Merle Streitberger, Werner Ackermann, Thomas Fartmann, Giulia Kriegel, Anne Ruff, Sandra Balzer und Stefan Nehring

Eckpunkte eines Handlungskonzepts für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel

Key points for an action plan for species conservation under climate change in Germany

Bundesamt für Naturschutz

BfN-Skripten 466

2017

Eckpunkte eines Handlungskonzepts für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel

Key points for an action plan for species conservation under climate change in Germany

Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben „Strategien und Handlungskonzept für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel“ (FKZ 3513 86 0800) /

Summary of the Research and Development Project (FKZ 3513 86 0800)

Merle Streitberger
Werner Ackermann
Thomas Fartmann
Giulia Kriegel
Anne Ruff
Sandra Balzer
Stefan Nehring

BfN
Bundesamt für Naturschutz

Titelbild / Cover: oben links / above left: Berg-Mähwiese im Hochsauerland / Montane meadow in Central Germany (Hochsauerland); oben rechts / above right: Langer Landschaftsgradient in der Prignitz / Long landscape gradient (Prignitz, Northeast Germany); unten links / below left: Goldener Scheckenfalter / Marsh fritillary (*Euphydryas aurinia)*; unten rechts / below right: Europäischer Frauenschuh / Lady's-slipper orchid (*Cypripedium calceolus*) (Fotos / Photos: alle / all ©Thomas Fartmann)

Adressen der Autorinnen und Autoren / Author affiliations:

Dr. Merle Streitberger
Prof. Dr. Thomas Fartmann
Institut für Landschaftsökologie, Universität Münster
Heisenbergstraße 2, 48149 Münster

Aktuelle Adressen:
Abteilung für Biodiversität und Landschaftsökologie
Universität Osnabrück
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück
E-Mail: merle.streitberger@uos.de
t.fartmann@uos.de

Werner Ackermann
Giulia Kriegel
Anne Ruff
PAN Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH
Rosenkavalierplatz 10, 81925 München
E-Mail: werner.ackermann@pan-gmbh.com
anne.ruff@pan-gmbh.com

Dr. Sandra Balzer
Dr. Stefan Nehring
Bundesamt für Naturschutz,
Konstantinstr. 110, 53179 Bonn
E-Mail: sandra.balzer@bfn.de
stefan.nehring@bfn.de

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).
BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter http://www.bfn.de/0502_skripten.html heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber:
Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des institutionellen Herausgebers unzulässig und strafbar.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-203-7

DOI 10.19217/skr466

Bonn - Bad Godesberg 2017

Inhaltsverzeichnis / Contents

Vorwort 5

Eckpunkte eines Handlungskonzepts für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel

1 Einleitung 7
1.1 Klimawandel in Deutschland 7
1.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität 8
1.3 Ziele des Vorhabens 8

2 Methoden zur Erarbeitung des Handlungskonzeptes 10

3 Ergebnisse: Handlungskonzept 11
3.1 Meere und Küsten 11
3.2 Fließgewässer und Quellen 13
3.3 Stillgewässer 15
3.4 Felsen, Block- und Schutthalden, Geröllfelder sowie Rohbodenhabitate 17
3.5 Äcker und Ackerbrachen 19
3.6 Grünland 20
3.7 Moore 23
3.8 Zwergstrauchheiden 25
3.9 Wälder 26
3.10 Alpine Habitate 29
3.11 Bauwerke 31

4 Fazit 34

Key points for an action plan for species conservation under climate change in Germany

1 Introduction 36
1.1 Climate change in Germany 36
1.2 Effects of climate change on biodiversity 36
1.3 Aims of the project 37

2 Methods for the development of the action plan 38

3 Results: Action plan 39
3.1 Marine and coastal habitats 39
3.2 Rivers and springs 40
3.3 Lakes 42
3.4 Rocks, cliffs, scree slopes and habitats with open soil 44
3.5 Arable habitats 45
3.6 Grassland 47
3.7 Mires 49
3.8 Heathlands 50
3.9 Forests 52
3.10 Alpine habitats 54
3.11 Buildings 56

4 Conclusions 58

5 Literatur / References 60

Durch die Verringerung des Sommerniederschlags steigt das Austrocknungsrisiko für kleinere Stillgewässer.

The risk of drying up increases for small water bodies due to the reduction of summer rainfalls.

(Foto / Photo: Thomas Fartmann)

Vorwort

In den letzten Jahrzehnten hat das wissenschaftliche und naturschutzpolitische Interesse an der Bedeutung des anthropogen verursachten Klimawandels für die Gefährdung und das Aussterben von Arten deutlich zugenommen. Durch die zum Teil unaufhaltsamen Folgen des Klimawandels besteht nicht nur ein hoher Bedarf, Anpassungsmaßnahmen seitens des Naturschutzes zu entwickeln und mit jenen anderer Politikbereiche abzugleichen, sondern auch Zielsetzungen neu zu definieren.

Um für den Artenschutz eine fundierte fachliche Basis zu schaffen, hat das BfN das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (F+E) „Strategien und Handlungskonzept für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel“ initiiert. Der vorliegende Band stellt im Ergebnis Eckpunkte für ein zukunftsfähiges Handlungskonzept vor. Um die wichtigen Ergebnisse auch international verfügbar zu machen, wurden die Eckpunkte zusätzlich ins Englische übersetzt.

Das Gesamtgutachten des F+E-Vorhabens ist ebenfalls publiziert:

> *Streitberger, M., Ackermann, W., Fartmann, T., Kriegel, G., Ruff, A., Balzer, S. & Nehring, S. (2016): Artenschutz unter Klimawandel: Perspektiven für ein zukunftsfähiges Handlungskonzept. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 147: 367 S*.

Das Vorhaben führte die relevanten Erkenntnisse der in den letzten 10 Jahren durch das BfN durchgeführten Ufoplan-Vorhaben zusammen, die sich mit den direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Naturschutz beschäftigten. Ergänzt wurde die Synthese durch eine umfassende Literaturrecherche zum Thema.

Es ist seit längerem Konsens, dass erhebliche Anstrengungen notwendig sind, um einzelne Lebensgemeinschaften angesichts der durch den Klimawandel zu erwartenden Veränderungen in der gegenwärtigen Form zu erhalten. Das Vorhaben formuliert für den Naturschutz die grundsätzliche Anforderung, die Ziele des Artenschutzes im Hinblick auf den Klimawandel zu überprüfen und zu konkretisieren. Es werden voraussichtlich Anpassungen und veränderte Schwerpunktsetzungen notwendig werden. Auch wenn die Erhaltung der aktuell natürlicherweise vorkommenden Arten als zentrales Ziel weiter verfolgt wird, müssen Handlungsoptionen zur Erreichung dieses Oberziels dynamisiert werden. Im Vordergrund sollte vor allem die Erhöhung der Anpassungskapazität von Biotopen und Arten durch die Erhaltung ökosystemtypischer Funktionen und Eigenschaften stehen.

Große Kenntnislücken und damit Forschungsbedarf in Bezug auf den direkten Einfluss des Klimawandels bestehen vor allem für viele gefährdete bzw. seltene Arten sowie insbesondere für Quellen, Feuchtheiden, Küstenhabitate und marine Lebensräume.

Wir hoffen, dass die vorliegende Studie mit Informationen und Empfehlungen in den nächsten Jahren einen wichtigen Beitrag bei der Diskussion, Abwägung und Implementierung eines zukunftsfähigen Handlungskonzeptes für den Artenschutz unter Klimawandel leisten wird.

Prof. Dr. Beate Jessel
Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

Aufgrund der Erwärmung breiten sich zunehmend südlich verbreitete Arten wie die Europäische Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) in Mitteleuropa aus.

As a result of global warming southerly distributed species like the European Praying Mantis (*Mantis religiosa*) increasingly expand their range in Central Europe.

(Foto / Photo: Thomas Fartmann)

Eckpunkte eines Handlungskonzepts für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel

1 Einleitung

1.1 Klimawandel in Deutschland

Durch die stetig ansteigende Emission von Treibhausgasen seit der Industrialisierung hat der Mensch maßgeblich Einfluss auf die Entwicklung des Klimas genommen (EEA 2012). Durch den anthropogenen Einfluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre hat sich die globale Jahresmitteltemperatur im Zeitraum von 1880 bis 2012 um 0,85 °C erhöht (IPCC 2013). In Deutschland stieg die durchschnittliche Jahrestemperatur um ca. 0,8–1 °C im Zeitraum von 1901 bis 2000 an (JONAS et al. 2005, RAPP 2000, UBA 2006 a, b). Hiervon besonders betroffen sind vor allem die wärmsten Landesteile wie zum Beispiel Südwest-Deutschland (ZEBISCH et al. 2005).

Bezüglich der Niederschlagsentwicklung konnten bislang keine Veränderungen statistisch belegt werden. Während der Jahresniederschlag mehr oder weniger konstant geblieben ist, scheint sich der Niederschlag zunehmend vom Sommer in den Winter zu verlagern (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004, ZEBISCH et al. 2005). Neben der spürbaren Erwärmung haben klimatische Extremereignisse in den letzten Jahren zugenommen. Dies trifft insbesondere für die Häufigkeit und die Dauer von Hitzewellen zu (v.a. im Südwesten und Nordosten Deutschlands, GERSTENGARBE & WERNER 2009). Bezüglich der Änderung der Windverhältnisse und des Auftretens von Starkregenereignissen ist hingegen noch kein eindeutiger Trend festgestellt worden (GERSTENGARBE & WERNER 2009).

Statistischen Modellierungen zufolge wird eine fortschreitende Erwärmung des Klimas prognostiziert. Je nachdem welches Zukunftsszenario betrachtet wird, wird eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von 1,5 bis 3,7 °C im Vergleich zum Referenzzeitraum 1951–2000 für das Ende des 21. Jahrhunderts vorhergesagt (SPEKAT et al. 2007, UBA 2006a). Dabei wird der Temperaturanstieg in den Wintermonaten stärker ausgeprägt sein als in den Sommermonaten (SPEKAT et al. 2007). Für weite Teile des Landes wird auch eine weitere Verlagerung des Niederschlags vom Sommer in den Winter prognostiziert. Je nach Szenario wird ein Rückgang des Sommerniederschlags von etwa 20 bis 30 % vorhergesagt (UBA 2006a). Vor allem innerhalb der wärmsten Regionen Deutschlands muss mit erheblichen Rückgängen des Sommerniederschlags gerechnet werden. Die Vorhersagen der Niederschlagsentwicklung sind allerdings wegen der großen regionalen Variabilität noch mit größeren Unsicherheiten behaftet als Prognosen zur Temperaturentwicklung.

Aufgrund der klimatischen Entwicklung ist mit einem verstärkten Auftreten klimatischer Extremereignisse wie lange andauernde Hitze- oder Dürreperioden zu rechnen. Für die Mitte des Jahrhunderts prognostizieren GERSTENGARBE & WERNER (2009) eine deutliche Zunahme an Sommertagen im Vergleich zur Referenzperiode (1951–2006). Vor allem innerhalb sommerhitzebelasteter Regionen wird dies ausgeprägt sein (Südwest- und Ostdeutschland). Insbesondere für die östliche Landeshälfte wird eine Häufung von Dürreperioden durch den starken Rückgang sommerlicher Niederschläge vorhergesagt. Starkregenereignisse (Tage mit Niederschlagsmengen ≥ 10 mm) werden hingegen vor allem im Nordwesten Deutschlands häufiger werden (GERSTENGARBE & WERNER 2009).

1.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität

Seit dem Ende des letzten Jahrtausends steht die Bedeutung des anthropogen induzierten Klimawandels für das weltweite Aussterben von Arten zunehmend im wissenschaftlichen Interesse (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004). Die rezente Änderung des Klimas beeinflusst Arten und Lebensgemeinschaften auf vielfältige Art und Weise. Neben Temperatur- und Niederschlagsänderungen hat insbesondere die Zunahme klimatischer Extremereignisse wie Starkregen oder lange anhaltende Trockenphasen erhebliche Konsequenzen für die Biodiversität (BEIERKUHNLEIN & JENTSCH 2013).

In Folge des Klimawandels wirken sich vor allem die folgenden Faktoren auf die Biodiversität aus und bewirken Veränderungen innerhalb von Lebensgemeinschaften (ESSL & RABITSCH 2013, MOSBRUGGER et al. 2014, PETERMANN et al. 2007, RABITSCH et al. 2010):

- physiologische Änderungen (z.B. durch Beeinflussung des Stoffwechsels, der Reproduktion oder der Mortalität) und Verhaltensänderungen von Arten,
- phänologische Änderungen,
- Veränderung biotischer Interaktionen (z.B. durch phänologische oder räumliche Entkopplungen von Interaktionspartnern),
- Arealverschiebungen (Veränderungen von Artengemeinschaften, Aussterben von Arten),
- Lebensraumveränderungen durch klimatische Änderungen.

Aufgrund der folgenschweren Auswirkungen des Klimawandels wird prognostiziert, dass die Änderung des Klimas zukünftig bedeutender auf die Artenvielfalt einwirken wird als direkte durch den Menschen ausgelöste Lebensraumveränderungen (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004). Zusätzlich zu den direkten Auswirkungen des Klimawandels durch veränderte Temperatur- bzw. Niederschlagsverhältnisse wirken sich die indirekten Folgen des Klimawandels auf die Biodiversität aus. Diese ergeben sich vor allem durch an den Klimawandel angepasste Landnutzungsänderungen und den Ausbau erneuerbarer Energien. Aufgrund der politischen Anpassungsstrategie an den Klimawandel mit möglichst CO_2-neutraler Energiegewinnung (und ohne Atomkraft) wird der Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland gefördert und ist somit indirekt mit dem Klimawandel verbunden.

Der rezente Klimawandel erfordert Anpassungsmaßnahmen, um die negativen Auswirkungen abzumildern. Dies gilt auch für den Naturschutz (DAS 2008). Durch die zum Teil unaufhaltsamen Folgen des Klimawandels besteht nicht nur ein hoher Bedarf, Anpassungsmaßnahmen seitens der Naturschutzplanung zu entwickeln, sondern auch die Zielsetzungen des Naturschutzes neu zu definieren. In Folge des Klimawandels wird es erhebliche Anstrengungen erfordern, einzelne Lebensgemeinschaften in der gegenwärtigen Form zu erhalten. Daher wird eine Priorisierung bislang festgelegter Naturschutzziele verlangt (IBISCH & KREFT 2008, KUNZE et al. 2013, WILKE et al. 2011). Hinsichtlich des Artenschutzes sind Maßnahmen erforderlich, die eine Anpassung der Arten an den Klimawandel unterstützen (IBISCH & KREFT 2008). Insbesondere für seltene und hoch gefährdete Arten, die negativ vom Klimawandel betroffen sind, sind an den Klimawandel adaptierte Strategien erforderlich, um das Aussterberisiko zu reduzieren. Zusätzlich besteht dringender Handlungsbedarf zum Schutz von Arten, die negativ durch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und die indirekten Folgen des Klimawandels wie etwa den Ausbau erneuerbarer Energien betroffen sind.

1.3 Ziele des Vorhabens

Aufgrund der weitreichenden Folgen des rezenten Klimawandels für die Biodiversität wurde durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) eine ganze Reihe von Ufoplan-Vorhaben durchgeführt, um die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Lebensräume zu identifizieren und Handlungserfordernisse für den Naturschutz abzuleiten.

Das Ziel dieses Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ist die Synthese der Erkenntnisse relevanter Ufoplan-Vorhaben. Der Fokus liegt hierbei auf der Erarbeitung eines für den Artenschutz unter dem Einfluss des Klimawandels zukunftsfähigen Handlungskonzeptes zum Schutz von durch den Klimawandel besonders gefährdeten Habitaten und Arten. Unter Klimawandel wird dabei der rezente Klimawandel verstanden, der vor allem durch eine stetig ansteigende Erwärmung und veränderte Niederschlagsmuster gekennzeichnet ist. Die Ausarbeitung des Konzepts erfolgte durch eine Zusammenfassung der Ergebnisse der in den letzten 10 Jahren durch das BfN durchgeführten Ufoplan-Vorhaben, die sich mit den direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Naturschutz beschäftigen. Ergänzt wurde die Synthese durch eine umfassende Literaturrecherche zum Thema. Aufbauend auf den Erkenntnissen wurde ein für den Artenschutz unter dem Einfluss des Klimawandels zukunftsfähiges Handlungskonzept abgeleitet. Das Handlungskonzept bezieht sich schwerpunktmäßig auf Arten mit hoher Gefährdungsdisposition, für die es durch die Ufoplan-Vorhaben Hinweise auf eine Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel gibt, sowie auf für den Artenschutz bedeutsame Habitate. Neben den notwendigen Handlungserfordernissen zum Schutz der betrachteten Habitate und Arten werden die Sektoren benannt, für die ein besonderer Handlungsbedarf besteht. Des Weiteren werden Wissensdefizite und notwendige zukünftige Forschungsfelder zum Thema aufgeführt. Im vorliegenden Skript sind die wichtigsten Ergebnisse des Vorhabens zusammengefasst. Dabei werden vor allem die wichtigsten Handlungserfordernisse zum Schutz der Habitate und betroffenen Arten sowie die sich ergebenden Anforderungen an die entsprechenden Sektoren und der erforderliche Forschungsbedarf dargestellt. Die Gesamtergebnisse des Vorhabens können STREITBERGER et al. (2016) entnommen werden.

Für weite Teile Mitteleuropas wird ein Rückgang der Großen Moosjungfer (*Leucorrhinia pectoralis*) prognostiziert.

For wide parts of Central Europe a decline of the Yellow-spotted Whiteface (*Leucorrhinia pectoralis*) is predicted.

(Foto / Photo: Thomas Fartmann)

2 Methoden zur Erarbeitung des Handlungskonzeptes

Zur Ableitung eines Handlungskonzepts für den Artenschutz unter Klimawandel wurde der aktuelle Wissenstand zum Einfluss des Klimawandels auf für den Artenschutz bedeutsame Habitate recherchiert. Des Weiteren konzentriert sich das Konzept auf Arten mit hoher Gefährdungsdisposition sowie auf Arten mit nationaler Verantwortlichkeit zur weltweiten Erhaltung der Art (GRUTTKE et al. 2004), für die es Hinweise durch die analysierten Studien und Ufoplan-Vorhaben gibt, dass ein potentielles Gefährdungsrisiko durch den Klimawandel in Deutschland besteht (BEHRENS et al. 2009a, HANSPACH et al. 2013, JAESCHKE et al. 2014, KERTH et al. 2014, KREFT & IBISCH 2013, POMPE et al. 2011, RABITSCH et al. 2010, SCHLUMPRECHT et al. 2010, TRAUTMANN et al. 2013). Diese Arten wurden im Rahmen des Konzeptes durch weitergehende Recherche näher betrachtet. Die Auswahl der Arten beschränkte sich dabei auf die folgenden Artengruppen: Farn- und Blütenpflanzen, Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel, Säugetiere, Libellen, Heuschrecken, Laufkäfer und Sandlaufkäfer, Tagfalter und Widderchen sowie Binnenmollusken. Die Recherche bestand zum einen aus einer Analyse der Veröffentlichungen relevanter, vom Bundesamt für Naturschutz durchgeführter Ufoplan-Vorhaben, die sich mit den direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und den Artenschutz beschäftigen (s. STREITBERGER et al. 2016). Zusätzlich wurde im Jahr 2014 eine Literaturrecherche durchgeführt, um weitere Erkenntnisse zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die einzelnen Habitattypen und Arten zu sammeln. Dabei lag der Fokus der Recherche auf deutschsprachigen und internationalen Veröffentlichungen der letzten zehn Jahre mit Schwerpunkt auf Mitteleuropa. Die Literaturrecherche erfolgte mit den Literatur-Datenbanken *isi web of science* sowie *DNL-online*.

Historische Waldnutzungsformen wie die Mittelwaldbewirtschaftung fördern lichtliebende Waldarten.

Traditional forms of woodland management such as coppicing promote woodland species dependent on light forest structures.

(Foto / Photo: Thomas Fartmann)

3 Ergebnisse: Handlungskonzept

3.1 Meere und Küsten

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Neben der Erwärmung der Ozeane wirken sich vor allem die klimawandelbedingten Veränderungen der hydrochemischen Verhältnisse (v.a. Versauerung, Veränderung des Salzgehaltes) auf Meeres- und Küstenlebensräume und deren Lebensgemeinschaften aus (NARBERHAUS et al. 2012). Durch den steigenden Meeresspiegel besteht vor allem für Flachküstenhabitate und andere küstentypische Lebensräume wie Salzwiesen ein hohes Gefährdungsrisiko (WILTSHIRE & KRABERG 2013). Besonders dramatische Veränderungen werden außerdem für Lebensgemeinschaften prognostiziert, die an klimasensitive Schlüsselarten gebunden sind wie beispielsweise das Gewöhnliche Seegras (*Zostera marina*) (NARBERHAUS et al. 2012).

Neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels bewirkt der Ausbau der Windkraft erhebliche Veränderungen mariner Ökosysteme, beispielsweise in Folge der Riffbildung an den Fundamenten der Anlagen (LANGHAMER 2012, BERGSTRÖM et al. 2014, BSH & BMU 2014). Rammarbeiten zur Installation der Mastfundamente rufen physiologische Beeinträchtigungen bei Meeresorganismen (v.a. Fische und Meeressäuger) hervor, wenn Schutzmaßnahmen nicht ausreichend berücksichtigt werden (BERGSTRÖM et al. 2014, BSH & BMU 2014).

Handlungserfordernisse und Anforderungen an Sektoren

Die klimawandelbedingten Veränderungen von Artengemeinschaften werden (v.a. aufgrund veränderter hydrochemischer Bedingungen in Folge der Versauerung und veränderter Salzgehalte und einer zunehmenden Meereserwärmung) größtenteils nicht vermeidbar sein und müssen aus Sicht des Artenschutzes akzeptiert werden. Eine flexible Ausrichtung des Meeres- bzw. Küstennaturschutzes ist daher anzustreben. Die notwendigen Handlungserfordernisse zum Schutz gefährdeter Arten der Meere und Küsten zielen vor allem auf die Erhöhung der Resilienz von Meeres- und Küstenlebensräumen durch entsprechende Maßnahmen ab (CPSL 2001). Dabei stellen das Monitoring von Indikatorarten, die Minimierung von Gefährdungsbeeinträchtigungen (u.a. von Risiken, die von dem Ausbau von Windenergieanlagen ausgehen), die Verbesserung der Habitatkonnektivität (v.a. an der Küste) und das verstärkte Zulassen dynamischer Prozesse (z.B. durch Deichrückbau) besonders bedeutende Maßnahmen dar.

Um die Gefährdungsdisposition für marine Fischarten zu reduzieren, ist die konsequente Umsetzung einer ökologisch verträglichen Fischerei dringend notwendig. Die Fischerei muss sich in Bezug auf die Fangmengen (inkl. des Beifangs) daran orientieren, dass ausreichend große Fischbestände erhalten bleiben. Für die Europäische Union fordert inzwischen auch die Gemeinsame Fischereipolitik (CFP 2014) die Erholung der Bestände in einem angemessenen Zeitrahmen über diejenige Bestandsgröße hinaus, die einen maximalen nachhaltigen Ertrag gewährleisten kann. Gleichzeitig müssen die negativen Auswirkungen der Meeresfischerei auf andere Komponenten mariner Ökosysteme minimiert werden. Insbesondere der Einsatz von aktiven, grundberührenden Fanggeräten sollte kontinuierlich verringert werden. In Schutzgebieten sollten diese Fangmethoden gänzlich untersagt werden.

Die Ausbreitung invasiver wärmeliebender Arten stellt ein hohes Gefährdungsrisiko für marine Ökosysteme dar. Zur Verringerung des Gefährdungsrisikos sind daher spezifische Maßnahmen erforderlich, die die Ausbreitung invasiver Arten kontrollieren. Hierzu gehören vor allem das Monitoring von Artengemeinschaften innerhalb der Ausbreitungszentren gebietsfremder Arten (v.a. Ästuare und Häfen), um sich ausbreitende Arten frühzeitig zu identifizieren (NEHRING et al. 2009, OJAVEER et al. 2014) und die Berücksichtigung entsprechender

Regelwerke (s. OJAVEER et al. 2014) durch die betroffenen Sektoren (v.a. Schifffahrt, Aquakultur).

Zur Umsetzung der Handlungserfordernisse ergeben sich daher die folgenden Anforderungen an die betroffenen Sektoren:

- Fischerei/Schifffahrt: Umsetzung einer nachhaltigen Fischerei (v.a. angepasste Fangquoten gem. CFP [2014]; Schonung des Meeresbodens zumindest in Schutzgebieten; Entwicklung ökologisch verträglicher Fangmethoden) und Berücksichtigung von Maßnahmen zur Vermeidung der Verschleppung gebietsfremder Arten (v.a. Berücksichtigung von Ballastwasser-Regelungen; Müllvermeidung und die Entwicklung ökologisch verträglicher Schiffsanstriche, s. OJAVEER et al. 2014)
- Aquakultur: Verzicht auf die Kultivierung invasiver Arten; Berücksichtigung entsprechender Richtlinien zum Umgang mit gebietsfremden Arten (s. OJAVEER et al. 2014),
- Politik: verstärkte Ausrichtung der Fischereipolitik an ökologischen Gesichtspunkten und konsequente Anwendung von Überwachungsmaßnahmen; schärfere Regulierung zur Vermeidung von Plastikmüll aus der Fischerei und Schifffahrt (s. INTERNATIONAL CONFERENCE ON PREVENTION AND MANAGEMENT OF MARINE LITTER IN EUROPEAN SEAS [2013]) und des Einschleppens gebietsfremder Arten; schärfere gesetzliche Regelung zur verpflichtenden Umsetzung von Artenschutzmaßnahmen im Zuge des Ausbaus von Offshore-Windenergieanlagen,
- Raum- und Landschaftsplanung/Küstenschutz: stärkere Berücksichtigung erforderlicher Anpassungsmaßnahmen des Naturschutzes (z.B. Ausbau des Biotopverbundsystems, v.a. Deichöffnung und Deichrückbau) bei der Ausgestaltung von Raum- bzw. Landschaftsplänen,
- Energiewirtschaft: Berücksichtigung von Artenschutzmaßnahmen beim Ausbau von Windkraftanlagen (z.B. Schallschutzmaßnahmen bei Rammarbeiten); Weiterentwicklung von Schutzmaßnahmen unter der Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse.

Forschungsbedarf

Um die langfristigen Auswirkungen des Klimawandels auf marine Artengemeinschaften zu analysieren besteht dringender Bedarf, Arten zu identifizieren, die besonders vom Klimawandel betroffen sind (z.B. durch Empfindlichkeitsanalysen) und als Indikatorarten dienen können. Dabei ist es vor allem erforderlich, die Anpassungskapazität mariner Arten an die veränderten Umweltbedingungen verstärkt zu untersuchen, um die Auswirkungen auf Artengemeinschaften besser verstehen zu können. Noch weitgehend unerforscht sind die interaktiven Wirkungen unterschiedlicher klimawandelbedingter Effekte auf Ökosysteme und Arten (z.B. Erwärmung und Versauerung, s. PÖRTNER 2006).

Um nachhaltige Schutzmaßnahmen zur Erhaltung von Küstenhabitaten durch Deichöffnung oder -rückbau aus planerischer und gesellschaftlicher Sicht durchsetzen zu können, besteht Forschungsbedarf zur Entwicklung von rechtlichen und planerischen Lösungen. Des Weiteren muss verstärkt untersucht werden, wie sich Sandanreicherungsmaßnahmen auf ökologischer und küstenmorphologischer Ebene auswirken (CPSL 2010).

Die Auswirkungen des Ausbaus von Offshore-Windenergieanlagen auf marine Arten und Habitate müssen weitergehend erforscht und Schutzmaßnahmen weiterentwickelt werden (z.B. Erforschung der Effekte unterschiedlicher Kolkungsschutzmaterialien bzw. Rammschutzmaßnahmen auf die marine Biodiversität). Vor allem Langzeit-Untersuchungen unter Berücksichtigung von Referenzgebieten sind erforderlich, um die Konsequenzen des Ausbaus auf die Biodiversität verstehen zu können und geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Für die Entwicklung von Schutzmaßnahmen zur Minimierung des Gefährdungsrisikos durch

sich ausbreitende gebietsfremde Arten besteht dringender Bedarf, den Kenntnisstand zur Ausbreitung speziell invasiver Arten zu vertiefen und die sich daraus ergebenen Auswirkungen auf marine Lebensräume und Küstenökosysteme zu analysieren (KATSANEVAKIS et al. 2014, OJAVEER et al. 2014). Dabei ist es vor allem erforderlich, die Überlebens- und Ausbreitungsstrategien invasiver Arten, die Einflüsse des Menschen auf die Ausbreitung invasiver Arten und die Verbreitung gebietsfremder Arten auf kontinentaler Ebene zu analysieren. Dies gilt vor allem für unzureichend untersuchte Taxa (v.a. einzellige Organismen, Mikroorganismen allg.).

