

Auswirkungen von Extremereignissen auf die Biodiversität – eine Literaturanalyse

STEFANIE NADLER, ANJA JAESCHKE, ANKE JENTSCH, TORSTEN BITTNER, CARL BEIERKUHNLEIN

Im Zusammenhang mit dem anthropogenen Klimawandel wird eine Zunahme der Frequenz und Stärke klimatischer Extremereignisse erwartet (IPCC 2007). In der jüngeren Vergangenheit haben sich die Prognosen bezüglich zunehmender Extreme sogar noch verschärft (SMITH et al. 2009, WIGLEY 2009).

Klimatische Extreme besitzen das Potenzial in kürzester Zeit Ökosysteme strukturell wie funktionell zu verändern (JENTSCH 2006). Reaktionen von Arten, Artgemeinschaften und Lebensräumen auf Extremereignisse können sehr unterschiedlich sein und lassen sich nicht direkt vorhersagen (EASTERLING et al. 2000). Konkrete Forschungsdefizite und Herausforderungen kommen angesichts der sich verschärfenden Thematik zu Vorschein, da die Ökologie in der Vergangenheit sehr statisch (beispielsweise in der Messung von Flüssen unter „Normalbedingungen“) und auch sehr aktualistisch arbeitete (bspw. durch das Ignorieren von in der Vergangenheit erfolgten einzelnen Ereignissen auf einem Standort) (s. a. JENTSCH & BEIERKUHNLEIN 2008).

Für die Erfüllung des ersten von drei Zielen der Biodiversitätskonvention (CBD), Erhalt von Tier- und Pflanzenarten, Lebensräumen und genetischer Vielfalt sowie die Vervollständigung und Finanzierung eines weltweit repräsentativen Schutzgebietsnetzes, stellt der Klimawandel eine zusätzliche Herausforderung dar (MCCLANAHAN et al. 2008). Dies gilt vor allem für höhere Lagen oder Regionen, in denen neuartige Klimabedingungen erwartet werden. Andere Regionen, Arten oder Ökosysteme wiederum könnten von der Erwärmung profitieren und eine Verbreitung von Arten nach Norden oder in höhere Lagen begünstigen. Oftmals sind aber nicht die Veränderungen in den Durchschnittstemperaturen für einen Organismus relevant, sondern die Extreme.

In dem vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) initiierten und finanzierten Projekt „Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes“ geht es um die Untersuchung der Effekte von Klimaänderungen und Extremereignissen auf biotische Interaktionen sowie auf ausgewählte Arten und Lebensräume der FHH-Richtlinie. Hier soll beleuchtet werden, was unter einem Extremereignis zu verstehen ist. Weiterhin wird anhand einer Literaturanalyse und der Darstellung von Fallbeispielen auf Auswirkungen für die Biodiversität eingegangen.

Was ist extrem?

Klimabedingte extreme Ereignisse können aus drei Perspektiven heraus verstanden und definiert werden. A) abgeleitet aus historischen Wetterdaten; B) abgeleitet aus den Projektionen von Klimamodellen; und C) abgeleitet aus den einen Organismus oder ein Ökosystem in ihrem Verbreitungsgebiet oder an ihrem Standort betreffenden Ereignissen in Verbindung mit entsprechenden Reaktionen.

- A) Historische Wetterdaten erscheinen zunächst als der verlässlichste Ansatz, da man hier mit konkreten Daten arbeitet. Diese können mit statistischen Verfahren aufgearbeitet werden (z. B. Gumbel Verteilungen). Allerdings liegen solche Klimainformationen von Ort zu Ort in sehr unterschiedlichen Zeitreihen vor. Klimastationen befinden sich meist in der Nähe von Ortschaften und nicht direkt in Ökosystemen.

- B) Die Modelle zur Prognose künftig zu erwartender Klimabedingungen sind inzwischen sehr gut bezüglich der prognostizierten Trends und langjährigen Mittelwerte. Sie können in regionalen Klimamodellen sogar in recht hoher räumlicher Auflösung dargestellt werden. Wesentliche Ungewissheit besteht hier vor allem bezüglich der realisierten Szenarien (Politik, Wirtschaft, Technologie, Demographie etc.). Was diese Modelle aber schlecht bis gar nicht zu leisten vermögen, sind verlässliche Informationen zu klimatischen Extremen.
- C) Aus naturschutzfachlicher Perspektive ist selbstredend die Wahl von Organismen oder Ökosystemen als Referenz das naheliegende. Hier ergeben sich jedoch Einschränkungen bezüglich fehlender Daten (s. o.) und noch stärker bezüglich der Unterschiedlichkeit der Objekte in ihrem Verbreitungsgebiet. Der Ansatz der Klimahüllen (climatic envelopes) ist nur als eine grobe Annäherung zu verstehen.

