

**Rainer Schliep, Robert Bartz, Rainer Dröschmeister,
Frank Dziock, Silvia Dziock, Stefan Fina, Ingo Kowarik,
Laura Radtke, Livia Schäffler, Stefan Siedentop,
Christoph Sudfeldt, Sven Trautmann,
Ulrich Sukopp und Stefan Heiland**

Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt



Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt

**Rainer Schliep
Robert Bartz
Rainer Dröschmeister
Frank Dziock
Silvia Dziock
Stefan Fina
Ingo Kowarik
Laura Radtke
Livia Schäffler
Stefan Siedentop
Christoph Sudfeldt
Sven Trautmann
Ulrich Sukopp
Stefan Heiland**

Titelbild: Rainer Schliep

Adressen der Autorinnen und der Autoren:

Rainer Schliep Technische Universität Berlin
Laura Radtke Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
Prof. Dr. Stefan Heiland Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung
 Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin
 E-Mail: stefan.heiland@tu-berlin.de

Dr. Robert Bartz Technische Universität Berlin
Prof. Dr. Ingo Kowarik Institut für Ökologie
 Fachgebiet Ökosystemkunde / Pflanzenökologie
 Rothenburgstr. 12, 12165 Berlin
 E-Mail: kowarik@tu-berlin.de

Silvia Dziock Hochschule für Technik und Wirtschaft, HTW Dresden
Prof. Dr. Frank Dziock Fakultät Landbau / Landespflege
 Professur Tierökologie / Angewandter Umweltschutz
 Pillnitzer Platz 2, 01326 Dresden
 E-Mail: dziock@htw-dresden.de

Dr. Livia Schäffler Museum für Naturkunde Berlin
Dr. Stefan Fina Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung
Prof. Dr. Stefan Siedentop ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH
 Brüderweg 22-24, 44135 Dortmund
 E-Mail: stefan.siedentop@ils-forschung.de

Sven Trautmann Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.
Dr. Christoph Sudfeldt An den Speichern 6, 48157 Münster
 E-Mail: christoph.sudfeldt@dda-web.de

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Ulrich Sukopp Fachgebiet II 1.3 „Monitoring“
Rainer Dröschmeister E-Mail: ulrich.sukopp@bfn.de

Der Text basiert auf dem Abschlussbericht des F+E-Vorhabens „Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3511 82 0400).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturlatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter http://www.bfn.de/0502_skriptliste.html heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
 Konstantinstr. 110
 53179 Bonn
 URL: <http://www.bfn.de>

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

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

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

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

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-207-5

DOI 10.19217/skr470

Bonn – Bad Godesberg 2017

Inhalt

Abbildungsverzeichnis zu Teil I und II	5
Tabellenverzeichnis zu Teil I und II	6
Abkürzungsverzeichnis	7
Zusammenfassung	11
Dank	17
 Teil I: Methodische und inhaltliche Grundlagen der Indikatorenentwicklung	19
1. Einleitung	21
1.1 Hintergrund und Ziele des Projektes	21
1.2 Vorgehensweise und Arbeitsschritte	21
2. Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland	25
2.1 Klimawandel	25
2.2 Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt	28
2.2.1 Klimawandelbedingte Veränderungen von Individuen und Populationen	29
2.2.2 Klimawandelbedingte Veränderungen von Biozönosen	33
2.2.3 Klimawandelbedingte Veränderungen von Ökosystemen	34
2.3 Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt	35
2.3.1 Auswirkungen infolge klimawandelbedingter Veränderungen der Landnutzung	35
2.3.2 Auswirkungen infolge des Ausbaus erneuerbarer Energien	37
2.4 Unsicherheiten bei der Indikation von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt	40
2.5 Klimawandelbedingte Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt	41
2.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	44
3. Methodische Grundlagen	49
3.1 DPSIR-Ansatz	49
3.2 Fachindikatoren zur Politikberatung: Anforderungen und Auswahlkriterien	51
4. Analyse bestehender Indikatorensysteme	57
4.1 Zusammenstellung bestehender Indikatorensysteme zur Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt	57
4.1.1 Indikatorensysteme auf globaler Ebene	60
4.1.2 Indikatorensysteme der Europäischen Union	62
4.1.3 Indikatorensysteme europäischer Nationalstaaten ohne Deutschland	64
4.1.4 Indikatorensysteme in Deutschland	68
4.1.5 Zwischenfazit	72
4.2 Vorauswahl und vertiefte Eignungsprüfung der Indikatoren	73

Teil II: Ergebnisse.....	77
5. Indikatorensatz für ein Fachinformationssystem „Klimawandel und biologische Vielfalt“	79
5.1 Eignung der ausgewählten Indikatoren.....	82
5.2 Indikationsbereiche und Indikationsfelder	85
5.2.1 Indikationsbereich I: Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt	86
5.2.2 Indikationsbereich II: Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt	87
5.2.3 Indikationsbereich III: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel.....	91
5.3 Verbleibende Fehlstellen des Indikatorensatzes	92
5.3.1 Nicht realisierte Indikatoransätze	94
5.3.2 Vorschläge zur Entwicklung weiterer Indikatoren	97
Quellenverzeichnis zu Teil I und II	101
Teil III: Beschreibung der Einzelindikatoren und Indikatoransätze	115
6. Kennblätter der vollständig realisierten Indikatoren (Kategorie 1)	117
6.1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten	119
6.2 Temperaturindex häufiger Brutvogelarten.....	132
6.3 Climate Impact Indicator für Vögel	144
6.4 Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen.....	154
6.5 Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung	161
7. Kennblätter der Indikator-Prototypen (Kategorie 2)	171
7.1 Phänologische Veränderungen bei Tierarten	172
7.2 Veränderung des Arteninventars auf High Nature Value Farmland	183
7.3 Arealveränderungen bei marinen Arten	191
7.4 Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten	199
7.5 Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften.....	215
7.6 Veränderung der Flora auf Alpengipfeln	223
7.7 Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen.....	228
7.8 Länderübergreifender Biotopverbund	233
7.9 Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität	241

Anhänge im Online-Supplement (abrufbar unter http://www.bfn.de/0502_skriptliste.html)

Anhang A: Dokumentation der Prüfaufträge zu den nicht realisierten Indikatoren (Kategorien 3 und 4)

Anhang B: Liste aller in Betracht gezogenen Indikatoren aus bestehenden Indikatorensätzen

Abbildungsverzeichnis zu Teil I und II

Abb. 1:	Arbeitsschritte im Projekt	22
Abb. 2:	Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur, (b) des mittleren globalen Meeresspiegels aus Pegelanpassungen und Satellitendaten und (c) der nord-hemisphärischen Schneebedeckung im März und April im Vergleich zu den entsprechenden Mittelwerten des Zeitraums 1961 – 1990.	26
Abb. 3:	Vereinfachte schematische Darstellung von Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt am Beispiel von Areal- und Häufigkeitsveränderungen	29
Abb. 4:	Bekannte und mögliche Zusammenhänge zwischen Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel sowie deren Wirkungen auf die biologische Vielfalt	43
Abb. 5:	Übersicht zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland und Anpassungsoptionen des Naturschutzes (in Anlehnung an das DPSIR-Modell, beispielhafte Auflistungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit) – Teil 1: Beispiele für direkte Wirkungen des Klimawandels.....	46
Abb. 6:	Übersicht zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland und Anpassungsoptionen des Naturschutzes (in Anlehnung an das DPSIR-Modell, beispielhafte Auflistungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit) – Teil 2: Beispiele für indirekte Wirkungen des Klimawandels.....	47
Abb. 7:	Indikatorkategorien und deren Wechselwirkungen im DPSIR-Modell	51
Abb. 8:	Messnetze des schweizerischen BDM	65
Abb. 9:	Institutionelles Zusammenwirken der Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder mit der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI)	71
Abb. 10:	Indikationsbereiche des zu entwickelnden Indikatorensets im Gefüge von Wirkungen und Rückwirkungen zwischen dem Klimawandel und der biologischen Vielfalt.....	85

Tabellenverzeichnis zu Teil I und II

Tab. 1:	Indikationsbereiche und Indikationsfelder eines Indikatorensystems zur Darstellung von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt.....	23
Tab. 2a:	SRES-Szenariotypen A1 (A1FI, A1T, A1B), A2, B1 und B2 und Zuordnung prognostizierter Temperaturerhöhungen.....	27
Tab. 2b:	RCP-Szenariotypen	27
Tab. 3:	Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation eines Waldökosystems und mögliche Gegenmaßnahmen.....	42
Tab. 4:	Bewertungsskala für das Kriterium 1 „Thematische Relevanz“ – Teilkriterium 1-A „Abdeckung des Indikationsfeldes“	54
Tab. 5:	Bewertungsskala für das Kriterium 1 „Thematische Relevanz“ – Teilkriterium 1-B „Bezug zum Klimawandel“	54
Tab. 6:	Bewertungsskala für das Kriterium 2 „Ausreichende Datenlage“ – Teilkriterium 2-A „Datenverfügbarkeit“	55
Tab. 7:	Bewertungsskala für das Kriterium 2 „Ausreichende Datenlage“ – Teilkriterium 2-B „Qualität der Daten“	55
Tab. 8:	Bewertungsskala für das Kriterium 3 „Politische Eignung“ – Teilkriterium 3-A „Zielbezug“	56
Tab. 9:	Bewertungsskala für das Kriterium 3 „Politische Eignung“ – Teilkriterium 3-B „Steuerbarkeit“	56
Tab. 10:	Bewertungsskala für das Kriterium 3 „Politische Eignung“ – Teilkriterium 3-C „Verständlichkeit“	56
Tab. 11:	Liste bestehender Indikatorensets, die bei der Vorauswahl prinzipiell relevanter Indikatoren berücksichtigt wurden	59
Tab. 12:	Gesamtübersicht vorläufiger Indikationsfelder, Vorschläge für Indikatoren und Ansatzpunkte für die Entwicklung neuer Indikatoren vor dem Fachgespräch im Januar 2013	74
Tab. 13:	Abschließende Zusammenstellung der Indikationsfelder und Einordnung der Indikatoren hinsichtlich deren Realisierbarkeit	80
Tab. 14:	Bewertung der ausgewählten Indikatoren hinsichtlich deren Eignung für das hier zu entwickelnde Indikatorenset.....	83

Abkürzungsverzeichnis

AK UGRdL	Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
BAFU	Bundesamt für Umwelt (Schweiz)
BAH	Biologische Anstalt Helgoland
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz
BD	Handlungsfeld Biologische Vielfalt der DAS
BdB	Bund deutscher Baumschulen e. V.
BDM	Biodiversitäts-Monitoring (Schweiz)
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BGBI	Bundesgesetzblatt
BIYP	Biodiversity Indicators in your pocket (Vereinigtes Königreich)
BLAG KliNa	Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität und Nachhaltigkeit
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BR	Biosphärenreservat
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BWI	Bundeswaldinventur
CBD	Convention on Biological Diversity (Übereinkommen über die biologische Vielfalt; Vereinte Nationen)
CBI	City Biodiversity Index
CEI	Core Environment Indicators (OECD)
CIESIN	Center for International Earth Science Information Network (Columbia University)
CLC	Corine Land Cover
CLIM	Climate Change Indicators (EEA)
COP	Conference of the Parties (CBD)
CPR	Continuous Plankton Recorder
CSD	Commission on Sustainable Development (Vereinte Nationen)
CSI	Community Specialisation Index
CTI	Community Temperature Index
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
NBS	Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (Deutschland)
DDA	Dachverband deutscher Avifaunisten e.V.
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs (Vereinigtes Königreich)
DGM	Digitales Höhenmodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DPSIR-Modell	Driving Forces-Pressure-State-Impact-Response-Modell
DRL	Deutscher Rat für Landespflege
DUX	Deutscher Umweltindex
DVL	Deutscher Verband für Landschaftspflege e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EBCC	European Bird Census Council
EC	European Commission (Europäische Kommission)
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EPI	Environmental Performance Index
ESI	Environmental Sustainability Index
EU	Europäische Union
ETC/BD	European Topic Centre on Biological Diversity
FBV	Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund
FFH-RL	Fauna-Flora- Habitat-Richtlinie
FG	Fachgespräch
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GDO	Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen e.V.
GD	Generaldirektion (EU)
GIS	Geoinformationssystem
GLORIA	Global Observation Research Initiative in Alpine Environments
GLM	Generalisiertes lineares Modell
GOV	Grande ouverture verticale (Grundschieppnetz)
GPCB	Global Partnership on Cities and Biodiversity
GSBTS	German Small-scale Bottom Trawl Surveys
HNV Farmland	High Nature Value Farmland
IES	Institute for Environment and Sustainability
IBTS	International Bottom Trawl Survey
I-Mi	Indikatoren, die mittelbar übernommen werden können

I-Neu	Indikatoren, die neu zu entwickeln sind
IÖR	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRENA	Indicator Reporting on the Integration of Environmental Concerns into Agriculture Policy
I-Um	Indikatoren, die unmittelbar übernommen werden können
JNCC	Joint Nature Conservation Committee (Vereinigtes Königreich)
JRC	Joint Research Centre
KIS	Kernindikatorensystem Umwelt (Umweltbundesamt)
KMZ	Kurz- bzw. Mittelstreckenzieher
KW	Klimawandel
kW _{el}	Elektrische Leistung in Kilowatt
LAK	Länderarbeitskreis
LANA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LG NRW	Landschaftsgesetz Nordrhein-Westfalen
LIKI	Länderinitiative Kernindikatoren
LRT	Lebensraumtyp
LTER-D	Long Time Ecological Research – Deutschland
LZ	Langstreckenzieher
MDG	Millennium Development Goal
MhB	Monitoring häufiger Brutvögel
MsB	Monitoring seltener Brutvögel
MOBI-e	Biodiversitätsmonitoring (Österreich)
MW _{el}	Elektrische Leistung in Megawatt
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NAOI	Nordatlantischer Oszillationsindex
NGO	Non-Governmental Organisation (Nichtregierungsorganisation)
NHS	Nationale Nachhaltigkeitsstrategie
NLP	Nationalpark
NNM	Nationales Naturmonument
NSG	Naturschutzgebiet
NUTS	Nomenclature des unités territoriales statistiques (hierarchische räumliche Bezugseinheit)
ÖFS	Ökologische Flächenstichprobe
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
PAG	Projektbegleitende Arbeitsgruppe

PAN	Planungsbüro für angewandten Naturschutz
PSR-Modell	Pressure-State-Response-Modell
RCP	Representative Concentration Pathway
RL	Rote Liste
SAHFOS	Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science
SDI	Shannon Diversity Index
SEBI	Streamlining European Biodiversity Indicators
sgG	Streng geschützte Gebiete
SRES	Special Report on Emissions Scenarios (IPCC)
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
SST	Sea Surface Temperature (Meeresoberflächentemperatur)
STI	Species Temperature Index
TK	Topographische Karte
TMD	Tagfalter-Monitoring Deutschland
UBA	Umweltbundesamt
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
UMK	Umweltministerkonferenz
UNEP/GRID	United Nations Environment Programme / Global Resource Information Database (Vereinte Nationen)
UV-Strahlung	Ultraviolette Strahlung
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	World Health Organization (Vereinte Nationen)
WKA	Windkraftanlage
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie (EU)
ZePhyD	Zentralstelle für die Phytodiversität Deutschlands
ZgG	Zertifizierungsgemeinschaft gebietseigener Gehölze

Zusammenfassung¹

1. Der durch den Menschen verursachte Klimawandel führt bereits heute global und somit auch in Deutschland zu Veränderungen der biologischen Vielfalt. Diese werden sowohl durch direkte als auch indirekte Einflüsse des Klimawandels bestimmt. Direkte Wirkungen auf die biologische Vielfalt werden bspw. unmittelbar durch Änderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse oder mittelbar durch veränderte synökologische Beziehungen hervorgerufen. Indirekte Wirkungen resultieren hingegen aus Maßnahmen zum Klimaschutz (z. B. Anbau von Energiepflanzen, Bau von Windenergieanlagen) oder zur Anpassung an den Klimawandel und dessen Folgen (z. B. Bewässerung, Schaffung großflächiger Retentionsräume).
2. Als Teil eines auf Bundesebene angesiedelten Fachinformationssystems „Klimawandel und biologische Vielfalt“ sollten im F+E-Vorhaben „Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3511 82 0400) Fachindikatoren zur Politikberatung entwickelt werden, die komplexe Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Biodiversität so zusammenfassen und anschaulich abbilden, dass Politikerinnen und Politiker sowie andere Akteure bei klima- und biodiversitätsrelevanten Entscheidungen aus Naturschutzperspektive unterstützt und beraten werden. Der Fokus der dafür zu entwickelnden Indikatorenvorschläge sollte auf der Abbildung von Wirkungen des Klimawandels auf Arten und Lebensräume liegen. Entsprechend dem DPSIR-Ansatz der Europäischen Umweltagentur (EEA) sollten Pressure-, State-, Impact- sowie Response-Indikatoren einbezogen werden.
3. Im Ergebnis konnten fünf Indikatoren vollständig realisiert und neun als Prototypen entwickelt werden. Weitere Indikatoren wären zwar inhaltlich sinnvoll, konnten aber nicht vollständig entwickelt und berechnet werden. Hierfür waren – je nach Indikator – unterschiedliche Gründe maßgeblich (s. Punkt 13).
4. Von den vollständig realisierten Indikatoren wurden die folgenden vier für das Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) übernommen (s. Monitoringbericht 2015 zur DAS, UBA 2015, S. 88 ff.): Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten (Kap. 6.1 im vorliegenden Band), Temperaturindex der Vogelartengemeinschaft (Kap. 6.2), Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen (Kap. 6.4), Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und -rahmenplänen (Kap. 6.5). Hinzu kommt der Indikator „Gebietsschutz“, der aus dem Indikatorenset der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) übernommen wurde (s. Indikatorenbericht 2014 zur NBS, BMUB 2015). Der hier neu entwickelte Indikator „Dauer der Vegetationsperiode“ wurde in das Indikatorenset der NBS aufgenommen und ersetzt dort den bisherigen Indikator „Klimawandel und Frühlingsbeginn“ (s. Indikatorenbericht 2014 zur NBS, BMUB 2015).
5. Der Klimawandel führt durch direkte und indirekte Auswirkungen zu teilweise weitreichenden Veränderungen der biologischen Vielfalt, die in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren (z. B. betroffene Arten und Lebensräume) positiv oder negativ bewertet werden können („Gewinner“ und „Verlierer“ des Klimawandels).
 Direkte Beeinträchtigungen biologischer Vielfalt umfassen vor allem Veränderungen von Verbreitungsgebieten, phänologische und physiologische Veränderungen sowie damit verbundene Veränderungen auf der Ebene von Biozöosen und Ökosystemen.
 Indirekte Beeinträchtigungen biologischer Vielfalt entstehen insbesondere über klimawandelbe-

¹ Der vorliegende Band der BfN-Skripten basiert auf dem Abschlussbericht des F+E-Vorhabens „Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3511 82 0400) (Schliep et al. 2016).

dingte Landnutzungsänderungen (hauptsächlich Land-, Forst- und Wasserwirtschaft) und Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen, die wiederum Auswirkungen auf Populationen, Biozönosen und Ökosysteme haben können.

Anpassungen seitens des Naturschutzes sind sowohl bei grundlegenden Werthaltungen als auch bei darauf basierenden Strategien, Zielen, Maßnahmen und Instrumenten erforderlich. Diskutiert werden in diesem Zusammenhang insbesondere die Reduzierung bestehender Belastungen, die nicht durch den Klimawandel verursacht werden (z. B. Fragmentierung, Schadstoffeinträge), die Ausweitung und teilweise konzeptionelle Neuausrichtung von Schutzgebieten und Biotopverbundsystemen, die gezielte Umsiedlung von Individuen oder Populationen sowie die Erhaltung und Förderung genetischer Vielfalt.

6. In Hinblick auf die Auswahl geeigneter Messgrößen für Indikatoren bieten sich vor allem Teilbereiche der Biodiversität (Arten, Lebensräume) an, die eine besondere Klimasensitivität aufweisen und damit als Frühwarnsystem für andere Teile der Biodiversität gelten können. Lebensraumveränderungen oder Arealverschiebungen im montanen Bereich oder im Bereich der Küste scheinen daher in diesem Zusammenhang besonders interessant zu sein.
7. Bei den auf potenzielle Eignung untersuchten bereits existierenden Indikatoren im Themenbereich „Biologische Vielfalt und/oder Klimawandel“ handelte es sich in der Mehrzahl um (natur)wissenschaftliche Indikatoren, die nicht den für das Vorhaben formulierten Anforderungen an Fachindikatoren zur Politikberatung entsprechen. Dafür sind vor allem zwei Gründe ausschlaggebend:
 - Thematischer Bezug: Zwar können alle betrachteten Indikatoren in einem weiten Sinne den Themenbereichen „biologische Vielfalt“ und / oder „Klimawandel“ zugeordnet werden. Aber der Klimawandel ist nur bei wenigen dieser Indikatoren Hauptgegenstand der Bilanzierung. Weiterhin findet sich bei Indikatoren, die zwar einen eindeutigen Bezug zum Klimawandel aufweisen, nur selten zugleich eine klare Verknüpfung zum Thema „biologische Vielfalt“.
 - Datenlage: Es existieren kaum Zeitreihen aus dauerhaften Monitoringprogrammen, häufig sind die zugrunde liegenden Untersuchungen räumlich und zeitlich stark eingeschränkt.

Die bereits existierenden potenziell geeigneten Indikatoren beschreiben überwiegend direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt wie phänologische Veränderungen und Veränderungen von Arealen und Populationen. Je weniger eindeutig die Wirkungsbeziehungen zwischen Klimawandel und biologischer Vielfalt werden, desto weniger geeignete Indikatoren konnten identifiziert werden; dies betraf insbesondere die Ebene der Lebensgemeinschaften und -räume, aber auch den Bereich der indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf biologische Vielfalt infolge von Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen in den verschiedenen Landnutzungsbereichen. Zur Implementierung und Effizienz von Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel wurden in den bestehenden Indikatorensets keine Indikatoren gefunden.

8. Die Indikatoren des zu entwickelnden Indikatorensystems sollten in ihrer Gesamtheit Wirkungsketten abbilden, indem sie Belastungsfaktoren, den Zustand der biologischen Vielfalt, Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt sowie klimawandelbedingte Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in anderen Bereichen in einem ausgewogenen Verhältnis darstellen. Dabei sollte der Wirkungszusammenhang zwischen Klimawandel und Biodiversität belegt – oder zumindest sehr wahrscheinlich – und sehr stark sein. Zur inhaltlichen Systematisierung des Indikatorensets und zur Gewährleistung einer angemessenen Abbildung der einzelnen Aspekte wurde zum einen auf eine im Rahmen des F+E-Vorhabens durchgeführte Analyse der direkten und indirekten Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt zurückgegriffen, zum anderen wurden die Indikatorvorschläge den Kategorien des DPSIR-Ansatzes zugeordnet.

9. Die Anforderungen an die Indikatoren des geplanten Indikatorensets wurden durch drei Kriterien mit insgesamt sieben Teilkriterien abgebildet. Um die Eignung von bestehenden und zu entwickelnden Indikatoren für das zu erstellende Indikatorenset beurteilen zu können, wurde jedes Teilkriterium unabhängig von allen anderen Teilkriterien dreistufig skaliert (hoch, mittel, gering).
- Kriterium 1: Thematische Relevanz. Darunter wird die Aussagekraft verstanden, die ein Indikator für das jeweilige Indikationsfeld hat. Zwei Teilkriterien wurden herangezogen: (1) Deckt der Indikator in Hinblick auf die biologische Vielfalt Kerninhalte des Indikationsfelds ab? (2) Weist der Indikator einen Bezug zum Klimawandel auf?
 - Kriterium 2: Ausreichende Datenlage. Auch hier wurden zwei Teilkriterien herangezogen: (1) Datenverfügbarkeit: die Daten liegen aktuell und in erforderlichem Umfang vor. (2) Qualität der Datenerhebung: diese ist personell, institutionell und finanziell dauerhaft gewährleistet, die erforderlichen Daten und Rechenergebnisse entsprechen wissenschaftlichen Standards.
 - Kriterium 3: Politische Eignung. Die Eignung der Indikatoren für die Politikberatung wird durch drei Teilkriterien bestimmt: (1) Zielbezug: Inwieweit ist der Indikator zu politisch festgelegten Zielen in Beziehung zu bringen bzw. aus Zielsetzungen bundesweiter Strategien und Programme wie der NBS oder DAS ableitbar? (2) Steuerbarkeit: Stellt das Indikandum eine politisch steuerbare Größe dar und ist es einer politischen Steuerung auf nationaler Ebene zugänglich? (3) Verständlichkeit: Der Indikator und seine Berechnungsmethode sind allgemeinverständlich, nachvollziehbar dokumentiert und anschaulich.
10. Mit Hilfe einer Gliederung des Indikatorensets in Indikationsbereiche und Indikationsfelder konnten jene Bereiche identifiziert werden, für die noch keine geeigneten Indikatoren vorliegen und für die neue Indikatoren oder zumindest Ansätze zur Indikatorenentwicklung zu erarbeiten waren. Es wurden drei Indikationsbereiche mit insgesamt 11 Indikationsfeldern festgelegt:

Indikationsbereich I: Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

- Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften
- Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönos
- Veränderungen von Lebensräumen

Indikationsbereich II: Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

- Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel
- Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Forstwirtschaft an den Klimawandel
- Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Wasserwirtschaft an den Klimawandel
- Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen des Tourismus an den Klimawandel
- Veränderungen biologischer Vielfalt infolge der Energiegewinnung aus Windkraft

Indikationsbereich III: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel

- Anpassung naturschutzfachlicher Strategien an den Klimawandel
- Anpassung naturschutzfachlicher Maßnahmen an den Klimawandel
- Erfolge klimawandelbedingter Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen

11. Das erarbeitete Indikatorenset umfasst sowohl bereits vorliegende Indikatoren, die entweder unverändert übernommen oder modifiziert wurden, sowie neu entwickelte Indikatoren. Dabei wurden alle Indikatoren in der Art der Darstellung an die Erfordernisse des Vorhabens angepasst. Die erforderlichen Daten wurden erhoben, die Indikatoren wurden berechnet und in ihrer zeitlichen Veränderung dargestellt.

Die neu entwickelten Indikatorvorschläge wurden geprüft und anschließend entweder vollständig realisiert oder als Prototypen ausgearbeitet. Unter Prototypen werden Indikatoren verstanden, die konzeptionell vollständig entwickelt sind, bei denen aber wegen fehlender Daten keine Berechnungen durchgeführt werden konnten.

Folgende fünf Indikatoren wurden vollständig realisiert:

- **Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten**
Als Hauptindikator werden die klimawandelbedingten Veränderungen im jährlichen Eintrittsdatum von Vorfrühling, Frühsommer, Frühherbst und Winter abgebildet, deren Beginn durch das Eintreten bestimmter Ereignisse in der Entwicklung ausgewählter einheimischer Wildpflanzenarten markiert wird. Der Hauptindikator wird durch einen Indikator zur Dauer der Vegetationsperiode ergänzt, der die Summe der Tage des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes bilanziert. Zusätzlich werden die Verschiebungen im Jahresverlauf für alle zehn phänologischen Jahreszeiten in Form einer phänologischen Uhr graphisch veranschaulicht.
- **Temperaturindex häufiger Brutvogelarten**
Der Temperaturindex summiert die artspezifischen auf das europäische Verbreitungsgebiet bezogenen Temperaturindizes von in Deutschland vorkommenden häufigen Brutvogelarten unter Berücksichtigung der Veränderungen der relativen Häufigkeiten dieser Arten in Deutschland in Bezug zu einem Referenzjahr.
- **Climate Impact Indicator für Vögel**
Der Indikator beschreibt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Arealgrößen häufiger Brutvogelarten, die anhand der Ergebnisse statistischer Prognosemodelle (Modellierungen) in „Klimagewinner“ und „Klimaverlierer“ unterteilt werden.
- **Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen**
Mit diesem Indikator wird jährlich der kumulierte Flächenzuwachs der rückgewonnenen Auenflächen durch Deichrückverlegungen in den Haupteinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee bilanziert.
- **Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung**
Der Indikator beschreibt die Berücksichtigung von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Landschaftsprogrammen (Teil A) und Landschaftsrahmenplänen (Teil B) als prozentuale Anteile der Planwerke an der Gesamtzahl der jeweils ausgewerteten Planwerke.

Insgesamt neun Indikatoren wurden zu Prototypen entwickelt:

- **Phänologische Veränderungen bei Tierarten**
Phänologische Veränderungen bei Tieren sollen anhand zweier taxonomischer Gruppen aus dem terrestrischen und marinen Bereich dargestellt werden. Auswirkungen des Klimawandels auf den Vogelzug werden anhand von Heimzugzeiten in die Brutgebiete erfasst, die auf Veränderungen im Verlauf der Zeit untersucht (Zeitreihen und Vergleich zweier 20jähriger Zeiträume) und auf Zusammenhänge mit dem Nordatlantischen Oszillationsindex (NAOI) aus den vorhergehenden Wintermonaten geprüft werden. Analog dazu werden Verschiebungen des Saisonbeginns bei Zooplanktontaxa auf Veränderungen im Verlauf der Zeit untersucht (Zeitreihen und Vergleich zweier 20jähriger Zeiträume) und auf Zusammenhänge mit den mittleren Meeresoberflächentemperaturen (SST) aus den vorhergehenden Wintermonaten geprüft.

- **Veränderung des Arteninventars auf High Nature Value Farmland**
Der Indikator-Prototyp soll klimawandelbedingte Veränderungen im Vorkommen von Kennarten für das High Nature Value Farmland (HNV Farmland) im Grünland abbilden. Hierfür werden die Monitoringflächen bilanziert, auf welchen bestimmte wärme- bzw. kälteliebende Gefäßpflanzenarten unter den HNV-Grünland-Kenntaxa in unterschiedlicher Anzahl vorkommen. Nach einer vollständigen Ausarbeitung und Berechnung können die Unterschiede zwischen verschiedenen Zeitschnitten quantitativ ermittelt werden. Durch die Verknüpfung mit Geodaten werden räumliche Zuordnungen der Transekte des Monitorings und damit kleinräumigere Auswertungen möglich sein.
- **Arealveränderungen bei marinen Arten**
Arealveränderungen bei marinen Arten sollen anhand von zwei Teilindikatoren abgebildet werden. Teilindikator A stellt die Häufigkeit und Teilindikator B zusätzlich die Anzahl von sechs lusitanischen Fischarten in standardisierten Fängen in sieben festgelegten Untersuchungsgebieten jeweils als gleitenden Drei-Jahres-Mittelwert dar.
- **Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten**
Der Indikator-Prototyp besteht aus zwei Teilindikatoren, die langfristige Arealveränderungen bei zwei Artengruppen der Gefäßpflanzen mit unterschiedlichen Temperatursprüchen erfassen sollen: Für wärmeliebende Pflanzen werden die Verschiebungen der nördlichen Arealgrenzen in höhere Breiten abgebildet, für kälteliebende montane Arten die Arealverschiebungen in höhere Gebirgslagen (Höhengrenze und Median der Verbreitungshöhe) sowie der Rückzug aus den Mittelgebirgen.
- **Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften**
Der Indikator beschreibt die Zusammensetzung der Tagfalterartengemeinschaften eines Gebietes hinsichtlich der Temperaturansprüche der vorkommenden Arten. Veränderungen in den Artengemeinschaften als Reaktion auf Klimaveränderungen können durch Vergleich des zeitlichen Verlaufs der Indikatorwerte mit dem zeitlichen Verlauf eines geeigneten Temperaturindex ermittelt werden.
- **Veränderung der Flora auf Alpengipfeln**
Der Indikator-Prototyp soll die Veränderungen der Artenzusammensetzung der Flora auf drei deutschen Berggipfeln beschreiben.
- **Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen**
Die klimawandelbedingten Veränderungen bei Libellen sollen mithilfe des Arealindex (AI) beschrieben werden, der sich aus dem Verhältnis von wärme- und kälteadaptierten Arten in einer Region ergibt.
- **Länderübergreifender Biotopverbund**
Der Indikator-Prototyp stellt zwei Werte einander gegenüber: a) Die prozentuale jährliche Zu- bzw. Abnahme der Flächen streng geschützter Gebiete (Nationalparke und Naturschutzgebiete), die innerhalb der Kulisse von Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund liegen und b) die gesamte jährliche Zu- und Abnahme der Flächen streng geschützter Gebiete. Damit wird der Anteil neu ausgewiesener streng geschützter Gebiete bilanziert, die zugleich der Sicherung von Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund dienen. Die quantitative und qualitative Entwicklung des Biotopverbunds gilt als bedeutsame Strategie, um Arten eine klimawandelbedingte Migration zu ermöglichen.
- **Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität**
Der Indikator-Prototyp soll nach vollständiger Ausarbeitung und Berechnung mithilfe von Teilindikatoren die Lebensraumvielfalt auf Kreisebene als Voraussetzung für den Artenschutz im Klimawandel und als Ausdruck klimawandelresilienter Landschaften bilanzieren.

12. Für alle fünf vollständig realisierten Indikatoren und alle neun als Prototypen realisierten Indikatoren wurden Kennblätter erarbeitet. Diese enthalten ausführliche Informationen zu inhaltlichem Hintergrund, Aussagekraft und Eignung des Indikators, rechtlichen Bezügen und Zielwerten, zur Berechnung, zu Datenquellen, räumlicher und zeitlicher Auflösung sowie ggf. graphische und textliche Darstellungen der ermittelten Indikatorwerte.
13. Nicht alle Indikationsfelder konnten inhaltlich umfassend durch Indikatoren abgedeckt werden. Verbleibende Fehlstellen im vorgeschlagenen Indikatorenset sowie der daraus resultierende Bedarf für weitere Forschung bzw. für die Ergänzung des Monitorings wurden skizziert und begründet. Die Fehlstellen sind im Wesentlichen auf folgende Ursachen zurückzuführen:
 - Wissensdefizite im Bereich der direkten Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt auf der Ebene von Lebensräumen,
 - kein eindeutiger kausaler Bezug zwischen dem Klimawandel und Veränderungen der biologischen Vielfalt bzw. Überlagerung der direkten Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt durch andere Faktoren wie Landnutzungsänderungen oder die Ausbreitung gebietsfremder Arten,
 - fehlende Daten,
 - Erfolge von Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel sind derzeit nicht bilanzierbar, da diese bislang kaum umgesetzt werden bzw. eine entsprechende Erhebung im Sinne einer Erfolgskontrolle sehr schwierig ist.

Schließlich wurden auch nicht realisierte bzw. nicht realisierbare oder aufgegebene Indikatoransätze als Grundlage für weitere Forschungen dokumentiert. Für die bisher nicht durch Indikatoren oder Indikatorkonzepte abgedeckten, für das Indikatorenset aber bedeutenden Themenbereiche wurden Ansatzpunkte für die künftige Entwicklung von Indikatoren erläutert (s. Anhang A im Online-Supplement unter http://www.bfn.de/0502_skriptliste.html sowie Schliep et al. 2016).

Dank

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Expertinnen und Experten bedanken, die das F+E-Vorhaben „Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3511 82 0400) als Mitglieder der projektbegleitenden Arbeitsgruppe und/oder als Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Fachgesprächs unterstützt haben: Dr. Michael Altmoos, Dr. Maik Denner, Dr. Annette Dörpinghaus, Dr. Fabian Dosch, Dr. Ulrike Doyle, Marliese von den Driesch, Dr. Thomas Ehlert, Ursula Euler, Dr. Peter Finck, Dr. Hans-Martin Füssel, Ingelore Gödeke, Dr. Katrin Hassel, Dr. Ulrich Heink, Dr. Dietrich von Knorre, Dr. Horst Korn, Katrin Kraus, Prof. Dr. Vera Luthardt, Dr. Stephan Maas, Dr. Jürgen Marx, Prof. Dr. Christoph Müller, Dr. Martin Musche, Bernd Neukirchen, Cornelia Neukirchen, Dr. Jürgen Ott, Richard Podlousky, Christine Polte-Rudolf, Dr. Dominika Ptak, Dr. Petra van Rühl, Dr. Thomas Schmidt, Konstanze Schönthaler, Christina Seidenstücker, Dr. Joachim Spangenberg, Prof. Dr. Bernhard Stribrny, Maria Tiefenbach, Jutta Werking-Radtke, Dr. Martin Wiemers, Jessica Wiesinger und Dr. Adrian Zangger.

Darüber hinaus bedanken wir uns bei den folgenden Personen und Institutionen, die uns fachlich bei der Erarbeitung einzelner Indikatoren oder bei der Datenbeschaffung unterstützt haben: Prof. Dr. Franz Bairlein, Prof. Dr. Marten Boersma, Klaus-Jürgen Conze, Dr. Helmut Franz, Daniel Fuchs, Christoph Hettwer, Doris Huber, Rudolf May, Jan von Rönn, Mattes Scheftelowitz, Dr. Anne Sell, Knut Sturm, Dr. Michael Vogel, Dr. Ulrich Walz, dem Referat Nationale Klimaüberwachung des Deutschen Wetterdienstes und den ehrenamtlichen Helfern des Monitorings häufiger Brutvögel.

