kann vielleicht durch verschiedene Instrumente im so genannten „Science-Policy-Interface“ überbrückt werden, doch ist dies heute eher Programm und Wunschdenken als Realität. Aus wissenschaftlicher Sicht könnte die auf europäischer Ebene schon fast

erzwungene Veröffentlichung von Forschungsergebnissen in open access Journals ein Weg sein, besser von der Praxis gehört zu werden. Dennoch erfolgen die Publikationen auch dort ausschließlich in englischer Sprache. Nationalsprachen werden in der Forschung inzwischen fast vollständig ignoriert. Am sinnvollsten wäre es deshalb, Naturschutzpraktikerinnen und -praktiker und staatliche sowie verbändliche Naturschutzinstitutionen vermehrt direkt in die Forschung einzubeziehen. Dies würde einen direkten Austausch von der Formulierung von Problemen und Herausforderungen über die Konzeption von Projekten bis zur Interpretation, Verbreitung und Umsetzung der Ergebnisse ermöglichen. Die Bereitschaft hierzu ist aber sowohl auf Seiten der Forschungsförderung (hierzu müssten neue Regeln für die Mittelverteilung erstellt werden) als auch auf Seiten der Praxis (denn dies bedeutet eine erhebliche Investition von Arbeitszeit) noch gering. Sollte es aber nicht gelingen, eine intensivere Zusammenarbeit zwischen ökologischer Forschung und Naturschutz herzustellen, wäre dies angesichts der sich so rasch verändernden klimatischen Rahmenbedingungen für beide Seiten von Nachteil. Weiterhin würden erhebliche Forschungsgelder in für die Praxis wenig relevante Richtungen gelenkt, und weiterhin würde die Naturschutzpraxis den wissenschaftlichen Erkenntnisstand und die zu erwartenden Entwicklungen ignorieren.

