



Artenschutz unter Klimawandel: Perspektiven für ein zukunftsfähiges Handlungskonzept

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

Naturschutz und Biologische Vielfalt
Heft 147

Artenschutz unter Klimawandel: Perspektiven für ein zukunftsfähiges Handlungskonzept

Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3513 86 0800)

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

unter Mitarbeit von
Laura Farbacher, Steffen Kämpfer, Thorsten Münsch

Bundesamt für Naturschutz
Bonn - Bad Godesberg 2016

Titelfotos: oben links: Berg-Mähwiese im Hochsauerland; oben rechts: langer Landschaftsgradient in der Prignitz; unten links: Goldener Scheckenfalter (*Euphydryas aurinia*); unten rechts: Europäischer Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*). Alle Fotos © T. Fartmann.

Adressen der Autorinnen und Autoren:

Merle Streitberger Institut für Landschaftsökologie, Universität Münster
Heisenbergstraße 2, 48149 Münster
E-Mail: m_stre05@uni-muenster.de

PD Dr. Thomas Fartmann Abteilung für Ökologie, Universität Osnabrück,
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück
E-Mail: thomas.fartmann@biologie.uni-osnabrueck.de

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

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

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Stefan Nehring Fachgebiet II 1.1 „Zoologischer Artenschutz“

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank DNL-online (www.dnl-online.de).

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz (BfN)
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: Griebisch & Rochol Druck GmbH & Co. KG, Hamm

Bezug über: BfN-Schriftenvertrieb – Leserservice –
im Landwirtschaftsverlag GmbH
48084 Münster
Tel.: 02501/801-300, Fax: 02501/801-351

oder im Internet:
www.buchweltshop.de/bfn

ISBN 978-3-7843-9167-0

Bonn - Bad Godesberg 2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	9
Vorwort	11
Danksagung.....	13
1 Einleitung	15
1.1 Klimawandel in Deutschland	15
1.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität	16
1.3 Bedeutung des Klimawandels für den Artenschutz	25
1.4 Ziele des Vorhabens	26
2 Methoden	27
3 Ergebnisse: Auswirkungen des Klimawandels auf die ausgewählten Habitate und Arten	31
3.1 Meere und Küsten	31
3.1.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Meere und Küsten	31
3.1.2 Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten	39
3.1.3 Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung von Meeres- und Küstenarten.....	44
3.1.4 Anforderungen an verschiedene Sektoren	48
3.1.5 Forschungsbedarf.....	49
3.2 Fließgewässer und Quellen	52
3.2.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer und Quellen	52
3.2.2 Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten	59
3.2.3 Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten.....	70
3.2.4 Anforderungen an verschiedene Sektoren	74
3.2.5 Forschungsbedarf.....	75
3.3 Stillgewässer	76
3.3.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Stillgewässer	76
3.3.2 Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten	86
3.3.3 Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten.....	96
3.3.4 Anforderungen an verschiedene Sektoren	98
3.3.5 Forschungsbedarf.....	99
3.4 Felsen, Block- und Schutthalden, Geröllfelder, offene Bereiche mit sandigem oder bindigem Substrat	99

3.4.1	Auswirkungen des Klimawandels auf die Habitattypen.....	99
3.4.2	Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten.....	103
3.4.3	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten	107
3.4.4	Anforderungen an verschiedene Sektoren.....	110
3.4.5	Forschungsbedarf	110
3.5	Äcker und Ackerbrachen	110
3.5.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Äcker und Ackerbrachen.....	110
3.5.2	Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten.....	116
3.5.3	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten	122
3.5.4	Anforderungen an verschiedene Sektoren.....	127
3.5.5	Forschungsbedarf	129
3.6	Grünland	130
3.6.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Grünland.....	130
3.6.2	Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten.....	139
3.6.3	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten	149
3.6.4	Anforderungen an verschiedene Sektoren.....	154
3.6.5	Forschungsbedarf	155
3.7	Moore.....	156
3.7.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Moore	156
3.7.2	Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten.....	161
3.7.3	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten	167
3.7.4	Anforderungen an verschiedenen Sektoren.....	171
3.7.5	Forschungsbedarf	172
3.8	Zwergstrauchheiden.....	173
3.8.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Zwergstrauchheiden	173
3.8.2	Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten.....	177
3.8.3	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten	180
3.8.4	Anforderungen an verschiedene Sektoren.....	184
3.8.5	Forschungsbedarf	184
3.9	Wälder.....	185
3.9.1	Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder	185
3.9.2	Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten.....	201
3.9.3	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten	210
3.9.4	Anforderungen an verschiedene Sektoren.....	219
3.9.5	Forschungsbedarf	220

3.10	Alpine Habitate	223
3.10.1	Auswirkungen des Klimawandels auf alpine Habitate	223
3.10.2	Durch den Klimawandel besonders gefährdete Arten	229
3.10.3	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten.....	232
3.10.4	Anforderungen an verschiedene Sektoren	235
3.10.5	Forschungsbedarf.....	235
3.11	Bauwerke.....	236
3.11.1	Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf an Bauwerke gebundene Arten.....	236
3.11.2	Handlungskonzept zur Erhaltung und Förderung der Arten.....	237
3.11.3	Anforderungen an verschiedene Sektoren	240
3.11.4	Forschungsbedarf.....	240
4.	Fazit	242
4.1	Kenntnisstand zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Habitate und Arten.....	242
4.2	Handlungserfordernisse des Artenschutzes.....	245
4.3	Anforderungen an verschiedene Sektoren.....	250
4.4	Forschungsbedarf hinsichtlich des Artenschutzes in Zeiten des Klimawandels.....	252
5	Literatur.....	255
6	Anhang	324
6.1	Anhang 1 – Ausgewertete Ufoplan-Vorhaben mit relevanten Inhalten bezüglich direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels und Artenschutz	325
6.2	Anhang 2 – Schutzstatus und nach verschiedenen Studien zu erwartender Einfluss des Klimawandels auf die ausgewählten Arten.....	336
6.3	Anhang 3 – Habitatzuordnungen der ausgewählten Arten.....	353

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Der Klimawandel begünstigt die Langflüglichkeit (Makropterie) bei der Roesels Beißschrecke (<i>Metrioptera roeselii</i>) und trägt somit zur Ausbreitung der Art bei.....	18
Abb. 2:	Milde Winter wirken sich negativ auf die Überwinterung stenothermer Tagfalterarten wie den Rundaugen-Mohrenfalter (<i>Erebia medusa</i>) aus.....	20
Abb. 3:	Aufgrund der Erwärmung breiten sich zunehmend südlich verbreitete Arten wie die Europäische Gottesanbeterin (<i>Mantis religiosa</i>) in Mitteleuropa aus.....	24
Abb. 4:	In Folge des Ausbaus erneuerbarer Energien verschärft sich der Flächennutzungsdruck.....	25
Abb. 5:	Methodische Schritte zur Auswahl der innerhalb des Konzepts behandelten Arten.....	29
Abb. 6:	In Folge eines veränderten Niederschlagsregimes ändert sich die Hochwasserdynamik in alpinen Fließgewässern.....	55
Abb. 7:	Durch die Verringerung des Sommerniederschlags steigt das Austrocknungsrisiko für kleinere Stillgewässer wie etwa Altarme.....	85
Abb. 8:	Für weite Teile Mitteleuropas wird ein Rückgang der Großen Moosjungfer (<i>Leucorrhinia pectoralis</i>) prognostiziert.....	90
Abb. 9:	In Folge der zunehmenden Sommertrockenheit erhöht sich das Risiko, dass ephemere Kleingewässer zu früh austrocknen.....	92
Abb. 10:	Die Anpassungskapazität der Gelbbauchunke (<i>Bombina variegata</i>) an veränderte Umweltbedingungen wird als relativ hoch eingeschätzt.....	93
Abb. 11:	Die terrestrische Lebensweise des Moorfroschs (<i>Rana arvalis</i>) ist noch unzureichend untersucht.....	94
Abb. 12:	Zunehmend niedrige Wasserstände am Bodensee gefährden das Vorkommen des Bodensee-Vergissmeinnichts (<i>Myosotis rehsteineri</i>).....	95
Abb. 13:	Trockenheitsliebende Felsarten wie etwa der Nördliche Streifenfarn (<i>Asplenium septentrionale</i>) könnten von einer Erwärmung profitieren...	101
Abb. 14:	An bewaldeten Felsen besteht vor allem für hygrophile Arten ein Aussterberisiko durch die Klimaerwärmung.....	101
Abb. 15:	Durch die Erwärmung besteht das Risiko, dass sich das klimatisch geeignete Areal für den Braungrünen Streifenfarn (<i>Asplenium adullerinum</i>) reduziert.....	105
Abb. 16:	Die Zauneidechse (<i>Lacerta agilis</i>) wird als Klimawandelgewinner eingestuft, da sich die Erwärmung positiv auf die Reproduktion auswirkt.....	106