Teil I:
Methodische und inhaltliche Grundlagen der
Indikatorenentwicklung

1. Einleitung

Der durch den Menschen verursachte Klimawandel führt bereits heute global wie auch in Deutschland zu Veränderungen der biologischen Vielfalt. Einige Studien gehen davon aus, dass der Klimawandel zukünftig der wesentliche Faktor für Änderungen der biologischen Vielfalt und die Gefährdung von Arten und Lebensräumen sein wird. Diese werden sowohl durch direkte als auch indirekte Einflüsse des Klimawandels bestimmt. Direkte Wirkungen auf die biologische Vielfalt werden bspw. durch Änderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse oder durch veränderte synökologische Beziehungen hervorgerufen. Indirekte Wirkungen resultieren hingegen aus Maßnahmen zum Klimaschutz (z. B. Anbau von Energiepflanzen, Bau von Windenergieanlagen) oder zur Anpassung an den Klimawandel und dessen Folgen (z. B. Bewässerung, Schaffung großflächiger Retentionsräume in Auen).

1.1 Hintergrund und Ziele des Projektes

Innerhalb der letzten zehn Jahre wurden auf globaler, europäischer und nationaler Ebene Indikatoren- und Monitoringsysteme erarbeitet, die die klimawandelspezifischen Veränderungen der biologischen Vielfalt abbilden sollen. Deutschland hat mit der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) und der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) ambitionierte Ziele zur Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie zur Anpassung an den Klimawandel beschlossen. Zur Erfolgskontrolle bei der Umsetzung dieser Ziele wurden für die NBS und die DAS Indikatorensets erarbeitet.

Allerdings bestehen hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt noch z. T. erhebliche Wissensdefizite. Das breite Spektrum klimawandelbedingter Veränderungen biologischer Vielfalt (vgl. Kap. 1.2) wird daher bislang nur unvollständig von vorhandenen Monitoring- und Indikatorensystemen abgebildet.

Vor diesem Hintergrund sollten im F+E-Vorhaben „Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3511 82 0400) Fachindikatoren zur Politikberatung entwickelt werden. Als Teil eines auf Bundesebene angesiedelten Fachinformationssystems „Klimawandel und biologische Vielfalt“ sollen diese Indikatoren in Zukunft komplexe Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Biodiversität so zusammenfassen und anschaulich abbilden, dass Politikerinnen und Politiker sowie andere Akteure bei klima- und biodiversitätsrelevanten Entscheidungen aus Naturschutzperspektive unterstützt und beraten werden.

Der Fokus der für dieses Informationssystem zu entwickelnden Indikatorvorschläge sollte auf der Abbildung von Wirkungen des Klimawandels auf Arten und Lebensräume liegen und Pressure-, State-, Impact- sowie Response-Indikatoren umfassen (zum DPSIR-Ansatz vgl. Kap. 3.1 und Abb. 7).

1.2 Vorgehensweise und Arbeitsschritte

Die Entwicklung des Indikatorensets erfolgte in mehreren Arbeitsschritten unter Einbeziehung externer Expertinnen und Experten (vgl. Abb. 1):

1. **Zusammenstellung der Grundlageninformationen:** Es erfolgte zum einen eine Zusammenstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt und naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (vgl. Kap. 2). Zum anderen wurde eine Übersicht zu bereits vorhandenen Indikatoren(sets) im weit gefassten Themenbereich „Biologische Vielfalt und / oder Klimawandel“ erarbeitet (vgl. Kap. 4.1).

2. **Analyse vorhandener Indikatoren(sets) und Auswahl sowie Systematisierung vorhandener potenziell geeigneter Indikatoren:** Im nächsten Schritt wurden bereits vorhandene thematisch relevante Indikatorensets daraufhin überprüft, ob sie für das geplante Indikatorenset potenziell geeignete Indikatoren enthalten. Angesichts der großen Menge vorhandener Indikatoren (s. Anhang B im Online-Supplement) und des absehbar hohen Prüfaufwands wurde diese Analyse in zwei Teilschritten durchgeführt. Mithilfe einer Vorauswahl und einer vertieften Prüfung (zur Methodik dieses Auswahlprozesses vgl. Kap. 4) wurden potenziell für das Indikatorenset geeignete Indikatoren ausgewählt und so genannten Indikationsbereichen und Indikationsfeldern zugeordnet. Diese Gliederung des Indikatorensets wurde im Projektverlauf mit externen Expertinnen und Experten u. a. hinsichtlich der Relevanz der Indikationsfelder, auch vor dem Hintergrund der vorliegenden Indikatoren und potenziell umsetzbaren Indikatorvorschläge, beraten und mehrfach modifiziert. Eine Übersicht über die Indikationsbereiche und Indikationsfelder findet sich in Tabelle 1, eine genauere Darstellung in Kapitel 5.1. Eine Begründung für die vorgenommenen Modifikationen kann Kapitel 4 entnommen werden. Über die Zuordnung zu Indikationsfeldern konnten schließlich auch jene inhaltlichen Bereiche identifiziert werden, für die noch keine geeigneten Indikatoren vorliegen und somit im Rahmen des Vorhabens zumindest ansatzweise zu erarbeiten waren.

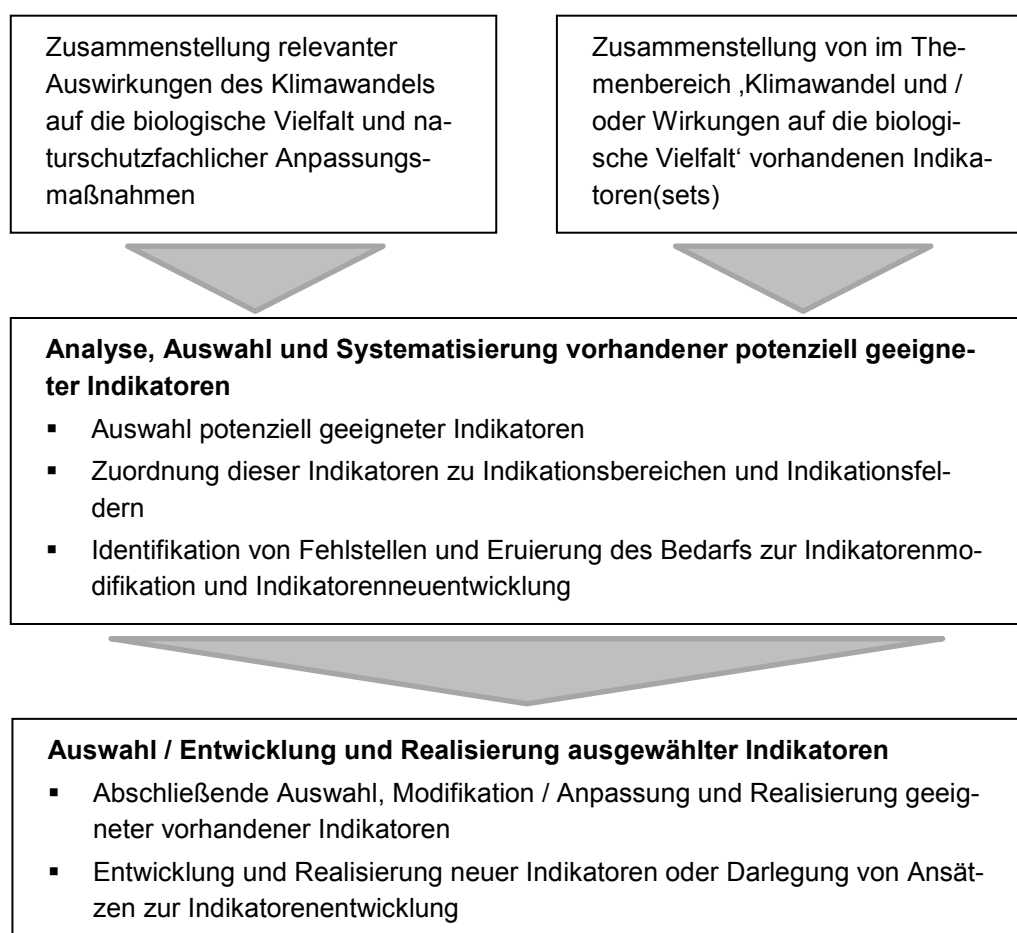


Abb. 1: Arbeitsschritte im Projekt

3. **Zusammenstellung des Indikatorensets und Realisierung ausgewählter Indikatoren:** Auf Basis der vorausgehenden Schritte sowie unter Einbeziehung der Ergebnisse des o. g. Fachgesprächs wurde ein Indikatorenset zusammengestellt, das in Indikationsbereiche und -felder gegliedert ist (s. Tab. 1). Es umfasst sowohl vorhandene bzw. modifizierte als auch neu entwickelte

Indikatoren. Soweit möglich wurden die Indikatoren dieses Sets vollständig realisiert. Dies bedeutet, dass ein Indikator erstens konzeptionell entwickelt, also an die Erfordernisse dieses Vorhabens angepasst wurde. Zweitens wurden die erforderlichen Daten abgefragt. Drittens wurde der Indikator berechnet und in seiner zeitlichen Veränderung dargestellt. Es ging also nicht nur darum, geeignete Indikatoren zu benennen und zu beschreiben, sondern diese bereits zu berechnen, Graphiken zu erstellen und die Datenreihen zu interpretieren. Bei vielen Indikatoren war dies nicht in vollem Umfang möglich. In diesen Fällen wurden lediglich Prototypen ausgearbeitet (vgl. Kap. 5). Darunter werden Indikatoren verstanden, die zwar konzeptionell ausgearbeitet sind, bei denen aber wegen fehlender Daten keine Berechnungen durchgeführt werden konnten. Von den vollständig realisierten Indikatoren wurden vier für das Indikatorenset der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) und einer für das Indikatorenset der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) übernommen (s. UBA 2015, BMUB 2015). Für alle vollständig realisierten und als Prototypen ausgearbeiteten Indikatoren wurden Kennblätter erstellt (s. Kap. 6 und 7). Nicht alle Indikationsfelder konnten inhaltlich umfassend durch Indikatoren abgedeckt werden (z. B. aufgrund fehlender Daten oder eines fehlenden eindeutigen kausalen Bezugs zwischen dem Klimawandel und Veränderungen der biologischen Vielfalt). Verbleibende Fehlstellen im vorgeschlagenen Indikatorenset sowie der daraus resultierende Bedarf für weitere Forschung bzw. für die Ergänzung des Monitorings wurden skizziert und begründet (vgl. Kap. 5.3). Schließlich wurden auch nicht realisierte bzw. nicht realisierbare oder aufgegebenen Indikatoransätze als Grundlage für weitere Entwicklungen dokumentiert (s. Anhang A im Online-Supplement).

Im Ergebnis umfasst der Vorschlag für das Indikatorenset die Kennblätter der vollständig realisierten Indikatoren (s. Kap. 6), eine Beschreibung der als Prototypen entwickelten Indikatoransätze (s. Kap. 7) sowie eine Beschreibung aller Ansätze, die im Verlauf des Vorhabens zwar diskutiert, aber aus konzeptionellen, datentechnischen oder anderen Gründen nicht weiter verfolgt wurden (s. Anhang A im Online-Supplement).

Tab. 1: Indikationsbereiche und Indikationsfelder eines Indikatorensystems zur Darstellung von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt

Indikationsbereich I: Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt
I.1 Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften
I.2 Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen
I.3 Veränderungen von Lebensräumen
Indikationsbereich II: Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt infolge von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen
II.1 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel
II.2 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Forstwirtschaft an den Klimawandel
II.3 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Wasserwirtschaft an den Klimawandel
II.4 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen des Tourismus an den Klimawandel
II.5 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge der Energiegewinnung aus Windkraft
Indikationsbereich III: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel
III.1 Anpassung naturschutzfachlicher Strategien an den Klimawandel
III.2 Anpassung naturschutzfachlicher Maßnahmen an den Klimawandel
III.3 Erfolge klimawandelbedingter Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen

2. Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Arbeiten zu Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt verfasst (vgl. hierzu z. B. Leuschner und Schipka 2004, Warren et al. 2010, Mosbrugger et al. 2012, Essl und Rabitsch 2013). Die thematischen Schwerpunkte dieser Arbeiten reichen von umfassenden Übersichten zu direkten (z. B. Parmesan 2006, Vohland 2008) oder indirekten (z. B. Paterson et al. 2008, Berry 2009) Wirkungen des Klimawandels bis hin zu speziellen Fragestellungen, etwa hinsichtlich der Beeinflussung anderer globaler Wirkfaktoren durch den Klimawandel und daraus resultierender Beeinträchtigungen biologischer Vielfalt (z. B. zum Thema „invasive Arten und Klimawandel“: Hellmann et al. 2008, Mainka und Howard 2010). Die räumliche Betrachtung variiert von der globalen bis zur regionalen Ebene (global z. B. Kannan und James 2009; Europa z. B. Feehan et al. 2009, Essl und Rabitsch 2013; Deutschland z. B. Rabitsch et al. 2010, Pompe et al. 2011, einzelne Bundesländer z. B. Pampus 2005, MKULNV 2010). Die Darstellung von Wirkungen berücksichtigt in der Regel alle Ebenen der biologischen Vielfalt (genetische Vielfalt, Artenvielfalt, Vielfalt der Lebensräume), wobei vor allem Arbeiten zu terrestrischen Ökosystemen vorliegen und sich somit übliche naturschutzfachliche Schwerpunktsetzungen z. T. auch hier widerspiegeln (Felton et al. 2009). In Bezug auf Artengruppen dominieren Publikationen zu Wirbellosen (hier insbesondere zu Schmetterlingen), Vögeln und Pflanzen (ebd.).

Zu unterscheiden ist zwischen direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. Unter **direkten Auswirkungen** verstehen wir solche, die aufgrund klimatischer Veränderungen und deren Folgewirkungen eintreten. Weiter zu differenzieren ist hier zwischen **unmittelbaren Auswirkungen** des Klimawandels, die unmittelbar auf veränderte Klimaparameter zurückzuführen sind sowie **mittelbaren Auswirkungen** des Klimawandels, die durch Veränderungen der abiotischen Standortbedingungen zu einer Veränderung von Lebensräumen, Lebensgemeinschaften und der Lebensbedingungen einzelner Arten führen. **Indirekte Auswirkungen** auf die biologische Vielfalt ergeben sich hingegen aufgrund gesellschaftlicher Reaktionen auf den Klimawandel, die entweder dem Klimaschutz (z. B. Eingriffe in den Naturhaushalt im Zuge eines verstärkten Ausbaus erneuerbarer Energien, insbesondere beim großflächigen Biomasseanbau) oder der Anpassung an den Klimawandel dienen und zu veränderten Landnutzungen führen (z. B. Waldumbau, Maßnahmen zum Schutz vor Extremwetterereignissen, z. B. Deichausbau aus Hochwasserschutzgründen).

Ausgehend von einer kurzen Darstellung wesentlicher Fakten zum Klimawandel sowie der bisher nachgewiesenen und prognostizierten Entwicklung des Klimas in Mitteleuropa wird im Folgenden eine Übersicht zu direkten und indirekten Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt gegeben. Sofern Informationen hierzu verfügbar sind, beziehen sich Aussagen hauptsächlich auf den Betrachtungsraum Deutschland. Dem Ziel des Vorhabens entsprechend werden insbesondere Wirkungen auf Arten und Lebensräume, Wirkungen auf die genetische Vielfalt jedoch nur am Rande thematisiert. Weiterhin werden Unsicherheiten und Herausforderungen bei der Identifikation klimawandelbedingter Wirkungen auf die biologische Vielfalt skizziert. Schließlich gibt dieses Kapitel einen Einblick in die Diskussion über Anpassungen des Naturschutzes an den Klimawandel. Abschließend werden die ermittelten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in zwei Graphiken im Überblick dargestellt (s. Abb. 5 und 6).

2.1 Klimawandel

Dem jüngsten Sachstandsbericht des IPCC (2013) zufolge bestehen keine Zweifel an einer Erwärmung des globalen Klimas. Zu den beobachteten Veränderungen zählen insbesondere Anstiege der

mittleren globalen Luft- und Meerestemperaturen, je nach Region die Abnahme oder Zunahme von Niederschlägen, das Abschmelzen von Schnee und Eis, der Anstieg des Meeresspiegels und die Versauerung der Ozeane (ebd., vgl. auch Abb. 2). Zudem gilt eine Abnahme von kalten Tagen und Nächten sowie von Frösten innerhalb der letzten Jahrzehnte bei gleichzeitiger Häufung von heißen Tagen und Nächten sowie von Hitzewellen und schweren Niederschlagsereignissen als wahrscheinlich (ebd.). Dabei wird der größte Teil des seit Mitte des 20. Jahrhunderts zu beobachtenden Anstiegs der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur ursächlich auf den beobachteten Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen zurückgeführt (IPCC 2007a.).

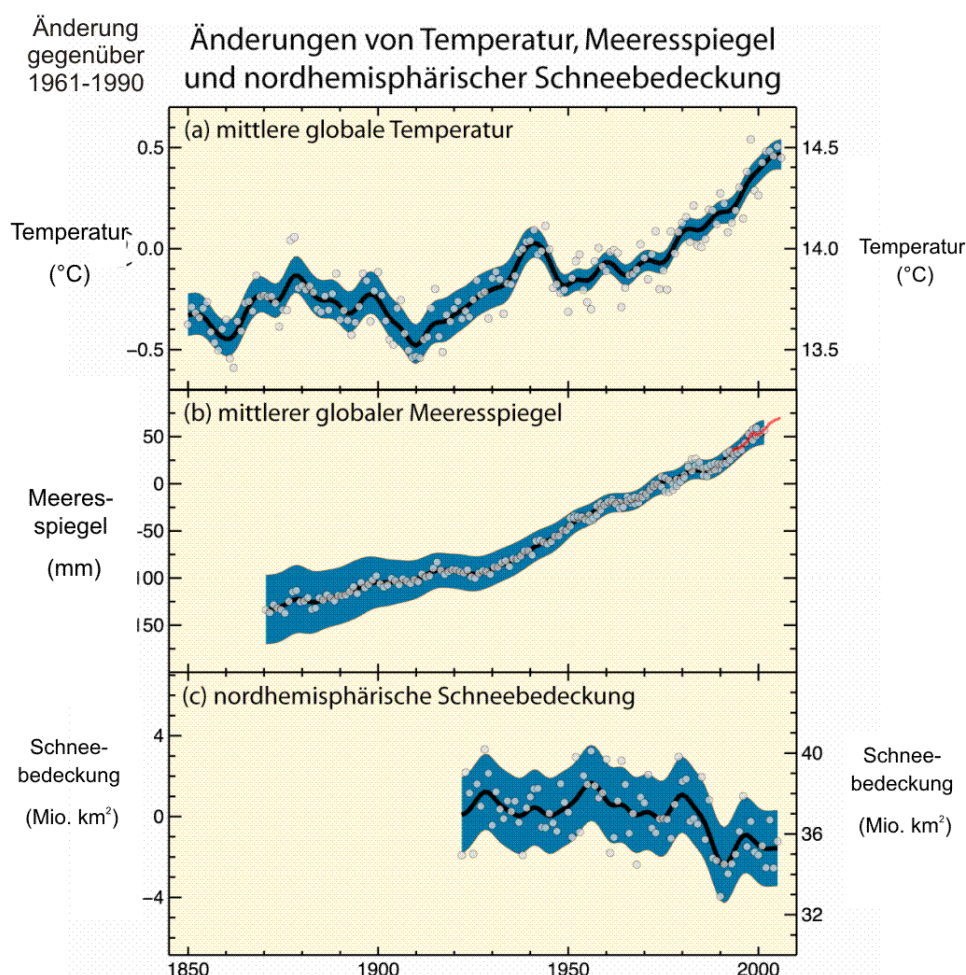


Abb. 2: Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur, (b) des mittleren globalen Meeresspiegels aus Pegelanpassungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April im Vergleich zu den entsprechenden Mittelwerten des Zeitraums 1961 – 1990. Geglättete Kurven repräsentieren die über ein Jahrzehnt gemittelten Werte, Kreise stellen die Jahreswerte dar. Schattierte Flächen zeigen die geschätzten Unsicherheitsbereiche auf Basis einer umfangreichen Untersuchung bekannter Unsicherheiten (a und b) und aus Zeitreihen (c) (aus IPCC 2007b).

Legt man die derzeitigen Klimaschutzpolitiken und deren Defizite zu Grunde, ist von einer weiteren Zunahme der globalen Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten und folglich einer weiteren Erwärmung auszugehen. Die daraus resultierenden Änderungen des globalen Klimasystems werden sehr wahrscheinlich höher ausfallen als die im 20. Jahrhundert beobachteten (IPCC 2007a). In welcher Größenordnung eine weitere Erwärmung tatsächlich stattfinden wird, hängt maßgeblich von der weiteren Entwicklung der Treibhausgasemissionen ab. Klimaprojektionen orientieren sich daher meist an den sogenannten SRES-Emissionsszenarien (s. Tab. 2a). Hierbei handelt es sich um sechs

verschiedene Grundtypen von Musterszenarien, die jeweils unterschiedliche Annahmen über demographische, sozioökonomische, politische und technologische Entwicklungen (z. B. Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Energieverbrauch, Art der Energiegewinnung, Landnutzungsänderungen) zugrunde legen und daraus globale Temperaturprojektionen ableiten (IPCC 2000, Walkenhorst und Stock 2009). Die z. B. für die Dekade 2090-2099 im Vergleich zum Zeitraum 1980-1999 vorhergesagten Anstiege der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur schwanken somit je nach Emissionsszenario zwischen 1,8 °C und 4,0 °C (beste Schätzwerte, vgl. IPCC 2007a). Im fünften IPCC-Sachstandsbericht (IPCC 2014) kommen diese SRES-Emissionsszenarien nicht mehr zum Tragen. Stattdessen wird hier eine Vielzahl (ca. 900) sogenannter Klimaschutzszenarien (RCP-Szenarien) unterschieden. Aufgrund der Bezugnahme auf Emissionen und der daraus abgeleiteten Angabe, mit welcher Wahrscheinlichkeit im jeweils betrachteten Szenario bestimmte Klimaschutzziele (z. B. „2°-Ziel“) erreicht werden, besteht zwar eine grundsätzliche Ähnlichkeit zu den bisher verwendeten SRES-Emissionsszenarien. Ein wesentlicher Unterschied liegt jedoch darin, dass anstelle der CO₂-äquivalenten Konzentrationen die Änderung des Strahlungsantriebs als Bezugsgröße verwendet wird (DWD 2011). „Damit ist eine Größe gegeben, in die nicht nur – wie bisher bei SRES – die Änderungen der Treibhausgasemissionen, sondern auch z. B. [...] Landnutzungsänderungen (und damit [Änderungen] der Albedo) integriert sind“ (ebd.). Zudem können bei den RCP-Szenarien durch parallele Arbeiten der Modelliergruppen auch Rückkopplungseffekte der verschiedenen Modellkompartimente in den Szenarien besser berücksichtigt werden (ebd.).

Tab. 2a: SRES-Szenariotypen A1 (A1FI, A1T, A1B), A2, B1 und B2 und Zuordnung prognostizierter Temperaturerhöhungen (nach Selinger 2008)

	Wirtschaftsorientiert (ökonomisch ausgerichtet)	Umweltorientiert (ökologisch ausgerichtet)
Globalisierung (homogene Welt)	A1* (Hohes Wachstum) Prognostizierte Temperaturänderungen: 1,4 - 6,4 °C	B1 (Globale Nachhaltigkeit) Prognostizierte Temperaturänderungen: 1,1 - 2,9 °C
Regionalisierung (heterogene Welt)	A2 (Regionalisierte Wirtschaftsentwicklung) Prognostizierte Temperaturänderungen: 2,0 - 5,4 °C	B2 (Regionale Nachhaltigkeit) Prognostizierte Temperaturänderungen: 1,4 - 3,8 °C

* Diese Szenario-Familie teilt sich in drei Gruppen auf mit unterschiedlichen Ausrichtungen technologischer Änderungen in der Energiegewinnung: A1FI = fossil-intensiv, A1T = nichtfossile Energiequellen und A1B = ausgewogene Nutzung aller Quellen.

Tab. 2b: RCP-Szenariotypen (aus DWD 2011)

Szenariename	Szenarienentwicklung
RCP8.5	„Ähnlich wie das bisherige A2-Szenario. Über 1370 ppm CO ₂ -Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau“
RCP6.0	„Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 CO ₂ -Äquivalent, ähnlich dem A1B-Szenario, danach abnehmender Strahlungsantrieb bis 2300“
RCP4.5	„Moderate Entwicklung, ähnlich dem B1-Szenario. Anstieg des CO ₂ -Äquivalent bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau“
RCP3.0	„Peak-Szenario‘, d. h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 Wm ⁻² im Jahr 2100. Vergleichbar dem E1-Szenario, d. h. ein ‚politisches‘ Szenario, in dem durch drastischen Rückgang der Emissionen eine globale Erwärmung um mehr als 2°C im Jahr 2100 nicht überschritten wird“

Auch in Deutschland ist innerhalb des vergangenen Jahrhunderts die mittlere Lufttemperatur um etwa 1 °C gestiegen (UBA 2009a). Insbesondere das letzte Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts und auch die ersten Jahre des 21. Jahrhunderts fielen überdurchschnittlich warm aus (ebd.). Dabei ist im Südwesten Deutschlands ein besonders hoher Temperaturanstieg zu verzeichnen (etwa 1,3 °C im Saarland), während im Nordosten die Temperaturen deutlich weniger zunahmen (bspw. 0,6 °C in Mecklenburg-Vorpommern). Nord- und Ostsee sind von einer überdurchschnittlichen Erwärmung innerhalb der letzten beiden Jahrzehnte betroffen (Mackenzie und Schiedeck 2007). Auch das Gebietsmittel der jährlichen Niederschläge ist in Deutschland seit 1901 um ca. 10 % angestiegen (DWD 2012). Allerdings unterliegt diese Zunahme sowohl regional als auch saisonal starken Schwankungen. So haben insbesondere die Frühjahrs- und Winterniederschläge stark zugenommen, während in den Sommermonaten kein wesentlicher Trend erkennbar ist. Zudem beschränkt sich die Zunahme der jährlichen Niederschlagsmenge weitgehend auf Westdeutschland, während in den östlichen Bundesländern die Zunahmen im Winter durch Abnahmen im Sommer größtenteils ausgeglichen werden (ebd.).

Für die Prognose der weiteren Klimaentwicklung in Deutschland werden i. d. R. sowohl Informationen aus den globalen Klimamodellen verwendet als auch Regionalmodelle mit einer feineren Auflösung herangezogen (eine Übersicht hierzu findet sich bei Wilke et al. 2011). Je nach zugrunde liegendem Emissionsszenario weichen die für Deutschland prognostizierten Klimaänderungen teilweise deutlich voneinander ab. So wird mit Bezug auf die Emissionsszenarien A2, A1B und B1 für den Zeitraum 2071 bis 2100 eine Erhöhung der durchschnittlichen Jahrestemperatur um 1,5 bis 3,5 °C im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961-1990 aufgezeigt (UBA 2009a). Räumlich differenzierte Aussagen variieren zudem in Abhängigkeit vom jeweils angewandten Regionalisierungsmodell. Während beispielsweise die Modelle REMO, CLM und STAR für den Zeitraum 2021 bis 2050 eine sich nach Süden verstärkende Erwärmung vorhersagen, zeigt das Modell WETTREG für den gleichen Zeitraum eine sich eher von Osten nach Westen verstärkende Erwärmung (UBA 2009a). Alle Modelle stützen jedoch die Aussage, dass die Erwärmung in den Wintermonaten am stärksten ausfallen wird (ebd.).

Die Jahresniederschlagsmengen dürften den vorliegenden Modellrechnungen zufolge auch in Zukunft annähernd konstant bleiben. Einschränkend ist jedoch festzustellen, dass die Bandbreite der Vorhersagen zwischen den verschiedenen Modellrechnungen zu den Niederschlagsmengen (hier: REMO, CLM, WETTREG, STAR) beachtlich ist und diese Vorhersagen mit deutlich höheren Unsicherheiten behaftet sind als die Prognosen zur Temperaturentwicklung (Essl und Rabitsch 2013). Jedoch zeigen die Ergebnisse aller vier Regionalmodelle eine bundesweite Abnahme der Sommerniederschläge um bis zu 40 % bei gleichzeitiger Zunahme der Winterniederschläge in etwa der gleichen Größenordnung (UBA 2009a). Schließlich gehen alle Modelle von einer Steigerung der Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen aus, bspw. Hitze- und Trockenheitsperioden oder Starkniederschlägen (ebd.).

2.2 Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt

Unter direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt werden hier zum einen Wirkungen verstanden, die *unmittelbar* auf veränderte Klimaparameter zurückzuführen sind (z. B. auf Veränderungen von Temperatur, Niederschlag und Verdunstung). Zum anderen werden *mittelbare* Auswirkungen betrachtet, die sich aus abiotischen Standortveränderungen ergeben, die ihrerseits auf die veränderten klimatischen Gegebenheiten zurückzuführen sind (z. B. Veränderungen von Bodenwasserhaushalt, Nährstoffverfügbarkeit).

Relevante Wirkfaktoren des Klimawandels sind u. a. erhöhte Temperaturen, veränderte Niederschlagsverteilungen und -mengen sowie ansteigende CO₂-Konzentrationen, aber auch der Meeresspiegelanstieg (Menon et al. 2010) und Extremereignisse sind von hoher Bedeutung. Zu solchen Extremereignissen gehören als primäre Ereignisse Wetterextreme und klimatische Extreme (Hitzewellen,

Dürren, Überschwemmungen, Stürme) sowie als Sekundärereignisse biologische Invasionen, Waldbrände oder Insektenkalamitäten (Nadler et al. 2011). Die konkreten Auswirkungen der genannten Faktoren auf die biologische Vielfalt hängen sowohl von deren Intensität, Dauer und vom Zeitpunkt des Auftretens (z. B. eines Extremereignisses) ab als auch von der Plastizität betroffener Individuen oder Populationen, also deren Anpassungs-, Widerstands-, Regenerationsfähigkeit und Ausdauer (ebd.). Zu berücksichtigen bleibt darüber hinaus, dass Auswirkungen des Klimawandels durch Wirkungen anderer Faktoren, wie insbesondere Landnutzungsänderungen oder der Ausbreitung gebietsfremder Arten, überlagert werden können (Thuiller 2007, Walther et al. 2009).

Direkte Auswirkungen des Klimawandels können auf allen Ebenen biologischer Vielfalt festgestellt werden. Eine klare Abgrenzung der verschiedenen Effekte ist oftmals nicht möglich, da die unterschiedlichen Wirkfaktoren und Auswirkungen häufig in Wechselwirkung zueinander stehen, d. h. Veränderungen auf einer Organisationsebene zu Veränderungen auf den anderen führen können (s. Abb. 3). Gleichwohl orientiert sich die nachfolgende Darstellung zu Gunsten einer besseren Lesbarkeit an einem hierarchisch strukturierten Klassifikationsansatz von Geyer et al. (2011), in welchem distinkte Wirkungsbereiche (klimawandelbedingte Stressoren) jeweils einer von drei biologisch-ökologischen Organisationsebenen (Individuen und Populationen, Biozönos, Ökosysteme) zugeordnet werden.

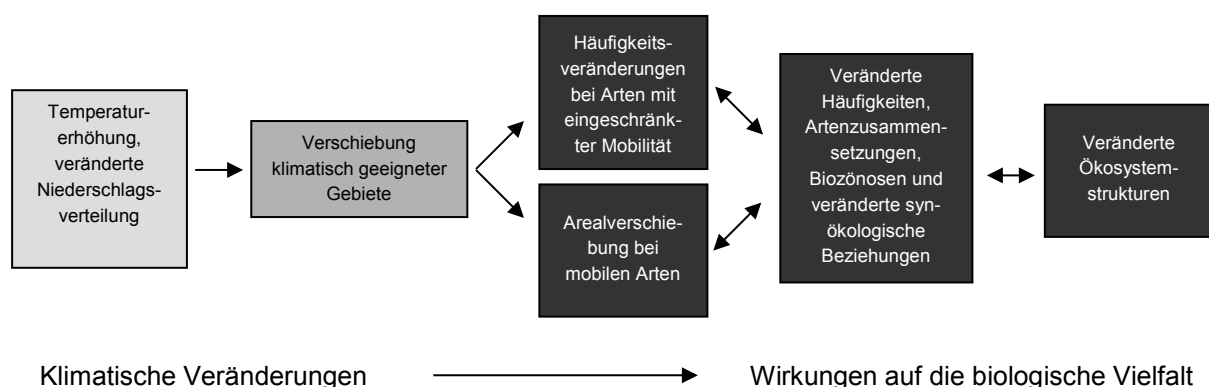


Abb. 3: Vereinfachte schematische Darstellung von Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt am Beispiel von Areal- und Häufigkeitsveränderungen (zu Beispielen für weitere Wirkungsketten s. Compass Resource Management 2007)

2.2.1 Klimawandelbedingte Veränderungen von Individuen und Populationen

Mit Blick auf den Klimawandel und dadurch ausgelöste Umweltveränderungen hängt das Überleben von Arten maßgeblich davon ab, inwieweit diese in der Lage sind, entweder neue klimatisch geeignete Lebensräume zu besiedeln (Arealverschiebung) oder sich durch entsprechende physiologische oder phänologische Veränderungen an die neuen Bedingungen anzupassen (Thuiller 2007). Zahlreiche Publikationen diskutieren in diesem Zusammenhang vor allem Veränderungen der Physiologie, der Phänologie, des Verhaltens von Tieren, der Populationsdynamik sowie der Verbreitungsgebiete von Arten. Diese Aspekte werden im Folgenden näher erläutert.

Physiologische Veränderungen

Neben einer erhöhten Mortalität, z. B. durch Extremwetterereignisse, bedingt der Klimawandel physiologische Veränderungen des Stoffwechsels, der Immunfunktion sowie der Wachstumsrate oder – bei Pflanzen – der Photosyntheserate (Geyer et al. 2011). Zwar werden bei der Untersuchung des Einflusses klimatischer Parameter auf die Physiologie von Tieren alle taxonomischen Gruppen berücksichtigt (Leuschner und Schipka 2004), ein deutlicher Schwerpunkt liegt hier jedoch auf der Betrachtung

tung von Insekten (ebd., zur Auswirkung von Hitzewellen z. B. Adamo und Lovett 2011). Andere Studien wiederum fokussieren auf die Abhängigkeit der Fitness ektothermer Arten (Organismen, die nicht in der Lage sind, ihre Körpertemperatur durch Wärmeproduktion unabhängig von der Umgebungstemperatur zu regulieren) von der Temperatur (Amarasekare und Savage 2012) oder auf die Wirkung von UV-Strahlung auf Tiere (zur Wirkung auf Amphibien: Romansic et al. 2009). In Bezug auf Pflanzen stehen im Vordergrund Untersuchungen zu direkten Wirkungen veränderter Temperaturen auf Wild- und Kulturpflanzen (z. B. zur Bedeutung von Frostereignissen Arora und Rowland 2011) sowie ökophysiologische Fragestellungen zur Beeinflussung des pflanzlichen Kohlenstoff- und Wasserhaushalts durch den Klimawandel (z. B. mögliche Steigerung des Pflanzenwachstums bei gleichzeitig verringerter Blatttranspiration im Zuge steigender atmosphärischer CO₂-Gehalte: Pampus 2005). In Hinblick auf Meeresorganismen konnten experimentell bereits zahlreiche physiologische Wirkungen infolge erhöhter CO₂-Konzentrationen nachgewiesen werden (z. B. Veränderungen der Produktivität von Algen, von Stoffwechselraten bei Zooplankton und Fischen, von Reproduktionsraten bei Muscheln: Schubert et al. 2006). Allerdings wurde ein Großteil dieser Untersuchungen mit CO₂-Konzentrationen durchgeführt, die weit über denen liegen, die nach gegenwärtigem Kenntnisstand bis zum Jahr 2100 zu erwarten sind (UBA 2009b). Daher sind weitere Studien notwendig, um auch kurz- bis mittelfristige Auswirkungen bei geringeren CO₂-Konzentrationen belegen zu können, zumal das Wissen über Wirkungen der Versauerung der Meere auf Meeresorganismen bisher unzureichend ist (Gosling et al. 2011).

Phänologische Veränderungen

Klimaveränderungen können sich direkt auf den jahreszeitlichen Entwicklungsgang von Populationen auswirken. Grundsätzlich können alle Artengruppen betroffen sein, Untersuchungen zu phänologischen Veränderungen liegen aber insbesondere zu Pflanzen, Vögeln und Insekten (meist Schmetterlinge) vor (Übersicht in Olofsson et al. 2008). Einen umfassenden Überblick über bereits stattfindende phänologische Veränderungen geben Rabitsch und Herren (2013).

