



Anpassungskapazität naturschutz- fachlich wichtiger Tierarten an den Klimawandel

Gerald Kerth, Nico Blüthgen, Carolin Dittrich,
Kai Dworschak, Klaus Fischer, Toni Fleischer,
Ina Heidinger, Johannes Limberg, Elisabeth Obermaier,
Mark-Oliver Rödel und Stefan Nehring

Naturschutz und Biologische Vielfalt
Heft 139

Anpassungskapazität naturschutz- fachlich wichtiger Tierarten an den Klimawandel

Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3511 86 0200)

Gerald Kerth
Nico Blüthgen
Carolin Dittrich
Kai Dworschak
Klaus Fischer
Toni Fleischer
Ina Heidinger
Johannes Limberg
Elisabeth Obermaier
Mark-Oliver Rödel
Stefan Nehring

unter Mitarbeit von
Sabrina Arnold, Katharina Bittmann, Martin Burmeister, Konrad Fiedler,
Martin Haase, Jule Mangels, Markus Melber, Anne Schacht,
Madlen Schellenberg, Uta Schröder

Bundesamt für Naturschutz
Bonn - Bad Godesberg 2014

Titelbilder:

großes Foto: Laichgemeinschaft des Moorfrosches
(Abb. 44 in diesem Heft)
links: Totholzstamm mit Kreuzfensterfalle
(Abb. 1 in diesem Heft)
Mitte links: Graphik Mortalität der Grauen Heidelbeereule
(Abb. 17 in diesem Heft)
Mitte rechts: Aufzuchtkästen für Moorfroschkaulquappen
(Abb. 46 in diesem Heft)
rechts: Schwarze und weiße Fledermauskästen
(Abb. 61 in diesem Heft)

Adressen der Autorinnen und Autoren:

Prof. Dr. Gerald Kerth	Universität Greifswald, Zoological Institute & Museum
Prof. Dr. Klaus Fischer	Johann-Sebastian-Bach-Str. 11/12, 17489 Greifswald
Dipl.-Laök. Toni Fleischer	E-Mail: gerald.kerth@uni-greifswald.de
Dipl.-Laök. Johannes Limberg	
Prof. Dr. Nico Blüthgen	Technische Universität Darmstadt, Ecological Networks
Dipl.-Biol. Kai Dworschak	Biology, Schnittspahnstr. 3, 64287 Darmstadt
PD Dr. Mark-Oliver Rödel	Museum für Naturkunde, Leibniz Institute for Research
Dipl.-Biol. Carolin Dittrich	on Evolution and Biodiversity, Invalidenstr. 43, 10115 Berlin
PD. Dr. Elisabeth Obermaier	Universität Bayreuth, Ökologisch-Botanischer Garten,
Dipl.-Biol. Ina Heidinger	95440 Bayreuth
Dr. Stefan Nehring	Bundesamt für Naturschutz, Konstantinstr. 110, 53179 Bonn

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.

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 978-3-7843-9081-9

Bonn - Bad Godesberg 2014

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	10
Vorwort	13
1 Allgemeine Einleitung	15
2 Auswahl von 50 Hochrisiko-Arten	20
3 Literaturstudie	29
Marschschnecke <i>Assiminea grayana</i> FLEMING 1828	30
Röhn-Quellschnecke <i>Bythinella compressa</i> (FRAUENFELD 1857)	33
Fränkische Berg-Schließmundschnecke <i>Cochlodina costata franconica</i> EHRMANN 1933	37
Verborgenes Posthörnchen <i>Gyraulus acronicus</i> (A. FÉRUSSAC 1807)	39
Gebänderte Kahnschnecke <i>Theodoxus transversalis</i> (C. PFEIFFER 1828).....	42
Gemeine Flussmuschel <i>Unio crassus</i> PHILIPSON 1788	45
Flussperlmuschel <i>Margaritifera margaritifera</i> (LINNEAUS 1758)	49
Vierzähnlige Windelschnecke <i>Vertigo geyeri</i> LINDHOLM 1925	55
Edelkrebs <i>Astacus astacus</i> (LINNAEUS 1758)	59
Steinkrebs <i>Austropotamobius torrentium</i> (SCHRANK 1803).....	69
Zwergspinne <i>Mycula mossakowskii</i> (SCHIKORA 1994).....	79
Alpen-Mosaikjungfer <i>Aeshna caerulea</i> (STRÖM 1783).....	82
Hochmoor-Mosaikjungfer <i>Aeshna subarctica elisabethae</i> (DJANKONOV 1922).....	90
Alpen-Smaragdlibelle <i>Somatochlora alpestris</i> (SÉLYS 1840).....	97
Zwerglibelle <i>Nehalennia speciosa</i> (CHARPENTIER, 1840)	104
Gefleckte Schnarrschrecke <i>Bryodemella tuberculata</i> (FABRICIUS 1775).....	111
Kurzschröter <i>Aesalus scarabaeoides</i> (PANZER 1794)	117
Hochmoorlaufkäfer <i>Carabus menetriesi pacholei</i> (SOKOLÁŘ 1911).....	123
Schwarzer Grubenlaufkäfer <i>Carabus variolosus nodulosus</i> (CREUTZER 1799)	130
Scharlachkäfer <i>Cucujus cinnaberinus</i> (SCOPOLI 1763).....	134
Großer Birken-Prachtkäfer <i>Dicerca furcata</i> (THUNBERG 1787).....	140
Veilchenblauer Wurzelhals-Schnellkäfer <i>Limoniscus violaceus</i> (MÜLLER 1821)	144

Gestreifelter Bergwald-Bohrkäfer <i>Stephanopachys substriatus</i> (PAYKULL 1800).....	150
Bartflechten-Rindenspanner <i>Alcis jubata</i> (THUNBERG 1788)	154
Moorbunteule <i>Coranarta cordigera</i> (THUNBERG 1792)	157
Moorwiesen-Striemenspanner <i>Chariaspilates formosaria</i> (EVERSMANN 1837).....	161
Grüner Flechten-Rindenspanner <i>Cleorodes lichenaria</i> (HUFNAGEL 1767).....	163
Moosbeerenspanner <i>Carsia sororiata</i> (HÜBNER 1813).....	168
Amethysteule <i>Eucarta amethystina</i> (HÜBNER 1803)	172
Gagelstrauch-Moor-Holzeule <i>Lithophane lamda</i> (FABRICIUS 1787)	175
Heidebürstenspinner <i>Orgyia antiquoides</i> (HÜBNER 1822).....	179
Natterwurz-Perlmutterfalter <i>Boloria titania</i> (ESPER 1793)	183
Heilziest-Dickkopffalter <i>Carcharodus floccifera</i> (ZELLER 1847).....	189
Goldener Scheckenfalter <i>Euphydryas aurinia</i> (ROTTEMBURG, 1775)	194
Blauschillernder Feuerfalter <i>Lycaena helle</i> (DENIS & SCHIFFERMÜLLER 1975)	204
Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling <i>Maculinea nausithous</i> (BERGSTRÄSSER 1779)	213
Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling <i>Maculinea teleius</i> (BERGSTRÄSSER 1779)	222
Schwarzer Apollo <i>Parnassius mnemosyne</i> (LINNAEUS 1758).....	231
Groppe <i>Cottus gobio</i> LINNAEUS 1758	239
Atlantischer Lachs <i>Salmo salar</i> LINNAEUS 1758	244
Äsche <i>Thymallus thymallus</i> (LINNAEUS 1758).....	252
Stechlin-Maräne <i>Coregonus fontanae</i> SCHULZ & FREYHOF 2003	258
Gelbbauchunke <i>Bombina variegata</i> (LINNAEUS 1758)	262
Moorfrosch <i>Rana arvalis</i> NILSSON 1842.....	277
Alpensalamander <i>Salamandra atra</i> LAURENTI 1768.....	291
Mopsfledermaus <i>Barbastella barbastellus</i> (SCHREBER 1774)	300
Bechsteinfledermaus <i>Myotis bechsteinii</i> KÜHL 1817	305
Alpensteinbock <i>Capra ibex ibex</i> LINNAEUS 1758	311
Alpenschneehase <i>Lepus timidus varronis</i> MILLER 1901	318
Waldbirkenmaus <i>Sicista betulina</i> (PALLAS 1778).....	324