Abb. 17:	Extensiväcker (a) mit seltenen Ackerunkräutern wie der Kornrade (<i>Agrostemma githago</i>) und Ackerbrachen (b) sind in Folge der landwirtschaftlichen Intensivierung stark gefährdet.....	115
Abb. 18:	Für einige gefährdete Ackerarten wie die Kornrade (<i>Agrostemma githago</i>) werden Verluste des klimatisch geeigneten Areals prognostiziert.....	118
Abb. 19:	Feldvögel wie die Grauammer (<i>Miliaria calandra</i> , a) und die Wiesenweihe (<i>Circus pygargus</i> , b) sind besonders durch die landwirtschaftliche Intensivierung im Zuge des Energiepflanzenanbaus bedroht.....	120
Abb. 20:	Die strukturelle Aufwertung der Agrarlandschaft unter anderem durch die Ausweisung extensiv genutzter Ackerrandstreifen ist für den Schutz der gefährdeten Agrarbiodiversität besonders wichtig.	122
Abb. 21:	Berg-Mähwiesen sind besonders stark durch den Klimawandel gefährdet.....	132
Abb. 22:	Aufgrund der Sommertrockenheit wird das Gefährdungsrisiko von Feuchtwiesen wie Pfeifengraswiesen (a) und Sumpfdotterblumenwiesen (b) als hoch gegenüber dem Klimawandel eingestuft.....	133
Abb. 23:	Durch die Sommertrockenheit steigt das Austrocknungsrisiko trockenheitsempfindlicher Arten wie hier am Beispiel der Echten Schlüsselblume (<i>Primula veris</i>) dargestellt.....	134
Abb. 24:	Für montan verbreitete Tagfalterarten wie den Dukatenfalter (<i>Lycaena virgaureae</i> , a) oder den Wundklee-Bläuling (<i>Polyommatus dorylas</i> , b) ist das Aussterberisiko durch den Klimawandel vor allem in tieferen Lagen hoch.....	142
Abb. 25:	Für den Weißstorch (<i>Ciconia ciconia</i>) wird eine in Folge der Erwärmung frühere Rückkehr in die Brutgebiete beobachtet.....	143
Abb. 26:	Durch die Sommertrockenheit erhöht sich das Aussterberisiko für seltene Feuchtwiesenarten wie die Sumpf-Siegwurz (<i>Gladiolus palustris</i>).....	145
Abb. 27:	In Folge der mikroklimatischen Abkühlung im Frühjahr durch den früheren Beginn der Vegetationsperiode und die Erhöhung der Produktivität durch Stickstoffeinträge gehen wichtige Offenhabitate für wärmebedürftige Insektenarten wie den Wegerich-Schneckenfalter (<i>Melitaea cinxia</i>) verloren.....	146
Abb. 28:	Für montan verbreitete Pflanzenarten wie die Arnika (<i>Arnica montana</i>) wird in Folge der Ausbreitung von herbivoren Tiefland-schneckenarten eine hohe Gefährdung gesehen.....	147

Abb. 29: Grünlandumbruch und landwirtschaftliche Nutzungsintensivierung haben in den vergangenen Jahrzehnten erhebliche Bestandseinbrüche von Wiesenvögeln wie den Wachtelkönig (<i>Crex crex</i>) hervorgerufen.	149
Abb. 30: Der Aufbau einer Habitatvernetzung ist für die Erhaltung des Goldenen Scheckenfalters (<i>Euphydryas aurinia</i>) besonders wichtig.....	152
Abb. 31: Aufgrund der Niederschlagsabhängigkeit wird das Gefährdungsrisiko durch den Klimawandel für Hochmoore als besonders hoch eingestuft.....	157
Abb. 32: In Folge der Erwärmung wird die Ausbreitung mesophiler Arten in Moorlebensräumen wie Kalkflachmooren gefördert.	158
Abb. 33: Der Rückgang des Großen Wiesenvögelchens (<i>Coenonympha tullia</i>) wurde unter anderem durch regionale Klimaänderungen gefördert.....	164
Abb. 34: Nach ersten Beobachtungen zu urteilen, wirken sich wärmere und niederschlagsreichere Winter negativ auf die Überwinterung der Kreuzotter (<i>Vipera berus</i>) aus.....	165
Abb. 35: Experimentelle Untersuchungen konnten nachweisen, dass sich das Prädationsrisiko von Larven der Kleinen Moosjungfer (<i>Leucorrhinia dubia</i> , s. Foto) durch die Ausbreitung der mediterranen Feuerlibelle (<i>Crocothemis erythraea</i>) erhöht.....	167
Abb. 36: Spätfrostschäden an der Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) nehmen in Bergheiden aufgrund verkürzter Schneephase zu.	174
Abb. 37: Für die Schlingnatter (<i>Coronella austriaca</i>) werden vor allem im Norden und Osten Deutschlands Arealrückgänge prognostiziert	179
Abb. 38: Eine hohe Habitatheterogenität, hier dargestellt am Beispiel einer Tieflandsheide, verringert das Aussterberisiko von Arten.....	181
Abb. 39: Für Feuchtwälder wie Moor- (a) oder Erlenbruchwälder (b) wird das Gefährdungsrisiko durch den Klimawandel als besonders hoch eingestuft.....	191
Abb. 40: In Folge wärmerer Winter erhöht sich der Energieverbrauch für überwinternde Fledermäuse wie die Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>).	206
Abb. 41: Der Große Eisvogel (<i>Limenitis populi</i>) ist besonders auf winterkalte Gebiete angewiesen und wird daher als hochempfindlich gegenüber einer Erwärmung eingestuft.	207
Abb. 42: Viele lichtliebende Waldarten wie der Gelbringfalter (<i>Lopinga achine</i>) sind durch die Intensivierung der Forstwirtschaft bedroht.	208
Abb. 43: Historische Waldnutzungsformen wie die Mittelwaldbewirtschaftung fördern lichtliebende Waldarten.....	215