Bei vielen höheren Pflanzen konnte in den letzten Dekaden bspw. eine Vorverlegung des Beginns der Vegetationsperiode (etwa früherer Blattaustrieb, Blühbeginn) dokumentiert werden. Diese Veränderungen sind sehr gut anhand der phänologischen Datenreihen des Deutschen Wetterdienstes nachzuvollziehen. So zeigt sich seit dem Ende der 1980er Jahre ein deutlich früherer Beginn der Apfelblüte und damit des phänologischen Vollfrühlings (BMU 2010).

Phänologische Veränderungen zeigen sich auch bei unterschiedlichen Tiergruppen:

- Bei Vögeln werden insbesondere veränderte Zugzeiten (frühere Ankunft im Brutgebiet, späterer Wegzug im Herbst) und ein veränderter Brutbeginn beobachtet (Bairlein und Hüppop 2009, Sudfeldt et al. 2010).
- Auch bei Säugetieren konnten in den letzten 30 Jahren phänologische Veränderungen festgestellt werden, z. B. ein verfrühtes Ende des Winterschlafes bei Siebenschläfern oder frühere Flugzeiten bestimmter Fledermausarten (Koppmann-Rumpf et al. 2003, Schmidt 2002).
- Bei Insekten ist eine Zunahme von Arten festzustellen, die auffällig früh im Jahr erscheinen (Schanowski 2007). Bei Tagfaltern ist europaweit eine Verfrühung der Flugzeiten zu erkennen, was zu einer Entkopplung des Auftretens von Raupe und Raupenfutterpflanze führen kann (Rabitsch et al. 2010). Darüber hinaus beschleunigt eine Erwärmung die Entwicklung der Individuen und führt dazu, dass einige Arten eine zusätzliche Generation im Jahresverlauf ausbilden können (ebd.).

Verhaltensänderungen bei Tieren

Neben veränderten zeitlichen Abläufen bestimmter Verhaltensmuster (s. Phänologie) können bei Tieren weitere klimawandelbedingte Verhaltensänderungen beobachtet werden. So äußert sich bei Vögeln ein verändertes Zugverhalten nicht nur in einer Verschiebung von Zugzeiten sondern auch durch verkürzte Zugstrecken (Fiedler 2008). Daraus resultierende Veränderungen der Artenzusammensetzungen von Vogelzönosen zugunsten von Kurzstreckenziehern zeigen sich z. B. auf Helgoland (ebd.). Zudem wird immer häufiger beobachtet, dass Arten nicht mehr in ihre ursprünglichen Überwinterungsgebiete ziehen, sondern in den Brutgebieten bleiben (z. B. Weißstörche am Bodensee, Rabitsch et al. 2010). Weitere Beispiele für Verhaltensänderungen sind ein verändertes Reproduktionsverhalten (z. B. ganzjährige Vermehrung von Wildschweinen im sächsischen Tiefland: Zöphel et al. 2009) oder verändertes Fraßverhalten (z. B. Erschließung neuer Wirtspflanzen bei Schmetterlingen in zuvor ungeeigneten Habitaten: Thomas et al. 2001).

Veränderungen der Populationsdynamik

Zu den Veränderungen der Populationsdynamik gehören Veränderungen von Populationswachstumsraten, Veränderungen der Geschlechtsbestimmung und von Geschlechterverhältnissen, Veränderungen des Genpools sowie Veränderungen der Ausbreitung, Vermehrung und Besiedlung (Geyer et al. 2011). Temperaturbedingte Veränderungen des Reproduktionserfolgs und der Individuendichte zeigen sich insbesondere bei thermophilen Arten (v. a. Pflanzen- und Insektenarten). So können diese bei zunehmender Erwärmung und Trockenheit größere Individuendichten ausbilden, da sie gegenüber mesophilen Arten einen Konkurrenzvorteil besitzen (Behrens et al. 2009). Derartige Veränderungen der Populationsdynamik werden z. B. für Arten der Kalk- und Silikatmagerrasen in Nordrhein-Westfalen erwartet (ebd.). Abnahmen der Individuendichten können dagegen bei kälteadaptierten Arten auftreten.

Veränderungen der Verbreitungsgebiete von Arten

Die großräumige Verbreitung von Arten wird u. a. wesentlich durch das Klima bestimmt. Eine wichtige Folge der zunehmenden Erwärmung durch den Klimawandel sind daher Arealveränderungen bei zahlreichen terrestrischen Pflanzen- und Tierarten, die auf globaler und überregionaler aber auch bereits auf regionaler Ebene dokumentiert sind.

Auf der Nordhalbkugel haben sich die Verbreitungsgebiete terrestrischer Tier- und Pflanzenarten in einer Dekade aufgrund der veränderten Temperaturen und Niederschlagsverteilungen durchschnittlich um 6,1 km nordwärts und 6,1 m in der Höhe verlagert (Thuiller 2007; zu bereits belegbaren Arealveränderungen bei ausgewählten Pflanzenarten: Pompe et al. 2011; zu Modellierungen künftiger Arealveränderungen bei Arten: Parmesan und Yohe 2003, Thuiller 2004). In Hinblick auf Tiere ist auf europäischer Ebene vor allem bei Vögeln und Schmetterlingen eine deutliche Verlagerung der Verbreitungsgebiete nach Norden gut dokumentiert (z. B. Thomas et al. 2004, Van Swaay et al. 2008). Die veränderten Klimabedingungen (z. B. zeitigerer Beginn des Frühjahrs, mildere Winter) der letzten Jahrzehnte haben auch in Deutschland bereits bei einigen Arten zu einer messbaren Arealverschiebung geführt. So haben sich durch den zeitigen Frühjahrsbeginn in den letzten Jahren bei manchen Vogelarten die Brutreviere nach Norden oder in höher gelegene Regionen verlagert (Sudfeldt et al. 2010). Bei einigen überwinternden Arten hat sich zudem die Lage der Überwinterungsgebiete geändert (ebd.). Auch für andere Artengruppen sind Arealverschiebungen nachgewiesen, die in erster Linie auf klimatische Veränderungen zurückgeführt werden (z. B. für Libellen: Ott 2000).

Bei vielen wärmeliebenden Arten (besonders Arten mit südlichem Verbreitungsschwerpunkt oder Relikte aus Warmzeiten) verschiedener taxonomischer Gruppen ist in Deutschland eine Arealausweitung nach Norden bzw. Nordosten zu beobachten. Beispiele sind die Stechpalme (*Ilex aquifolium*), der Bienenfresser (*Merops apiaster*), die Südliche Mosaikjungfer (*Aeshna affinis*) oder die Feuerlibelle

(*Crocothemis erythraea*) (Pompe et al. 2011, Bairlein und Hüppop 2009, Schanowski 2007). Als wechselwarme Tiere könnten Amphibien und Reptilien ebenfalls von höheren Durchschnittstemperaturen profitieren (Araújo et al. 2006). Jedoch muss dies nicht unbedingt zu einer Ausdehnung der Verbreitungsgebiete führen, denn insbesondere Amphibien sind empfindlich gegenüber einer im Zuge des Klimawandels zunehmenden Sommertrockenheit. Zudem ist die Ausbreitung von Amphibien durch anthropogene Faktoren, z. B. die Fragmentierung der Landschaft, in vielen Fällen weiter eingeschränkt (ebd., auch Pampus 2005). Bei kälteliebenden Arten oder Arten mit (hoch)montaner Verbreitung werden hingegen Verkleinerungen der Verbreitungsgebiete beobachtet (Bairlein und Hüppop 2009, Pompe et al. 2011, Braunsch 2008).

Für die Mehrzahl der in Deutschland vorkommenden Gefäßpflanzen ist im Zuge des Klimawandels, je nach Szenario, mit einer deutlichen Verkleinerung klimatisch geeigneter Räume zu rechnen (Pompe et al. 2009), da bei den meisten Arten ein Verlust bioklimatisch geeigneten Areals nicht durch den Zugewinn neuer geeigneter Gebiete ausgeglichen werden kann. Selbst bei Annahme moderater klimatischer Veränderungen weisen Modellierungen von Pompe et al. (2008) auf ein lokales Aussterben von 15-19 % von 550 deutschlandweit betrachteten Arten hin. Inwieweit solche Prognosen tatsächlich eintreffen, hängt neben zahlreichen weiteren Faktoren (s. Kap. 2.1) auch davon ab, ob und vor allem in welcher Form bspw. die Mobilität betroffener Arten als Faktor berücksichtigt wird (Dröschmeister und Sukopp 2009). Denn einige Studien legen nahe, dass bisher unterstellte Migrationsraten überschätzt wurden (Fischlin 2007). Es ist daher möglich, dass weit mehr Arten als bisher angenommen mit dem Klimawandel nicht Schritt halten können, selbst wenn man anthropogen bedingte Ausbreitungshindernisse außer Acht lässt (ebd.). Ein methodisches Problem besteht zudem in der Dokumentation von Arealveränderungen, da der Nachweis einer Arealverkleinerung an der südlichen bzw. unteren Verbreitungsgrenze zumeist aufwändig ist und historische Vergleichsdaten häufig fehlen. Im Gegensatz dazu lassen sich Arealvergrößerungen bzw. Arealverschiebungen nach Norden relativ einfach durch neue Artnachweise belegen (Pompe et al. 2011).

Eine besondere Gefährdung durch Arealveränderungen ergibt sich für nördlich verbreitete Arten, die keine Möglichkeit haben, ihr Verbreitungsgebiet weiter nach Norden zu verlagern (Huntley et al. 2007). Ebenfalls besonders gefährdet sind Arten, deren Vorkommen an montane Lebensräume gebunden ist (Pauli et al. 2007, Feehan et al. 2009, Engler et al. 2011). So stellen Rabitsch et al. (2011) in ihrer Studie zu den Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland fest, dass die meisten Hochrisiko-Arten in der planar-collinen und der montanen Höhenstufe leben. Aufgrund höherer Temperaturen können vermehrt Pionierarten in höhere Gebirgsregionen vordringen und dort heimische evtl. konkurrenzschwächere Arten verdrängen (Feehan et al. 2009). Allerdings variieren die beobachteten Auswirkungen auf die biologische Vielfalt in Abhängigkeit von der jeweils betrachteten Region. Während auf Gipfeln in Gebirgsregionen der borealen bis hin zur warmgemäßigten Zone ein (leichter) Anstieg der Artenzahlen zu verzeichnen ist, haben auf Gebirgsgipfeln der mediterranen Zone deutlich trockenere Verhältnisse zu einer (leichten) Abnahme der Artenzahlen geführt (Pauli et al. 2012, auch Engler 2011). Ein Anstieg der Waldgrenze führt zudem zu einer deutlichen Verkleinerung des Lebensraums von spezialisierten Arten, die oberhalb der Waldgrenze leben (z. B. Alpenschneehuhn, Birkhuhn) (Rabitsch et al. 2011). Des Weiteren zeigt sich bei der Zuordnung dieser Hochrisiko-Arten zu verschiedenen Lebensräumen ein deutlicher Schwerpunkt bei den Vorkommen in Mooren, danach folgen die Lebensräume Wald, Trockenrasen, Heidegebiete und Quellen (ebd.). Schließlich führt auch der Anstieg des Meeresspiegels durch Überflutungen zum Verlust von Küstenlebensräumen (Schubert et al. 2006, UBA 2009b). Besonders betroffen sind hier flache Küsten wie das Wattenmeer (UBA 2009b). Mit dem Meeresspiegelanstieg ist überdies das vermehrte Auftreten von Extremwetterereignissen (z. B. Sturmfluten) verbunden, die über verschiedene Wirkfaktoren (z. B. Erosion) die Lebensräume von Organismen im Küsten- und Gezeitenbereich teilweise erheblich verändern können (Schubert et al. 2006, UBA 2009b).

Rabitsch et al. (2010) weisen darauf hin, dass das Verschwinden von Arten meist ein langsamer Vorgang ist und sich kleine Reliktpopulationen oft noch lange Zeit halten können. Aus diesem Grund können die tatsächlichen Arealverluste oft erst mit einer zeitlichen Verzögerung festgestellt werden. Nach Modellrechnungen sind seltene und gefährdete Arten (insbes. Arten der Roten Liste) sowie Arten mit geringer Ausbreitungsfähigkeit in besonderem Maße von Arealverkleinerungen betroffen (Bundesregierung 2008).

2.2.2 Klimawandelbedingte Veränderungen von Biozöosen

Veränderungen auf der Ebene von Lebensgemeinschaften ergeben sich durch Veränderungen synökologischer Beziehungen (z. B. trophische Interaktionen, Symbiosen, Konkurrenz) oder durch Veränderungen in der Struktur von Lebensgemeinschaften (z. B. Wegfall oder Hinzukommen von Arten: Geyer et al. 2011) und resultieren in der Regel aus klimawandelbedingten Veränderungen auf der Ebene von Individuen und Populationen (vgl. Kap. 2.2.1).

So können sich bspw. artspezifische Veränderungen der Phänologie auf synökologische Beziehungen auswirken, indem durch phänologische Entkopplungen Interaktionsgefüge zerstört oder verändert werden oder auch der Zugang zu Ressourcen erschwert wird (Olofsson et al. 2008, Geyer et al. 2011). Winter et al. (2010) führen in diesem Zusammenhang Untersuchungen aus Hessen zur erhöhten Nestprädation einiger Singvogelarten durch früher aus dem Winterschlaf erwachende Siebenschläfer an (Koppmann-Rumpf et al. 2003). Bairlein und Hüppop (2009) weisen zudem auf negative Konsequenzen einer Entkopplung von Zug- und nachfolgenden Brutereignissen bei Vögeln hin und nennen mehrere Studien, in denen dieses Problem näher untersucht wurde. Darüber hinaus können auch physiologische Veränderungen etablierte synökologische Beziehungen beeinflussen, etwa im Falle eines verringerten Nährstoffgehalts von Blättern infolge eines beschleunigten Pflanzenwachstums bei höheren CO₂-Konzentrationen (Cornelissen 2011). Räumliche Entkopplungen infolge von Arealverschiebungen können ebenfalls zu Störungen synökologischer Beziehungen führen (Schweiger et al. 2008). Donnelly et al. (2011) zeigen weitere Beispiele für klimawandelbedingt veränderte synökologische Beziehungen („climate-driven mismatches“) auf. So liegen verschiedene Untersuchungen zu veränderten Beziehungen zwischen Pflanzen und Herbivoren, Pflanzen und Bestäubern, Pflanzenschädlingen und -krankheiten in der Landwirtschaft vor. Untersuchungen von Plard et al. (2014) veranschaulichen diese Zusammenhänge am Beispiel des Europäischen Rehs (*Capreolus capreolus*), dessen Geburtszeiten sich offenbar nicht an den veränderten Frühlingsbeginn angepasst haben. Auch in marinen Ökosystemen kann der Klimawandel durch Auslösung physiologischer oder phänologischer Wirkungen mitunter weitreichende Veränderungen in synökologischen Beziehungen hervorrufen (Schubert et al. 2006). Relevante Wirkfaktoren sind hierbei insbesondere der Anstieg der Meerestemperaturen sowie der erhöhte Eintrag von CO₂ und infolge dessen die Versauerung der Meere. In der Nordsee konnte bspw. eine verzögerte Algenblüte beobachtet werden (UBA 2009b). Als Ursache hierfür wird eine größere Überlebenswahrscheinlichkeit von Zooplanktonorganismen in milden Wintern infolge höherer Wassertemperaturen im vorangegangenen Herbst vermutet (ebd.). Das Zooplankton kann sich somit früher im Jahr entwickeln und frisst das Phytoplankton noch vor dessen Blüte, die sich deshalb erst verspätet ausbilden kann (ebd.). Eine solche zeitliche Verschiebung der Räuber-Beute-Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton kann auch Auswirkungen auf höhere trophische Ebenen haben (z. B. herbivore Fischarten, UBA 2009b). Je höher die trophische Ebene einer betroffenen Art ist, desto höher ist im Allgemeinen auch die Komplexität möglicher Wirkungen (Pampus 2005, auch Gilman et al. 2010). Aufgrund der Komplexität der Wirkungszusammenhänge in Biozöosen ist zur Vorhersage klimawandelbedingter Veränderungen synökologischer Beziehungen weiterführende Grundlagenforschung erforderlich (Donnelly et al. 2011).

Eine Veränderung der Struktur von Lebensgemeinschaften ergibt sich insbesondere infolge des Verlusts von Arten, des Auftretens neuer Arten oder aufgrund von Abundanzveränderungen (Geyer et al.

2011). Es ist zwar meist schwierig das lokale oder regionale Verschwinden oder gar das Aussterben von Arten ursächlich auf den Klimawandel zu beziehen, in Bezug auf Schmetterlinge und Amphibien konnte aber bereits das klimawandelbedingte Erlöschen von Populationen in Verbindung mit einer Reduzierung der Verbreitungsgebiete der jeweiligen Arten nachgewiesen werden (Olofsson et al. 2008). Auch wenn Arten mit einem geographisch vergleichsweise kleinflächigen Verbreitungsgebiet wie alpin-nivale Arten als besonders gefährdet identifiziert wurden (Lübbert 2007), sind Gebirgsarten in Europa aber nicht überall gleichermaßen vom Klimawandel bedroht. Mit Blick auf eine veränderte Verteilung der Niederschläge werden insbesondere Arten der Pyrenäen und der östlichen österreichischen Alpen als stärker gefährdet eingestuft als etwa Arten der skandinavischen Gebirge (Engler et al. 2011). Bei arktisch-alpinen Pflanzenarten scheint der untere Grenzbereich ihrer thermischen Nische stärker festgelegt zu sein als ihr oberes thermisches Limit (Pellissier et al. 2013). Vor allem am oberen Temperaturlimit der Arten wird ihr Vorkommen voraussichtlich besonders stark durch biotische Interaktionen bestimmt (ebd.).

Manchen Arten ermöglicht der Klimawandel Arealerweiterungen. So können vor allem gebietsfremde Arten von der zunehmenden Erwärmung profitieren, da sie oftmals über Eigenschaften verfügen, die ihnen eine schnellere und effizientere Anpassung an den Klimawandel ermöglichen als einheimischen Arten (Mainka und Howard 2010). Nach Bellard et al. (2013) gilt dies vor allem für Wirbellose, während in Bezug auf bisher noch als invasiv geltende Amphibien- und Vogelarten Modellierungen auf einen Rückgang der Verbreitungsgebiete schließen lassen. Der Klimawandel wirkt (zusammen mit anderen Faktoren) auf alle Phasen des Invasionsprozesses, von der Einführung / Einwanderung (z. B. über Tourismus, Freiwerden neuer Seewege etc.) über die Etablierung und Ausbreitung (z. B. Besetzung von Nischen, die aufgrund der Arealverschiebung einheimischer Arten frei werden) bis hin zu den Folgen für die einheimische biologische Vielfalt (z. B. steigender Einfluss bereits vorhandener gebietsfremder Arten aufgrund von Arealerweiterung und Häufigkeitszunahme) (Hellmann et al. 2008). Beispiele für eine klimawandelbedingte Ausbreitung gebietsfremder Arten in Deutschland sind etwa die Lorbeerkirsche (*Prunus laurocerasus*), die sich in den letzten 10-20 Jahren in vielen Gebieten Südwestdeutschlands ausbreiten konnte (Pompe et al. 2011), die für ihre räuberische Ernährungsweise und ihr großes Vermehrungspotential bekannte Rippenqualle (*Mnemiopsis leidyi*), deren Auftreten in der Nord- und Ostsee seit 2006 dokumentiert ist (UBA 2009b) oder die mittlerweile verstärkt auftretenden Rotwangen-Schmuckschildkröten (*Trachemys scripta elegans*), von denen es nach Aussetzungen inzwischen mehrere reproduzierende Vorkommen in Deutschland gibt (Ficetola et al. 2009).

2.2.3 Klimawandelbedingte Veränderungen von Ökosystemen

Es ist davon auszugehen, dass auch in Deutschland alle Lebensräume durch den voranschreitenden Klimawandel beeinflusst werden, wobei es jedoch lebensraumspezifisch zu unterschiedlichen Auswirkungen kommt und der Grad der Beeinflussung stark variieren kann (Thuiller 2007). Zu den relevanten Wirkungsbereichen zählen hierbei vor allem Veränderungen abiotischer Bedingungen (klimatische Veränderungen bei Temperaturen und Niederschlägen, Veränderung von Schnee- und Eisverhältnissen, Veränderung der abiotischen Bodeneigenschaften etc.), Veränderungen von Ökosystemstrukturen (Veränderung abiotischer und biotischer Strukturen) und Veränderungen von Ökosystemprozessen (Energie- und Stoffkreisläufe, Sukzessionsprozesse etc.) (Geyer et al. 2011). Veränderungen auf ökosystemarer Ebene folgen daher häufig aus Veränderungen auf hierarchisch darunter eingestuften Ebenen (Kap. 2.2.1 und 2.2.2). Beispielsweise können über die Veränderung biotischer Wechselbeziehungen infolge des Hinzukommens oder des Verlusts von Arten auch abiotische Stoffkreisläufe verändert werden (Feehan et al. 2009). Veränderungen von Lebensräumen sind zudem über die „Ablösung“ ganzer Pflanzengesellschaften zu erwarten, z. B. Ersatz von Buchenwaldgesellschaften durch Eichen-Hainbuchenwälder unter wärmeren und gleichzeitig trockeneren Bedingungen (Kienast et al. 1998).

Im Zuge des Klimawandels werden sich voraussichtlich die jährlichen Mengen sowie die regionale und saisonale Verteilung der Niederschläge verändern (Wilke et al. 2011, Dister und Henrichfreise 2009). So mag die Vegetation in Gebieten mit erhöhten Winter- und Frühjahrsniederschlägen zwar zu Beginn der Vegetationsperiode von höheren Grundwasserständen und einer besseren Durchfeuchtung des Bodens profitieren. Aufgrund höherer Sommertemperaturen und daraus resultierenden größeren Verdunstungsraten wird sich die Wasserverfügbarkeit im Laufe des Sommers jedoch eher verschlechtern (ebd.). Auch sommerliche Starkregenereignisse können die Wasserknappheit kaum mindern, da sie mehr die Bodenerosion befördern als zur Auffüllung des Grundwassers beitragen. Insgesamt sind somit weitreichende Auswirkungen insbesondere auf grundwasserabhängige Pflanzengesellschaften zu erwarten, vor allem bei geringmächtiger oder wenig speicherfähiger Bodendeckschicht und dem Wegfall stützender Funktionen hoher Wasserstände von Mooren, Bächen und Flüssen (ebd.). Wassergebundene Lebensräume mit einer besonderen Sensibilität gegenüber derartigen Veränderungen sind z. B. Quellen und quellnahe Bereiche, Moore, dystrophe Gewässer, Küstenbereiche, Salzwiesen oder kleine Bäche (Rabitsch et al. 2011). Dabei werden aber nicht alle Bestandteile biologischer Vielfalt gleichermaßen beeinflusst. So können einerseits mit der Austrocknung bisher permanenter Gewässer infolge des Klimawandels erhebliche Beeinträchtigungen von teilweise hochgradig gefährdeten Gewässerorganismen verbunden sein (Dietrich 2007), andererseits aber auch konkurrenzschwache Arten profitieren, die temporäre Gewässer als Lebensraum nutzen (ebd.). Mit der klimawandelbedingten Veränderung von Böden und Bodenfunktionen können schließlich weitere Wirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden sein. Relevante Wirkfaktoren sind hier zum einen die Bodenerosion sowie die Veränderung der Wasserrückhalte- und -speicherfunktion von Böden (Jones et al. 2009). Darüber hinaus werden über die Beeinträchtigung der Bodenbiodiversität, z. B. infolge veränderter Bodentemperaturen oder -feuchte, auch wichtige Bodenbildungsprozesse beeinflusst (z. B. Akkumulation und Umwandlung organischer Substanz).

2.3 Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt

Indirekte Wirkungen auf die biologische Vielfalt resultieren vor allem aus Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sowie aus Schutzmaßnahmen etwa zur Verminderung der Emission von Treibhausgasen oder zur Erhaltung von Kohlenstoffsinken. Mögliche Ansatzpunkte für solche Maßnahmen werden u. a. in der Deutschen Anpassungsstrategie (Bundesregierung 2008) sowie in der Nationalen Strategie zur Biologischen Vielfalt (BMU 2007) genannt und betreffen insbesondere die Landnutzung und den Ausbau erneuerbarer Energien. Nachfolgend werden die hierbei relevanten Wirkungsbereiche kurz umrissen.

2.3.1 Auswirkungen infolge klimawandelbedingter Veränderungen der Landnutzung

Der Klimawandel verändert wesentliche Voraussetzungen für zahlreiche Landnutzungsformen (Zebisch et al. 2005, von Haaren et al. 2010, Wilke et al. 2011). Betroffen sind vor allem die Land- und Forstwirtschaft, die Wasserwirtschaft, der Hochwasserschutz sowie in Teilen die Tourismuswirtschaft.

Landwirtschaft

Eine veränderte landwirtschaftliche Nutzung ergibt sich zum einen aus der Notwendigkeit, die landwirtschaftliche Produktion an die sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen anzupassen. Negative Folgen für die biologische Vielfalt sind hier insbesondere aufgrund eines höheren Wasser-

verbrauchs im Zuge einer intensivierten Bewässerungswirtschaft (Lavalle et al. 2009) sowie infolge des Anbaus angepasster Arten und Sorten von Kulturpflanzen zu erwarten (Wilke et al. 2011). Zum anderen bewirken auch Klimaschutzmaßnahmen mit dem Ziel einer Reduktion von CO₂-Emissionen eine Veränderung der landwirtschaftlichen Produktion. An vorderster Stelle ist hier die Erzeugung von Biomasse für die energetische Nutzung im Bereich der erneuerbaren Energien zu nennen. Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt sind ebenfalls denkbar, wenn beispielsweise ein vermehrter Anbau von Wintergetreide zum Zwecke einer verbesserten Kohlenstoffbindung auf naturschutzfachlich wertvollem Brachland erfolgt (Berry 2009). Eine detaillierte Übersicht zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft und daraus resultierenden Anpassungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Produktion geben Schaller und Weigel (2007). Darüber hinaus liegen auch Studien für einzelne Bundesländer vor. Alcamo et al. (2005) etwa kommen in Modellrechnungen für Hessen (Grundlage B2-Szenario) zu dem Ergebnis, dass im Zuge des Klimawandels beim Anbau der meisten Feldfrüchte mit geringeren, im Grünland aber mit etwas höheren Erträgen zu rechnen ist. Dies sei vor allem darauf zurückzuführen, dass Grünland als einzige simulierte Dauerkultur von verlängerten Vegetationsperioden profitiert (ebd.). Allerdings wurden in den Modellrechnungen erhöhte CO₂-Konzentrationen, Veränderungen der Niederschlagsintensität, die Häufigkeit von Hagelereignissen oder Sturm nicht berücksichtigt (ebd.). Als Anpassungsmaßnahmen werden die Verwendung (neuer) geeigneter Sorten, eine standortabhängige Bewässerung, die Vorverlegung künftiger Aussaattermine oder auch eine Diversifizierung im Anbau vorgeschlagen (ebd.).

Forstwirtschaft

Im Zuge des Klimawandels ist mit einer weitreichenden Veränderung der Wälder und Forsten Deutschlands zu rechnen (Kölling und Zimmermann 2007). Relevante Wirkfaktoren wie steigende Temperaturen, veränderte Niederschlagsverteilungen oder Extremwetterereignisse (Dürre- und Hitzeperioden, Stürme) können erhebliche Beeinträchtigungen verursachen, etwa über ein erhöhtes Risiko von Waldbränden oder Schädlingsbefall (Wilke et al. 2011). Anfällig sind insbesondere Wälder, in denen die standortheimischen Baumarten (z. B. Buche und ihre Begleitbaumarten) durch eine standortfremde Bestockung ersetzt wurden (z. B. Fichten auf warmen und trockenen Standorten) (Kölling und Ammer 2006).

Ein wichtiger Ansatzpunkt zur langfristigen gerichteten Anpassung der Forstwirtschaft an den Klimawandel liegt daher in der Wahl geeigneter standort- und klimaangepasster Baumarten bei Bestandsneugründungen. Sofern hieraus ein verstärkter Anbau neophytischer Baumarten resultiert, sind weitere Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt denkbar (etwa beim Anbau der Douglasie: Walentowski 2008). Vor diesem Hintergrund wird ein Waldumbau hin zu naturnahen laubbaumbetonten Beständen mit einem hohen Anteil an standortheimischen Baumarten als besonders geeignete Reaktion auf den Klimawandel gesehen (Kölling und Ammer 2006). Eine weitere Anpassungsoption liegt in der Verkürzung von Produktionszeiten, um das Risiko von Sturmschäden und Pilzbefall bei Altbeständen zu mildern (Reif et al. 2010). Eine solche Entwicklung würde allerdings dem naturschutzfachlichen Ziel, den Alt- und Totholzbestand in Wäldern zu erhöhen, deutlich zuwiderlaufen (ebd.).

Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz

Der Klimawandel wird bereits bestehende quantitative und qualitative Belastungen des Wasserhaushalts verstärken (Wilke et al. 2011). In Hinblick auf Gefährdungen der biologischen Vielfalt ergeben sich daraus zahlreiche negative Einflussfaktoren, z. B. Beeinträchtigungen der Gewässerqualität durch Überläufe der Kanalisation bei Starkregenereignissen oder Minderung des Grundwasserdargebots als Folge eines steigenden Wasserbedarfs in Hitze- und Trockenperioden (ebd.). Darüber hinaus ist in vielen Regionen Deutschlands mit steigender Hochwassergefahr zu rechnen (Dister und Henrichfreise 2009).

Je nach Art der Anpassungsmaßnahmen sind hiermit negative oder positive Wirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden. So sind etwa naturschutzfachliche Konflikte insbesondere bei großen Eingriffen durch den technisch ausgerichteten Hochwasserschutz (Errichtung technischer Infrastruktur wie Dämme, Kanäle etc.) zu erwarten (Berry 2009). Andererseits sind eine hochwasserschutzbedingte Renaturierung von Gewässern und Wiedererrichtung von natürlichen Retentionsräumen auch aus naturschutzfachlicher Sicht zu befürworten (ebd.).

Tourismus

Die Auswahl touristischer Reiseziele hängt u. a. von Klima- und Wetterbedingungen ab und wird somit direkt vom Klimawandel beeinflusst (Zebisch et al. 2005). Daneben spielen indirekte Einflüsse des Klimawandels eine wichtige Rolle, etwa über die Veränderung von Ökosystemfunktionen, die für den Tourismus bedeutsam sind (z. B. Qualität von Badegewässern) (ebd.). In Deutschland sind Änderungen insbesondere im Wintertourismus zu erwarten. So legt eine Studie der UNEP eine Verschiebung der Grenze, ab der ein wirtschaftlicher Betrieb von Wintersportanlagen möglich ist, in den nördlichen Alpen von derzeit ca. 1.200 m auf 1.500 bis 1.800 m innerhalb der nächsten 30 bis 50 Jahre nahe (Korn und Epple 2006).

Neben einer Verschiebung von Wintersportangeboten in höhere Lagen wird dieser Entwicklung vor allem durch die Errichtung von Beschneiungsanlagen begegnet, womit auch negative Wirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden sein können (z. B. Verkürzung der Vegetationsperiode: Zebisch et al. 2005).

2.3.2 Auswirkungen infolge des Ausbaus erneuerbarer Energien

Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Minderung klimarelevanter CO₂-Emissionen liegt im Ausbau der erneuerbaren Energien. Nach Einschätzung des SRU (2011) ist eine 100-prozentige Stromversorgung mit erneuerbaren Energien möglich, auch ohne auf Flächen zurückzugreifen, die unter Naturschutz stehen. Prinzipiell sollte die Berücksichtigung bereits bestehender naturschutzfachlicher rechtlicher Vorgaben (BNatSchG, Wasserrahmenrichtlinie, Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie etc.) zu einem nachhaltigen ökologisch verträglichen Ausbau der erneuerbaren Energien führen (ebd.). Einschränkend ist hier allerdings zu vermerken, dass die Erzeugung von Strom nur einen Teil des gesamten Energiebedarfs darstellt und zudem biologische Vielfalt auch außerhalb von Schutzgebieten beeinträchtigt werden kann. Nachfolgend werden in Bezug auf die erneuerbaren Energien in den Bereichen der Wasserkraft, Windenergie, Solarenergie, Biomasse und Geothermie mögliche Auswirkungen auf die biologische Vielfalt skizziert.

Wasserkraft

Die Nutzung der Wasserkraft kann weitreichende Wirkungen auf die biologische Vielfalt von Gewässern entfalten (SRU 2011). Dies gilt sowohl für herkömmliche Wasserkraftwerke als auch für Gezeitenkraftwerke (Berry und Paterson 2009, s. auch Jackson 2011). Im Fall von Kraftwerken an Fließgewässern resultieren Beeinträchtigungen zum einen aus einer Verringerung der Durchgängigkeit infolge der Querabriegelung des Gewässers durch die Wasserkraftanlage (DRL 2006). Hierdurch werden flussaufwärts wie flussabwärts wandernde Fischarten gleichermaßen beeinträchtigt. Zum anderen werden durch die Stauhaltung die Standortbedingungen maßgeblich verändert (z. B. Sedimentbildung, Eutrophierung), woraus wiederum erhebliche Veränderungen der für Fließgewässer typischen Biozönosen resultieren können (ebd.). Ein weiteres Problem stellt schließlich die teilweise signifikante Veränderung der natürlichen Abflusssdynamik dar (ebd.). Ob es im Zuge der sog. „Energiewende“ in Deutschland zu einem klimawandelbedingten Ausbau der kleinen Wasserkraft und/oder von Pump-

speicherkraftwerken kommen wird, ist u. a. wegen der dichten Besiedelung nur schwer einzuschätzen und wird in Kapitel 10.21 genauer beleuchtet.

Windenergie

Zu berücksichtigen sind hierbei sowohl die Wirkungen von Onshore- als auch Offshore-Anlagen. Derzeit liegt die installierte Gesamtleistung aller Windkraftanlagen bei 35.388,7 MW (Stand 30.06.2014¹). Vor dem Hintergrund des geplanten weiteren Ausbaus erneuerbarer Energieträger als Beitrag zum Klimaschutz wird bis zum Jahr 2020 eine Erhöhung dieser Gesamtleistung um knapp 12 % angestrebt (Schneeberger 2013). Einschlägige Studien legen Störungen von Vögeln und Fledermäusen durch die Windkraftnutzung und eine Erhöhung der Mortalität nahe (z. B. Bellebaum et al. 2013, Brinkmann und Schauer-Weissahn 2006, Hötker et al. 2006, Seiche et al. 2008). Das Kollisionsrisiko hängt zum einen stark vom jeweiligen Standort der Windkraftanlagen ab. So haben sich Standorte in der Nähe von Feuchtgebieten insbesondere für Vögel und in der Nähe von Waldgebieten besonders für Fledermäuse als risikoreich erwiesen (ebd., auch SRU 2011). Weitere Einflussfaktoren sind die Ausgestaltung der Windkraftanlage, die Wetterbedingungen (z. B. geringe Sicht bei Nebel) sowie die Arten selbst (z. B. Manövrierfähigkeit) (Drewitt und Langston 2006). Störwirkungen vermindern vor allem die Eignung als Brut- und Rasthabitat, wobei auch hier große Unterschiede in Abhängigkeit von den jeweils betrachteten Arten und weiteren Faktoren (z. B. Verfügbarkeit alternativer Habitats) zu verzeichnen sind (ebd.). Zudem sind Barrierewirkungen (Behinderung von Wanderungen) denkbar (ebd., auch Berry und Paterson 2009). Eine Gewöhnung von Vögeln an Windkraftanlagen konnte bisher nicht nachgewiesen werden (Hötker et al. 2006, auch SRU 2011). In Bezug auf Offshore-Anlagen sind weitere Wirkfaktoren zu nennen. So werden nicht nur Zug- und Rastvögel, sondern auch marine Säugetiere beeinträchtigt, zum Teil bereits durch den Baulärm (Rammarbeiten; SRU 2011, DRL 2006; s. auch Russell et al. 2014, Vaissière et al. 2014). Zudem bringt die erforderliche Netzanbindung diverse Beeinträchtigungen des Meeresbodens mit sich, etwa bei der Kabelverlegung (durch Eingraben oder Einspülen) oder auch durch eine betriebsbedingte Erwärmung der bodennahen Schichten entlang der verlegten Kabel (DRL 2006). Es sind aber auch bei der Windkraft zahlreiche Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen möglich, beginnend bei der Wahl geeigneter Standorte bis hin zum farbigen Anstrich der Rotorblätter (Drewitt und Langston 2006).