4	Empirische Studien	329
4.1	Einfluss des Mikroklimas auf xylobionte Käfergemeinschaften in Tot- holz fortgeschrittener Zersetzungsstadien im nördlichen Steigerwald.	329
4.2	Anpassungskapazität von Hochmoor-Nachtfalterarten	366
4.3	Untersuchungen zur Anpassungskapazität des Blauschillernden Feuerfalters, <i>Lycaena helle</i> (DENIS & SCHIFFERMÜLLER 1975)	392
4.4	Untersuchungen zur Anpassungskapazität der Rhön-Quellschnecke <i>Bythinella compressa</i> (FRAUENFELD 1857).....	412
4.5	Anpassungskapazitäten von Gelbbauchunke <i>Bombina variegata</i> LINNEAUS 1758 und Moorfrosch <i>Rana arvalis</i> NILSSON 1842 an den Klimawandel.....	424
4.5.1	Die Gelbbauchunke	428
4.5.2	Der Moorfrosch	443
4.6	Untersuchungen zur Anpassungskapazität von Bechsteinfledermaus <i>Myotis bechsteinii</i> KUHL 1817 und Mopsfledermaus <i>Barbastella barbastellus</i> SCHREBER 1774 an den Klimawandel	463
4.6.1	Analyse von Langzeitdaten zum Einfluss des Klimas auf das Überleben und den Fortpflanzungserfolg von Bechsteinfledermäusen	464
4.6.2	Freilandstudien zur Quartierwahl von Mops- und Bechsteinfledermäusen	478
5	Abschlussdiskussion	489
5.1	Anpassungskapazitäten von wirbellosen Hochrisiko-Arten	489
5.2	Anpassungskapazitäten von Hochrisiko-Wirbeltieren.....	497
5.3	Fazit	503
6	Literatur	507

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Liegender Totholzstamm der Rotbuche mit Kreuzfensterfallen.....	334
Abb. 2:	Gesamtzahl der Totholzkäferarten und -individuen, die sich zu den einzelnen Leerungen in den Kreuzfensterfallen befanden	337
Abb. 3:	Arten- und Individuenzahl der Kreuzfensterfallen nach Baumart und Hanglage getrennt dargestellt	338
Abb. 4:	Arten- und Individuenzahl der Bauscheiben nach Baumart und Hanglage getrennt dargestellt.	338
Abb. 5:	Vergleich zwischen Nord- und Südhängen, sowie Eichen und Buchen hinsichtlich der Arten- und Individuenzahl in den Kreuzfensterfallen	339
Abb. 6:	Vergleich zwischen Nord- und Südhängen, sowie Eichen und Buchen hinsichtlich der Arten- und Individuenzahl die aus den Baumscheiben schlüpften.....	339
Abb. 7:	Vergleich der mittleren Temperatur zwischen Nord- und Südhang	340
Abb. 8:	Vergleich zwischen Nord- und Südhängen hinsichtlich der normierten Temperatur	341
Abb. 9:	Vergleich zwischen Nord- und Südhängen hinsichtlich der normierten Luftfeuchtigkeit.....	341
Abb. 10:	Kanonische Korrespondenzanalyse mit den Faktoren Hangseite, mittlere Temperatur und Lichtverfügbarkeit	344
Abb. 11:	Kanonische Korrespondenzanalyse mit den Faktoren Hangseite, Lichtverfügbarkeit und mittlere normierte Temperatur sowie Luftfeuchtigkeit	345
Abb. 12:	Kanonische Korrespondenzanalyse mit den Faktoren Baumart und Totholzvorrat der Zersetzungsstufen 2, 3 und 4.	345
Abb. 13:	Hochmoore in denen Lichtfänge durchgeführt wurden	369
Abb. 14:	Täglicher Temperaturverlauf der verwendeten Klimaszenarien.....	370
Abb. 15:	Aufbau der Respirationsanlage.....	375
Abb. 16:	Standorte der Temperatur- und Luftfeuchtemessungen im Wurzacher Ried	376
Abb. 17:	Mortalität von <i>E. occulta</i> bei den verschiedenen Klimaszenarien im zeitlichen Verlauf	377
Abb. 18:	Vergleich der Mortalitätsraten in Prozent von <i>S. dentaria</i> und <i>E. occulta</i> in den verschiedenen Klimaszenarien	378
Abb. 19:	Mortalität in Prozent der in Darmstadt gefangenen Arten bei den jeweils untersuchten Klimaszenarien.....	379
Abb. 20:	Kumulativer Fraß bis zur Verpuppung in mg Trockenmasse der in Darmstadt gefangenen Arten bei den jeweils untersuchten Klimaszenarien	380

Abb. 21: Entwicklungsdauer in Tagen der in Darmstadt gefangenen Arten bei den jeweils untersuchten Klimaszenarien.....	381
Abb. 22: Puppengewichte in mg der in Darmstadt gefangenen Arten bei den jeweils untersuchten Klimaszenarien.....	381
Abb. 23: Zusammenhang zwischen metabolischer Rate und Körpermasse bzw. Temperatur.....	382
Abb. 24: Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und Temperatur	384
Abb. 25: Temperatur- und Luftfeuchteparameter auf den verschiedenen Standorten im Wurzacher Ried (Juli/August 2012).....	384
Abb. 26: Temperaturverlauf in den vier Treatments	395
Abb. 27: Beispiel für den Tagesgang der Temperatur in Höhn-Oellingen im Juni (7.6.2010).....	395
Abb. 28: Larvalmortalität (%) und Zahl der Larven (n) von <i>Lycaena helle</i> bei unterschiedlichen Behandlungen	396
Abb. 29: Larvale Entwicklungsdauer und Puppenmasse von <i>Lycaena helle</i> bei unterschiedlichen Behandlungen	397
Abb. 30: Nonmetric multidimesional scaling (NMDS) Plot der Probeflächen nach Vegetationszusammensetzung	401
Abb. 31: Pentadendiagramm für den Zeitraum vom 7.6. bis 31.7.2012.....	402
Abb. 32: Beispiel für einen typischen Tagesgang von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit in den Larvalhabitaten von <i>Lycaena helle</i>	402
Abb. 33: Entwicklung der Lufttemperatur, der Temperatur einer Quellschüttung....	418
Abb. 34: Beispiel für einen Tagesgang der Temperatur in einer Quellschüttung	418
Abb. 35: Anteil und Anzahl überlebender bzw. nicht überlebender Schnecken in Abhängigkeit von der Herkunft in Experiment I.....	420
Abb. 36: Anteil und Anzahl überlebender bzw. nicht überlebender Schnecken in Abhängigkeit von der Herkunft in Experiment II	420
Abb. 37: Anteil überlebender bzw. nicht überlebender Schnecken nach unterschiedlicher Dauer einer Trockenheitsphase in Experiment III	421
Abb. 38: Gelbbauchunkenpaar im Amplexus.....	429
Abb. 39: Lage des Untersuchungsgebietes.....	431
Abb. 40: Typische Laichhabitate der Gelbbauchunke.....	432
Abb. 41: Wannenexperimente mit Gelbbauchunken-Kaulquappen an der ökologischen Station Fabrikschleichach (Universität Würzburg)	433
Abb. 42: Größenunterschiede (cm) bei der Metamorphose der Gelbbauchunkenlarven in den vier Untersuchungsgruppen während beider Experimentzeiträume	436
Abb. 43: Unterschiede der Entwicklungszeit der Gelbbauchunkenlarven in Tagen bis zur Metamorphose in den vier Untersuchungsgruppen und während beider Experimentzeiträume	437

Abb. 44: Laichgemeinschaft des Moorfrosches, <i>Rana arvalis</i> , in einem unserer Untersuchungsgewässer in der Nähe von Greifswald.....	445
Abb. 45: Beispiele der Wannen in denen Kaulquappen bis zum Freischwimmen gehältert wurden.....	447
Abb. 46: Besonnt exponierte Aufzuchtkästen für Moorfroschkaulquappen in einem Söll bei Groß Kiesow nahe Greifswald	447
Abb. 47: Boxplots der Körpergröße der Moorfroschlarven in beschatteten und besonnten Bereichen zu den zwei Messzeitpunkten.....	449
Abb. 48: Boxplots der Gosnerstadien der Moorfroschlarven zu den drei Messzeitpunkten in beschatteten und in besonnten Bereichen.....	450
Abb. 49: Lineare Regression der Durchschnittstemperatur im Zeitintervall vom 27. Mai bis 23. Juni 2013	451
Abb. 50: Boxplots der durchschnittlichen Temperatur in den Aufzuchtkästen im beschatteten Bereich und im besonnten Bereich zwischen je zwei Messzeitpunkten	452
Abb. 51: Flügel einer ausgewachsenen Bechsteinfledermaus. Schwarze Pfeile zeigen auf geschlossene Epiphysenfugen.....	467
Abb. 52: Zunahme der Körpergröße (Unterarmlänge in mm) adulter weiblicher Bechsteinfledermäuse für den Zeitraum 1996-2011	471
Abb. 53: Zunahme der Körpergröße (Unterarmlänge in mm) der Jungtiere beider Geschlechter für den Zeitraum 1998-2011	471
Abb. 54: Zusammenhang der Körpergröße (Unterarmlänge) und Tagestemperaturen im Sommer ohne dem Jahr 2003.....	472
Abb. 55: Die mittleren Sommertemperaturen während des Monitorings.	473
Abb. 56: Überlebenskurven der einzelnen Größenklassen bei weiblichen adulten Bechsteinfledermäusen	474
Abb. 57: Quadratische Regression des Lebensfortpflanzungserfolgs gegen die Körpergröße (Unterarmlänge in mm).....	475
Abb. 58: Aufschlüsselung der Phasen, in denen weibliche Bechsteinfledermäuse starben.....	476
Abb. 59: Verlauf der Todesraten für die Jahre 2002-2012	477
Abb. 60: Abhängigkeit der Körpergröße der Töchter von der der Mütter.....	478
Abb. 61: Schwarze und weiße Fledermauskästen (Schwegler 2FN), die den Bechsteinfledermäusen als Tagesquartiere zur Verfügung standen	479
Abb. 62: Anzahl Fledermaustage aufgetragen gegen die mittleren Tagestemperaturen in den Fledermauskästen	480
Abb. 63: Anzahl Fledermaustage aufgetragen gegen die Tagestemperatur. Jeder Punkt steht für einen Fledermauskasten	481