Wir werden in diesem kurzen Beitrag bei einer allgemeinen Auffassung von Extremereignissen bleiben, denn sie umfassen ein vielfältiges Spektrum an Erscheinungen. So können primäre Ereignisse, wie Wetterextreme und klimatische Extreme von sekundären Ereignissen wie biotischen Invasionen, Waldbrände oder Insektenkalamitäten unterschieden werden. Wir beschränken uns hier auf die Betrachtung extremer Wetter- und Klimaereignisse, zu denen Dürren, Hitzewellen, Überschwemmungen und Stürme zählen.

Die Definition des IPCC (2007) beschreibt Extremereignisse als seltene Ereignisse, die durch kleinräumiges Auftreten zu einer bestimmten Zeit im Jahr und meist über eine kurze Dauer charakterisiert sind. Zudem ist damit eine schnelle Zu- oder Abnahme einer Klimavariablen verbunden, die lokal zu Instabilitäten führen kann. Der Charakter solcher Ereignisse variiert naturgemäß 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, dann spricht man von einem extremen Klimaereignis. Verständlicherweise sind nicht alle heute auftretende Extremereignisse dem anthropogen verursachten Klimawandel zuzuschreiben. Extremereignisse fanden immer schon statt, und hatten entsprechende Auswirkungen, die aber nur in wenigen Fällen, wie dem Magdalenenhochwasser von 1342 nachvollzogen werden können (BEIERKUHNEIN 2007).

Die natürliche Auftretenswahrscheinlichkeiten von Extremen kann in einer Dichtefunktion anhand des 10 % bzw. 90 %- Perzentils dargestellt werden (Abb. 1). Um Ereignisse als extrem identifizieren zu können, bedarf es eines historischen Zeitraums der als Vergleichszeitraum dient. Erst homogene Aufzeichnungen von Klima- und Wetterdaten über lange Zeiträume ermöglichen es einzelne Ereignisse in einem längeren Kontext zu betrachten und zueinander in Relation zu setzen. In der Hydrologie spricht man von einem 100-jährigen oder 1000-jährigen Hochwasser - also der 1 % bzw. 0,1 %igen Wahrscheinlichkeit des Auftretens in jedem Jahr - wenn ein solches Ereignis einmal in 100 bzw. 1.000 Jahren auftritt. Die absoluten Werte sind damit entscheidend von der betrachteten Zeitskala abhängig.