Abb. 44:	In Folge des Verlusts naturnaher, offener Waldstrukturen in Folge der Intensivierung der forstlichen Nutzung ist der Frauenschuh (<i>Cypripedium calceolus</i>) als typische Halbschattenpflanze gefährdet	216
Abb. 45:	Für das Alpen-Edelweiß (<i>Leontopodium alpinum</i>) wird in Folge des Klimawandels ein Verlust des geeigneten klimatischen Areals prognostiziert.....	231
Abb. 46:	Die Gefleckte Schnarrschrecke (<i>Bryodemella tuberculata</i>) präferiert vegetationsarme Kiesbänke und ist auf die Dynamik natürlicher Überflutungsereignisse angewiesen.	233
Abb. 47:	Lange ökologische Gradienten auf kleinräumiger Ebene ermöglichen Ausweichbewegungen für Arten.	247

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Habitattypen, die im Rahmen des Konzeptes betrachtet wurden und verwendete Schlagwörter zur Recherche des Klimawandeleinflusses auf die ausgewählten Habitattypen.....	28
Tab. 2:	Gefährdungspotential der wichtigsten Laubbaumarten durch den Klimawandel.....	186
Tab. 3:	Gefährdungspotential der wichtigsten Nadelbaumarten durch den Klimawandel.....	188

Vorwort

Seit dem Ende des letzten Jahrtausends steht die Bedeutung des anthropogen verursachten Klimawandels für die Gefährdung und das Aussterben von Arten zunehmend im wissenschaftlichen und naturschutzpolitischen Interesse. 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 lang anhaltende Trockenphasen erhebliche Konsequenzen für die Biodiversität. 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 die Ergebnisse des Vorhabens dar.

Der Schwerpunkt des Vorhabens lag auf einer Synthese relevanter Erkenntnisse 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 beschäftigten. Ergänzt wurde die Synthese durch eine umfassende Literaturrecherche zum Themenbereich.

Die Forschungsnehmer zeigen auf, dass es in Folge des Klimawandels erhebliche Anstrengungen erfordern wird, einzelne Lebensgemeinschaften in der gegenwärtigen Form zu erhalten. An den Naturschutz besteht daher die grundsätzliche Anforderung, die Ziele des Artenschutzes im Hinblick auf den Klimawandel zu überprüfen und zu konkretisieren. Eine Priorisierung bislang festgelegter Naturschutzziele wird unabdingbar sein. Auch wenn die Erhaltung einer möglichst hohen habitatspezifischen Artenzahl als oberstes Ziel weiter verfolgt wird, müssen Handlungsoptionen zur Erreichung des Ziels hinreichend flexibel sein. Im Vordergrund sollte vor allem die Erhöhung der Anpassungskapazität von Biotopen und Arten durch die Erhaltung ökosystemtypischer Funktionen und Eigenschaften stehen. Damit zum Beispiel Arten ihre Verbreitungsareale den klimatischen Veränderungen anpassen und mögliche Arealverschiebungen realisieren können, ist ein funktionierender, an einzelne Lebensraumtypen und Zielartenkollektiven ausgerichteter Biotopverbund wesentlich. Ein besonders hohes Gefährdungsrisiko besteht vor allem für Feuchtlebensräume (Feuchtwiesen und -wälder sowie Moore). Die Sicherung des natürlichen Wasserhaushaltes bzw. die Renaturierung entwässerter Feuchthabitate stellen daher besonders wichtige Schutzmaßnahmen der Ökosysteme dar.

Es ergeben sich auch spezielle Anforderungen an die Raum- bzw. Landschaftsplanung sowie an die jeweiligen Sektoren, die in für den Artenschutz bedeutsamen Habitaten agieren, die Belange des Arten- und Naturschutzes zu beachten. Durch die zunehmen-

de Nutzung erneuerbarer Energien, vor allem durch den Anbau von Bioenergiepflanzen, erhöht sich der Flächennutzungsdruck zusätzlich. Durch Anpassungsmaßnahmen seitens der Verkehrsplanung und des Hochwasserschutzes besteht ein hohes Risiko, dass bei unzureichender naturschutzfachlicher Planung Zerschneidungseffekte verstärkt werden oder Lebensräume verloren gehen.

Um Artenschutzbelange im Zuge des Klimawandels umfassend berücksichtigen zu können, besteht für Teilaspekte noch erheblicher Forschungsbedarf. Große Kenntnislücken in Bezug auf den direkten Einfluss des Klimawandels bestehen vor allem für viele gefährdete bzw. seltene Arten sowie insbesondere für Quellen, Feuchtheiden, Küstenhabitats 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

Danksagung

Wir bedanken uns bei den folgenden externen Experten für die Begutachtung einzelner Kapitel und ihre konstruktiven Beiträge: Dr. Fabian Borchard (Kap. 3.8), Dr. Folkert de Jong (Kap. 3.1), Dr. Martin Erbs (Kap. 3.5), Matthias Hammer (Kap. 3.11), Prof. Dr. Joachim Hüppe (Kap. 3.5), Jana Lübbert (Kap. 3.11), Dr. Carsten Schmidt (Kap. 3.4), Dr. Torsten Vor (Kap. 3.9), Dr. Karsten Wesche (Kap. 3.6), Dr. Andreas Zahn (Kap. 3.11).

Des Weiteren möchten wir uns bei den zahlreichen BfN-Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für die kritische Durchsicht des Konzeptes bedanken: Harald Dünfelder, Dr. Thomas Ehlert, Götz Ellwanger, Stefan Hintersatz, Dr. Andreas Krüß, Carla Kuhmann, Florian Mayer, Sascha Moritz, Jakob Pöllath, Dr. Uwe Riecken, Ulrike Seyfert, Christel Schmelzeisen, Christoph Strauß, Dr. Ulrich Sukopp.

Für die Bereitstellung von Fotos bedanken wir uns bei: Dr. Margret Bunzel-Drücke, Robert Fleck, Christian Höppner, Matthias Olthoff, Dr. Dominik Poniatowski, Dr. Gregor Stuhldreher und Sarah Weking.

Sven Trautmann danken wir für ergänzende Literaturhinweise.

Die Autoren

1 Einleitung

1.1 Klimawandel in Deutschland

Durch die stetig ansteigende Emission von Treibhausgasen seit dem Beginn der Industrialisierung hat der Mensch maßgeblich Einfluss auf die Entwicklung des Klimas genommen. Die heutigen atmosphärischen Treibhausgas-Konzentrationen haben den höchsten Stand seit 800.000 Jahren erreicht (EEA 2012). Durch den anthropogenen Einfluss auf die Zusammensetzung der Atmosphäre hat sich die globale Jahresmitteltemperatur im Zeitraum von 1880 bis 2012 um $0,85\text{ °C}$ erhöht (IPCC 2013). In Folge anhaltender Treibhausgasemissionen ist von einer weiteren Erwärmung des Klimas auszugehen. Die Zukunft des Klimas wird vor allem abhängig von der gesellschaftspolitischen Entwicklung und der damit zusammenhängenden Menge an Treibhausgasemissionen sein. Je nachdem welches Entwicklungsszenario angenommen wird, wird eine globale Temperaturerhöhung von $0,3$ bis $4,8\text{ °C}$ vorhergesagt (IPCC 2013).

In Deutschland stieg die durchschnittliche Jahrestemperatur um ca. $0,8\text{--}1\text{ °C}$ im Zeitraum von 1901 bis 2000 an, wobei vor allem seit Ende der 1980er Jahre ein besonders rasanter Temperaturanstieg erfolgte (JONAS et al. 2005, RAPP 2000, UBA 2006a, b). Das Ausmaß der Erwärmung ist dabei allerdings regional unterschiedlich. Besonders innerhalb der wärmsten Landesteile wie zum Beispiel in Südwestdeutschland stieg die Temperatur überdurchschnittlich an (ZEBISCH et al. 2005). Hinsichtlich der Entwicklung des Niederschlags konnten bislang keine Veränderungen statistisch belegt werden. Während die Summe des Jahresniederschlags mehr oder weniger konstant geblieben ist, scheint ein Trend zu bestehen, dass sich der Niederschlag zunehmend vom Sommer in den Winter verlagert (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004, ZEBISCH et al. 2005).