Abb. 64: Schwarze und Weiße Flachkästen, die den Mopsfledermäusen als Quartiere angeboten wurden.....	481
Abb. 65: Anzahl der Fledermaustage aufgetragen gegen die Gesamttagestemperatur	482

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Quadratische Korrelationsmatrix für die 8 von RABITSCH et al. (2010) verwandten Kriterien zur Einstufung zoologischer Zielarten hinsichtlich des Risikos gegenüber dem Klimawandel	21
Tab. 2:	Kriterien zur Beurteilung der Gefährdung von Tierarten durch den Klimawandel.....	22
Tab. 3:	Liste der Arten, welche einem besonders hohen Risiko unterliegen vom Klimawandel in erheblicher Weise negativ beeinträchtigt zu werden (Hochrisiko-Arten).....	23
Tab. 4:	Liste der Hochrisiko-Arten gegenüber dem Klimawandel, welche im Rahmen von Literaturstudien bearbeitet wurden.....	26
Tab. 5:	Kriterien zur Bestimmung der Festigkeit von Totholzstücken	335
Tab. 6:	Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse mit den beiden Faktoren „Hangseite“ und „Baumart“ und den abhängigen Variablen „Individuenzahl“ und „Artenzahl“	340
Tab. 7:	Effekt des Mikroklimas und des Totholzvorrates auf die Diversität der Totholzkäfer (Artenzahl; Kreuzfensterfallen).....	342
Tab. 8:	Effekt des Mikroklimas und des Totholzvorrates auf die Diversität der Totholzkäfer (Shannon H'Log Base 10; Kreuzfensterfallen)	343
Tab. 9:	Ergebnisse der logistischen Regression von xylobionten Käferarten der Roten Liste D mit den Faktoren „Hangexposition“, „Baumart“, „Temperatur“ und „Lichtverfügbarkeit“	346
Tab. 10:	Mittlere Tagestemperatur und relative Luftfeuchte der Monate Juni bis August der Jahre 1995 bis 2010.....	369
Tab. 11:	Fundorte und klimatische Ansprüche aller untersuchten Arten.....	371
Tab. 12:	Steigungen (m) und Korrelationskoeffizienten (R ²) der Regressionsgeraden von Konsum (K) und Respiration (R) der untersuchten Arten mit steigender Temperatur und Testwerte des Steigungsvergleichs	383
Tab. 13:	Ergebnisse von Varianzanalysen für den Effekt der Temperatur-Gruppe auf die larvale Entwicklungsdauer und die Puppenmasse	397
Tab. 14:	Charakterisierung der Cluster (C) nach Indikatorarten und Standorteigenschaften	400
Tab. 15:	Ergebnis von Korrelationsanalysen zwischen NMDS-Achsen und Umweltvariablen	401
Tab. 16:	Übersicht über die beprobten Quellen und Quellbäche	414
Tab. 17:	Zahl der in den Versuchen verwandten Individuen von <i>B. compressa</i> pro Gruppe und Quelle	415
Tab. 18:	Temperaturszenarien, denen <i>B. compressa</i> über einen Zeitraum von 20 Tagen in Experimenten I und II ausgesetzt wurde.	415

Tab. 19: Charaktersistierung der Quellabschnitte der verschiedenen Quellen	417
Tab. 20: Korrelationsmatrix nach Spearman: Mittelwert der Temperatur, Maximaltemperatur, Minimaltemperatur, Standardabweichung der Temperatur, Individuendichte und Quellabschnitt	417
Tab. 21: Nominal-logistische Regressionen für den Einfluss von Temperaturgruppe und Quelle auf die Mortalitätsrate von <i>B. compressa</i> in den Experimenten I und II	419
Tab. 22: Anzahl und Anteil überlebender bzw. nicht überlebender Individuen von <i>B. compressa</i> in Abhängigkeit von der Temperaturgruppe in den Experimenten I und II	419
Tab. 23: Temperaturdaten der einzelnen Versuchsansätze	435
Tab. 24: GPS Koordinaten und Habitate der untersuchten Moorfroschgewässer in der Umgebung von Greifswald	446
Tab. 25: Die vier Größenklassen, eingeteilt in Quartile.....	473
Tab. 26: Verschiedene Paarvergleiche der einzelnen Größenklassen.....	474

Vorwort

Die Ergebnisse von Klima- und Artmodellierungen geben Hinweise darauf, welche Arten von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein könnten. Um vorbeugende Maßnahmen für diese häufig bereits gefährdeten oder geschützten Arten treffen zu können, sind Aussagen zu artspezifischen Reaktionen auf den Klimawandel notwendig und hilfreich. Bei den vorliegenden Analysen und Modellen wird bislang hypothetisch davon ausgegangen, dass die Arten wandern bzw. ihr Verbreitungsgebiet sich im Ganzen bei in der Regel gleichbleibenden Umweltansprüchen der betreffenden Arten verschiebt. Die Frage nach der *tatsächlichen* Reaktionsfähigkeit und Anpassungskapazität einzelner Arten im Hinblick auf potenzielle Habitatänderungen wurde und konnte bislang noch nicht vertiefend analysiert werden. Für die Entscheidung, ob Maßnahmen zu ergreifen sind, und wenn ja, welche, ist es wichtig, entsprechende Zusatzinformationen für die betreffenden Arten vorliegen zu haben. Aus naturschutzfachlicher Sicht sind solche Arten von besonderem Interesse, die als Hochrisiko-Arten unter Klimawandel bereits identifiziert wurden, die schon jetzt gefährdet sind bzw. für die Deutschland eine hohe Verantwortlichkeit besitzt.

Um für den zoologischen Artenschutz eine fundierte fachliche Basis zu schaffen, hat das BfN das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (F+E) „Anpassungskapazität ausgewählter Arten im Hinblick auf Änderungen durch den Klimawandel“ initiiert. Der vorliegende Band stellt die Ergebnisse des Vorhabens dar.

Ziel des Vorhabens war die Ermittlung und Analyse der Anpassungskapazität von 50 ausgewählten naturschutzfachlich wichtigen Modellarten (Wirbellose und Wirbeltiere) in Bezug auf den Klimawandel. Neben einer umfassenden Literaturrecherche wurden für einzelne Arten zusätzlich experimentelle Untersuchungen und Erhebungen im Labor und im Freiland durchgeführt.

Trotz weiterhin bestehender Kenntnislücken und Forschungsdefizite zeigen die auf Grundlage der vorhandenen Ergebnisse und Erkenntnisse vorgenommenen Analysen, dass viele der Modellarten sehr spezifisch auf die direkten und indirekten Folgen des Klimawandels reagieren. In vielen Fällen sind daher artspezifische Lösungen erforderlich, wie sie in den erarbeiteten Art-Steckbriefen jeweils detailliert erläutert werden.

Für alle Modellarten gilt, dass der Fokus der Schutzmaßnahmen auf langfristig überlebensfähigen Populationen liegen sollte, soweit diese noch vorhanden sind. Ziel des Naturschutzes muss die Optimierung der Habitate sein. So sollten Bereiche mit kleinräumig möglichst vielfältigen, mikroklimatisch unterschiedlichen Mikrohabitaten geschaffen werden, um den Organismen Wahlmöglichkeiten innerhalb ihres Lebensraums zu bieten.

Zusätzlich konnten wichtige Habitate und Habitatstrukturen identifiziert werden, die eines besonderen Schutzes bedürfen. Dazu zählen insbesondere Moore, Quellen und Fließgewässer sowie strukturreiche Laubwälder mit einem hohen Anteil an Totholz.

Weiterhin als besonders gefährdet erscheinen die Arten des Grünlands, insbesondere an feuchten Standorten durch Entwässerung.