3.2 Fließgewässer und Quellen

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Die zunehmende Gewässererwärmung, ein verändertes Abflussgeschehen und veränderte hydrochemische Bedingungen (v.a. Gewässererwärmung und die dadurch bedingte Sauerstoffzehrung sowie Anreicherung von Nährstoffen durch erhöhte Löslichkeit) wirken sich im Zuge des Klimawandels auf die Lebensgemeinschaften von Fließgewässern und Quellen aus (HAASE et al. 2012). Vor allem für kalt-stenotherme Arten und Arten der Gewässeroberläufe besteht ein hohes Gefährdungsrisiko durch die steigende Gewässererwärmung (MELCHER et al. 2013). In Folge der Erwärmung werden die Potamalisierung oberer Gewässerläufe und die Ausbreitung von Arten des Potamals gefördert (HAASE et al. 2012, MATULLA et al. 2007). Insbesondere innerhalb montaner Regionen, wo eine Verschiebung der Gewässerzonen nur eingeschränkt möglich ist, wird das Aussterberisiko für Arten oberer Gewässerzonen als besonders hoch eingestuft (DURANCE & ORMEROD 2007). Neben der Gewässererwärmung werden sich vor allem die veränderten Abflussbedingungen in Folge der Veränderung des Niederschlagsregimes auf Fließgewässerökosysteme auswirken. Für einen Großteil der Fließgewässer in Deutschland werden durch die zunehmende Erwärmung verringerte Abflussmengen prognostiziert (HAGEMANN & JACOB 2007, PRANGE et al. 2013). In Folge dessen und aufgrund veränderter Sedimentationsprozesse werden erhebliche Veränderungen der Fließgewässerlebensgemeinschaften erwartet. Vor allem für Kiesbewohner und Muscheln besteht ein Gefährdungsrisiko durch zunehmende Niedrigwasserstände, indem durch die verringerte Schleppkraft verstärkt Feinsedimente und organisches Material abgelagert werden (PRANGE et al. 2013, VERDONSCHOT et al. 2010). Insbesondere für die Quellfauna wird das Gefährdungsrisiko durch die prognostizierten häufigeren Austrocknungsereignisse als besonders hoch eingestuft (WINTER & SCHINDLER 2011). Andererseits wird aufgrund zunehmender Starkregenereignisse und erhöhter Winterniederschläge eine Zunahme der Extremhochwasser prognostiziert (s. HAASE et al. 2012, VERDONSCHOT et al. 2010).

Neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels erhöht sich das Gefährdungsrisiko für Gewässerlebensräume in Folge der landwirtschaftlichen Intensivierung (unter anderem durch den zunehmenden Energiepflanzenanbau), indem Nährstoff- und Pflanzenschutzmittel verstärkt in Gewässer eingetragen werden. Dies dürfte durch die direkten Folgen des Klimawandels (z.B. zunehmende Starkregenereignisse) noch verschärft werden (HAASE et al. 2012, SCHOLZ et al. 2013). Sommerliche Trockenperioden ziehen zudem einen höheren Wasserbedarf der Landwirtschaft mit größeren Entnahmemengen aus Grund- und Oberflächengewässern nach sich, wodurch Abflüsse beeinflusst werden (WILKE et al. 2011).

Entsprechend den Ausbauzielen des Bundes zu erneuerbaren Energien ist grundsätzlich eine Zunahme der Wasserkraftnutzung zu erwarten. Werden Maßnahmen zur Erhaltung der Gewässerdurchgängigkeit nicht im ausreichenden Maße berücksichtigt, ist mit dramatischen Auswirkungen für die Artenvielfalt in Fließgewässern zu rechnen. Bei zunehmenden Niedrigwasserperioden steigt zusätzlich der Bedarf, bestehende Anlagen an die veränderten Abflussverhältnisse baulich anzupassen, um die abflussbedingten Mindererzeugungen zu kompensieren (WOLF-SCHUMANN & DUMONT 2010). Die ökologischen Folgen sind aufgrund der unsicheren Prognosen noch nicht abzuschätzen. In Folge einer Zunahme der Querverbau-

ungen an Fließgewässern erhöht sich das Gefährdungsrisiko vor allem für wandernde Gewässerorganismen. Durch die sich daraus ergebende räumliche Einschränkung sind Anpassungsmaßnahmen in Form von Ausweichbewegungen für Gewässerorganismen nur begrenzt möglich.

Handlungserfordernisse und Anforderungen an betroffene Sektoren

Zum Schutz hoch gefährdeter Arten der Fließgewässer und Quellen und Minimierung negativer Auswirkungen des Klimawandels ergeben sich die folgenden Handlungserfordernisse:

- Erhaltung naturnaher Fließgewässer und Quellen: Verzicht auf einen Ausbau von naturnahen Fließgewässern und auf eine weitere Errichtung von Wasserkraftwerken sowie auf Maßnahmen, die zu einer Veränderung des Wasserregimes von Quellen führen,
- Renaturierung von Fließgewässern und Auen: Wiederherstellung naturnaher Strukturen und dynamischer Prozesse innerhalb von Auen und Fließgewässern zur Erhöhung der Resilienz der Ökosysteme gegenüber veränderten Umweltbedingungen und Schaffung naturnaher Lebensräume,
- Förderung positiver Synergieeffekte zwischen Natur- und Hochwasserschutz: Schaffung dauerhafter Überschwemmungsflächen durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Deichrückbau) zur Verbesserung der Ökosystemfunktion von Auen (Hochwasserretention, Nährstoffretention, Habitatfunktion, Kohlenstoffvorrat, s. SCHOLZ et al. 2012),
- Verbesserung der Gewässerqualität (durch Pufferzonen, landwirtschaftliche Extensivierung): Reduzierung von Stressfaktoren durch anderweitige Gefährdungen (v.a. Eutrophierung) zur Förderung von durch den Klimawandel gefährdete Arten (v.a. kaltstenotherme Arten, DOMISCH et al. 2011),
- Reduktion der Einleitung von Kühlwasser: v.a. in Phasen mit extremen Sommertemperaturen sowie Niedrigwasser,
- Maßnahmen zur Verhinderung der Austrocknung von Quellen: Steigerung der Grundwasserneubildung und Erhöhung der Quellschüttung durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Maßnahmen zur Regenwasserversickerung z.B. über Sickerpflaster oder Muldenversickerung, s. PODRAZA 2012).

Zur Umsetzung der Handlungserfordernisse ergeben sich die folgenden Anforderungen an die betroffenen Sektoren:

- Wasserwirtschaft/Energiewirtschaft: Verzicht auf einen weiteren Gewässerausbau und Errichtung von Kraftwerken; Renaturierung von Fließgewässern und Auen unter der Berücksichtigung von Synergieeffekten zwischen Hochwasser- und Naturschutz; Ausbau bestehender Wasserkraftanlagen unter Berücksichtigung erforderlicher Maßnahmen zur Erhaltung der Durchgängigkeit; Reduzierung der thermischen Belastung von Fließgewässern durch Investitionen in Kühltürme (BÖLSCHER et al. 2013),
- Landwirtschaft: Einrichtung und Einhaltung von Pufferstreifen zu angrenzenden Gewässern,
- Fischerei: Verzicht auf den Fang gefährdeter Arten und auf einen Besatz mit gebietsfremden Arten,
- Raum-/Landschaftsplanung: Verringerung der Flächenversiegelung zur Erhöhung der Grundwasserneubildungsrate; Ausweisung von Hochwasserretentionsräumen als Hochwasserschutz- und Renaturierungsflächen.

Forschungsbedarf

Zwar stand in den letzten Jahren die Erforschung der Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer zunehmend im Fokus der Gewässerökologie. Jedoch sind noch viele Zu-

sammenhänge unklar, was nicht zuletzt auf der hohen Komplexität der Fließgewässerökosysteme beruht. Aus Sicht des Artenschutzes ist die weitergehende Erforschung der folgenden Aspekte besonders erforderlich, um konkrete Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel abzuleiten:

- Auswirkungen von Trockenphasen bzw. Niedrigwasserperioden auf die Artengemeinschaften in Fließgewässern bzw. Quellen: Welche Schwellenwerte unterschiedlich hoher Abflüsse führen zu einem Absterben bzw. Abwandern von Arten (PRANGE et al. 2013)?,
- Reaktion der Quellfauna auf den Klimawandel,
- Einfluss einer zunehmenden Isolierung kalt-stenothermer Organismen auf die genetische Vielfalt,
- Ausbreitung von gebietsfremden Arten durch den Klimawandel und Auswirkungen auf Lebensgemeinschaften,
- Verbesserung des Kenntnisstandes zum ökologischen Zustand von Auen zur Ableitung entsprechender Renaturierungsmaßnahmen (s. SCHOLZ et al. 2012),
- Verhalten von Wanderfischarten beim Fischabstieg an Wasserkraftanlagen.

3.3 Stillgewässer

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Die Erwärmung von Stillgewässern hat weitreichende Folgen für das Durchmischungsregime und den Stoffhaushalt. In Folge der Erwärmung des Wasserkörpers wird die jahreszeitliche Verschiebung und − abhängig vom Gewässer − sogar ein Ausbleiben der Zirkulation begünstigt (ARVOLA et al. 2010, HAASE et al. 2012, KÖHLER 2012). Eine stabilere thermische Schichtung führt zu verringerten Sauerstoffgehalten im Hypolimnion, wodurch eine interne Eutrophierung in Folge der Mobilisierung von sedimentgebundenem Phosphat in Gang gesetzt wird (KIRILOVA et al. 2009, VETTER & SOUSA 2012). Daneben führen geänderte Niederschlags- und Temperaturverhältnisse im Einzugsgebiet vor allem im Winter zu einer vermehrten Zufuhr externer Nährstoffe wie Nitrat, Phosphat, aber auch von gelöstem organischen Kohlenstoff (GEORGE et al. 2010). Diese physikalischen und chemischen Prozesse im Gewässer wirken sich auch auf die Primärproduktion aus. Es kommt zu zeitlichen Verschiebungen der Maxima der Phytoplanktondichten und zu Änderungen der Artenzusammensetzung des Phyto- und Zooplanktons (SHATWELL et al. 2008). Vor allem für nährstoffarme Gewässertypen (z.B. dystrophe Seen und Teiche) wird die Gefährdung durch den Klimawandel als hoch eingestuft (s. PETERMANN et al. 2007). Zusätzlich beeinflussen veränderte Wasserstände in Folge veränderter Niederschlagsmuster Stillgewässerökosysteme. In Folge der Zunahme trockener Sommer konnte eine Absenkung des Wasserspiegels an diversen Seen in den letzten Jahrzehnten festgestellt werden (v.a. im Nordosten Deutschlands und am Bodensee, DIENST et al. 2008, STÜVE 2011).

Die Erhöhung der Wassertemperatur in Stillgewässern beeinflusst die Biodiversität durch eine Vielzahl von Mechanismen (HAASE et al. 2012). Einerseits wirken erhöhte Wassertemperaturen unmittelbar auf Stoffwechsel, Wachstum und Phänologie von Gewässerorganismen. Andererseits führen die geänderte Häufigkeit und Intensität von Mischungsereignissen zu Änderungen im Wärme- und Stoffhaushalt der Gewässer und nehmen somit starken Einfluss auf Stillgewässerarten. Einer besonderen Gefährdung durch den Klimawandel unterliegen vor allem kaltwasseradaptierte Arten (z.B. Salmoniden), Arten oligotropher und dystropher Gewässer und Gebirgsarten. Des Weiteren besteht durch zunehmende Trockenperioden ein besonders hohes Gefährdungsrisiko für Arten, die auf regelmäßig überschwemmte Ufer (z.B. Bodensee-Vergissmeinnicht *Myosotis rehsteineri* [DIENST et al. 2008, OSTENDORP & DIENST 2009]) bzw. auf Kleingewässer angewiesen sind wie etwa viele Libellenarten (OTT

2012). Zusätzlich wird durch die Erwärmung die Ausbreitung gebietsfremder wärmeliebender Arten begünstigt, so dass heimische Arten mit geringem Temperaturoptimum verdrängt werden (CRUZ et al. 2008, GHERARDI et al. 2013, KLEIN et al. 2010).

Indirekt sind Stillgewässer vor allem durch die intensivierte Landnutzung gefährdet, die unter anderem mit dem erhöhten Flächenanspruch zur Gewinnung von Energiepflanzen zusammenhängt und erhöhte Nährstoffeinträge in Gewässersysteme bewirkt. Durch die landwirtschaftliche Intensivierung sowie zunehmende sommerliche Trockenperioden steigt zusätzlich der Wasserbedarf zur Bewässerung landwirtschaftlicher Systeme, was ein weiteres Gefährdungsrisiko für Gewässerökosysteme darstellt (HAASE et al. 2012, SCHÄDLER 2002).

Handlungserfordernisse und Anforderungen an betroffene Sektoren

Zum Schutz und zur Förderung der Artenvielfalt und gefährdeter Arten in Stillgewässern ergeben sich im Zuge des Klimawandels die nachfolgend beschriebenen Handlungserfordernisse und Anforderungen an betroffene Sektoren. Die Handlungserfordernisse beinhalten vor allem Maßnahmen, die die Gefährdungsbelastung reduzieren und eine höhere Anpassung des Lebensraumes bzw. der Arten an veränderte Umweltbedingungen ermöglichen:

- Verbesserung der Wasserqualität: Minimierung von Nährstoffeinträgen durch Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung und Anlage von Pufferstreifen; Maßnahmen zur Verringerung von Nährstoffeinträgen durch Zuflüsse (NLWKN 2011),
- Entschlammung, Entkrautung und Oberbodenabtrag im Uferbereich: Reduzierung der Nährstoffbelastung eutrophierter Gewässer,
- Sicherung und Optimierung eines lebensraumtypischen Wasserhaushaltes: Wasserstandsregulierung innerhalb künstlicher und ausgebauter Seen zur Kompensation von durch den Klimawandel verursachten Wasserspiegelabsenkungen,
- Optimierung der Gewässerstruktur: Erhöhung der Struktur- bzw. Habitatvielfalt im Gewässer und am Ufer zur Ermöglichung von Ausweichbewegungen,
- Aufbau eines Biotopverbundsystems: Ausbau der Habitatkonnektivität durch entsprechende Maßnahmen (z.B. Rückbau von Wanderhindernissen an Zu- und Abläufen, Neuanlage von Gewässern) v.a. in Regionen mit lückenhaftem Gewässer-Verbundsystem (besonders Mittel- und Süddeutschland, REICH et al. 2012).

Aus den zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels ergeben sich vor allem für die Landwirtschaft spezielle Anforderungen. Um den Eintrag von Düngemitteln und sonstigen Chemikalien in Gewässer zu minimieren, sollten Pufferstreifen mit ausreichender Breite (mindestens 10 m) zu für den Artenschutz bedeutsamen Stillgewässern eingerichtet und eingehalten werden. Besonders in erosionsgefährdeten Lagen sollte auf den Anbau erosionsfördender Kulturen wie Mais oder Kartoffeln verzichtet werden, um Stoffeinträge in die Gewässer zu vermeiden. Zudem sollte so weit wie möglich auf Wasserentnahmen verzichtet werden. An die Landschaftsplanung besteht die Anforderung, die erforderlichen Anpassungsmaßnahmen in die Planung zu integrieren. Vor allem der Ausbau eines lokalen und überregionalen Biotopverbundsystems ist erforderlich, um lokale Ausweichbewegungen und großflächige Arealveränderungen von Arten gleichermaßen zu unterstützen.

Forschungsbedarf

Die Limnologie beschäftigte sich in den letzten Jahren eingehend mit den Auswirkungen des Klimawandels auf den Temperatur- und Stoffhaushalt von Seen. Im Fokus standen dabei vor allem die Primärproduktion und deren Konsumption durch das Zooplankton. Über Arten höherer Trophiestufen, z.B. Fische, liegen dagegen noch kaum Untersuchungen vor. Gleiches gilt für kleine (ephemere) Stillgewässer, die bislang kaum bezüglich ihrer Reaktion auf den Klimawandel erforscht wurden, aber für den Artenschutz eine hohe Bedeutung haben und durch das erhöhte Austrocknungsrisiko besonders stark gefährdete Lebensräume darstellen.

Für den Artenschutz bedeutsam sind außerdem tiefergehende Untersuchungen, inwieweit Gewässerorganismen auf den gesunkenen Sauerstoffgehalt im Hypolimnion reagieren und durch spezifische Reaktionsmechanismen Veränderungen innerhalb von Lebensgemeinschaften hervorgerufen werden.

Bislang kaum untersucht ist, wie sich eine verkürzte Eisdecke auf limnische Lebensgemeinschaften auswirkt. Neben den Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen ist auch der Wind als Motor der Zirkulation ein wichtiger Einflussfaktor für die ökologischen Bedingungen in Stillgewässern. Bislang existieren kaum Prognosen, inwiefern sich die Intensität und Häufigkeit von Winden im Zuge des Klimawandels ändern werden und wie sich diese Änderungen auf Stillgewässer auswirken.

Ähnliches gilt auch für die Ausbreitung gebietsfremder Arten. Um negative Auswirkungen auf gefährdete Arten frühzeitig erkennen und entsprechend handeln zu können, ist es dringend erforderlich, die Ausbreitung von gebietsfremden Arten verstärkt unter dem Aspekt des Klimawandels zu untersuchen.

3.4 Felsen, Block- und Schutthalden, Geröllfelder sowie Rohbodenhabitate

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Wie sich der Klimawandel direkt bzw. indirekt auf steinige und felsige Habitate sowie offene Rohbodenhabitate auswirkt, ist größtenteils unbekannt. Direkte Untersuchungen zum Einfluss des Klimawandels auf Blockhalden sowie Fels- und Rohbodenhabitate gibt es bislang kaum. Es besteht daher noch erheblicher Forschungsbedarf, die Auswirkungen des Klimawandels auf diese Habitattypen und die hier vorkommenden gefährdeten Arten zu identifizieren und spezifische Schutzmaßnahmen zur Erhaltung der Habitattypen und Arten zu entwickeln. Lediglich an Hand der Habitatansprüche charakteristischer Arten lassen sich Prognosen ableiten, inwiefern diese durch den Klimawandel betroffen sind (z.B. BEHRENS et al. 2009a).

Durch die zunehmende Erwärmung besteht vor allem für unterkühlte Blockhalden mit Kaltluftaustritten ein erhöhtes Gefährdungsrisiko. In Folge der zunehmenden Winterniederschläge und der verkürzten Winterdauer ist zu erwarten, dass sich die mikroklimatischen Gegebenheiten stark verändern werden (v.a. durch Erwärmung des Luftkörpers und verringerte Eisbildung im Haldeninneren) und kalt-stenotherme Arten zunehmend zurückgehen. Ein hohes Aussterberisiko durch eine zunehmende Erwärmung besteht vor allem für dealpine Vorkommen kälteliebender arkto-alpiner oder boreo-montaner Gebirgsarten sowie für endemische, gefährdete oder stenotope Arten (vgl. BRUNNER et al. 2013, MÖSELER & WUNDER 1999, MÜLLER & MOLENDA 1999). Insbesondere in Mittelgebirgslagen unterliegen diese Arten einem besonders hohen Aussterberisiko. Durch die eingeschränkte Habitatverfügbarkeit sind Ausweichbewegungen für die Arten in höhere Lagen nicht möglich. Des Weiteren wird zunehmender Trockenstress als potentielles Gefährdungsursache für Felsarten gesehen (SCHEUERER et al. 2007).

Innerhalb feuchter Rohbodenhabitate in Auen oder an Gewässerufern sind vor allem hygrophile Arten durch die zunehmende Austrocknung bedroht. Ähnliches gilt auch für Arten, die an Kleingewässer gebunden sind und innerhalb rohbodenreicher Habitatkomplexe wie etwa Steinbrüchen vorkommen (z.B. Gelbbauchunke *Bombina variegata*, Knoblauchkröte *Pelobates fuscus*, s. BEHRENS et al. 2009a, DITTRICH & RÖDEL 2014).

Hinweise auf ein Gefährdungsrisiko durch indirekte Auswirkungen des Klimawandels liegen für Arten fels- oder gesteinsreicher Lebensräume bislang nicht vor. Durch den zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energien und den damit einhergehenden erhöhten Flächenbedarf besteht ein potentielles Gefährdungsrisiko, wenn Lebensräume in Folge des erhöhten Nut-

zungsdrucks zunehmend in eine nicht-artenschutzkonforme Nutzung überführt bzw. beeinträchtigt werden (z.B. durch Nährstoffeinträge in Folge der intensivierten Landnutzung).

Handlungserfordernisse und Anforderungen an betroffene Sektoren

Um hohe Arten- bzw. Lebensraumverluste durch die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels zu vermeiden, sollten sich Schutzmaßnahmen zur Erhaltung von felsigen und steinigen Lebensräumen sowie Offenbodenhabitaten mit Vorkommen hoch gefährdeter, klimasensitiver Arten vor allem auf die Abwehr anderweitiger Gefährdungen konzentrieren (z.B. durch Schutzgebietsausweisung, Verzicht auf Gesteinsabbau, Abstimmung von Kletterrouten in Zusammenarbeit mit den Kletterverbänden wie z. B. Alpenverein, Besucherlenkung mit Betretungsverboten von besonders wertvollen Felsköpfen, ggf. Pflegemaßnahmen innerhalb offener Habitate, Verzicht auf Quellfassungen und anderweitige wasserbauliche Maßnahmen im Einzugsgebiet der Blockhalden; ACKERMANN et al. 2003, BRUNNER et al. 2013, PREISING 1997, NLWKN 2011).

Innerhalb aufgelassener Steinbrüche sollte auf eine naturferne Rekultivierung verzichtet werden, vor allem wenn diese relevante Lebensräume für gefährdete Offenlandarten darstellen. Hier sollte eine natürliche Sukzession bevorzugt werden. Je nach Artenspektrum sind dabei entsprechende Maßnahmen zur Erhaltung von für den Artenschutz bedeutsamen Habitatstrukturen zu berücksichtigen (z.B. Laichgewässerpflege bei Vorkommen gefährdeter Amphibienarten oder Beweidung bzw. Entbuschung von Teilflächen zur Erhaltung offener Felsen).

Zur Unterstützung der Anpassung von Arten an den Klimawandel empfiehlt es sich die Strukturvielfalt auf lokaler Ebene durch eine entsprechende Nutzung bzw. ein angepasstes Pflegemanagement zu erhöhen. So können Ausweichbewegungen für Arten bei klimatischen Extremen gefördert werden (z.B. durch die Anlage vielfältig strukturierter Kleingewässer zur Anpassung von Amphibien und Libellen). Um (über-)regionale Ausweichmöglichkeiten und Arealveränderungen für Arten zu schaffen, ist der Ausbau des Offenland-Biotopverbundsystems notwendig. Vor allem im Norden ist das Verbundsystem trockener Offenlandhabitate noch lückenhaft (REICH et al. 2012). Da die Auswirkungen des Klimawandels auf Arten der Fels-, Gesteins- und Rohbodenlebensräume noch unzureichend bekannt sind, ist ein langfristiges Monitoring zur Kontrolle der Bestandsentwicklung gefährdeter und spezialisierter Arten mit Schwerpunktvorkommen innerhalb dieser Habitate zu empfehlen.

Zur Umsetzung der Handlungserfordernisse ergeben sich die folgenden Anforderungen an die entsprechenden Sektoren:

- Raum-/Landschaftsplanung: Umsetzung der erforderlichen Schutzmaßnahmen (Ausweisung von Schutzgebieten; Aufbau von Biotopverbundsystemen auf lokaler und landesweiter Ebene; naturnahe Rekultivierung, Maßnahmen zur Lenkung des Kletter- und Wandersports, Verzicht auf Gesteinsabbau; Verzicht auf Aufforstungen bzw. Nutzungsänderung),
- Forstwirtschaft: Verzicht auf eine intensive forstliche Nutzung im Umfeld bewaldeter Blockhalden bzw. Felsbiotope,
- Klettersport: Berücksichtigung von Betretungsverboten.

Forschungsbedarf

Ein langfristiges Monitoring der Entwicklung der Habitate bzw. charakteristischer Indikatorarten (z.B. kalt-stenotherme Arten, Glazialrelikte innerhalb von Blockhalden) ist notwendig, um die Auswirkungen des Klimawandels auf gefährdete Arten bzw. Artengemeinschaften besser verstehen zu können. Ein dringender Bedarf für ein Monitoring besteht vor allem für die Lebensgemeinschaften der Blockhalden mit Kaltluftaustritten. Für die jeweiligen Offenhabitate müssen entsprechend geeignete Indikatorarten bzw. -artengruppen identifiziert werden, die

in ein langfristiges Monitoring eingebunden werden sollen. Aufbauend auf den Erkenntnissen müssen konkrete Schutzmaßnahmen für die gefährdeten Arten bzw. Lebensgemeinschaften abgeleitet werden.

3.5 Äcker und Ackerbrachen

Indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Die Auswirkungen des Klimawandels erfordern Anpassungsmaßnahmen seitens der Landwirtschaft. In Folge angepasster Anbaukulturen und intensivierter Anbaumethoden werden erhebliche Veränderungen für Agrarökosysteme prognostiziert (SCHALLER et al. 2014). Inwieweit hierdurch gefährdete Arten der Agrarlandschaft betroffen sind, wird sich erst langfristig zeigen. Neben landwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen stellt vor allem der zunehmende Ausbau erneuerbarer Energien ein erhebliches Gefährdungsrisiko für die gefährdete Artenvielfalt der Agrarlandschaft dar. Vor allem der vermehrte Anbau an Energiepflanzen sowie die zunehmende Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanalgen und Windenergieanlagen in der Agrarlandschaft verschärfen den Flächennutzungsdruck und bewirken einen Lebensraumverlust für die Agrarbiodiversität (GFN & ZSW 2011, HERDEN et al. 2009). Aus Sicht des Artenschutzes ist vor allem der großflächige Anbau von Monokulturen, wie etwa Mais problematisch, welcher im Zuge des Energiepflanzenanbaus zunehmend die Agrarlandschaft dominiert (REICH et al. 2011). Dies gilt insbesondere dann, wenn intensive Unkrautbekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden und keine Maßnahmen zur Aufwertung der Strukturvielfalt wie Ackerrandstreifen oder Brachestreifen berücksichtigt werden (TILLMANN & KRUG 2010). Für einige Feldvögel wie etwa die Wiesenweihe (*Circus pygargus*) führt auch die zunehmende Nutzung von Wintergetreide als Ganzpflanzensilage zu Lebensraumverlusten (s. NIEDERMEIER-STÜRZER et al. 2012). Die verfrühten Erntezeitpunkte fallen oftmals in die Brutzeit vieler Feldvögel.

Aufgrund des steigenden Flächenbedarfs werden vermehrt Äcker auf Grenzertragsstandorten und Ackerbrachen in eine intensive landwirtschaftliche Nutzung überführt, wodurch seltene Ackerarten zurückgehen (SEIFERT et al. 2014). Neben der Nutzung von einjährigen Kulturen werden außerdem verstärkt mehrjährige Kulturen wie etwa Kurzumtriebsplantagen (KUP) zur Bioenergienutzung angelegt. Auf Landschaftsebene kann der Anbau von mehrjährigen Kulturen eine Erhöhung der Artenvielfalt bewirken, wenn monotone Agrarlandschaften strukturell aufgewertet werden (DAUBER et al. 2010, IMMERZEEL et al. 2014, MEYER et al. 2014). Bei der Anlage derartiger Kulturen innerhalb naturnaher Landschaften bzw. artenreicher Lebensräume ist allerdings mit einem Rückgang der Artenvielfalt zu rechnen, da im Vergleich naturnahe Lebensräume wie Wälder oftmals artenreichere Lebensräume darstellen. Je nach Artengruppe und Feldfrucht sind diesbezüglich sehr unterschiedliche Reaktionen zu erwarten (s. IMMERZEEL et al. 2014). Neben dem Anbau von Energiepflanzen stellt der Ausbau der Windkraft ein Gefährdungspotenzial für die Biodiversität der Agrarlandschaft dar. Durch den Ausbau von Windenergieanlagen erhöht sich unter anderem die Gefährdungsdisposition für im Offenland jagende Fledermäuse oder Vögel, indem die Tiere verscheucht bzw. durch Kollisionen getötet werden (FLADE 2012, PEARCE-HIGGINS et al. 2009, 2012, ZAHN et al. 2014).

Handlungserfordernisse und Anforderungen an betroffene Sektoren

Die Berücksichtigung von Maßnahmen zur Erhaltung und Erhöhung der Habitatvielfalt in der Agrarlandschaft ist im Zuge des zunehmenden Energiepflanzenanbaus bzw. der allgemeinen landwirtschaftlichen Intensivierung von besonderer Bedeutung für die Erhaltung der Agrarbiodiversität. Die folgenden Handlungserfordernisse sind dabei besonders relevant:

- Verzicht auf Nutzungsintensivierung und Berücksichtigung von Artenschutzmaßnahmen bei Vorkommen gefährdeter Arten mit spezifischen Habitatansprüchen (z.B. Knoblauchkröte, Wiesenweihe, s. DZIEWIATY & BERNARDY 2010, HÖTKER et al. 2009),

- Berücksichtigung allgemeiner Bewirtschaftungsgrundsätze zum Schutz seltener Ackerwildkrautgesellschaften (s. VAN ELSEN et al. 2009),
- Förderung der Agrarbiodiversität beim Energiepflanzenanbau durch entsprechende Bewirtschaftung (z.B. Belassen von Stoppeläckern im Winter, Erhaltung und Entwicklung von Kleinstrukturen und Sonderstandorten, Diversifizierung bei den Ackerkulturen, s. BFN 2010, DAUBER et al. 2010, GFN & ZSW 2011, NABU 2014, NIEDERMEIR-STÜRZER et al. 2012, REICH et al. 2011, SCHÜMANN et al. 2010),
- Berücksichtigung von Artenschutzbelangen bei der Errichtung von Solar- und Windenergieanlagen durch rücksichtsvolle Standortauswahl (v.a. durch Einhalten erforderlicher Mindestabstände zu Brutlebensräumen kollisionsgefährdeter Vogelarten, s. LAG VSW 2015, temporäres Abschalten von Windenergieanlagen, s. BRINKMANN et al. 2011).