Solarenergie

Hinsichtlich möglicher Beeinträchtigungen biologischer Vielfalt sind im Bereich der Solarenergie in erster Linie Photovoltaik-Freiflächenanlagen relevant (SRU 2011). Im Jahr 2013 wurden in Deutschland mit Photovoltaik-Anlagen rund 30 TWh Energie erzeugt²; dies bedeutet gegenüber dem Jahr 2011 (rund 19 TWh) eine Steigerung von mehr als 50 % und liegt deutlich über der für das Jahr 2020 angestrebten Zielmarke von 20 TWh (Schmidt et al. 2014). Von einem derart forcierten Ausbau der Photovoltaik und damit auch der Freiflächen-Photovoltaik ist nach der Novellierung des EEG und den starken Kürzungen der Einspeisevergütungen seit dem Jahr 2013 allerdings nicht mehr auszugehen. Dennoch ist in der jüngeren Vergangenheit durch die Aufstellung solcher Photovoltaikanlagen ein zunehmender Druck auf Freiflächen (Grün- und Ackerland) zu verzeichnen gewesen (SRU 2011). Nach einer Studie von Herden et al. (2009) sind in Hinblick auf Pflanzen und Pflanzengesellschaften Beeinträchtigungen durch Bodenumlagerung, -verdichtung und -versiegelung oder durch Beschattung und Veränderung der Niederschlagsmenge unterhalb der Module denkbar. Während Kleinsäuger auf-

¹ Quelle: Webseite des Bundesverbandes Windenergie BWE: <http://www.windenergie.de/sites/default/files/attachments/page/statistiken/fact-sheet-onshore-statistik-halbjahr-2014.pdf> [30.10.2014]

² Quelle: Webseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/energiedaten.html> [30.10.2014]

grund der Entwicklung einer dauerhaften Vegetation und des Fehlens mechanischer Bodenbearbeitung profitieren können, ergeben sich für größere Tiere mitunter Habitatverluste aufgrund der Abzäunung, wobei Meidungswirkungen nicht nachgewiesen sind (ebd.). In Bezug auf Vögel besteht ein eher geringes, wenn auch nicht völlig auszuschließendes Kollisionsrisiko. Allerdings sind Habitatverluste oder verringerte Habitatwerte für Offenlandvögel zu erwarten (ebd., auch Tröltzsch und Neuling 2013). Im Allgemeinen sollten eher geringe Auswirkungen auftreten, die zudem größtenteils durch eine entsprechende Standortwahl und weitere geeignete Maßnahmen eliminiert, mindestens aber deutlich verringert werden können (Tsoutsos et al. 2005, vgl. auch Herden et al. 2009, Berry 2009, Hernandez et al. 2014). Eine maßvolle und umsichtige Flächenwahl vorausgesetzt kann die Anlage von Solarparks sogar positive Beiträge zur Erhaltung biologischer Vielfalt leisten, etwa bei Errichtung auf ehemals intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Konversionsflächen (Peschel 2010). Auch der aktuelle wie prognostizierte Flächenbedarf fällt im Vergleich zu anderen möglichen Nutzungen, die für die biologische Vielfalt deutlich schädlicher sind, eher gering aus, selbst wenn bis 2020 die Leistung deutschlandweit auf vier Gigawatt ausgebaut werden soll (ebd.).

Biomasse

Im Jahr 2011 existierten in Deutschland 7.160 Biogasanlagen zur Stromerzeugung, die einen Beitrag von etwas mehr als 6 % zur Bruttostromproduktion leisteten (Schmidt et al. 2014). Bis zum Jahr 2020 ist eine Steigerung dieses Anteils auf 9,1 % der Bruttostromerzeugung geplant (ebd.). Die energetische Nutzung von Biomasse kann mit zahlreichen z. T. gravierenden Folgen für die biologische Vielfalt verbunden sein, insbesondere dann, wenn naturschutzfachlich wertvolle Standorte für den Energiepflanzenanbau genutzt werden (SRU 2011). Hinzu kommen Wirkungen infolge von Nährstoffeinträgen in Boden und Grundwasser, veränderter Erntetermine, der Invasivität bestimmter Kulturpflanzenarten oder auch bedingt durch den erhöhten Wasserbedarf von Kurzumtriebsplantagen (ebd.). Schümann et al. (2010) nennen vor allem folgende Wirkbereiche: 1.) Fruchtfolgeverengung (Mais, Raps) und Flächenzuwachs beim Anbau von Biomasse, 2.) Grünlandintensivierung und -umbruch (Verlust von ertragsschwachen, aber artenreichen Extensivgrünlandstandorten), 3.) Veränderungen von Lebensraumdynamik und -angebot. Inwieweit hieraus negative oder positive Wirkungen resultieren, hängt nach einer Studie von Gevers et al. (2011) davon ab, welche Schutzgüter betrachtet werden: Bei bestimmten Käfer- und Spinnenarten etwa ist eine Häufigkeitszunahme zu verzeichnen, die vermutlich auf den geringeren Einsatz von Insektiziden in Maiskulturen für die Bioenergiegewinnung zurückzuführen ist. Modellierungen von Sauerbrei et al. (2014) lassen hingegen auf negative Wirkungen des Energiemaisanbaus in Hinblick auf Vogelarten der Agrarlandschaft schließen (s. hierzu auch das Positionspapier des DDA zur Situation der Vogelarten der Agrarlandschaft³). Darüber hinaus ist entscheidend, ob der Anbau großflächig oder eher klein parzelliert erfolgt (Firbank 2008). Bei der Beurteilung möglicher Wirkungen des Biomasseanbaus auf die biologische Vielfalt ist ferner zu berücksichtigen, ob es sich um konventionelle Getreidesorten handelt, die für energetische Zwecke angebaut und genutzt werden, oder um spezielle Energiepflanzenarten. Bezüglich letztgenannter legen Studien eine im Vergleich mit herkömmlichen Getreidesorten, die zu energetischen Zwecken angebaut werden, höhere Artenvielfalt nahe (Dauber et al. 2010). Im Allgemeinen wird die Bewertung schon allein dadurch erschwert, dass unklar ist, auf Kosten welcher Landnutzungen sich ein großflächiger Energiepflanzenanbau tatsächlich etablieren wird (ebd.). Selbst wenn dem Biomasseanbau positive Effekte auf die biologische Vielfalt zugestanden werden – z. B. in einem Gebiet, das von intensiver Landwirtschaft geprägt ist –, kommen diese nur dann tatsächlich zum Tragen, wenn Nachhaltigkeitsprinzipien und übergeordnete wie regionale Naturschutzziele berücksichtigt werden (ebd.).

³ Online unter: http://www.dda-web.de/downloads/texts/positionspapier_agrarvoegel_dda_dog.pdf [Zugriff 22.12.2014]

Geothermie

Techniken zur Stromgewinnung aus Geothermie befinden sich noch in der Entwicklung, die zu erwartenden Umweltwirkungen (z. B. chemische Beschaffenheit des Grundwassers infolge Abkühlung) werden aber als gering und auf den Standort beschränkt eingeschätzt (SRU 2011). Auch bei der Nutzung geothermischer Heizungsanlagen bestehen Risiken hauptsächlich in einer Beeinträchtigung des Grundwassers (Neumann und Schönauer 2007). Relevante Wirkungspfade sind hierbei Verunreinigungen etwa durch Frostschutzmittel und andere Schadstoffe (vgl. Neumann und Schönauer 2007, Peters et al. 2010), thermische Belastungen oder die unerwünschte Verbindung verschiedener Grundwasserschichten durch Bohrung und Betrieb (Neumann und Schönauer 2007).

2.4 Unsicherheiten bei der Indikation von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt

Prognosen des Klimawandels und der damit verbundenen Veränderungen der Biodiversität werden durch mehrere Faktoren erschwert. Zwar existieren zahlreiche Modellierungen zur Prognose der Klimaentwicklung, je nach Ausprägung der zugrunde gelegten Einflussfaktoren weisen die Modellierungen jedoch eine große Bandbreite unterschiedlicher klimatischer Entwicklungen auf (Kap. 2.1). Hinzu kommt, dass es bisher kaum verlässliche Informationen zur künftigen Entwicklung klimatischer Extreme gibt (Nadler 2011). Die tatsächliche Ausprägung des Klimawandels in einer bestimmten Region ist daher nur schwer vorhersagbar. Darüber hinaus bestehen eklatante Wissensdefizite hinsichtlich der Reaktionen von Pflanzen, Tieren, Lebensgemeinschaften oder Ökosystemen auf die Veränderung relevanter Klimaparameter. Denn „nie zuvor mussten sich so viele Arten so rasch an neue Standortbedingungen anpassen oder gar ihre Areale verlagern, während ihre Populationen durch andere Bedrohungsfaktoren stark geschwächt, kritisch reduziert und / oder geographisch stark isoliert und fragmentiert waren. Damit verringert sich die Vorhersagbarkeit von spezifischen Folgen der Erwärmung noch stärker“ (Ibisch 2006: 74). Schließlich ist auch das ökologische Grundlagenwissen etwa hinsichtlich der zahlreichen Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den Ebenen der biologischen Vielfalt als unzureichend einzuschätzen. Vor diesem Hintergrund sind auch Vorhersagen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt mit Hilfe von Verbreitungsmodellen bisher wenig verlässlich (Dormann 2008). So unterscheiden sich die Ergebnisse verschiedener Modellrechnungen etwa zu Aussterberaten oder Arealverschiebungen von Arten in Abhängigkeit von den jeweils berücksichtigten Parametern oder der jeweils zugrunde gelegten räumlichen Auflösung (Lawler et al. 2006, Willis und Bhagwat 2009). Parameter wie die Interaktion der Arten untereinander, Anpassungsfähigkeiten oder phänotypische Plastizität werden in den Modellen nicht berücksichtigt (Guisan und Vittoz 2007), zur Ausbreitung von Arten werden in vielen Fällen stark vereinfachende Annahmen getroffen, und die Komplexität der zugrundeliegenden Zusammenhänge wird erst seit kurzem erforscht (Korn und Epple 2006). Zudem ist zu bedenken, dass die Spanne potenziell möglicher Veränderungen der Artverbreitung nur dann adäquat eingegrenzt werden kann, wenn künftig neben Klimaszenarien auch mögliche Landnutzungsänderungen in die Modellierungen integriert werden (Chazal und Rounsevell 2009).

2.5 Klimawandelbedingte Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt

Auch der Naturschutz ist vor die Herausforderung gestellt, seine Strategien, Ziele und Maßnahmen an den Klimawandel anzupassen. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Frage, welche klimawandelbedingten neuen Zustände auf welche Weise bewertet werden sollen und welche Kriterien hierfür heranzuziehen sind (Heiland et al. 2008). Bislang verwendete Kriterien wie „Natürlichkeit“ sind mit Blick auf die durch den Klimawandel ausgelösten Veränderungen von Lebensgemeinschaften und Lebensräumen nur noch bedingt geeignet und müssen daher überdacht und neu definiert werden (Boye und Klingenstein 2006, Ibisch et al. 2009). Dabei wird die Neuausrichtung naturschutzfachlicher Strategien, Ziele und Maßnahmen insbesondere durch zahlreiche mit dem Klimawandel verbundene Unsicherheiten erschwert (Heiland et al. 2008, s. Kap. 2.4). Wie sollen zukünftige Zustände bewertet werden, deren Ausprägung zwar noch nicht exakt vorhergesagt werden kann, die sich aber deutlich sowohl von den bisher bekannten als auch aus naturschutzfachlicher Sicht angestrebten Zuständen unterscheiden könnten? Mit bisherigen naturschutzfachlichen Strategien kann diese Frage nur unzureichend beantwortet werden. So sind sowohl Strategien des „bewahrenden Naturschutzes“ als auch Strategien des „dynamischen Naturschutzes“ auf Schutzobjekte ausgerichtet, deren Eigenschaften klar definiert und i. d. R. an historischen Vorbildern orientiert sind (Heiland und Kowarik 2008). Vor dem Hintergrund des Klimawandels sind Strategien, Ziele und Maßnahmen zur Erhaltung biologischer Vielfalt vor allem dann erfolgversprechend, wenn sie natürliche Dynamik ermöglichen und unterstützen (Zebisch et al. 2005). Folglich plädieren Doyle und Ristow (2006) für eine Ergänzung bestehender Naturschutzansätze – wie des dynamischen Biodiversitätsschutzes – und führen am Beispiel der Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation eines Waldökosystems zahlreiche Maßnahmen zur Erhaltung biologischer Vielfalt an (s. Tab. 3).

Künftige an den Klimawandel angepasste Naturschutzstrategien sollten somit die Fähigkeit von Ökosystemen stärken, nach Störungen oder Belastungen in den ursprünglichen Zustand zurückzukehren (Resilienz), und Anpassungsmöglichkeiten der biologischen Vielfalt fördern (Doyle und Ristow 2006). Dabei sind grundsätzlich auch Synergien mit Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel möglich (Paterson et al. 2008, Berry und Paterson 2009, von Haaren et al. 2010; s. Abb. 4). Beispielsweise dient die Erhaltung von Wäldern und Mooren nicht nur dem Artenschutz, sondern leistet auch einen wichtigen Beitrag zur Minderung von Treibhausgasemissionen (Freibauer et al. 2009).

Tab. 3: Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation eines Waldökosystems und mögliche Gegenmaßnahmen (aus Doyle und Ristow 2006, verändert)

Auswirkungen des Klimawandels	Mögliche Gegenmaßnahmen
Verstärktes Auftreten von Störungen	Reduzierung bestehender Störungen (z. B. Überdüngung, Fragmentierung, überhöhte Wilddichte)
Vereinheitlichung	Pflanzung standortgerechter heimischer Baumarten, Verwendung autochthonen Pflanz- und Saatgutes, Bekämpfung invasiver gebietsfremder Arten
Arealverschiebung	„Wanderfähigkeit“ erhöhen durch höhere genetische Diversität, Vergrößerung / Zusammenfassung von Schutzgebieten, Ausweisung von Schutzgebieten mit struktur- und kleinklimatischer Vielfalt, Verhinderung weiterer Fragmentierung, Stärkung des Biotopverbunds, Einrichtung von Managementkorridoren, welche die Landschaftsdurchlässigkeit erhöhen, Pufferzonen, gezielte Verpflanzungen und Ausbringungen
Verjüngung der Altersstruktur	Altholzbestände schützen (kein Kahlschlag; Herausnahme von Altholzbeständen aus der forstlichen Bewirtschaftung)
Aussterben oder Ausrottung von Arten	Schutz eines Spektrums verschiedenartiger Biotoptypen entlang von Umweltgradienten (Boden, Feuchtigkeit, Mikroklima), In situ-Artenschutz, Ex situ-Artenschutz, Verpflanzungen
Verstärkter Rückgang besonders empfindlicher Arten	Ausweisung angemessener Schutzgebietssysteme, künstliche Schaffung von Habitaten, In situ-Artenschutz, Ex situ-Artenschutz, Konservierung in Genbanken

Vor diesem Hintergrund werden vor allem nachfolgend dargestellte Ansätze zur Anpassung naturschutzfachlicher Strategien, Ziele und Maßnahmen diskutiert (Zebisch et al. 2005, Doyle und Ristow 2006, Hagermann und Chan 2009, Dunwiddie et al. 2009, Lawler 2009), mit denen letztlich eine Verringerung der Vulnerabilität und eine Erhöhung der Anpassungskapazität biologischer Vielfalt angestrebt werden (Ibisch et al. 2012).

Reduzierung sonstiger Belastungen

Ein wichtiger Ansatzpunkt liegt zunächst darin, bestehende nicht durch den Klimawandel hervorgerufene Belastungen (z. B. Zersiedlung und Fragmentierung, Übernutzung, Schadstoffeinträge) zu verringern (Lawler 2009, Wilke et al. 2010). In Hinblick auf die durch den Klimawandel besonders gefährdeten Feuchtgebiete kann dies z. B. mit Hilfe der Entwicklung und Umsetzung geeigneter Wasserhaushaltskonzepte erreicht werden (Zebisch et al. 2005, Doyle und Ristow 2006, Bundesregierung 2008).

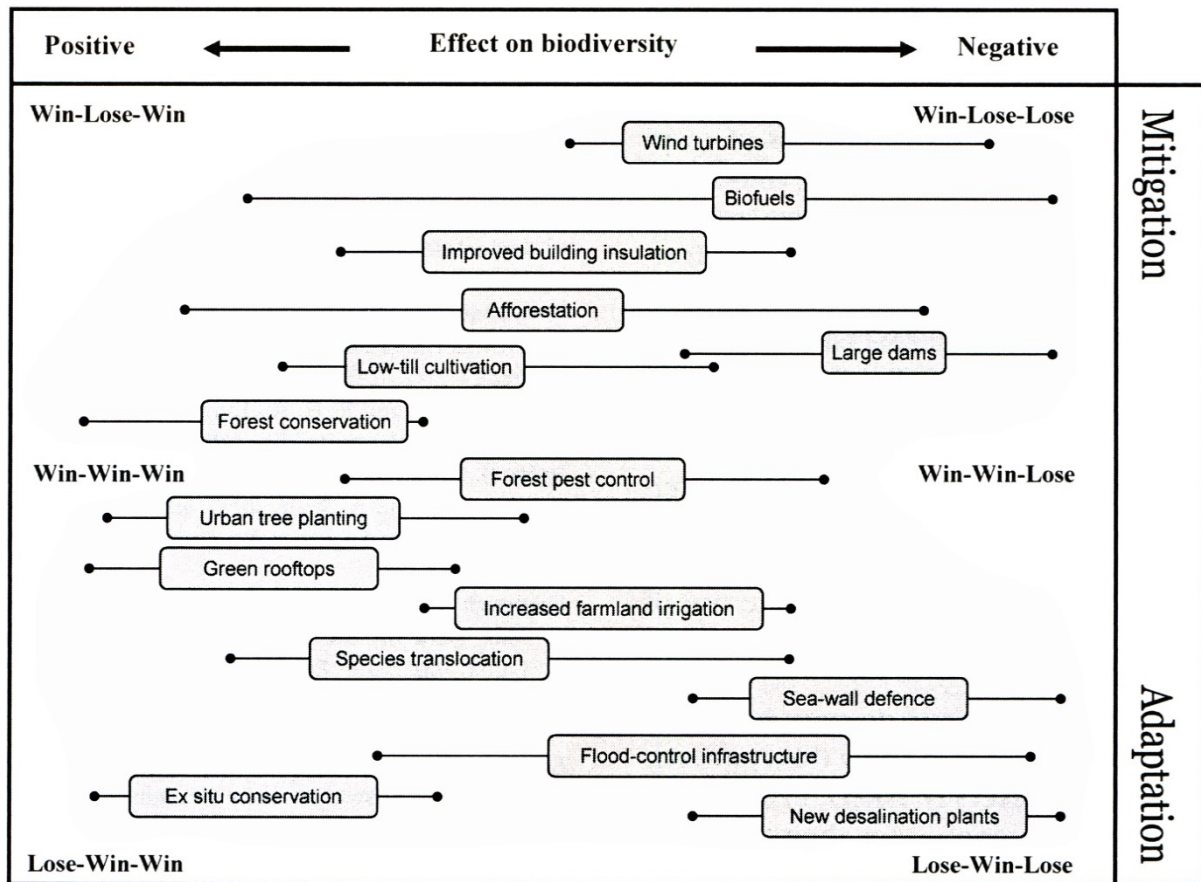


Abb. 4: Bekannte und mögliche Zusammenhänge zwischen Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel sowie deren Wirkungen auf die biologische Vielfalt (aus Paterson et al. 2008).

Die schwarzen Linien zeigen die Bandbreite möglicher Wirkungen; bspw. können mit der Umsiedlung von Arten („species translocations“) sowohl negative als auch positive Wirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden sein. Den „win-lose“-Einstufungen liegt die Reihenfolge Beitrag zum Klimaschutz, Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel und Wirkungen auf die biologische Vielfalt zugrunde. Beispielsweise werden Maßnahmen im Bereich „lose-win-lose“ als dem Klimaschutz abträglich eingestuft und sind zudem mit negativen Wirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden. Jedoch leisten sie einen positiven Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel.

Ausweitung und Anpassung von Schutzgebieten

Weiterhin wird häufig die Ausweitung von Schutzgebieten gefordert (z. B. Alcamo et al. 2007, Hagerman und Chan 2009, Lawler 2009), um Arten und Lebensgemeinschaften ausreichend Raum zur Anpassung an veränderte Umweltbedingungen zu geben. Hierbei ist zum einen zu berücksichtigen, dass die bisherige Schwerpunktsetzung auf geographische Kerngebiete von Art- oder Biotopvorkommen ggf. zu kurz greift. So könnten sich im Zuge des Klimawandels aus heutigen Randvorkommen mit scheinbar schlechteren Überlebensbedingungen künftige Kernvorkommen von Arten und Biotopen entwickeln (Doyle und Ristow 2006). Zum anderen besteht die Möglichkeit, dass Zielarten im Zuge von Anpassungsprozessen in bestimmten Regionen verschwinden, in denen bisher zahlreiche Vorkommen in Schutzgebieten lagen, aus den Schutzgebieten wandern, weshalb auch die Flexibilisierung von Schutzgebietsgrenzen diskutiert wird (Zebisch et al. 2005, Hagerman und Chan 2009).

Ausweitung und Anpassung von Biotopverbundsystemen

Aufgrund der Verschiebung bioklimatischer Verbreitungsgebiete kommt der (Wieder-)Herstellung von Wanderungs- bzw. Ausbreitungskorridoren eine besondere Bedeutung zu (Doyle und Ristow 2006,

Dunwiddie et al. 2009, Lawler 2009, Hagerman und Chan 2009). Hierzu ist zum einen die Sicherung sowie nach Möglichkeit die Ausweitung und Ergänzung bestehender Biotopverbundsysteme auf lokaler, regionaler, nationaler oder globaler Ebene erforderlich (Doyle und Ristow 2006, Lawler 2009). Zum anderen können hierzu Managementkorridore, in denen extensive Nutzungen überwiegen und die somit für zahlreiche Arten „durchlässig“ sind, einen wichtigen Beitrag leisten (ebd.).

Umsiedlung / Verpflanzung („assisted colonization / migration“)

Vor dem Hintergrund, dass nicht alle Arten gleichermaßen von einem erweiterten Biotopverbund profitieren wird als unterstützende Maßnahme auch die gezielte Umsiedlung oder Verpflanzung von Individuen oder Populationen in Erwägung gezogen (Doyle und Ristow 2006, Hagerman und Chan 2009, Lawler 2009, Loss et al. 2011). Auch bei sorgfältiger Planung sind hiermit jedoch mehrere Risiken und Schwierigkeiten verbunden. So besteht die Möglichkeit, dass umgesiedelte Arten in ihrem neuen Verbreitungsgebiet invasiv werden und weitreichende Veränderungen der dortigen biologischen Vielfalt hervorrufen können (Lawler 2009, Loss et al. 2011). Für eine erfolgreiche Umsiedlung ist es zudem erforderlich, die Entwicklung von Umweltbedingungen zuverlässig abzuschätzen und bereits heute auf Grundlage dieser Kenntnisse in Zukunft geeignete Habitate auszuwählen (Lawler 2009). In Bezug auf den Klimawandel und daraus resultierende Umweltveränderungen ist dies jedoch nur mit Einschränkungen möglich (s. Kap. 2.1).

Erhaltung genetischer Vielfalt

Die Erhaltung genetischer Vielfalt von wildlebenden Arten, Kulturpflanzen und Nutztieren erhöht deren Fähigkeit zur Anpassung an veränderte Klimabedingungen (Korn und Eppele 2006, Bundesregierung 2008, Dunwiddie et al. 2009). Neben Strategien der in situ-Erhaltung (z. B. Sicherung ausreichend großer und miteinander vernetzter Populationen) oder ex situ-Erhaltung (z. B. Genbanken, Erhaltungskulturen, Zuchtprogramme) liegt in der Verwendung gebietseigenen Pflanz- und Saatguts bei Maßnahmen von Landschaftsbau und Landschaftspflege eine weitere Möglichkeit, genetische Vielfalt regional zu schützen (Kowarik und Seitz 2003). Entsprechendes Material ist auf dem Markt verfügbar, wobei in Teilen bereits eine Herkunftssicherung durch Zertifizierung gewährleistet ist (Seitz et al. 2007).

2.6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Wie oben dargestellt, führt der Klimawandel durch direkte und indirekte Auswirkungen zu teilweise weitreichenden Veränderungen der biologischen Vielfalt (s. Abb. 5 und 6). In Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren (z. B. betrachtete Arten und Lebensräume) können diese Wirkungen positiv oder negativ bewertet werden („Gewinner“ und „Verlierer“ des Klimawandels). In der Primärliteratur sind, neben Ergebnissen von Modellierungen oder experimentellen Untersuchungen zu Klimawandelauswirkungen, auch Erkenntnisse aus Freilandbeobachtungen verfügbar (z. B. hinsichtlich der Veränderung von Verbreitungsgebieten oder phänologischer Veränderungen). Direkte Beeinträchtigungen biologischer Vielfalt resultieren vor allem aus der Veränderung von Verbreitungsgebieten, phänologischen und physiologischen Veränderungen sowie aus den damit verbundenen Veränderungen auf der Ebene von Biozöten und Ökosystemen. Indirekte Beeinträchtigungen biologischer Vielfalt entstehen insbesondere über klimawandelbedingte Landnutzungsänderungen (hauptsächlich Land-, Forst- und Wasserwirtschaft) und Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen etwa durch den Ausbau erneuerbarer Energien, die wiederum Auswirkungen auf Populationen, Biozöten und Ökosysteme haben können.

Anpassungen seitens des Naturschutzes sind sowohl bei grundlegenden Werthaltungen als auch bei darauf basierenden Strategien, Zielen und Maßnahmen erforderlich. Diskutiert werden in diesem Zu-

sammenhang insbesondere die Reduzierung bereits bestehender Belastungen aufgrund anderer Wirkfaktoren (z. B. Fragmentierung, Schadstoffeinträge), die Ausweitung und teilweise konzeptionelle Neuausrichtung von Schutzgebieten und Biotopverbundsystemen, die gezielte Umsiedlung von Individuen oder Populationen sowie die Erhaltung und Förderung genetischer Vielfalt (s. auch Abb. 5 und 7).

In Hinblick auf die Auswahl geeigneter Messgrößen für Indikatoren bieten sich vor allem Teilbereiche der Biodiversität (Arten, Lebensräume) an, die eine besondere Klimasensitivität aufweisen und damit als Frühwarnsystem für andere Teile der Biodiversität gelten können. Lebensraumveränderungen oder Arealverschiebungen im montanen Bereich oder im Bereich der Küste scheinen daher in diesem Zusammenhang besonders interessant zu sein.



Abb. 5: Übersicht zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland und Anpassungsoptionen des Naturschutzes (in Anlehnung an das DPSIR-Modell, beispielhafte Auflistungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit) – Teil 1: Beispiele für direkte Wirkungen des Klimawandels

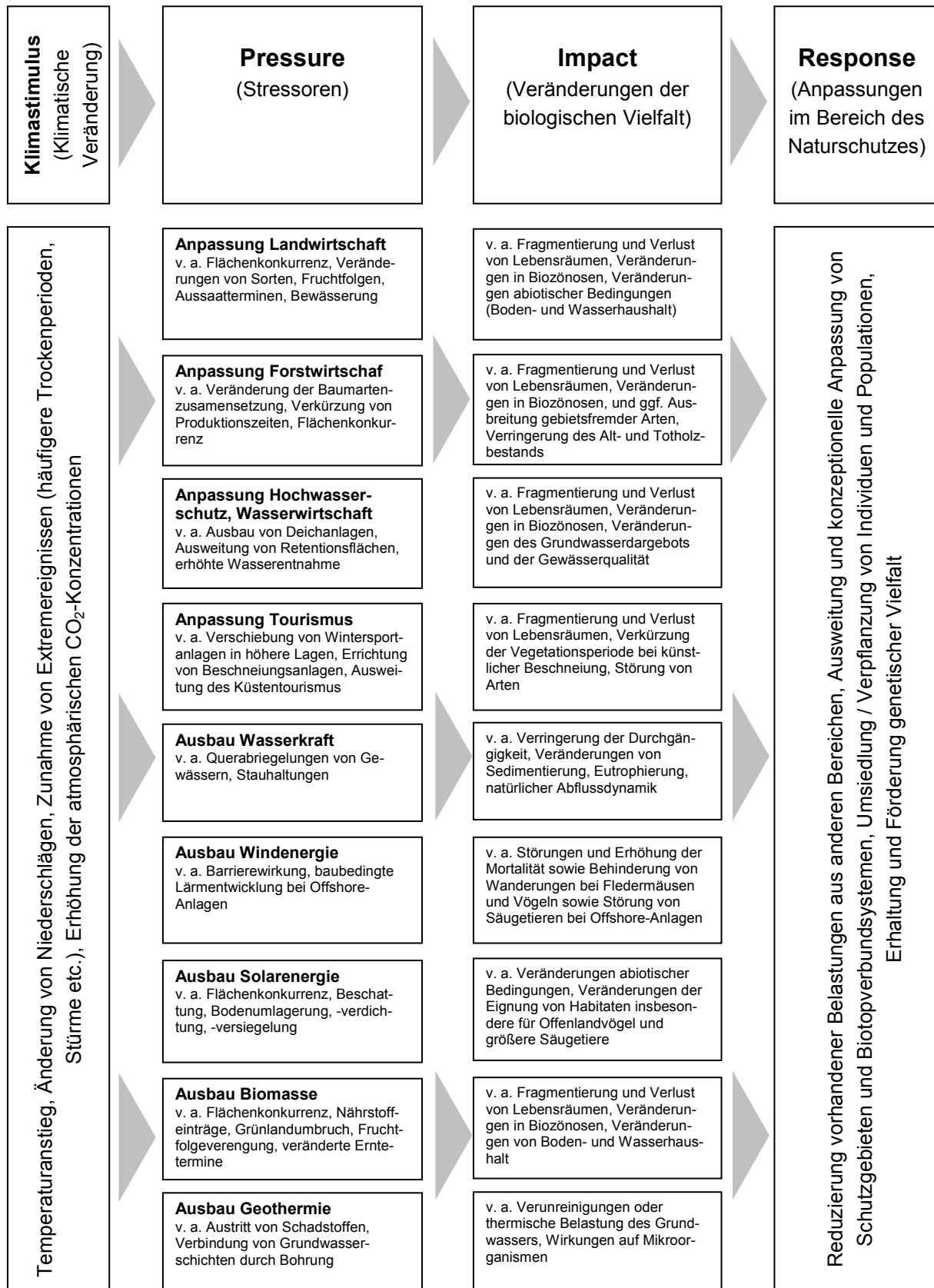


Abb. 6: Übersicht zu möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland und Anpassungsoptionen des Naturschutzes (in Anlehnung an das DPSIR-Modell, beispielhafte Auflistungen ohne Anspruch auf Vollständigkeit) – Teil 2: Beispiele für indirekte Wirkungen des Klimawandels

3. Methodische Grundlagen

Veränderungen der Biodiversität lassen sich häufig nicht auf eine einzelne Ursache zurückführen, sondern beruhen auf dem Zusammenspiel unterschiedlicher Einflüsse. Hierbei können klimatische Veränderungen eine wichtige Rolle spielen. Jedoch können Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt auch weitgehend oder vollständig hinter Auswirkungen von Landnutzungsänderungen, Schadstoffimmissionen oder anderen Ursachen zurücktreten. Daher sollen die Indikatoren des zu entwickelnden Indikatorensystems möglichst auf die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt sowie auf indirekte klimawandelbedingte Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen fokussieren. Dabei sollte der Wirkungszusammenhang zwischen dem Klimawandel und den durch diesen bedingten Veränderungen der Biodiversität sowohl sehr wahrscheinlich als auch sehr stark sein.

Zur inhaltlichen Systematisierung des Indikatorensets und zur Gewährleistung einer ausgewogenen Abbildung der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt wurde daher zum einen auf die Ergebnisse aus der Analyse der direkten und indirekten Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt zurückgegriffen (s. Abb. 5 und 6), zum anderen wurden die Indikatorvorschläge den Kategorien des DPSIR-Ansatzes der Europäischen Umweltagentur (EEA) (s. Kap. 3.1) zugeordnet.

In Kapitel 3.2 werden die speziellen Eigenschaften vorgestellt, die Fachindikatoren zur Politikberatung im Unterschied zu wissenschaftlichen Indikatoren haben sollten. Zudem werden die Kriterien erläutert, die die Indikatoren des geplanten Indikatorensets erfüllen müssen bzw. sollten.

3.1 DPSIR-Ansatz

Zur Systematisierung des Indikatorensets und zur Gewährleistung einer ausgewogenen Darstellung der direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt orientiert sich das Vorhaben am DPSIR-Ansatz der Europäischen Umweltagentur (Smeets und Weterings 1999), der seinerseits eine Erweiterung des PSR-Ansatzes (Pressure-State-Response) der OECD darstellt. Demnach treffen Indikatoren zu „Driving Forces“ (D = Antriebsindikatoren) Aussagen über menschliche Aktivitäten, die zu Umweltveränderungen führen; sie sollen im Vorhaben allerdings nicht explizit berücksichtigt werden. Pressure-Indikatoren (P = Belastungsindikatoren) beschreiben daraus resultierende Belastungen bzw. Einwirkungen auf Umweltkomponenten, die zu Veränderungen des Umweltzustandes (State – S = Zustandsindikatoren) führen. Ein veränderter Umweltzustand hat wiederum Auswirkungen (Impact – I = Auswirkungsindikatoren) auf weitere Umweltkomponenten, den Naturhaushalt sowie auf die Art und Weise der Landnutzung, wobei sich die genannten Impacts wiederum gegenseitig beeinflussen können. Response-Indikatoren (R = Reaktionsindikatoren) bilden schließlich die gesellschaftlichen Reaktionen auf Umweltprobleme ab, die sich auf alle vier vorgenannten Kategorien beziehen können (s. Abb. 7).

Die Indikatorenkategorien des aus der Umweltforschung stammenden DPSIR-Ansatzes werden im Projekt auf die Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und biologischer Vielfalt bezogen und in Anlehnung an Sukopp et al. (2010) wie folgt definiert:

- D – „Driving forces“: Antriebsindikatoren bilden die großen Umwälzungen ab, die als treibende Kräfte bspw. den Klimawandel als Gefährdungsfaktor der biologischen Vielfalt verursachen. Hierzu gehören weitgreifende politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen wie bspw. die Industrialisierung, die Intensivierung der Landwirtschaft oder die Globalisierung von Handel und Verkehr, die zum Anstieg von Treibhausgas-Emissionen führen.

- P – „Pressure“: Belastungsindikatoren beziehen sich einerseits auf Veränderungen des Klimas (Klimastimuli), die mittelbare oder unmittelbare direkte Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben, z. B. Temperatur- und Niederschlagsveränderungen oder häufigere Trockenperioden (Stock et al. 2009). Andererseits sind Landnutzungsänderungen – sofern diese auf den Klimawandel zurückzuführen sind – Gegenstand von Belastungsindikatoren (z. B. Anstieg des Biomasseanbaus, Veränderungen der Waldbewirtschaftung).
- S – „State“: Zustandsindikatoren beschreiben den Zustand der biologischen Vielfalt und dessen Veränderungen über die Zeit (z. B. in Bezug auf bestimmte Merkmale von Arten und Lebensräumen). In der Regel beeinflussen zahlreiche Faktoren den Zustand der biologischen Vielfalt, und eine genaue Analyse des Einflusses bestimmter Faktoren wird dabei nicht vorgenommen. Da im Projekt der Einfluss des Klimawandels auf die biologische Vielfalt im Fokus der Arbeiten stand, wurden durchgehend Auswirkungsindikatoren (s. folgender Anstrich) entwickelt.
- I – „Impact“: Auswirkungsindikatoren beschreiben im Rahmen dieses Vorhabens Veränderungen des Zustands der biologischen Vielfalt, die bestimmten Einflussfaktoren des Klimawandels zugeschrieben werden können (z. B. veränderte Verbreitungsgebiete / Gefährdungsgrade aufgrund steigender Temperaturen). Diese Indikatoren sollen die Frage beantworten, welche Merkmale bspw. von Arten und Lebensräumen sich aufgrund welcher Belastungen infolge des Klimawandels verändern.
- R – „Response“: Reaktionsindikatoren bilden Art, Umfang und Erfolg von Strategien, Konzepten und Maßnahmen zur Erhaltung und Entwicklung der biologischen Vielfalt ab. Dieser „response“ kann sehr unterschiedliche Bereiche umfassen und politischer, rechtlicher, planerischer oder finanzieller Art sein, aber auch Änderungen der Landnutzung beinhalten. Aufgrund der Ziele des F+E-Vorhabens fallen in diese Kategorie ausdrücklich nur Aktivitäten, die sich eindeutig auf die biologische Vielfalt beziehen, Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel werden unter Belastungen („pressure“) erfasst, sofern für sie negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt nachgewiesen sind oder erwartet werden.