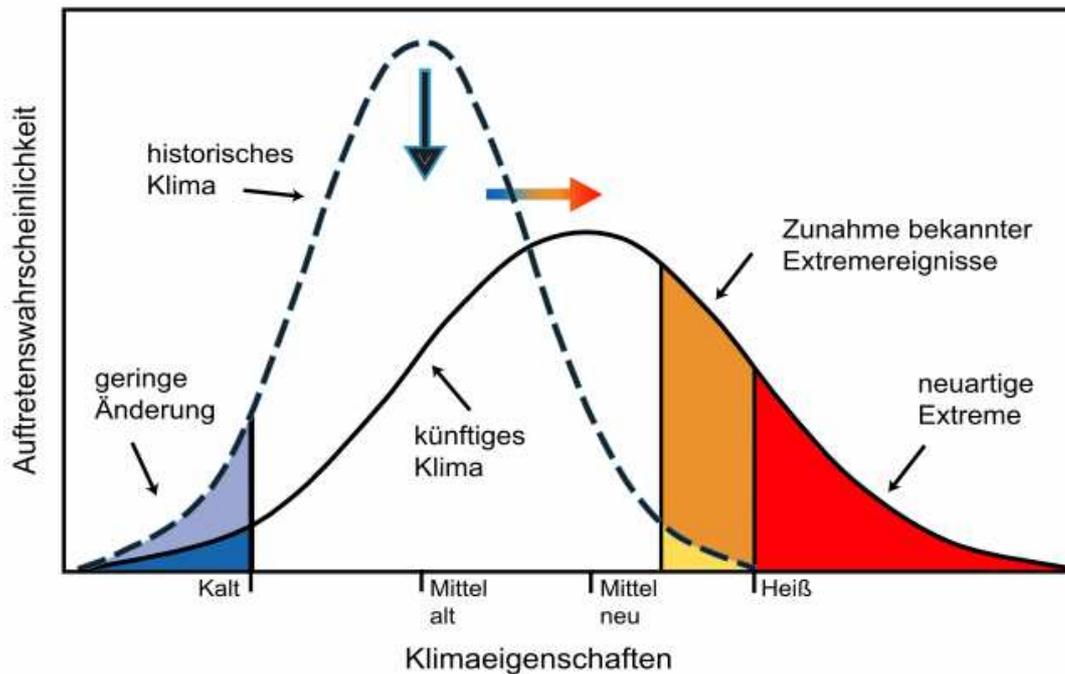


Abb. 1: Schematische Darstellung der Häufigkeitsverteilung klimatischer Variablen wie z.B. Temperatur oder Niederschlag des historischen Klimas (gestrichelte Linie). Unter Einbeziehung des Klimawandels, Verschiebung der Mittelwerte (bunter Pfeil) und Varianz (schwarzer Pfeil), treten künftig extremere Verhältnisse auf. Es sind sowohl häufigere Ereignisse bekannter Extreme als auch Ereignisse höherer Intensität (roter Bereich) zu erwarten (nach MEEHL et al. 2000).

Eine klare Unterscheidung zwischen Trend - kontinuierliche Veränderung einer Klimavariablen - und Extremereignis ist ebenfalls eine Frage der zeitlichen Auflösung. Doch kann ein diskretes Ereignis durch die Plötzlichkeit seines Auftretens charakterisiert werden, unabhängig davon, ob es periodisch wiederkehrend, erwartet oder gewöhnlich in seinem Erscheinen ist (JENTSCH et al. 2007). Des Weiteren spielt die Intensität, die Dauer und der Zeitpunkt eine entscheidende Rolle für die Auswirkungen auf Ökosysteme und Organismen.

So lässt sich Dürre als ein langsam aufbauendes, temporäres Wasserdefizit in einem bestimmten Gebiet beschreiben. Sie tritt in Mitteleuropa meist im Sommer bei andauernden Hochdruckwetterlagen mit zunehmender Verdunstung durch hohe Lufttemperaturen und intensive Sonneneinstrahlung auf. Zusätzlich geringe Niederschläge oder gar völliges Ausbleiben von Niederschlägen führen zu Dürren oder Trockenperioden. Nicht zu verwechseln mit der Aridität, dem permanenten Wasserdefizit, welche in ariden Gebieten, wie z. B. dem mediterranen Raum über zwei Monate hinweg, auftritt. Dennoch können auch in ariden Gebieten Dürren auftreten. Für die Identifizierung bedarf es neben den Mittelwerten und Varianzen auch der Betrachtung von Dauer und Zeitpunkt des Ausbleibens von Niederschlag.

Bei der Betrachtung von Auswirkungen auf Organismen ist die Plastizität, d.h. deren Anpassungs-, Widerstands-, Regenerationsfähigkeit und Ausdauer, ein weiterer wichtiger Aspekt. So können Organismen unter Selektionsdruck gelangen, indem lokal angepasste physiologische und morphologische Eigenschaften sowie Verhaltensweisen für den veränderten Lebensraum nicht mehr geeignet sind (GUTSCHICK & BASSIRIRAD 2003). In erster Linie geht es darum die Vulnerabilität von Organismen und Ökosystemen zu identifizieren, um schließlich mit Anpassungsstrategien darauf reagieren zu können.

Literaturanalyse

Die Literaturrecherche im ISI Web of Science (Thomson Reuter) wurde zu folgenden extremen Wetter- und Klimaereignissen mit unterschiedlicher Anzahl an Suchbegriffen durchgeführt: *frost, heat & drought, storm, rainfall* und *extreme*. Genannte Themenblöcke und ihre Suchbegriffe wurden jeweils mit 22 verschiedenen Ökosystemen und 14 verschiedenen Organismengruppen verknüpft. Das Ergebnis sind 1331 „peer-reviewed“ Veröffentlichungen bestehend aus 78 % Originalartikeln und 22 % Review oder andere Artikeltypen. Die zunehmende Anzahl an Veröffentlichungen seit den 90er Jahren spiegelt das wachsende Interesse an der Untersuchung von Auswirkungen von Extremereignissen wider (Abb. 2).