Wir hoffen, durch die vorliegende Studie den Akteuren im Naturschutz wertvolle Informationen zu geben, um Handlungsoptionen abwägen zu können, die sich in Deutschland aus den Folgen des zu erwartenden Klimawandels für den Schutz der Arten ergeben.

Prof. Dr. Beate Jessel
Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

1 Allgemeine Einleitung

1.1 Stand der Wissenschaft, zu bearbeitende Fragen und Arbeitsgruppen

Der Klimawandel wird als einer der Hauptgründe für den derzeitigen und zukünftig erwarteten weltweiten Verlust von Biodiversität angesehen (SALA et al. 2000, THOMAS et al. 2004, IPCC 2007a, b). Gemäß früheren Szenarien kann von einem möglichen Verlust von 5 bis 30% der Tier- und Pflanzenarten in Deutschland in Folge des Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten ausgegangen werden (BMU 2008). Im Rahmen der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU 2007) hat sich Deutschland daher zum Ziel gesetzt, die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland abzuf puffern bzw. zu minimieren. Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (BMU 2008) formuliert als Ziele, die „Verwundbarkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels“ abzumindern und die Anpassungsfähigkeit natürlicher Systeme zu erhalten oder zu steigern.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf einzelne Arten sind allerdings sehr schwer prognostizierbar (PARMESAN 2006). Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass Arten auf unterschiedliche Art und Weise auf den Klimawandel antworten. Sie können reagieren 1.) mit phänotypischer Plastizität (z.B. kurzfristige physiologische Reaktionen, die etwa die Hitze- oder Kälteresistenz um den Faktor 3 binnen 48 Stunden ändern können (FISCHER et al. 2010), mit langfristigen Reaktionen während der Entwicklung, z.B. verändertes Größenwachstum (KARL et al. 2008) bzw. mit Verhaltensanpassungen wie z.B. dem Aufsuchen mikroklimatisch geeigneter Teillebensräume (KERTH et al. 2001) oder mit einer Verlagerung von Aktivitätsphasen etc.), 2.) mit genetischer Anpassung (Evolution) oder 3.) mit Verlagerung ihrer Verbreitungsgebiete (Mobilität; PARMESAN et al. 1999, PARMESAN 2006). Wird keine dieser drei (PEM) Optionen realisiert, wird die betreffende Art bei sich ändernden Klimabedingungen aussterben.

Aus den oben genannten naturschutzfachlichen und wissenschaftlichen Gründen ist es von essentieller Bedeutung für die Naturschutzplanung, die Reaktionsfähigkeit und Anpassungskapazität von Arten gegenüber sich ändernden Umweltbedingungen verlässlich abschätzen zu können. Hier setzt das vorliegende F+E-Vorhaben an. Es hat zum Ziel, die Wirkungsweise der für die Anpassung an den Klimawandel relevanten Faktoren auf Modellarten (Wirbellose und Wirbeltiere) zu untersuchen und daraus Schutzempfehlungen und Handlungsanweisungen für den Erhalt von in Deutschland für den Naturschutz wichtigen Arten abzuleiten. Somit erfüllt das F+E-Vorhaben die in der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (BMU 2008) erhobene Forderung, „die Wissensbasis zu verbessern, um Chancen und Risiken besser benennen und vermitteln sowie Handlungsmöglichkeiten aufzeigen zu können“.

Aus naturschutzfachlicher Sicht sind solche Arten von besonderem Interesse, die als Hochrisiko-Arten anzusehen sind, die schon jetzt gefährdet sind und für die Deutschland eine hohe Verantwortlichkeit zum weltweiten Erhalt besitzt. Im Rahmen des vorgestell-

ten F+E-Vorhabens wurde die Anpassungskapazität von 50 ausgewählten Hochrisiko-Tierarten im Hinblick auf den Klimawandel in Deutschland analysiert. Unter Hochrisikoarten verstehen wir Arten, die in der Klimasensibilitätsanalyse von RABITSCH et al. 2010 am negativsten durch die Folgen des Klimawandels betroffen sein werden. Als Grundlage wurden die bekannten Klimaszenarien des IPCC (IPCC 2007a, b) und Ergebnisse zu Tierarten aus einem Vorläufer-Forschungs- und Entwicklungsprojekt (RABITSCH et al. 2010) verwendet. Teil des Vorhabens waren zudem experimentelle Erhebungen zu einem Teil der in einer Literaturrecherche erfassten 50 Hochrisiko-Tierarten. Darauf aufbauend sollten Handlungsempfehlungen für den Naturschutz entwickelt und fachlich fundiert abgeleitet werden.

Im Rahmen aktueller Diskussionen um die biologischen Auswirkungen des Klimawandels werden sogenannte „Climate Envelope Models“ häufig verwendet (PEARSON & DAWSON 2003). Derartige Modelle versuchen, die zukünftige Verbreitung von Arten auf der Basis ihrer gegenwärtigen Umweltansprüche und prognostizierter Klimaänderungen vorherzusagen. Implizite Annahmen der meisten dieser Modelle sind, dass 1.) Dispersion ohne Einschränkung möglich ist (zukünftig geeigneten Habitate können erreicht werden), 2.) die Etablierung gelingt und, dass sich 3.) die Umweltansprüche der betreffenden Arten nicht ändern. Die genannten Annahmen sind allerdings unrealistisch, da sie wichtige Aspekte nicht ausreichend berücksichtigen: 1.) die artspezifische Anpassungskapazität (genetisch und plastisch), die fundamentalen Einfluss auf die Ergebnisse von Vorhersagen haben kann, da sich die Umweltansprüche entsprechend ändern können, 2.) Änderungen biotischer Interaktionen (z.B. Herbivor-Pflanze oder Wirt-Parasit) infolge artspezifischer Reaktionen und 3.) Unterschiede im Dispersionspotential zwischen Arten sowie in Abhängigkeit vom Fragmentierungsgrad der Landschaft. Letzteres ist insbesondere für gefährdete Arten mit geringem Dispersionspotential problematisch. Zudem nimmt aus einer Reihe von Gründen der Fragmentierungsgrad der Lebensräume in Deutschland weiter zu, so dass selbst vergleichsweise dispersionsstarke Arten mit Barriereeffekten konfrontiert sind. Historische Daten zeigen eindeutig, dass geographische Verschiebungen ganzer Lebensgemeinschaften, wie von den „Climate Envelope Models“ vorhergesagt, aus den genannten Gründen nicht zu erwarten sind (JACKSON & SAX 2010). Verlässliche Voraussagen zu Reaktionen einzelner Arten müssen daher neben einschlägigen Klimaszenarien (z.B. IPCC) die Anpassungskapazität, speziell genetische Adaptation, phänotypische Plastizität (Verhalten, Morphologie und Physiologie), Dispersionspotential, die Landschaftsstruktur und mögliche Änderungen in biotischen Interaktionen berücksichtigen. Hier setzt das F+E-Vorhaben an. Die Projektgemeinschaft bestand aus fünf Arbeitsgruppen (AG) mit sich ergänzenden Arbeitsgebieten, um in einem vergleichenden Ansatz räumlich und taxonomisch breit gefächert das gestellte Thema umfassend bearbeiten zu können.

Prof. Dr. Nico Blüthgen, Ecological Networks, Technische Universität Darmstadt

Die AG Blüthgen widmete sich in den empirischen Studien Laborexperimenten zur Anpassungskapazität von moorbewohnenden Nachtfaltern. In der Literaturstudie wurde mit *Mycula mossakowskii* eine Vertreterin der Spinnentiere, sowie neun Nachfalterarten (Bartflechten-Rindenspanner *Alcis jubata*, Moorbunteule *Coranarta cordigera*, Moowiesen-Striemenspanner *Chariaspilates formosaria*, Grüner Flechten-Rindenspanner *Cleorodes lichenaria*, Moosbeerenspanner *Carsia sororiata*, Amethysteule *Eucarta amethystina*, Gagelstrauch-Moor-Holzeule *Lithophane lamda*, Heidebürstenspanner *Orgyia antiquoides*), bearbeitet.

Prof. Dr. Klaus Fischer, Tierökologie, Zoologisches Institut, Universität Greifswald

In der Arbeitsgruppe von Klaus Fischer wurden Laborversuche zur Klimasensibilität der Röhn-Quellschnecke *Bythinella compressa* und am Blauschillernden Feuerfalter *Lycaena helle* durchgeführt.

Neben den sechs Tagfaltern (Heilziest-Dickkopffalter *Carcharodus floccifera*, Goldener Scheckenfalter *Euphydryas aurinia*, Blauschillernder Feuerfalter *Lycaena helle*, Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling *Maculinea nausithous*, Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling *Maculinea teleius*, Schwarzer Apollo *Parnassius mnemosyne*) wurden mit Edelkrebs *Astacus astacus* und Steinkrebs *Austropotamobius torrentium* zwei Vertreter der Krebse sowie mit der Gefleckten Schnarrschrecke *Bryodemella tuberculata* eine Vertreterin der Heuschrecken bearbeitet.