Eine solche projektspezifische Definition der einzelnen Elemente des DPSIR-Modells war nötig, um so weit wie möglich sprachliche und inhaltliche Klarheit zu gewährleisten und Missverständnisse zu vermeiden. Denn das DPSIR-Modell dient der Systematisierung von Indikatoren entlang von Ursache-Wirkungsketten. Darüber hinaus hilft es dabei, alle wesentlichen Komponenten zu erfassen, die für eine bestimmte Fragestellung, in diesem Fall die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt, relevant sind. Dies ist insbesondere hilfreich bei der Entwicklung größerer Indikatorensets, die den Anspruch erheben, zahlreiche wichtige Teilaspekte eines größeren Themas in ausgewogener Form abzubilden. Allerdings lässt sich kein Indikator allein aus der Kenntnis seiner Messgröße („Indikans“) heraus einer der fünf Kategorien des DPSIR-Modells zuordnen, da eine solche Zuordnung vom jeweiligen Themenfeld („Indikandum“) abhängt, zu dem der Indikator Aussagen liefern soll. Hierzu einige Beispiele: Betrachtet man das Umweltmedium „Grundwasser“ so wäre der Indikator „Grundwasserneubildungsrate“ (bzw. deren Veränderung) ein Zustandsindikator. Werden hingegen biologische Vielfalt oder die Trinkwasserversorgung als Indikandum betrachtet, wäre es ein Belastungsindikator. Der Indikator „Anbaufläche für Biomasse“ könnte einerseits ein Response-Indikator sein, da er vereinfacht als ein Maß für die gesellschaftlichen Bemühungen zum Klimaschutz betrachtet werden kann, andererseits jedoch ebenso ein Belastungsindikator in Hinblick auf Veränderungen der biologischen Vielfalt. Zudem bestehen in der Regel Rückkoppelungen zwischen Belastungsfaktoren und Zuständen der biologischen Vielfalt, d. h. eine Veränderung des Zustands kann Belastungen erhöhen oder vermindern. Dies lässt sich am Beispiel des Auftauens von Permafrostböden (Veränderung des Zustands von Böden) veranschaulichen, da hierdurch die globale Erwärmung (Belastung) verstärkt wird. Die aus dieser „Perspektivenabhängigkeit“ der Indikatoren sowie aus vielfältigen Wechselwirkungen resultierenden Probleme waren im Rahmen des Vorhabens soweit möglich zu vermeiden. Dies geschah in erster Linie dadurch, dass immer die biologische Vielfalt im Zentrum der Betrachtung

stand, d. h. Einwirkungsindikatoren treffen ausschließlich Aussagen über Änderungen bestimmter Merkmale der biologischen Vielfalt unter dem Einfluss des Klimawandels. Sofern Zustandsindikatoren genannt werden, bezieht sich diese Zuordnung auf andere Indikatorensysteme.

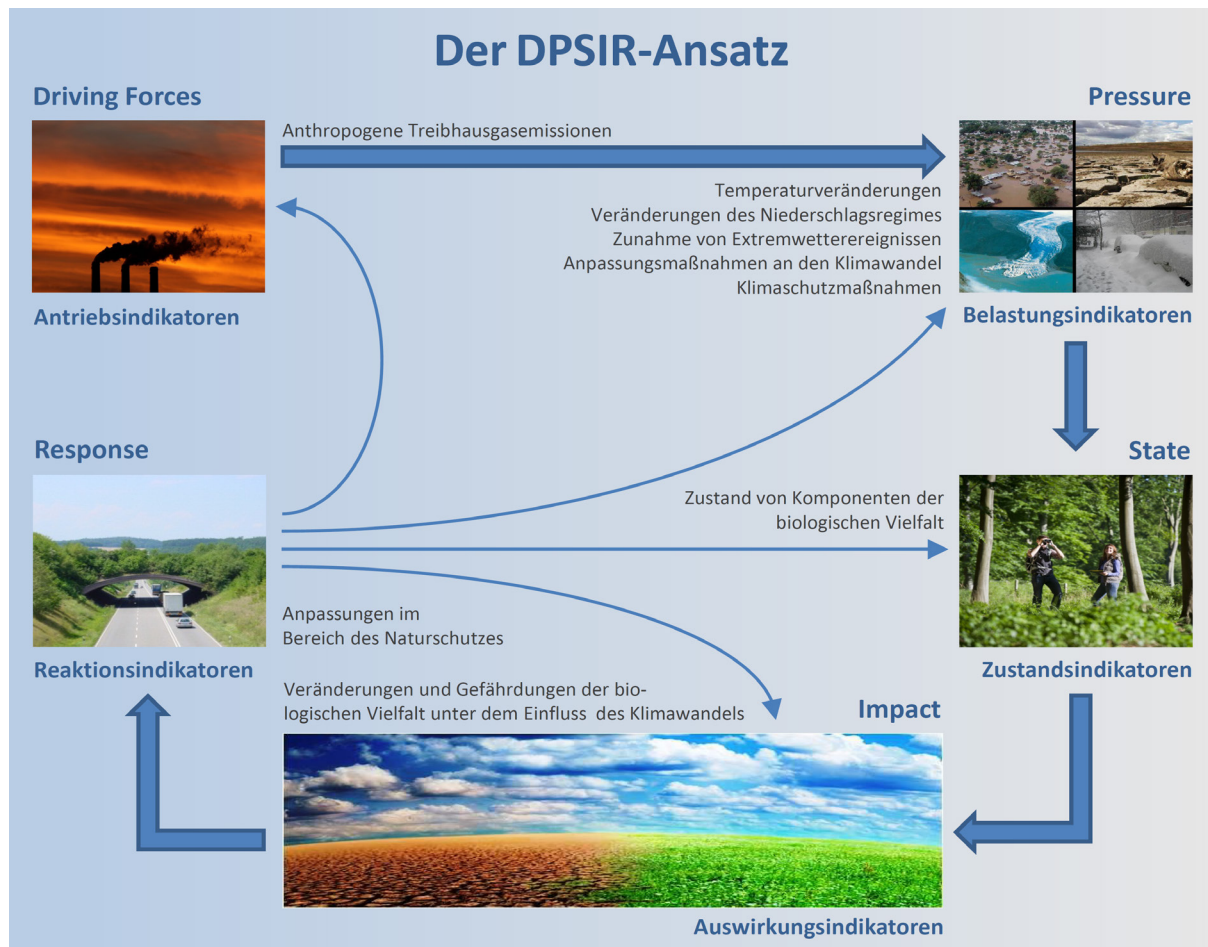


Abb. 7: Indikatorkategorien und deren Wechselwirkungen im DPSIR-Modell. Eigene Darstellung nach einer Vorlage von Digout (2005); breite Pfeile = Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt, schmale Pfeile = Auswirkungen gesellschaftlicher Reaktionen (Strategien, Konzepte, Maßnahmen) in den Bereichen der anderen Indikatorkategorien; Nennung ausgewählter Faktoren für Ursachen und Wirkungen zwischen Klimawandel und biologischer Vielfalt ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

3.2 Fachindikatoren zur Politikberatung: Anforderungen und Auswahlkriterien

Indikatoren sind im Allgemeinen Hilfsmittel, die die Ermittlung von Zuständen und die Verfolgung von Abläufen gestatten, indem sie das Erreichen oder Verlassen bestimmter Zustände anzeigen. Es existiert eine Reihe von Definitionen für den Begriff des Indikators (ein Überblick dazu findet sich in Heink und Kowarik 2010). Fachindikatoren zur Politikberatung im Kontext von Natur- und Umweltschutz fassen empirische Daten aus Monitoring-Programmen zusammen, um Antriebskräfte, Belastungen, Zustände, Auswirkungen und Reaktionen mit Bezug zum Schutz von Natur und Umwelt in möglichst allgemeinverständlicher Form abzubilden. Sie dienen der Politikberatung insofern, als sie Erfolge und Misserfolge bei der Erreichung zuvor festgelegter Ziele des Natur- und Umweltschutzes aufzeigen (Sukopp 2009, Sukopp et al. 2011, Ackermann et al. 2013). Diese Definition gilt auch im Rahmen des

vorliegenden Vorhabens. Dabei liegt der thematische Fokus auf den Wechselwirkungen zwischen dem Klimawandel und der biologischen Vielfalt. Die erarbeiteten Fachindikatoren zur Politikberatung sollen komplexe Zusammenhänge in diesem Themenfeld auf plakative und anschauliche Weise so zusammenfassen, dass Politikerinnen und Politiker sowie andere an politischen Entscheidungen Beteiligte unterstützt und beraten werden können. Darüber hinaus sollen sie der Information der interessierten Öffentlichkeit in allgemein verständlicher Weise dienen.

Fachindikatoren zur Politikberatung sind Indikatoren, die in der Regel eine explizite Normen- oder Zielsetzung beinhalten (Sukopp et al. 2011). Aus diesem Grunde werden in den Kennblättern zu den Indikatoren und Indikator-Prototypen Rechtsgrundlagen und Bezüge zu rechtlichen oder politischen Zielformulierungen dargestellt. Für die Politikberatung ist die Festlegung eines künftigen Ziels entscheidend (ebd.: 14): „Damit wird eine Norm gesetzt, zu deren Findung zwar fachliche Grundlagen herangezogen werden, die aber letztlich politisch-gesellschaftlich legitimiert werden muss. Erst mit Hilfe einer solchen Norm kann in der Berichterstattung des zugehörigen Indikators ermittelt werden, wie groß der Abstand des aktuell bilanzierten Indikatorwertes zum Zielwert ist, und es kann eine Aussage über die Dringlichkeit der Maßnahmen getroffen werden. Im besten Fall werden die Zielwerte präzise quantifiziert und mit einem konkreten Zieljahr versehen. Ist dies nicht möglich, können allgemeine Qualitätsziele formuliert werden, die zumindest die Richtung einer erwünschten Entwicklung vorgeben.“

Indikatoren beruhen auf dem Zusammenspiel zwischen Indikans und Indikandum. Das Indikans ist eine messbare Ersatzgröße oder ein abbildender Gegenstand, in diesem Vorhaben also bspw. ein bestimmtes Merkmal von Arten (etwa die Größe des Verbreitungsgebietes oder der Termin für den Beginn der Blattverfärbung einer Baumart im Jahresverlauf). Bei Fachindikatoren für die Politikberatung ist das Indikandum ein für die Politik wichtiges Handlungsfeld. Entwicklungen in einem solchen Handlungsfeld sind in der Regel komplex und entziehen sich einer direkten und umfassenden Messung (Sukopp et al. 2011, Ackermann et al. 2013). Aus diesem Grunde wird stellvertretend die Messung des Indikans herangezogen. Die Eignung eines Indikators zur Politikberatung hängt ganz wesentlich davon ab, ob es gelingt für ein vorgegebenes politisches Handlungsfeld ein besonders aussagekräftiges Indikans zu finden.

Anforderungen an das Indikatorensystem und die Einzelindikatoren

Die Anforderungen an Fachindikatoren zur Politikberatung im Rahmen dieses Vorhabens sind weniger streng als an wissenschaftliche Indikatoren. So wird bspw. der Nachweis des Zusammenhangs zwischen Indikans und Indikandum eher in allgemein-argumentativer Form mit Hinweis auf einzelne diesen Zusammenhang stützende wissenschaftliche Studien erbracht (vgl. Sukopp et al. 2011, Ackermann et al. 2013). Dies liegt an den in Kapitel 2 beschriebenen Wissensdefiziten und Unsicherheiten sowie der Komplexität der Wechselwirkungen zwischen biologischer Vielfalt, Klimawandel und anderen Faktoren (Landnutzung, Schadstoffimmissionen etc.). Dennoch bleibt der Anspruch bestehen, mit den entwickelten Indikatoren valide Aussagen zu Entwicklungen in einem für die Politik relevanten Handlungsfeld zu treffen.

Reichen, wie in diesem Vorhaben, die Aussagen einzelner Indikatoren für eine umfassende Politikberatung nicht aus, werden zur Verbesserung der Aussagefähigkeit mehrere Indikatoren auf Basis theoriegestützter Modelle wie dem DPSIR-Ansatz (s. Kap. 3.1) zu einem Indikatorensystem oder Indikatorenset miteinander verknüpft (Riesner 2010). Über die einfache Zusammenstellung von Indikatoren hinaus ist ein Indikatorensystem dadurch gekennzeichnet, dass seine Indikatoren bestimmten einheitlich angewandten Prinzipien entsprechen, die u. a. Heiland et al. (2003a und 2003b) am Beispiel von kommunalen und regionalen Nachhaltigkeitsindikatorensystemen zusammengestellt haben.

Das inhaltliche Verständnis der hier darzustellenden Zusammenhänge zwischen Klimawandel und biologischer Vielfalt in Deutschland) orientiert sich am **aktuellen Wissensstand**, der empirische Be-

funde aus Klimatologie, Biologie, Ökologie und weiteren relevanten Disziplinen umfasst. Dieser Wissensstand ist in Kapitel 2 in systematischer Weise dargestellt. Ein weiteres, die Einzelindikatoren verbindendes Prinzip ist die Festlegung einer **gemeinsamen räumlichen Zielebene**: Hier ist dies grundsätzlich die Bundesebene. Jedoch sind in der Sache begründete Ausnahmen möglich, bspw. wenn Indikatoren spezifische Aussagen nur zu den Küsten oder alpinen Hochlagen treffen sollen. Zudem weisen Indikatorensysteme eine innere Struktur zur **Gliederung bzw. Systematisierung der Indikatoren** auf. Bei dem hier erarbeiteten Indikatorensystem werden dafür drei übergeordnete Indikationsbereiche definiert, die thematisch in elf Indikationsfelder untergliedert sind. Die Definition der Indikationsbereiche orientiert sich an dem in Kapitel 3.1 vorgestellten DPSIR-Ansatz: der erste Bereich umfasst ausschließlich Impact-Indikatoren, der zweite Bereich überwiegend Pressure-Indikatoren und der dritte Bereich Response-Indikatoren. Schließlich berücksichtigen die Indikatoren eines Indikatorensystems ein **gemeinsames Spektrum von Akteuren bzw. Adressaten**, das sich im Falle dieses Vorhabens aus Fachleuten, Politikern, aber auch aus der allgemeinen interessierten Öffentlichkeit zusammensetzt.

Zusätzlich zu diesen Prinzipien sind bei der Entwicklung eines Indikatorensystems folgende Effekte zu berücksichtigen, die sich im Zusammenspiel von Biodiversität, Klimawandel, Landnutzungen und anderen Umweltbelastungen ergeben: Kumulationseffekte (verschiedenartige sich gegenseitig verstärkende Wirkungen), Additionseffekte (Summation mehrerer gleichartiger Wirkungen), räumliche und zeitliche Distanz von Wirkungen sowie systemische Wirkungen (aus der starken Vernetzung von Systemen und vielfältigen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen entstehend; Interaktionen sind nicht immer linear und in der Regel schwer vorhersehbar) (nach Reese 2010 und Lange et al. 2010).

Die Relevanz dieser Effekte ergibt sich aus dem Umstand, dass neben dem Klimawandel die Landnutzung und der Landnutzungswandel sowie diffuse Stoffeinträge in vielen Bereichen als weitere Hauptursachen für den fortschreitenden Verlust an biologischer Vielfalt zu berücksichtigen sind. Diese Faktoren beeinflussen oder verstärken sich gegenseitig und sind in ihrer Wirkung auf die biologische Vielfalt deswegen oft nur schwer voneinander zu trennen.

Einzelindikatoren, die sich zur Darstellung der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt und der damit verbundenen naturschutzfachlichen und naturschutzpolitischen Maßnahmen eignen, sollten idealerweise eine Reihe von Anforderungen erfüllen (in Anlehnung an Sukopp et al. 2010):

- Für die regelmäßige Bilanzierung der Indikatoren werden verlässliche Daten aus personell, institutionell und finanziell dauerhaft abgesicherten Monitoringprogrammen bereitgestellt. Hierzu gehört stets eine Qualitätskontrolle der Daten und Rechenergebnisse.
- Die Erhebungsmethoden müssen standardisiert sein, wissenschaftlichen Ansprüchen genügen und möglichst bundesweite Aussagen ermöglichen entweder auf der Grundlage flächendeckender Erhebungen oder mit Hilfe einer repräsentativen Stichprobe oder ggf. auch auf Basis regionaler Fallstudien.
- Die Daten sollten im Idealfall jährlich aktualisiert werden. Mit Beginn der Berichterstattung sollten – soweit möglich – mindestens zehn Jahre zurückreichende Datenreihen vorliegen, damit bereits heute hinreichend verlässliche Aussagen zu Trends möglich sind (dieses Kriterium wurde für das Indikatorenset der NBS festgelegt (Sukopp et al. 2010) und für dieses Vorhaben übernommen). Da aber die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt erst seit einigen Jahren Gegenstand intensiver Forschung sind, ist damit zu rechnen, dass diese Anforderung nicht generell erfüllt werden kann. Ausnahmen von diesem Prinzip sind daher möglich und sogar erforderlich bei Fragen, die inhaltlich von hoher Relevanz sind, für deren Beantwortung aber bislang keine ausreichende historische Datenbasis vorliegt.

- Die Definition des Indikators sowie die Vorschriften für die Berechnung der Indikatorwerte und für die statistische Ermittlung von Trends müssen eindeutig festgelegt und nachvollziehbar sein.
- Die Aussage des Indikators soll möglichst einfach verständlich sein.
- Für die Politikberatung sollten die Einzelindikatoren – soweit möglich – einen Bezug zu (quantifizierten) Zielwerten mit Zielzeitpunkt aufweisen. Erst mit Hilfe einer solchen Norm kann in der Berichterstattung des zugehörigen Indikators ermittelt werden, wie groß der Abstand des aktuell bilanzierten Indikatorwertes zum Zielwert ist, und es kann eine Aussage über die Dringlichkeit von Maßnahmen getroffen werden. Ist die Festlegung von Zielwert mit Zielzeitpunkt nicht möglich, können allgemeine Qualitätsziele formuliert werden, die zumindest die Richtung einer künftig erwünschten Entwicklung vorgeben.
- Die thematische Relevanz der Indikatoren sollte in der Weise sichergestellt sein, dass jeder Indikator sowohl einen Bezug zur biologischen Vielfalt als auch zum Klimawandel aufweist.
- Die politische Relevanz der Indikatoren ergibt sich aus deren Eignung, auf der Ebene des Indikandums zentrale Fragen eines fachpolitisch wichtigen Handlungsfeldes im Zusammenhang mit biologischer Vielfalt und Klimawandel zu adressieren.

Unter Berücksichtigung weiterer Quellen (u. a. BIP 2011, Butchart et al. 2010, CBD 2011, Dale und Beyeler 2001, Dröschmeister und Sukopp 2009, EEA 2007, Heiland et al. 2003b, Heink und Kowarik 2010, Noss 1990, OECD 1993, 2003, Parr et al. 2010, Singh et al. 2009) wurden diese Anforderungen für das Vorhaben zu drei Kriterien mit insgesamt sieben Teilkriterien zusammengefasst. Die Teilkriterien wurden mit Hilfe einer dreistufigen Skala (hoch, mittel, gering) auf bestehende und zu entwickelnde Indikatoren angewandt, um deren Eignung für das zu erstellende Indikatorenset zu beurteilen (vgl. Tab. 14 in Kap. 5.1).

Kriterium 1: Thematische Relevanz

Unter thematischer Relevanz wird die Aussagekraft verstanden, die ein Indikator für das jeweilige Indikationsfeld hat. Zwei Teilkriterien wurden herangezogen: Zum einen, inwieweit der Indikator in Hinblick auf die biologische Vielfalt Kerninhalte des betreffenden Indikationsfeldes (z. B. Phänologie) abdeckt, und zum anderen, ob der Indikator einen Bezug zum Klimawandel aufweist.

Beide Teilkriterien wurden unabhängig voneinander mit Hilfe einer dreistufigen Skala bewertet (s. Tab. 4 und 5).

Tab. 4: Bewertungsskala für das Kriterium 1 „Thematische Relevanz“ – Teilkriterium 1-A „Abdeckung des Indikationsfeldes“

hoch	Die Kerninhalte des jeweiligen Indikationsfeldes sind vollständig abgedeckt.
mittel	Der Indikator deckt einen Teilaspekt des Indikationsfeldes ab.
gering	Der Indikator deckt nur einen Randaspekt oder geringe Teile des Indikationsfeldes ab.

Tab. 5: Bewertungsskala für das Kriterium 1 „Thematische Relevanz“ – Teilkriterium 1-B „Bezug zum Klimawandel“

hoch	Der Indikator hat einen klar nachvollziehbaren und direkten Bezug zum Klimawandel.
mittel	Der Indikator weist allenfalls einen mittelbaren Bezug zum Klimawandel auf.
gering	Der Indikator hat keinen nachvollziehbaren Bezug zum Klimawandel.

Kriterium 2: Ausreichende Datenlage

Die Anwendbarkeit der Indikatoren hängt maßgeblich von einer zufriedenstellenden Datenlage ab. Auch hier wurden zwei Teilkriterien herangezogen:

Für das erste Teilkriterium, die Datenverfügbarkeit, ist entscheidend, ob die Daten aktuell und in erforderlichem Umfang, d. h. möglichst für das ganze Bundesgebiet, vorliegen. Daten sollten – idealerweise, aber nicht zwingend – seit mindestens zehn Jahren in regelmäßigen Abständen erhoben worden sein (s. o.). Die Angabe des Datenerhebungsintervalls ist eine wichtige Information, um zu bewerten, wie häufig Arbeiten im Zuge einer Fortschreibung der Datenreihe des Indikators anfallen. Außerdem besteht der Anspruch, die Fortschreibungsintervalle der Indikatoren nicht zu weit auseinanderfallen zu lassen.

Für das zweite Teilkriterium, die Qualität der Daten, ist ausschlaggebend, ob die Datenerhebung personell, institutionell und finanziell dauerhaft gesichert ist und ob die Methoden der Datenerhebung sowie der Datenauswertung wissenschaftlichen Standards entsprechen.

Beide Teilkriterien wurden unabhängig voneinander mit Hilfe einer dreistufigen Skala bewertet (s. Tab. 6 und 7).

Tab. 6: Bewertungsskala für das Kriterium 2 „Ausreichende Datenlage“ – Teilkriterium 2-A „Datenverfügbarkeit“

hoch	Aktuelle Daten sind im erforderlichen Umfang – idealerweise im gesamten Bundesgebiet – verfügbar.
mittel	Daten sind entweder nicht aktuell oder nicht in erforderlichem Umfang z. B. nur für einzelne Bundesländer verfügbar.
gering	Daten sind weder aktuell noch im erforderlichen Umfang verfügbar.

Tab. 7: Bewertungsskala für das Kriterium 2 „Ausreichende Datenlage“ – Teilkriterium 2-B „Qualität der Daten“

hoch	Die Datenerhebung ist finanziell / personell dauerhaft gewährleistet und die Qualität der Daten und der Auswertungen ist gut.
mittel	Die Datenerhebung ist nur teilweise finanziell bzw. personell gewährleistet und/oder die Qualität der Daten und der Auswertungen ist nur teilweise gut.
gering	Die Datenerhebung ist weder finanziell noch personell gewährleistet und/oder die Qualität der Daten und der Auswertungen ist unzureichend.

Kriterium 3: Politische Eignung

Die Eignung der Indikatoren für die Politikberatung wird auf Grundlage von drei Teilkriterien bestimmt.

- Zum einen gibt die Bewertung des ersten Teilkriteriums „Zielbezug“ Auskunft darüber, inwieweit der Indikator zu politisch festgelegten Zielen in Beziehung zu bringen ist bzw. ob er aus Zielsetzungen bundesweiter Strategien und Programme wie der NBS oder DAS abgeleitet werden kann.
- Des Weiteren wird für das Teilkriterium „Steuerbarkeit“ bewertet, ob sich der Indikator auf ein Handlungsfeld bezieht, das einer politischen Steuerung auf nationaler Ebene zugänglich ist.
- Drittens ist mit dem Teilkriterium „Verständlichkeit“ zu bewerten, ob der Indikator und seine Berechnungsmethode allgemeinverständlich und anschaulich sind.

3. Methodische Grundlagen

Alle drei Teilkriterien wurden unabhängig voneinander mit Hilfe einer dreistufigen Skala bewertet (s. Tab. 8-10)

Tab. 8: Bewertungsskala für das Kriterium 3 „Politische Eignung“ – Teilkriterium 3-A „Zielbezug“

hoch	Der Bezug zu relevanten Zielen ist gegeben.
mittel	Der Bezug zu relevanten Zielen ist teilweise gegeben.
gering	Es existiert kein Bezug zu relevanten Zielen.

Tab. 9: Bewertungsskala für das Kriterium 3 „Politische Eignung“ – Teilkriterium 3-B „Steuerbarkeit“

hoch	Die politische Steuerbarkeit der durch den Indikator abgebildeten Größe ist gegeben.
mittel	Die politische Steuerbarkeit der durch den Indikator abgebildeten Größe ist eingeschränkt.
gering	Die durch den Indikator abgebildete Größe ist nicht politisch steuerbar.

Tab. 10: Bewertungsskala für das Kriterium 3 „Politische Eignung“ – Teilkriterium 3-C „Verständlichkeit“

hoch	Der Indikator und seine Berechnungsmethode sind allgemeinverständlich und anschaulich darstellbar.
mittel	Der Indikator und seine Berechnungsmethode sind nur teilweise allgemeinverständlich und anschaulich darstellbar.
gering	Der Indikator und seine Berechnungsmethode sind weder allgemeinverständlich noch anschaulich darstellbar.

4. Analyse bestehender Indikatorensysteme

In einem ersten Schritt waren zunächst vorhandene Indikatorensysteme darauf hin zu überprüfen, ob sie Indikatoren enthalten, die für Zwecke des zu entwickelnden Sets geeignet sind und daher unmittelbar oder nach geringfügiger Modifizierung in dieses übernommen werden können. Dadurch sollte die Anschlussfähigkeit an vorhandene Indikatorensets gewährleistet, und redundante Entwicklungen sollten vermieden werden.

Eine erste Sichtung der vorhandenen Indikatorensets im Themenfeld „Biologische Vielfalt“ (s. Kap. 4.1, Tab. 11) ergab eine sehr große Anzahl vorhandener Indikatoren (rund 320 Indikatoren; s. Anhang B im Online-Supplement). Die sich anschließende Aufgabe bestand darin, die Anzahl der vertieft auf ihre Eignung zu prüfenden Indikatoren durch eine möglichst einfache Prüfung (Vorauswahl) auf ein vertretbares Maß zu reduzieren, also diejenigen Indikatoren aus dem Themenfeld „Biologische Vielfalt“ auszusortieren, die keinen direkten Bezug zum Thema „Klimawandel“ aufweisen. Dieser Schritt wird aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht dargestellt, ist aber im Abschlussbericht zum Vorhaben dokumentiert (Schliep et al. 2016).

Die inhaltliche Strukturierung des Indikatorensets sollte eine vertiefte Prüfung auf Vollständigkeit und Relevanz und eine Identifizierung von Fehlstellen ermöglichen, die durch Vorschläge zur Neukonzeptionierung von Indikatoren aufzufüllen waren. Deshalb wurde parallel zur Vorauswahl und unter Berücksichtigung der vorhandenen Indikatorensets ein Strukturierungsvorschlag für das geplante Indikatorenset erarbeitet. Das Indikatorenset wurde dazu in drei Bereiche gegliedert, wobei zwischen 1. direkten Wirkungen und 2. indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt unterschieden wird. Der 3. Bereich umfasst Indikatoren, die Strategien, Maßnahmen und Erfolge des Naturschutzes bei der Anpassung an den Klimawandel beschreiben sollen.

Die drei Indikationsbereiche sind weiter in Indikationsfelder untergliedert (s. Beschreibung in Kap. 5.1).

Im darauffolgenden Arbeitsgang wurden die nach der Vorauswahl verbliebenen Indikatorvorschläge anhand der in Kapitel 3.2 dargestellten Anforderungskriterien vertieft geprüft, nach positiver Bewertung den vorläufigen Indikationsfeldern zugeordnet und schließlich soweit als möglich konzeptionell ausgearbeitet und berechnet. Die sich bei der Umsetzung ergebenden konkreten Probleme bei der Berechnung, Interpretation oder Darstellung der einzelnen Indikatorvorschläge mündeten schließlich in eine abschließende Kategorisierung der Umsetzbarkeit der vorgeschlagenen Indikatoren (s. Beschreibung in Kap. 5).

Für Indikationsfelder, für die keine geeigneten Indikatoren identifiziert werden konnten, wurden soweit möglich Ansätze zur Neukonzeptionierung vorgeschlagen (s. Kap. 5.3.2).

4.1 Zusammenstellung bestehender Indikatorensysteme zur Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt

Zunächst wurden Indikatoren aus bestehenden Indikatorensystemen auf ihre Eignung für das zu erarbeitende Indikatorenset zum Fachinformationssystem untersucht. Berücksichtigt wurden Publikationen zu Indikatorensystemen sowie relevante Forschungsvorhaben und Monitoringprogramme, die sich mit den direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt sowie der Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel befassen. Diese Analyse hatte zum Ziel, den Stand der Entwicklung entsprechender Indikatoren zu erfassen und eine Auswahl geeigneter Indikatoren vorzubereiten. Durch dieses Vorgehen sollte die Anschlussfähigkeit

des zu erarbeitenden Indikatorensets an bereits bestehende Initiativen und Indikatorensysteme sichergestellt werden.

Im Ergebnis liegt eine Liste von mehr als 320 Einzelindikatoren aus 16 Indikatorensets vor (s. Anhang B im Online-Supplement). Sie beinhaltet sowohl Indikatoren, die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität explizit beschreiben, als auch solche, die bislang nicht im Zusammenhang mit den Auswirkungen des Klimawandels verwendet wurden, ggf. aber die Ableitung klimawandelbezogener Indikatoren erlauben. Diese Liste bildet somit die Grundlage für die Arbeitsschritte der Vorauswahl und vertieften Analyse prinzipiell geeigneter Indikatoren (vgl. Kap. 4.2).

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die untersuchten Indikatorensets und Indikatoren. Diese beziehen sich auf die globale Ebene ebenso wie die Ebene der EU sowie auf verschiedene Nationalstaaten und Deutschland. Dabei wird im Wesentlichen auf die zugrunde liegende Zielsetzung, die inhaltliche Ausrichtung und den Entwicklungsstand des jeweiligen Indikatorensets eingegangen. Tabelle 11 gibt einen Überblick zu den berücksichtigten Indikatorensets. Zusätzlich wurde als Einzelindikator der Community Temperature Index (CTI) nach Devictor et al. (2008) einbezogen⁵.

Dargelegt wird darüber hinaus, welche Indikatoren in welcher Weise für das hier zu entwickelnde Indikatorensystem übernommen werden konnten. Dabei werden folgende Kategorien unterschieden:

- Indikatoren, die unmittelbar – also ohne weitere Bearbeitung – übernommen werden können (abgekürzt I-Um)
- Indikatoren, die mittelbar übernommen werden können, aber zuvor entsprechend den Anforderungen des hier zu entwickelnden Indikatorensets überarbeitet werden müssen (abgekürzt I-Mi)
- Indikatoren, die in der vorliegenden Form nicht übernommen werden konnten, aber wichtige Ansatzpunkte zur Neuentwicklung von Indikatoren bieten (abgekürzt I-Neu)

Indikatoren, die bereits in der Vorauswahl ausgeschieden sind, wurden nicht klassifiziert.

Es existiert eine Reihe weiterer Indikatoren- und Datensets (z. B. die Aufstellung in Harley et al. 2008), die thematische Bezüge zu dem hier zu entwickelnden Indikatorenset aufweisen. Dazu gehören etwa die Aktivitäten der Bundesländer im Bereich landesspezifischer Biodiversitätsstrategien. Diese wurden allerdings nicht systematisch ausgewertet, da hier in der Regel Indikatoren von bereits berücksichtigten übergeordneten Systemen übernommen oder für die regionale Ebene spezifisch neu entwickelt wurden, die aber nicht auf Bundesebene anwendbar sind. Die Schlüsselindikatoren des Umwelt-Barometers decken zwar die Themen „Klima“ und „biologische Vielfalt“ jeweils für sich ab, der Zusammenhang zwischen beiden wird jedoch nicht ausreichend berücksichtigt. Das Umwelt-Barometer Deutschland (aus dem Entwurf eines „Umweltpolitischen Schwerpunktprogramms“ des BMU 1998, Zusammenfassung; Umwelt 5/1998) wird ebenso wie der Deutsche Umweltindex (DUX) nicht weitergeführt.

Keinen weitergehenden Nutzen versprach die Berücksichtigung der Indikatoren des IRENA-Sets (Indicator Reporting on the Integration of Environmental Concerns into Agricultural Policy), der CSD (Commission on Sustainable Development der UNO), der Aktivitäten von Long Time Ecological Research – Deutschland (LTER-D) sowie des ELER – Common monitoring and evaluation framework, die sich entweder auf agrarstrukturelle Fragen konzentrieren oder deren Indikatoren bereits in den übrigen analysierten Indikatorensets enthalten sind.

⁵ Der CTI für Tagfalter und Libellen ist als Indikator „Änderung der Artenvielfalt und -zusammensetzung“ (I-N1) inzwischen Bestandteil der Berichterstattung zum Klimafolgenmonitoring in Sachsen (vgl. SMUL 2013).

Tab. 11: Liste bestehender Indikatorensets, die bei der Vorauswahl prinzipiell relevanter Indikatoren berücksichtigt wurden (weitere Erläuterungen im Text)

Bezeichnung des Indikatorensets	Startjahr	Hauptverantwortliche Institution	Anzahl implementierter Indikatoren / Bemerkungen
Environmental Performance Index (EPI)	2006	Yale Center for Environmental Law and Policy (YCELP), Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) Columbia University	20
OECD Core Environment Indicators (CEI)	2008	OECD mit Mitgliedsstaaten	78
City Biodiversity Index (CBI)	2008	Ministerium für nationale Entwicklung Singapur u. Global Partnership on Cities and Biodiversity (GPCB)	(23; nicht implementiert)
Global Observation Network in Alpine Environments (GLORIA)	2001	Universität Wien	Datenerfassung nach Feldanleitung
Streamlining European Biodiversity Indicators (SEBI)	2005	EEA (Europäische Umweltagentur), European Topic Centre on Biological Diversity (ETC/BD), GD Umwelt der Europäischen Kommission u. a.	26
EEA Core Set of Indicators (CSI)	2004	EEA	37
EEA Climate Change Indicators (CLIM)	2008	EEA mit dem Institute for Environment and Sustainability (IES) des Joint Research Centre (JRC) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO-Europe)	41
Biodiversitätsmonitoring in Österreich (MOBI-e)	2003	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft	21 (von 47)
Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM)	2001	Bundesamt für Umwelt (BAFU)	34
UK Biodiversity Indicators	2006	Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), UK Biodiversity Partnership, Joint Nature Conservation Committee (JNCC)	25
UK Climate Change Indicators	1999	Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)	(34; nicht implementiert)
Indikatorenset für die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS)	2007	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesamt für Naturschutz (BfN)	19
Indikatorenset für die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS)	2008	Umweltbundesamt (UBA)	(in Entwicklung)
Indikatorenset für die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (NHS)	2002	Deutsche Bundesregierung	21
Kernindikatorensystem Umwelt (KIS)	2006	Umweltbundesamt (UBA)	> 50

Bezeichnung des Indikatorensets	Startjahr	Hauptverantwortliche Institution	Anzahl implementierter Indikatoren / Bemerkungen
Länderinitiative Kernindikatoren (umweltbezogene Nachhaltigkeitsindikatoren) (LIKI)	2004	AG Umweltfachbehörden, in enger Zusammenarbeit mit der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität und Nachhaltigkeit (BLAG KliNa) der Umweltministerien	27

4.1.1 Indikatorensysteme auf globaler Ebene

Environmental Performance Index (EPI)

Der Environmental Performance Index (EPI) stellt eine Fortentwicklung des Environmental Sustainability Index (ESI) dar, der im Kontext der Millennium Development Goals (MDGs) entwickelt wurde und als Alternative bzw. Ergänzung zum Bruttoinlandsprodukt dienen soll, das bis dahin als einziges Maß für gesellschaftliche Wohlfahrt gedient hatte. Der EPI misst die Nachhaltigkeit und Performanz (im Sinne von konkretem Handeln) der Umweltpolitik von 132 Nationalstaaten mit einer Reihe von Indikatoren wie z. B. Entwicklung der Umweltverschmutzung, Anstrengungen im Umweltmanagement, Beitrag zum Schutz der globalen Umweltgüter oder gesellschaftliche Fähigkeit zur Verbesserung der Umweltperformanz.

Mithilfe des EPI ist es möglich, zeitliche Veränderungen des Erfolges von Bemühungen zum Schutz der biologischen Vielfalt und des Klimas zu bilanzieren. Seit dem Start des ESI im Jahre 2000 wurden insgesamt zehn Erhebungen zur Bilanzierung der Leistungsfähigkeit der Umweltpolitik in den Nationalstaaten durchgeführt (Emerson et al. 2012; EPI 2014).