Neben der spürbaren Erwärmung ist das Auftreten klimatischer Extremereignisse in den letzten Jahren häufiger geworden. Vor allem das Auftreten und die Dauer von Hitzewellen haben in Folge häufiger auftretender Sommertage zugenommen (GERSTENGARBE & WERNER 2009). Dies gilt besonders für die wärmsten Regionen Deutschlands (v.a. den Südwesten und Nordosten Deutschlands). Bezüglich der Änderung der Windverhältnisse und des Auftretens von Starkregenereignissen ist hingegen noch kein eindeutiger Trend festgestellt worden (GERSTENGARBE & WERNER 2009).

Grundsätzlich ist von einer weiteren Erwärmung in Deutschland auszugehen. Je nachdem welches Zukunftsszenario betrachtet wird, wird eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von $1,5$ bis $3,7\text{ °C}$ 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). Die Erwärmung im Winterhalbjahr wird sich vor allem in den Gebirgsregionen und in Südostdeutschland durch zunehmend kürzere Kälteperioden bemerkbar machen (GERSTENGARBE & WERNER 2009). Für weite Teile des Landes wird auch ein verändertes Niederschlagsregime prognostiziert. Während für den Nordosten Deutschlands eine Abnahme der Niederschläge im gesamten Jahres-

lauf vorhergesagt wird, werden für die Alpen und große Bereiche Süddeutschlands eine Zunahme der Winterniederschläge und ein Rückgang der Sommerniederschläge erwartet (DISTER & HENRICHFREISE 2009, HAASE et al. 2012, VERDONSCHOT et al. 2010). Je nach Szenario wird sich der Sommerniederschlag um etwa 20 bis 30 % verringern (UBA 2006a). Die höheren Winterniederschläge werden aufgrund von gestiegenen Temperaturen in geringerem Umfang als bisher als Schnee gespeichert. So wird bis in hohe Gebirgslagen eine Abnahme der mittleren Schneedecke prognostiziert (CROCI-MASPOLI & ESSL 2013a). Nur im Gipfelbereich nimmt die Schneedeckenmächtigkeit aufgrund der höheren Niederschläge zu (CROCI-MASPOLI & ESSL 2013a). Die Vorhersagen der Niederschlagsentwicklung sind allerdings aufgrund der großen regionalen Variabilität noch mit höheren Unsicherheiten behaftet als Prognosen zur Temperaturentwicklung.

Im Zuge des Klimawandels ist ebenfalls mit einer weiteren Häufung klimatischer Extremereignisse wie etwa lang anhaltende Hitze- oder Dürreperioden zu rechnen. Für die Mitte des Jahrhunderts prognostizieren GERSTENGARBE & WERNER (2009) eine Zunahme von durchschnittlich etwa 24 Sommertagen im Jahr im Vergleich zur Referenzperiode (1951–2006). Vor allem innerhalb hitzebelasteter Regionen (Südwest- und Ostdeutschland) wird dies besonders ausgeprägt sein. Für die östliche Landeshälfte wird auch eine Häufung von Dürreperioden durch einen starken Rückgang sommerlicher Niederschläge vorhergesagt. Starkregenereignisse (Tage mit Niederschlagsmengen $\geq 10,0$ mm) werden hingegen vor allem im Nordwesten Deutschlands häufiger werden (GERSTENGARBE & WERNER 2009). Auch hinsichtlich der Zunahme von Orkanen in Mitteleuropa wird eine zunehmende Tendenz prognostiziert (CROCI-MASPOLI & ESSL 2013b).

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 (vgl. 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 an klimatischen Extremereignissen wie Starkregen oder lang anhaltende Trockenphasen erhebliche Konsequenzen für die Biodiversität (vgl. BEIERKUHNLEIN & JENTSCH 2013). Vor allem die folgenden klimawandelbedingten Faktoren wirken sich auf die Biodiversität aus und rufen Veränderungen innerhalb von Lebensgemeinschaften hervor (vgl. ESSL & RABITSCH 2013, MOSBRUGGER et al. 2014, PETERMANN et al. 2007, RABITSCH et al. 2010):

- Habitatveränderungen durch klimatische Änderungen,
- physiologische Änderungen (z.B. durch die Beeinflussung des Stoffwechsels, der Reproduktion oder der Mortalität),
- phänologische Änderungen,
- Veränderungen biotischer Interaktionen (z.B. durch phänologische oder räumliche Entkopplungen von Interaktionspartnern [desynchronisation, *mismatch*]),
- Arealverschiebungen (Veränderungen von Artengemeinschaften, Aussterben von Arten),
- indirekte Auswirkungen auf Habitate und Arten (v.a. durch den Ausbau erneuerbarer Energien, Landnutzungsänderungen).

Aufgrund der folgenschweren Auswirkungen des Klimawandels wird erwartet, dass die Änderung des Klimas zukünftig bedeutender auf die Artenvielfalt einwirken wird als direkte Lebensraumveränderungen, die durch den Menschen ausgelöst werden (LEUSCHNER & SCHIPKA 2004).

Habitatveränderungen durch klimatische Änderungen

In Folge der Erwärmung und der Zunahme von Extremereignissen wie Dürreperioden kommt es zu erheblichen Veränderungen von Lebensräumen, was sich auf Artengemeinschaften auswirkt. Vor allem Gewässerlebensräume sowie Feuchthabitate sind von den klimatischen Änderungen betroffen. In Folge der zunehmenden Gewässererwärmung wird beispielsweise in Fließgewässern eine „Potamalisierung“ der Gewässer begünstigt, indem Arten des Potamals sich in höhere Gewässerabschnitte ausbreiten und montan bzw. kalt-stenotherme Arten zurückgedrängt werden (BUISSON & GRENOUILLET 2009, WOLF & ANGERSBACH 2010). Durch die Erwärmung wird außerdem die Löslichkeit von Nährstoffen erleichtert, wodurch die Primärproduktion und die Ausbreitung von Makrophyten gefördert werden, so dass Eutrophierungstendenzen begünstigt werden (HERING et al. 2010, HAASE et al. 2014). Ein Rückgang von Arten, die an nährstoffarme und sauerstoffreiche Bedingungen gebunden sind wie zum Beispiel die Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) oder die Gemeine Kahnschnecke (*Theodoxus fluviatilis*), wird daher gefördert (BEHRENS et al. 2009b). Durch die Umverteilung des Niederschlags und des Rückgangs sommerlicher Niederschläge werden extreme Wasserstände häufiger, wodurch ein hohes Aussterberisiko für Arten besteht, die an konstante Wasserstände gebunden sind (VERDONSCHOT et al. 2010). Zugleich gehen Lebensräume für Arten verloren, die in bestimmten Lebensphasen temporär wasserführende Gewässer benötigen (z.B. Amphibien). Durch die zunehmenden Trockenperioden im Sommerhalbjahr werden außerdem Feuchthabitate wie Feuchtgrünland oder Moore stark beeinträchtigt. In Folge der Austrocknung des Oberbodens wird die Mineralisierung und Eutrophierung des Standorts begünstigt, so dass konkurrenzkräftige nährstoffliebende Arten gefördert und Arten nährstoffarmer Standorte zurückgedrängt werden (BEHRENS et al. 2009b).