Prof. Dr. Gerald Kerth, Angewandte Zoologie und Naturschutz, Zoologisches Institut, Universität Greifswald

In der AG Kerth gehen in den empirischen Teil Langzeitdaten eines 16-jährigen Monitorings der Bechsteinfledermaus *Myotis bechsteinii* ein. Dies wird ergänzt durch drei Feldstudien nahe Würzburg. Zwei davon sind Bachelorarbeiten zur Quartierwahl a) der Bechsteinfledermaus und b) der Mopsfledermaus *Barbastella barbastellus*. Die dritte Arbeit im Freiland ist eine Masterarbeit zur Thermoregulation von Bechsteinfledermäusen.

Für die Literaturstudie wurden vier Vertreter der Fische (Groppe *Cottus gobio*, Atlantischer Lachs *Salmo salar*, Äsche *Thymallus thymallus* und die Stechlin-Maräne *Coregonus fontanae*) sowie fünf Säugetiere (Mopsfledermaus *Barbastella barbastellus*, Bechsteinfledermaus *Myotis bechsteinii*, Alpensteinbock *Capra ibex ibex*, Alpenschneehase *Lepus timidus varronis* und die Waldbirkenmaus *Sicista betulina*) bearbeitet.

PD Dr. Elisabeth Obermaier, Ökologisch-Botanischer Garten, Universität Bayreuth

Die AG Obermaier führt im empirischen Teil Freilandstudien zu xylobionten Käfern im nördlichen Steigerwald durch.

In der Literaturstudie wurden sieben Vertreter der Käfer (Kurzschrüter *Aesalus scarabaeoides*, Hochmoorlaufkäfer *Carabus menetriesi pacholei*, Grubenlaufkäfer *Carabus variolosus nodulosus*, Scharlachkäfer *Cucujus cinnaberinus*, Große Birken-Prachtkäfer *Dicerca furcata*, Veilchenblaue Wurzelhals-Schnellkäfer *Limoniscus violaceus* und der Gestreifelte Bergwald-Bohrkäfer *Stephanopachys substriatus*) bearbeitet.

PD Dr. Mark-Oliver Rödel, Herpetologie, Abteilung Diversitätsdynamik, Museum für Naturkunde Berlin

Die Arbeitsgruppe von Mark-Oliver Rödel führte für die empirischen Studien Freilandversuche zur Anpassungskapazität von Moorfrosch *Rana arvalis* und Gelbbauchunke *Bombina variegata* durch.

Neben drei Amphibien (Gelbbauchunke *Bombina variegata*, Moorfrosch *Rana arvalis* und Alpensalamander *Salamandra atra*) wurden vier Vertreter der Libellen (Alpen-Mosaikjungfer *Aeshna caerulea*, Hochmoor-Mosaikjungfer *Aeshna subarctica elisabethae*, Alpen-Smaragdlibelle *Somatochlora alpestris* und die Zwerglibelle *Nehalennia speciosa*) behandelt.

1.2 Arbeitsziele und Aufbau des Vorhabens

Das Hauptziel des F+E-Vorhabens „Anpassungskapazität ausgewählter Arten im Hinblick auf Änderungen durch den Klimawandel“ (FKZ 3511 86 0200) ist die Untersuchung der Anpassungskapazität ausgewählter naturschutzfachlich wichtiger Modellarten (Wirbellose und Wirbeltiere) in Bezug auf den Klimawandel.

Zunächst wurden 50 Tierarten aus den 386 untersuchten Arten (ohne Vögel) von RABITSCH et al. (2010) für weitergehende Betrachtungen ausgewählt. Die Kriterien für die Auswahl bestanden darin, dass die jeweilige Art in Deutschland eine hohe Schutzpriorität hat und (mutmaßlich) negativ vom Klimawandel (d.h. erhöhte Temperaturen, verringerte oder veränderte Niederschlagsverteilung) betroffen sein wird. Zu diesen 50 Arten wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt.

Anschließend erfolgte bei ausgewählten Modellarten eine Abschätzung des jeweiligen Anpassungspotentials auf der Basis von Freilandstudien und Laborexperimenten. Hierbei ging es um die Untersuchung des Einflusses von Klimaänderungen inkl. extremer Witterungsereignisse (Hitzewellen, Trockenstress, starke Fluktuationen) auf Fitnessparameter (Überleben, Fortpflanzung). Die Untersuchungsgebiete (insbesondere Feuchtgebiete und Wälder) lagen vor allem in Südwest- und Nordost-Deutschland und damit in

zwei Regionen, die in Deutschland in besonderem Umfang vom Klimawandel betroffen sein werden (RABITSCH et al. 2010).

Für Käfer, Amphibien und Säugetiere gibt es laut RABITSCH et al. (2010) proportional zu ihrer Bedeutung besonders wenige Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels. Weiterhin sind Schmetterlinge, Käfer und Amphibien von RABITSCH et al. (2010) im Verhältnis zu ihrer Bedeutung zu einem höheren Prozentsatz als Hoch-Risiko (HR) Arten aufgelistet als andere taxonomische Gruppen. Die Untersuchung der Anpassungskapazität bzgl. des Klimawandels bei diesen Tiergruppen stand daher im Fokus unserer Untersuchungen, um begleitende Schutzmaßnahmen planen und effektiv umsetzen zu können. Für eine weitere wichtige Artengruppe, die Weichtiere, stand mit Dr. Martin Haase ein weiterer Experte am Zoologischen Institut der Universität Greifswald als Kooperationspartner zur Verfügung. Weitere Experten für verschiedene Tiergruppen wurden ebenfalls bei der Endredaktion der Steckbriefe hinzugezogen.

2 Auswahl von 50 Hochrisiko-Arten

2.1 Ausgangslage

Auf Grundlage der von RABITSCH et al. (2010) vorgelegten Liste von naturschutzfachlich wichtigen Tierarten, welche durch den Klimawandel gefährdet sind, sollte eine Auswahl von 50 Arten für eine vertiefende Literaturstudie getroffen werden. Die Ausgangsliste umfasst 386 Arten (ohne Vögel), die alle eine hohe Relevanz für den Naturschutz in Deutschland besitzen. Die Liste umfasst streng geschützte Arten nach der Bundesartenschutzverordnung, Arten der FFH-Richtlinie (Anhänge II und IV) und Arten, für deren Erhalt Deutschland eine besondere Verantwortung trägt. Folgende Kriterien waren für die Auswahl der 50 Arten maßgeblich: 1) Die betreffenden Arten sollten durch den Klimawandel in besonderem Maße gefährdet sein. 2) Eine Literaturstudie muss durchführbar, d.h. es muss geeignete Literatur vorhanden sein. Für die Auswahl wurden die Kriterien von RABITSCH et al. (2010) geprüft und weiterentwickelt.

2.2 Festlegung der Bewertungskriterien

RABITSCH et al. (2010) verwendeten insgesamt 8 Kriterien, auf welchen ihre Einstufungen der Arten nach Risikoklassen gegenüber dem Klimawandel beruhen. Diese wurden zunächst auf Kovarianzen hin statistisch untersucht (Tab. 1). Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass viele Faktoren untereinander korrelieren, wobei die meist relativ niedrigen Korrelationskoeffizienten zu beachten sind (allerdings auch die geringe Anzahl an Klassen). Biotopbindung korrelierte mit 4 weiteren Faktoren, ökologische Amplitude mit 6, Dispersionsfähigkeit (bei RABITSCH et al. 2010 als ‚Migrationsfähigkeit‘ bezeichnet) mit 2, Arealgröße mit 5, Bestandssituation mit 5, klimawandel-sensible Zone mit 4, Vermehrungsrate mit 4 und Rote-Liste-Status (Deutschland) mit 6 Kriterien. Diese Ergebnisse legen nahe, dass eine Reduzierung der Faktoren sinnvoll ist. Eine Faktorenreduzierung hat den großen Vorteil, dass es leichter ist, jene Faktoren besonders stark zu gewichten, welche für die Sensitivität gegenüber dem Klimawandel die größte Relevanz haben (siehe unten).