Aus den notwendigen Handlungserfordernissen ergeben sich die folgenden Anforderungen an die betroffenen Sektoren zur Minimierung der Gefährdungsbelastung der hochgradig gefährdeten Agrarbiodiversität:

- Landwirtschaft: Berücksichtigung von Artenschutzmaßnahmen bei der Bewirtschaftung,
- Naturschutzpolitik: naturschutzfachliche Konkretisierung der Mindestanforderungen zur Umsetzung von Naturschutzmaßnahmen im Rahmen von Agrarsubventionen (z.B. durch die „Greening"-Prämie der Gemeinsamen Agrarpolitik, OPPERMANN et al. 2013); finanzielle Aufstockung von Ausgleichszahlungen zur Durchführung von Artenschutzmaßnahmen; stärkere Regionalisierung geeigneter Förderinstrumente und der „guten, fachlichen Praxis" sowie der Ausgestaltung des EEG (PETERS et al. 2010),
- Raum-/Landschaftsplanung: Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen des Naturschutzes bei der Landschaftsplanung (v.a. Ausbau des Biotopverbunds, Ausweisung von für den Naturschutz bedeutsamen Vorrangflächen etc.),
- Energiewirtschaft: Berücksichtigung von Artenschutzbelangen beim Ausbau erneuerbarer Energien (v.a. Abstandsregelungen bei Windenergieanlagen),
- Naturschutz: stärkere Aufklärung von Landwirten hinsichtlich artgerechter Bewirtschaftungsmaßnahmen.

Forschungsbedarf

Hinsichtlich der direkten Auswirkungen des Klimawandels (v.a. Erwärmung, veränderte Niederschlagsverteilung, Zunahme von Extremereignissen wie Starkregen und Trockenperioden) auf gefährdete Arten der Agrarlandschaft bestehen noch erhebliche Kenntnislücken. Neben den direkten Effekten des Klimawandels ist der Kenntnisstand zu den Auswirkungen von Klimaschutz- bzw. landwirtschaftlichen Anpassungsmaßnahmen auf Agrarökosysteme und -arten noch unzureichend. Dies gilt vor allem für neuartige Anbaukulturen (z.B. mehrjährige bzw. gentechnisch veränderte Kulturen) und Anbaumethoden (DOG & DDA o.J.). Des Weiteren besteht noch erheblicher Forschungsbedarf zum Einfluss von Windenergie- und Photovoltaikanlagen auf die Biodiversität der Agrarlandschaft (s. HERDEN et al. 2009). Vorher-Nachher-Untersuchungen sind erforderlich, um die langfristigen Auswirkungen der Anlage auf der Populationsebene betroffener Arten zu analysieren. Aufbauend auf den Erkenntnissen müssen entsprechende Schutzmaßnahmen weiterentwickelt werden (z.B. hinsichtlich erforderlicher Abschaltvorgänge und Mindestabstände zu Lebensräumen betroffener Fledermäuse).

3.6 Grünland

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Aufgrund der klimawandelbedingten Habitatveränderungen wird das Gefährdungsrisiko für

Feuchtgrünlandarten (z.B. Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling *Phengaris nausithous*, Moorfrosch *Rana arvalis*, Schmale Windelschnecke *Vertigo angustior*) gegenüber dem Klimawandel als besonders hoch eingeschätzt (BEHRENS et al. 2009a, JAESCHKE et al. 2014, KERTH et al. 2014). Auch für montane Arten sowie Grünlandökosysteme wird durch die zunehmende Erwärmung und Ausbreitung wärmeliebender Arten des Tieflandes der Klimawandel als Gefährdung gesehen (z.B. Berg-Mähwiesen, s. BEHRENS et al. 2009b, BITTNER & BEIERKUHNLEIN 2014).

Die Entwicklung von Grünlandökosystemen unter Einfluss des Klimawandels wird vor allem durch den Grad der Erwärmung und der Niederschlagsverteilung bestimmt sein und sich je nach Ausgangssituation und der landwirtschaftlichen Entwicklung unterschiedlich auswirken. Vor allem innerhalb niederschlagsärmerer Regionen (Nordost- und Südwest-Deutschland) besteht ein hohes Risiko, dass sich typische Lebensgemeinschaften des Feuchtgrünlandes durch die zunehmende Sommertrockenheit langfristig verändern, indem feuchtigkeitsliebende, spezialisierte Arten zurückgehen. In diesen Regionen liegt auch ein erhöhtes Risiko vor, dass trockenheitsempfindlichere Arten in Trockenrasen unter der zunehmenden Erwärmung und Trockenstress leiden (vgl. MAALOUF et al. 2012). Andererseits wirken zunehmende Trockenperioden in Magerrasen systemerhaltend und bremsen die Sukzession, was sich vor allem innerhalb brachliegender Bestände positiv auf die Lebensgemeinschaft auswirken kann, indem thermophile und konkurrenzschwache Arten gefördert werden (BEHRENS et al. 2009b). Innerhalb niederschlagsreicher Gebiete besteht hingegen das Risiko, dass die Primärproduktion gesteigert wird und konkurrenzstarke Arten durch die Erwärmung gefördert werden, wodurch ein Rückgang konkurrenzschwacher Arten begünstigt wird. Durch eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung in Folge der verlängerten Vegetationsperiode und erhöhten Produktivität könnte dieser Effekt noch verstärkt werden (ESSL 2013). Die Art der Grünlandnutzung wird in besonderem Maße von der Entwicklung des Klimas abhängig sein (BOCK et al. 2013). Somit wird ein klimawandeladaptiertes regionsspezifisches Nutzungsregime zukünftig die Entwicklung der Lebensgemeinschaften mitbestimmen. Darüber hinaus beeinflusst der Klimawandel diverse Ökosystem-Prozesse, wodurch Veränderungen von Artengemeinschaften hervorgerufen werden können (vgl. JENTSCH et al. 2011).

Die Einflüsse des Klimawandels auf Grünlandarten sind vor allem im Zusammenwirken mit anderen Gefährdungsfaktoren sowie unter der Berücksichtigung standortspezifischer Faktoren noch unzureichend untersucht. Neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels verschärft sich die Gefährdungssituation für Grünlandlebensräume und Artengemeinschaften durch den gestiegenen Flächenbedarf zum Ausbau erneuerbarer Energien sowie den zunehmenden Anbau von Energiepflanzen und dadurch bedingten Grünlandumbruch.

Handlungserfordernisse und Anforderungen an Sektoren

Die klimawandelbedingten Handlungserfordernisse zum Schutz gefährdeter Arten in Grünlandökosystemen beinhalten vor allem Maßnahmen zur Förderung der Anpassungsfähigkeit der Arten und Verbesserung des Lebensraumangebotes. Dabei sind die folgenden Handlungen vorrangig:

- Erhaltungsmaßnahmen: Verzicht auf Maßnahmen, die eine Veränderung der Standortverhältnisse bewirken (v.a. Entwässerung); standortgerechte Nutzung unter Berücksichtigung der Erhöhung der Strukturvielfalt zur Ermöglichung von Ausweichbewegungen für empfindliche Arten (z.B. gestaffelte Mahdtermine und Belassen ungenutzter Teilflächen),
- Anlage von Pufferzonen (Mindestbreite 10 m): v.a. im Umfeld nährstoffarmer Habitate zur Vermeidung von Nährstoffeinträgen,
- Renaturierung von Grünland: Erhöhung des Flächenangebotes zur Förderung einer Ausbreitung von Arten und Verbesserung des Lebensraumangebots,
- Ausbau des Offenland-Biotopverbundsystems (s. REICH et al. 2012),

- Berücksichtigung von Artenschutzbelangen beim Ausbau erneuerbarer Energien (v.a. Erhaltung notwendiger Mindestabstände zu Lebensräumen kollisionsgefährdeter Vogelarten; temporäre Abschaltvorgänge in Phasen mit hoher Fledermausaktivität, s. BRINKMANN et al. 2011),
- Monitoring: Überwachung der Bestandsentwicklung klimawandelsensitiver Indikatorarten des Grünlandes,
- Wiederherstellung naturnaher Bodenfeuchteverhältnisse,
- Auenrenaturierung zur Schaffung naturnahen Feuchtgrünlandes.

Spezielle Anforderungen ergeben sich vor allem an die Landwirtschaft und die Energiewirtschaft durch die Notwendigkeit, die erforderlichen Artenschutzbelange verstärkt zu berücksichtigen (v.a. beim Ausbau von Windenergieanlagen). Aufgrund der unsicheren Prognosen zu den Auswirkungen des Klimawandels und der Notwendigkeit, ein möglichst breites Habitatangebot zur Verfügung zu stellen und das Biotopverbundsystem weiter auszubauen, besteht ein hoher Flächenbedarf zum Schutz der vom Klimawandel beeinträchtigten Arten des Offenlandes. Die Landschaftsplanung muss entsprechende Strategien zur Verbesserung des Grünlandflächenangebots in ihre Planungen integrieren. Dabei ist ein erhöhtes Flächenangebot nicht nur großräumig zum Ausbau des Biotopverbunds erforderlich, sondern auch lokale Maßnahmen sind notwendig. Hierzu zählen die großflächige Extensivierung oder Renaturierung von Grünland, um das Flächenangebot zu erhöhen und somit Populationen gefährdeter Arten durch ein verbessertes Lebensraumangebot zu stärken.

Aus Sicht der Wasserwirtschaft ist auf eine weitere Entwässerung und einen Fließgewässerausbau zu verzichten, um Feucht- bzw. Auenlebensräume zu erhalten. Diese erfüllen bei Starkregenereignissen als Retentionsräume gleichzeitig eine wichtige Hochwasserschutzfunktion. Aus Naturschutzsicht sind strengere rechtliche Regelungen zur Umsetzung von Artenschutzmaßnahmen im Zuge der landwirtschaftlichen Intensivierung notwendig. Beispielsweise ist ein vollständiges Verbot des Grünlandumbruchs unter Verzicht auf Ausnahmeregulierungen erforderlich (OPPERMANN et al. 2013). Zur verlässlichen Finanzierung und Umsetzung der extensiven Grünlandbewirtschaftung sind die agrarpolitischen Rahmenbedingungen anzupassen.

Forschungsbedarf

Es besteht dringender Bedarf, den Einfluss des Klimawandels auf Grünlandarten und –habitate verstärkt durch experimentelle Studien und Feldanalysen sowie Langzeitbeobachtungen von Lebensgemeinschaften und Indikatorarten zu erfassen, um darauf aufbauend detailliertere Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Dabei ist die Erforschung der folgenden Faktoren besonders erforderlich:

- Auswirkungen unterschiedlicher Nutzungen auf Habitat- und Artebene unter Einfluss des Klimawandels,
- Veränderung des Nährstoffkreislaufs und die dadurch bedingten Auswirkungen auf das Ökosystem,
- Auswirkung der Interaktion anderweitiger Gefährdungen mit den Effekten des Klimawandels auf gefährdete Arten,
- Analyse von Habitaten und Räumen mit dringendem Handlungsbedarf,
- Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Erhöhung der Anpassungskapazität von Lebensräumen und Arten,
- Einfluss veränderter Abflussverhältnisse auf Auenlebensräume,

- Verbesserung des Kenntnisstands zu den Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien (v.a. Windenergieanlagen) auf Lebensgemeinschaften und Ökosysteme des Offenlandes.

3.7 Moore

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Vor allem die verlängerten Trockenphasen, die Erwärmung und die damit zusammenhängende Eutrophierung sind die klimawandelbedingten Faktoren, die sich auf moortypische Arten auswirken und Veränderungen innerhalb von Artengemeinschaften hervorrufen. Auch wenn bislang wenige feldökologische Untersuchungen vorliegen, konnten Studien nachweisen, dass diese klimawandelbedingten Effekte die Konkurrenzsituation zwischen moortypischen Pflanzenarten verändern und somit das Risiko besteht, dass sich Lebensgemeinschaften der Moore langfristig durch den Klimawandel verändern werden (BREEUWER et al. 2008, JASSEY et al. 2013). Vor allem starke Wasserstandsschwankungen bewirken Verschiebungen im Konkurrenzgefüge von Gefäßpflanzen und Torfmoosen. Die meisten Studien beziehen sich dabei auf Hochmoor-Ökosysteme. Bezüglich Niedermoore ist der Kenntnisstand geringer.

Erhebliche Beeinträchtigungen durch Trockenheit sind vor allem in niederschlagsarmen oder wärmeren Regionen zu erwarten (SCHWARZER et al. 2013). Allerdings hängt der Effekt des Klimawandels auch von weiteren Standortfaktoren, wie dem Relief oder dem Bodenwasserhaushalt ab (WATTENDORF et al. 2010). Auch der Erhaltungszustand der Moore wird das Ausmaß klimawandelbedingter Auswirkungen mitbestimmen. Vor allem innerhalb degradierter Moore sind erhebliche Beeinträchtigungen aufgrund der veränderten Standortfaktoren und der dadurch bedingten verringerten Resilienz gegenüber Umweltveränderungen zu erwarten. Intakte Moore sind robuster gegenüber klimatischen Veränderungen bzw. hier werden sich Auswirkungen vermutlich erst zeitverzögert beobachten lassen (HÁJKOVÁ et al. 2011).

Aufgrund der erwarteten starken Veränderungen von Moorlebensräumen und der spezifischen Habitatansprüche vieler Moorarten wird für viele dieser Arten ein Rückgang vorhergesagt (z.B. Hochmoor-Mosaikjungfer *Aeshna subarctica elisabethae*, Hochmoor-Laufkäfer *Carabus menetriesi*, Heilziest-Dickkopffalter *Carcharodus flocciferus*, Bauchige Windelschnecke *Vertigo moulinsiana*; BEHRENS et al. 2009a, KERTH et al. 2014). Vor allem die zunehmende Austrocknung durch die verringerten Sommerniederschläge wird für viele der feuchtigkeitsabhängigen Arten als hohe Gefährdungsbelastung gesehen. Für einige Moorlibellen gibt es beispielsweise erste Beobachtungen, die verdeutlichen, dass die zunehmende Austrocknung von Moor- und Kleingewässern in Folge der Sommertrockenheit ein Gefährdungsrisiko darstellt (z.B. Kleine Moosjungfer *Leucorrhinia dubia*, Arktische Smaragdlibelle *Somatochlora arctica*; CONZE et al. 2011, OTT 2006, 2010).

Neben direkten Auswirkungen des Klimawandels, erhöht sich das Risiko, dass Moorökosysteme durch den wachsenden Flächennutzungsdruck – vor allem durch verstärkte Bioenergiepflanzennutzung −, die intensivierte Landnutzung und Eutrophierung zunehmend beeinträchtigt werden. Für viele Vogelarten des Offenlandes stellt vor allem der Ausbau der Windkraft ein Gefährdungsrisiko dar. Neben dem erhöhten Kollisionsrisiko üben die Anlagen Scheuchwirkungen auf viele Arten aus. Dies konnte unter anderem für moortypische Arten wie den Goldregenpfeifer (*Pluvialis apricaria*) nachgewiesen werden (PEARCE-HIGGINS et al. 2009).

Handlungserfordernisse und Anforderungen an Sektoren

Zum Schutz von durch den Klimawandel gefährdeten Moorarten bzw. moortypischen Lebensgemeinschaften müssen die verbliebenen Moorlebensräume vor negativen Habitat-

beeinträchtigungen besonders geschützt werden. Auf jegliche Eingriffe (v.a. Entwässerung, Nutzungsintensivierung, Düngung, Rodung von Moorwäldern und Moorrandwäldern) muss verzichtet werden. Ein Verzicht auf Nutzungsintensivierung und Entwässerung auf Moorstandorten ist auch aus Klimaschutzgründen anzustreben, um hohe Treibhausgas-Ausstöße zu vermeiden (DRÖSLER et al. 2011, 2012). Des Weiteren ergeben sich die folgenden Handlungserfordernisse zur Erhöhung der Anpassungskapazität von Moorökosystemen und deren Lebensgemeinschaften:

- Wiedervernässung und Renaturierung zur Erhöhung der Resilienz gegenüber veränderten Umweltbedingungen,
- standortspezifische Nutzungskonzepte oder Pflegemaßnahmen innerhalb genutzter Bestände: Berücksichtigung von Maßnahmen zur Erhöhung der Strukturvielfalt (z.B. unterschiedliche Nutzungen auf Teilflächen) zur Ermöglichung von Ausweichbewegungen,
- Einrichtung von Pufferzonen zu angrenzenden intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen,
- Ausbau des Feuchthabitat-Biotopverbundsystems (s. REICH et al. 2012),
- Berücksichtigung von Artenschutzbelangen beim Ausbau erneuerbarer Energien (v.a. Einhalten erforderlicher Mindestabstände zu bedeutenden Vogellebensräumen, s. LAG VSW 2015),
- Monitoring geeigneter Indikatorarten zur langfristigen Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf Arten.

Die Landwirtschaft ist in der Pflicht, auf eine weitere Entwässerung und Nutzungsintensivierung bestehender Moore und deren extensiv genutzten Randbereichen zu verzichten. Stattdessen sind Wiedervernässungen und die Extensivierung mit Abschluss entsprechender Bewirtschaftungsverträge anzustreben. Aufgrund des erhöhten Flächennutzungsdrucks im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien bestehen hohe Anforderungen an die Landschaftsplanung, die Belange zum Schutz des Habitattyps und der daran gebundenen Arten in Landschaftspläne zu integrieren (v.a. Ausweisung von Biotopverbundflächen, Pufferzonen).

In der Energiepolitik sind rechtliche Rahmenbedingungen zu entwickeln, die einen aus Sicht des Artenschutzes konfliktarmen Ausbau erneuerbarer Energien in der Landschaft fördern. Dies könnte beispielsweise durch höher vergütete Ausgleichszahlungen im Rahmen spezifischer Schutzmaßnahmen und strengere Regelung der Mindestkriterien von Förderprämien im Sinne der Gemeinsamen Agrarpolitik (s. OPPERMANN et al. 2013) geleistet werden.

Forschungsbedarf

Aufgrund zunehmender Sommertrockenheit verschärft sich die Gefährdungsbelastung für Moorökosysteme und die Lebensgemeinschaften der Moore. Untersuchungen konnten nachweisen, dass klimawandelbedingte Effekte Einfluss auf die Moorvegetation nehmen und somit zu einer Veränderung von Dominanzverhältnissen moortypischer Pflanzenarten führen. Langfristige feldökologische Untersuchungen sind notwendig, um die Folgen des Klimawandels auf die Verbreitung moortypischer Arten zu analysieren. Zusätzlich bestehen Wissenslücken bezüglich der Effizienz von Artenschutzmaßnahmen zur Vermeidung negativer Auswirkungen des Klimawandels (v.a. Schaffung von Habitatheterogenität und Ausbau des Biotopverbundsystems). Vor allem bezüglich der Niedermoore bestehen noch erhebliche Kenntnislücken zum Einfluss des Klimawandels. Hier ist weitere Forschung notwendig, um vom Klimawandel betroffene Arten und Auswirkungen des Klimawandels zu identifizieren und entsprechende Schutzmaßnahmen abzuleiten.

3.8 Zwergstrauchheiden

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Im Zuge des Klimawandels ist zu erwarten, dass die veränderten Klimabedingungen Änderungen heidetypischer Artengemeinschaften hervorrufen, indem aufgrund unterschiedlicher Anpassung an die veränderten Klimabedingungen Abundanzverschiebungen von Arten hervorgerufen werden (vgl. KREYLING et al. 2008, PEÑUELAS et al. 2007). Durch anhaltende Eutrophierungseffekte in Folge von atmosphärischen Stickstoff-Depositionen besteht das Risiko, dass dieser Effekt noch verstärkt wird, indem konkurrenzkräftige Arten gefördert werden (HÄRDTLE et al. 2013, SOUTHON et al. 2012). Bei anhaltender Erwärmung ist mit einer deutlichen Beeinträchtigung des Lebensraumes innerhalb von Regionen mit extremer Klimaänderung und starken sommerlichen Wasserdefiziten zu rechnen (z.B. südliches Brandenburg und Lausitz, vgl. PETERMANN et al. 2007) sowie in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten durch den steigenden Flächennutzungsdruck und zunehmende Nährstoffeinträge. Vor allem innerhalb kontinentaler Regionen scheint die Besenheide (*Calluna vulgaris*) vermehrt unter Trockenstress zu leiden (SCHELLENBERG & BERGMEIER 2014).

Auch wenn hinsichtlich Feuchtheideökosysteme noch unzureichende Erkenntnisse zum Klimawandeleinfluss vorliegen, wird prognostiziert, dass sich der Klimawandel besonders drastisch auf diese Ökosysteme auswirkt (BEHRENS et al. 2009c). Bei anhaltendem Klimawandel ist eine deutliche Beeinträchtigung des Habitattyps in Folge der sommerlichen Trockenheit zu erwarten. Aufgrund der erwarteten Habitatveränderungen werden viele heidetypische Arten als hoch gefährdet durch den Klimawandel eingestuft. Dies gilt vor allem für Arten mit einem gewissen Feuchtigkeitsanspruch wie zum Beispiel heidetypische Laufkäferarten (*Carabus nitens, Cymindis vaporariorum* oder *Trichocellus cogantus*) oder den Moorfrosch (*Rana arvalis*) (vgl. ASSMANN & JANSSEN 1999, Behrens et al. 2009a, IRMLER & GÜRLICH 2004, KERTH et al. 2014).

Handlungserfordernisse und Anforderungen an Sektoren

Zum Schutz von Heide-Ökosystemen und heidetypischer Artengemeinschaften ist es im Zuge des Klimawandels besonders erforderlich, die Resilienz des Ökosystems gegenüber veränderten Umweltbedingungen zu stärken. Dabei ist es vor allem notwendig, die bestehende Gefährdungsbelastung durch entsprechende Schutzmaßnahmen zu minimieren. Zur Vermeidung von Nährstoffeinträgen ist die Anlage extensiv genutzter bzw. ungenutzter Pufferzonen erforderlich. Zum Schutz von Feuchtheiden und feuchteabhängiger Arten (wie z.B. Kreuzkröte *Bufo calamita* und Moorfrosch *Rana arvalis*) ist die Erhaltung des natürlichen Wasserhaushalts Voraussetzung.

Durch die Förderung eines vielfältigen Habitatmosaiks können für Arten in Perioden mit extremen Klimabedingungen Ausweichbewegungen ermöglicht werden (BEHRENS et al. 2009c). Dies kann unter anderem durch kleinflächige Nutzungsmosaike erreicht werden. Denkbar ist auch, dass zukünftig das Vorkommen höherwüchsiger bzw. beschattender Strukturen für einzelne Arten zunehmend bedeutsam wird, vor allem für Arten, die empfindlich gegenüber Austrocknung sind. Zum Beispiel ist die Besenheide in subkontinental getönten Gebieten unter schattigen Bedingungen deutlich vitaler ist als in offenen Heiden. Daher wird eine differenzierte Behandlung der Tieflandsheiden und Unterscheidung der FFH-Lebensraumtypen 2310 und 4030 in atlantische und subkontinentale Untertypen verlangt (SCHELLENBERG & BERGMEIER 2014). Somit wäre eine regionsspezifische Strukturbewertung und regional angepasste Ableitung von Pflegemaßnahmen möglich, was im Laufe des Klimawandels immer wichtiger sein wird.

Viele gefährdete heidetypische Arten sind auf einen Verbund von Heideflächen angewiesen, da sie auf den Klimawandel durch Arealverschiebungen reagieren (REICH et al. 2012). Ein Ausbau des Biotopverbunds ist daher besonders notwendig, um Ausweichbewegungen bzw. großflächige Arealveränderungen zu unterstützen. Gleichzeitig sind Renaturierungsmaß-

nahmen besonders erforderlich, um das Flächenangebot zur Stärkung der Populationsgrößen von Arten zu erhöhen und die Anpassungskapazität an die veränderten Umweltbedingungen zu stärken (BORCHARD et al. 2013). Ein Monitoring und verstärkte Untersuchungen gefährdeter Arten, für die zusätzlich eine Gefährdung durch den Klimawandel angenommen wird, sollten angestrebt werden, um die Auswirkungen des Klimawandels auf Lebensgemeinschaften der Heiden besser zu verstehen und entsprechende Handlungserfordernisse abzuleiten.

Zur Vermeidung von Beeinträchtigungen durch den Ausbau erneuerbarer Energien (v.a. Windenergieanlagen und Photovoltaik-Anlagen) ist eine rücksichtsvolle Standortplanung erforderlich, um die Gefährdungsbelastung für die Artenvielfalt zu reduzieren.

Aufgrund des erhöhten Flächenbedarfs zum zukünftigen Schutz von Zwergstrauchheiden durch die Ausweitung von Flächen, Anlage eines Biotopverbundsystems und Erweiterung von Pufferzonen ergeben sich spezielle Anforderungen an die Landschaftsplanung und Landwirtschaft. Die Berücksichtigung klimawandelbedingter Naturschutzbelange ist in Landschaftspläne zu integrieren. Im besten Falle sollte eine Extensivierung der Landnutzung im weiteren Umfeld bestehender Flächen angestrebt werden, um die Gefährdungsbelastung durch Nährstoffeinträge zu reduzieren. Ein Ausbau der Solar- und Windenergie in konfliktarmen Räumen sollte seitens der Energiepolitik und Landschaftsplanung angestrebt werden. Zum Schutz und zur Optimierung von Feuchtheiden dürfen Grundwasserentnahmen zur Bewässerung oder zur Trinkwassergewinnung nicht erhöht werden, sondern sollten nach Möglichkeit reduziert oder gänzlich eingestellt werden.

Forschungsbedarf

Zur Entwicklung artspezifischer Schutzmaßnahmen besteht besonderer Handlungsbedarf für die Naturschutzforschung, klimawandelbedingte Auswirkungen auf Arten zu erkennen und zu analysieren, um anhand der Erkenntnisse konkrete Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Erforderlich sind vor allem Felduntersuchungen zur Überprüfung der Ergebnisse bereits vorliegender Sensitivitätsanalysen hinsichtlich des Klimawandeleinflusses auf Heiden und heidetypische Arten. Dabei ist es notwendig, die Forschung verstärkt auf Artengruppen zu richten, die hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels weniger gut untersucht sind (z.B. Laufkäfer, Farne). Des Weiteren sind verstärkte Untersuchungen zu den interaktiven Effekten unterschiedlicher klimawandelbedingter Faktoren (z.B. Erwärmung und erhöhte Niederschläge im Winter) auf Heiden bzw. heidetypischen Arten erforderlich. Da viele heidetypische Arten besonders kleinflächig verbreitet sind bzw. kleine Populationen aufweisen, ist die Ermittlung der Mindestpopulationsgrößen und des Flächenbedarfs zur langfristigen Erhaltung der Arten erforderlich. Aufgrund der regional unterschiedlich starken Veränderung des Klimas in Abhängigkeit vom Naturraum ist vor allem die Identifizierung von Schwerpunkträumen mit besonderem Handlungsbedarf erforderlich.

3.9 Wälder

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Die mit dem Klimawandel verbundene Temperaturerhöhung und die klimawandelbedingten Veränderungen im Wasserhaushalt werden mittel- und langfristig die Wälder in Deutschland beeinflussen und verändern. Während die heimischen Laubbaumarten allenfalls nur gering durch den Klimawandel gefährdet sind, wird die Gefährdung der heimischen Nadelbaumarten als hoch eingestuft (KÖLLING & ZIMMERMANN 2007). Für heimische Laubgehölze, die empfindlich gegenüber Trockenstress sind (z.B. Rotbuche *Fagus sylvatica*), ist vor allem innerhalb niederschlagsarmer Regionen und auf trockenen und flachgründigen Böden mit einem Vitalitätsverlust durch zunehmende Sommertrockenheit zu rechnen (MICHELOT et al. 2012, MILAD et al. 2012, SCHERRER et al. 2011). Aufgrund des Austrocknungsrisikos bzw. einer zunehmenden Erwärmung werden vor allem Feuchtwälder wie Moor- oder Auenwälder

sowie montane und alpine Waldlebensraumtypen als negativ durch den Klimawandel betroffen eingestuft (MÜLLER-KROEHLING et al. 2007). Langfristig könnten sich in Deutschland auch neue Waldlebensraumtypen etablieren, die ihren Verbreitungsschwerpunkt in Südeuropa haben (BITTNER & BEIERKUHNLEIN 2014). Besonders gravierende Beeinträchtigungen werden sich in den Wäldern durch häufiger auftretende Extremereignisse wie Dürre und Hitze sowie Überschwemmungen und Stürme ergeben (MILAD et al. 2012, SCHELLHAAS et al. 2010, UNSELD 2013). Vor allem bei vorgeschädigten und nicht standortgerechten Waldbeständen werden zunehmend auch Krankheitserreger und Massenvermehrungen von Insekten den Wäldern zusetzen (LINDNER et al. 2010).

Neben dem direkten Einfluss einer zunehmenden Erwärmung werden sich klimawandelbedingte Struktur- und Lebensraumveränderungen auf spezialisierte Arten auswirken (vgl. BRAUNISCH et al. 2014). Vor allem für Arten der Feuchtwälder bzw. feuchteabhängige Arten werden Verluste in Folge der zunehmenden Austrocknung durch Trockenphasen im Sommer prognostiziert (s. BEHRENS et al. 2009a).

Aufgrund der klimawandelbedingten früher einsetzenden Vegetationsperiode (MENZEL 2003) werden interspezifische Beziehungen und Nahrungsnetzte beeinflusst, indem Arten unterschiedlich phänologisch reagieren (z.B. HEGYI et al. 2013). Langfristig sind daher Verschiebungen der Abundanzen und Rückgänge von Arten zu erwarten.

Neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels werden die indirekten Auswirkungen des Klimawandels durch Anpassungsmaßnahmen Waldökosysteme zukünftig stark beeinflussen. Insbesondere durch die zunehmende Energieholznutzung (HÖLTERMANN & RÖHLIG 2012) sowie den zunehmenden Ausbau von Windenergieanlagen auf Waldstandorten und die damit verbundenen Walderschließungsmaßnahmen erhöht sich der Nutzungsdruck innerhalb von Waldlebensräumen (BFN 2011).