5 Literatur

- ARCHAUX, F. u. WOLTERS, V. (2006): Impact of summer drought on forest biodiversity: what do we know? *Annals of Forest Science* 63: 645–652.
- ARMSWORTH, P. R. u. ROUGHGARDEN, J. E. (2003): The economic value of ecological stability. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100: 7147–7151.
- BATES, J. W.; THOMPSON, K. u. GRIME, J. P. (2005): Effects of simulated longterm climatic change on the bryophytes of a limestone grassland community. *Global Change Biology* 11: 757–769.
- BATTISTI, A.; STASTNY, M.; BUFFO, E. et al. (2006): A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology* 12: 662–671.
- BEIER, C.; BEIERKUHNLEIN, C.; WOHLGEMUTH, T. et al. (2012): Precipitation manipulation experiments – challenges and recommendations for the future. *Ecology Letters* 15: 899–911
- BEIERKUHNLEIN, C. u. JENTSCH, A. (2013): Ökologische Auswirkungen klimatischer Extremereignisse. In: ESSL, F. u. RABITSCH, W. (Hrsg.): *Biodiversität und Klimawandel: Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa*. Springer. Berlin: 40–49.
- BEIERKUHNLEIN, C.; JENTSCH, A.; THIEL, D. et al. (2011): Ecotypes of European grass species respond specifically to warming and extreme drought. *Journal of Ecology* 99: 703–713.
- CHIARUCCI, A.; ARAUJO, M. B.; DECOCCO, G. et al. (2010): The concept of Potential Natural Vegetation: an epitaph? *Journal of Vegetation Science* 21: 1172–1178.
- DAVIS, M. A.; GRIME, J. P. u. THOMPSON, K. (2000): Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility. *Journal of Ecology* 88: 528–534.
- DELLA-MARTA, P. M.; HAYLOCK, M. R.; LUTERBACHER, J. et al. (2007): Doubled length of western European summer heat waves since 1880. *Journal of Geophysical Research* 112: D15103.
- EASTERLING, D. R.; MEEHL, G. A.; PARMESAN, C. et al. (2000): Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science* 289: 2068–2074.
- EHRlich, P. R.; MURPHY, D. D.; SINGER, M. C. et al. (1980): Extinction, reduction, stability and increase: The responses of checkerspot butterfly (*Euphydryas editha*) populations to the California drought. *Oecologia* 46: 101–105.
- FAY, P. A.; CARLISLE, J. D.; KNAPP, A. K. et al. (2000): Altering rainfall timing and quantity in a mesic grassland ecosystem: design and performance of rainfall manipulation shelters. *Ecosystems* 3: 308–319.
- GEIGER, R. (1961): Überarbeitete Neuausgabe von GEIGER, R.: Köppen-Geiger/Klima der Erde. Wandkarte 1: 16 Mio. Klett-Perthes. Gotha.
- GLASER, R.; BECK, C. u. STANGL, H. (2004): Zur Temperatur- und Hochwasserentwicklung der letzten 1000 Jahre in Deutschland. *Klimastatusbericht 2003*. Deutscher Wetterdienst: 55–67.
- GUTSCHICK, V. P. u. BASSIRIRAD, H. (2003): Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants: toward a unified definition and evaluation of their consequences. *New Phytologist* 160: 21–42.
- HAWKINS, B. A. u. HOLYOAK, M. (1998): Transcontinental crashes of insect populations? *American Naturalist* 152: 480–484.
- HEGERL, G.; HANLON, H. u. BEIERKUHNLEIN, C. (2011): Elusive extremes. *Nature Geoscience* 4: 142–143.
- ILG, C.; DZIOCK, F.; FOECKLER, F. et al. (2008): Long-term reactions of plants and macroinvertebrates to extreme floods in floodplain grasslands. *Ecology* 89: 2392–2398.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. Cambridge. 996 S.
- IPCC (2012): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*. Cambridge University Press. Cambridge: 594 ff.
- IPCC (2013): *Summary for Policymakers*. Cambridge University Press. Cambridge. 27 S.
- JAESCHKE, A.; BITTNER, T.; JENTSCH, A. et al. (2014): The last decade in ecological climate change impact research: where are we now? *Naturwissenschaften* 101: 1–9.
- JENTSCH, A. u. BEIERKUHNLEIN, C. (2008): Research frontiers in climate change: Effects of extreme meteorological events on ecosystems. *Comptes Rendus Geoscience* 340: 621–628.
- JENTSCH, A.; KREYLING, J. u. BEIERKUHNLEIN, C. (2007): A new generation of climate-change experiments: events, not trends. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 365–374.
- JENTSCH, A.; KREYLING, J.; BOETTCHER-TRESCHKOW, J. et al. (2009): Beyond gradual warming: extreme weather events alter flower phenology of European grassland and heath species. *Global Change Biology* 15: 837–849.
- JENTSCH, A.; KREYLING, J.; ELMER, M. et al. (2011): Climate extremes initiate ecosystem-regulating functions while maintaining productivity. *Journal of Ecology* 99: 689–702.
- JEPSEN, J. U.; HAGEN, S. B.; IMS, R. A. et al. (2008): Climate change and outbreaks of the geometrids *Oporophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology* 77: 257–264.
- KREYLING, J.; WENIGMANN, M.; BEIERKUHNLEIN, C. et al. (2008): Effects of extreme weather events on plant productivity and tissue die-back are modified by community composition. *Ecosystems* 11: 752–763.
- KREYLING, J.; THIEL, D.; SIMMNACHER, K. et al. (2012a): Geographic origin and past climatic experience influence the response to late spring frost in four common grass species in Central Europe. *Ecography* 35: 268–275.
- KREYLING, J.; THIEL, D.; NAGY, L. et al. (2012b): Late frost sensitivity of juvenile *Fagus sylvatica* L. differs between southern Germany and Bulgaria and depends on preceding air temperature. *European Journal of Forest Research* 131 (3): 717–725.
- KREYLING, J.; STAHLMANN, R. u. BEIERKUHNLEIN, C. (2012c): Räumliche Variation in der Blattschädigung von Waldbäumen nach dem extremen Spätfrostereignis im Mai 2011. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 183: 15–22.
- LATHAM, R. M. (1947): Differential ability of male and female game birds to withstand starvation and climatic extremes. *Journal of Wildlife Management* 11: 139–149.
- LLORENS, L.; PENUELAS, J.; BEIER, C. et al. (2004): Effects of an experimental increase of temperature and drought on the photosynthetic performance of two ericaceous shrub species along a north-south European gradient. *Ecosystems* 7: 613–624.
- LLORET, F.; PENUELAS, J. u. ESTIARTE, M. (2004): Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community. *Global Change Biology* 10: 248–258.
- MILLAR, C. I.; STEPHENSON, N. L. u. STEPHENS, S. L. (2007): Climate change and forests of the future: Managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17: 2145–2151.
- MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT (2007): *Zwischen Hoch und Tief – Wetterrisiken in Mitteleuropa*. Edition Wissen. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. München. 56 S.
- PARMESAN, C.; ROOT, T. L. u. WILLIG, M. R. (2000): Impacts of extreme weather and climate on terres-

trial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: 443–450.

PHILIPP, A. u. JACOBET, J. (2003): Das Hochwasserereignis in Mitteleuropa im August 2002 aus klimatologischer Perspektive. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 147: 50–52.

RITTENHOUSE, C. D.; PIDGEON, A. M.; ALBRIGHT, T. P. et al. (2010): Avifauna response to hurricanes: regional changes in community similarity. *Global Change Biology* 16: 905–917.

SCHWINNING, S.; STARR, B. I. u. EHLERINGER, J. R. (2005): Summer and winter drought in a cold desert ecosystem (Colorado Plateau). Part II: effects on plant carbon assimilation and growth. *Journal of Arid Environments* 61: 61–78.