Physiologische Änderungen

Veränderte Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse beeinflussen die Stoffwechselprozesse, Reproduktion oder Verhaltensweise von Arten. Abhängig von der physiologischen Toleranzgrenze einzelner Arten und des Ausmaßes des Klimawandels wird sich der Einfluss klimatischer Veränderungen positiv oder negativ auf Arten auswirken. Die klimawandelbedingte Erwärmung und Verlängerung der Vegetationsperiode erhöhen die Reproduktion von Arten, die positiv auf diese Effekte reagieren. Dies betrifft besonders wechselwarme Organismen. Am Beispiel der Roesels Beißschrecke (*Metrioptera roeselii*) konnte nachgewiesen werden, dass durch zunehmende Erwärmung und Trockenheit im Frühjahr die Larvensterblichkeit verringert wird (PONIATOWSKI & FARTMANN 2011a). Durch den dadurch bedingten Dichtestress werden viele Individuen makropter (Abb. 1), wodurch eine Ausbreitung der Art gefördert wird (PONIATOWSKI & FARTMANN 2011b, PONIATOWSKI et al. 2012).



Abb. 1: Der Klimawandel begünstigt die Langflüglichkeit (Makropterie) bei der Roesels Beißschrecke (*Metrioptera roeselii*) und trägt somit zur Ausbreitung der Art bei (Foto: Dominik Poniatowski).

Des Weiteren konnte in Rheinland-Pfalz beobachtet werden, dass bei einigen Libellenarten (z.B. Becher-Azurjungfer *Enallagma cyathigerum*) zunehmend eine zweite Generation ausgebildet wird (OTT 2010). Die positiven Effekte des Klimawandels werden allerdings vom Ausmaß der Erwärmung und weiterer Einflussfaktoren abhängig sein. Durch zunehmende Trockenphasen besteht für Libellen ein erhöhtes Austrocknungsrisiko der Fortpflanzungsgewässer (OTT 2010), so dass positive Effekte des Klimawandels möglicherweise durch die Verschlechterungen der Habitatqualität überlagert sein werden. Die additiven Effekte des Klimawandels auf Arten sind bislang weitgehend unbekannt und noch unzureichend erforscht. Auch bezüglich vieler Reptilienarten konnte nachgewiesen werden, dass sich höhere Temperaturen positiv auf die Reproduktion der Arten auswirken (z.B. Zauneidechse *Lacerta agilis*, Waldeidechse *Zootoca vivipara*, s. CHAMAILLÉ-JAMMES et al. 2006, OLSSON et al. 2011a, b).

Im Gegensatz dazu wirken sich erhöhte Wintertemperaturen negativ auf die Überwinterung vieler Arten aus (Abb. 2, s. STUHLREHER et al. 2014). Durch wärmere Winter mit einer verringerten Anzahl an Frosttagen erhöht sich der Energieverbrauch überwinternder Tiere. Dies kann sich nachhaltig auf die Tiere auswirken, indem die Wachstums- oder Reproduktionsraten reduziert werden. An diversen Artengruppen wie Amphibien, Fledermäusen, Reptilien oder Tagfaltern wurde der negative Einfluss wärmerer Winter auf die Überwinterung bereits nachgewiesen (z.B. PODLOUCKY 2005, READING 2007, STUHLREHER et al. 2014, WEISE & VOHLAND 2010).

Neben der schleichenden Veränderung der Jahresmitteltemperatur wirkt sich die Zunahme klimatischer Extremereignisse wie lang andauernde Trockenphasen besonders dramatisch auf die Biodiversität aus. Hierdurch sind besonders Arten betroffen, die eine enge physiologische Toleranzgrenze besitzen (RABITSCH & ESSL 2013a). Insbesondere zunehmende Trockenperioden in den Sommermonaten werden viele trockenheitsempfindliche Arten negativ beeinflussen (vgl. BEHRENS et al. 2009a). Änderungen im Niederschlagsregime wirken sich besonders dramatisch auf feuchteabhängige Arten aus, indem die Habitatqualität beeinträchtigt wird. Erhebliche Rückgänge sind demnach für Arten mit Verbreitungsschwerpunkt in Feuchthabitaten zu erwarten (BEHRENS et al. 2009a, POMPE et al. 2011). Starkniederschläge wirken sich hingegen kurzfristig auf Arten aus, indem der Niederschlag die Arten direkt oder die Habitatqualität beeinträchtigt. Beispielsweise besteht durch zunehmende Starkregenereignisse im Frühjahr ein hohes Gefährdungsrisiko für Feuchtwiesenbrüter, indem Überflutungen und erhöhte Grundwasserstände die Jungensterblichkeit erhöhen (AUSDEN & BOLTON 2012).



Abb. 2: Milde Winter wirken sich negativ auf die Überwinterung stenothermer Tagfalterarten wie den Rundaugen-Mohrenfalter (*Erebia medusa*) aus (Foto: Gregor Stuhldreher).

Phänologische Veränderungen

Die Zunahme der Jahrestemperatur bewirkt eine jahreszeitliche Verschiebung der Entwicklungs- bzw. Aktivitätsphasen von Pflanzen und Tieren. Anhand einer europaweiten Meta-Studie konnten MENZEL et al. (2006) zeigen, dass etwa 80 % der über 125.000 ausgewerteten phänologischen Beobachtungsreihen im Zeitraum von 1971 bis 2000 eine Verfrühung der Entwicklungsphasen von Pflanzen im Frühjahr bestätigten. In Deutschland hat sich der Beginn der Vegetationsperiode in den letzten 30 Jahren im Vergleich zum Zeitraum von 1951 bis 1980 durchschnittlich um etwa 8 Tage vorverlagert. Im Jahr 2012 setzte der Beginn der Vegetationsperiode 10 Tage früher ein als im Jahr 1951, wobei der Winterbeginn 2012 um 6 Tage später einsetzte (BMUB 2014). Die Verfrühung des Blühbeginns wirkt sich in Mitteleuropa unter anderem auf früh im Jahr blühende Arten aus, da die Temperaturänderung in den Winter- und Frühjahrsmonaten besonders ausgeprägt ist (vgl. MENZEL et al. 2005). Wenn einzelne Arten unterschiedlich auf die phänologischen Veränderungen reagieren, verändern sich die interspezifischen Konkurrenzverhältnisse, wodurch Artengemeinschaften beein-

flusst werden. Beispielsweise profitieren spät blühende Arten innerhalb alpiner Hochlagen durch die Verlängerung der Vegetationsperiode und die verkürzte Schneephase im Winter, so dass hier langfristig mit Veränderungen typischer Artengemeinschaften zu rechnen ist (CORNELIUS et al. 2012, KUDERNATSCH 2007, KUDERNATSCH et al. 2008, THEURILLAT & GUIBAN 2001).

Auch Tiere reagieren auf die verlängerte Vegetationsperiode durch eine Vorverlagerung der Aktivitätsperiode. Verfrühte Erstbeobachtungen wurden in den letzten Jahren für diverse Tierartengruppen wie Amphibien, Libellen und Tagfalter dokumentiert (z.B. BEEBEE 1995, LOMANN 2014, OTT 2010, ROY & SPARKS 2000). Die klimawandelbedingte Verlängerung der Vegetationsperiode verursacht außerdem ein verändertes Migrationsverhalten bei wandernden Arten. Viele Studien betätigen, dass Zugvögel zunehmend länger in den Brutgebieten verweilen und früher in diese zurückkehren (z.B. ANTHES et al. 2004, PRANGE 2010, TRYJANOWSKI & SPARKS 2008, VERGARA et al. 2007) oder sich die Zugwege verkürzen (VISSER et al. 2009). Auch ein früherer Brutbeginn konnte bei diversen Arten festgestellt werden (z.B. PORKERT et al. 2014, VISSER et al. 2012). Vor allem Arten, die mehrmals im Jahr brüten, reagieren auf den Klimawandel durch eine Vorverlegung des Bruttermins (DUNN & MØLLER 2014). Negative Auswirkungen auf den Reproduktionserfolg ergeben sich dann, wenn die Nahrungsverfügbarkeit zum Zeitpunkt des Brutbeginns reduziert ist (s.u.).