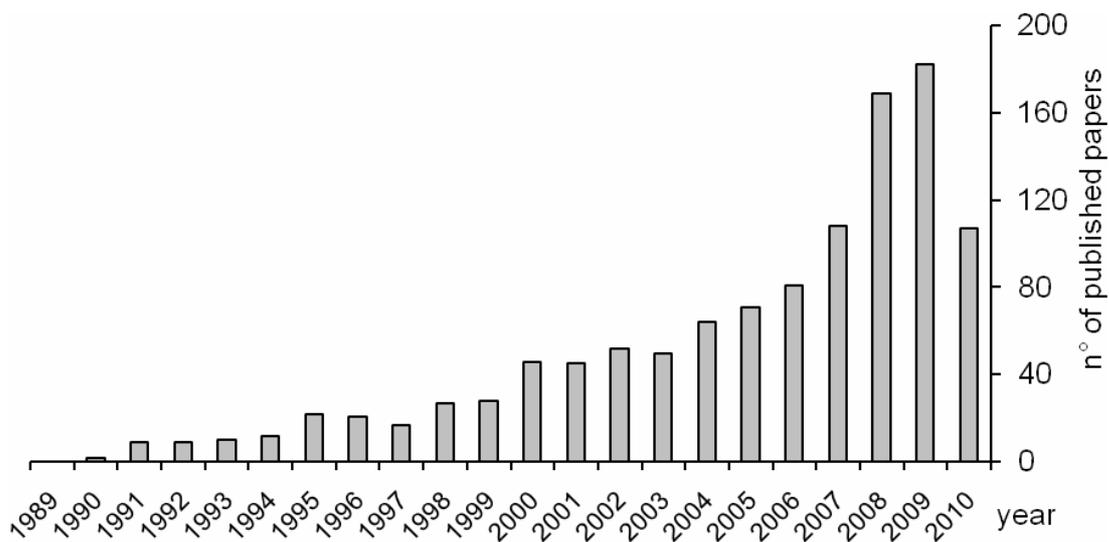


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung der Anzahl der Veröffentlichungen (n=1134) zu Extremwetter- und -klimaereignissen im ISI Web of Science. Die Suche wurde für alle verfügbaren Jahre bis zum 26.6.2010 durchgeführt, wodurch die geringe Anzahl an Artikeln im Jahr 2010 zustande kommt.

Knapp zwei Drittel der Veröffentlichungen sind den Bereichen Umweltwissenschaften und Ökologie zuzuordnen (Abb. 3). Die Ökologie alleine erreicht einen Anteil von 57 %. Untersuchungen zu Auswirkungen von Extremereignissen auf Ornithologische Zusammenhänge oder im Bereich der Limnologie, Ozeanografie oder marinen Biologie sind sehr spärlich. Wenn diese allerdings untersucht wurden, handelt es sich um Auswirkungen von Stürmen, Hurrikane, Zyklonen oder Tornados (Kategorie *storm*). Deutliche Defizite gibt es im Bereich limnologischer Ökosysteme. Wenn einzelne Organismengruppen untersucht wurden, handelt es sich vorwiegend um Pflanzen (Plant Sciences), in geringem Umfang um Insekten (Entomology) und Vögel (Ornithology).

Die Analyse der Originalartikel hinsichtlich von Untersuchungen, die sich ausschließlich mit Auswirkungen von Extremereignissen – und keinen Trends von Klimavariablen - auseinandersetzt, ergab eine Auswahl von 441 Artikeln. 82 % beschäftigen sich mit terrestrischen und 16 % mit aquatischen Ökosystemen, 2% machen keine Angaben zu ihren Untersuchungen (Abb. 4). Von terrestrischen Ökosystemen nehmen Wälder mit 37 % den größten Anteil ein, gefolgt von Grünland (19 %) und Mooren bzw. Feuchtgebieten (10 %). Dagegen sind Tundra, Buschlandschaften sowie Wüsten bzw. aride Gebiete kaum vertreten. Ein Viertel der terrestrischen Ökosysteme geben kein konkretes Biom an.