Handlungserfordernisse und Anforderungen an betroffene Sektoren

Die wichtigste Strategie zum Schutz von Waldökosystemen im Zuge des Klimawandels ist die Verbesserung der Anpassungsfähigkeit der Systeme an die veränderten Umweltbedingungen durch entsprechende Maßnahmen (HICKLER et al. 2012). Insbesondere der Umbau nicht standortgerechter Monokulturen (v.a. Kiefern- und Fichtenbestände) in standortangepasste Wälder sowie eine Erhöhung der Waldfläche stellen wichtige Strategien dar, die Resilienz der Lebensräume und der entsprechenden Artengemeinschaften gegenüber veränderten Klimabedingungen zu stärken.

Bei der Umsetzung forstlicher Anpassungsmaßnahmen müssen Synergieeffekte zum Schutz gefährdeter Arten entsprechend in der Planung berücksichtigt werden (u.a. Erhaltung und Förderung von Alt- und Totholz, Wiedervernässung von Feuchtwäldern, s. SCHLUMPRECHT et al. 2014). Ein Ziel der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU 2007) sind Wälder mit natürlicher Waldentwicklung auf 5 % der Waldfläche in Deutschland. Für ein solches System nutzungsfreier Wälder sollen nach MEYER et al. (2011) in erster Linie solche Waldflächen herangezogen werden, die bereits einen hohen naturschutzfachlichen Wert haben. Damit Naturschutzaspekte verstärkt im Rahmen der Forstbewirtschaftung berücksichtigt werden, müssen für den Privatwald finanzielle Anreize geschaffen werden. Hierfür sollen die Förderprogramme der Bundesländer für forstliche Maßnahmen im Privat- und Körperschaftswald genutzt werden. Diese Fördermöglichkeiten sollten verstärkt bekannt gemacht und für Artenschutzmaßnahmen genutzt werden.

Auch aus Klimaschutzsicht sind die Erhaltung bzw. Ausweitung von Waldflächen aufgrund der wichtigen Senkenfunktion dieser Ökosysteme besonders dringliche Maßnahmen (VON HAAREN et al. 2010). Bei einer Erhöhung des Waldanteils müssen die Belange des Naturschutzes im Rahmen der Landschaftsplanung entsprechend berücksichtigt werden (VON HAAREN et al. 2010). Vor allem innerhalb extensiv genutzter Offenlandhabitate, die wichtige Lebensräume für viele gefährdete Arten darstellen, ist auf eine Aufforstung zu verzichten.

Aus Artenschutzsicht ist es zwingend erforderlich, im Rahmen einer intensivierten forstlichen Nutzung bzw. der Umsetzung forstlicher Anpassungsmaßnahmen spezielle Artenschutzmaßnahmen zu berücksichtigen. Bei Vorkommen gefährdeter Arten müssen die Habitatansprüche beim Management berücksichtigt werden, um die Gefährdungsdisposition für die Arten nicht zu erhöhen. Wichtig ist vor allem, dass natürliche Sonderstandorte in Wäldern als Lebensräume und Rückzugsgebiete erhalten und gefördert werden (u.a. MILAD et al. 2012). Ein Ausbau des Wald-Biotopverbundsystems ist erforderlich, um verbesserte Ausbreitungsmöglichkeiten für Waldarten zu schaffen. Vor allem innerhalb Nord- und Westeuropas ist das Netzwerk zu lückenhaft ausgeprägt, um großflächige Arealverschiebungen von Arten zu unterstützen (REICH et al. 2012).

Im Zuge der zunehmenden Nutzung von Wäldern als Windenergiestandorte und zur Energieholzgewinnung müssen Artenschutzbelange entsprechend berücksichtigt werden. Hierzu gehören vor allem die folgenden Handlungserfordernisse:

- rücksichtsvolle Standortplanung im Zuge des Ausbaus der Windenergie durch Berücksichtigung ausreichend großer Abstände zu bedeutenden Fledermaushabitaten bzw. zu Lebensräumen sowie Brut- und Rastplätzen kollisionsgefährdeter Vogelarten (HURST et al. 2016, LAG VSW 2015),
- temporäres Abschalten von Windenergieanlagen in Phasen mit hoher Fledermausaktivität (BRINKMANN et al. 2011) bzw. während des Vogelzuges,
- Verzicht auf intensive Maßnahmen zur Holzgewinnung innerhalb von für den Artenschutz bedeutsamen Waldhabitaten,
- Berücksichtigung von Mindestanforderungen zum Schutz der Biodiversität und Ökosystemfunktionen im Zuge der Energieholzgewinnung (s. HENNENBERG & MARGGRAFF 2012, HÖLTERMANN & RÖHLING 2012).

Zum Schutz von durch den Klimawandel gefährdeten Waldarten bestehen in erster Linie hohe Anforderungen an die Forstwirtschaft, die Grundsätze einer naturnahen Waldbewirtschaftung sowie Artenschutzbelange im Rahmen der Waldbewirtschaftung zu berücksichtigen. Dies gilt neben der Bewirtschaftung von Wäldern auch für die Umsetzung klimawandelbedingter Anpassungsmaßnahmen. Zur Erhaltung von Wäldern und ihren typischen Artengemeinschaften gehört vor allem die konsequente Anwendung der Konzepte zur Sicherung bzw. Erhöhung des Alt- und Totholzanteils. Im Zuge der zunehmenden Energieholznutzung und Intensivierung der Waldnutzung besteht aus naturschutzrechtlicher Sicht ein hoher Bedarf, die Grundsätze einer nachhaltigen und naturnahen Waldbewirtschaftung (WINKEL & VOLZ 2003) zu konkretisieren und auf bundesgesetzlicher Ebene zu fixieren (HÖLTERMANN & RÖHLING 2012). Dabei müssen die Anforderungen der guten fachlichen Praxis an die Auswirkungen des Klimawandels angepasst werden (KUNZE et al. 2013). Aus Sicht der Landschaftsplanung müssen Artenschutzbelange bei dem Ausbau von erneuerbaren Energien verstärkt berücksichtigt und in Landschaftspläne integriert werden (z.B. Festlegung von aus Artenschutzsicht benötigten Ausschlusszonen für die Errichtung von Windenergieanlagen). Um Ausweich- und Wandermöglichkeiten für Arten zu ermöglichen, sind aus landschaftsplanerischer Sicht Vorrangflächen für die Erhaltung bzw. den Aufbau eines Waldverbundsystems festzulegen. Aus Sicht der Energiewirtschaft besteht die Anforderung, alle erforderlichen Artenschutzbelange beim Ausbau von erneuerbaren Energien zu berücksichtigen. Daher ist es aus naturschutzrechtlicher Sicht dringend erforderlich, artenschutzrechtliche Anforderungen beim Ausbau erneuerbarer Energien zu konkretisieren (z.B. rechtliche Abstandsregelungen zu Habitaten gefährdeter Arten).

Forschungsbedarf

Es besteht dringender Forschungsbedarf, die Eignung forstlicher Anpassungsmaßnahmen (z.B. Baumartenwahl, Herkünfte von Arten, Anbau- bzw. Erntemethoden; s. KONNERT 2007,

KÖLLING et al. 2008) und die Anpassungsfähigkeit heimischer Baumarten an den Klimawandel weitergehend zu untersuchen. Darauf aufbauend sind Analysen notwendig, die die Auswirkungen geeigneter Anpassungsmaßnahmen auf die Biodiversität in Wäldern beurteilen und die Grundlage für naturschutzfachliche Empfehlungen bilden.

Die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf gefährdete Waldarten sind bislang nur wenig untersucht. Neben Untersuchungen zu den langfristigen Auswirkungen des Klimawandels ist ein verstärkter Fokus auf die kurzfristigen Auswirkungen des Klimawandels erforderlich, die sich beispielsweise durch Strukturveränderungen und Änderungen der Artengemeinschaften in der Kraut- und Strauchschicht bemerkbar machen.

Bezüglich des Ausbaus erneuerbarer Energien müssen vermehrt Langzeit-Untersuchungen und Vorher-Nachher-Untersuchungen durchgeführt werden, um die Auswirkungen auf die Populationen betroffener Arten genauer zu analysieren. Insbesondere die Weiterentwicklung erforderlicher Abstandskriterien im Rahmen des Windenergieausbaus zu bedeutsamen Lebensräumen ist zwingend notwendig; dies gilt vor allem für Fledermäuse (BRINKMANN et al. 2011, HURST et al. 2015, VOIGT et al. 2015). Wichtig sind hinreichende Erkenntnisse, inwiefern die Nähe zu Sommer- und Winterquartieren die Aktivität von Fledermäusen im Umfeld von Windenergieanlagen und das Kollisionsrisiko beeinflusst (s. HURST et al. 2016). Es ist dringend notwendig, methodische Standards zur Erfassung der Aktivität und Raumnutzung von Fledermäusen und Vögeln und die Beurteilung des Gefährdungsrisikos weiter zu entwickeln (u.a. HURST et al. 2015, 2016). Außerdem ist der Kenntnisstand hinsichtlich des Einflusses unterschiedlich hoher Anlagen und großer Rotoren auf das Kollisionsrisiko von Vögeln und Fledermäusen noch sehr gering.

3.10 Alpine Habitate

Direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Alpine Habitate sind vor allem durch das Höherwandern der Vegetationszonen und die Ausbreitung von Arten tieferer Lagen aufgrund der Erwärmung durch den Klimawandel bedroht. Es liegen zahlreiche Untersuchungen vor, die eine Ausbreitung von Pflanzenarten tieferer Lagen in alpine Habitate nachweisen konnten (z.B. KUDERNATSCH 2007, PAROLO & ROSSI 2008, PAULI et al. 2012). Vor allem Zwergsträucher und Gräser sowie immergrüne Arten profitieren von einer Erwärmung in alpinen Offenhabitaten (KUDERNATSCH et al. 2008, VENN et al. 2012). Ein besonders hohes Aussterberisiko durch den Klimawandel besteht hingegen besonders für endemische Arten, insbesondere in Gipfellagen (DIRNBÖCK et al. 2011). Da allerdings viele Pflanzenarten relativ persistent sind, wird in der alpinen oder nivalen Stufe aber oftmals eine Artenanreicherung beobachtet oder vorhergesagt (z.B. KUDERNATSCH 2007, VENN et al. 2012). Auch hinsichtlich diverser Tierartengruppen konnte eine Ausbreitung thermophiler Arten in höhere Stufen innerhalb unterschiedlicher Alpenregionen nachgewiesen werden (PIZZOLOTTO et al. 2013, ROTH et al. 2014).

Durch die Erwärmung und durch veränderte Niederschlagsmuster ist langfristig mit einem Rückgang kalt-stenothermer und hygrophiler Arten vor allem in tieferen Lagen zu rechnen (PIZZOLOTTO et al. 2013, WILDERMUTH 2012). Bei anhaltender Erwärmung ist davon auszugehen, dass bestimmte alpine Habitate durch die verringerte Flächenverfügbarkeit gänzlich verschwinden werden. Aufgrund dessen wird das Gefährdungsrisiko für alpine und nivale Arten durch den Klimawandel als besonders hoch eingestuft (z.B. Alpenschneehuhn *Lagopus muta*, vgl. PETRAS 2014, REVERMANN et al. 2012). Vor allem für Arten alpiner Offenhabitate erhöht sich aufgrund der Ausbreitung von Gebüschen und Wäldern und des dadurch verringerten Habitatangebots das Gefährdungsrisiko (CHAMBERLAIN et al. 2013). Neben der Ausbreitung von Arten tieferer Lagen wirken sich weitere klimawandelbedingte Faktoren, wie etwa die frühere Schneeschmelze, die verlängerte Vegetationsperiode, Hitzestress und ein

verändertes Niederschlagsregime auf hoch gefährdete Arten der Alpen aus (vgl. NOVOA et al. 2008, REVERMANN et al. 2012).

Durch indirekte Auswirkungen des Klimawandels im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien besteht zurzeit nur ein geringes Risiko für alpine Habitate. Im Gegensatz dazu sind alpine Lebensräume und Arten zunehmend durch Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel seitens der Tourismusindustrie gefährdet. Vor allem der zunehmende Einsatz von Kunstschnee ist für artenreiche Lebensräume problematisch (DE JONG 2011). Kunstschnee wirkt sich einerseits direkt durch die spezifischen chemischen und physikalischen Eigenschaften auf Ökosysteme aus (DE JONG 2011, KESSLER et al. 2012, NEWESELY 1999, RIXEN et al. 2003). Indirekt führt der erhöhte Wasserbedarf zur Produktion von Kunstschnee zu einer Beeinträchtigung alpiner Feuchthabitate und Gewässersysteme.

Handlungserfordernisse und Anforderungen an betroffene Sektoren

Zum Schutz alpiner Arten sind insbesondere Maßnahmen zur Erhaltung der besiedelten Habitate notwendig. Diese umfassen vor allem den Verzicht auf Entwässerung von Feuchtgebieten und Aufforstung von naturschutzfachlich wertvollen Offenlandhabitaten. Auf eine Nutzungsintensivierung sollte im Alpenraum generell verzichtet werden. Zum Schutz hoch gefährdeter Arten ist innerhalb intensiv genutzter Habitate eine Extensivierung der Nutzung bzw. ein Nutzungsverzicht anzustreben. Des Weiteren müssen Maßnahmen angestrebt werden, die die Gefährdungsbelastung durch Freizeitnutzung und den Bau touristischer Infrastruktureinrichtungen reduzieren (v.a. Schutzgebietsausweisung, Ausweisung von Schongebieten mit Betretungsverboten bei Vorkommen besonders sensibler Arten, Verzicht auf den Ausbau touristischer Einrichtungen und den Einsatz von Kunstschnee innerhalb für den Artenschutz bedeutsamer Flächen mit Vorkommen hoch gefährdeter und klimasensitiver Arten). Da viele der durch den Klimawandel besonders gefährdeten Arten sehr selten sind und zum Teil relativ kleine Populationen und eine geringe Mobilität aufweisen, ist der Aufbau möglichst großer Populationen ein besonders wichtiges Ziel, um die Anpassungsfähigkeit der Populationen zu stärken und die Arten langfristig zu erhalten (KERTH et al. 2014). Spezielle Artenschutzmaßnahmen zur Förderung hoch gefährdeter Arten werden daher notwendig sein, wenn Beeinträchtigungen durch den Klimawandel erkennbar sind. Hierzu liegen noch relativ wenige Erkenntnisse vor. Zur Förderung von negativ durch den Klimawandel betroffenen Arten und Habitate sind die Auswirkungen des Klimawandels gezielt zu untersuchen, um aufbauend auf den Erkenntnissen Schutzmaßnahmen abzuleiten. Um lokale Ausweichmöglichkeit für Arten zu schaffen, sollten alpine Habitate ein möglichst vielfältiges Angebot an unterschiedlichen Strukturen umfassen. Daher ist die Erhaltung und Entwicklung von Lebensräumen unter der Berücksichtigung möglichst langer ökologischer Gradienten dringend erforderlich. Viele alpin verbreitete Arten sind an ein enges Temperaturoptimum angepasst und aus klimatischer Sicht gezwungen, bei anhaltender Erwärmung in höhere Lagen auszuweichen. Um Wanderbewegungen zu unterstützen, ist die Erhaltung und Erhöhung der Habitatkonnektivität auf horizontaler und vertikaler Ebene erforderlich.

Spezielle klimawandelbedingte Anforderungen ergeben sich vor allem an die Landschaftsplanung und den Tourismus. Auf einen Ausbau von touristischen und technischen Einrichtungen (v.a. Wanderwege, Forststraßen, Skigebiete, Speicherbecken zur Produktion von Kunstschnee) ist innerhalb von Gebieten mit Vorkommen besonders seltener oder negativ durch den Klimawandel betroffenen Arten möglichst zu verzichten. Negative Auswirkungen auf alpine Lebensräume und Arten durch Anpassungsmaßnahmen seitens des Tourismus müssen durch entsprechende Schutzmaßnahmen (v.a. durch Ausweisung von Schutz- und Schongebieten, Verzicht auf den Einsatz von Kunstschnee in besonders sensiblen Habitaten) vermieden werden.

Die Belange des Artenschutzes sind bei der Ausgestaltung von Landschaftsplänen zu berücksichtigen. Gebiete mit Renaturierungspotenzial sind zu identifizieren und landschaftspla-

nerisch zu sichern. Bezüglich des Tourismus besteht dringender Bedarf, verstärkt Aufklärungsarbeit zu leisten und Freizeitnutzer hinsichtlich der negativen Auswirkungen auf alpine Lebensräume zu informieren und Maßnahmen zur Reduzierung von Störungen anzustreben. Aus Sicht der Wasser- bzw. Landwirtschaft ist auf eine Entwässerung bzw. auf Maßnahmen, die eine Entwässerung alpiner Feuchthabitate bewirken, zu verzichten.

Forschungsbedarf

Zu den Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Habitate und die hier verkommenden Arten besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf. Auch wenn viele Langzeit-Analysen zur Entwicklung der Vegetation vorliegen, sind weitergehende Studien zum Einfluss des Klimawandels auf alpine Arten (insbesondere Tiere) und Habitate erforderlich, um spezifische Schutzmaßnahmen abzuleiten. Es ist vor allem notwendig, Habitate und Arten mit prioritärem Handlungsbedarf zu identifizieren. Als Orientierung dienen die im Rahmen des Vorhabens ausgewählten und als klimasensitiv eingestuften Arten (s. STREITBERGER et al. 2016). Außerdem ist es notwendig, die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen des Naturschutzes (z.B. Verbesserung er Habitatkonnektivität, Maßnahmen zur Erhöhung der Strukturvielfalt) auf die Bestandssituation gefährdeter Habitate und Arten durch ein Monitoring relevanter Indikatorarten zu überprüfen. Des Weiteren ist der Klimawandeleinfluss auf Ökosystem-Prozesse und die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf Lebensgemeinschaften in alpinen Ökosystemen bislang noch wenig untersucht. Dies gilt ebenso für die indirekten Folgen des Klimawandels. Die Auswirkungen Klimawandel bedingter Anpassungsmaßnahmen, vor allem seitens des Tourismus (z.B. Zunahme des Wandertourismus durch Verlängerung der Vegetationsperiode, verstärkter Einsatz von Kunstschnee), müssen tiefergehend auf gefährdete Arten und Ökosysteme untersucht werden.

3.11 Bauwerke

Indirekte Auswirkungen des Klimawandels

Durch energetische Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden, welche eine Energieeinsparung zum Ziel haben und somit indirekt mit dem Klimawandel verbunden sind, gehen Nistplätze gebäudebrütender Vogelarten (z.B. Mauersegler *Apus apus*, Mehlschwalbe *Delichon urbica*) und Quartiere von Fledermäusen oft ersatzlos verloren, wenn entsprechende Schutzmaßnahmen nicht ausreichend und rechtzeitig bei der Bauplanung durchgeführt werden (MAURER-WOHLATZ et al. 2011). Zu einem Verlust von Fledermausquartieren kommt es in Folge der Wärmesanierung vor allem an Gebäudefassaden durch die Anlage von Wärmedämmverbundsystemen (PETERSEN & KREBS 2012). Durch die Sanierung von Dachgeschossen gehen außerdem oftmals Einflugöffnungen von Quartieren verloren oder die klimatischen Bedingungen ändern sich, was sich negativ auf dachgeschossbewohnende Fledermausarten auswirkt. Zum Schutz von Fledermäusen bzw. anderer gebäudenutzender Arten müssen daher bei Gebäudesanierungen diverse Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden. Insbesondere für viele Fledermausarten liegen Hinweise auf eine Klimawandelempfindlichkeit anhand der ausgewerteten Studien vor (z.B. Mopsfledermus *Barbastella barbastellus*, Nordfledermaus *Eptesicus nilssoni*, Zwergfledermaus *Pipistrellus pipistrellus*, Zweifarbfledermaus *Vespertilio murinus*; BEHRENS et al. 2009a, JAESCHKE et al. 2014, KERTH et al. 2014). Daher werden im Folgenden vor allem Handlungserfordernisse zum Schutz von Fledermäusen bei der Gebäudesanierung vorgestellt.

Handlungserfordernisse und Anforderungen an Sektoren

Nach Möglichkeit sollten Maßnahmen getroffen werden, die Quartiere und die entsprechenden Zugänge oder Nistplätze zu erhalten. Dies ist besonders erforderlich, wenn keine Ausweichquartiere im näheren Umfeld bestehen oder keine Ersatzquartiere angelegt werden können sowie bei Vorkommen von Arten, die bislang nur selten in Fledermauskästen nachgewiesen werden (z.B. *B. barbastellus*, *V. murinus*). Insbesondere die Lage der Einflugöff-

nungen spielt eine entscheidende Rolle für Fledermäuse. Diese sollten nach Möglichkeit an der ursprünglichen Stelle beibehalten werden, um die Wahrscheinlichkeit einer Wiederbesiedlung nach Beendigung der Arbeiten zu erhöhen.

Vor der Bauausführung ist es zwingend erforderlich, das vorkommende Spektrum gebäudebewohnender Arten (v.a. Vögel, Fledermäuse) zu ermitteln, das Vorkommen von Quartieren zu erfassen bzw. abzuschätzen und zu analysieren, inwieweit die Sanierung eine Gefährdung für die Arten darstellt (vgl. REITER & ZAHN 2005). Bei Vorkommen von Fledermäusen muss die Bauausführung außerhalb der Quartiernutzungsphase durchgeführt werden. Nach Möglichkeit sollten bei der Maßnahmenumsetzung die Quartiere mit den entsprechenden Zugängen erhalten bleiben. Ist eine Erhaltung der Quartiere nicht möglich, müssen Ersatzquartiere geschaffen werden, für die es diverse bautechnische Möglichkeiten gibt (s. z.B. MAURER-WOHLATZ et al. 2011, PETERSEN & KREBS 2012, SCHMIDT 2014). Im besten Fall sollten die Quartiere in ähnlicher Weise ausgestaltet sein, wie die zuvor genutzten Quartiere und Zugänge an den gleichen Stellen geschaffen werden. Die Anlage von Ersatzquartieren wird auch bei Erhaltung der ursprünglichen Quartiere empfohlen, um die Quartiervielfalt zu erhöhen und ausreichend Möglichkeiten für einen temperaturbedingten Quartierwechsel anzubieten, was für viele Fledermausarten typisch ist. Dies ist besonders in Zeiten des Klimawandels notwendig, um den Tieren bei extremen Wetterlagen Ausweichmöglichkeiten anzubieten. Sinnvoll ist daher eine Anlage von unterschiedlich gestalteten Quartieren (z.B. unterschiedlich große Fledermauskästen) in unterschiedlicher Exposition, Beschattung oder Höhe des Bauwerks (MAURER-WOHLATZ et al. 2011, REITER & ZAHN 2005).

Anforderungen zum Schutz gebäudebewohnender Arten bestehen in erster Linie an die Vorhabenträger bzw. die Gebäudeeigentümer (Kommunen, Hauseigentümer, Wohnungsgenossenschaften etc.) sowie Architekten und Handwerker, die oftmals Vorkommen von Fledermäusen entdecken und im Auftrag der Gebäudeeigentümer handeln. Diese sind verpflichtet, Artenschutzbelange im Sinne von § 44 ff. des Bundesnaturschutzgesetzes vor und während der Sanierungs- bzw. Abrissarbeiten zu berücksichtigen. Zur Klärung der Notwendigkeit einer artenschutzrechtlichen Prüfung und der Beantragung einer artenschutzrechtlichen Genehmigung der Maßnahmenumsetzung sollten Hauseigentümer vor Baubeginn rechtzeitig Kontakt zur unteren Landschafts- bzw. Naturschutzbehörde aufnehmen oder einen fachlich anerkannten Gutachter beauftragen. Generell besteht ein hoher Bedarf, Handwerker bezüglich der Bedeutung von Gebäuden für den Fledermausschutz verstärkt aufzuklären und hinsichtlich der artenschutzrechtlichen Situation zu schulen. Im Rahmen der massiven Förderung von Gebäudesanierungen und energieeffizienten Neubauten (s. BMWI 2015) ist es zwingend erforderlich, dass Artenschutzmaßnamen systematisch und verbindlich berücksichtigt und in die Förderung integriert werden. Durch die Förderung von Artenschutzmaßnahmen besteht die Möglichkeit, dass das Angebot an Quartieren für gefährdete Fledermausarten erhöht und die Bestandssituation betroffener Arten verbessert wird.

Forschungsbedarf

Zur Verbesserung des Kenntnisstandes zum Fledermausschutz an Gebäuden empfiehlt es sich das aktuelle Wissen zu diesem Thema auszuwerten. Hierzu ist vor allem die Berücksichtigung unveröffentlichter Literatur wie etwa Artenschutzgutachten erforderlich. Außerdem sollten verstärkt Erfolgskontrollen und Vorher-Nachher-Untersuchungen von Maßnahmen mit entsprechender Dokumentationspflicht vorgeschrieben werden, um anhand der Erkenntnisse artspezifische Lösungen zu entwickeln.

Des Weiteren sind die folgenden Fragestellungen für den Schutz von Fledermäusen im Zuge der zunehmenden energetischen Gebäudesanierung und des Klimawandels von besonderer Bedeutung:

- Wie lässt sich das Gefährdungsrisiko für betroffene Fledermausarten durch Sanierungsmaßnahmen vermeiden bzw. wie kann evtl. Quartiersverlust ausgeglichen werden?

- Wie lassen sich Fledermäuse, die ganzjährig an Gebäuden vorkommen, während der Bauphase artgerecht vergrämen, ohne dass sie dabei zu Schaden kommen?
- Wie wirkt sich die zunehmende Erwärmung auf die Quartiernutzung und Überwinterung von Fledermäusen aus?

In Folge der Erwärmung wird die Ausbreitung mesophiler Arten in Moorlebensräumen wie Kalkflachmooren gefördert.

As a result of global warming mesophilous species are promoted within mire ecosystems like calcareous fens.

(Foto / Photo: Thomas Fartmann)

4 Fazit

Handlungserfordernisse des Artenschutzes

Das übergeordnete Ziel des Artenschutzes ist die Erhaltung der biologischen Vielfalt (BMU 2007). Aufgrund der sich in Folge des Klimawandels vergleichsweise schnell verändernden Umweltbedingungen müssen verstärkt Maßnahmen ergriffen werden, der Natur Möglichkeiten zu geben auf die Veränderungen zu reagieren, ohne dass die Vielfalt dabei verloren geht (SCHLUMPRECHT et al. 2014). Dabei müssen Veränderungen von Lebensgemeinschaften (z.B. die Einwanderung von neuen Arten) akzeptiert werden (KUNZE et al. 2013, IBISCH & KREFT 2008, WILKE et al. 2011). Viele durch den Klimawandel gefährdete Arten besitzen eine gewisse Plastizität gegenüber sich ändernden Umweltbedingungen (s. KERTH et al. 2014). Der heutige Naturschutz muss daher erreichen, dass diese Anpassungsfähigkeit den Arten durch unterstützende Maßnahmen ermöglicht wird (KERTH et al. 2014). Als wichtigste Strategien dienen hierzu der Ausbau des Biotopverbundsystems, die Erhöhung der Habitatheterogenität auf lokaler Ebene, die Renaturierung von Lebensräumen zur Verbesserung der Resilienz gegenüber Umweltveränderungen (v.a. Feuchtgrünland, Fließgewässer, Moore) und die Erhöhung des Lebensraumangebotes zur Stärkung der Populationen. Zum Schutz hoch gefährdeter Arten sind in Einzelfällen artspezifische Maßnahmen erforderlich. Vor allem im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien ist die Berücksichtigung artspezifischer Schutzmaßnahmen dringend erforderlich, um die Gefährdungsbelastung für Arten zu minimieren.

Die Umsetzung von Artenhilfsprogrammen und deren Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels ist besonders dringlich. Vor allem für Arten mit kleinem Areal oder einem hohen Aussterberisiko − wie etwa alpin verbreitete Arten − ist die Umsetzung von Artenhilfsprogrammen zwingend erforderlich, um einem Aussterben durch den Klimawandel entgegen zu wirken. Dabei ist es notwendig, den Wissensstand zum Klimawandeleinfluss auf derartige Arten durch ein Monitoring zu erweitern, um entsprechende Maßnahmen herleiten zu können. Neben gefährdeten Arten sollte vor allem die Bestandsentwicklung bedeutender Schlüsselarten (z.B. *Calluna vulgaris*, *Zostera marina*) im Mittelpunkt stehen, um die Auswirkungen des Klimawandels auf der Ökosystemebene besser abschätzen zu können. Im Zuge der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen, ist eine Überprüfung der Effizienz durch regelmäßige Kontrollen notwendig, um die entsprechenden Maßnahmen an die Ziele des Artenschutzes anzupassen.

Neben dem Schutz gefährdeter Arten muss der Artenschutz sich in Ausbreitung befindliche Arten verstärkt in der Planung berücksichtigen. Auch wenn die Erhaltung der biologischen Vielfalt das oberste Ziel des Artenschutzes ist, muss sich der Artenschutz darauf einstellen, dass es in Einzelfällen erhebliche Anstrengungen kosten wird, einzelne Arten in den derzeitigen Gebieten unter den veränderten Klimabedingungen zu halten. Veränderungen bestehender Lebensgemeinschaften durch das Aussterben von Arten und die Einwanderung neuer Arten werden unvermeidbar sein und müssen aus Sicht des Artenschutzes akzeptiert werden. Eine Priorisierung der Artenschutzbelange wird daher perspektivisch notwendig sein. Eine verstärkte Analyse der aufgewendeten personellen und finanziellen Mittel im Rahmen von Naturschutzbemühungen ist daher als Entscheidungshilfe von besonderer Bedeutung (KREFT et al. 2013).