Von allen Kriterien war Dispersionsfähigkeit jenes, welches die geringste Anzahl an Kovarianzen (2) mit anderen Faktoren aufwies. Folglich hat sie den größten eigenständigen Informationswert und wurde als Kriterium aufgenommen. Alle anderen Kriterien waren mit 4-6 anderen Kriterien korreliert. Die mit Abstand stärkste Korrelation wurde zwischen Bestandsgröße und Rote-Liste-Status gefunden, was nahelegt, dass beide Kriterien für die vorliegende Fragestellung weitgehend redundant sind. Folglich wurde nur eines von beiden, nämlich der Rote-Liste-Status, als Kriterium aufgenommen. Dem Rote-Liste-Status wurde hier Priorität eingeräumt, weil die Einstufungen in den Roten Listen seit vielen Jahren nach standardisierten und daher zwischen verschiedenen taxonomischen Gruppen vergleichbaren Kriterien stattfindet. Die zweitstärkste Korrelation wurde zwischen Dispersionsfähigkeit und Arealgröße gefunden, weshalb letztere nicht

weiter berücksichtigt wurde. Hinsichtlich der Stärke der Korrelationen folgt nun jene zwischen Biotopbindung und ökologischer Amplitude. Dies war zu erwarten, da beide Kriterien auch ökologisch schwierig zu trennen sind. Arten, die eine geringe ökologische Amplitude haben, zeigen typischerweise eine hohe Biotopbindung und umgekehrt. Folglich wurde ausschließlich die ökologische Amplitude weiter verfolgt, da hierdurch die mutmaßlich besonders durch den Klimawandel gefährdeten Arten, wie z.B. kalt-stenotope Arten, eine besondere Hervorhebung erfahren können. Die beiden verbleibenden Kriterien, Klimawandel-sensible Zone und Vermehrungsrate, zeigen nur relativ schwache Beziehungen zu anderen Kriterien und untereinander, und wurden daher beide weiter berücksichtigt. Zur Bewertung der Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel werden folglich fünf der ursprünglichen acht Kriterien nach RABITSCH et al. (2010) verwendet: Ökologische Amplitude, Dispersionsfähigkeit, Klimawandel-sensible Zone, Vermehrungsrate, Rote-Liste-Status (s. a. Tab. 2).

Tab. 1: Quadratische Korrelationsmatrix (basierend auf Spearman-Rang-Korrelationen) für die 8 von RABITSCH et al. (2010) verwandten Kriterien zur Einstufung zoologischer Zielarten hinsichtlich des Risikos gegenüber dem Klimawandel. Signifikante Korrelationen sind in fett und kursiv hervorgehoben. Die Verwendung von Kendalls Tau ergab qualitativ identische Ergebnisse. Var1: Biotopbindung, Var2: ökologische Amplitude, Var3: Dispersionsfähigkeit, Var4: Arealgröße, Var5: Bestands-situation, Var6: Klimawandel-sensible Zone, Var7: Vermehrungsrate, Var8: Rote-Liste-Status.

	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8
Var1	0,249	-0,019	0,040	0,197	0,189	0,020	0,235
Var2		0,227	0,205	0,233	0,239	-0,004	0,205
Var3			0,302	0,003	0,017	-0,066	0,068
Var4				0,112	0,053	-0,113	0,118
Var5					0,197	0,113	0,584
Var6						0,104	0,140
Var7							0,109

Zustands-Wertigkeits-Relation für die ausgewählten Kriterien

Die zuvor begründete Reduzierung der Kriterien hat neben statistischen Erwägungen den Vorteil, dass bei Verwendung einer geringeren Anzahl an Faktoren jene stärker betont werden können, welche die engsten Bezüge hinsichtlich einer Gefährdung durch den Klimawandel erwarten lassen. Dies sind ohne jeden Zweifel die ökologische Amplitude und die Dispersionsfähigkeit. Den größten Gefährdungsfaktor sollte hierbei eine enge ökologische Amplitude darstellen. Insbesondere kalt-stenotope Arten sollten am stärksten von den zu erwartenden Veränderungen betroffen sein. Dieser Faktor wurde

daher in den nachfolgenden Auswertungen dreifach gewichtet (Tab. 2). Den zweitwichtigsten Gefährdungsfaktor sollte eine eingeschränkte Dispersionsfähigkeit darstellen, da in Zukunft klimatisch geeignete Gebiete nicht oder nur bedingt erreicht werden können. Da jedoch nicht alle Arten mit einem geringen Dispersionspotential vom Klimawandel negativ betroffen sein werden (d.h. es ergibt sich mitunter gar keine Notwendigkeit, neue Lebensräume zu erschließen, z.B. bei vielen warm-stenotopen Arten), wird dieses Kriterium ‚nur‘ doppelt gewichtet. Die restlichen drei Faktoren wurden einfach gewichtet. In der verwendeten Punktwertzuweisung erhalten besondere durch Klimawandel gefährdete Arten eine niedrige Punktzahl (Tab. 2). Zur weiteren Auswertung wurden gewichtete Mittelwerte berechnet. Bei fehlenden Angaben zu bestimmten Kriterien wurden die Mittelwerte ohne die jeweiligen Kriterien berechnet.

Tab. 2: Kriterien zur Beurteilung der Gefährdung von Tierarten durch den Klimawandel. Angegeben sind die verwendeten Kategorien, die Punktwertzuweisung (in Klammern) sowie die Gewichtung. Arten, die besonders durch den Klimawandel gefährdet sein ...sollten, erhalten bei der Berechnung gewichteter Mittelwerte einen niedrigen Wert.

	Kategorien (Punktwert)			Gewichtung
ökologische Amplitude	eurytop, indifferent (3)	Stenotop [#] (2)	kalt- stenotop (1)	3
Dispersionsfähigkeit	hoch (3)	mittel (2)	gering (1)	2
Klimawandel- Sensitivität der Zone	gering (3)	mittel (2)	hoch (1)	1
Vermehrungsrate	hoch (3)	mittel (2)	gering (1)	1
Rote-Liste-Status	*, D, V (3)	R, G, 3, 2 (2)	1 (1)	1

Rankingliste

Basierend auf den zuvor genannten Schritten wurde eine Rankingliste erstellt. Die Arten wurden in absteigender Folge, bezogen auf die Gefährdung durch den Klimawandel, aufgelistet.

Artenauswahl für die Literaturstudie

Ziel der Untersuchung war es, 50 Arten auswählen, welche einem hohen Risiko unterliegen, vom Klimawandel in erheblicher Weise beeinträchtigt zu werden. Aus unterschiedlichen Gründen konnten die 50 am höchsten platzierten Arten nicht direkt in die Auswahlliste für die Literaturstudie übernommen werden. Zunächst blieben alle Vogelarten unberücksichtigt, da diese in anderen Projekten des BfN bearbeitet werden. Weiterhin blieben alle Arten unberücksichtigt, für welche es in Deutschland keine bzw. kei-

ne regelmäßigen Reproduktionsnachweise gibt. Hierbei handelt es sich zum einen um wandernde Arten, welche in Deutschland nicht reproduzieren, zum anderen um ausgestorbene bzw. verschollene Arten. Erstere wurden nicht weiter berücksichtigt, weil davon ausgegangen wird, dass Mitigations- und Adaptationsstrategien in erster Linie in den jeweiligen Reproduktionsgebieten greifen müssen. Letztere, weil angesichts limitierter Ressourcen im Naturschutz eine Prioritätensetzung unabdingbar ist. Zwar würde derzeit verschollenen bzw. ausgestorbenen Arten eine hohe Naturschutzbedeutung bei Wiederauftreten zukommen, die Wahrscheinlichkeit hierfür wird allerdings gegenwärtig als sehr gering eingestuft, insbesondere bei den hier auszuwählenden Risikoarten. Für diese Arten, welche mutmaßlich vom Klimawandel in besonderer Weise negativ betroffen sein werden, ist eine Wiederbesiedlung Deutschlands in absehbarer Zeit, im Gegensatz zu wärmeliebende Arten, nicht zu erwarten. Folglich sollten sich nach unserer Einschätzung Schutzbemühungen auf Arten konzentrieren, welche gegenwärtig in Deutschland reproduzieren und zumindest lokal, vitale Populationen aufweisen.

Unter den resultierenden Hochrisiko-Arten befanden sich jeweils mehrere Quellschnecken (Gattung *Bythinella*) und *Coregoniden*. Dies ist biologisch auch nachvollziehbar. Da die ökologischen Ansprüche der betreffenden Arten jedoch relativ ähnlich sind, wurde aus beiden Gruppen jeweils nur eine Art als Repräsentant ausgewählt zugunsten einer größeren taxonomischen Diversität (siehe unten). Bei den Quellschnecken wurde *Bythinella compressa*, bei den *Coregoniden* *Coregonus fontane* ausgewählt. Letztere Art wurde ausgewählt, da es für *C. bavaricus* seit 1951 nur drei Nachweise gibt (FREYHOF 2005) und weil für *C. hoferi* die letzten Nachweise aus den 1940ern stammen (KOTTELAT & FREYHOF 2007). Beide Arten müssen folglich als verschollen eingestuft werden. Schließlich enthielt die Liste eine große Anzahl an warm-stenotopen Arten. Diese wurden im Einzelfall überprüft und nur dann aufgenommen, wenn tatsächlich eine Gefährdung durch den Klimawandel plausibel erschien. Im Ergebnis ergab sich die nachfolgend aufgeführte Liste (Tab. 3).