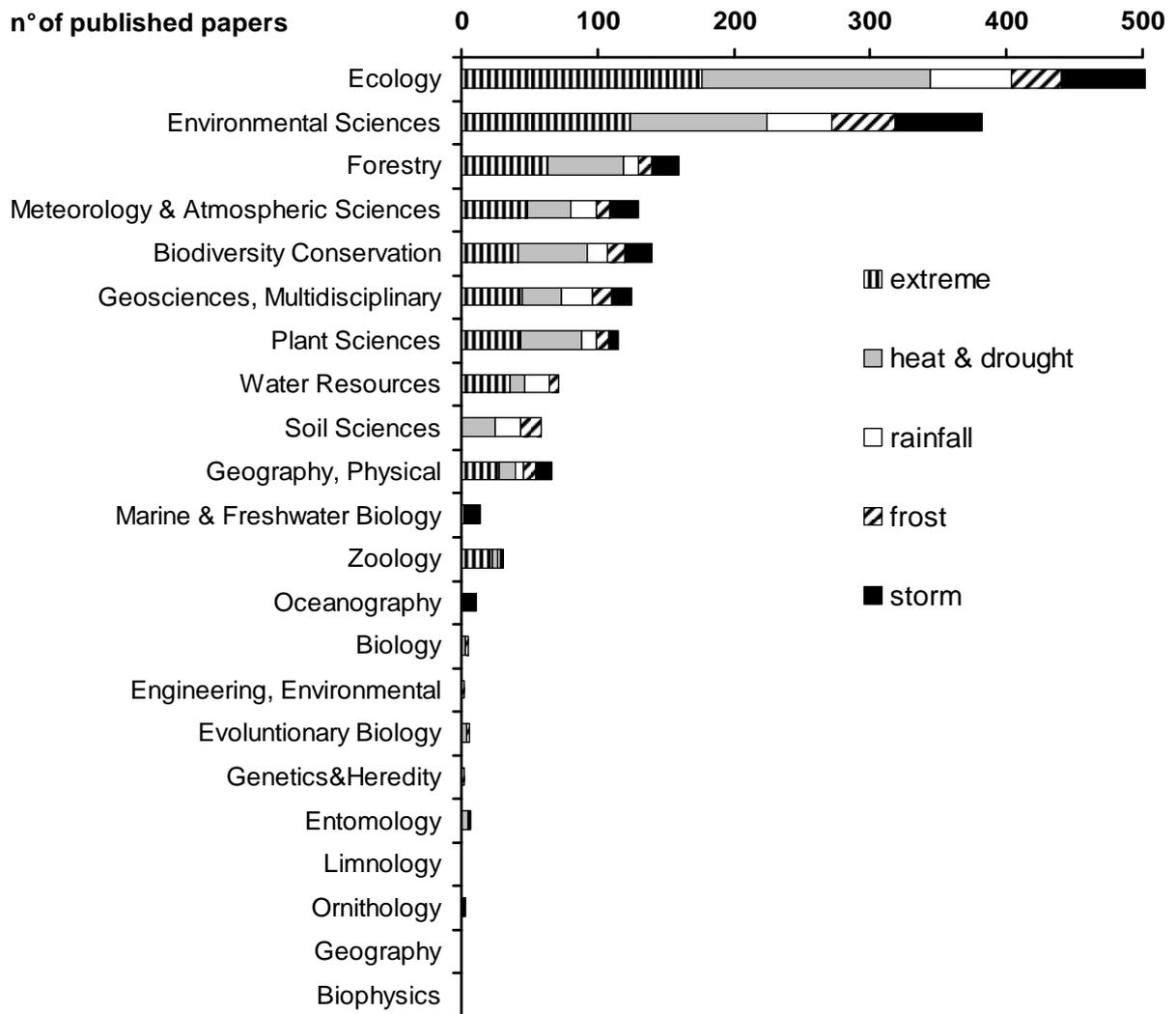


Abb. 3: Themenbereiche des ISI Web of Science, denen die Suchtreffer am häufigsten zugeordnet wurden, zum Thema extreme Wetter- und Klimaereignisse und ihren Auswirkungen. Mehrfache Zuordnung eines Artikels ist möglich. Unterschiedliche Grautöne geben den Anteil eines Themenblocks an der Gesamtanzahl der Veröffentlichung in einem Themenbereich an.