Forschungsbedarf

An den Klimawandel angepasste artspezifische Maßnahmen lassen sich bislang nur in wenigen Fällen ableiten, da die Wirkung des Klimawandels auf die meisten Arten noch unzureichend bekannt ist. Insbesondere das Zusammenwirken unterschiedlicher klimawandelbedingter Effekte auf der Populationsebene ist noch wenig untersucht. Während beispielsweise viele Libellenarten von einer Erwärmung und Verlängerung der Vegetationsperiode profitieren, steigt das Austrocknungsrisiko von Kleingewässern durch die Zunahme von Trockenperioden (OTT 2012). Neben dem Einfluss physiologischer Änderungen und Habitatverände-

rungen auf Arten bewirkt der Klimawandel eine Verschiebung der Konkurrenzbedingungen zwischen Arten, indem beispielsweise wärmeliebende Arten und gebietsfremde Arten durch die Erwärmung gefördert wurden (KLEINBAUER et al. 2010, NEHRING 2016). Des Weiteren beeinflussen phänologische Veränderungen interspezifische Interaktionen. Inwieweit Artengemeinschaften und biotische Interaktionen durch phänologische Änderungen beeinflusst werden, ist in Deutschland noch größtenteils unerforscht (UBA 2015). Aufgrund dieser komplexen Auswirkungen sind Prognosen zum Einfluss des Klimawandels auf die Biodiversität noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Zur Analyse der Auswirkungen des Klimawandels sind daher verstärkt langfristige Studien und Felduntersuchungen sowie experimentelle Studien notwendig. Die Auswahl geeigneter Indikatorarten ist dabei besonders entscheidend. Auch hinsichtlich der langfristigen Auswirkungen zunehmender Extremereignisse ist der Kenntnisstand noch sehr gering.

Neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten ist es dringend erforderlich, den Einfluss klimawandelbedingter Lebensraumveränderungen auf Artengemeinschaften und betroffene Arten verstärkt zu analysieren. Dies gilt vor allem für wasserabhängige bzw. aquatische Systeme, für die aufgrund der starken Habitatveränderungen erhebliche Auswirkungen der Lebensgemeinschaften prognostiziert werden.

Außerdem besteht dringender Bedarf, die Effektivität von Anpassungsmaßnahmen des Naturschutzes auf klimawandelsensitive Arten zu untersuchen. Die Erhöhung der Habitatvielfalt wird beispielsweise als bedeutende Maßnahme gesehen (BEHRENS et al. 2009c, FARTMANN et al. 2012). Allerdings besteht hierzu noch Forschungsbedarf, wie sich dies abhängig vom jeweiligen Lebensraum durch entsprechende Pflege- bzw. landschaftsplanerische Maßnahmen realisieren lässt und wie die Maßnahmen die Bestände von Arten beeinflussen.

Abhängig von der klimatischen Entwicklung und den naturräumlichen Gegebenheiten ist zu erwarten, dass sich der Klimawandel regional sehr unterschiedlich auf die Artenvielfalt auswirkt. Eine räumliche Priorisierung erforderlicher Anpassungsmaßnahmen durch die Auswahl von Räumen mit dringendem Handlungsbedarf zum Schutz von durch den Klimawandel bedrohten Arten und Habitaten ist daher dringend notwendig und könnte aufbauend auf diesem Konzept erstellt werden.

Hinsichtlich des Ausbaus erneuerbarer Energien besteht dringender Bedarf, die dadurch bedingten Auswirkungen (v.a. durch den Ausbau der Windkraft) auf die Bestände betroffener Arten zu untersuchen. Hierzu sind vor allem verstärkt Vorher-Nachher-Untersuchungen anzustreben. So ist es möglich, die Wirksamkeit bestehender Schutzmaßnahmen (z.B. Abschaltvorgänge, Rammschutzmaßnahmen) zu analysieren und ggf. artspezifisch zu optimieren. Durch den zunehmenden Ausbau der Windkraft auf Waldstandorten sind weitere Untersuchungen zu den Auswirkungen derartiger Anlagen auf Waldlebensräume und deren Lebensgemeinschaften erforderlich. Darüber hinaus muss der Kenntnisstand zum Einfluss veränderter Landnutzungssysteme (v.a. durch den Anbau neuer Kulturen und intensivierter Anbaumethoden im Zuge des Ausbaus der Bioenergie) auf die hoch gefährdete Agrarbiodiversität durch entsprechende Untersuchungen erweitert werden. Dies gilt vor allem hinsichtlich der noch unzureichend untersuchten Arten und Artengruppen (z. B. Fledermäuse, Vögel, Insekten), um konkretere Schutzmaßnahmen ableiten zu können.

Key points for an action plan for species conservation under climate change in Germany

1 Introduction

1.1 Climate change in Germany

Due to increasing greenhouse gas emissions since the beginning of the industrialization humans have significantly influenced climate (EEA 2012). As a consequence, global mean temperature increased by 0,85 °C during the past century (IPCC 2013). In Germany, mean annual temperature increased by 0,8–1 °C in the period between 1901 and 2000 (JONAS et al. 2005, RAPP 2000, UBA 2006 a, b). Especially within the warmest regions such as the southwestern part of the country recent warming is above average (ZEBISCH et al. 2005).

However, for precipitation no trend has yet been observed. While annual precipitation was more or less constant over the past years there is a tendency that summer precipitation is decreasing and winter precipitation is increasing (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004, ZEBISCH et al. 2005). Besides warming, extreme weather events have become more frequent recently. Especially the frequency and duration of heat waves have increased, particularly in the southwest and northeast of Germany (GERSTENGARBE & WERNER 2009). However, for storm and heavy rainfall events no clear trend has yet been observed (GERSTENGARBE & WERNER 2009).

Depending on the future scenario an increase in mean annual temperature by 1,5–3,7 °C is predicted for Germany for the end of the 21st century compared to the reference period 1951–2000 (SPEKAT et al. 2007, UBA 2006a). Thereby, temperature increase will be stronger in winter than in summer (SPEKAT et al. 2007). For most parts of Germany, a shift of precipitation from summer to winter is forecasted. In dependence of the scenario, a decrease of summer precipitation of 20–30 % is predicted (UBA 2006a). This especially holds true for the warmest regions in Germany. However, due to the great regional variability forecasts on precipitation are much more uncertain than projections on temperature development.

In the course of climate change, the frequency of extreme weather events such as heat waves and drought periods will increase. For the mid-century GERSTENGARBE & WERNER (2009) expect a significant increase of summer days compared to the reference period (1951–2006). Especially within the hottest regions in Germany an increase of the frequency of heat waves is predicted. Additionally, a strong decrease of summer precipitation is forecasted, especially for the eastern part of Germany. Therefore, drought periods will occur more frequently. In contrast, heavy rainfall events (days with precipitation sums ≥ 10 mm) are predicted to occur more often within the northwestern part of Germany (GERSTENGARBE & WERNER 2009).

1.2 Effects of climate change on biodiversity

Since the end of the last century research on the effects of man-made climate change on biodiversity and the extinction of species is continuously increasing (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004). Recent climate change has manifold impacts on species communities and biodiversity. Besides changes in temperature and precipitation the increase of extreme weather events such as heavy rainfall or long lasting drought periods have dramatic consequences for biodiversity (cf. BEIERKUHNLEIN & JENTSCH 2013).

Thereby, the following effects influence species and cause changes within species communities (ESSL & RABITSCH 2013, MOSBRUGGER et al. 2014):

- developmental (e.g. metabolic changes or altered reproduction success) and behavioral changes of species,
- phenological shifts,
- altered biotic interactions (e.g. by phenological or spatial mismatch of interacting species),
- range shifts (changes of species communities, extinction of species),
- habitat changes.

Due to the significant impact of global warming it is expected that the effects of climate change will have a more severe influence on biodiversity compared to habitat changes caused by humans (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004). In addition to the direct effects of climate change by altered temperature or precipitation conditions, indirect effects also have an impact on biodiversity. These effects result from forestal or agricultural adaptation strategies and political decisions such as the expansion of renewable energies for increasing the use of CO_2-neutral energy resources.

The development of adaptation strategies for mitigating the negative effects of climate change is also important for species conservation (DAS 2008). However, as the consequences of climate change on biodiversity will be inevitable there is not only demand for developing adaptation strategies. In the long run, it is also necessary to redefine the targets of nature conservation (IBISCH & KREFT 2008, KUNZE et al. 2013, WILKE et al. 2011). In the course of global warming, the conservation of current species communities will require high efforts.

With respect to species conservation, supporting the adaptability of habitats and species to environmental changes is an important strategy for preventing species loss (IBISCH & KREFT 2008). This holds especially true for rare and highly threatened species which are negatively affected by climate change. In addition to that, the implementation of species-specific conservation measures is essential for protecting species which are endangered by the indirect effects of climate change, such as the increased use of renewable energies or agricultural adaptation strategies.

1.3 Aims of the project

Due to the strong impact of climate change on biodiversity several research projects were funded by the German Federal Agency Nature for Conservation (BfN) for analyzing the direct and indirect effects of climate change on biodiversity and for developing adaptation strategies for nature conservation. The aim of this research and development project was the synthesis of the results of all relevant BfN projects for developing a climate change related action plan for the conservation of habitats and species vulnerable to climate change. Thereby, the project refers to recent climate change characterized by a continuous temperature rise and altered precipitation conditions. The development of the concept was based on a summary of the results of several research projects which were funded by the BfN during the past ten years and comprise analyses on the direct and indirect effects of climate change on species and nature conservation. In addition to that, an extensive literature review on the subject was carried out. Based on the results of the analyses an action plan for species conservation under climate change was derived. The action plan focuses on threatened species which are characterized by a high vulnerability to climate change and habitats of conservation concern. In addition to action strategies, the relevant sectors for implementing the essential conservation measures are specified. Furthermore, important issues for further research are summarized with respect to species conservation under climate change. In the present publication, the main results of the action plan are summarized. The full results of the project are published in STREITBERGER et al. (2016).

2 Methods for the development of the action plan

For the development of the action plan current knowledge on the effects of climate change on habitats with a high significance for species conservation was reviewed. Furthermore, we selected endangered species vulnerable to climate change which were considered in more detail within the action plan. The species selection was based on several studies and BfN projects which evaluated or predicted the influence of climate change on selected species in Germany (BEHRENS et al. 2009a, HANSPACH et al. 2013, JAESCHKE et al. 2014, KERTH et al. 2014, KREFT & IBISCH 2013, POMPE et al. 2011, RABITSCH et al. 2010, SCHLUMPRECHT et al. 2010, TRAUTMANN et al. 2013). Within the action plan the following species groups are regarded: vascular plants, fish, amphibians, reptiles, birds, mammals, dragonflies, Orthoptera, ground beetles, butterflies and burnet moths, land snails and freshwater molluscs. The action plan comprises the analysis of the final reports of relevant BfN projects (cf. STREITBERGER et al. 2016). Additionally, a literature review was carried out in the year 2014 in order to document the current state of knowledge on the climate change effects on the selected habitats and species. The literature research was based on international and national publications of the past ten years with special focus on Central Europe and was carried out using the data bases *isi web of science* and *DNL-online*.

Einige invasive Arten profitieren von der Erwärmung und verdrängen einheimische Arten (z.B. das Schlickgras [*Spartina anglica*] den Queller [*Salicornia stricta*] im Wattenmeer).

Some invasive alien species benefit from global warming and displace native species (e.g. cord-grass [*Spartina anglica*] the glass-wort [*Salicornia stricta*] in the Wadden Sea).

(Foto / Photo: Stefan Nehring)

3 Results: Action plan

3.1 Marine and coastal habitats

Direct and indirect effects of climate change

Besides ocean warming altered hydrochemical conditions such as acidification or changes of salinity are significant effects of climate change which influence marine and coastal ecosystems (cf. NARBERHAUS et al. 2012). In contrast, predicted sea level rise poses a severe threat to coastal habitats such as tidal flats or supra- and epilitoral habitats (e.g. salt meadows) (WILTSHIRE & KRABERG 2013). Furthermore, strong climate change effects are expected for ecosystems composed of key species with a high vulnerability to environmental changes such as eelgrass meadows (cf. NARBERHAUS et al. 2012).

Additionally to the direct effects of climate change, the expansion of offshore wind farms evokes substantial changes within marine ecosystems, for example by the creation of artificial reefs at the base of wind turbines (LANGHAMER 2012, BERGSTRÖM et al. 2014, BSH & BMU 2014). Furthermore, pile driving causes physical damages of the hearing organs of sea organisms (especially mammals), when mitigation measures are neglected (BERGSTRÖM et al. 2014, BSH & BMU 2014).

Action plan and sectoral demands

Most consequences of climate change (especially hydrochemical changes and sea warming) are inevitable. Therefore, changes within species communities must be accepted by nature conservation. A flexible orientation of marine species conservation is therefore essential. The implementation of measures increasing the resilience and adaptability of marine and coastal ecosystems and species to environmental changes is of high importance for decreasing the extinction risk of habitats and species vulnerable to climate change (CPSL 2001). Thereby, relevant actions comprise the monitoring of indicator species for documenting climate change effects on species communities, the mitigation of existing threats (e.g. negative effects of wind farms or fishery), the improvement of habitat connectivity (especially along the coast) and the promotion of dynamic processes (e.g. by managed realignment).

For the mitigation of negative effects by fishery it is obligatory to implement an ecologically orientated fishery aiming at the conservation of sustainable populations. For the European Union, the Common Fisheries Policy (CFP 2014) demands a population recovery above the species-specific threshold which guarantees a sustainable catch size. Furthermore, negative impact on marine ecosystems must be prevented by fishery. Especially, the use of fishing tools damaging the ocean floor such as demersal trawling must be reduced. Within protected areas these techniques should be completely banned.

Additionally, it is important to control the distribution of invasive alien species. As a cause of ocean warming alien thermophilous species are promoted which have the potential to repress native species. In order to identify invading alien species at an early stage, the monitoring of species communities within hotspots of species introduction such as ports or estuaries is of special importance (NEHRING et al. 2009, OJAVEER et al. 2014). Furthermore, guidelines regulating the handling of alien species (cf. OJAVEER et al. 2014) must be respected by aquaculture and shipping.

The following sectoral demands exist for the implementation of relevant measures for mitigating the negative effects of climate change on threatened marine and coastal ecosystems and species:

- fishery/shipping: sustainable fishing; prevention of the introduction and dispersal of alien species,
- aquaculture: consideration of guidelines regulating the handling of alien species,

- politics: implementation of environmental demands within fishery policies; stricter regulations for preventing the introduction of alien species,
- landscape planning/coastal defense: consideration of nature conservation aims within landscape plans with respect to climate change and essential adaptation strategies (e.g. implementation of measures promoting natural processes such as managed realignment),
- power industry: implementation of species conservation measures during the planning and construction of wind energy farms.

Further research

For identifying the long-term effects of climate change on coastal and marine species communities there is urgent need to identify species which are affected by climate change and, therefore, function as indicator species. Hence, further analysis on the adaptability of marine species to environmental changes is of special concern for deriving specific conservation measures. Besides the direct effects of sea warming on species, the cumulative impact of different climate change effects such as sea warming and acidification on species communities has yet been hardly analyzed and requires more specific studies (cf. PÖRTNER 2006).

For sustainable coastal protection measures such as managed realignment the development of practical strategies from a social and planning viewpoint is of special importance. Furthermore, the ecological impact of sand nourishment measures must be increasingly analyzed from an ecological viewpoint (CPSL 2010).

Additionally, there is an increasing demand for analyzing the impact of offshore wind farms on marine ecosystems and species for improving existing conservation measures such as noise mitigation measures during pile driving. Especially long-term studies comparing the development of species communities within wind farms to reference sites are essential for comprehending the impact of offshore wind farms on biodiversity and for specifying existing conservation strategies.

Finally, the influence of climate change on the invasion of alien species requires more detailed analyses for developing strategies to mitigate negative effects of invasive species on marine biodiversity (cf. KATSANEVAKIS et al. 2014, OJAVEER et al. 2014). Thereby, it is especially important to investigate the survival and dispersal strategies of invasive species and to analyze the anthropogenic influence on the distribution on these species. This holds especially true for insufficiently investigated taxa such as microorganisms.

3.2 Rivers and springs

Direct and indirect effects of climate change

Increasing water temperatures, altered discharge and hydrochemical conditions (e.g. higher solubility of nutrients caused by water warming) are the main climate change related effects influencing species communities within river and spring ecosystems (cf. HAASE et al. 2012). Especially for cold-adapted species and species distributed within the upper reaches of streams there is an increased risk of threat caused by rising water temperatures (MELCHER et al. 2013). As a consequence of warming, a potamalization of upstream river reaches is triggered by the expansion of potamal species (HAASE et al. 2012, MATULLA et al. 2007). Especially within mountain rages, where a shift of river zones is limited, the extinction risk is regarded as high for species distributed within the upper reaches of streams (DURANCE & ORMEROD 2007). Besides warming of the water body, altered discharge conditions caused by changes in precipitation have influence on river and spring ecosystems. For a great proportion of rivers in Germany, reduced amounts of discharge are forecasted due to a reduction of summer precipitation (HAGEMANN & JACOB 2007, PRANGE et al. 2013). As a consequence,

substantial changes of species communities are predicted for stream ecosystems. Especially for mussels and species dependent on course water beds the risk of extinction increases due to the raised deposition of fine sediments caused by reduced discharge (PRANGE et al. 2013, VERDONSCHOT et al. 2010). With respect to stenotopic spring species the extinction risk is predicted to be extremely high due to drying up of springs caused by prolonged drought periods in summer (WINTER & SCHINDLER 2011). In contrast, an increase in the frequency of heavy rainfall events and higher winter precipitation is predicted so that extreme water levels and flooding events will occur more frequently (cf. HAASE et al. 2012, VERDONSCHOT et al. 2010).

In addition to the direct effects of climate change indirect consequences of climate change increase the vulnerability of stream ecosystems. Due to the high demand for land in line with agricultural intensification and increased cultivation of energy crops there is a high risk that water pollution increases by higher nutrient and pollutant inputs. This effect may be even enhanced by the direct effects of climate change, e.g. by heavy rainfall and increased run-off (HAASE et al. 2012, SCHOLZ et al. 2013). Furthermore, due to prolonged periods of summer drought the agricultural demand for water is raised which results in increased water extraction from ground and surface waters with negative effects on river ecosystems (WILKE et al. 2011).

According to political decisions on expanding the use of renewable energies, an increased use of hydrodynamic power is likely. As a consequence of this, longitudinal connectivity may be further restricted when mitigation measures are inefficient or neglected. Due to changes in discharge, there is an increased demand for the modification of existing hydroelectric power stations (cf. WOLF-SCHUMANN & DUMONT 2010). At present, the ecological consequences are not predictable due to the uncertain forecasts on the regional precipitation regime. In every case, negative impacts will arise for migrating water organisms when the longitudinal connectivity is increasingly restricted due to the further construction of dams. Thereby, not only migration but also local movements of water organisms are restricted whereby the adaptability of species to environmental changes is limited.

Action plan and sectoral demands

For the conservation of highly threatened species of rivers and springs under climate change the following actions are necessary:

- protection of natural rivers and streams,
- restoration of rivers and floodplains,
- promotion of synergistic effects of conservation and flood control: creation of retention sites for flood control,
- improvement of water quality (e.g. by buffer strips and low-intensive use of agricultural sites adjacent to water bodies),
- reduction of the discharge of cooling water,
- measures for preventing the dehydration of springs (e.g. measures for increased groundwater accumulation or spring flow).

For the implementation of these measures the following sectoral demands exist:

- water management/power industry: abandonment of river development and the construction of new hydroelectric power stations; development of existing power stations respecting the conservation of longitudinal connectivity; construction of cooling towers (BÖLSCHER et al. 2013),
- agriculture: establishment of buffer zones,

- fishery: prohibition of catching threatened species and prevention of introducing alien species,
- landscape planning: minimization of surface sealing for promoting groundwater accumulation; determination of retention sites for flood control and restoration of floodplains.

Further research

Even though scientific interest for the influence of climate change on river ecosystems has increased during the past years, many aspects are still unknown. Accordingly, species conservation research on the following topics is of special interest in order to derive specific management recommendations with respect to climate change:

- effects of drought periods and low water levels on species communities in rivers and springs: Which threshold values of water levels evoke extinction or migration of species (PRANGE et al. 2013)?,
- effects of climate change on spring fauna,
- effects of isolation on the genetic variability of populations of cold-adapted species,
- effects of climate change on alien species,
- gain of knowledge on the ecological condition of floodplains for the development of site-specific restoration measures (cf. SCHOLZ et al. 2012)
- reaction of migratory fish species during migration at hydroelectric power stations and fish bypasses.

3.3 Lakes

Direct and indirect effects of climate change

The warming of lakes has strong effects on the mixing regime and chemical composition of standing water bodies. Due to warming a seasonal shift or even a discontinuation of seasonal mixing is promoted (cf. ARVOLA et al. 2010, HAASE et al. 2012, KÖHLER 2012). As a consequence of more stable stratification, oxygen concentrations are reduced within the hypolimnion whereby an internal eutrophication is triggered by the mobilization of phosphate (cf. KIRILOVA et al. 2009, VETTER & SOUSA 2012). Furthermore, altered precipitation and temperature conditions especially in winter lead to higher inputs of external nutrients such as nitrate, phosphate or dissolved organic carbon (GEORGE et al. 2010). These physical and chemical processes have significant impact on the primary productivity within lakes. Seasonal shifts of the maximal abundance of phytoplankton are promoted by water warming and increased nutrient availability with substantial effects on phyto- and zooplankton communities (SHATWELL et al. 2008). Especially, for nutrient-poor lake ecosystems (e.g. dystrophic lakes and ponds) the vulnerability to climate change is regarded as high (cf. PETERMANN et al. 2007). Besides temperature and chemical changes, altered precipitation conditions have an impact on standing water bodies. Due to reduced summer precipitation lowered water levels have been measured recently within a wide variety of lakes (e.g. within Northeast Germany and at Lake Constance, cf. DIENST et al. 2008, STÜVE 2011).

Raised water temperatures influence biodiversity within lakes by a great variety of different mechanisms (HAASE et al. 2012). On the one hand, higher water temperatures have a direct impact on the metabolism, growth, reproduction and phenology of water organisms. On the other hand, altered mixing processes influence the elemental and thermal budget of lakes which affects water organisms. Due to climate change the vulnerability is increased for cold-adapted species (e.g. salmonids), mountainous species and species of nutrient-poor ecosystems. Furthermore, as a cause of prolonged summer droughts and increased drying up the extinction risk is regarded as high for rare species which are dependent on regularly flooded

shorelines (e.g. *Myosotis rehsteineri* [DIENST et al. 2008, OSTENDORP & DIENST 2009]) and species dependent on small water bodies for reproduction such as many amphibians or dragonflies (cf. OTT 2012). In addition, warm-adapted alien species are promoted by higher water temperatures whereby the risk increases that stenothermic native species are repressed by the more competitive, invading species (cf. CRUZ et al. 2008, GHERARDI et al. 2013, KLEIN et al. 2010).

As described for stream ecosystems there is an increased risk that nutrient input is elevated within standing water bodies in consequence of land use intensification. Furthermore, increased withdrawal of water for the irrigation of agricultural systems poses a severe threat for lake ecosystems (cf. HAASE et al. 2012, SCHÄDLER 2002).

Action plan and sectoral demands

For the conservation of lake ecosystems and species vulnerable to climate change it is especially important to reduce existing threats and to promote the adaptability of these ecosystems and species to altered environmental conditions. Thereby, the following measures are of high importance:

- improvement of water quality: minimization of nutrient input by the establishment of buffer zones to adjacent agricultural land and by large-scale low-intensive land use on surrounding farmland; measures for reducing nutrient input by influents (NLWKN 2011),
- removal of sludge and weeds within the shoreline of lakes for promoting low-competitive species dependent on semi-aquatic habitats,
- conservation and improvement of a natural water balance: regulation of water levels within artificial lakes for compensating lowered water tables,
- increase of habitat heterogeneity by increasing the structural diversity within lakes and shorelines in order to promote the local adaptability of species,
- improvement of habitat connectivity (e.g. by the removal of barriers at in- or effluents or the restoration and creation of new standing water bodies), especially within regions with a fragmentary network of water bodies (central and southern Germany, REICH et al. 2012).

For mitigating the negative effects of climate change on lake ecosystems there are special demands concerning the agricultural sector. In order to minimize the nutrient input into waters it is extremely important that sufficiently large buffer zones (minimum 10 m) are established within agricultural fields bordering standing water bodies. Within areas where the risk of erosion is high (due to climatic or certain soil conditions) the cultivation of crops promoting erosion such as maize or potatoes should be avoided in order to reduce substantial or chemical inputs into waters. Furthermore, the withdrawal of water of standing water bodies for irrigation should be banned. With respect to landscape planning essential adaptation strategies of species conservation to climate change (e.g. improvement of habitat connectivity) must be increasingly integrated within landscape plans.

Further research

In recent times, limnological studies mainly focused on the climate change induced effects on the energy budget and chemical composition of lakes. Thereby, primary productivity and the consumption by zooplankton were of special interest. However, knowledge on the climate change effects on species of higher trophic levels is still poor. The same holds true for small (ephemeral) water bodies, which have a high significance for species conservation. Due to increased summer drought these ecosystems are severely threatened by climate change. Furthermore, it is essential to investigate the reaction of organisms to reduced oxygen concentrations within the hypolimnion and how their reactions to climate change induce changes

within species communities. In order to develop management strategies, the analysis of climate change effects on these issues is of special concern.

Furthermore, the effect of a shortened ice cover on species communities has hardly been analyzed. Besides changes in temperature or precipitation, wind is an important determinant for the mixing and ecological conditions of lakes. However, up to now projections on how altered wind conditions influence lake ecosystems are still rare. The same holds true for the reaction of alien species to water warming. Therefore, more detailed research is necessary for analyzing the effect of climate change on alien species.

3.4 Rocks, cliffs, scree slopes and habitats with open soil

Direct and indirect effects of climate change

The effects of climate change on species communities within rocks, cliffs and scree slopes as well as habitats with open soil are mostly unknown. Hence, there is a great demand for research on the climate change effects on these ecosystems in order to derive specific management and conservation strategies. Up to know, climate change effects on threatened species can only be estimated according to the specific habitat demands of species (cf. BEHRENS et al. 2009a).

As a consequence of rising temperature, there is a high extinction risk for species communities typical for undercooled scree slopes. Due to increased winter rainfall and shortened frost periods there is a high risk that the microclimatic conditions within these habitats will change drastically by the warming of the interior air masses and reduced ice formation. Thereby, cold-adapted, arcto-alpine or boreal-montane species within mountain ranges as well as endemic, highly threatened or stenotopic species are negatively affected (cf. BRUNNER et al. 2013, MÖSELER & WUNDER 1999, MÜLLER & MOLENDA 1999). Especially, within low mountain ranges there is an increased risk that characteristic species of undercooled scree slopes decline if warming continues. Due to limited habitat availability, local distribution shifts are restricted. Furthermore, increased drought stress is regarded as a potential threat for endangered species dependent on rocky habitats (cf. SCHEUERER et al. 2007).

With respect to habitats rich in open soil occurring within wet habitats such as floodplains or at the shorelines of water bodies, it is expected that increased drying up due to reduced summer precipitation has a serious impact on hydrophilic species. Similar effects are also expected for species dependent on small water bodies within open habitats such as stone pits (e.g. Yellow-bellied Toad *Bombina variegata* or Common Spadefoot *Pelobates fuscus*, cf. BEHRENS et al. 2009a, DITTRICH & RÖDEL 2014a).

Until now, there is no evidence on how species of open habitats are affected by the indirect effects of climate change. However, due to the increased demand for land (e.g. by the expansion of renewable energies) the extinction risk increases for rare species associated with open habitats when these are negatively affected by land use intensification (e.g. by habitat destruction or changes caused by increased atmospheric nutrient inputs).

Action plan and sectoral demands

In order to prevent strong declines of habitats and species under climate change, it is extremely important to mitigate current threats (e.g. by the designation of protected areas, ban of mining within areas of special conservation value, reallocation of rock climbing routes with respect to species conservation aims, management such as shrub removal or grazing within open habitats, ban of hydro-engineering measures within the catchment area of scree slopes; ACKERMANN et al. 2003, BRUNNER et al. 2013, PREISING 1997, NLWKN 2011).

Within abandoned mines artificial recultivation should be banned, especially within sites which function as important habitats for the conservation of threatened species. Succession-

al developments of these sites should be favored by respecting the conservation of special habitat structures (e.g. conservation of ponds as spawning habitats for amphibians, shrub removal for the conservation of open rock habitats).

Furthermore, the increase of habitat heterogeneity (e.g. creation of differently structured and sized ponds as spawning habitats for amphibians) is recommended for promoting the local adaptability of species to environmental changes or extreme climatic events. In order to support range shifts of species on a regional level, it is necessary to improve the connectivity of open habitats. Especially within northern Germany the network of open habitats is too fragmentary for favoring northward shifts of species (REICH et al. 2012). As knowledge on the effects of climate change on species of rocky or open habitats is still very poor, a long-term monitoring of threatened species characteristic for these habitats is essential.

For the implementation of the required actions the following sectoral demands exist:

- landscape planning: implementation of the required conservation measures, e.g. designation of protected areas, improvement of local and (supra)regional habitat connectivity, recultivation with respect to conservation aims, abandonment of mining within sensitive areas,
- forestry: abandonment of intensive silviculture within wooded scree slopes and their surroundings,
- rock climbing: consideration of access bans.

Further research

A long-term monitoring of rocky habitats and characteristic species associated with these habitats is necessary in order to identify the effects of climate change. This especially holds true for undercooled scree slopes. For the establishment of monitoring programs, it is important to identify suitable indicator species groups and species. According to the results of the analyses, specific conservation measures must be derived for supporting the adaptability of species communities to climatic changes within open habitats.