Veränderung biotischer Interaktionen

In Folge der komplexen Auswirkungen des Klimawandels auf einzelne Arten werden biotische Interaktionen auf vielfältige Art und Weise beeinflusst. Durch die zeitliche Entkoppelung von Interaktionspartnern, die phänologisch unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren, werden Verluste einzelner Arten begünstigt. Beispielsweise besteht durch die Verfrühung der Vegetationsperiode das Risiko, dass eine zeitliche Desynchronisation zwischen den Entwicklungsstadien pflanzenfressender Insekten und deren Wirtspflanzen erfolgt, wenn Insekten der Entwicklung der Wirtspflanzen zeitlich nicht folgen (VAN ASCH & VISSER 2007, SINGER & PARMESAN 2010). Zu zeitlichen Entkoppelungen kann es außerdem zwischen Zugvögeln und der maximalen Nahrungsverfügbarkeit während des Brutzeitpunktes kommen. Vor allem für Langstreckenzieher und Meeresvögel besteht ein hohes Risiko der zeitlichen Desynchronisation des Bruttermins und der Nahrungsverfügbarkeit (BOTH et al. 2010, PEARCE-HIGGINS & GREEN 2014, SAINO et al. 2011).

Neben der zeitlichen Entkopplung werden durch Arealverschiebungen räumliche Entkopplungen einzelner Interaktionspartner begünstigt. Ein hohes Gefährdungsrisiko besteht hierdurch vor allem für Arten, die sehr spezifische Ansprüche an ihre Interaktionspartner stellen. Dies trifft beispielsweise auf Arten zu, die eng auf bestimmte Wirtsarten für ihre Entwicklung angewiesen sind. So besteht für monophage Insektenarten ein hohes Aussterberisiko, wenn sich der Klimawandel negativ auf die Wirtspflanzen auswirkt. Dies gilt vor allem für Tagfalterarten, deren aktuelle Verbreitung

bereits durch die Wirtspflanzenverbreitung bestimmt ist (SCHWEIGER et al. 2012). Andererseits wird durch den Klimawandel die Entstehung neuartiger Interaktionen gefördert. Im Falle des Kleinen Sonnenröschen-Bläulings (*Aricia agestis*) konnten THOMAS et al. (2001) nachweisen, dass die Art positiv auf den Klimawandel reagiert und neuerdings *Geranium*-Arten als Raupenfutterquelle innerhalb von Gebieten nutzt, in denen die Hauptwirtspflanze (*Helianthemum nummularium*) nicht vorkommt (s. auch FARTMANN et al. 2002). Veränderungen in Lebensgemeinschaften werden außerdem durch die Ausbreitung südlich verbreiteter oder gebietsfremder Arten hervorgerufen (s.u.).

Durch die zunehmende Erwärmung wird die Ausbreitung von Krankheiten und Parasiten begünstigt. Zum einen werden bestimmte Krankheitsüberträger durch den Klimawandel gefördert. Beispielsweise profitieren viele gebietsfremde Flusskrebsarten vom Klimawandel (CAPINHA et al. 2013). Somit besteht ein hohes Risiko, dass die Ausbreitung der Krebspest beschleunigt und ein weiterer Rückgang heimischer Flusskrebse vorangetrieben wird. Des Weiteren profitieren viele Krankheitserreger selbst von den klimatischen Änderungen. Vor allem durch klimawandelbedingte Beeinträchtigungen der Vitalität bzw. der Abwehrsysteme der Wirte wird die Ausbreitung vieler Krankheitserreger und Parasiten erleichtert. Dies wird insbesondere durch zunehmende Extremereignisse wie etwa lang andauernde Hitze- oder Trockenperioden begünstigt (MORLEY & LEWIS 2014).

Da vor allem viele invasive Arten eine hohe Toleranz gegenüber veränderten Umweltbedingungen aufweisen und die Fähigkeit besitzen, neue Gebiete schnell zu besiedeln, wird deren Ausbreitung Arten durch den Klimawandel weiter gefördert (BELLARD et al. 2013). Bei 63 % der derzeit in Deutschland vorkommenden invasiven Gefäßpflanzenarten wird angenommen, dass sie vom Klimawandel profitieren und sich weiter ausbreiten werden (NEHRING et al. 2013). Dies trifft vor allem auf viele bereits weit verbreitete Arten zu wie etwa den Götterbaum (*Ailanthus altissima*) oder die Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*) (KLEINBAUER et al. 2010). Die Förderung von gebietsfremden Arten durch den Klimawandel erfolgt zum einen direkt, indem die Konkurrenzkraft durch die klimatischen Veränderungen verstärkt wird oder in Folge von Extremereignissen, wodurch Ausbreitungsmöglichkeiten durch veränderte Habitatbedingungen geschaffen werden (WALTHER et al. 2009).

Arealverschiebungen

Aufgrund der gravierenden Einflüsse des Klimawandels auf die Artenvielfalt liegen viele Studien vor, die die Sensitivität von Arten hinsichtlich des Klimawandels bewerten oder die zukünftige Verbreitung von Arten durch statistische Verfahren unter diversen Klima- und Landnutzungswandelszenarien prognostizieren. Die Ergebnisse statistischer Modellierungen lassen sich in den meisten Fällen lediglich als erste Trends ansehen, da wichtige Wirkfaktoren oftmals nicht in die Modellberechnungen einfließen, wie etwa die Berücksichtigung biotischer Interaktionen (KÜHN et al. 2013).

Statistische Verbreitungsmodellierungen hinsichtlich des Klimawandels liegen vor allem für gut untersuchte Artengruppen wie zum Beispiel Gefäßpflanzen, Amphibien und Reptilien, Säugetiere, Vögel oder Tagfalter vor (z.B. ARAÚJO et al. 2006, JAESCHKE et al. 2014, HUNTLEY et al. 2007, LEVINSKY et al. 2007, POMPE et al. 2011, SETTELE et al. 2008). Für Deutschland modellierten POMPE et al. (2011) die zukünftige Verbreitung von 845 Gefäßpflanzenarten unter der Berücksichtigung unterschiedlicher Klima- und Landnutzungswandelszenarien. Verluste geeigneter klimatischer Areale werden vor allem für montan verbreitete und gefährdete sowie feuchtigkeitsliebende Arten prognostiziert, Arealerweiterungen hingegen für viele südlich verbreitete oder thermophile Arten. Inwieweit Arealerweiterungen tatsächlich stattfinden werden, ist abhängig von der Habitatkonnektivität und der Migrationsfähigkeit der Arten. Unter der Annahme einer uneingeschränkten Ausbreitung werden für viele Arten Arealvergrößerungen prognostiziert. So modellierten LEVINSKY et al. (2007) bei etwa einem Drittel aller heimischen Säugetierarten eine Arealerweiterung bei der Annahme einer uneingeschränkten Ausbreitung der Arten. Erfolgt keine Ausbreitung, werden hingegen erhebliche Artverluste von bis zu 60 % prognostiziert. Bei der Annahme einer eingeschränkten Ausbreitung werden ebenfalls Arealverluste für einen Großteil der europäischen Amphibien- und Reptilienfauna hervorgesagt (ARAÚJO et al. 2006).