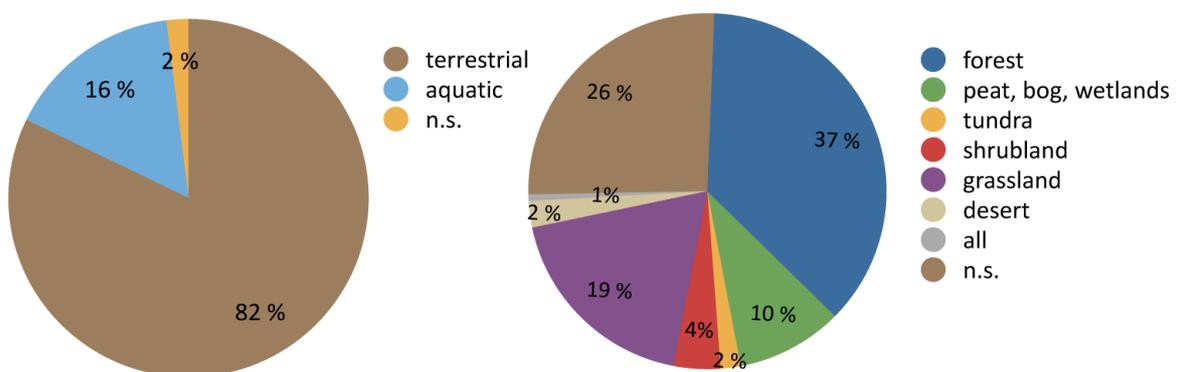


Abb. 4: Die Analyse der Originalartikeln zu Auswirkungen von Extremereignissen ergab größtenteils Untersuchungen an terrestrischen Ökosystemen (links) und dargestellte Anteile unterschiedlicher Biome an terrestrischen Ökosystemen (rechts), wobei ein Viertel der Biome nicht weiter spezifiziert wurde (n.s.).

Vom Fallbeispiel zur Übertragbarkeit?

Die hier kurz angerissenen Fallbeispiele sollen verdeutlichen, dass die Auswirkungen von extremen Wetter- und Klimaereignissen je nach Betrachtungsskala, -zeitraum, Ökosystem, Art und Individuum stark variieren. Bezüglich der Auswirkungen der Ereignisse auf die lokale Biodiversität kann man sicherlich noch keine allgemeingültigen Aussagen treffen, da die Effekte von Dauer, Intensität und dem Zeitpunkt des Auftretens eines Extremereignisses beeinflusst sind. Es gilt verstärkt intrinsische Ansätze zu finden, die die Reaktionen und Grenzen bezüglich Extremwetter- und -klimaereignisse der verschiedenen Ökosysteme und Organismen aufzeigen.

Eine einfache und die natürlichen Auswirkungen zum großen Teil negierende Bewertung ist die wirtschaftliche Betrachtung. Die Münchner Rück bewertet Naturkatastrophen und Extremereignisse nach der entstandenen monetären Gesamtschadenssumme. Die naturschutzfachliche Bewertung eines Extremereignisses und dessen Auswirkung auf ein Ökosystem gestaltet sich jedoch diffiziler, da es keinen einheitlichen Bewertungsmaßstab gibt. So können die Folgen eines Extremereignisses für eine bestimmte Artgruppe auf lange Sicht positiv sein, während sie für andere Artgruppen von Nachteil sind.

Stürme beeinflussen die Avifauna direkt über die Mortalität und indirekt über die Veränderung ihrer Habitate. RITTENHOUSE et al. (2010) haben Artenzahl, Abundanz und Artenzusammensetzung in von Hurrikanen betroffenen und nicht betroffenen Gebieten an der Ost- und Südküste der USA untersucht. Die Wirbelstürme verursachten regionale Unterschiede in der Artenzusammensetzung, aber weitestgehend keine signifikanten Verluste der Artenzahl und Abundanz. Nur Vögel, die in Städten und Wäldern brüten, zeigten eine deutlich geringere Abundanz. ZMIHORSKI (2010) kam bei der Untersuchung von großflächigem Windwurf durch Sturm und dem anschließenden Vergleich unterschiedlicher Managementarten (natürliche Regeneration und Räumung mit Aufforstung) mit einer Kontrolle (unbeeinflusst von Windwurf) zum Ergebnis, dass das Waldmanagement einen größeren Einfluss auf die Vogelgemeinschaft hat als der Sturm selbst. Beide Untersuchungen zeigen, dass Stürme keine große Gefahr für die Vogelwelt darstellen, solange genügend Gebiete mit geeigneten Habitaten in nächster Umgebung zu Verfügung stehen.