3.5 Arable habitats

Indirect effects of climate change

Due to changes in temperature and precipitation agricultural adaptations strategies are necessary for mitigating the negative effects of climate change on agricultural production. Thereby, impacts on agroecosystems arise from changes in crop selection and intensified land use (cf. SCHALLER et al. 2014). However, the effect of these changes on species populations within arable ecosystems is still unknown and must be analyzed in more detail by field studies. Besides agricultural adaptation, the expansion of renewable energies poses a severe threat to farmland biodiversity. Especially, the extensive cultivation of energy crops and the increased construction of ground-mounted photovoltaic and wind energy plants increase demand for land and lead to a change of agricultural habitats (GFN & ZSW 2011, HERDEN et al. 2009). From a conservation viewpoint, the expansion of intensively managed monocultures such as large-scale maize cultivation is adverse (REICH et al. 2011). This holds especially true when intensive weed control is carried out and measures for increasing structural diversity (e.g. field margins with low-intensive land use) are neglected (TILLMANN & KRUG 2010). For farmland birds − like the Montagu´s Harrier (*Circus pygargus*) − the increasing cultivation of winter cereals for silage production leads to a decline of suitable breeding habitats as harvesting coincides with the breeding period of most species (cf. NIEDERMEIER-STÜRZER et al. 2012).

Due to the increased demand for agricultural land fields with marginal yields or abandoned sites which have a high importance for the conservation of agrobiodiversity are increasingly

converted into intensively used fields. This results in the loss of rare and threatened species (SEIFERT et al. 2014). Additionally, perennial crops − such as short rotation coppice − are increasingly cultivated for producing biomass. On the landscape level the establishment of such perennial crops can increase species diversity within monotonous agricultural landscapes (DAUBER et al. 2010, IMMERZEEL et al. 2014, MEYER et al. 2014). However, within heterogenous landscapes the cultivation of perennial crops may induce species declines (DAUBER et al. 2010). Furthermore, reactions of species to bioenergy crops vary strongly according to the studied species groups and are dependent on crop type (cf. IMMERZEEL et al. 2014). Furthermore, the expansion of wind energy has a severe impact on farmland biodiversity (FLADE 2012, PEARCE-HIGGINS et al. 2009, 2012, ZAHN et al. 2014). The collision risk increases for bat and bird species which forage or breed in agricultural landscapes. Additionally, wind energy plants lead to avoidance reactions of farmland birds.

Action plan and sectoral demands

In the course of agricultural intensification, the implementation of measures for increasing habitat diversity in farmland areas is of special importance for the conservation of farmland biodiversity. Thereby the following actions are especially significant:

- abandonment of land use intensification and consideration of specific species conservation measures within sites that function as important habitats for threatened species (e.g. Common Spadefoot, Mantagu´s Harrier, cf. DZIEWIATY & BERNARDY 2010, HÖTKER et al. 2009),
- low-intensive land use for the conservation of rare arable weed communities (VAN ELSEN et al. 2009),
- promotion of biodiversity within intensively used sites such as energy crop systems by specific measures (e.g. conservation of stubble fields during winter, conservation of small-scaled structures such as ponds or species-rich field margins, cf. BFN 2010, DAUBER et al. 2010, GFN & ZSW 2011, NABU 2014, NIEDERMEIR-STÜRZER et al. 2012, REICH et al. 2011, SCHÜMANN et al. 2010),
- consideration of species conservation demands during the establishment and management of solar and wind energy plants by respecting essential minimum distances to habitats of high conservation values (e.g. habitats of threatened breeding birds, cf. LAG VSW 2015) and by a temporary turning-off of wind energy plants during periods of high bat or bird activity, cf. BRINKMANN et al. 2011).

The essential measures for the conservation of farmland biodiversity and for minimizing the extinction risk of highly threatened species result in the following sectoral demands:

- agriculture: consideration of species conservation aims,
- politics: consideration of minimum demands for the implementation of conservation measures in line with agricultural subsidies (e.g. the greening-award of the Common Agricultural Policy, OPPERMANN et al. 2013); financial increase of compensation payments for promoting the implementation of species conservation measures; regionalization of funding systems and the renewable energy sources act (EEG) (PETERS et al. 2010),
- landscape planning: implementation of adaptation strategies of species conservation within landscape plans (e.g. improvement of habitat connectivity),
- power industry: respect of essential species conservation measures during the expansion of renewable energies (especially minimum distances to habitats of high conservation value for site selection),
- nature conservation: guidance of farmers concerning species-friendly cultivation.

Further research

Concerning the direct effects of climate change on farmlands and their biodiversity (e.g. by temperature rise, an altered precipitation regime or extreme weather events) our knowledge is extremely poor. Furthermore, the effects of agricultural adaptation strategies such as altered cultivation methods are rarely analyzed with respect to farmland biodiversity. Additional research demand exists for analyzing the effects of the cultivation of novel crops (e.g. perennial or genetically modified crops) and the influence of the expansion of solar plants on biodiversity (DOG & DDA o.J., HERDEN et al. 2009). Furthermore, the impact of wind power plants on biodiversity must be analyzed in more detail for improving specific management options. Therefore, the research on the efficieny of conservation measures must be carried out by increasing long-term and before and after studies, especially concerning the effect of temporary turning-off of power plants and essential minimum distances to important bat habitats.

3.6 Grassland

Direct and indirect effects of climate change

Due to decreasing water levels threatened wet grassland species are regarded as vulnerable to climate change (e.g. Dusky Large Blue *Phengaris nausithous*, Moor Frog *Rana arvalis*, Narrow-mouthed Whorl Snail *Vertigo angustior*) (BEHRENS et al. 2009a, JAESCHKE et al. 2014, KERTH et al. 2014). In addition, montane grassland ecosystems (e.g. mountain hay meadows) and species are threatened by rising temperature and the upward range expansion of warm-adapted lowland species (cf. BEHRENS et al. 2009b, BITTNER & BEIERKUHNLEIN 2014).

The future development of grassland ecosystems is especially dependent on the extent of climatic change and agricultural development. Climate change effects on grasslands differ strongly depending on regional climate and local site conditions. Especially within dry regions there is a high risk that wet grassland communities are negatively affected by prolonged summer droughts. Therefore, the extinction risk of specialized hygrophilous species is assumed to be very high (BEHRENS et al. 2009a). But also within dry grassland communities such as calcareous grasslands higher temperatures and drought periods induce a decline of species sensitive to desiccation (cf. MAALOUF et al. 2012). In contrast, an increase of summer drought is regarded as positive for dry grassland communities as successional speed is reduced with positive effects on characteristic thermophilous and less-competitive species (BEHRENS et al. 2009b). However, within regions with high precipitation successional speed and agricultural land-use are expected to be intensified as a cause of increased productivity by warming and a prolonged vegetation period (ESSL 2013). Hence, the extinction risk of species dependent on low-successional stages will increase. The future use of grasslands is especially dependent on the climatic development (cf. BOCK et al. 2013). Therefore, the implementation of a locally adapted grassland management scheme will determine the composition of species communities. Besides direct effects on species communities, global warming influences ecosystem processes (cf. JENTSCH et al. 2011).

However, the cumulative impacts of different climate change related effects on species communities are still insufficiently understood. This is also true with respect to site-specific effects of climate change. In addition to the direct impact of climate change the increased demand for agricultural land has far-reaching consequences for grassland ecosystems. Recently, as a result of the increased energy crop cultivation permanent grasslands have been extensively converted to arable land for biomass production. Furthermore, wind energy plants have negative impacts on birds and bats by causing collisions or avoidance reactions.

Action plan and sectoral demands

For preventing negative effects of climate change on sensitive grassland species, it is im-

portant to support the adaptability of species to environmental changes, improve habitat quality and increase habitat availability. Therefore, the implementation of the following actions is of special importance:

- conservation measures and mitigation of threats, especially:
    - prohibition of drainage and land use intensification,
    - buffer zones to avoid nutrient leaching,
- increase of habitat heterogeneity, e.g. by:
    - rotational use,
    - conservation of unused areas,
- restoration of grasslands for the expansion of grassland habitats,
- improvement of grassland connectivity,
- conservation measures during the expansion of renewable energies, especially:
    - energy crops: prohibition of grassland conversion,
    - wind power: compliance of minimum distances to habitats of species with conservation concern (especially birds and bats) and temporary turning-off within periods of high bat (or bird) activity,
- monitoring of indicator species vulnerable to climate change,
- floodplain restoration for increasing habitat availability of alluvial grasslands.

For the implementation of these strategies there are special demands concerning the agricultural and power industry sector. Due to the urgent need for improving habitat connectivity and habitat availability there is a great spatial requirement. Therefore, landscape planning must increasingly integrate species conservation aims associated with climate change within landscape plans. Especially, local measures for increasing habitat availability such as the restoration of grasslands are of special importance. As a consequence of improved habitat availability, larger populations of species are promoted and habitat heterogeneity can be increased by a more diverse management. Thereby, the resilience of grassland ecosystems and species to altered environmental conditions is supported (cf. BEHRENS et al. 2009c).

With respect to water management a further drainage and river regulation must be banned for the conservation of alluvial and wet meadows. From a nature conservation viewpoint, stricter legal regulations are necessary for the implementation of species conservation measures in the context of agricultural subsidies. For example, a complete ban of grassland conversion without exceptional rules is necessary (OPPERMANN et al. 2013).

Further research

For deriving more species-specific management strategies, it is important to increasingly analyze the effects of climate change on grassland species communities by long-term field and experimental analyses. Thereby, the focus on the following aspects is of special concern:

- effects of different land use regimes on grassland habitats and species under climate change,
- climate change effects on the nutrient cycle and the effects of altered nutrient availability on species,
- cumulative impacts of climate change and existing threats on endangered species,

- determination of regions with high vulnerability to climate change and special demand for action,
- analysis of the efficiency of different measures for improving the adaptability of species to climate change,
- influence of climate change related effects on alluvial and wet ecosystems,
- influence of solar and wind energy plants and biomass crop cultivation on the populations of affected species (especially birds and bats).

3.7 Mires

Direct and indirect effects of climate change

Prolonged drought periods, temperature rise as well as internal eutrophication caused by global warming are the most important climate change effects on species and species communities of bog and fen ecosystems. Even though field studies on the climate change effects on mire ecosystems are still rare, studies demonstrated that climate change (e.g. desiccation, eutrophication, increased atmospheric CO_2-concentrations) alters the competition between typical plant species (BREEUWER et al. 2008, JASSEY et al. 2013). Especially, large water-table fluctuations influence the competition among vascular plants and peat bog mosses whereby changes in species communities are promoted. However, most studies relate to bog ecosystems. Concerning fens knowledge on the impact of climate change is still very poor.

Especially within warm and dry regions of Germany, substantial negative effects of increased drought periods on mire ecosystems are likely (cf. SCHWARZER et al. 2013). Besides regional climate, the effects of climate change are strongly dependent on local site conditions such as the soil water budget or landscape relief (cf. WATTENDORF et al. 2010). Furthermore, the conservation status strongly influences the impact of climate change. Especially within degraded systems such as drained bogs negative effects by climatic changes are likely due to the reduced resilience of these ecosystems to environmental changes. Undisturbed mire ecosystems are more resilient against climatic changes (HÁJKOVÁ et al. 2011). Here, climatic changes effects appear temporally delayed compared to degraded ecosystems.

As a consequence of climate change related habitat changes and the specific habitat demands of mire species, several threatened mire species are regarded as highly vulnerable to climate change and ranges are predicted to decline (e.g. Raised Bog Large Ground Beetle *Carabus menetriesi pacholei*, Desmoulin´s Whorl Snail *Vertigo moulinsiana*) (cf. BEHRENS et al. 2009a, KERTH et al. 2014). Especially, increased drying up poses a severe threat to mire species. Concerning bog dragonfly species studies demonstrated that many species are declining due to the increased drying up of the breeding ponds (e.g. *Leucorrhinia dubia*, *Somatochlora arctica*, cf. CONZE et al. 2011, OTT 2006, 2010).

Besides direct impacts of climate change there is an increased risk that indirect effects of climate change caused by land use intensification and the expansion of renewable energies affect mire ecosystems due to the high demand for agricultural land. Thereby, the risk increases that habitats are negatively influenced or even destroyed due to land use intensification. Especially, the conversion of grasslands to arable land and the increased installation of wind power plants affect biodiversity within open landscapes. As an example, avoidance reactions to wind power plants were documented for several grassland and mire bird species such as the Golden Plover (*Pluvialis apricaria*) (PEARCE-HIGGINS et al. 2009).

Action plan and sectoral demands

For conserving mire habitats and threatened mire species vulnerable to climate change it is essential to protect sites from current threats. Especially drainage, land use intensification,

eutrophication and deforestation of mire forests must be prohibited. This is also important from a climate protection point of view for reducing greenhouse gas emissions (DRÖSLER et al. 2011, 2012). Furthermore, the following actions are necessary for the conservation of mire ecosystems and threatened mire species vulnerable to climate change:

- rewetting and restoration of mires for increasing resilience to altered environmental conditions,
- development of site-specific management recommendations within managed sites: implementation of measures increasing habitat heterogeneity (e.g. diversification of management within different parts of the site) for the promotion of local adaptability of species to climatic changes,
- establishment of buffer zones on adjacent agricultural sites to avoid nutrient input,
- improvement of wetland connectivity (cf. REICH et al. 2012),
- specific species conservation measures in the context of the expansion of renewable energies (e.g. respect of essential minimum distances to breeding habitats of threatened bird species during site selection for wind turbines, cf. LAG VSW 2015),
- monitoring of indicator species for long-term analyses on the effects of climate change.

For the conservation of mire ecosystems special demands exist with respect to the agricultural sector. Drainage and land use intensification on adjacent sites must be banned. Instead, rewetting and low-intensive land use must be promoted on agricultural sites surrounding mires for mitigating the risk of nutrient input and increasing habitat size for wetland species. Due to the high demand for agricultural land it is extremely important that adaptations strategies for species conservation are increasingly implemented within landscape plans. With respect to politics increased legal measures are essential for promoting the expansion of renewable energies with respect to environmental interests (e.g. by increased compensation payments in the context of specific conservation measures and more strict regulations of the minimum demands for receiving subsidies in line with the Communal Agricultural Policy, cf. OPPERMANN et al. 2013).

Further research

Due to reduced summer precipitation mire ecosystems are dramatically influenced by climate change. Field observations identified an increased risk of drying up of wet ecosystems and ponds as a severe threat for wetland species. Furthermore, the effects of climate change influence mire vegetation and lead to changes in competition among species. However, long-term field studies are necessary for detecting the cumulative impacts of different climate change related effects on species communities for developing specific management recommendations. Especially with respect to fen ecosystems, knowledge on the influence of climate change on species communities is still poor.

3.8 Heathlands

Direct and indirect effects of climate change

In the course of global warming, changes of typical heathland communities are likely as species react differently to altered climatic conditions (cf. KREYLING et al. 2008, PEÑUELAS et al. 2007). Due to eutrophication by atmospheric nitrogen depositions this effect is amplified as higher nutrient levels favor more competitive species (HÄRDTLE et al. 2013, SOUTHON et al. 2012). Especially within dry regions characterized by low summer precipitation (e.g. southern Brandenburg or Lusatia, cf. PETERMANN et al. 2007) the vulnerability of heathland to climate change is evaluated as high. Within subcontinental regions, heather (*Calluna vulgaris*) is sensitive to increased drought (cf. SCHELLENBERG & BERGMEIER 2014). Furthermore, land

use intensification poses a severe threat to heathland ecosystems due to the increased demand for agricultural land and increased nutrient inputs.

Even though studies on the climate change effects on wet heathlands are rare, climate change is regarded as a severe threat for this ecosystem (Behrens et al. 2009b). Due to increased summer drought, substantial changes of wet heathlands may result from the invasion of mesophilous species. As a consequence of the expected habitat changes, several threatened heathland species are classified as vulnerable to climate change. This applies especially to hydrophilous species restricted to wet heathland ecosystems such as some carabid beetles (e.g. *Carabus nitens*, *Cymindis vaporariorum*, *Trichocellus cogantus*) or the Moor Frog (*Rana arvalis*) (cf. ASSMANN & JANSSEN 1999, BEHRENS et al. 2009a, IRMLER & GÜRLICH 2004, KERTH et al. 2014).

Action plan and sectoral demands

For the conservation of heathland ecosystems and species, it is essential to promote their resilience to environmental changes. Consequently, current threats must be mitigated by suitable conservation measures. Especially, the reduction of nutrient inputs is of special significance for promoting the adaptability of heathland ecosystems to environmental changes. Therefore, the establishment of buffer zones with low-intensive land use and the abandonment of fertilization on adjacent agricultural sites are especially relevant. For the conservation of wet heathlands and their associated species (e.g. Natterjack Toad *Bufo calamita*, Moor Frog *Rana arvalis*) the maintenance of the natural water balance must be guaranteed.

By increasing habitat diversity and differently structured areas within heathlands (e.g. by the application of different management techniques on different sites) the adaptability of species to extreme climatic changes is promoted (BEHRENS et al. 2009c). This can be achieved by the introduction of temporarily or spatially rotating management and the conservation of temporarily unmanaged areas.

In the long run, it is likely that the significance of shaded or densely growing vegetation structures will become more relevant for the conservation of heathland species sensitive to drought. For example, heather is more productive under shaded conditions within subcontinental regions in Germany (SCHELLENBERG & BERGMEIER 2014). Therefore, a differentiated consideration of *Calluna*-heathlands and redefinition of the Habitats Directive habitat types 2310 and 4030 by differentiating between atlantic and subcontinental varieties is suggested (SCHELLENBERG & BERGMEIER 2014). Thus, a more regionalized evaluation and management planning of the habitat type would be possible.

Furthermore, many heathland species are dependent on a network of open habitats for supporting range shifts (cf. REICH et al. 2012). The establishment of a pan-European network of open habitats is of special importance for promoting large-scale range shifts. Additionally, it is highly important to increase heathland availability by restoration measures for stabilizing the populations of threatened heathland species (cf. BORCHARD et al. 2013). Furthermore, the monitoring of threatened species vulnerable to climate change and key species (e.g. heather) is increasingly important for identifying the specific effects of climate change and deriving adapted conservation measures.

For preventing negative effects by land use intensification and the expansion of renewable energies (e.g. solar or wind energy plants) on heathland biodiversity, the planning of priority sites for the use of renewable energies by considering nature conservation aims is especially important. Thereby, the consideration of minimum distances to sites of high conservation value is of special concern for mitigating negative effects on threatened species.

Due to the increased spatial requirement for the conservation of heathlands under climate change (e.g. the establishment of buffer zones, restoration and the improvement of habitat connectivity) there are special demands concerning agriculture and landscape planning. Na-

ture conservation adaptation strategies must be increasingly integrated within landscape plans. For mitigating threats by eutrophication, low-intensive land use should be implemented on agricultural sites adjacent to heathlands. Additionally, the installation of solar or wind energy plants on sites adjacent to heathlands and within sites functioning as relevant habitats for threatened heathland species should be avoided by landscape planning and power energy. Additionally, all actions causing drainage of wet heathland must be avoided by agriculture and water management.

Further research

For developing species-specific conservation strategies further research is necessary to analyze the climate change effects on threatened and relevant key heathland species. Especially field observations are relevant, in order to survey the results of sensitivity analyses and projections of the future distributions of species and to identify species vulnerable to climate change. Thereby, it is especially important to focus on poorly studied species groups such as carabid beetles or cryptogams. Furthermore, studies are necessary, for analyzing the cumulative effects of different climate change related effects on heathland ecosystems and species. As many endangered heathland species are characterized by small populations and restricted ranges, the evaluation of a minimum population size and area is necessary for long-term conservation. Due to the specific regional impact of climate change on heathland ecosystems the identification of regions with special demand for action is of special importance.

3.9 Forests

Direct and indirect effects of climate change

In the course of climate change temperature rise and changes of water balance will cause alterations of forest tree communities. In contrast to native deciduous tree species, coniferous species are regarded as highly vulnerable to climate change (KÖLLING & ZIMMERMANN 2007). Especially, increased drought stress poses a severe threat to species such as the European Beech (*Fagus sylvatica*). This especially holds true under extreme conditions such as subcontinental climates or on shallow soils (cf. MICHELOT et al. 2012, MILAD et al. 2012, SCHERRER et al. 2011).

Due to increased warming and drying up caused by reduced summer precipitation wet forest ecosystems such as bog or alluvial forests and montane or alpine forest types are regarded as extremely vulnerable to climate change (MÜLLER-KROEHLING et al. 2007). In contrast, it is predicted that southerly distributed forest types will expand northwards and establish in Central Europe in the long run (BITTNER & BEIERKUHNLEIN 2014). Next to warming, extreme climatic events such as heat waves or flooding and storms are regarded as important climate change related effects with impact on forest ecosystems (MILAD et al. 2012, SCHELLHAAS et al. 2010, UNSELD 2013). Furthermore, global warming affects the frequencies of pest outbreaks and the distribution of pathogens. Especially, within monocultures there is an increased risk of pest outbreaks caused by the negative effects of climate change such as increased drought stress (LINDNER et al. 2010).

Besides the direct effects of warming altered vegetation structures and habitat conditions are predicted to influence biodiversity and promote species losses (cf. BRAUNISCH et al. 2014). Extensive species declines are especially expected for threatened wet forest species due to increased drying up of the forests in summer (cf. BEHRENS et al. 2009a).

Furthermore, caused by the prolonged vegetation period and earlier foliation (cf. MENZEL 2003) biotic interactions and food webs are influenced when species react differently to phenological changes (e.g. HEGYI et al. 2013). Therefore, changes within species communities due to shifts in abundance and losses of species are likely.

In addition to the direct effects of climate change indirect effects of climate change affect forest ecosystems. The increased wood biomass extraction in line with bioenergy use (cf. HÖLTERMANN & RÖHLIG 2012) and the expansion of wind power on forest sites pose severe threats to forest ecosystems. As a consequence of this and essential site development measures for installing wind power plants, the vulnerability of threatened forest species increases (BFN 2011). Furthermore, silvicultural adaptation strategies to climate change such as large-scale forest conversions will have strong impacts on typical forest communities.

Action plan and sectoral demands

With respect to habitat conservation under climate change, the adaptive capacity of forest ecosystems to climatic changes must be promoted by suitable silvicultural measures such as the site-specific selection of tree species composition and an appropriate management (HICKLER et al. 2012). The conversion of monocultures (e.g. stands of pine or spruce) into near-natural forests adapted to local site conditions is essential and must be promoted. Thereby, synergistic effects for species conservation must be considered by forestal planning (e.g. conservation of dead wood, rewetting of wet forests, cf. SCHLUMPRECHT et al. 2014).

One target of the National Biodiversity Strategy and Action Plan is the establishment of naturally developing forests within 5 % of the German woodland area (BMU 2007). According to MEYER et al. (2011) these forests should be implemented on forest sites of high conservation value. For the realization of species conservation measures within silviculturally managed forests subsidies must be increasingly promoted for managers of private forests. Thereby, the subsidy programs of the federal states should be increasingly used.

Also with respect to climate protection the conservation and expansion of forest areas are of special importance due to the important sink function of this ecosystem (VON HAAREN et al. 2010). However, conservation aims must be respected during afforestation (VON HAAREN et al. 2010). Especially, within low-intensively used agricultural landscapes which represent important habitats for threatened species of open habitats forestation should be banned.

With regards to species conservation specific measures must be considered during the implementation of forestal adaptation strategies. Within forests which function as relevant habitats for threatened species the conservation of essential habitat structures (e.g. glades or ponds) must be respected (cf. MILAD et al. 2012). Furthermore, the improvement of habitat connectivity is of special relevance for supporting species movements on a (supra)regional level. Especially, within northern and western Germany the forest habitat network must be developed as it is too fragmentary to support large-scale range shifts (REICH et al. 2012). Additionally, there is an increased demand for considering species conservation aims during the expansion of wind energy and woodfuel harvesting on forest sites. Thereby, the following actions are relevant:

- site selection with respect to species conservation aims: respect of sufficient minimum distances to relevant habitats of birds and bats in terms of wind power development (cf. HURST et al. 2016, LAG VSW 2015),
- temporary turning-off of wind turbines during times of high bird or bat activity (e.g. migration periods, cf. BRINKMANN et al. 2011),
- abandonment of intensive silvicultural measures for woodfuel harvesting within sites of special relevance for species conservation,
- implementation of silvicultural measures according to minimum demands of nature and species conservation (cf. HENNENBERG & MARGGRAFF 2012, HÖLTERMANN & RÖHLING 2012).

For the conservation of forest ecosystems and their communities forestry must increasingly respect the principles of an ecological and sustainable forest management. Due to the inten-

sification of silviculture in line with increased woodfuel harvesting there is a great demand for specifying the principles of an ecological forest management and for regulating these legally (cf. HÖLTERMANN & RÖHLING 2012, WINKEL & VOLZ 2003). Consequently, the demands for an appropriate management must be adapted to climate change (KUNZE et al. 2013). With respect to landscape planning species conservation interests must be implemented within landscape plans, especially in terms of renewable energies. Thereby, the determination of exclusive areas for the conservation of forest ecosystems is of special relevance. For supporting range shifts of species, priority areas must be established for the improvement of woodland connectivity. Concerning the power industry species conservation concerns must be respected throughout the expansion of renewable energies (especially in terms of wind power and wood fuel extraction, e.g. minimum distances to habitats of affected species in the context of wind power).

Further research

For understanding the long-term effects of climate change on forest ecosystems, there is urgent need for analyzing the suitability of different silvicultural adaptation strategies (e.g. tree species selection, proveniences of tree species, harvesting measures. cf. KONNERT 2007, KÖLLING et al. 2008) and the adaptive capacity of native tree species to climate change. In addition to that, analyses are necessary for evaluating the impact of forestal adaptation strategies on biodiversity. On the basis of the findings specific conservation recommendations must be defined.

Generally, the knowledge on climate change related effects on woodland communities and threatened woodland species is very poor. Besides long-term effects on tree species, it is extremely important to analyze the short-term effects such as structural changes within the shrub or herb layer or changes of biotic interactions on biodiversity.

Concerning the expansion of renewable energies long-term studies and before and after studies are necessary for analyzing the effects on the populations of affected species. This holds true especially to woodfuel extraction and the expansion of wind power on forest sites. Thereby, the definition of necessary minimum distances to habitats relevant for species conservation is of great significance, especially with respect to bats (cf. BRINKMANN et al. 2011, HURST et al. 2015, VOIGT et al. 2015). Furthermore, adequately knowledge is important to what extent the spatial proximity to summer and winter quarters determine bat activity and collision risk at wind power plants (s. HURST et al. 2016). Standardized methods must be developed for surveying activity and space utilization of bats and birds and for evaluating the collision risk (e.g. HURST et al. 2015, 2016). In general, knowledge on the influence of differently sized wind power plants on the collision risk of birds and bats is still poor.

3.10 Alpine habitats

Direct and indirect effects of climate change

Alpine habitats are threatened by climate change due to vertical shifts of vegetation zones and the expansion of lowland species caused by higher temperatures. Several studies demonstrate that plant species of lower altitudes are expanding within alpine habitats (e.g. KUDERNATSCH 2007, PAROLO & ROSSI 2008, PAULI et al. 2012). Particularly dwarf shrubs and grass species as well as evergreen species are promoted by increased temperatures (KUDERNATSCH et al. 2008, VENN et al. 2012). Especially for endemic alpine species within summits the extinction risk is increased by warming and the shift of vegetation zones (DIRNBÖCK et al. 2011). However, many alpine plant species seem to be relatively persistent. Therefore, an increase of species richness is typical within alpine habitats (e.g. KUDERNATSCH 2007, VENN et al. 2012). For different animal groups the promotion of thermophilous species due to global warming has also been documented in different alpine regions (PIZZOLOTTO et al. 2013, ROTH et al. 2014).

As a consequence of temperature rise and altered rainfall, extensive declines of cold-adapted and hydrophilous species are expected, especially within lower altitudes (cf. PIZZOLOTTO et al. 2013, WILDERMUTH 2012). In the course of climate change, the extinction risk of alpine habitats is assumed to increase due to the reduced available area caused by the upward shift of habitats and species from lower altitudes. Therefore, threatened alpine species such as the Rock Ptarmigan (*Lagopus muta*) are regarded as highly vulnerable to climate change (cf. PETRAS 2014, REVERMANN et al. 2012). Especially, for species of open habitats a reduced habitat availability is predicted due to the expansion of shrubs and trees to higher altitudes (cf. CHAMBERLAIN et al. 2013). In addition to temperature rise, further climate change related effects such as the prolongation of the vegetation period and reduced snow fall have impact on alpine biodiversity. Especially with respect to fauna complex interactions between different climate change related effects such as phenological changes and shortened snow cover periods are likely to influence alpine biodiversity (cf. NOVOA et al. 2008, REVERMANN et al. 2012).

At present, adaption strategies of the tourism industry affect alpine ecosystems as an indirect effect of climate change and increase the risk of endangerment for alpine ecosystems. Especially, the increased use of artificial snow as a consequence of reduced snowfall poses a severe threat for alpine ecosystems (cf. DE JONG 2011). The application of artificial snow affects alpine ecosystems by the specific chemical and physical characteristics of artificial snow. Furthermore, water abstraction for producing snow causes dewatering of alpine water systems and wetlands with drastic effects on alpine wetland ecosystems (DE JONG 2011, KESSLER et al. 2012, NEWESELY 1999, RIXEN et al. 2003).

Action plan and sectoral demands

For the protection of threatened alpine species measures for conserving alpine ecosystems are necessary. Thereby, the abandonment of drainage of wetland ecosystems and the ban of forestation of open habitats with high conservation value are of special significance. Generally, land use intensification should be avoided within the whole of the Alpine region. The implementation of low intensity land use should be promoted within intensively managed sites for increasing habitat availability for threatened species dependent on low land use intensity. Furthermore, measures must be undertaken for mitigating existing threats by increased recreational and touristy use and the construction of infrastructure facilities (e.g. designation of conservation areas, ban of the use of artificial snow and the construction of touristy facilities within sensitive habitats and regions of high importance for the conservation of threatened species vulnerable to climate change). As many threatened species with a high vulnerability to climate change are characterized by small populations, the promotion of population increase is of special importance for long-term conservation (cf. KERTH et al. 2014). Therefore, species-specific conservation measures are necessary. Yet, more detailed research is necessary for comprehending the climate change effects on threatened alpine species and for developing species-specific action plans.