Der EPI enthält vier Indikatoren, die sich auf die biologische Vielfalt und Habitate beziehen, und drei Indikatoren, die das Themenfeld „Klima und Energie“, behandeln. Klimatische Veränderungen werden nicht thematisiert. Eine Verknüpfung der Bereiche „Klimawandel“ und „biologische Vielfalt“ findet sich bei keinem der Indikatoren.

Es wurden keine Indikatoren aus diesem Indikatorenset für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

OECD Core Environment Indicators (CEI)

Die Indikatoren des CEI wurden zur Harmonisierung der Berichterstattung der OECD, zur Messung der Erfolge nationalstaatlichen Umwelthandelns u. a. im Biodiversitäts- und Klimaschutz sowie zum Monitoring der nachhaltigen Entwicklung auf nationaler Ebene entwickelt (OECD 1993). Das Indikatorenset soll Prioritätensetzung und strategische Entscheidungsfindung der nationalen Regierungen unterstützen. Die OECD beabsichtigte mit der Schaffung des CEI auch, die Weiterentwicklung von Umweltindikatoren und den Wissensaustausch darüber zu fördern. Trotz des grundsätzlichen Ziels der Harmonisierung zwischen den Staaten können Indikatoren in jedem Staat spezifisch nach Zweck und Zielgruppe ausgewählt werden (ebd.).

Die Länderprofile zu den Erfolgen nationalstaatlichen Umwelthandelns werden regelmäßig veröffentlicht und in anderen Bereichen der Berichterstattung der OECD, insbesondere für die OECD Country Environmental Performance Reviews, verwendet.

Geplant ist eine Weiterentwicklung des Indikatorensets zur Berichterstattung der nachhaltigen Entwicklung in den Mitgliedsstaaten der OECD. Insgesamt wird CEI als dynamischer Prozess gesehen, nicht als abgeschlossene Entwicklung. Dies bedeutet, dass eine regelmäßige Überprüfung und Wei-

terentwicklung der Indikatoren auf der Grundlage neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse, aktueller politischer Rahmenbedingungen und veränderter Datenverfügbarkeit stattfindet.

Im CEI (OECD 2008) behandeln drei Indikatoren das Thema „Biologische Vielfalt“, vier Indikatoren werden dem Klimawandel zugeordnet. Eine Verknüpfung der Bereiche wurde nicht vorgenommen.

Es wurden keine Indikatoren aus diesem Indikatorenset für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

City Biodiversity Index (CBI)

Der CBI umfasst die Themen Biodiversität, Ökosystemleistungen sowie Governance und Management und bezieht sich auf die Zielsetzungen des Übereinkommens der biologischen Vielfalt (CBD). Er dient der Unterstützung nationaler Regierungen und lokaler Verwaltungen bei der Bewertung und Optimierung von Maßnahmen zum Biodiversitätsschutz im städtischen Kontext sowie der Bewertung von Erfolgen in diesem Bereich.

Auf zwei Expertenworkshops 2009 und 2010 trafen Teilnehmer aus Wissenschaft, Stadtverwaltungen und NGOs eine vorläufige Auswahl an Indikatoren. Eine Nutzeranleitung ist im Internet verfügbar (s. CBD 2010), gleiches ist für Berichte auf der Basis des CBI vorgesehen.

Eine Anwendung des CBI in deutschen Kommunen wurde im Rahmen eines BfN-Projektes diskutiert. Weitere Aktivitäten zur Implementierung der vorgeschlagenen Indikatoren sind nicht belegt.

Von den 23 CBI-Indikatorvorschlägen betreffen acht Indikatoren direkt Komponenten der biologischen Vielfalt. Indikatoren zu klimatischen Veränderungen sind nicht enthalten. Allerdings wurde ein Indikator zur Kohlenstoffspeicherung und zum Kühlungseffekt der städtischen Vegetation vorgeschlagen, der auf der Basis der Kronenvolumina von Stadtbäumen berechnet werden soll. Eine weitere Verknüpfung der Themenfelder „Biologische Vielfalt“ und „Klimawandel“ wurde nicht vorgenommen.

Es wurden keine Indikatoren aus diesem Indikatorenset für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

Global Observation Network in Alpine Environments (GLORIA)

Das GLORIA-Netzwerk wurde im Jahr 2001 als Monitoringprogramm für Arten alpiner Lebensräume in 77 Gipfelgebieten in Europa, Nord- und Südamerika, Asien, Australien und Afrika eingerichtet. Ein Bezug zu übergeordneten Systemen ist nicht erkennbar. GLORIA ist der Versuch, die Verschiebung der Areale von Gefäßpflanzen in alpinen Lebensräumen infolge des Klimawandels in systematischer Weise zu erfassen. Die Aufnahme von Moosen und Flechten ist bei den Erhebungen optional.

Das Verfahren zur Datenerhebung in den Gipfelregionen des GLORIA-Netzwerks wurde nach einer Testphase festgeschrieben und in einer Feldanleitung dokumentiert (Pauli et al. 2004). Zum Erfahrungsaustausch finden regelmäßige Treffen statt, zuletzt im Jahre 2010. Dort wurden auch umfangreiche Änderungen der Datenerhebung beschlossen.

Die erhobenen Daten werden teilweise auf der Homepage des Netzwerks⁶ veröffentlicht. Geplant ist eine Erweiterung des Netzwerks auf weitere Gipfelgebiete.

Aus Deutschland sind drei Gipfelregionen der Alpen (Grasskopf, Hochscheibe, Schlunghorn) im Nationalpark Berchtesgaden in das GLORIA-Netzwerk integriert. Allerdings konnte die turnusmäßige Wiederholung der Datenaufnahme nach zehn Jahren auf dem Schlunghorn in den bayerischen Alpen mangels Finanzierung bisher nicht durchgeführt werden.

⁶ <http://www.gloria.ac.at> [21.06.2014]

Nichtsdestotrotz stellt das GLORIA-Konzept und die Aufnahme der Veränderungen der Artenzusammensetzung der Gefäßpflanzenflora auf Berggipfeln der Ostalpen ein interessantes Konzept zur Verbindung der Themenfelder „Biologische Vielfalt“ und „Klimawandel“ dar, sodass auf der Grundlage des entsprechenden Indikators aus dem österreichischen Biodiversitätsmonitoring (MOBI-e, s. Kap. 4.1.3) ein Prototyp erarbeitet und in den Vorschlag für das zu erarbeitende Indikatorenset aufgenommen wurde.

Als weitere relevante Aspekte aus dem GLORIA-Monitoring wurden die Veränderungen alpiner Pflanzengesellschaften und die Verschiebung der Waldgrenze als Ausgangspunkte für Indikatorentwicklungen ausgewählt (Erläuterung der Kategorien in Klammern in der Einleitung zu Kap. 4.1):

- Changes in alpine plant communities (I-Neu),
- Changes in tree line (I-Neu).

4.1.2 Indikatorensysteme der Europäischen Union

Streamlining European Biodiversity Indicators (SEBI)

Das SEBI-Indikatorenset umfasst 26 Indikatoren in sieben Themenbereichen, die aus den Zielsetzungen der CBD abgeleitet sind. Es sind dies die folgenden Themenbereiche: (1) Status und Trends der Komponenten biologischer Vielfalt, (2) Gefährdung biologischer Vielfalt, (3) Ökosystemintegrität, Güter und Leistungen aus Ökosystemen, (4) nachhaltige Nutzung, (5) Status von Zugang und gerechtem Vorteilsausgleich, (6) Status von Ressourcentransfer und -nutzung sowie (7) öffentliche Meinung. SEBI zielte vor dem Hintergrund der 2010-Ziele der CBD und der EU sowie darauf aufbauender Beschlüsse vor allem darauf ab, die Berichtspflichten der europäischen Nationalstaaten gegenüber der CBD zu vereinfachen, die Datenerhebung zu vereinheitlichen und eine Bewertung der Fortschritte mit Blick auf diese Ziele zu ermöglichen. Darüber hinaus sollte über das Set eine Verbindung zwischen den globalen Zielsetzungen der CBD und den Zielen der EU-Biodiversitätsstrategie hergestellt werden.

Insgesamt sechs Expertengruppen mit rund 120 Vertretern aus den Mitgliedsstaaten der EU sowie NGOs wählten die Indikatoren aus. Weitere Stakeholder (einschließlich weiterer Staaten) waren während der Entwicklung des Indikatorensets konsultativ eingebunden.

Die drei Schlüsselberichte zum SEBI-Set (2007, 2009 und 2010) sind im Internet auf der Seite der Europäischen Umweltagentur⁷ verfügbar. Geplant sind die thematische Erweiterung durch die Integration zusätzlicher Indikatoren(sets) (EEA Core Set Indicators, Agri-Environmental Indicators) und die Entwicklung weiterer Indikatoren, um die europäischen Maßnahmen zur Erreichung der Ziele aus dem Strategischen Plan der CBD für die Periode 2011-2020 (die sog. Aichi Targets⁸) zu unterstützen (EEA 2007, SEBI Coordination Team 2011).

Das SEBI-Indikatorenset enthält 16 Indikatoren, die verschiedene Komponenten der biologischen Vielfalt thematisieren, wobei einer dieser Indikatoren (Impact of climate change on bird populations, SEBI 011) eine Schnittstelle zwischen Klimawandel und biologischer Vielfalt behandelt.

Aus dem SEBI-Indikatorenset wurden vier Indikatoren zur vertieften Eignungsprüfung für das zu erarbeitende Indikatorenset ausgewählt (Erläuterung der Kategorien in Klammern in der Einleitung zu Kap. 4.1):

⁷ <http://www.eea.europa.eu/> [21.06.2014]

⁸ <http://www.cbd.int/sp/targets/> [21.06.2014]

- Abundance and distribution of selected species, SEBI 001 (I-Mi),
- Ecosystem coverage, SEBI 004 (I-Neu),
- Habitats of European interest, SEBI 005 (I-Mi),
- Impact of climate change on bird populations, SEBI 011 (I-Um).

EEA Core Set of Indicators

Für die Politikberatung erarbeitete die EEA ein kompaktes Set von Umweltindikatoren, mit dem Trends aus verschiedenen Themenbereichen dargestellt und kommuniziert werden können. Ein Zusammenhang zwischen den einzelnen Themenbereichen wird dabei nicht hergestellt. Dieses Core Set of Indicators ist online⁹ verfügbar, umfasst insgesamt 37 Umweltindikatoren und wurde im März 2004 vom Management Board der EEA angenommen (EEA 2005).

Das Set wird als Basis für die diversen indikatorenbasierten Umweltberichte und Initiativen der EEA eingesetzt. Ziel des Core Set of Indicators ist in erster Linie die Fokussierung auf Prioritäten und die politische Relevanz, jedoch keine umfangreiche Bewertung von Ursache-Wirkungsbeziehungen im Bereich der Umwelt. Mit dem Core Set of Indicators sollen die Qualität und Reichweite des Datenaustausches und der EEA-Beitrag zu anderen europäischen und globalen Indikatoreninitiativen (z. B. EU-Indikatoren zur Infrastruktur und zur nachhaltigen Entwicklung; OECD-Umweltindikatoren) optimiert werden.

Aus dem Core Set of Indicators wurden insgesamt sieben Indikatoren aus den Themenfeldern „Biologische Vielfalt“, „Klimawandel“, „Terrestrisch“ und „Landwirtschaft“ ausgewählt, die einen Bezug zum Themenfeld „Klimawandel und Biodiversität“ aufweisen könnten (s. OECD-CSI in Anhang B im Online-Supplement).

Es wurden jedoch keine Indikatoren aus diesem Indikatorenset für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

EEA Climate Change Indicators (CLIM)

Auslöser für die Entwicklung des CLIM-Sets waren die Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und die Erfordernisse strategischer Weichenstellungen in der europäischen Klimapolitik. Es bilanziert die Auswirkungen des Klimawandels für die 32 Mitgliedsstaaten der EEA mithilfe von 41 Indikatoren in allen Lebensräumen (marin, aquatisch, terrestrisch; EEA 2008). Die Indikatoren wurden nach Messbarkeit der Zielerreichung, ihrem Bezug zum Klimawandel, ihrer politischen Relevanz, der Verfügbarkeit von historischen Zeitreihen (in den meisten Fällen über mindestens 20 Jahre), nach Datenverfügbarkeit (idealerweise alle EEA-Mitgliedsstaaten) und nach Verständlichkeit für Politiker und die interessierte Öffentlichkeit ausgewählt. Eine Dokumentation der Indikatoren mit Faktenblättern findet sich auf der Website der EEA.

Das CLIM-Set beschreibt den aktuellen Status des Klimas und die Wirkungen des Klimawandels in insgesamt zehn Bereichen, zu denen u. a. die Bereiche „Terrestrische Ökosysteme und biologische Vielfalt“, „Süßwasserqualität und biologische Vielfalt“ oder auch „Land- und Forstwirtschaft“ gehören. Es überschneidet sich teilweise mit dem Core Set of Indicators der EEA (s. o.). Der Bereich Klimawandel des Core Set of Indicators umfasst zwei Indikatoren, von denen einer (CSI 10) auch zum CLIM-Indikatorenset (Total greenhouse gas (GHG) emission trends and projections, CLIM 050) gehört, der in diesem Vorhaben allerdings nicht weiter betrachtet wurde.

⁹ <http://themes.eea.europa.eu/IMS/CSI> [21.06.2014]

Aus dem CLIM-Set wurden folgende Indikatoren zur vertieften Eignungsprüfung für das zu erarbeitende Indikatorenset ausgewählt (Erläuterung der Kategorien in Klammern in der Einleitung zu Kap. 4.1):

- Phenology of marine species, CLIM 014 (I-Mi),
- Northward movement of marine species, CLIM 015 (I-Mi),
- Distribution of plant species, CLIM 022 (I-Mi),
- Plant phenology, CLIM 023 (I-Um),
- Distribution of animal species (Teilindikator Amphibien und Reptilien), CLIM 024 (I-Mi),
- Animal phenology, CLIM 025 (I-Mi),
- Forest growth, CLIM 034 (I-Mi).

Weitere Einzelindikatoren

Ein weiterer Indikator, der den Zusammenhang zwischen Klimawandel und Veränderungen in der Häufigkeit von Tierarten darstellt, ist der Community Temperature Index (CTI) nach Devictor et al. (2008). Der CTI bietet einen geeigneten Entwicklungsansatz für einen Indikator sowohl zu Tagfalter- als auch zu Vogelartengemeinschaften.

Deshalb wurde dieser Indikatoransatz¹⁰ als Ausgangspunkt für die Entwicklung von zwei Indikatoren für das zu erarbeitende Indikatorenset vorgeschlagen (Erläuterung der Kategorien in Klammern in der Einleitung zu Kap. 4.1):

- Community Temperature Index (CTI) für Vogelartengemeinschaften (I-Mi),
- Community Temperature Index (CTI) für Tagfalterartengemeinschaften (I-Mi).

4.1.3 Indikatorensysteme europäischer Nationalstaaten ohne Deutschland

Biodiversitätsmonitoring in Österreich (MOBI-e)

Das Biodiversitätsmonitoring MOBI-e bilanziert Veränderungen der biologischen Vielfalt auf dem gesamten Territorium Österreichs, fokussiert dabei allerdings bisher noch auf die Lebensräume Wald, Gewässer und Extensivgrünland. Von den 47 Indikatoren, die das Gesamtset bilden, wurden in dem letzten Indikatoren-Bericht zu Zustand und Bedeutung der biologischen Vielfalt in Österreich 21 Indikatoren aus folgenden Bereichen ausgewertet (BMLFUW 2013):

- Arten und Lebensräume,
- Wald,
- Alpen,
- Kulturlandschaft,
- Gewässer,
- Boden,
- Naturschutz,
- Fragmentierung.

¹⁰ Ein Indikatoransatz ist ein bislang nicht realisierter bzw. realisierbarer Indikator.

MOBI-e orientiert sich in Inhalt und Struktur an den übergeordneten Zielsystemen von CBD und EU, um die bestehenden internationalen und europäischen Berichtspflichten des Landes erfüllen zu helfen. Zudem soll mit MOBI-e ein einfaches und allgemein verständliches Indikatorenset für Entscheidungsträger und Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Der inhaltliche Zuschnitt und die Zielsetzungen von MOBI-e wurden durch ein Fachgremium bestimmt. Ein Expertenteam und ein wissenschaftlicher Beirat mit insgesamt 31 Expertinnen und Experten haben im Verlauf von drei Workshops in den Jahren 2004 und 2005 die Indikatoren ausgewählt. Nach dem MOBI-e-Konzept soll das fertige Set neben Indikatoren mit einem 5- oder 10-jährigen Erhebungsintervall auch Indikatoren mit jährlicher Fortschreibung enthalten. Unter Berücksichtigung von Datenverfügbarkeit und -qualität soll das Indikatorenset mit dem Ziel weiterentwickelt werden, alle 47 konzeptionierten Indikatoren zu implementieren (BMLFUW 2006).

Es wurde ein Indikator aus dem MOBI-e-Indikatorenset zur vertieften Eignungsprüfung für das zu erarbeitende Indikatorenset ausgewählt, der Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt darstellt (Erläuterung der Kategorien in Klammern in der Einleitung zu Kap. 4.1):

- Veränderung der Flora auf Alpengipfeln (AL16) (I-Mi)

Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM Schweiz)

Die Schweiz hat sich mit dem BDM zum Ziel gesetzt, über viele Bereiche der biologischen Vielfalt auf einem möglichst großen Teil der Landesfläche Aussagen zu treffen. Aus diesem Grund sollen mit dem BDM Schweiz¹¹ vor allem diejenigen Arten erfasst werden, die typisch für die schweizerische Normallandschaft sind und zu den häufigen und verbreiteten Arten gehören. Bei diesen haben in den vergangenen Jahren starke Veränderungen stattgefunden. Da mit dem BDM Schweiz Veränderungen wichtiger Elemente der biologischen Vielfalt erfasst werden, eignet es sich auch als Frühwarnsystem im Falle von Fehlentwicklungen (BAFU 2014).

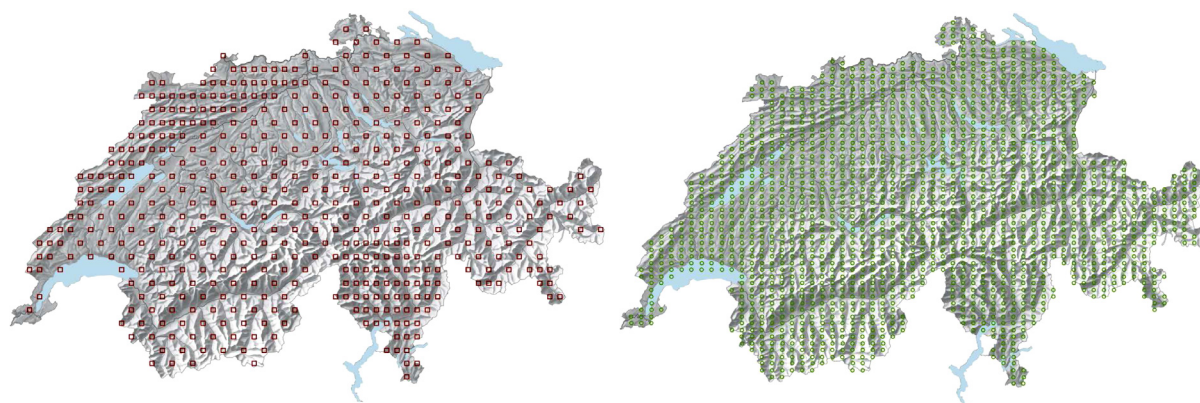


Abb. 8: Messnetze des schweizerischen BDM (BAFU 2014). Erläuterungen im Text.

Das BDM Schweiz bilanziert mehrere Organisationsebenen der biologischen Vielfalt mit Hilfe von Aufnahmen an Rasterpunkten in zwei unterschiedlich hoch aufgelösten Messnetzen, die das gesamte Territorium der Schweiz abdecken (s. Abb. 8). Das Messnetz zur Artenvielfalt (Abb. 8, links) umfasst rund 520 Probeflächen von je einem Quadratkilometer Größe, das Messnetz zu Lebensräumen (Abb. 8, rechts) rund 1.600 kleinflächige Aufnahmen, die in der Regel zehn Quadratmeter Fläche abdecken. An den Kreuzpunkten der Stichprobennetze werden in regelmäßigen Zeitintervallen Daten zu Pflanzen- und Tierarten erhoben. Sämtliche Daten werden von einer Koordinationsstelle gesammelt,

¹¹ www.biodiversitymonitoring.ch/de/home.html [15.05.2014]

ausgewertet und für Publikationen aufbereitet. Die Daten des BDM Schweiz bilden zusammen mit anderen Umweltinformationen eine wichtige Basis für die schweizerische Naturschutzpolitik und für andere Sektorpolitiken wie etwa der Land- und Forstwirtschaft, dem Straßenbau und der Raumplanung (BAFU 2014).

Anlass für die Etablierung des BDM Schweiz war die Unterzeichnung des Übereinkommens zur biologischen Vielfalt der Vereinten Nationen (CBD) von 1992, das die Mitgliedsstaaten zu einer langfristigen Überwachung der biologischen Vielfalt verpflichtet. In mehreren Workshops wurden zu Beginn des Projektes der Daten- und Informationsbedarf abgeklärt, um die begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen möglichst effizient einzusetzen. Dabei wurden auch die bereits vorhandenen Berichtspflichten einbezogen. Das BDM Schweiz orientiert sich an den methodischen Vorgaben der OECD, um Synergien mit der Berichterstattung an die OECD zu nutzen. Es wird daher das PSR-Modell der OECD (vgl. Kap. 3.1) angewendet.

Das BDM Schweiz erfasst die Biodiversität in Kennzahlen und arbeitet mit drei verschiedenen Typen von Indikatoren: Einflussindikatoren (pressure) beschreiben die verschiedenen Faktoren, die die Artenvielfalt beeinflussen. Mit den Zustandsindikatoren (state) werden die wichtigsten Veränderungen der Biodiversität erfasst. Sog. Maßnahmenindikatoren (response) beschreiben Trends und Entwicklungen, die zur Erhaltung der Biodiversität beitragen (BAFU 2014).

Die Auswahlkriterien für die zu bilanzierenden taxonomischen Gruppen waren: Kosten der Datenerhebung, benötigte Personalressourcen, Bedeutung der Arten im öffentlichen Bewusstsein (Charisma), Anzahl der Arten und deren Sensitivität gegenüber dem Klimawandel sowie deren ökologischer Wert (BAFU 2014). Geplant ist die Fortschreibung des BDM Schweiz u. a. unter besonderer Berücksichtigung der Folgen von Urbanisierung und Klimawandel auf Berggebiete in Hinblick auf die Nivellierung der Artenvielfalt (BAFU 2014).

Das Konzept des BDM Schweiz bietet die bestechende Möglichkeit, für das Territorium der Schweiz ex post Verknüpfungen zwischen verschiedenen Einflussfaktoren und Zustandsindikatoren zu analysieren. So wurde bereits eine Auswertung zu den Spuren des Klimawandels in der schweizerischen Vegetation veröffentlicht (BAFU 2012).

Es wurden keine Indikatoren aus dem BDM Schweiz für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

UK Biodiversity Indicators

Die UK Biodiversity Indicators decken das Territorium des Vereinigten Königreiches mit Schottland, Wales, Nordirland und England ab. Der Aufbau des Monitoringsystems orientiert sich an den Aichi-Zielen der CBD und den Zielsetzungen der EU-Biodiversitätsstrategie. Es wurde zuletzt in den Jahren 2011 und 2012 überarbeitet (DEFRA 2013). Die Themenbereiche der UK Biodiversity Indicators sind den fünf übergeordneten Aichi-Zielen der CBD entsprechend folgende:

- A: Öffentliche Meinung,
- B: Belastungsfaktoren und nachhaltige Nutzung,
- C: Schutz und Erhaltung von Ökosystemen, Arten und genetischer Vielfalt,
- D: Nutzen der Biodiversität,
- E: Planung, Wissensmanagement und Kapazitätenaufbau.

Für die Einrichtung der UK Biodiversity Indicators waren die Berichtspflichten gegenüber der CBD und die Notwendigkeit eines Monitorings in Hinblick auf das 2010-Ziel der CBD und der EU ausschlaggebend. Bei der Auswahl der Indikatoren wurden jeweils unterschiedliche Kriterien für die einzelnen Indikatoren angewendet.

Hauptkommunikationsmittel zur Verbreitung der Ergebnisse ist die Broschüre „Biodiversity Indicators in your pocket“ (BIYP), in der die aktuellen Ergebnisse und Trends zu allen 25 Indikatoren und ihren 46 Maßzahlen („component measures“) übersichtlich zusammengefasst und allgemeinverständlich dargestellt werden (DEFRA 2013).

Die geplante Weiterentwicklung der UK Biodiversity Indicators wird sich je nach Indikator unterschiedlich gestalten. Der bisherige Frühlingsindikator dieses Indikatorsets beispielsweise läuft aktuell unter der neuen Bezeichnung „B4. Pressure from climate change“, beruht aber wie bisher auf Beobachtungsdaten zum Blühbeginn des Eingriffeligen Weißdorns (*Crataegus monogyna*) und der Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*) sowie dem ersten Auftreten des Aurorafalters (*Anthocharis cardamines*) und der Rauchschnalze (*Hirundo rustica*) im Frühjahr. Obwohl als Belastungsindikator (pressure) geführt, bildet er doch keine Belastungen der biologischen Vielfalt durch den Klimawandel ab, sondern erfasst als sog. „context indicator“ lediglich die zeitlichen Veränderungen der o. g. phänologischen Ereignisse. In der letzten Berichtsbroschüre wurde dieser Indikator nicht fortgeschrieben und der neu zu entwickelnde Indikator „B3. Climate change adaptation“ noch nicht berichtet (DEFRA 2013).

Es wurden keine Indikatoren aus diesem Indikatorenset für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

UK Climate Change Indicators

Parallel zu den UK Biodiversity Indicators existiert im Vereinigten Königreich ein Indikatorenset zum Klimawandel, die UK Climate Change Indicators. Die Abdeckung entspricht der der Biodiversitätsindikatoren. Erfasst werden neben einigen Komponenten der biologischen Vielfalt auch die Wirkungen des Klimawandels auf Landnutzungen und in anderen sozioökonomischen Bereichen.

Für die überarbeitete Version der UK Climate Change Indicators von 2003 wurde das Indikatorenset unter anderem auf einem Expertenworkshop mit Vertretern der EEA diskutiert und eine Liste von 49 potenziellen Zustands- und Auswirkungsindikatoren erarbeitet (Erhard et al. 2002). Ein Teil der CLIM-Indikatoren der EEA wurde für die Übernahme in das Set der UK Climate Change Indicators vorgeschlagen, das ursprünglich aus insgesamt 34 Indikatorvorschlägen in den folgenden sechs Kategorien bestand (DEFRA 2004):

- A: Klima, Hydrologie, Meeresspiegel und Luftverschmutzung (11 Indikatoren),
- B: Versicherung, Energie, Tourismus und Feuer (5 Indikatoren),
- C: Menschliche Gesundheit (2 Indikatoren),
- D: Land- und Forstwirtschaft (8 Indikatoren),
- E: Insekten und Vögel (5 Indikatoren),
- F: Meere und Süßwasser (3 Indikatoren).

Auf der seit 2004 nicht mehr aktualisierten Homepage der UK Climate Change Indicators¹² sind eine Liste mit verfügbaren Daten für jeden Indikator sowie Kommentare zu Stärken und Schwächen der Indikatoren verfügbar.

Zur geplanten Weiterentwicklung der UK Climate Change Indicators liegen keine Informationen vor. Zwei der 34 Indikatoren wurden bereits 2003 aufgegeben. Insgesamt sind in diesem Bereich der Indikatorenentwicklung im Vereinigten Königreich seit mehr als zehn Jahren keine Aktivitäten mehr zu verzeichnen.

¹² <http://www.ecn.ac.uk/iccuk/> [15.05.2014]

Keiner der Indikatoren aus dem Entwurf der UK Climate Change Indicators wurde zur vertieften Eignungsprüfung ausgewählt.

4.1.4 Indikatorensysteme in Deutschland

Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS)

Das Bundeskabinett hat am 7. November 2007 die unter Federführung des Bundesumweltministeriums (BMUB) erarbeitete Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) beschlossen. Der Indikatorenbericht 2010 und der Rechenschaftsbericht 2013 zur NBS listen 19 Indikatoren in fünf Themenfeldern auf:

- Komponenten der biologischen Vielfalt (7 Indikatoren),
- Siedlung und Verkehr (2 Indikatoren),
- Wirtschaftliche Nutzungen (8 Indikatoren),
- Klimawandel (1 Indikator),
- Gesellschaftliches Bewusstsein (1 Indikator)

Diese Indikatoren sollen Fortschritte bei der Umsetzung von Maßnahmen sowie den Grad der Erreichung von Zielen der NBS messen. Auf diese Weise wird eine zusammenfassende Erfolgskontrolle vorgenommen. Damit folgt Deutschland Vorgaben zur Umsetzung der CBD, die vorsehen, dass Indikatoren den zentralen Baustein der Berichterstattung nationaler Strategien bilden sollen (CBD 2003).

Die Indikatoren der NBS, die an die Visionen und Aktionsfelder der Strategie gekoppelt sind, sollen vielschichtige Sachverhalte in anschaulicher Form zusammenfassen und Trends aufzeigen. Sie sollen in angemessenen Zeitabständen aktualisiert und einmal in jeder Legislaturperiode als Rechenschaftsbericht publiziert werden (BMU 2007). Ein erster Indikatorenbericht zur NBS wurde im November 2010 durch das Bundeskabinett beschlossen und Ende 2010 publiziert. Im Jahr 2013 wurde der erste Rechenschaftsbericht über die Umsetzung der NBS veröffentlicht (BMU 2013), der auch ein Kapitel zu den Indikatoren enthält.

Das im Indikatorenbericht von 2010 vorgestellte Indikatorenset, das gegenüber dem Indikatorenset der NBS von 2007 weiterentwickelt wurde, ist nicht als abschließend anzusehen. Vorschläge zur Weiterentwicklung wurden sowohl im Rahmen dieses Vorhabens, als auch in zwei weiteren F+E-Vorhaben erarbeitet (vgl. u. a. Ackermann et al. 2013).

Es wurden zwei Indikatoren aus dem NBS-Indikatorenset für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt (Erläuterung der Kategorien in Klammern in der Einleitung zu Kap. 4.1):

- Klimawandel und Frühlingsbeginn (I-Um),
- Invasive Arten (I-Mi).

Deutsche Anpassungsstrategie (DAS)

Das Bundeskabinett hat am 17. Dezember 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) beschlossen. Die DAS verfolgt das Ziel, die Vulnerabilität gegenüber den Folgen des Klimawandels zu mindern und die Anpassungsfähigkeit der natürlichen, sozialen und ökonomischen Systeme an den Klimawandel zu erhalten bzw. zu erhöhen.

„Das Indikatorensystem zur DAS ist in erster Linie ein Instrument des Bundes. Es soll den Prozess der Umsetzung der DAS begleiten und den Erfolg und Misserfolg ergriffener Anpassungsmaßnahmen

beschreibbar machen“ (Schönthaler et al. 2011: 35). Die bislang in der Diskussion befindlichen Indikatoren verteilen sich auf die folgenden 14 Handlungsfelder und Querschnittsthemen:

- Bauwesen,
- Bevölkerungsschutz,
- Biologische Vielfalt,
- Boden,
- Energiewirtschaft,
- Finanzwirtschaft,
- Fischerei,
- Industrie und Gewerbe,
- Landwirtschaft,
- Menschliche Gesundheit,
- Raum-, Regional- und Bauleitplanung,
- Tourismuswirtschaft,
- Verkehr, Verkehrsinfrastruktur,
- Wald- und Forstwirtschaft,
- Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die Handlungsfelder bzw. Querschnittsthemen „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz“, „Boden“, „Landwirtschaft“, „Wald- und Forstwirtschaft“ sowie „Raum-, Regional- und Bauleitplanung“ ausgewertet. Für das Handlungsfeld „Biologische Vielfalt“ der DAS wurden fünf Indikatoren erarbeitet (s. Schliep et al. 2016).

Die politische Abstimmung der Indikatorvorschläge zwischen Bund und Ländern wurde Mitte des Jahres 2014 abgeschlossen. Die Publikation des ersten Indikatorenberichts zur DAS erfolgte im Jahr 2015 (UBA 2015).

Folgende Indikatoren aus dem DAS-Indikatorenset auf dem Stand von Januar 2013 wurden für eine vertiefte Eignungsprüfung in diesem Vorhaben ausgewählt (Erläuterung der Kategorien in Klammern in der Einleitung zu Kap. 4.1):

- Verbreitung wärmeadaptierter mariner Arten (I-Mi),
- Anpassung von Bewirtschaftungsrhythmen (I-Neu),
- Nutzung organischer Böden (I-Neu),
- Umbau gefährdeter Fichtenbestände (I-Neu),
- Hochwasser (I-Neu),
- Kapazität von Regenbecken (I-Neu),
- Entwicklung der Gewässerstrukturgüte (I-Neu),
- Investitionen in den Hochwasser- und Küstenschutz (I-Neu),
- Schneedecke für den Wintersport (I-Neu),
- Übernachtungszahlen in Skigebieten (I-Neu).

Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (NHS)

Ausgangspunkt für die NHS war die Unterzeichnung der „Agenda 21“ in Rio de Janeiro im Jahre 1992. Die NHS bezieht sich auf Deutschland insgesamt und hat keinen direkten Bezug zur Länderebene. Zur Berichterstattung werden derzeit (Stand: Indikatorenbericht 2014) insgesamt 38 Indikatoren und Teilindikatoren für folgende vier sog. Indikatorenbereiche berichtet (DESTATIS 2014):

I. Generationengerechtigkeit (16 Indikatoren)

II. Lebensqualität (14 Indikatoren)

III. Sozialer Zusammenhalt (6 Indikatoren)

IV. Internationale Verantwortung (2 Indikatoren)

Aktuell wird je ein Indikator zur Artenvielfalt (Indikator Nr. 5: „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“) und zum Klimaschutz (Indikator Nr. 2: „Treibhausgasemissionen“) im Indikatorenbereich I berichtet.

Das Statistische Bundesamt verfasst seit dem Jahr 2006 und zuletzt im Jahr 2014 jeweils im Abstand von zwei Jahren Berichte über die aktuelle Entwicklung der NHS-Indikatoren. Das Indikatorenset wird kontinuierlich weiterentwickelt, und so wurden in das aktuelle Set im Vergleich zum Indikatorenbericht 2010 drei neue Indikatoren (z. B. zum Primärenergieverbrauch und zum Schuldenstand) aufgenommen und mehrere Indikatoren modifiziert (z. B. Indikator 3a zum Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch, der zuvor auf den Primärenergieverbrauch referierte).

Keiner der NHS-Indikatoren wurde für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

Kernindikatorensystem Umwelt (KIS)

Das KIS Umwelt wurde etabliert, um politische Entscheidungsträger, Öffentlichkeit und Medien in Deutschland aktuell und in knapper Form über umweltbezogene Fortschritte auf dem Weg zur Nachhaltigkeit zu informieren. Das KIS Umwelt ergänzt die Umweltindikatoren der NHS um eine Vielzahl weiterer Indikatoren und soll auf Bundesebene über Schwerpunktthemen der Umwelt- und Nachhaltigkeitspolitik informieren. Dabei wird auch auf die Anschlussfähigkeit an die wichtigsten internationalen Indikatorensysteme geachtet. Diese Schwerpunkte orientieren sich an den vier übergreifenden Themenbereichen des 6. Umweltaktionsprogramms der Europäischen Gemeinschaft für den Zeitraum 2002 bis 2012: „Klimaänderungen“, „Biologische Vielfalt, Naturhaushalt und Landschaft“, „Umwelt, Gesundheit und Lebensqualität“ sowie „Ressourcennutzung und Abfallwirtschaft“, denen mehr als 50 Indikatoren in Unterthemen und unterschiedlich vielen Hierarchieebenen zugeordnet wurden (Schönthaler und Pieck 2013). So wird im Unterthema „Biologische Vielfalt und deren Gefährdung“ der Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ ergänzt um die beiden Indikatoren „Gefährdung von Biotoptypen“ und „Anteil an gebietsfremden Tier- und Pflanzenarten in Deutschland“. Das Thema „Klimawandel“ soll im KIS Umwelt (Stand: Oktober 2014) u. a. mit Hilfe des Indikators „Emissionen von Treibhausgasen“¹³ berichtet werden.

Die KIS-Indikatoren sind regelmäßig Bestandteil der vom Umweltbundesamt herausgegebenen „Daten zur Umwelt“, die auf der Homepage des Umweltbundesamtes (www.uba.de/daten) veröffentlicht werden.