Arealverluste ereignen sich vor allem an den südlichen Verbreitungsgrenzen von Arten, wenn diese empfindlich auf eine zunehmende Erwärmung reagieren (REBELO et al. 2010, SETTELE et al. 2008). Insbesondere mobile Arten reagieren schnell auf klimatische Änderungen (WARREN et al. 2001), so dass vor allem bei flugfähigen Artengruppen bereits klimawandelbedingte Arealveränderungen nachgewiesen werden konnten. Nordwärts gerichtete Ausbreitungen wurden beispielsweise bei diversen Tagfalterarten in Großbritannien nachgewiesen (FOX et al. 2006). Allerdings ist zu erwarten, dass Habitatspezialisten zunehmend unter dem Klimawandel leiden werden (vgl. SETTELE et al. 2008). Außerdem konnten HICKLING et al. (2005) in Großbritannien eine nordwärts gerichtete Arealerweiterung bei einem Großteil der dort vorkommenden Libellenarten feststellen. Insbesondere Arten mit einer südlichen Verbreitung profitieren von der zunehmenden Erwärmung in Mitteleuropa und breiten sich hier aus. Bekannte Beispiele sind die mediterran verbreitete Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*) (OTT 2010) oder die Europäische Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*, Abb. 3) (STÄRZ et al. 2010). Neben der nordwärts gerichteten Arealverschiebung kommt es durch eine zunehmende Erwärmung zu einer Vertikalverschiebung der Verbreitungen von Arten innerhalb von Gebirgen (KONVICKA et al. 2003, WILSON et al. 2007). Durch die zunehmende Erwärmung ziehen sich Arten, die empfindlich auf den Klimawandel reagieren, in Gebirgen in höhere Lagen zurück (FRANCO et al. 2006). Ein hohes Aussterberisiko besteht vor allem für montane Arten in Mittelgebirgsregionen bzw. für alpine und nivale Arten in Gipfellagen, wo eine Vertikalverschiebung aufgrund fehlender Höhenlagen nicht möglich ist (DIRNBÖCK et al. 2011, HERING et al. 2010, PAULI et al. 2003, SAUER et al. 2011).



Abb. 3: Aufgrund der Erwärmung breiten sich zunehmend südlich verbreitete Arten wie die Europäische Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) in Mitteleuropa aus (Foto: Thomas Fartmann).

Indirekte Auswirkungen auf Habitate und Arten

Zusätzlich zu den direkten Auswirkungen des Klimawandels durch veränderte Temperatur- bzw. Niederschlagsverhältnisse wirken sich die indirekten Folgen auf Arten aus. Diese ergeben sich vor allem durch klimawandelbedingte Landnutzungsänderungen und den Ausbau erneuerbarer Energien, welcher in Deutschland aufgrund der politischen Anpassungsstrategie an den Klimawandel mit möglichst CO₂-neutraler Energiegewinnung (und ohne Atomkraft) erfolgt und somit indirekt mit dem Klimawandel verbunden ist. Im Jahr 2013 deckten erneuerbare Energien bereits etwa 25 % des Brutto-Stromverbrauchs (FRAUNHOFER IWES 2014). Durch die Ausbauziele des Bundes ist mit einem zunehmenden Flächenbedarf zur Erreichung der angestrebten Klimaschutzziele zu rechnen, wodurch Nutzungskonflikte verschärft werden. Vor allem der zunehmende Bau von Windenergieanlagen (Abb. 4) und Photovoltaik-Freiflächenanlagen sowie der vermehrte Anbau von Bioenergiepflanzen haben erhebliche Konsequenzen für den Schutz der Biodiversität (GFN & ZSW 2011). Durch die steigende Kultivierung von Energiepflanzen und den damit verbundenen hohen Flächenbedarf erhöht sich das Risiko, dass Lebensräume direkt zerstört werden und die Habitat-konnektivität beeinträchtigt wird (GFN & ZSW et al. 2011). Des Weiteren werden durch das Kollisionsrisiko mit Windenergieanlagen direkte Verluste von Fledermäusen und Vögeln hervorgerufen. Die Errichtung von Offshore-Anlagen hat erhebliche

Konsequenzen für marine Lebensgemeinschaften, beispielsweise indem physiologische Schäden von Meeresorganismen durch Rammarbeiten hervorgerufen werden (BSH & BMU 2014, ZUCCO et al. 2006).



Abb. 4: Infolge des Ausbaus erneuerbarer Energien verschärft sich der Flächennutzungsdruck (Foto: Margret Bunzel-Drüke).

1.3 Bedeutung des Klimawandels für den Artenschutz

Der rezente Klimawandel erfordert Anpassungsmaßnahmen, um die negativen Auswirkungen abzumildern. Dies gilt ebenfalls für den Naturschutz (DAS 2008). Durch die zum Teil unaufhaltsamen Folgen des Klimawandels besteht nicht nur ein hoher Bedarf Anpassungsmaßnahmen seitens des Naturschutzes zu entwickeln, sondern auch die Zielsetzungen 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). Auch wenn die Erhaltung einer möglichst hohen Artenzahl als oberstes Ziel weiter verfolgt wird, müssen Handlungsoptionen zur Erreichung des Ziels dynamisiert werden. Im Vordergrund sollte vor allem die Erhöhung der Anpassungskapazität von Ökosystemen und Arten durch die Erhaltung ökosystemtypischer Funktionen und Eigenschaften stehen (IBISCH & KREFT 2008, KERTH et al. 2014). Des Weiteren kommt dem Naturschutz – neben der Gesellschaft und der Politik – im hohen Maße die Aufgabe hinzu, den Klimawandel abzuschwächen, indem Ökosysteme, die im engen Austausch mit der

Atmosphäre stehen, geschützt werden (v.a. Wälder, Moore) (IBISCH & KREFT 2008). Gleichzeitig sind auch andere Sektoren wie Land-, Forst- und Wasserwirtschaft gefordert, substanzielle Beiträge zu leisten, um die negativen Folgen des Klimawandels auf die Natur abzumildern (GRUTTKE et al. 2013). Hinsichtlich des Artenschutzes sind Maßnahmen erforderlich, die eine Anpassung der Arten an den Klimawandel unterstützen. Dabei stellen der Ausbau eines Biotopverbunds auf lokaler und (über-)regionaler Ebene sowie die Abwehr der herkömmlichen Gefährdung von Arten bedeutende Maßnahmen dar (BALZER et al. 2007, IBISCH & KREFT 2008). Insbesondere für seltene und hoch gefährdete Arten, die negativ vom Klimawandel betroffen sind, sind solche Maßnahmen erforderlich, um das Aussterberisiko der Arten zu reduzieren. Neben den direkten Auswirkungen des Klimawandels erhöhen der Ausbau erneuerbarer Energien sowie die Intensivierung der Landnutzung die Gefährdungsdisposition vieler Arten. Zur Minimierung des Aussterbepotentials betroffener Arten besteht daher ein dringender Bedarf, konkrete artspezifische Schutzmaßnahmen beim Ausbau erneuerbarer Energien zu berücksichtigen. Dies trifft vor allem auf Arten zu, die negativ vom Klimawandel betroffen sind und durch eine hohe Zahl anderweitiger Gefährdungen bedroht sind.