For facilitating the adaptability of species to climate change it is important to increase habitat heterogeneity. Therefore, the conservation and creation of habitats under consideration of long ecological gradients is an important strategy for species conservation under climate change (BEHRENS et al. 2009c). Many alpine species are characterized by a narrow thermal niche and are forced to shift to higher altitudes with ongoing temperature rise. In order to promote upward range shifts the improvement of habitat connectivity on a horizontal and vertical level is of great importance.

The essential strategies for the conservation of alpine species requires special actions by landscape planning and tourism. The expansion of touristy and technical facilities (e.g. hiking routes, ski areas, water storage reservoirs for the production of artificial snow) must be banned within sensitive ecosystems and habitats of special value for species conservation.

Negative effects caused by tourism must be mitigated by specific measures such as the designation of protected areas and the ban of the application of artificial snow within sensitive areas. Furthermore, there is a high demand for increased public relations for informing tourists about nature conservation issues and for mitigating disturbance within sensitive areas.

The spatial demands must be increasingly respected within landscape plans. Furthermore, areas with high restoration potential must be identified and legally protected. Generally, agricultural and water economic measures leading to dehydration of wetland areas must be avoided.

Further research

Knowledge on the climate change effects on alpine species is still poor. Even though many studies document the long-term development of alpine vegetation, further research is necessary to investigate the direct and indirect effects of climate change on alpine ecosystems and species for the specification of management strategies. Habitat types and species with priority for action (e.g. threatened species vulnerable to climate change which were selected within the study) must be analyzed in more detail. In addition, the efficiency of adaptation strategies must be analyzed with respect to the population development of threatened species. Finally, there is a great demand for investigating the effects of climate change on ecosystem processes and the development of tourism (e.g. increased tourism activity due to the prolongation of the vegetation period) in more detail for the concretion of conservation strategies.

3.11 Buildings

Indirect effects of climate change

As a consequence of increasing energetic insulation of buildings for reducing energy consumption and CO_2 emissions, breeding sites of birds (e.g. Common Swift *Apus apus*, Common House Swift *Delichon urbica*) and bat roosts are destroyed when conservation measures are neglected (MAURER-WOHLATZ et al. 2011). By the installation of thermal insulation composite systems at the front of buildings and the redevelopment of attic floors, declines of bat roosts are promoted (PETERSEN & KREBS 2012). Thereby, relevant openings offering access into attics are often destroyed for attic-inhabiting bat species or climatic conditions change with negative impact on bats. For the conservation of bats and other species, conservation measures must be respected during the energetic insulation of buildings. Several threatened bat species which use buildings as reproduction or wintering habitats are considered as vulnerable to climate change (e.g. Western Barbastelle *Barbastella barbastellus*, Northern Bat *Eptesicus nilssoni*, Common Pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus*, Particoloured Bat *Vespertilio murinus*, cf. BEHRENS et al. 2009a, JAESCHKE et al. 2014, KERTH et al. 2014). Therefore, the following action plan focuses on the conservation of bats.

Action plan and sectoral demands

If possible, bat roosts and their entries should be protected from any damage during the restoration works. This is especially important when adjacent roosts are absent and there is no possibility for installing substitute roosts. Furthermore, the conservation of roosts is especially relevant when species are present which typically avoid bat boxes for roosting (e.g. Western Barbastelle, Particoloured Bat). Especially the location of the roost entries plays an important role for the conservation of bats at buildings. If possible, these must be conserved for increasing the likelihood of a resettlement of the roosts after the insulation measures are finished.

Before the restoration is carried out, it is essential to analyze which species inhabit the building and which parts of the building function as breeding or roosting sites (cf. REITER & ZAHN 2005). Restoration must be undertaken when the bats are absent from the building. If it is not feasible to conserve roosts during restoration, substitute roosts must be established. There-

fore, several technical solutions are available (cf. MAURER-WOHLATZ et al. 2011, PETERSEN & KREBS 2012, SCHMIDT 2014). Ideally, substitutional roosts should be developed according to the conditions of the former roosts Even when traditional roosts are conserved, it is recommended to establish new roosts within different parts of the building and different aspects for increasing the diversity of differently structured and tempered roosts (MAURER-WOHLATZ et al. 2011, REITER & ZAHN 2005). Thereby, local adaptability of bats to different temperature conditions is supported. With respect to climate change this is of special importance as extreme climatic weather events such as heat waves are predicted to occur more frequent.

For the implementation of the essential conservation measures there are special demands concerning the responsible bodies initiating the insulation measures (e.g. the owner of the building) and the architects and craftsmen which often detect bat roosts during restoration. These bodies are legally obligated to respect species conservation aims according to § 44 et seqq. of the Federal Nature Conservation Act before and during the construction works. For determining whether a species conservation assessment is necessary it is recommended to contact the local nature conservation agency or consult an approved assessor prior to restoration. Generally, craftsmen must be increasingly informed about the significance of buildings as habitats for species and the legal situation.

In the context of extensive financial promotion of thermal insulation (cf. BMWI 2015) there is high demand that species conservation aims are systematically and bindingly respected and integrated within sponsorships. By means of promoting species conservation actions habitat quality and quantity is increased for threatened bat species which has positive effects on their populations.

Further research

For gaining knowledge on species conservation measures in line with thermal insulation of buildings it is essential to evaluate current knowledge on this issue. Thereby, it is especially important to consider unpublished studies such as species conservation surveys. Furthermore, increased analyses on the success of conservation measures must be carried out by before and after studies for the specification of conservation measures. In addition to that, the analysis of the following aspects is of special significance for the conservation of bat species with respect to climate change and increased thermal insulation:

- How are bat species dependent on buildings affected by thermal insulation and how can the loss of quarters be compensated?
- How can bat species be scared off during construction phase without being harmed?
- How are habitat selection and overwintering of bats influenced by climate change?

4 Conclusions

Action plan for species conservation under climate change

The main target of nature protection is the conservation of biodiversity (BMU 2007). However, due to the severe environmental impact of global warming changes of species communities will be inevitable and must be accepted by nature conservation (KUNZE et al. 2013, IBISCH & KREFT 2008, WILKE et al. 2011).

Many highly threatened species vulnerable to climate change are characterized by a certain adaptive capacity to environmental changes (KERTH et al. 2014). In times of climate change, today's conservation must achieve that this capacity is supported by specific conservation strategies (KERTH et al. 2014). Therefore, the improvement of habitat connectivity, the increase of habitat heterogeneity and the restoration of habitats (e.g. rivers, mires, wet grassland) are relevant strategies. By means of these strategies the resilience of ecosystems to environmental changes and population recoveries of species are promoted. However, with respect to highly threatened species species-specific measures become increasingly important for conservation. This holds especially true for species threatened by the indirect effects of climate change such as the expansion of renewable energies. Therefore, the implementation and adaptation of species-specific conservation programs to climate change are of special relevance. Also with respect to species characterized by small ranges or a high extinction risk such as alpine species, the implementation of species-specific conservation programs is important for preventing extinction caused by climate change. Thereby, it is important to gain further knowledge on how these species are specifically affected by climate change. Besides endangered species, the effects of climate change must be increasingly documented for relevant key species such as *Calluna vulgaris* or *Zostera marina* for identifying the climate change effects on the ecosystem level.

However, today's species conservation must respect expanding species which profit from climate change. Even though the conservation of biodiversity is the main target of species conservation, conservationists must be aware of the increasing challenge for preserving the current state of species communities under climate change. Alterations of communities due to the extinction of species and expansion of new species are inevitable and must be accepted by conservation. A prioritization of species conservation aims is therefore of increasing relevance. A more detailed analysis of the expenditures for the costs and staff in line with species conservation measures and management is of special significance for the evaluation of relevant measures (KREFT et al. 2013).

Further research

At present, knowledge on the climate change effects on endangered species is still poor, so that in most cases it is not yet possible to derive species-specific management strategies. Especially, the interacting impact of different climate change effects on species is still poorly understood. As an example, many dragonfly species profit from warming and the prolongation of the vegetation period. However, the drying up of ponds increases due to prolonged drought events (cf. OTT 2012). Next to physical influences and habitat changes biotic interactions are influenced by climate change related effects such as range alterations and promotion of thermophilic native or alien species (KLEINBAUER et al. 2010, NEHRING 2016) or different reactions of species to phenological changes. The effect of phenological changes on species communities is still unknown in Germany (UBA 2015).

Due to the complex impact of climate change on biodiversity, predictions of climate change effects on species are uncertain. For analyzing the effects of climate change on species communities more long-term studies and field observations as well as experimental studies are necessary. Therefore, the selection of appropriate indicator species is of special relevance. Additionally, knowledge on the effects of extreme weather effects is still poor.

Finally, it is of special importance to investigate the effects of climate change related habitat changes on species. This especially holds true for water dependent or aquatic habitats, for which extreme habitat changes are predicted due to the increase of drought periods.

Furthermore, the efficiency of adaptation measures must be analyzed with respect to threatened species. The increase of local habitat heterogeneity is regarded as an important measure for promoting the adaptability of species (cf. BEHRENS et al. 2009c, FARTMANN et al. 2012). However, there is urgent need for research on how this strategy can be implemented within certain habitat types and how this measure affects species populations.

Dependent on the development of climate change and regional conditions it is expected that climate change effects on species differ greatly. A regional prioritization of adaptation strategies by the identification of regions with special demand for action is therefore of special significance and could be developed subsequently to this action plan.

Concerning the expansion of renewable energies there is special demand for analyzing the effects of renewable energies (especially wind power) on the population development of affected species. Furthermore, increased before and after studies are necessary for analyzing the efficiency of conservation measures and for specifying certain measures. Due to the increased installation of wind power plants within woodlands the effects on affected woodland species and species communities must be analyzed in more detail. In addition to that, more knowledge on the influence of land use changes (especially by the increased cultivation of novel crops) on farmland biodiversity must be gained by field studies. This holds especially true for species groups (e.g. bats, birds, insects) with deficient knowledge on the effects of land use change.

Eine hohe Habitatheterogenität, hier dargestellt am Beispiel einer Tieflandsheide, verringert das Aussterberisiko von Arten.

High local habitat heterogeneity, in this example illustrated for a lowland heathland, decreases the extinction risk of species.

(Foto / Photo: Thomas Fartmann)

5 Literatur / References

ACKERMANN, W., FUCHS, D. & SACHTELEBEN, W. (2003): Arten- und Biotopschutzprogramm Bayern. Landkreis Forchheim – aktualisierter Textband. – München (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen).

ARVOLA, L., GEORGE, G., LIVINGSTONE, D.M., JÄRVINEN, M., BLENCKNER, T., DOKULIL, M.T., JENNINGS, E., AONGHUSA, C.N., NÕGES, P., NÕGES, T. & WEYHENMEYER, G. (2010): The impact of the changing climate on the thermal characteristics of lakes. – In: GEORGE, G. (Ed.): The impact of climate change on European lakes. – Dordrecht, u.a. (Springer): 85-120.

ASSMAN, T. & JANSSEN, J. (1999): The effects of habitat changes on the endangered ground beetle *Carabus nitens* (Coleoptera: Carabidae). – Journal of Insect Conservation 3: 107-116.

BEHRENS, M., FARTMANN, T. & HÖLZEL, N. (2009a): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Teil 1: Fragestellung, Klimaszenario, erster Schritt der Empfindlichkeitsanalyse – Kurzprognose. – Projektbericht: 288 S.

BEHRENS, M., FARTMANN, T. & HÖLZEL, N. (2009b): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Teil 2: zweiter Schritt der Empfindlichkeitsanalyse – Wirkprognose. – Projektbericht: 364 S.

BEHRENS, M., FARTMANN, T. & HÖLZEL, N. (2009c): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Teil 3: Vorschläge für eine Anpasssungsstrategie. – Projektbericht: 101 S.

BEIERKUHNLEIN, C. & JENTSCH, A. (2013): Ökologische Auswirkungen klimatischer Extremereignisse. – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – Berlin, Heidelberg (Springer): 40-49.

BERGSTRÖM, L., KAUTSKY, L., MALM, T., ROSENBERG, R., WAHLBERG, M., CAPETILLA, N.A. & WILHELMSSON, D. (2014): Effects of offshore wind farms on marine wildlife – a generalized impact assessment. – Environmental Research Letters 19: 034012.

BFN (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) (Hrsg.) (2010): Bioenergie und Naturschutz. Synergien nutzen, Risiken vermeiden. – Bonn (Bundesamt für Naturschutz): 32 S.

BFN (BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ) (Hrsg.) (2011): Windkraft über Wald. Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz. – Bonn (Bundesamt für Naturschutz): 8 S.

BITTNER, T. & BEIERKUHNLEIN, C. (2014): Entwicklung von Szenarien zur Beeinflussung und Veränderung von Lebensräumen durch den Klimawandel. – In: BEIERKUHNLEIN, C., JENTSCH, A., REINEKING, B., SCHLUMPRECHT, H. & ELLWANGER, G. (Hrsg.) (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 137: 274-367.

BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT) (Hrsg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. – Berlin (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit): 178 S.

BMWI (BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE) (2015): CO_2-Gebäudesanierung. – URL: http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Gebaeude/co2-gebaeudesanierungsprogramm.html (ZULETZT GESEHEN AM 12.05.2015).

BOCK, A., SPARKS, T.H., ESTRELLA, N. & MENZEL, A. (2013): Changes in the timing of hay cutting in Germany do not keep pace with climate warming. – Global Change Biology 19: 3123-3132.

BÖLSCHER, T., VAN SLOBBE, E., VLIET M., T.H. & WERNERS, S.E. (2013): Adaptation turning points in river restoration? The Rhine Salmon Case. – Sustainability 2013: 2288-2304.

BORCHARD, F., SCHULTE, A.M. & FARTMANN, T. (2013): Rapid response of Orthoptera to restoration of montane heathland. – Biodiversity and Conservation 22: 687-700.

BRAUNISCH, V., COPPES, J., ARLETTAZ, R., SUCHANT, R., ZELLWANGER, F. & BOLLMANN, K. (2014): Temperate mountain forest biodiversity under climate change: Compensating negative effects by increasing structural complexity. – PLOS One 9: e97718.

BREEUWER, A., HEIJMANS, M.M.P.D., ROBROEK, B.J.M. & BERENDSE, F. (2008): The effect of temperature on growth and competition between *Sphagnum* species. – Oecologia 156: 155-167.

BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.) (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Umwelt und Raum 4: 457 S.

BRUNNER, H., FRIESS, T., BOROVSKY, M., KOMPOSCH, C., KOMPOSCH, H., LAZAR, R., LECHNER, B., MARIANI, O., MAURER, B., PAILL, W., SCHATZ, I. & STIEGLER, C. (2013): Kleintierfauna unterkühlter Blockhalden in den Ostalpen. – Natur und Landschaft 45: 5-12.

BSH (BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT & HYDROGRAPHIE) & BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ & REAKTORSICHERHEIT) (2014): Ecological research at the Offshore windfarm *alpha ventus* – Challenges, results and perspectives. – Wiesbaden (Springer Fachmedien): 201 S.

CFP (THE COMMON FISCHERIES POLICY, EUROPEAN COMMISSION) (2014): Regulation (EU) No 1380/2013 of the European parliament and of the council of 11 December 2013 on the Common Fisheries Policy, amending Council Regulations (EC) No 1954/2003 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulations (EC) No 2371/2002 and (EC) No 639/2004 and Council Decision 2004/585/EC. – URL: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:354:0022:0061:EN:PDF. (zuletzt gesehen am 10.11.2014).

CHAMBERLAIN, D.E., NEGRO, M., CAPRIO, E. & ROALANDO, A. (2013): Assessing the sensitivity of alpine birds to potential future changes in habitat and climate to inform management strategies. – Biological Conservation 167: 127-135.

CONZE K-J., MENKE, N. & OLTOFF M. (2011): Libellen und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse einer Studie zu Folgen des Klimawandels am Beispiel der Gestreiften Quelljungfer und der Arktischen Smaragdlibelle. – Natur in NRW 4/11: 20-26.

CPSL (Hrsg.) (2010): CPSL Third Report. The role of spatial planning and sediment in coastal risk management. Wadden Sea Ecosystem No. 28. Wilhelmshaven (Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise): 51 S.

CPSL (TRILATERAL WORKING GROUP ON COASTAL PROTECTION AND SEA LEVEL RISE) (2001): Final Report of the Trilateral Working Group on Coastal Protection and Sea Level Rise. Wadden Sea Ecosystem No. 13. Wilhelmshaven (Common Wadden Sea Secretariat): 63 S.

CRUZ, M.J., SEGURADO, P., SOUSA, M. & REBELO, R. (2008): Collapse of the amphibian community of the Paul do Boquilobo Natural Reserve (central Portugal) after the arrival of the exotic American crayfish *Procambarus clarkii*. – Herpetological Journal 18: 197-204.

DAS – DEUTSCHE ANPASSUNGSSTRATEGIE AN DEN KLIMAWANDEL (2008): Beschluss des Bundeskabinetts am 17.12.2008 (Langfassung). – Berlin: 78 S. – URL: http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php (zuletzt gesehen am: 29.01.2015).

DAUBER, J., JONES, M.B. & STOUT, J.C. (2010): The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity. – GCB Bioenergy 2: 289-309.

DE JONG, C. (2011): Zum Management der Biodiversität von Tourismus- und Wintersportgebieten in einer Ära des globalen Wandels. – Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt 76/77: 131-168.

DIENST, M., STRANG, I. & OSTENDORP, W. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf die Lebensgemeinschaften am Bodenseeufer. – Natur und Mensch 50: 2-8.

DIRNBÖCK, T., ESSL, F. & RABITSCH, W. (2011): Disproportional risk for habitat loss of high-altitude endemic species under climate change. – Global Change Biology 17: 990-996.

DITTRICH, C. & RÖDEL, M.-O. (2014): Gelbbauchunke *Bombina variegata* (LINNAEUS 1758). – In: KERTH, G., BLÜTHGEN, N., DITTRICH, C., DWORSCHAK, K., FISCHER, K., FLEISCHER, T., HEIDINGER, I., LIMBERG, J., OBERMAIER, E., RÖDEL, M.O. & NEHRING, S. (Hrsg.): Anpassungskapazi-

tät ausgewählter Arten im Hinblick auf Änderungen durch den Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 139: 262-276.

DOG (DEUTSCHE ORNITHOLOGEN-GESELLSCHAFT E.V.) & DDA (DACHVERBAND DEUTSCHER AVIFAUNISTEN E.V.) (O.J.): Positionspapier zur aktuellen Bestandssituation der Vögel der Agrarlandschaft. – URL: http://www.dda-web.de/downloads/texts/positionspapier_agrarvoegel_dda_dog.pdf (zuletzt gesehen am 30.04.2015).

DOMISCH, S., JÄHNIG, S. C. & HAASE, P. (2011): Climate-change winners and losers: stream macroinvertebrates of a submontane region in Central Europe. – Freshwater Biology 56: 2009-2020.

DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., ADELMANN, W., AUGUSTIN, J., BERGMAN, L., BEYER, C., CHOJNICKI, B., FÖRSTER, C., GIEBELS, M., GÖRLITZ, S., HÖPER, H., KANTELHARDT, J., LIEBERSBACH, H., HAHN-SCHÖFL, M., MINKE, M., PETSCHOW, U., PFADENHAUER, J., SCHALLER, L., SCHÄGNER, P., SOMMER, M., THUILLE, A. & WEHRHAN, M. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz - Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. – Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung 04/2011: 15 S.

DRÖSLER, M., AUGUSTIN, J., BERGMAN, L., FÖRSTER, C., FUCHS, D., HERMANN, J.-M., KANTELHARDT, J., KAPFER, A., KRÜGER, G., SCHALLER, L., SOMMER, M., SCHWEIGER, M., STEFFENHAGEN, P., THIEMEYER, B. & WEHRHAN, M. (2012): Beitrag ausgewählter Schutzgebiete zum Klimaschutz und dessen monetäre Bewertung. – BfN-Skripten 328: 152 S.

DURANCE, I. & ORMEROD, S. J. (2007): Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. – Global Change Biology 13: 942-957.

DZIEWIATY, K. & BERNARDY, P. (2010): Brutvögel und Energiepflanzen. – In: REICH, M. & RÜTER, S. (Hrsg.): Energiepflanzenanbau und Naturschutz. – Umwelt und Raum Band 1, Göttingen (Cuvillier Verlag): 115-126.

EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY) (Hrsg.) (2008): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. – Kopenhagen (EEA): 300 S.

ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.) (2013): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – Berlin, Heidelberg (Springer): 458 S.

ESSL, F. (2013): Grünland – Im Spannungsfeld von Klima- und Nutzungswandel. – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – Berlin, Heidelberg (Springer): 212-216.

FARTMANN, T., BEHRENS, M., MÖLLENBECK, V. & HÖLZEL, N. (2012): Potential effects of climate change on biodiversity in North Rhine-Westphalia. – IN: ELLWANGER, G., SSYMANK, A. & PAULSCH, C. (Hrsg.): Natura 2000 and climate change. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 118: 63-72.

FLADE, M. (2012): Von der Energiewende zum Biodiversitäts-Desaster – zur Lage des Vogelschutzes in Deutschland. – Vogelwelt 133: 149-158.

GEORGE, G., JÄRVINEN, M., NÕGES, T., BLENCKNER, T. & MOORE, K. (2010): The impact of the changing climate on the supply and recycling of nitrate. – In: GEORGE, G. (Ed.): The impact of climate change on European lakes. – Dordrecht, u.a. (Springer): 161-178.

GERSTENGARBE, F.-W. & WERNER, P.C. (2009): Klimaextreme und ihr Gefährdungspotential für Deutschland. – Geographische Rundschau 61: 12-19.

GFN (FIRMENVERBUND GFN-UMWELTPLANUNG) & ZSW (ZENTRUM FÜR SONNENENERGIE- UND WASSERSTOFF-FORSCHUNG BADEN-WÜRTTEMBERG) (Bearb.) (2011): Auswirkungen der Ausbauziele zu den Erneuerbaren Energien auf Naturschutz und Landschaft. – FuE-Vorhaben FKZ 3509 83 0600, Endbericht: 286 S.

GHERARDI, F., COIGNET, A., SOUTY-GROSSET, C., SPIGOLI, D. & LAQUILONI, L. (2013): Climate warming and the agonistic behaviour of invasive crayfishes in Europe. – Freshwater Biology 58: 1958-1967.

GRUTTKE, H., LUDWIG, G., SCHNITTLER, M., BINOT-HAFKE, M., FRITZLAR, F., KUHN, J., ASSMANN, T., BRUNKEN, H., DENZ, O., DETZEL, P., HENLE, K., KUHLMANN, M., LAUFER, H., MATERN, A., MEI-

NIG, H., MÜLLER-MOTZFELD, G., SCHÜTZ, P., VOITH, J. & WELK, E. (2004) [2005]: Memorandum: Verantwortlichkeit Deutschlands für die weltweite Erhaltung von Arten. – In: GRUTTKE, H. (Bearb.): Ermittlung der Verantwortlichkeit für die Erhaltung mitteleuropäischer Arten. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 8: 273-280.

HAASE, P., HERING, D., HOFFMANN, A., MÜLLER, R., NOWAK, C., PAULS, S., STOLL, S. & STRAILE, D. (2012): Auswirkungen auf limnische Lebensräume. – In: MOSBRUGGER, V., BRASSEUR, G., SCHALLER, M. & STRIBRNY, B. (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität. Folgen für Deutschland. – Darmstadt (WBG): 91-102.

HAGEMANN, S. & JACOB, D. (2007): Regionale Klimamodelle – Konsequenzen für das Einzugsgebiet von Elbe und Rhein. – In: BALZER, S., BEINLICH, B. & DIETRICH, M. (Bearb.): Natura 2000 und Klimaänderungen. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 46: 33-48.

HÁJKOVÁ, P., HÁJEK, M., RYBNÍČEK, K., JIROUŠEK, M., TICHÝ, L., KRÁLOVÁ, Š. & MIKULÁŠKOVÁ, E. (2011): Long-term vegetation changes in bogs exposed to high atmospheric deposition, aerial liming and climate fluctuation. – Journal of Vegetation Science 22: 891-904.

HANSPACH, J., KÜHN, I. & KLOTZ, S. (2013): Risikoabschätzung für Pflanzenarten, Lebensraumtypen und ein funktionelles Merkmal. – In: VOHLAND, K., BADECK, F., BÖHNING-GAESE, K., ELLWANGER, G., HANSPACH, J., IBISCH, P.L., KLOTZ, S., KREFT, S., KÜHN, I., SCHRÖDER, E., TRAUTMANN, S. & CRAMER, W. (Hrsg.): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 129: 71-85.

HÄRDTLE, W., MEYER-GRÜNEFELDT, M. & VON OHEIMB, G. (2013): Atmogene Stickstoffeinträge als Ursache für Artenwandel und Artenschwund – Mechanismen und Interaktionen mit Klimawandel am Beispiel von Heideökosystemen. – Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft (RTG) 25: 37-47.

HEGYI, G., NAGY, G. & TÖRÖK, J. (2013): Reduced compensatory growth capacity in mistimed broods of a migratory passerine. – Oecologia 172: 279-291.

HENNENBERG, K. & MARGGRAFF, V. (2012): Renewable Energy Directive (RED): Regelungslücken und Defizite. – BfN-Skripten 330: 48-62.

HERDEN, C., RASSMUS, J. & GHARADJEDAGHI, B. (2009): Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. – BfN-Skripten 247: 168 S.

HICKLER, T., VOHLAND, K., FEEHAN, J., MILLER, P.A., SMITH, B., COSTA, L., GIESECKE, T., FRONZEK, S., CARTER, T.R., CRAMER, W., KÜHN, I. & SYKES, M.T. (2012): Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. – Global Ecology and Biogeography 21: 50-63.

HÖLTERMANN, A. & RÖHLING, M. (2012): Gute fachliche Praxis im Wald: Besondere Anforderungen zum Schutz der Biodiversität. – BfN-Skripten 330: 75-83.

HÖTKER, H., BERNARDY, P., CIMIOTII, D., DZIEWIATY, K., JOEST, R. & RASRAN, L. (2009): Maisanbau für Biogasanlagen – CO_2-Bilanz und Wirkung auf die Vogelwelt. – Berichte zum Vogelschutz 46: 107-125.

HURST, J., BALZER, S., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., HÖHNE, E., KARST, I., PETERMANN, R., SCHORCHT, W., STECK, C. & BRINKMANN, R. (2015): Erfassungsstandards für Fledermäuse bei Windkraftprojekten in Wäldern. – Natur und Landschaft 90: 157-169.

HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (2016): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 153: 1-400.

IBISCH, P.L. & KREFT, S. (2008): Anpassung an den Klimawandel: eine systematische Analyse von Handlungsoptionen für den Naturschutz. – Anliegen Natur 32: 3-23.

IMMERZEEL, D.J., VERWEIJ, P.A., VAN DER HILST, F. & FAAIJ, A.P.C. (2014): Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. – GCB Bioenergy 6: 183-209.

INTERNATIONAL CONFERENCE ON PREVENTION AND MANAGEMENT OF MARINE LITTER IN EUROPEAN SEAS (Hrsg.) (2013): Conclusions of the chairpersons of the International Conference on Prevention and Management of Marine Litter in European Seas, held in Berlin, Germany, 10-12 April 2013. – URL: http://www.marine-litter-conference-berlin.info/userfiles/file/Message%20from%20Berlin.pdf (zuletzt gesehen am 30.10.2014).

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX AND P.M. MIDGLEY (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 S.

IRMLER, U. & GÜRLICH, S. (2004): Die ökologische Einordnung der Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae) in Schleswig-Holstein. – Faunistisch-Ökologische Mitteilungen Supplement 32: 1-117.

JAESCHKE, A., REINEKIMNG, B. & BEIERKUHNLEIN, C. (2014): Potenzielle Verbreitungsänderungen von Tierarten der FFH-Richtlinie im Klimawandel. – In: BEIERKUHNLEIN, C., JENTSCH, A., REINEKING, B., SCHLUMPRECHT, H. & ELLWANGER, G. (Hrsg.) (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 137: 71-211.

JASSEY, V.E., CHIAPUSIO, G., BINET, P., BUTTLER, A., LAGGOUN-DÉFARGE, F., DELARUE, F., BERNARD, N., MITCHELL, E.A., TOUSSAINT, M.-L., FRANCET, A.-J. & GILBERT, D. (2013): Above- and belowground linkages in *Sphagnum* peatland: climate warming affects plant-microbial interactions. – Global Change Biology 19: 811-823.

JENTSCH, A., KREYLING, J., ELMER, M., GELLESCH, E., GLASER, B., GRANT, K., HEIN, R., LARA, M., MIRZAE, H., NADLER, S.E., NAGY, L., OTIENO, D., PRITSCH, K., RASCHER, U., SCHÄDLER, M., SCHLOTER, M., SINGH, B.K., STADLER, J., WALTER, J., WELLSTEIN, C., WÖLLECKE, J. & BEIERKUHNLEIN, C. (2011): Climate extremes initiate ecosystem-regulating functions while maintaining productivity. – Journal of Ecology 99: 689-702.

JONAS, M., STAEGER, T. & SCHÖNWIESE, C.-D. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland. – Umweltbundesamt, Forschungsbericht 201 41 254: 248 S.

KATSANEVAKIS, S., WALLENTINUS, I., ZENETOS, A., LEPPÄKOKSI, E., ÇINAR, M.E., OZTÜRK, B., GRABOWSKI, M., GOLANI, D. & CARDOSO, A.C. (2014): Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review. – Aquatic Invasions 9: 391-423.