ILG et al. (2008) haben anhand ihrer Untersuchungen von Mollusken, Laufkäfern und der umliegenden Vegetation, jeweils vor und nach dem Jahrhunderthochwasser der Elbe 2002 gezeigt, dass diese bezüglich Abundanz und Diversität unterschiedlich reagieren. So waren Abundanz und Diversität der Mollusken zwei Jahre nach dem Extremereignis höher als vor dem Ereignis. Laufkäfer dagegen mussten Verluste von bis zu 40 % ihrer Arten hinnehmen. Beide Artengemeinschaften zeigten deutliche Veränderungen im Vergleich zu ihrer ursprünglichen Artenzusammensetzung. Die ebenfalls von der Flut betroffene Pflanzengemeinschaft blieb weitestgehend stabil.

In einer ähnlichen Studie weisen THIBAUT & BROWN (2008) darauf hin, dass es bei der geringen Zahl von beobachteten und bezüglich ihrer Auswirkungen untersuchten Ereignissen noch zu früh ist, verallgemeinernde Schlüsse zu ziehen. Es zeigen sich aber durchaus ähnliche Auswirkungen auf Sterblichkeit und die Dynamik von Lebensgemeinschaften bei unterschiedlichen Artengruppen und bei sehr unterschiedlichen Extremereignissen. Gemein ist den aufgetretenen biotischen Effekten, dass sie nicht aus bisherigen Kenntnissen hätten abgeleitet werden können!

Literatur

- BEIERKUHNLEIN C. (2007): Biogeographie – Die räumliche Organisation des Lebens in einer sich verändernden Welt. - Stuttgart (Ulmer)
- Easterling, D.R.; Meehl G.A.; Parmesan, C.; Changnon, S.A., et al. (2000): Climate extremes: Observations, modeling and impacts. - *Science* 289 (5487): 2068-2074
- GUTSCHICK, V.P. & H. BASSIRIRAD (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
- ILG, C., DZIOCK, F.; FOECKLER, F.; FOLLNER, K. et al. (2008): Long-term reactions of plants and macroinvertebrates to extreme floods in floodplain grasslands. - *Ecology* 89(9): 2392-2398
- IPCC (2007): The Physical Science Basis. - In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M. & H. L. MILLER (eds.): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge (Cambridge University Press)
- JENTSCH, A. (2006): Extreme climatic events in ecological research. - *Frontiers in Ecology and the Environment* 4:235-236
- JENTSCH, A. & C. BEIERKUHNLEIN (2008): Research frontiers in climate change: Effects of extreme meteorological events on ecosystems. - *Comptes Rendus Geoscience* 340:621-628
- JENTSCH, A.; KREYLING, J. & C. BEIERKUHNLEIN (2007): A new generation of climate-change experiments: events, not trends. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7) 365-374
- MCCLANAHAN, T.R.; CINNER, J.E.; MAINA J.; GRAHAM N.A. et al. (2008): Conservation action in a changing climate. - *Conservation Letters* 1:53-59
- MEEHL, G.A.; KARL, T.; EASTERLING, D.R.; CHANGNON, S. et al. (2000): An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. - *Bulletin of the American Meteorological Society* 81:413-416
- RITTENHOUSE, C.D.; PIDGEON, A.M.; ALBRIGHT, T.P.; CULBERT, P.D.; CLAYTON, M.K.; FLATHER, C.H.; HUANG, C.; MASEK, J.G. & V.C. RADELOFF (2010): Avifauna response to hurricanes: regional changes in community similarity. - *Global Change Biology* 16(3):905-917
- SMITH, J.B.; SCHNEIDER, S.H.; OPPENHEIMER, M.; YOHE, G.W. et al. (2009): Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ‘‘reasons for concern’’. - *PNAS* 106:4133-4137
- THIBAUT, K.M. & J.H. BROWN (2008): Impact of an extreme climatic event on community assembly. - *PNAS* 105:3410-3415
- WIGLEY, T.M. (2009): The effect of changing climate on the frequency of absolute extreme events. - *Climatic Change* 97:67-76
- ZMIHORSKI, M. (2010): The effect of windthrow and its management on breeding bird communities in a managed forest. - *Biodiversity and Conservation* 19(7): 1871-1882