TENOW, O.; BYLUND, H., KARLSSON, P. S. et al. (2004): Recuvenation of a mountain birch forest by *Epirrita autumnata* (Lepidoptera: Geometridae) outbreak. *Acta Oecologica* 25: 43–52.

THULLER, W.; LAVERGNE, S.; ROQUET, C. et al. (2011): Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature* 470: 531–534.

TRYJANOWSKI, P.; SPARKS, T. H. u. PROFUS, P. (2009): Severe flooding causes a crash in production of white stork (*Ciconia ciconia*) chicks across Central and Eastern Europe. *Basic and Applied Ecology* 10: 387–392.

WALTER, J.; GRANT, K.; BEIERKUHLEIN, C. et al. (2012): Increased rainfall variability reduces biomass and forage quality of temperate grassland largely independent of mowing frequency. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 148: 1–10.

WHITE, T. A.; CAMPBELL, B. D.; KEMP, P. D. et al. (2001): Impacts of extreme climatic events on competition during grassland invasions. *Global Change Biology* 7: 1–13.

WIGLEY, T. M. L. (2009): The effect of changing climate on the frequency of absolute extreme events. *Climatic Change* 97: 67–76.

YACHI, S. u. LOREAU, M. (1999): Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96: 1463–1468.

ZIMMERMANN, N. E.; YOCOZ, N. G. et al. (2009): Climatic extremes improve predictions of spatial patterns of tree species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 19723–19728.

Prof. Dr. Carl Beierkuhnlein
Korrespondierender Autor
Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30
95447 Bayreuth
E-Mail:
carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de



Carl Beierkuhnlein ist Inhaber des Lehrstuhls für Biogeographie der Universität Bayreuth. Nach dem Studium der Geoökologie war er für den BUND tätig und anschließend freiberuflicher Ökologe. Über die Promotion zur Bioindikation versauerter Waldeinzugsgebiete 1994 und die Habilitation zur Biodiversität von Kulturlandschaften 1999 gelangte er als Professor für Landschaftsökologie an die Universität Rostock, wo er bis 2002 blieb. Er ging zurück an die Universität Bayreuth, wo er heute in einem breiten Spektrum von Studiengängen lehrt (Geoökologie, Geographie, Biodiversität und Ökologie, Environmental Geography, Global Change Ecology). Als Biodiversitätsrat berät er das bayerische Umweltministerium, wo er auch im Naturschutzbeirat und im Naturschutzfonds ehrenamtlich tätig ist. Ökologische Klimafolgenforschung steht im Mittelpunkt seiner Interessen. Aktuell leitet er zusammen mit Dr. Provenzale das Horizon-2020-Projekt ECOPOTENTIAL zu den bedeutsamsten Schutzgebieten Europas.

Dr. Anja Jaeschke
Universität Bayreuth
Biogeographische Modellierung,
Biogeografie
Lehrstuhl Biogeografie
Universitätsstraße 30
95440 Bayreuth
E-Mail: anja.jaeschke@uni-bayreuth.de

Prof. Dr. Anke Jentsch
Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Störungsökologie
Bayreuth Center of Ecology and
Environmental Resaerch
Universitätsstraße 30
95440 Bayreuth
E-Mail: anke.jentsch@uni-bayreuth.de

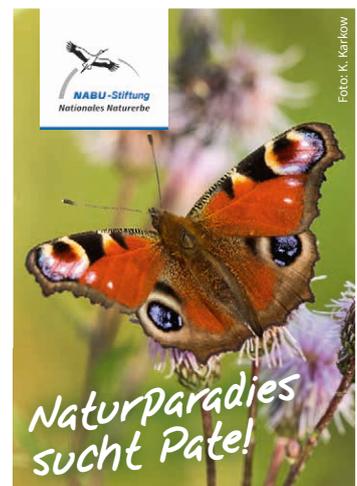
Anzeigen



Ausschalten!

Zwei von 18 deutschen AKW könnten allein durch den **Verzicht auf Standby-Betrieb** technischer Geräte stillgelegt werden. Mehr zu unseren schlaueren Energiekonzepten: www.bund-naturschutz.de

Praktische Tipps für Ihre persönliche Energiewende – einfach **kostenlos anfordern:**
 Dr.-Johann-Maier-Str. 4
 93049 Regensburg
 Tel. 09 41 / 2 97 20 -0



Bewahren Sie mit uns einzigartige Natur. Für wild lebende Tiere und Pflanzen in Deutschland.

Mehr dazu unter www.naturerbe.de

NABU-Stiftung Nationales Naturerbe
 Charitéstraße 3 · 10117 Berlin
 Tel. 030 284 984-1814
 naturerbe@nabu.de



Die Literaturdatenbank des
 Bundesamtes für Naturschutz



www.dnl-online.de