KERTH, G., BLÜTHGEN, N., DITTRICH, C., DWORSCHAK, K., FISCHER, K., FLEISCHER, T., HEIDINGER, I., LIMBERG, J., OBERMAIER, E., RÖDEL, M.O. & NEHRING, S. (2014): Anpassungskapazität ausgewählter Arten im Hinblick auf Änderungen durch den Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 139: 514 S.

KESSLER, T., CIERJACKS, A., ERNST, R. & DZIOCK, F. (2012): Direct and indirect effects of ski run management on alpine Orthoptera. – Biodiversity and Conservation 21: 281-296.

KIRILOVA, E., HEIRI, O., ENTERS, D., CREMER, H., LOTTER, A., F., ZOLITSCHKA, B. & HÜBENER, T. (2009): Climate-induced changes in the trophic status of a Central European lake. – Journal of Limnology 68: 71-82.

KLEIN, T., ZIMMERMANN, S., RAEDER, U. & MELZER, A. (2010): *Najas marina* ssp. *intermedia* und *Elodea nuttallii* – Profiteure des Klimawandels? – In: DGL (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LIMNOLOGIE E. V.) (Hrsg.): Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2010 der deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL) und der deutschen und österreichischen Sektion der Societas Internationalis Limnologiae (SIL). – Bayreuth: 366-369.

KLEINBAUER, I., DULLINGER, S., KLINGENSTEIN, F., MAY, R., NEHRING, S. & ESSL, F. (2010): Ausbreitungspotenzial ausgewählter neophytischer Gefäßpflanzen unter Klimawandel in Deutschland und Österreich. – BfN-Skripten 275: 74 S.

KÖHLER, J. (2012): Long-term ecological reasearch in freshwater ecosystems. – In: MÜLLER, F., BAESSLER, C., SCHUBERT, H. & KLOTZ, S. (Hrsg.): Long-term ecological research. Between Theory and Application. – Dordrecht (Springer): 179-187.

KÖLLING, C. & ZIMMERMANN, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. – Gefahrenstoffe- Reinhaltung der Luft 67: 259-268.

KÖLLING, C., KONNERT M. & SCHMIDT O. (2008): Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel. – AFZ-Der Wald 63: 804-807.

KONNERT, M. (2007): Bedeutung der Herkunft beim Klimawandel. – LWF aktuell 60: 38-39.

KREFT, S. & IBISCH, P.L. (2013): Indexbasierte Analysen der Sensitivität gegenüber dem Klimawandel am Beispiel deutscher Brutvögel. – In: VOHLAND, K., BADECK, F., BÖHNING-GAESE, K., ELLWANGER, G., HANSPACH, J., IBISCH, P.L., KLOTZ, S., KREFT, S., KÜHN, I., SCHRÖDER, E., TRAUTMANN, S. & CRAMER, W. (Hrsg.): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 129: 153-176.

KREFT, S., TUCCI, F., SCHLUCK, M., STRIXNER, L., VAN AHEE, I., BIENEK, M., LINKE, N. & IBISCH, P. (2013): Indexbasierte Vulnerabilitätsabschätzung für Schutzgebiete und Ableitung von Handlungsoptionen. – In: VOHLAND, K., BADECK, F., BÖHNING-GAESE, K., ELLWANGER, G., HANSPACH, J., IBISCH, P.L., KLOTZ, S., KREFT, S., KÜHN, I., SCHRÖDER, E., TRAUTMANN, S. & CRAMER, W. (Hrsg.): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 129: 177-217.

KREYLING, J., BEIERKUHNLEIN, C., ELLIS, L. & JETSCH, A. (2008): Invasibility of grassland and heath communities exposed to extreme weather events – additive effects of diversity resistance and fluctuating physical environment. – Oikos 117: 1542-1554.

KUDERNATSCH, T. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Pflanzen-gemeinschaften im Nationalpark Berchtesgaden. – Forschungsbericht Nationalpark Berchtesgaden 52: 101 S.

KUDERNATSCH, T., FISCHER, A., BERNHARDT-RÖMERMANN, M. & ABS, C. (2008): Short-term effects of temperature enhancement on growth and reproduction of alpine grassland species. – Basic and Applied Ecology 9: 263-274.

KUNZE, B., KREFT, S. & IBISCH, P.L. (2013): Naturschutz im Klimawandel: Risiken und generische Handlungsoptionen für einen integrativen Naturschutz. – In: VOHLAND, K., BADECK, F., BÖHNING-GAESE, K., ELLWANGER, G., HANSPACH, J., IBISCH, P.L., KLOTZ, S., KREFT, S., KÜHN, I., SCHRÖDER, E., TRAUTMANN, S. & CRAMER, W. (Hrsg.): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 129: 123-151.

KUNZE, B., KREFT, S. & IBISCH, P.L. (2013): Naturschutz im Klimawandel: Risiken und generische Handlungsoptionen für einen integrativen Naturschutz. – In: VOHLAND, K., BADECK, F., BÖHNING-GAESE, K., ELLWANGER, G., HANSPACH, J., IBISCH, P.L., KLOTZ, S., KREFT, S., KÜHN, I., SCHRÖDER, E., TRAUTMANN, S. & CRAMER, W. (Hrsg.): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 129:123-151.

LAG VSW (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELWARTEN) (2015): Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten in der Überarbeitung vom 15. April 2015. – URL: http://www.vogelschutzwarten.de/downloads/lagvsw2015_abstand.pdf. (zuletzt gesehen am 01.06.2015).

LANGHAMER, O. (2012): Artificial reef effect in relation to offshore renewable energy conversion: state of the art. – The Scientific World Journal: DOI 10.1100/2012/386713.

LEUSCHNER, C. & SCHIPKA, F. (2004): Vorstudie Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. – BfN-Skripten 115: 35 S.

LINDNER, M., MAROSCHEK, M., NETHERER, S., KREMER, A., BARBATI, A., GARCIA-GONZALO, J., SEIDL, R., DELZON, S., CORONA, P., KOLSTRÖM, M., LEXER, M.J. & MARCHETTI, M. (2010): Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. – Forest Ecology and Management 259: 698-709.

MAALOUF, J.-P., LE BAGOUSSE-PINGUET, Y., MARCHAND, L., BÂCHELIER, E., TOUZARD, B. & MICHALET, R. (2012): Integrating climate change into calcareous grassland management. – Journal of Applied Ecology 49: 795-802.

MATULLA, C., SCHMUTZ, S., MELCHER, A., GERERSDORFER, T. & HAAS, P. (2007): Assessing the impact of a downscaled climate change simulation on the fish fauna in an Inner-Alpine River. – International Journal of Biometeorology 52: 127-137.

MAURER-WOHLATZ, S., SALINGER, S., LÜBBERT, J., MÜHLBACH, E. & LOUIS, H.W. (2011): Wärmesanierung und Artenschutz an Gebäuden. – BUND Region Hannover: 16 S.

MELCHER, A., PLETTERBAUER, F., KREMSER, H. & SCHMUTZ, S. (2013): Temperaturansprüche und Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischfauna in Flüssen und unterhalb von Seen. – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 65: 408-417.

MENZEL, A. (2003): Anzeichen des Klimawandels in der Pflanzen- und Tierwelt. – LWF aktuell 37:14-18.

MEYER, P., SCHMIDT, M., SPELLMANN, H., BEDARFF, U., BAUHUS, J., REIF, A. & SPÄTH, V. (2011): Aufbau eines Systems nutzungsfreier Wälder in Deutschland. – Natur und Landschaft 86 (6): 243-249.

MEYER, S., HOEBER, S., NEHRING, S. & LEUSCHNER, C. (2014): Konsequenzen des Bioenergiepflanzenanbaus für die Segetalvegetation. – Natur und Landschaft 89: 429-433.

MICHELOT, A., BRÉDA, N., DAMESIN, C. & DUFRÊNE, E. (2012): Differing growth responses to climatic variations and soil water deficits of *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris* in a temperate forest. – Forest Ecology and Management 265: 161-171.

MILAD, M., STORCH, S., SCHAICH, H. KONOLD, W. & WINKEL, G. (2012): Wälder und Klimawandel: Künftige Strategien für Schutz und nachhaltige Nutzung. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 125: 131 S.

MOSBRUGGER, V., BRASSEUR, G., SCHALLER, M. & STRIBRNY, B. (Hrsg.) (2014): Klimawandel und Biodiversität. Folgen für Deutschland. 2. Unveränderte Auflage – Darmstadt (WBG), 423 S.

MÖSELER, B.M. & WUNDER, J. (1999): Kaltluftströme auf Blockhalden und ihre Auswirkungen auf Flora und Vegetation. – In: MÖSELER, B.M. & MOLENDA, R. (Hrsg.): Lebensraum Blockhalde. – Decheniana-Beiheft 37: 43-47.

MÜLLER, C. & MOLENDA, R. (1999): Mikroklima und Coleoptera an Blockhalden in Thüringen und angrenzenden Gebieten. – In: MÖSELER, B.M. & MOLENDA, R. (Hrsg.): Lebensraum Blockhalde. – Decheniana-Beiheft 37: 111-119.

MÜLLER-KROEHLING, S., WALENTOWSKI, H. & BUßLER, H. (2007): Waldnaturschutz im Klimawandel. Wälder im Klimawandel. – LWF Waldforschung aktuell 60: 30-33.

NABU (NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND E.V.) (Hrsg.) (2014): Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung von Kurzumtriebsplantagen (KUP). Synergien für den Naturschutz fördern und Risiken vermeiden. – Berlin (NABU): 6 S.

NARBERHAUS, I., KRAUSE, J. & BERNITT, U. (2012): Bedrohte Biodiversität in der deutschen Nord- und Ostsee. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 116: 674 S.

NEHRING, S. (2016): Invasive Arten profitieren vom Klimawandel. – In: LOZÁN, J.L., BRECKLE, S.-W., MÜLLER, R. & RACHOR, E. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Die Biodiversität. – Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg: 164-169.

NEHRING, S., REISE, K., DANKERS, N. & KRISTENSEN, P.S. (2009): Alien species. Thematic Report No. 7. – In: MARENCIC, H. & DE VLAS, J. (Eds.): Quality Status Report 2009. Wadden Sea Ecosystem No. 25. – Common Wadden Sea Secretariat, Trilateral Monitoring and Assessment Group, Wilhelmshaven, Germany.

NEWESELY, C. & CERNUSCA, A. (1999): Auswirkungen der künstlichen Beschneiung von Schipisten auf die Umwelt. – Laufener Seminarbeiträge 6/99: 29-38.

NIEDERMEIR-STÜRZER, H., ATTENBERGER, E. & LEICHT, H. (2012): Substratproduktion und Schutz der Feldvögel. Konflikte, Lösungen und praktische Empfehlungen. – Biogas Forum Bayern Nr. I - 13/2012, 11 S. – URL: http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Substratproduktion_und_Schutz_der_Feldvogel_Fassung_Oktober_2012.pdf (zuletzt gesehen am: 05.01.2015).

NLWKN (NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ) (Hrsg.) (2011): Vollzugshinweise für Arten und Lebensraumtypen. Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz. – URL: http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=8038&article_id=46103&_psmand=26 (zuletzt gesehen am: 24.02.2015).

NOVOA, C., BESNARD, A., BRENOT, J.F. & ELLISON, L.N. (2008): Effect of weather on the reproductive rate of Rock Ptarmigan *Lagopus muta* in the eastern Pyrenees. – Ibis 150: 270-278.

OJAVEER, H., GALIL, B.S., GOLLASCH, S., MARCHINI, A., MINCHIN, D., OCCHIPINTI-AMBROGI, A. & OLENIN, S. (2014): Identifying the top issues of marine invasive alien species in Europe. – Management of Biological Invasions 5: 81-84.

OPPERMANN, R., KASPERCZYK, N., MATZDORF, B., REUTTER, M., MEYER, C., LUICK, R., STEIN, S., AMESKAMP, K., GELHAUSEN, J. & BLEIL, R. (2013): Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) 2013 zur Erreichung der Biodiversitäts- und Umweltziele. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 135: 218 S.

OSTENDORP, W. & DIENST, M. (2009): Vegetationsdynamik im NSG „Wollmatinger Ried-Untersee-Gnadensee“ (Bodensee) unter dem Einfluss von hydrologischen Extremereignissen. – Carolinea 67: 93-107.

OTT, J. (2006): Die Arktische Smaragdlibelle – *Somatochlora arctica* (ZETTERSTEDT, 1840) – in der Pfalz: übersehen oder kurz vor dem Aussterben? (Insecta: Odonata: Corduliidae). – Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz: Zeitschrift für Naturschutz 10/4: 1323-1338.

OTT, J. (2010): Dragonflies and climate change – recent trends in Germany and Europe. – BioRisk 5: 253-286.

OTT, J. (2012): Auswirkungen auf geschützte und schutzwürdige Arten. Libellen. – In: MOSBRUGGER, V., BRASSEUR, G., SCHALLER, M. & STRIBRNY, B. (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität. Folgen für Deutschland. – Darmstadt (WBG): 268-270.

PAROLO, G. & ROSSI, G. (2008): Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. – Basic and Applied Ecology 9: 100-107.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., DULLINGER, S., ABDALADZE, O., AKHALKATSI, M., ALONSO, J.L.B., COLDEA, G., DICK, J., ERSCHBAMER, B., FERNÁNDEZ CALZADO , R., GHOSN, D., HOLTEN, J.I., KANKA, R., KAZAKIS, G., KOLLÁR, J., LARSSON, P., MOISEEV, P., MOISEEV, D., MOLAU, U., MOLERO MESA , J., NAGY, L., PELINO, G., PUŞCAŞ, M., ROSSI, G., STANISCI, A., SYVERHUSET, A.O., THEURILLAT, J.-P., TOMASELLI, M., UNTERLUGGAUER, P., VILLAR, L., VITTOZ, P. & GRABHERR, G. (2012): Recent plant diversity changes on Europe’s mountain summits. – Science 336: 353.

PEARCE-HIGGINS, J.W., STEPHAN, L., LANGSTON, R.H.W., BAINBRIDGE, I.P. & BULLMAN, R. (2009): The distribution of breeding birds around upland wind farms. – Journal of Applied Ecology 46: 1323-1331.

PEARCE-HIGGINS, J.W., STEPHEN, L., DOUSE, A. & LANGSTON, R.H.W. (2012): Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. – Journal of Applied Ecology 49: 386-394.

PEÑUELAS, A., PRIETO, P., BEIER, C., CESARACCIO, C., DE ANGELIS, P., DE DATO, G., EMMETT, B.A., ESTIARTE, M., GARADNAI, J., GORISSEN, A., KOVÁCS LÁNG, E., KRÖEL-DULAY, G., LLORENS, L., PELLIZZARO, G., RIIS-NIELSEN, T., SCHMIDT, I.K., SIRCA, C., SOWERBY, A., SPANO, D. & TIETEMA, A. (2007): Response of plant species richness and primary productivity in shrublands along a north–south gradient in Europe to seven years of experimental warming and drought: reductions in primary productivity in the heat and drought year of 2003. – Global Change Biology 13: 2563-2581.

PETERMANN, J., BALZER, S., ELLWANGER, G., SCHRÖDER, E. & SSYMANK, A. (2007): Klimawandel – Herausforderung für das europaweite Schutzgebietssystem Natura 2000. – In: BALZER, S., BEINLICH, B. & DIETRICH, M. (Hrsg.): Natura 2000 und Klimaänderungen. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 46: 127-148.

PETERS, W., HAGEN, Z., SCHICKTANZ, S., VETTER, A., BECK, J., GÖDECKE, K., REINHARDT, G., RETTENMAIER, N. & GÄRTNER, S. (2010): Flächeneffektive Bioenergienutzung aus Naturschutzsicht. Bewertungen und Empfehlungen zum Schutz der biologischen Vielfalt und Klima. – Endbericht zum F+E-Vorhaben FKZ 3508 83 0800: 199 S.

PETERSEN, H. & KREBS, B. (2012): Energetische Sanierungen – Fortschritt für Klimaschutz und Artenschutz. – Hamburg (Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Naturschutz): 34 S.

PETRAS, T. (2014): Concept for the monitoring of climate induced impacts on rock ptarmigan (*Lagopus muta*) in Triglav National Park, Slovenia. – In: RANNOW, S. & NEUBERT, M. (Eds.): Managing protected areas in Central and Eastern Europe under climate change, S. 175-195. – Dordrecht, Heidelberg, New York, London (Springer): 175-195.

PIZZOLOTTO, R., GOBBI, M. & BRANDMAYR, P. (2014): Changes in ground beetle assemblages above and below the treeline of the Dolomites after almost 30 years (1980/2009). – Ecology and Evolution 4: 1284-1294.

PODRAZA, P. (2012): Wasserwirtschaftliche Auswirkungen des Klimawandels - mit angepassten Gewässerentwicklungskonzepten zum Guten Ökologischen Zustand. – In: IALE (INTERNATIONALE GESELLSCHAFT FÜR LANDSCHAFTSÖKOLOGIE) (Hrsg.): IALE-D-Jahrestagung – Klimawandel: Was tun! – Eberswalde: 20-25.

POMPE, S., BERGER, S., BERGMANN, J., BADECK, F., LÜBBERT, J., KLOTZ, S., REHSE, A.-K., SÖHLKE, G., SATTLER, S., WALTER, G.-R. & KÜHN, I. (2011): Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora und Vegetation in Deutschland. – BfN-Skripten 304: 192 S.

PÖRTNER, H.-O. (2006): Auswirkungen von Temperaturerhöhung und CO_2-Eintrag auf die marine Biosphäre. – URL: http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/sondergutachten/sn2006/wbgu_sn2006_ex04.pdf (zuletzt gesehen am: 10.11.2014).

PRANGE, S., VOHLAND, K., CONRADT, T. & HATTERMANN, F.F. (2013): Klimabedingte Veränderungen der Abflussdynamik von ausgewählten deutschen Fließgewässern und ihr naturschutzfachliche Bedeutung. – IN: VOHLAND, K., BADECK, F., BÖHNING-GAESE, K., ELLWANGER, G., HANSPACH, J., IBISCH, P.L., KLOTZ, S., KREFT, S., KÜHN, I., SCHRÖDER, E., TRAUTMANN, S. & CRAMER, W. (Hrsg.): Schutzgebiete Deutschlands im Klimawandel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 129: 55-69.

PREISING, E. (1997): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens. Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme. Rasen-, Fels- und Geröllgesellschaften. – Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen 20: 148 S.

RABITSCH, W., WINTER, M., KÜHN, E., KÜHN, I., GÖTZL, M. ESSL, F. & GRUTTKE, H. (2010): Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 98: 265 S.

RAPP, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. – Deutscher Wetterdienst, Bericht Nr. 212, Offenbach: 145 S.

REICH, M., RÜTER, S. & TILLMANN, J.E. (2011): Auswirkungen des großflächigen Anbaus von Energiepflanzen auf die Tierwelt der Agrarlandschaft – Ergebnisse des Forschungsvorhaben SUNREG III. – In: REICH, M. & RÜTER, S. (Hrsg.): Auswirkungen des großflächigen Anbaus von Energiepflanzen auf die Tierwelt der Agrarlandschaft. – Umwelt und Raum, Band 2, Göttingen (Cuvillier Verlag): 5-18.

REICH, M., RÜTER, S., PRASSE, R., MATTHIES, S., WIX, N. & ULLRICH, K. (2012): Biotopverbund als Anpassungsstrategie für den Klimawandel? – Naturschutz und Biologische Vielfalt 122: 170 S.

REITER, G. & ZAHN, A. (2005): Leitfaden zur Sanierung von Fledermausquartieren im Alpenraum. – Interreg IIIB-Projekt Lebensraumvernetzung: 132 S.

REVERMANN, R., SCHMID, H., ZBINDEN, N., SPAAR, R. & SCHRÖDER, B. (2012): Habitat at the mountain tops: how long can Rock Ptarmigan (*Lagopus muta helvetica*) survive rapid climate change in the Swiss Alps? A multi-scale approach. – Journal of Ornithology 153: 891-905.

RIXEN, C., STOECKLI, V. & AMMANN, W. (2003): Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. – Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 5: 219-230.

ROTH, T., PLATTNER, M. & AMRHEIN, M. (2014): Plants, birds and butterflies: Short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude. – PLOS One 9: e82490.

SCHÄDLER, B. (2002): Auswirkungen der Klimaveränderungen auf alpine Gewässersysteme. – EAWAG News 55: 24-26.

SCHALLER, M., BEIERKUHNLEIN, C., RAJMIS, S., SCHMIDT, T., NITSCH, H., LIESS, M., KATTWINKEL, M. & SETTELE, J. (2014): Auswirkungen auf landwirtschaftlich genutzte Lebensräume. – In: MOSBRUGGER, V., BRASSEUR, G., SCHALLER, M. & STRIBRNY, B. (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland, 2. Auflage. – Darmstadt (WBG): 222-259.

SCHELLENBERG, J. & BERGMEIER, E. (2014): Atlantische und subkontinentale Heiden in Norddeutschland. Unterschiede und Konsequenzen für die Erhaltung. – Natur und Landschaft 89 (3): 110-117.

SCHELLHAAS, M.J., HENGEVELD, G., MORIONDO, M., REINDS, G.J., KUNDZEWICZ, Z.W., TER MAAT, H. & BINDI, M. (2010): Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry. – Mitigation and Adaption Strategies for Global Change 15: 68-701.

SCHERRER, D., BADER, M.K.-F. & KÖRNER, C. (2011): Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies. – Agricultural and Forest Meteorology 151: 1632-1640.

SCHEUERER, M., DIEWALD, C., STIERSTORFER, C. & DÜRHAMMER, O. (2007): Bestandssituation der arktisch-alpin verbreiteten Gefäßpflanzen in den Hochlagen des Bayerischen Waldes vor dem Hintergrund des Klimawandels. – Hoppea 68: 5-68.

SCHLUMPRECHT, H., BITTNER, T., JAESCHKE, A., JENTSCH, A., REINEKING, B. & BEIERKUHNLEIN, C. (2010): Gefährdungsdisposition von FFH-Tierarten Deutschlands angesichts des Klimawandels. Eine vergleichende Sensitivitätsanalyse. – Naturschutz und Landschaftsplanung 42 (10): 293-303.

SCHLUMPRECHT, H., GOHLKE, A. & BEIERKUHNLEIN, C. (2014): Klimaanpassung für FFH-Tierarten und –Lebensräume. – In: BEIERKUHNLEIN, C., JENTSCH, A., REINEKING, B., SCHLUMPRECHT, H. & ELLWANGER, G. (Hrsg.) (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 137: 400-416.

SCHMIDT, C. (2014): Fledermausquartiere an Gebäuden. – Dresden (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie): 72 S.

SCHOLZ, M., HÄUSER, J., FOECKLER, F., ILG, C. & HENLE, K. (2013): Folgen des Klimawandels auf Fließgewässerauen-Ökosysteme. – In: SCHOLZ, M., GERISCH, M., HENLE,. K., ILG, C., FOECKLER, F. & HÄUSER, J. (Bearb.): Auswirkungen von Klimawandel auf Fließgewässer-Auen-Ökosysteme an Bundeswasserstraßen. Managementstrategien des Naturschutzes beim Bundeswasserstraßenneu- und –ausbau. – Überarbeiteter Abschlussbericht, F+E-Vorhaben FKZ 3508 82 1700: 16-22.

SCHOLZ, M., MEHL, D., SCHULZ-ZUNKEL, C., KASPERIDUS, H.D., BORN, W. & HENLE, K. (2012): Ökosystemfunktion von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 124: 257 S.

SCHÜMANN, K., ENGEL, J., FRANK, K., HUTH, A., LUICK, R. & WAGNER, F. (2010): Naturschutzstandards für den Biomasseanbau. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 106: 197 S.

SCHWARZER, C., HEINKEN, T., LUTHARDT, V. & JOSJI, J. (2013): Latitudinal shifts in species interactions interfere with resistance of southern but not of northern bog-plant communities to experimental climate change. – Journal of Ecology 101: 1484-1497.

SEIFERT, C., LEUSCHNER, C., MEYER, S. & CULMSEE, H. (2014): Inter-relationships between crop type, management intensity and light transmissivity in annual crop systems and their effect on farmland plant diversity. – Agriculture, Ecosystems and Environment 195: 173-182.

SHATWELL, T., KÖHLER, J. & NICKLISCH, A. (2008): Warming promotes cold-adapted phytoplankton in temperate lakes and opens a loophole for Oscillatoriales in spring. – Global Change Biology 14: 2194-2200.

SOUTHON, G.E., GREEN, E.R., JONES, A.G., BARKER, C.G. & POWER, S.A. (2012): Long-term nitrogen additions increase likelihood of climate stress and affect recovery from wildfire in a lowland heath. – Global Change Biology 18: 2824-2837.

SPEKAT, A., ENKE, W. & KREIENKAMP, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM 5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. – Forschungsbericht. Umweltbundesamt, FKZ 204 41 138: 140 S.

STREITBERGER, M., ACKERMANN, W., FARTMANN, T., KRIEGEL, G., RUFF, A., BALZER, S. & NEHRING, S. (2016): Artenschutz unter Klimawandel: Perspektiven für ein zukunftsfähiges Handlungskonzept. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 147: 1-367.

STÜVE, P. (2011): Die Entwicklung der Wasserhaushaltssituation an ausgewählten Bereichen im Naturpark Feldberger Seenlandschaft. – Labus Sonderheft 15: 69-78.

TILLMANN, J.E. & KRUG, A. (2010): Maisäcker als Lebensraum für die Tierwelt der Agrarlandschaft. – In: REICH, M. & RÜTER, S. (Hrsg.): Energiepflanzenanbau und Naturschutz. – Umwelt und Raum Band 1, Göttingen (Cuvillier Verlag): 91-114.

TRAUTMANN, S., LAUBE, I., SCHWAGER, M. & BÖHNING-GASE, K. (2013): Sind Vögel vom Klimawandel gefährdet? – Modellierung des Einflusses des Klimawandels auf Vögel. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 129: 103-121.

UBA (UMWELTBUNDESAMT) (Hrsg.) (2006a): Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland. – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben. – Hintergrundpapier „Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland“, Dessau, 20 S.

UBA (UMWELTBUNDESAMT) (Hrsg.) (2006b): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. – Dessau (Umweltbundesamt), Hamburg (Max Planck Institut für Meteorologie).

UBA (UMWELTBUNDESAMT) (Hrsg.) (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. – Dessau (Umweltbundesamt), 256 S.

UNSELD, R. (2013): Anpassungsstrategie Baden-Württembergs an die Folgen des Klimawandels. Fachgutachten für das Handlungsfeld Wald- und Forstwirtschaft – Teil A Langfassung. – FVA Baden-Württemberg, S. 68. URL: http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/109165/U13-W04-N12.pdf?command=downloadContent&filename=U13-W04-N12.pdf&FIS=91063 (zuletzt gesehen am: 13.02.2015).

VAN ELSEN, T., HOTZE, C., MEYER, S. GOTTWALD, F. & WEHKE, S. (2009): Empfehlungen für die Bewirtschaftung von Schutzäckern. – URL: http://www.schutzaecker.de/?leitfaden (zuletzt gesehen am: 08.01.2015).

VENN, S., PICKERING, C. & GREEN, K. (2012): Short-term variation in species richness across an altitudinal gradient of alpine summits. – Biodiversity Conservation 21: 3157-3186.

VERDONSCHOT, P.F.M., HERING, D., MURPHY, J., JÄHNIG, S.C., ROSE, N.L., GRAF, W., BRABEC, K. & SANDIN, L. (2010): Climate change and the hydrology and morphology of freshwater ecosystems. – In: KERNAN, M., BATTARBEE, R.W. & MOSS, B. (Eds.): Climate change impacts on Freshwater ecosystems. – Chichester (Wiley-Blackwell): 65-83.

VETTER, M. & SOUSA, A. (2012): Past and current trophic development in Lake Ammersee – Alterations in a normal range or possible signals of climate change? – Fundamental and Applied Limnology 180: 41-57.

VOIGT, C.C., LEHNERT, L.S., PETERSONS, G., ADORF, F. & BACH, L. (2015): Wildlife and renewable energy: German politics cross migratory bats. – European Journal of Wildlife Research 61: 213-219.

VON HAAREN, C., SAATHOFF, W., BODENSCHATZ, T. & LANGE, M. (2010): Der Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 94: 181 S.

WATTENDORF, P., NIEDERBERGER, J., EHRMANN, O. & KONOLD, W. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Niedermooren in Baden-Württemberg. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 54: 293-303.

WILDERMUTH, H. (2012): *Aeshna caerulea* in den Schweizer Alpen (Odonata: Aeshnidae). – Libellula Supplement 12: 77-106.

WILKE, C., BACHMANN, J., HAGE, G. & HEILAND, S. (2011): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 109: 235 S.

WILTSHIRE, K.H. & KRABERG, A. (2013): Meere und Küsten: Klimawandel und Biodiversität. – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – Berlin, Heidelberg (Springer): 217-233.

WINKEL, G. & VOLZ, K.-R. (2003): Naturschutz und Forstwirtschaft: Kriterienkatalog zur „Guten fachlichen Praxis“: Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 800 84 001 des Bundesamtes für Naturschutz. – Angewandte Landschaftsökologie 52: 209 S.

WINTER, M.-B. & SCHINDLER, H. (2011): Waldquellenmonitoring im Naturpark Pfälzerwald. – Annales Scientifique de la Réserve de Biosphère Transfrontalière – 16: 182-212.

WOLF-SCHUMANN, U. & DUMONT, U. (2010): Einfluss der Klimaveränderung auf die Wasserkraftnutzung in Deutschland. – WasserWirtschaft 9/2010: 28-33.

ZAHN, A., LUSTIG, A. & HAMMER, M. (2014): Potenzielle Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Fledermauspopulationen. – Anliegen Natur 36: 21-35.

ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U. & CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. – Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 201 41 253 UBA-FB 000844: 203 S.