1.4 Ziele des Vorhabens

Aufgrund der weitreichenden Folgen des rezenten Klimawandels für die Biodiversität wurde eine Vielzahl an Ufoplan-Vorhaben durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) 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 Entwicklung und fachlich fundierte 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 Konzeptes erfolgt durch eine Synthese relevanter Erkenntnisse der in den letzten zehn Jahren durch das BfN durchgeführten Ufoplan-Vorhaben, die sich mit den direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Naturschutz beschäftigen. Ergänzt wird die Synthese durch eine umfassende Literaturrecherche zum Themenbereich. Das Handlungskonzept bezieht sich schwerpunktmäßig auf für den Artenschutz bedeutsame Habitate sowie auf Arten mit hoher Gefährdungsdisposition, für die es durch die Ufoplan-Vorhaben Hinweise auf eine Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel gibt. 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.

WALD et al. (2011), SÜDBECK et al. (2009) und TRAUTNER et al. (1998). Ausgestorbene Arten wurden nicht im Rahmen des Konzeptes behandelt.

Tab. 1: Habitattypen, die im Rahmen des Konzeptes betrachtet wurden und verwendete Schlagwörter zur Recherche des Klimawandeleinflusses auf die ausgewählten Habitattypen.

Habitattyp	Verwendete Schlagwörter für die Literaturrecherche	
	DNL-online	isi web of science
Meere und Küsten	Meere, Küste, Küstengewässer	ocean, coast, coastal ecosystem
Fließgewässer und Quellen	Fließgewässer, Quelle	river, stream, spring, crenobiology
Stillgewässer	Stillgewässer	lake, standing water body
Felsen, Block- und Schutthalden, Geröllfelder, offene Bereiche mit sandigem oder bindigem Substrat ^a	Fels, Blockschutthalde, Geröll, Rohboden	rock, scree, cliff, open soil
Äcker- und Ackerbrachen	Ackerland, Agrobiodiversität	arable land, agroecology, arable biodiversity
Grünland	Grünland	grassland, semi-natural grassland
Moore	Hochmoore, Niedermoore	bog, fen
Zwergstrauchheiden	Heide Sandheide, Ericetum tetralicis	heathland
Wälder	Wälder	forest
Alpine Habitats ^b	Alpines Ökosystem, alpine Habitats	alpine grassland, alpine ecosystem
Bauwerke ^a	Gebäudesanierung	–

^a Recherche auch ohne das Stichwort climate change

^b Das Kapitel beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit alpinen Rasengesellschaften.

Zur Auswahl des endgültig zu untersuchenden Artenpools, der alle negativ vom Klimawandel betroffenen Arten enthält, die den oben genannten Kriterien entsprechen, wurden relevante Ufoplan-Vorhaben herangezogen. Es wurden alle Vorhaben ausgewählt, die die Klimaempfindlichkeiten von Arten bewerten bzw. die zukünftige Verbreitung der Arten unter Klimawandeleinfluss in Deutschland modellieren (Schritt 3, Abb. 5). Die folgenden Quellen relevanter Vorhaben wurden zur Auswahl der Tierarten herangezogen: JAESCHKE et al. (2014), KERTH et al. (2014), KREFT & IBISCH (2013), RABITSCH et al. (2010), SCHLUMPRECHT et al. (2010) und TRAUTMANN et al. (2013). Des Weiteren wurden die Ergebnisse von BEHRENS et al. (2009) berücksich-

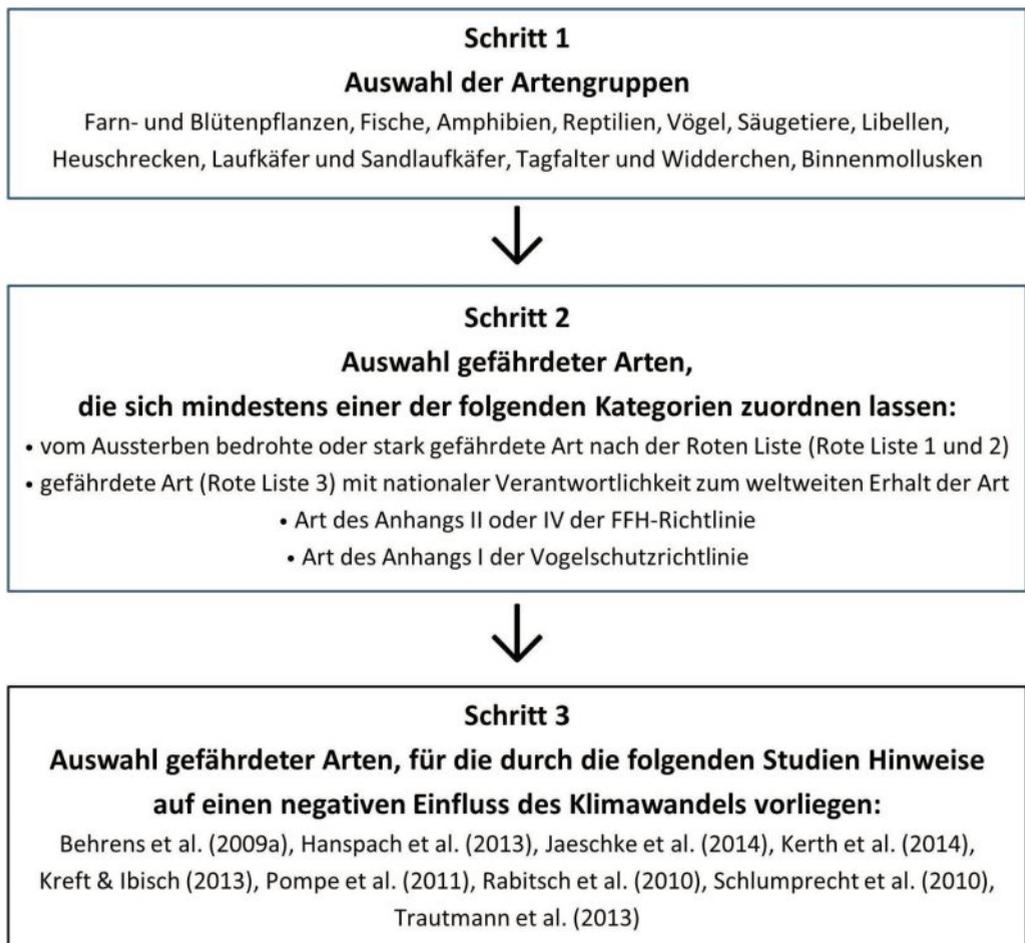


Abb. 5: Methodische Schritte zur Auswahl der innerhalb des Konzepts behandelten Arten.

tigt. In die Auswahl wurden alle Arten einbezogen, die in den genannten Studien anhand einer Empfindlichkeitsanalyse als negativ vom Klimawandel betroffen bewertet wurden (BEHRENS et al. 2009) bzw. für die durch den Klimawandel ein hohes Gefährdungsrisiko besteht (KERTH et al. 2014, KREFT & IBISCH 2013, RABITSCH et al. 2010, SCHLUMPRECHT et al. 2010) oder ein Arealrückgang in Deutschland prognostiziert wurde (JAESCHKE et al. 2014: Berücksichtigung der Ergebnisse nach dem Szenario A2 des Klimamodells HadCM3, TRAUTMANN et al. 2013). Die Auswahl der Farn- und Blütenpflanzen erfolgte in Anlehnung an BEHRENS et al. (2009), HANSPACH et al. (2013) und POMPE et al. (2011). Nach BEHRENS et al. (2009) wurden alle Arten ausgewählt, die als negativ vom Klimawandel betroffen bewertet wurden. Nach HANSPACH et al. (2013) sowie POMPE et al. (2011) wurden alle Pflanzenarten ausgewählt, für die ein negativer Klimawandeleinfluss durch Untersuchungen und Literaturrecherche identifiziert wurde (s. POMPE et al. 2011) bzw. für die bereits beim mildesten Klimawandelszenario ein Arealrückgang in Deutschland prognostiziert wurde