Das KIS Umwelt wird derzeit vollständig überarbeitet. In einer systematischen Zusammenschau wichtiger Programme, Strategien und aktueller Indikatorensets haben Schönthaler und Pieck (2013) im Auftrag des Umweltbundesamtes geprüft, inwieweit das KIS aktuelle Umweltthemen und -ziele aufnimmt und welche Lücken vorhanden sind. Aufbauend auf dieser Analyse wurden konkrete Vorschlä-

¹³ S. hierzu: <http://www.umweltbundesamt.de/indikator-emissionen-von-treibhausgasen> [22.06.2014]

ge für eine strukturelle und inhaltliche Weiterentwicklung des KIS Umwelt erarbeitet. Neue Indikatoren und Datenquellen sollten dabei in Form von Factsheets dokumentiert werden (ebd.).

Keiner der KIS-Indikatoren wurde für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

Länderinitiative Kernindikatoren (umweltbezogene Nachhaltigkeitsindikatoren) (LIKI)

Die Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) ist eine Arbeitsgemeinschaft von Umweltfachbehörden des Bundes und der Länder, die deren umweltfachliche Kompetenzen für die Entwicklung und Pflege sowie die Dokumentation der gemeinsamen Indikatoren bündelt. Sie arbeitet im Auftrag und in enger Zusammenarbeit mit der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ (BLAG KliNa), die die umweltpolitische Kompetenz der Umweltministerien der Länder zusammenfasst und der Umweltministerkonferenz (UMK) unterstellt ist. Hierbei wird die LIKI vom Arbeitskreis Umwelt-ökonomische Gesamtrechnung der Länder (AK UGRdL) unterstützt, der u. a. Daten bereitstellt und statistische Analysen durchführt (s. Abb. 9).

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Indikatorensets der LIKI waren die 24 umweltspezifischen Nachhaltigkeitsindikatoren des Bundes und der Länder, die im Jahr 2004 von der 62. Umweltministerkonferenz beschlossen worden waren und seither von der LIKI weiterentwickelt wurden. Das aktuelle Indikatorenset umfasst 25 Indikatoren aus vier Themenbereichen (Stand Juni 2014)¹⁴:

- Klima und Energie (4 Indikatoren),
- Natur und Landschaft (9 Indikatoren),
- Umwelt und Gesundheit (6 Indikatoren),
- Ressourcen und Effizienz (6 Indikatoren).

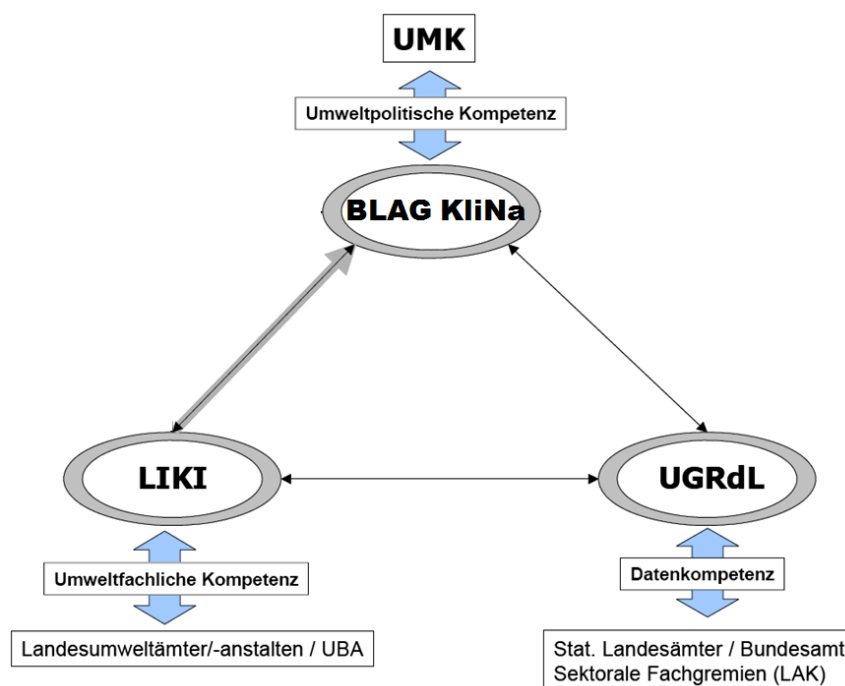


Abb. 9: Institutionelles Zusammenwirken der Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder mit der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) (Quelle: BLAG-NE 2005, verändert)

¹⁴ S. hierzu: <http://www.lanuv.nrw.de/liki-newsletter/index.php?mode=liste&indikator=0&aufzu=0> [aufgerufen am: 22.06.2014]

Die Darstellung der Indikatoren erfolgt mit Hilfe von Kennblättern und Datentabellen, die zeitliche Entwicklung der Indikatoren kann interaktiv mit Diagrammen und differenziert nach Ländern auf der Homepage der LIKI (www.liki.nrw.de) verfolgt werden.

Keiner der LIKI-Indikatoren wurde für eine vertiefte Eignungsprüfung ausgewählt.

Indikatoren zum Klimafolgenmonitoring in Sachsen

Der Aufbau des Indikatorensets zum Klimafolgenmonitoring in Sachsen orientiert sich am DPSIR-Ansatz. Das Indikatorenset umfasst derzeit 18 Impact-Indikatoren aus den Bereichen Biodiversität / Naturschutz, Wasserwirtschaft und Wasserhaushalt, Boden, Landwirtschaft, Wald und Forstwirtschaft sowie fünf übergreifende Impact-Indikatoren. Eine spätere Ergänzung durch weitere Indikatoren aus dem Nicht-Umweltbereich und zu Anpassungsmaßnahmen ist vorgesehen. Mit Hilfe des Klimafolgenmonitorings sollen Auswirkungen klimatischer Veränderungen und Risiken frühzeitig erkannt werden, um ggf. mit zielgerichteten Anpassungsmaßnahmen reagieren zu können.

Zum Thema Biodiversität / Naturschutz werden die beiden Indikatoren „Änderung der Artenvielfalt und -zusammensetzung (I-N1)“ und „Arealveränderungen klimasensitiver Arten (I-N2)“ vorgeschlagen. Der Indikator I-N1 beruht auf dem Community Temperature Index (CTI) und soll in Sachsen für die Artengruppen der Tagfalter und Libellen berechnet werden. Für den Indikator I-N2 wird ein Areal-Index (Maß für das Verhältnis der Areale wärmeadaptierter Arten zu den Arealen kälteadaptierter Arten einer Artengruppe in einer Region) ermittelt. Dieser soll in Sachsen ebenfalls für die Artengruppen der Tagfalter und Libellen berechnet werden.

4.1.5 Zwischenfazit

Im Ergebnis erwiesen sich von der großen Zahl untersuchter Indikatoren bestehender Indikatorensysteme nur wenige als potenziell geeignet für eine weitere Prüfung im Rahmen des Vorhabens. Hierfür sind insbesondere folgende Gründe zu nennen:

- Eignung für die Politikberatung: Bei der Mehrzahl der untersuchten Indikatoren handelte es sich um vorwiegend wissenschaftlich ausgerichtete Indikatoren, die den für das Vorhaben formulierten Anforderungen an Fachindikatoren zur Politikberatung nicht entsprechen (vgl. dazu Kap. 3.2).
- Thematischer Bezug: Der Klimawandel ist nur bei wenigen Indikatorensets Hauptgegenstand der Bilanzierung. Die Entwicklung entsprechender Monitoringsysteme ist aktuell eher die Ausnahme (positive Beispiele sind hier die EU und seit kurzem das Bundesland Sachsen). Nationale Anstrengungen wie in Großbritannien blieben bisher weitgehend erfolglos. Eine Verknüpfung mit dem Thema „Biologische Vielfalt“ findet nur selten statt.
- Datenlage: Es existieren kaum Zeitreihen aus dauerhaften Monitoringprogrammen, häufig sind die zugrunde liegenden Untersuchungen räumlich und zeitlich eingeschränkt (ein positives Gegenbeispiel ist hier das Biodiversitätsmonitoring Schweiz).

Am besten stellte sich noch die Situation im Indikationsbereich der direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt dar, insbesondere für die Indikationsfelder zu den phänologischen Veränderungen und zu den Veränderungen von Arealen und Populationen. Je weniger eindeutig allerdings die Wirkungsbeziehungen zwischen Klimawandel und biologischer Vielfalt aus wissenschaftlicher Sicht werden, desto weniger geeignete Indikatoren konnten identifiziert werden; dies betraf insbesondere die Ebene der Lebensgemeinschaften und Lebensräume.

Sehr große Lücken bestehen bei Indikatoren zu den indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt infolge von Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen in den verschiedenen Landnutzungsbereichen, so dass hier kaum geeignete Indikatoren identifiziert werden konnten.

Auch im Bereich der Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel konnten aufgrund der unzureichenden Datenlage keine Indikatoren übernommen werden.

4.2 Vorauswahl und vertiefte Eignungsprüfung der Indikatoren

Im Zuge einer Vorauswahl wurden Indikatoren an Hand folgender Kriterien von einer weiteren Bearbeitung ausgeschlossen:

1. Der Indikator hat keinen klaren Bezug zu den Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt oder zum Schutz der biologischen Vielfalt vor den Wirkungen des Klimawandels.
2. Der Indikator bildet einen Aspekt der Wirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität ab, der nicht Gegenstand des Vorhabens ist (Ebene der genetischen Vielfalt; Driver nach DPSIR-Systematik) und kommt deswegen nicht in Frage.

Ergebnis dieser Vorauswahl war eine Liste mit vertieft zu prüfenden Indikatoren. Grundlage der vertieften Eignungsprüfung waren die Ausführungen zu möglichen klimawandelbedingten Wirkungen auf die biologische Vielfalt und möglichen Anpassungen seitens des Naturschutzes (vgl. Kap. 2). Mit Hilfe der in Kapitel 3.2 vorgestellten Auswahlkriterien wurde überprüft, welche der nach der Vorauswahl verbliebenen Indikatoren prinzipiell geeignet sind, Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt abzubilden. Im Falle eines positiven Prüfergebnisses sollten die ausgewählten Indikatoren bei der Entwicklung des Indikatorensets berücksichtigt werden.

Die nach der Vorauswahl verbliebenen Indikatoren wurden nach Kriterium 1 (s. Kap. 3.2) einer vertieften Prüfung bezüglich ihrer thematischen Relevanz unterzogen. Um eine Zuordnung der ausgewählten Indikatoren zu den Indikationsfeldern zu ermöglichen, war eine genauere inhaltliche Beschreibung der Indikationsfelder erforderlich. Mit Hilfe dieser Beschreibungen konnte die thematische Relevanz der vorausgewählten Indikatoren für das hier zu entwickelnde Indikatorenset inhaltlich bewertet werden.

Nach Bewertung der Indikatoren nach den Kriterien 2 (ausreichende Datenlage) und 3 (politische Eignung) aus Kapitel 3.2 konnten schließlich Indikatoren identifiziert werden, die für eine vollständige Realisierung vorgeschlagen wurden. Zudem konnten Fehlstellen in den Indikationsfeldern des vorläufigen Indikatorensets identifiziert und neue Ansatzpunkte zur Indikatorenentwicklung zur Überprüfung und ggf. weiteren Ausarbeitung erarbeitet werden.

Alle Indikatoren und Ansatzpunkte zur Indikatorenentwicklung wurden schließlich einer der drei in Kapitel 4.1 bereits eingeführten Kategorien zugeordnet: a) Indikatoren, die unmittelbar, also ohne weitere Bearbeitung übernommen werden können (I-Um), b) Indikatoren, die mittelbar übernommen werden können, aber zunächst entsprechend den Anforderungen des hier zu entwickelnden Indikatorensets modifiziert werden müssen (I-Mi) und c) zur Neuentwicklung vorgeschlagene Indikatoren / Ansatzpunkte zur Neuentwicklung von Indikatoren (I-Neu).

Das in Tabelle 12 zusammengefasste vorläufige Ergebnis wurde auf einem Fachgespräch mit breiter Expertenbeteiligung diskutiert. Nach Auswertung der Ergebnisse des Fachgesprächs wurden die Indikationsfelder endgültig festgelegt und die zur unmittelbaren Übernahme vorgeschlagenen Indikatoren berechnet, die zur mittelbaren Übernahme vorgeschlagenen Indikatoren überarbeitet und die Ansatzpunkte für eine Neuentwicklung von Indikatoren geprüft. Diese Arbeitsergebnisse des Vorhabens sind im folgenden Teil II dargestellt.

Tab. 12: Gesamtübersicht vorläufiger Indikationsfelder, Vorschläge für Indikatoren und Ansatzpunkte für die Entwicklung neuer Indikatoren vor dem Fachgespräch im Januar 2013 (ursprüngliche Nummerierung der Indikatoren)

Erläuterungen:

DPSIR-Ansatz: D = Driver, P = Pressure, S = State, I = Impact, R = Response

ES: Entwicklungsstand (I-Um = Indikatoren, die unmittelbar also ohne weitere Bearbeitung übernommen werden können; I-Mi = Indikatoren, die mittelbar übernommen werden können, aber zunächst entsprechend den Anforderungen des hier zu entwickelnden Indikatorensets überarbeitet bzw. weiterentwickelt werden müssen; I-Neu = zur Neuentwicklung vorgeschlagene Indikatoren / Ansatzpunkte zur Neuentwicklung von Indikatoren)

Indikator / Ansatzpunkt Indikatorentwicklung	DPSIR	ES
Indikationsbereich I: Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt		
I.1 Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften		
I.1.1 Phänologische Veränderungen bei Pflanzenarten	I	I-Mi
I.1.2 Klimawandel und Frühlingsbeginn	I	I-Um
I.1.3 Phänologische Veränderungen bei Meeresorganismen	I	I-Mi
I.1.4 Phänologische Veränderungen bei Tierarten	I	I-Neu
I.1.5 Phänologie-Index zu Tier- und Pflanzenarten	I	I-Neu
I.2 Arealveränderungen bei Tier- und Pflanzenarten		
I.2.1 Verbreitung von Reptilien und Amphibien	I	I-Mi
I.2.2 Arealveränderungen bei marinen Arten	I	I-Mi
I.2.3 Invasive Arten	I	I-Mi
I.3 Veränderungen von Populationen und Biozönosen		
I.3.1 Climate Impact Indicator für Vögel	I	I-Um
I.3.2 Community Temperature Index für Vögel	I	I-Mi
I.3.3 Bestände klimawandelsensitiver Arten	I	I-Mi
I.3.4 Veränderung der Flora auf Alpengipfeln	I	I-Mi
I.3.5 Veränderungen von Biozönosen wenig mobiler Arten (Amphibien, Reptilien)	I	I-Neu
I.3.6 Community Temperature Index für Tagfalter	I	I-Mi
I.4 Veränderungen von Lebensräumen		
I.4.1 Erhaltungszustand klimawandelsensitiver FFH-Lebensräume	I	I-Mi
I.4.2 Verschiebung der Waldgrenze	I	I-Neu
I.4.3 Flächenanteile klimawandelsensitiver Ökosysteme und Habitate	I	I-Neu
I.4.4 Veränderungen von Flussauen	I	I-Neu
Indikationsbereich II: Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt infolge von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen		
II.1 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich der Energiegewinnung aus Biomasse		
II.1.1 Humusgehalt landwirtschaftlich genutzter Böden	S	I-Neu
II.1.2 Flächengröße des Energiepflanzenanbaus	P	I-Neu
II.1.3 Umbruch von Dauergrünland	P	I-Neu

Indikator / Ansatzpunkt Indikatorentwicklung	DPSIR	ES
II.2 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich der Energiegewinnung aus Windkraft		
II.2.1 Windenergiesisikogebiete	P	I-Neu
II.3 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich der Landwirtschaft		
II.3.1 Vogelarten in der Agrarlandschaft	I	I-Mi
II.3.2 Landwirtschaftliche Bewässerung	P	I-Neu
II.4 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich der Forstwirtschaft		
II.4.1 Waldwachstum	I	I-Mi
II.4.2 Biologische Vielfalt in Wäldern	S	I-Neu
II.4.3 Umbau gefährdeter Fichtenbestände	P	I-Neu
II.5 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich des Hochwasserschutzes		
II.5.1 Ausbau im Bereich des technischen Hochwasserschutzes	P	I-Neu
II.5.2 Ausbau im Bereich des ökologischen Hochwasserschutzes	P	I-Neu
II.6 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich des Tourismus		
II.6.1 Veränderungen von alpinen und Mittelgebirgsökosystemen und Übernachtungszahlen in Skigebieten	P	I-Neu
II.6.2 Veränderungen von Küstenökosystemen an Nord- und Ostsee und Übernachtungszahlen in Badeorten	P	I-Neu
Indikationsbereich III: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel		
III.1 Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel im Bereich Schutzgebiete		
III.1.1 Gebietsschutz	R	I-Um
III.1.2 Qualitätsindex Schutzgebiete	R	I-Um
III.1.3 Anpassung des Schutzgebietsmanagements an den Klimawandel	R	I-Um
III.2 Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel im Bereich Biotopverbund		
III.2.1 Durchgängigkeit von Fließgewässern	R	I-Um
III.2.2 Umsetzung klimawandelbezogener Biotopverbundkonzeptionen	R	I-Um
III.3 Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel durch Resilienzsteigerung		
III.3.1 Anteil Wildnisgebiete (Prozessschutz)	R	I-Um
III.3.2 Anteil gefährdeter Feuchtgebiete mit Wasserhaushaltskonzept	R	I-Um
III.4 Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel durch Förderung von Synergien zwischen Naturschutz und Klimaschutz		
III.4.1 Nutzung organischer Böden	R	I-Um
III.4.2 Anteil Wälder mit natürlicher Waldentwicklung	S	I-Um
III.4.3 Ökosystembasierte Anpassungsmaßnahmen	R	I-Um

Englische Bezeichnungen von Indikatoren wurden ins Deutsche übertragen.

Teil II:

Ergebnisse

5. Indikatorenset für ein Fachinformationssystem „Klimawandel und biologische Vielfalt“

Die Arbeiten an der Konzeptionalisierung, Berechnung und Darstellung der Indikatoren, die in Tabelle 12 in Kapitel 4.2 dargestellt sind, in eine Klassifizierung der Indikatoren entsprechend deren Realisierbarkeit in vier Kategorien:

- Kategorie 1 umfasst Indikatoren, die vollständig berechnet wurden.
- In Kategorie 2 sind Indikatoren eingeordnet, die grundsätzlich als realisierbar eingestuft, aber zunächst nur als Prototypen ausgearbeitet wurden, da im Zeitrahmen des Vorhabens entweder konzeptionelle Fragen nicht geklärt oder wegen unvollständiger Datenlieferungen Berechnungen nicht durchgeführt werden konnten.

Alle Indikatoren der Kategorien 1 und 2 werden in Kennblättern dargestellt, deren Gliederung zu Beginn von Kapitel 6 erläutert wird.

- In Kategorie 3 finden sich Indikatoren und Indikatoransätze, die wegen konzeptioneller Defizite und/oder fehlender Daten grundsätzlich als nicht realisierbar eingestuft wurden.
- In Kategorie 4 stehen diejenigen Indikatoren und Indikatoransätze, die zugunsten geeigneterer Indikatoren oder Indikatorvorschläge verworfen wurden.

Die Ergebnisse der Prüfaufträge zu den Indikatorvorschlägen der Kategorien 3 und 4 sind in Anhang A im Online-Supplement dokumentiert. Die Darstellung dieser Prüfaufträge umfasst jeweils die Nennung der Indikatorkennziffer und des Indikationsfeldes, eine Skizze der Indikatorkonstruktion, Informationen zur Datenbasis, eine Beschreibung der Zielrichtung der Indikatoraussage, eine Darstellung des Bearbeitungs- bzw. Entwicklungsstatus sowie eine Literaturliste. Die Begründung für die Aufgabe bzw. Zurückstellung findet sich jeweils am Ende der Dokumentation des Prüfauftrages unter der Überschrift „Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus“.

Eine Übersicht über die abschließende Einordnung der Indikatorvorschläge in die Kategorien 1 bis 4 bietet die folgende Tabelle 13, die neben den vertieft zu prüfenden Indikatoren aus den vorhandenen Indikatorensets (s. Tab. 11) auch die im Projekt entstandenen Vorschläge für Neuentwicklungen von Indikatoren und Anregungen aus dem Fachgespräch umfasst. Dieses Indikatorenset für ein Fachinformationssystem zum Themenfeld „Klimawandel und biologische Vielfalt“ gliedert sich in drei Indikationsbereiche und insgesamt 11 Indikationsfelder.

Insgesamt konnten fünf Indikatoren vollständig realisiert und neun Indikatoren als Prototypen entwickelt werden. Nicht für alle Indikationsfelder konnten Indikatoren erarbeitet werden. Die Gründe hierfür werden in Kapitel 5.3 dargelegt.

Die Ergebnisse der Eignungsbewertung zu den Indikatoren aus Tabelle 13 werden im folgenden Kapitel 5.1 vorgestellt. Die Gliederung des Indikatorensets in Indikationsbereiche und Indikationsfelder wird in Kapitel 5.2 erläutert. Verbleibende Fehlstellen im Indikatorenset und in den einzelnen Indikationsfeldern werden in Kapitel 5.3 zusammen mit den nicht realisierten Indikatoransätzen (Kap. 5.3.1) und den Vorschlägen zur Entwicklung weiterer Indikatoren (Kap. 5.3.2) dargestellt.

Tab. 13: Abschließende Zusammenstellung der Indikationsfelder und Einordnung der Indikatoren hinsichtlich deren Realisierbarkeit (Stand: nach Abschluss der 2. PAG-Sitzung, endgültige Fassung)

Erläuterungen:

DPSIR-Modell: D = Driving Forces, P = Pressure, S = State, I = Impact, R = Response

KAT 1: Kategorie 1 (Indikator wurde umfassend realisiert; s. Kap. 6)

KAT 2: Kategorie 2 (Indikator wurde als Prototyp ausgearbeitet; s. Kap. 7)

KAT 3: Kategorie 3 (Indikatorvorschlag ist wegen konzeptioneller Defizite und/oder nicht verfügbarer bzw. fehlender Daten grundsätzlich nicht realisierbar und wurde zurückgestellt; s. Anhang A im Online-Supplement)

KAT 4: Kategorie 4 (Indikatorvorschlag wurde zugunsten anderer, geeigneterer Indikatoren oder Indikatorvorschläge verworfen; s. Anhang A im Online-Supplement)

* s. Anhang A im Online-Supplement

Nr.	Indikator	DPSIR	Kategorie	Kapitel
Indikationsbereich I: Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt				
I.1 Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften				
I.1.1	Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzentarten	I	KAT 1	6.1
I.1.2	Phänologische Veränderungen bei Tierarten	I	KAT 2	7.1
I.1.3	Klimawandel und Frühlingsbeginn	I	KAT 4	Online*
I.1.4	Phänologische Veränderungen bei Meeresorganismen	I	KAT 4	Online*
I.1.5	Phänologie-Index zu Tier- und Pflanzenarten	I	KAT 4	Online*
I.2 Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen				
I.2.1	Temperaturindex häufiger Brutvogelarten (CTI)	I	KAT 1	6.2
I.2.2	Veränderung des Arteninventars auf High Nature Value Farmland	I	KAT 2	7.2
I.2.3	Arealveränderungen bei marinen Arten	I	KAT 2	7.3
I.2.4	Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzentarten	I	KAT 2	7.4
I.2.5	Climate Impact Indicator für Vögel	I	KAT 1	6.3
I.2.6	Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften	I	KAT 2	7.5
I.2.7	Veränderung der Flora auf Alpengipfeln	I	KAT 2	7.6
I.2.8	Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen	I	KAT 2	7.7
I.2.9	Klimawandelbedingte Veränderungen bei Heuschrecken	I	KAT 3	Online*
I.2.10	Verbreitung von Reptilien und Amphibien	I	KAT 3	Online*
I.2.11	Veränderung von Biozönosen wenig mobiler Arten (Amphibien, Reptilien)	I	KAT 3	Online*
I.2.12	Invasive Arten	I	KAT 4	Online*
I.2.13	Bestände klimasensitiver Arten	I	KAT 3	Online*
I.3 Veränderungen von Lebensräumen				
I.3.1	Erhaltungszustand klimasensitiver FFH-Lebensräume	I	KAT 3	Online*
I.3.2	Flächenanteile klimasensitiver Ökosysteme und Habitate	I	KAT 3	Online*

Nr.	Indikator	DPSIR	Kategorie	Kapitel
I.3.3	Verschiebung der Waldgrenze	I	KAT 3	Online*
I.3.4	Veränderungen von Flussauen	I	KAT 4	Online*
Indikationsbereich II: Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt				
II.1 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel				
II.1.1	Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und naturschutzfachlich wertvolle Gebiete	P	KAT 3	Online*
II.1.2	Umbruch Dauergrünland	P	KAT 3	Online*
II.1.3	Vogelarten in der Agrarlandschaft	S	KAT 3	Online*
II.1.4	Landwirtschaftliche Bewässerung	P	KAT 3	Online*
II.2 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Forstwirtschaft an den Klimawandel				
II.2.1	Waldumbau im Klimawandel	P / S	KAT 3	Online*
II.2.2	Waldwachstum	I	KAT 3	Online*
II.2.3	Umbau gefährdeter Fichtenbestände	P	KAT 3	Online*
II.3 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Wasserwirtschaft an den Klimawandel				
II.3.1	Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen	I	KAT 1	6.4
II.3.2	Förderung des ökologischen Hochwasserschutzes	I	KAT 4	Online*
II.3.3	Ausbau der (kleinen) Wasserkraft und von Pumpspeicherwerken	P	KAT 4	Online*
II.4 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen des Tourismus an den Klimawandel				
II.4.1	Veränderungen von Küstenökosystemen an Nord- und Ostsee und Übernachtungszahlen in Badeorten	P	KAT 3	Online*
II.4.2	Veränderungen von alpinen und Mittelgebirgsökosystemen und Übernachtungszahlen in Skigebieten	P	KAT 3	Online*
II.5 Veränderungen biologischer Vielfalt infolge der Energiegewinnung aus Windkraft				
II.5.1	Windenergieerisikogebiete	P	KAT 3	Online*
Indikationsbereich III: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel				
III.1 Anpassung naturschutzfachlicher Strategien an den Klimawandel				
III.1.1	Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung	R	KAT 1	6.5
III.1.2	Naturschutzflächen mit Klimaschutzfunktion	R	KAT 3	Online*
III.2 Anpassung naturschutzfachlicher Maßnahmen an den Klimawandel				
III.2.1	Länderübergreifender Biotopverbund	R	KAT 2	7.8
III.2.2	Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität	S / R	KAT 2	7.9
III.2.3	Gebietsschutz	R	KAT 3	Online*
III.2.4	Vertrieb autochthonen Pflanzenmaterials	R	KAT 4	Online*
III.2.5	Wildnis und natürliche Waldentwicklung	R	KAT 3	Online*
III.3 Erfolge klimawandelbedingter Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen				
III.3.1	Gefährdung klimasensitiver Lebensräume und Arten	R	KAT 3	Online*
III.3.2	Gebietsschutz als erfolgreiche Maßnahme in klimawandelsensitiven Gebieten	R	KAT 3	Online*

5.1 Eignung der ausgewählten Indikatoren

Die Eignung der Indikatoren aus Tabelle 13 für das Indikatorenset wurde in Hinblick auf die Kriterien „Thematische Relevanz“, „Datenlage“ und „politische Eignung“ (Erläuterungen dazu in Kap. 3.2) beurteilt.

Die in der folgenden Tabelle 14 dargestellten Eignungsbewertungen der Indikatoren werden in den Indikator-Kennblättern und Dokumentationen der Prüfaufträge ausführlich diskutiert (s. Kap. 6 und 7 sowie Anhang A im Online-Supplement). Die wegen konzeptioneller Mängel oder grundsätzlich fehlender Datenbasis verworfenen Indikatoren (Kategorie 4) wurden teilweise nicht bewertet.

Thematische Relevanz

Neun der in den Tabellen 13 und 14 genannten Indikatoren decken zum einen Kerninhalte des jeweiligen Indikationsfelds in Hinblick auf die biologische Vielfalt vollständig ab und weisen zum anderen einen klar nachvollziehbaren und direkten Bezug zum Klimawandel auf. Fünf dieser Indikatoren mit hoher thematischer Relevanz konnten vollständig realisiert bzw. zu Prototypen entwickelt werden („Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten“, „Temperaturindex häufiger Brutvogelarten“, „Climate Impact Indicator für Vögel“, „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“, „Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung“). Zwei Indikatoren aus dieser Gruppe („Phänologische Veränderungen bei Meeresorganismen“, „Förderung des ökologischen Hochwasserschutzes“) wurden zugunsten anderer Indikatoren („Phänologische Veränderungen bei Tierarten“, „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“) aufgegeben. Die verbleibenden beiden Indikatoren wurden zurückgestellt, weil entweder der Einfluss des Klimawandels nicht ausreichend quantifiziert werden konnte („Landwirtschaftliche Bewässerung“) oder Wissenslücken bestehen („Windenergieisikogebiete“).

Datenlage

14 der Indikatoren aus Tabelle 13 bzw. 14 wurden in die höchste Bewertungsklasse für die beiden Teilkriterien zur Datenlage eingestuft und verfügen demnach über eine gute Datenbasis. Davon konnten sechs Indikatoren vollständig realisiert bzw. zu Prototypen weiterentwickelt werden. Zwei der 14 Indikatoren („Klimawandel und Frühlingsbeginn“, „Gebietsschutz“) wurden zugunsten geeigneterer Indikatoren („Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten“, „Länderübergreifender Biotopverbund“) aufgegeben. Von den verbleibenden sechs Indikatoren wurden vier zurückgestellt bzw. aufgegeben, weil der Einfluss des Klimawandels nicht ausreichend quantifiziert werden konnte („Flächenanteile klimasensitiver Ökosysteme und Habitate“, „Verschiebung der Waldgrenze“, „Umbruch Dauergrünland“, „Vogelarten in der Agrarlandschaft“), Wissenslücken bestehen („Gebietsschutz“) oder die Ergebnisse parallel laufender Forschungsvorhaben abgewartet werden sollten („Wildnis und natürliche Waldentwicklung“).

Politische Eignung

Sieben der Indikatoren aus Tabelle 13 bzw. 14 wurden in die jeweils höchste Bewertungsklasse für die drei Teilkriterien der politischen Eignung eingestuft. Davon wurden zwei Indikatoren zu Prototypen weiterentwickelt. Der Indikator „Gebietsschutz“ wurde zugunsten des thematisch relevanteren Indikators „Länderübergreifender Biotopverbund“ aufgegeben. Die übrigen vier Indikatoren dieser Gruppe wurden wegen Wissenslücken („Windenergieisikogebiete“), zu langer Datenerhebungsintervalle („Erhaltungszustand klimasensitiver FFH-Lebensräume“), nicht exakt zu ermittelndem Einfluss des Klimawandels („Umbruch Dauergrünland“) oder wegen bislang fehlender parallel laufender Forschungsvorhaben („Wildnis und natürliche Waldentwicklung“) aufgegeben bzw. zurückgestellt.

Tab. 14: Bewertung der ausgewählten Indikatoren hinsichtlich deren Eignung für das hier zu entwickelnde Indikatorenset (Gliederung und Nummerierung des Indikatorensets wie in Tab. 13)

Nr.	Indikator	Thematische Relevanz		Datenlage		Politische Eignung		
		BV	KW	DV	DE	Z	S	V
I.1.1	Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten	●	●	●	●	○	○	●
I.1.2	Phänologische Veränderungen bei Tierarten	●	●	?	?	○	○	●
I.1.3	Klimawandel und Frühlingsbeginn	○	●	●	●	●	○	●
I.1.4	Phänologische Veränderungen bei Meeresorganismen	●	●	?	?	○	○	●
I.1.5	Phänologie-Index zu Tier- und Pflanzenarten	Wegen konzeptioneller Defizite verworfen						
I.2.1	Temperaturindex häufiger Brutvogelarten (CTI)	●	○	●	●	○	○	○
I.2.2	Veränderung des Arteninventars auf High Nature Value Farmland	●	○	●	●	●	●	●
I.2.3	Arealveränderungen bei marinen Arten	●	○	○	●	○	○	●
I.2.4	Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten	●	●	●	?	?	?	?
I.2.5	Climate Impact Indicator für Vögel	●	●	●	●	○	○	—
I.2.6	Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften	●	○	○	●	○	○	○
I.2.7	Veränderung der Flora auf Alpengipfeln	○	●	●	●	○	?	●
I.2.8	Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen	●	○	○	●	?	?	?
I.2.9	Klimawandelbedingte Veränderungen bei Heuschrecken	●	○	○	—	?	?	?
I.2.10	Verbreitung von Reptilien und Amphibien	●	○	○	?	○	○	●
I.2.11	Veränderung von Biozönosen wenig mobiler Arten (Amphibien, Reptilien)	○	●	○	○	—	?	●
I.2.12	Invasive Arten	●	○	—	—	○	○	●
I.2.13	Bestände klimasensitiver Arten	●	○	○	○	?	?	●
I.3.1	Erhaltungszustand klimasensitiver FFH-Lebensräume	●	○	●	—	●	●	●
I.3.2	Flächenanteile klimasensitiver Ökosysteme und Habitate	○	—	●	●	●	●	○
I.3.3	Verschiebung der Waldgrenze	○	●	●	●	○	○	●
I.3.4	Veränderungen von Flussauen	○	○	●	○	●	○	○
II.1.1	Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und naturschutzfachlich wertvolle Gebiete	○	●	●	●	—	●	●

5. Indikatorenset für ein Fachinformationssystem „Klimawandel und biologische Vielfalt“

Nr.	Indikator	Thematische Relevanz		Datenlage		Politische Eignung		
		BV	KW	DV	DE	Z	S	V
II.1.2	Umbruch Dauergrünland	●	○	●	●	●	●	●
II.1.3	Vogelarten in der Agrarlandschaft	●	—	●	●	●	○	○
II.1.4	Landwirtschaftliche Bewässerung	●	●	●	?	—	●	●
II.2.1	Waldumbau im Klimawandel	●	○/—	●/○	●	●	●	○
II.2.2	Waldwachstum	●	○	○	—	—	●	○
II.2.3	Umbau gefährdeter Fichtenbestände	—	○	○	—	●	●	●
II.3.1	Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen	●	●	●	○	●	●	○
II.3.2	Förderung des ökologischen Hochwasserschutzes	●	●	?	?	●	●	?
II.3.3	Ausbau der (kleinen) Wasserkraft und von Pumpspeicherwerken	Wegen fehlender Relevanz verworfen						
II.4.1	Veränderungen von Küstenökosystemen an Nord- und Ostsee und Übernachtungszahlen in Badeorten	Wegen konzeptioneller Defizite zurückgestellt						
II.4.2	Veränderungen von alpinen und Mittelgebirgsökosystemen und Übernachtungszahlen in Skigebieten	Wegen konzeptioneller Defizite zurückgestellt						
II.5.1	Windenergiesikorgebiete	●	●	?	?	●	●	●
III.1.1	Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung	○	●	●	●	—	●	●
III.1.2	Naturschutzflächen mit Klimaschutzfunktion	Wegen konzeptioneller Defizite zurückgestellt						
III.2.1	Länderübergreifender Biotopverbund	○	○	○	—	●	●	●
III.2.2	Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität	○	—	?	?	?	●	●
III.2.3	Gebietsschutz	○	—	●	●	●	●	●
III.2.4	Vertrieb autochthonen Pflanzenmaterials	Wegen konzeptioneller Defizite verworfen						
III.2.5	Wildnis und natürliche Waldentwicklung	●	—	●	●	●	●	●
III.3.1	Gefährdung klimasensitiver Lebensräume und Arten	Wegen konzeptioneller Defizite zurückgestellt						
III.3.2	Gebietsschutz als erfolgreiche Maßnahme in klimawandelsensitiven Gebieten	Wegen konzeptioneller Defizite zurückgestellt						

Erläuterungen:

Thematische Relevanz – BV (Biologische Vielfalt) / KW (Klimawandel): ● = hoch: Indikator deckt in Hinblick auf die biologische Vielfalt Kerninhalte des Indikationsfelds vollständig ab / Indikator weist einen klar nachvollziehbaren direkten Bezug zum Klimawandel auf, ○ = mittel: Indikator deckt in Hinblick auf die biologische Vielfalt einen Teilaspekt des Indikationsfelds ab / Indikator weist allenfalls einen mittelbaren Bezug zum Klimawandel auf, — = gering: Indikator deckt in Hinblick auf die biologische Vielfalt nur einen Randaspekt ab / Indikator hat keinen nachvollziehbaren Bezug zum Klimawandel;

Datenlage – DV (Datenverfügbarkeit): ● = hoch: aktuelle Daten sind im erforderlichen Umfang (z. B. im gesamten Bundesgebiet) verfügbar, ○ = mittel: Daten sind entweder nicht aktuell oder nicht in erforderlichem Umfang (z. B. nur für einzelne Bundesländer verfügbar), — = gering: Daten sind weder aktuell noch im erforderlichen Umfang verfügbar; Datenlage – DE (Datenerhe-

bung): ● = hoch: Datenerhebung ist finanziell / personell dauerhaft gewährleistet und die Qualität der Daten und der Rechenergebnisse ist gut, ○ = mittel: Datenerhebung ist nur teilweise finanziell / personell gewährleistet und/oder die Qualität der Daten und der Rechenergebnisse ist nur teilweise gut; – = gering: Datenerhebung ist weder finanziell noch personell gewährleistet und/oder die Qualität der Daten und der Rechenergebnisse ist unzureichend;

Politische Eignung – Z (Zielbezug): ● = hoch: Bezug zu relevanten Zielen, z. B. der DAS / NBS gegeben, ○ = mittel: Bezug zu relevanten Zielen ist teilweise gegeben, – = gering: kein Bezug zu relevanten Zielen; **Politische Eignung – S (Steuerbarkeit):** ● = hoch: Indikator bildet eine politisch steuerbare Größe ab, ○ = mittel: politische Steuerbarkeit der durch den Indikator abgebildeten Größe ist eingeschränkt, – = gering: die durch den Indikator abgebildete Größe ist nicht politisch steuerbar; **Politische Eignung – V (Verständlichkeit):** ● = hoch: Indikator und seine Berechnungsmethode sind allgemeinverständlich, nachvollziehbar dokumentiert und anschaulich dargestellt, ○ = mittel: Indikator und seine Berechnungsmethode sind nur teilweise allgemeinverständlich, nachvollziehbar dokumentiert und anschaulich dargestellt, – = gering: Indikator und seine Berechnungsmethode sind weder allgemeinverständlich, noch nachvollziehbar dokumentiert oder anschaulich dargestellt;

In Hinblick auf alle Kriterien gilt: ? = unklar, keine Einschätzung.