Tab. 3: Liste der Arten, welche einem besonders hohen Risiko unterliegen vom Klimawandel in erheblicher Weise negativ beeinträchtigt zu werden (Hochrisiko-Arten).

Nr.	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
1	<i>Aegopinella epipedostoma</i>	(Nördliche) Verkannte Glanzschnecke
2	<i>Aesalus scarabaeoides</i>	Kurzschröter
3	<i>Aeshna caerulea</i>	Alpen-Mosaikjungfer
4	<i>Aeshna subarctica elisabethae</i>	Hochmoor-Mosaikjungfer
5	<i>Alcis jubata</i>	Bartflechten-Baumspanner
6	<i>Anarta cordigera</i>	Moorbunteule
7	<i>Assiminea grayana</i>	Marschenschnecke
8	<i>Astacus astacus</i>	Edelkrebs
9	<i>Austropotamobius pallipes</i>	Dohlenkrebs

Nr.	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
10	<i>Austropotamobius torrentium</i>	Steinkrebs
11	<i>Barbastella barbastellus</i>	Mopsfledermaus
12	<i>Boloria titania</i>	Natterwurz-Perlmuttfalter
13	<i>Bryodemella tuberculata</i>	Gefleckte Schnarrschrecke
14	<i>Bythinella compressa</i>	Rhön-Quellschnecke
15	<i>Capra ibex</i>	Alpensteinbock
16	<i>Carabus menetriesi pacholei</i>	Hochmoorlaufkäfer
17	<i>Carabus variolosus nodulosus</i>	Schwarzer Grubenlaufkäfer
18	<i>Carcharodus floccifera</i>	Heilziest-Dickkopffalter
19	<i>Carsia sororiata</i>	Moosbeeren-Grauspanner
20	<i>Chariaspilates formosaria</i>	Moorwiesen-Striemenspanner
21	<i>Cleorodes lichenaria</i>	Grüner Rindenflechten-Spanner
22	<i>Cochlicopa nitens</i>	Glänzende Glattschnecke
23	<i>Cochlodina costata franconia</i>	Berg-Schließmundschnecke
24	<i>Coregonus fonatne</i>	Stechlin-Maräne
25	<i>Cottus gobio</i>	Groppe
26	<i>Cucujus cinnaberinus</i>	Scharlachkäfer
27	<i>Dicerca furcata</i>	Scharfzähniger Zahnflügel-Prachtkäfer
28	<i>Eucarta amethystina</i>	Amethysteule
29	<i>Euphydryas aurinia</i>	Skabiosen-Schreckenfalter
30	<i>Gyraulus acronicus</i>	Verbogenes Posthörnchen
31	<i>Lepus timidus</i>	Alpenschneehase
32	<i>Limoniscus violaceus</i>	Veilchenblauer Wurzelhals-Schnellkäfer
33	<i>Lithophane lamda</i>	Gagelstrauch-Moor-Holzeule
34	<i>Lycaena helle</i>	Blauschillernder Feuerfalter
35	<i>Maculinea nausithous</i>	Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling
36	<i>Maculinea teleius</i>	Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling
37	<i>Mycula mossakowskii</i>	Zwergspinne
38	<i>Nehalennia speciosa</i>	Zwerglibelle
39	<i>Orgyia antiquiodes (= Teia ericae)</i>	Heide-Bürstenspinner
40	<i>Parnassius mnemosyne</i>	Schwarzer Apollofalter
41	<i>Rana arvalis</i>	Moorfrosch
42	<i>Salamandra atra</i>	Alpensalamander
43	<i>Salmo salar</i>	Lachs
44	<i>Sicista betulina</i>	Birkenmaus
45	<i>Somatochlora alpestris</i>	Alpen-Smaragdlibelle
46	<i>Stephanopachys substriatus</i>	Gestreifelter Bergwald-Bohrkäfer

Nr.	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
47	<i>Theodoxus transversalis</i>	Gebänderte Kahnschnecke
48	<i>Thymallus thymallus</i>	Äsche
49	<i>Unio crassus</i>	Gemeine Flussmuschel
50	<i>Vertigo geyeri</i>	Vierzähnlige Windelschnecke

Plausibilisierung und taxonomische Balancierung

Anschließend wurde die resultierende Liste einer Plausibilisierung unterzogen. In dieser wurde explizit für jede aufzunehmende Art überprüft, ob eine besonders hohe Gefährdung durch den Klimawandel tatsächlich anzunehmen ist. Ferner wurde die gesamte Ausgangsliste nach RABITSCH et al. (2010) auf Arten überprüft, für welche trotz niedrigen Ranges eine hohe Gefährdung durch den Klimawandel anzunehmen ist. Bei beiden Arbeitsschritten wurden die Meinungen von Experten verschiedener Artengruppen berücksichtigt (siehe unten). Gestrichen wurde hierbei zunächst der Dohlenkrebs (*Austropotamobius pallipes*; Nr. 9 in Tab. 3), der in Deutschland seine nördliche Verbreitungsgrenze erreicht und nur lokal vorkommt, und die eurythermere Schwesterart des aufgenommenen Steinkrebsses (*Austropotamobius torrentium*; Nr. 8) ist.

Neu aufgenommen wurden die Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*), die Gelbbauchunke (*Bombina variegata*) und die Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*). Die Flussperlmuschel wurde aufgenommen, weil von einer akuten Gefährdung durch den Klimawandel ausgegangen wird. Die relativ niedrige Platzierung bei RABITSCH et al. (2010) sowie in unserer Auswertung resultiert nach unserer Überzeugung aus Fehleinschätzungen in der Ausgangstabelle. Die Einstufung als schwach stenöke bis indifferente Art mit dem maximalen Punktwert von 3 für ökologische Amplitude erscheint angesichts der Ansprüche der Art (kalkarme, sommerkühle und sauerstoffreiche Bäche) nicht nachvollziehbar. Ebenso ist die Einstufung der Vermehrungsrate als „hoch“ zweifelhaft, da sie offenbar den komplizierten Lebenszyklus der Art mit parasitischen Larvenstadien unberücksichtigt lässt und nur auf Eizahlen beruht. Eine Vielzahl von Studien belegt, dass gerade die geringe Rekrutierung das zentrale Kernproblem beim Schutz dieser Art ist (MOORKENS 2011).

Gelbbauchunke und Bechsteinfledermaus wurden aufgenommen, weil Amphibien und Säuger naturschutzfachlich wichtige Gruppen sind, die allerdings mit nur 2 bzw. 4 Arten etwas unterrepräsentiert erschienen. Zwar sind auch andere Gruppen weniger gut repräsentiert (z.B. Heuschrecken, Spinnen, Krebse), allerdings ergab die Überprüfung der Ausgangsliste bei diesen keine weiteren Arten, welche offensichtliche Kandidaten für eine Aufnahme sind. Bei der Gelbbauchunke gehen wir zudem davon aus, dass sie infolge der Bevorzugung von Klein- und Kleinstgewässern sehr viel stärker durch den Klimawandel gefährdet ist als durch ihre Position in der Liste zum Ausdruck kommt (Gefahr des Austrocknens der Laichgewässer bei längeren Trockenperioden). Bei den Fledermäusen war es so, dass prinzipiell vier Arten für eine Aufnahme in Frage kamen,

welche alle im Ranking den gleichen Punktwert erzielten, *Barbastella barbastellus*, *Eptesicus nilssoni*, *Eptesicus serotinus*, *Myotis bechsteinii*. Hiervon wurden die beiden Arten ausgewählt (*Barbastella barbastellus*, *Myotis bechsteinii*), welche die höhere Naturschutzrelevanz aufweisen, bedingt durch die Listung in Anhang II der FFH-Richtlinie (im Gegensatz zu Anhang IV) sowie eine höhere internationale Gefährdung. Zudem werden beide Arten in einem jüngst erschienen Übersichtsartikel als durch den Klimawandel als besonders gefährdet eingestuft (SHERWIN et al. 2013).

Gestrichen wurden im Gegenzug zwei Molluskenarten, da die Mollusken mit 9 (bzw. 10 inkl. Flussperlmuschel) die am stärksten vertretene Gruppe waren. Dies betrifft zum einen *Aegopinella epipedostoma* (Nr. 1), zum anderen *Cochlicopa nitens* (Nr. 22). Bei beiden Arten handelt es sich um wenig bekannte Taxa, bei welchen u.a. aufgrund von schwieriger Bestimmbarkeit selbst Verbreitungsangaben kritisch zu betrachten sind. Das Endergebnis der Auswahl ist nachfolgend dargestellt (Tab. 4). Bei der Betrachtung der vorgelegten Liste ist zu beachten, dass diese auf der Vorauswahl von RABITSCH et al. (2010) beruht. Dies bedeutet, dass das Fehlen bestimmter zu erwartender Arten (z.B. *Colias palaeno*) darauf zurückzuführen ist, dass die betreffenden Arten die Auswahlkriterien nach RABITSCH et al. (2010) nicht erfüllen.

Tab. 4: Liste der Hochrisiko-Arten gegenüber dem Klimawandel, welche im Rahmen von Literaturstudien bearbeitet wurden.

Nr.	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
1	<i>Aesalus scarabaeoides</i>	Kurzschröter
2	<i>Aeshna caerulea</i>	Alpen-Mosaikjungfer
3	<i>Aeshna subarctica elisabethae</i>	Hochmoor-Mosaikjungfer
4	<i>Alcis jubata</i>	Bartflechten-Baumspanner
5	<i>Anarta cordigera</i>	Moorbunteule
6	<i>Assimineia grayana</i>	Marschenschnecke
7	<i>Astacus astacus</i>	Edelkrebs
8	<i>Austropotamobius torrentium</i>	Steinkrebs
9	<i>Barbastella barbastellus</i>	Mopsfledermaus
10	<i>Boloria titania</i>	Natterwurz-Perlmutterfalter
11	<i>Bombina variegata</i>	Gelbbauchunke
12	<i>Bryodemella tuberculata</i>	Gefleckte Schnarrschrecke
13	<i>Bythinella compressa</i>	Rhön-Quellschnecke
14	<i>Capra ibex</i>	Alpensteinbock
15	<i>Carabus menetriesi pacholei</i>	Hochmoor-Laufkäfer
16	<i>Carabus nodulosus</i>	Schwarzer Grubenlaufkäfer
17	<i>Carcharodus floccifera</i>	Heilziest-Dickkopffalter
18	<i>Carsia sororiata</i>	Moosbeeren-Grauspanner

Nr.	Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name
19	<i>Chariaspilates formosaria</i>	Moorwiesen-Striemenspanner
20	<i>Cleorodes lichenaria</i>	Grüner Rindenflechten-Spanner
21	<i>Cochlodina costata franconia</i>	Berg-Schließmundschnecke
22	<i>Coregonus fontane</i>	Stechlin-Maräne
23	<i>Cottus gobio</i>	Groppe
24	<i>Cucujus cinnaberinus</i>	Scharlachkäfer
25	<i>Dicerca furcata</i>	Scharfzähniger Zahnflügel-Prachtkäfer
26	<i>Eucarta amethystina</i>	Amethysteule
27	<i>Euphydryas aurinia</i>	Skabiosen-Schreckenfalter
28	<i>Gyraulus acronicus</i>	Verbogenes Posthörnchen
29	<i>Lepus timidus</i>	Alpenschneehase
30	<i>Limoniscus violaceus</i>	Veilchenblauer Wurzelhalsschnellkäfer
31	<i>Lithophane lamda</i>	Gagelstrauch-Moor-Holzeule
32	<i>Lycaena helle</i>	Blauschillernder Feuerfalter
33	<i>Maculinea nausithous</i>	Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling
34	<i>Maculinea teleius</i>	Heller Wiesenknopf-Ameisenbläuling
35	<i>Margaritifera margaritifera</i>	Flussperlmuschel
36	<i>Mycula mossakowskii</i>	Zwergspinne
37	<i>Myotis bechsteinii</i>	Bechstein-Fledermaus
38	<i>Nehalennia speciosa</i>	Zwerglibelle
39	<i>Orgyia antiquiodes (= Teia ericae)</i>	Heide-Bürstenspinner
40	<i>Parnassius mnemosyne</i>	Schwarzer Apollofalter
41	<i>Rana arvalis</i>	Moorfrosch
42	<i>Salamandra atra</i>	Alpensalamander
43	<i>Salmo salar</i>	Lachs
44	<i>Sicista betulina</i>	Birkenmaus
45	<i>Somatochlora alpestris</i>	Alpen-Smaragdlibelle
46	<i>Stephanopachys substriatus</i>	Gestreifter Bergwald Bohrkäfer
47	<i>Theodoxus transversalis</i>	Gebänderte Kahnschnecke
48	<i>Thymallus thymallus</i>	Äsche
49	<i>Unio crassus</i>	Gemeine Flussmuschel
50	<i>Vertigo geyeri</i>	Vierzählige Windelschnecke

Ausgewählt wurden somit 3 Amphibien-, 4 Fisch-, 1 Heuschrecken-, 7 Käfer-, 2 Krebs-, 4 Libellen-, 8 Mollusken-, 8 Nachtfalter-, 5 Säuger-, 1 Spinnen- und 7 Tagfalter-Arten. Von den 50 ausgewählten Arten wurden 26 auch von RABITSCH et al. (2010) als Hochrisiko-Arten eingestuft. Weitere 37 von RABITSCH et al. (2010) aufgeführte Hochrisiko-

Arten wurden hier nicht berücksichtigt, weil sie (Mehrfachnennung möglich) entweder in Deutschland keine reproduzierenden Vorkommen (mehr) besitzen (16 Arten), warmstenotope Arten sind, für welche keine unmittelbare Gefährdung durch den Klimawandel erkennbar war (13 Arten, z.B. Aspispiper, Sumpfschildkröte), Vögel sind (6 Arten) oder sie entfielen, weil von den Quellschnecken und *Coregoniden* nur jeweils eine Art stellvertretend ausgewählt wurde (6 Arten). Schließlich wurden 3 weitere Arten nicht aufgenommen, weil sie nach unserem Ranking keinen entsprechenden Listenplatz erzielten (*Phyllodesma ilicifolia*, *Elaphrus ullrichii*) oder die Datenbasis keine sichere Beurteilung erlaubte (*Scotopteryx coarctaria*). Die übrigen 24 von uns ausgewählten Arten werden bei RABITSCH et al. (2010) als solche mit einem mittleren Risiko geführt. Auf Grundlage unserer Bewertungskriterien unterliegen diese Arten wahrscheinlich einem höheren Risiko (z.B. Flussperlmuschel, s.o.; ferner z.B. *Gyraulus acronicus*, *Thymallus thymallus*, *Boloria titania*, *Lepus timidus*).

2.3 Expertenmeinungen

Um eine Einschätzung der Arten-Bewertung durch RABITSCH et al. (2010) sowie eine unabhängige Bewertung der Anpassungskapazität der 386 Arten im Hinblick auf den Klimawandel zu erhalten, holten wir die Meinungen externer Experten zu spezifischen Tiergruppen ein.

Fledermäuse: Dipl. Biol. DANIELA FLEISCHMANN, Universität Greifswald; Dipl. Biol. MARKUS MELBER, Universität Greifswald

Heuschrecken: Prof. Dr. MICHAEL REICH, Universität Hannover

Käfer: Dr. HEINZ BUSSLER und Dr. STEFAN MÜLLER-KRÖHLING, Bayrisches Landesamt für Wald und Forstwirtschaft; PD Dr. JÖRG MÜLLER, Nationalpark Bayerischer Wald; DR. PEER SCHNITTER, Landratsamt für Umweltschutz, Sachsen-Anhalt; Dipl. Biol. JENS KULBE, Greifswald

Libellen: Prof. Dr. ANDREAS MARTENS, PH Karlsruhe

Mollusken: Dr. MARTIN HAASE, Universität Greifswald

Schmetterlinge: Dipl. Biol. DANIEL MASUR, Greifswald; Prof. Dr. KONRAD FIEDLER, Universität Wien; Dr. WOLFGANG A. NÄSSIG, Forschungsinstitut Senckenberg Frankfurt am Main; Dipl.-Ing (Forst) ERNST LOHBERGER, Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Landau a.d. Isar

Spinnentiere: Dr. HANS-BERT SCHIKORA, Schwanewede

3 Literaturstudie

Im Folgenden werden die 50 in der Teilstudie A ausgewählten, potentiell durch den Klimawandel gefährdeten Arten in Form von Artsteckbriefen vorgestellt. Dabei werden zunächst jeweils ihre Biologie inklusive Verbreitung und Habitatansprüche vorgestellt. Im Anschluss werden die Punkte a) **Plastizität**, die Fähigkeit der Arten auf den Folgen des Klimawandels zu reagieren b) **Evolution**, d.h. dass genetische Potential der Arten, aber auch die Reproduktionsgeschwindigkeit um auf die Folgen des Klimawandels über Selektion zu reagieren und c) **Mobilität**, also der Migrationsfähigkeit neue Habitate zu besiedeln, diskutiert. Abschließend folgt neben der Zusammenfassung eine Schutzempfehlung der bearbeiteten Arten.