5.2 Indikationsbereiche und Indikationsfelder

Das zu entwickelnde Indikatorenset gliedert sich in drei Indikationsbereiche (vgl. Abb. 10):

I. Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

II. Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

III. Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel

Indikationsbereich I enthält ausschließlich Auswirkungsindikatoren (Impact), Indikationsbereich II Belastungs- und Zustandsindikatoren (Pressure / State) und Indikationsbereich III Response- bzw. Maßnahmenindikatoren. Innerhalb dieser Indikationsbereiche sind die Indikatoren einzelnen thematisch weiter untergliedernden Indikationsfeldern zugeordnet. Im Folgenden werden die Indikationsfelder näher beschrieben und ihre inhaltliche Relevanz für das Indikatorenset begründet.

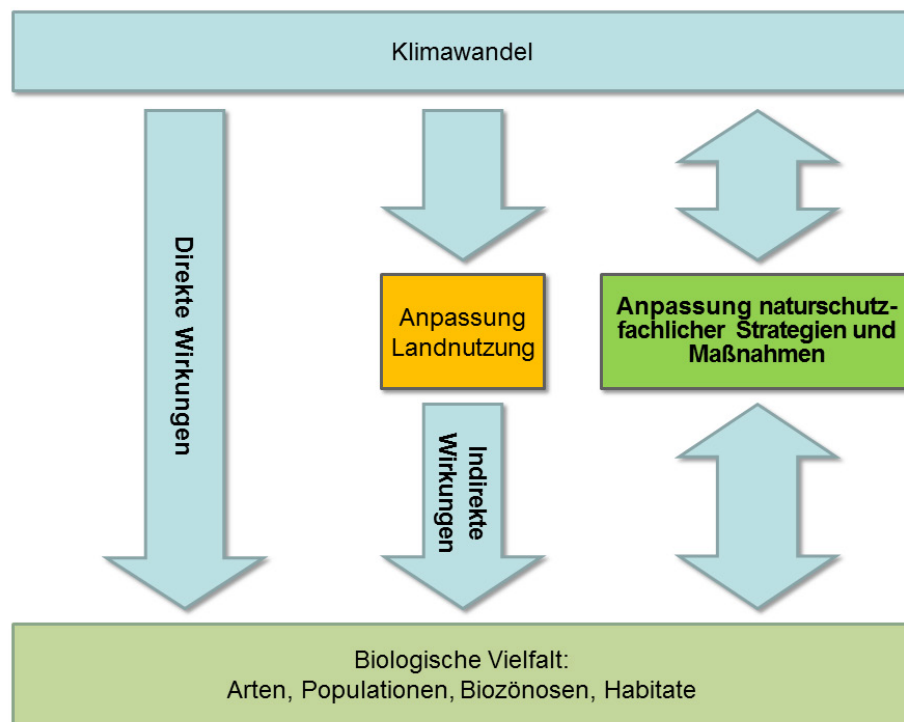


Abb. 10: Indikationsbereiche (Text in der Abbildung fett gesetzt) des zu entwickelnden Indikatorensets im Gefüge von Wirkungen und Rückwirkungen zwischen dem Klimawandel und der biologischen Vielfalt

5.2.1 Indikationsbereich I: Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

Dieser Indikationsbereich sollte eine möglichst große Bandbreite biologischer Vielfalt und deren klimawandelbedingter Veränderungen abbilden: a) Berücksichtigung von Veränderungen in terrestrischen, limnischen und marinen Ökosystemen, b) Berücksichtigung von Pflanzen, Vögeln, Säugetieren, Amphibien und Reptilien, Insekten (Schmetterlinge, Heuschrecken, Libellen) und ggf. Mikroorganismen, c) Berücksichtigung von Veränderungen in klimawandelsensitiven Ökosystemen wie montanen, (hoch-)alpinen, grundwasserabhängigen und an Küsten gelegenen Lebensräumen.

Die ursprünglich vorgeschlagenen Indikationsfelder „Arealveränderungen bei Tier- und Pflanzenarten“ sowie „Veränderungen von Populationen und Biozönosen“ (vgl. Tab. 12, Kap. 4.3) wurden zu einem Indikationsfeld I.2 „Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen“ zusammengefasst. Das Indikationsfeld „Innerartliche genetische Vielfalt“ wurde aufgegeben und nicht mehr im Indikatorensystem geführt. Gründe hierfür sind der Mangel an bundesweit repräsentativen Daten, aber auch die Langfristigkeit evolutionärer Anpassungsprozesse, die bei vielen Arten einen Zeithorizont von mehreren Dekaden überschreiten, bevor Veränderungen auf genetischer Ebene detektierbar werden oder die Entstehung neuer Taxa nachgewiesen werden kann.

Aus Indikationsbereich I werden zwei Indikatoren für die DAS (I.1.1, I.2.1) und ein Indikator (I.1.1) für die NBS vorgeschlagen.

Indikationsfeld I.1: Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften

Der jahreszeitliche Entwicklungsgang und die Wachstumsphasen von Pflanzen und Tieren richten sich in unseren Breiten nach einem Zyklus, der durch den Witterungsverlauf vorgegeben ist und somit auch vom Klimawandel beeinflusst wird. Aus naturschutzfachlicher Sicht können dabei sowohl positive als auch negative Effekte beobachtet werden (s. Kap. 2).

Phänologische Veränderungen sind besonders geeignet, langfristige Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt abzubilden, da die Entwicklung zahlreicher Organismen vor allem vom Temperaturverlauf über lange Zeitspannen (Monate oder Jahre) abhängt (Ackermann et al. 2013). Phänologische Beobachtungen sind „ein äußerst anschauliches Instrument, Klimaänderungen erfahrbar zu machen“ (Chmielewski 2007: 28) und daher gut geeignet, Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt einer breiten Öffentlichkeit zu vermitteln (Menzel 2007).

Das Indikationsfeld enthält den Indikator „Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten“, den Indikator-Prototyp „Phänologische Veränderungen bei Tierarten“ sowie drei weitere Indikatoren der Kategorie 4, die zugunsten anderer, geeigneterer Indikatoren verworfen wurden.

Indikationsfeld I.2: Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen

Die großräumige Verbreitung von Arten wird in erster Linie durch das Klima bestimmt. Eine wichtige Folge der zunehmenden Erwärmung der Erdatmosphäre sind daher Arealveränderungen bei Pflanzen- und Tierarten, die teilweise bereits gut dokumentiert sind (s. Kap. 2).

Zu berücksichtigen ist, dass sowohl Arealverluste als auch eine Ausdehnung oder Verschiebung von Verbreitungsgebieten mit weitreichenden, über die jeweils betroffenen Arten hinausgehenden Beeinträchtigungen der biologischen Vielfalt verbunden sein können (etwa über veränderte Räuber-Beute-Beziehungen). Vor diesem Hintergrund sollten Indikatoren im hier betrachteten Indikationsfeld dazu geeignet sein, Arealveränderungen in Hinblick auf Arealverluste ebenso wie Arealgewinne zu dokumentieren.

Neben Arealverschiebungen dürften Veränderungen von Populationsgrößen zu den wichtigsten direkten kurz- bis mittelfristig nachweisbaren Auswirkungen des Klimawandels zählen. Hierunter fallen alle klimawandelbedingten Veränderungen der Bestandsgrößen von Populationen (Zunahmen bzw. Rückgänge). Dies kann auch mit Veränderungen der Arealgrenzen von Arten einhergehen, muss es aber nicht notwendigerweise.

Klimawandelbedingte Veränderungen von Biozöosen können prinzipiell alle Artengruppen betreffen und resultieren in der Regel aus Veränderungen synökologischer Beziehungen. Diese ergeben sich z. B. als Folge einer Verschiebung phänologischer Phasen beteiligter Arten oder aus Veränderungen der Struktur von Lebensgemeinschaften z. B. durch Wegfall oder Hinzukommen von Arten infolge von Arealverschiebungen, Veränderungen von Häufigkeiten beteiligter Arten oder Veränderungen der Populationsgrößen (s. auch Kap. 2).

Das Indikationsfeld enthält die beiden realisierten Indikatoren:

- Temperaturindex häufiger Brutvogelarten,
- Climate Impact Indicator (Vögel),

und folgende sechs Indikator-Prototypen:

- Veränderung des Arteninventars auf High Nature Value Farmland,
- Arealveränderungen bei marinen Arten,
- Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten,
- Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften,
- Veränderung der Flora auf Alpengipfeln,
- Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen

sowie fünf weitere Indikatoren der Kategorien 3 und 4, die entweder wegen konzeptioneller Defizite oder nicht verfügbarer bzw. fehlender Daten grundsätzlich nicht realisierbar sind oder zugunsten anderer, geeigneterer Indikatoren verworfen wurden.

Indikationsfeld I.3: Veränderungen von Lebensräumen

Prinzipiell ist davon auszugehen, dass alle in Deutschland vorkommenden Lebensraumtypen durch den Klimawandel beeinflusst werden, wobei Art und Intensität der Beeinflussung lebensraumspezifisch stark variieren können (Thuiller 2007). Besonders betroffen sind wassergebundene oder alpine Lebensräume, aber auch Küstenregionen (s. Kap. 2.2.3).

Das Indikationsfeld enthält keine realisierten Indikatoren und keine Prototypen. Es werden jedoch vier Indikatoren der Kategorien 3 und 4 dokumentiert, die entweder wegen konzeptioneller Defizite oder nicht verfügbarer bzw. fehlender Daten grundsätzlich nicht realisierbar sind oder zugunsten anderer, geeigneterer Indikatoren verworfen wurden.

5.2.2 Indikationsbereich II: Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

Dieser Indikationsbereich stellt Veränderungen der biologischen Vielfalt dar, die durch Maßnahmen zur Anpassung von Landnutzungen an den Klimawandel oder durch Maßnahmen zum Klimaschutz auf indirektem Weg verursacht werden. Indikatoren können hierbei sowohl an den Veränderungen der biologischen Vielfalt selbst ansetzen oder an Veränderungen der zugrunde liegenden Belastungen bzw. Wirkfaktoren. Die Nachzeichnung solcher Auswirkungen des Klimawandels über den genannten indirekten Weg ist dabei oftmals mit besonderen Schwierigkeiten verbunden.

Die fünf Indikationsfelder umfassen Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel in den Bereichen der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, des Tourismus und der Energiegewinnung aus Windkraft. Die beiden ursprünglich vorgeschlagenen Indikationsfelder „Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich der Energiegewinnung aus Biomasse“ und „Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich des Hochwasserschutzes“ (s. Tab. 12, Kap. 4.3) wurden in dieser Form nach Konsultation der Expertinnen und Experten der PAG aufgegeben. Nur das Indikationsfeld II.3 „Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Wasserwirtschaft an den Klimawandel“ konnte mit einem vollständig entwickelten und berechneten Indikator der Kategorie 1 (II.3.1 „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“) untersetzt werden (s. Tab. 13 in Kap. 5). Es werden jedoch für alle Indikationsfelder insgesamt 12 Indikatoren der Kategorien 3 und 4 dokumentiert, die entweder wegen konzeptioneller Defizite oder nicht verfügbarer bzw. fehlender Daten grundsätzlich nicht realisierbar sind oder zugunsten anderer, geeigneterer Indikatoren verworfen wurden.

Aus diesem Indikationsbereich wird ein Indikator (II.3.1 „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“) für das DAS-Indikatorenset vorgeschlagen.

Indikationsfeld II.1: Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel

Die Landwirtschaft, die rund 52 % der Landfläche Deutschlands beansprucht (Stand 2011; DESTATIS 2012), ist unmittelbar abhängig von klimatischen Bedingungen und somit direkt vom Klimawandel betroffen. Die durch den Klimawandel bedingte Veränderung zahlreicher Klimaparameter wirkt sich regional unterschiedlich aus und kann die Ertragsleistung der Landwirtschaft über diverse Wirkfaktoren (z. B. erhöhte Evapotranspiration und zunehmende Wasserknappheit) maßgeblich beeinflussen. Die Projektionen zukünftiger Veränderungen des Klimas deuten zudem auf eine Intensivierung dieses Wandels hin. Hieraus resultieren bei der Landnutzung und den Landnutzungssystemen (konventionelle, organische, konservierende Landwirtschaft und deren Varianten) verschiedene Anpassungsmaßnahmen (s. dazu auch Alcamo et al. 2005, Schaller und Weigel 2007, Lavallo et al. 2009, Wilke et al. 2011):

- Verschiebungen der Aussaattermine,
- Veränderungen in der Auswahl geeigneter Sorten,
- Anpassungen der Fruchtfolge und Einführung neuer Fruchtarten,
- Veränderungen der Bodenbearbeitung und Bewässerungsintensität,
- Anpassungen in der Verwendung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln,
- Anbau nachwachsender Rohstoffe für die Energieerzeugung.

Anpassungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Produktion (u. a. Pflanzenbau, Gartenbau, Grünlandwirtschaft und Anbau von Feldfutterpflanzen, Nutztierhaltung) bewirken wiederum Veränderungen der biologischen Vielfalt. Die Indikatoren dieses Indikationsfeldes sollten somit zum einen darauf abzielen, insbesondere diejenigen Anpassungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Produktion abzubilden, die potenziell Beeinträchtigungen für die biologische Vielfalt erwarten lassen. Zum anderen liegen mögliche Ansatzpunkte für Indikatoren in der direkten Abbildung von Veränderungen der biologischen Vielfalt landwirtschaftlich geprägter Lebensräume, insoweit sich solche Veränderungen indirekt auf den Klimawandel zurückführen lassen.

Das Indikationsfeld enthält keine realisierten Indikatoren und keine Indikator-Prototypen (zur Begründung s. Kap. 5.1).

Indikationsfeld II.2: Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Forstwirtschaft an den Klimawandel

Wie in Kapitel 2.3.1 dargestellt, können der Klimawandel und seine Folgewirkungen weitreichende Veränderungen in den Wäldern und Forsten Deutschlands auslösen und zu erheblichen Beeinträchtigungen führen.

Ansatzpunkte zur langfristigen Anpassung der Forstwirtschaft an den Klimawandel liegen in der Wahl geeigneter standort- und klimaangepasster Baumarten, im Waldumbau hin zu naturnahen laubbaum-betonten Beständen mit einem hohen Anteil an standortheimischen Baumarten oder in der Verkürzung von Produktionszeiten, um das Risiko von Sturmschäden und Pilzbefall in Altbeständen zu verringern (Reif et al. 2010). Diese Ansätze werden teilweise kontrovers diskutiert, stellen aber zugleich potenzielle Ausgangspunkte für die Entwicklung von Indikatoren dar, wobei insbesondere diejenigen forstwirtschaftlichen Maßnahmen betrachtet werden sollten, die sowohl die Anpassungsfähigkeit der Wälder steigern als auch positiv auf die Biodiversität in Wäldern wirken (ebd.).

Das Indikationsfeld enthält keine realisierten Indikatoren und keine Indikator-Prototypen (zur Begründung s. Kap. 5.1).

Indikationsfeld II.3: Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen der Wasserwirtschaft an den Klimawandel

Der Klimawandel findet nicht nur Ausdruck in steigenden Temperaturen, sondern zeigt sich auch in veränderten Niederschlagsverhältnissen (s. Kap. 2.1).

Da das Ausmaß und die Intensität von Niederschlägen neben anderen Faktoren wie dem Verlust natürlicher Retentionsräume, Gewässerausbau oder Versiegelung maßgeblich die Entstehung von Hochwasser beeinflussen (Zielaskowski und Lüderitz 2005), ist vor dem Hintergrund der klimawandelbedingten Zunahme von Niederschlägen in vielen Regionen Deutschlands in bestimmten Jahreszeiten mit steigender Hochwassergefahr zu rechnen (Dister und Henrichfreise 2009). Anpassungsoptionen im Bereich des Hochwasserschutzes und der Hochwasservorsorge reichen von raumplanerischen über technische bis hin zu Maßnahmen des Katastrophenschutzes (Bundesregierung 2008). Je nach Art der Anpassungsmaßnahmen können hiermit negative oder positive Wirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden sein, wobei eine auf den Hochwasserschutz zielende Renaturierung von Gewässern und die Wiedereinrichtung natürlicher Retentionsräume auch aus naturschutzfachlicher Sicht zu befürworten sind (Berry 2009, Richert et al. 2011).

Das Indikationsfeld enthält einen vollständig entwickelten und berechneten Indikator der Kategorie 1 (II.3.1 „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“).

Indikationsfeld II.4: Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen des Tourismus an den Klimawandel

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus hängen stark von der geographischen Lage der Reiseregion und von der Reiseform ab. Für Deutschland werden generell nur leichte Veränderungen prognostiziert (Amelung und Moreno 2011), wobei allerdings für Nord- und Süddeutschland unterschiedliche Trends erwartet werden: Während der Wintertourismus in den südlichen Mittelgebirgen und deutschen Alpen mit hoher Wahrscheinlichkeit an Bedeutung verlieren wird, profitiert der Sommertourismus an den deutschen Küsten der Nord- und Ostsee höchstwahrscheinlich von „den positiven Folgen durch geeignetere Klimabedingungen“ (Zebisch et al. 2005: 142) und der verlängerten Badesaison infolge des erwarteten klimatischen Wandels (Amelung und Moreno 2011).

Direkt vom Klimawandel betroffen ist heute schon der Wintertourismus, da besonders in den tieferen Lagen der Alpen und den deutschen Mittelgebirgen in den letzten 50 Jahren ein deutlicher Rückgang der Schneesicherheit zu beobachten ist (Zebisch et al. 2005). Beschneigung zur Erhöhung der Schneesicherheit und Saisonverlängerung ist zwar aus physikalisch-technischen Gründen nur kurz- bis mittelfristig und nur für ausgewählte Standorte (abhängig von Höhen- und Schattenlage, Nordorientierung) als Anpassungsmaßnahme geeignet (UBA 2013), kann aber erhebliche Auswirkungen auf die biologische Vielfalt der vor Ort betroffenen Lebensräume haben (u. a. durch die Verkürzung der Vegetationsperiode, Veränderungen im Wasserhaushalt und teilweise deutlich erhöhte Mengen an Mineralien und Nährstoffen im Schmelzwasser) und wird deshalb kritisch kommentiert (Hahn 2004, CIPRA 2007, Abegg 2011).

Auch der Sommertourismus wird in Deutschland mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Klimawandel – vermutlich auch positiv (s. o.) – betroffen sein. Höhere Temperaturen und geringere Niederschläge im Sommerhalbjahr können die Attraktivität vor allem der Küstenregionen erhöhen (UBA 2013). Die Intensivierung touristischer Nutzung wiederum kann zu einer erhöhten Belastung sensibler Küstenökosysteme führen, die von der Seeseite bereits von einer Erhöhung des Meeresspiegels betroffen sind. Da die Auswirkungen des Klimawandels auf den Sommertourismus in Deutschland vielschichtig und schwer vorhersagbar sind (ebd.), ist auch eine Abschätzung der Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen der Tourismuswirtschaft für diese Reiseform kaum möglich.

Das Indikationsfeld enthält daher keine realisierten Indikatoren und keine Indikator-Prototypen.

Indikationsfeld II.5: Veränderungen biologischer Vielfalt infolge der Energiegewinnung aus Windkraft

Auswirkungen von Windkraftanlagen auf die biologische Vielfalt sind sowohl in Hinblick auf Onshore- als auch Offshore-Anlagen zu verzeichnen. Verschiedene Arten sind vor allem von Kollisionen, Verdrängung, Verdrängung oder Habitatverlusten, Vermeidungsverhalten und Barrierewirkungen betroffen (s. Kap. 2). Nach bisherigen, allerdings nicht systematischen Erhebungen auf Grundlage sehr heterogener Datenquellen scheinen Greifvögel besonders gefährdet zu sein (Dürr 2012, Bellebaum et al. 2013). Ein Langzeitvorhaben zum Konfliktthema ‚Windkraft und Vögel‘ kommt zu dem Ergebnis, dass Brutvögel tendenziell weniger von Windkraftanlagen beeinträchtigt werden als Gastvögel (Steinborn et al. 2011). Mögliche Wirkungen unterscheiden sich nicht nur artspezifisch, sondern sind auch abhängig vom Standort der Windenergieanlagen. So haben sich in Hinblick auf das Kollisionsrisiko Standorte in der Nähe von Feuchtgebieten insbesondere für Vögel und in der Nähe von Waldgebieten vor allem für Fledermäuse als risikoreich erwiesen (Hötter et al. 2005, SRU 2011).

In Deutschland ist im Zuge der sogenannten Energiewende ein weiterer massiver Ausbau der Windenergieerzeugung vorgesehen (Nitsch et al. 2012), sodass mit einer fortbestehenden und ggf. zunehmenden Beeinträchtigung biologischer Vielfalt zu rechnen ist. Relevante Faktoren sind hierbei nicht nur die Zunahme der Anlagenzahl oder der Ausbau bestehender Anlagen (Repowering), sondern auch die Erschließung von Standorten, die bisher nicht im Fokus der Windenergieerzeugung standen. Ein Schwerpunkt des weiteren Onshore-Ausbaus von Windkraftanlagen liegt derzeit in Wäldern und Forsten. In Baden-Württemberg und Bayern soll bspw. die installierte Leistung bis 2021 jeweils verzehnfacht werden (LfU 2012), rund zwei Drittel der Anlagen in Bayern könnten dann in Staatsforsten stehen (Uken 2012).

Das Indikationsfeld enthält keine realisierten Indikatoren und keine Indikator-Prototypen.

5.2.3 Indikationsbereich III: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel

Entsprechend den Empfehlungen des Fachgesprächs wurde dieser Indikationsbereich in die Indikationsfelder III.1 „Anpassung naturschutzfachlicher Strategien an den Klimawandel“, III.2 „Anpassung naturschutzfachlicher Maßnahmen an den Klimawandel“ und III.3 „Erfolge klimawandelbedingter Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen“ gegliedert. Es wurden vorrangig Response-Indikatoren für diejenigen Themenfelder ausgewählt bzw. erarbeitet, in denen besonderer Handlungsbedarf besteht.

Der Indikationsbereich III enthält einen vollständig entwickelten und berechneten Indikator der Kategorie 1 (III.1.1 „Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung“). Dieser Indikator und der Indikator III.2.3 „Gebietsschutz“ werden für die Aufnahme in das DAS-Indikatorenset vorgeschlagen. Dabei ist zu beachten, dass der Indikator „Gebietsschutz“ dem gleichnamigen NBS-Indikator entspricht. Seine Aussagefähigkeit in Hinblick auf die Erhaltung der biologischen Vielfalt unter den Bedingungen des Klimawandels wird als gering eingeschätzt. Daher soll dieser Indikator im Indikatorenset der DAS künftig durch einen Indikator ersetzt oder ergänzt werden, der das wichtige Thema des Gebietsschutzes mit einem deutlichen Fokus auf Fragen des Klimawandels adressiert.

Indikationsfeld III.1: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien an den Klimawandel

Indikatoren in diesem Indikationsfeld sollen aufzeigen, inwieweit der Naturschutz auf die Notwendigkeit einer Anpassung seiner Strategien im Zuge des Klimawandels reagiert, ob also die „Weichen strategisch richtig gestellt“ werden. Sie sollen jedoch keine Aussage darüber treffen, ob die beabsichtigte Anpassung und die damit verbundenen konkreteren Maßnahmen tatsächlich umgesetzt werden und letztlich zum Erfolg führen.

Angesichts des Klimawandels sind Änderungen in vielen Bereichen naturschutzrechtlicher Instrumente erforderlich und betreffen nach Heiland und Kowarik (2008) u. a. Schutzgebiete, den Biotopverbund und die Landschaftsplanung (vgl. Wilke et al. 2010, Heiland et al. 2011). Dabei sollte der Landschaftsplanung die Aufgabe zukommen, die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt bei Planungen in systematischer Weise zu berücksichtigen, die erforderlichen Ziele auf Basis entsprechender Analysen zu benennen und konkrete Maßnahmen vorzubereiten. Hierfür ist die Landschaftsplanung als flächendeckendes Instrument des Naturschutzes besonders bedeutsam.

Das Indikationsfeld enthält den vollständig entwickelten und berechneten Indikator III.1.1 „Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung“ sowie einen weiteren Indikator der Kategorie 3 (III.1.2 „Naturschutzflächen mit Klimaschutzfunktion“), der u. a. wegen der großen Unsicherheiten bei der Auswahl relevanter Naturschutzflächen nicht realisiert werden konnte.

Indikationsfeld III.2: Anpassung naturschutzfachlicher Maßnahmen an den Klimawandel

Auf der Grundlage strategischer Vorgaben des Naturschutzes, die Auswirkungen des Klimawandels berücksichtigen und sich beispielsweise in Planwerken der Landschaftsplanung und in geeigneten naturschutzrechtlichen Instrumenten niederschlagen, müssen letztlich konkrete Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel getroffen werden, die in diesem Indikationsfeld exemplarisch abgebildet werden sollen.

Laut Thesenpapier der Landesarbeitsgemeinschaft Naturschutz (LANA) sind vor allem solche naturschutzfachlichen Anpassungsmaßnahmen in Betracht zu ziehen, die allgemein die Anpassungsfähigkeit oder Resilienz verschiedener Komponenten der biologischen Vielfalt an den Klimawandel steigern (z. B. die Etablierung von effektiven Biotopverbundsystemen; LANA 2011). Ebenfalls zu fördern sind

Maßnahmen wie die Erhaltung standortgerechter Wälder mit einheimischen Baumarten oder die Erhaltung, Renaturierung und Nutzungsextensivierung von Mooren, die als Maßnahmen des Naturschutzes mit Blick auf die Kosten pro Tonne eingespartem CO₂ zu den kosteneffizientesten Klimaschutzaktivitäten gehören (ebd.).

Vor dem Hintergrund des Klimawandels gewinnt zunehmend auch der Aspekt der Interaktion zwischen mehreren Arten an Bedeutung: die Verschiebungen bestimmter jahreszeitlicher Entwicklungsphänomene von Tieren und Pflanzen führen zu einem Aufbrechen bestehender synökologischer Beziehungen und damit zu einer Bedrohung etablierter Artengemeinschaften. Gleichzeitig bilden sich neue Artengemeinschaften mit bisher unbekannten Ansprüchen an Biotop. Vor diesem Hintergrund ist eine Vielfalt von Lebensräumen in der Landschaft ein wichtiger Beitrag zur Dynamik der Landschaftsentwicklung als Versicherung gegen kaum vorhersagbare Auswirkungen des Klimawandels (Walz 2011).

Das Indikationsfeld enthält die beiden Indikator-Prototypen III.2.1 „Länderübergreifender Biotopverbund“ sowie III.2.2 „Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität“. Außerdem werden drei weitere Indikatoren der Kategorien 3 und 4 dokumentiert, die entweder wegen konzeptioneller Defizite oder nicht verfügbarer bzw. fehlender Daten grundsätzlich nicht realisierbar sind oder zugunsten anderer, geeigneterer Indikatoren verworfen wurden.

Indikationsfeld III.3: Erfolge klimawandelbedingter Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen

Erfolge klimawandelbedingter Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen werden sich erst mittelfristig bilanzieren lassen (s. dazu auch die Ausführungen in Kap. 5.3 zu den Fehlstellen im Indikatorenset).

Die Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel ist ein Prozess, der zwar unmittelbar beginnen muss, sich jedoch über einen längeren Zeitraum erstrecken wird. Für den Erfolg ist eine nachhaltige Kooperation und Kommunikation aller betroffenen Akteursgruppen entscheidend (BMLFUW 2012), da die Aufgabe komplex und bereichsübergreifend ist.

Eine weitere Voraussetzung für eine erfolgreiche Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel ist die kontinuierliche Verbesserung des Wissensstandes zu den Auswirkungen des Klimawandels auf verschiedene Komponenten der biologischen Vielfalt. Hierin liegt eine besondere Herausforderung für die Forschung.

Die erfolgreiche Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel muss darauf abzielen, die Verletzlichkeit verschiedener Komponenten der biologischen Vielfalt gegenüber dem Klimawandel zu verringern und deren Anpassungsfähigkeit zu erhalten bzw. zu steigern (ebd.). Daran werden Erfolge gemessen werden, und darauf sollten die noch zu entwickelnden Indikatorkonzepte für dieses Indikationsfeld abzielen.

Aus den genannten Gründen enthält das Indikationsfeld derzeit lediglich zwei Indikatoren der Kategorie 3, die entweder wegen konzeptioneller Defizite oder nicht verfügbarer bzw. fehlender Daten grundsätzlich nicht realisierbar sind.

5.3 Verbleibende Fehlstellen des Indikatorensets

Tabelle 13 (S. 78) zeigt, dass bestimmte Indikationsfelder derzeit nicht mit Indikatorvorschlägen unteretzt sind. Dies betrifft beispielsweise die Indikationsfelder I.3 „Veränderungen von Lebensräumen“ und III.3 „Erfolge klimawandelbedingter Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen“, die im Rahmen von Fachgespräch und PAG als zentral für die Struktur des Indikatorensets

eingestuft wurden und deshalb als perspektivisch weiter zu entwickelnde Indikationsfelder geführt werden. Gleiches gilt für das Indikationsfeld „Veränderungen biologischer Vielfalt infolge der Energiegewinnung aus Windkraft“ vor dem Hintergrund des weiter voranschreitenden Ausbaus der Windkraft (vor allem Re-Powering, Windkraft über Wald in den südlichen Bundesländern sowie offshore im marinen Bereich) und der damit verbundenen bundesweit erwarteten erheblichen Auswirkungen auf Artengruppen wie Vögel und Fledermäuse sowie auf marine Ökosysteme.

Von den 44 Einzelindikatoren, die auf ihre Umsetzbarkeit untersucht wurden, wurden insgesamt fünf Indikatoren vollständig realisiert und neun Indikatoren als Prototypen ausgearbeitet. Insgesamt 30 Indikatoren, überwiegend aus den Indikationsbereichen II und III, konnten nicht realisiert werden. Dies ist im Wesentlichen auf drei Ursachen zurückzuführen:

- **Wissensdefizite zu direkten Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt auf der Ebene von Lebensräumen:** In diesem Bereich sind der wissenschaftliche Erkenntnisstand und der Datenbestand aus Monitoringprogrammen in vielen Fällen noch unbefriedigend (vgl. Dröschmeister und Sukopp 2009). Diskussionen mit den am Vorhaben beteiligten Expertinnen und Experten haben gezeigt, dass die Zusammenhänge zwischen Klimawandel auf der einen Seite und klimawandelbedingten Veränderungen in den Lebensräumen auf der anderen Seite bislang nicht ausreichend erforscht sind. Inwieweit die natürliche Anpassungsfähigkeit der Arten die beobachtbaren Auswirkungen des Klimawandels beeinflusst, ist in vielen Bereichen ungeklärt. Weiterhin ist damit zu rechnen, dass sich Effekte auf Lebensräume in bestimmten Fällen erst mit großer zeitlicher Verzögerung zeigen werden. Daher konnte kein Ansatz gefunden werden, Wirkungen des Klimawandels auf Lebensräume in einen geeigneten Indikatorvorschlag umzusetzen.
- **Überlagerung klimatischer Wirkungen durch andere Einflussfaktoren:** Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass klimawandelbedingte Veränderungen biologischer Vielfalt durch Wirkungen anderer Faktoren wie Landnutzungsänderungen oder die Ausbreitung gebietsfremder Arten überlagert werden können (Thuiller 2007). Dabei ist zu beachten, dass auch diese Faktoren teilweise abhängig vom Klimawandel sind, sich aber bisher im Wesentlichen unabhängig von diesem verändern. So ziehen bspw. die generellen, seit langem vorherrschenden und vom Klimawandel unabhängigen Veränderungen von Landnutzungen massive Veränderungen der biologischen Vielfalt nach sich, von denen direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels kaum isoliert werden können. Dies liegt zum Teil auch daran, dass in vielen Fällen die indirekten Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt – bspw. durch Anpassungen von Landnutzungen an den Klimawandel – bisher wenig ausgeprägt sind und daher kaum detektiert werden können (Foden et al. 2013). Aus diesen Gründen wurde keiner der diskutierten Indikatoransätze uneingeschränkt der Anforderung gerecht, Veränderungen der biologischen Vielfalt abzubilden, die vorwiegend und vor allem eindeutig auf Anpassungsmaßnahmen der Landnutzungen an den Klimawandel oder Klimaschutzmaßnahmen zurückzuführen sind. Gleichwohl gibt es einige Indikatoransätze, die für ein Indikatorenset „Klimawandel und biologische Vielfalt“ relevant sein können. Diese erfordern zumeist noch eine weitere Ausarbeitung, die im Rahmen des Projektes aber nicht geleistet werden konnte.
- **Schwierigkeiten bei der Erfolgskontrolle:** Erfolge von Anpassungen naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel sind derzeit nicht bilanzierbar, da solche bislang kaum umgesetzt werden bzw. eine entsprechende Erhebung im Sinne einer Wirksamkeitskontrolle sehr schwierig ist. Daher liegen zu diesem Indikationsfeld bisher keine implementierten Indikatoren vor. Allerdings bilden Überlegungen, wie beispielsweise zur Bilanzierung des Rückgangs der Gefährdung klimawandelsensitiver Arten oder zur Verbesserung des Erhaltungszustandes klimawandelsensitiver Lebensräume lohnenswerte Ansätze für eine Indikatorenentwicklung, die allerdings noch eine weitere Ausarbeitung erfordern und nicht unmittelbar implementiert werden können. Dabei müsste insbesondere geklärt werden, ob Verbesserungen bei Erhaltungszuständen oder der Gefährdung klimawandelsensitiver Schutzgüter tatsächlich durch gezielte Anpassungen

und die Umsetzung geeigneter naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen bewirkt werden. Dabei muss auf die enge Beziehung zu anderen Einflussfaktoren, wie Landnutzungsänderungen geachtet werden.

5.3.1 Nicht realisierte Indikatoransätze

Eine Reihe von Indikatoren und Indikatoransätzen wurde verworfen, weil für sie besser geeignete Indikatoransätze gefunden und realisiert werden konnten:

- Die Indikatoren I.1.3 „Klimawandel und Frühlingsbeginn“ und I.1.4 „Phänologische Veränderungen bei Meeresorganismen“ und der Indikatoransatz I.1.5 „Phänologie-Index zu Tier- und Pflanzenarten“ wurden zugunsten der Indikatoren I.1.1 „Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten“ und I.1.2 „Phänologische Veränderungen bei Tierarten“ aufgegeben, da letztere vollständig realisiert bzw. als Prototyp ausgearbeitet werden konnten.
- Die Indikatoransätze I.3.4 „Veränderungen von Flussauen“ und II.3.2 „Förderung des ökologischen Hochwasserschutzes“ wurden zugunsten des vom BfN entwickelten Ansatzes II.3.1 „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“ verworfen, der vollständig realisiert werden konnte.
- Der Indikatoransatz I.2.12 „Invasive Arten“ wurde zugunsten des Indikatoransatzes I.2.4 „Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten“ aufgegeben, der als Prototyp ausgearbeitet werden konnte.

In Bezug auf das Indikationsfeld I.1 „Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften“ ist zudem festzustellen, dass sich alle Indikatoren und Indikatoransätze einer direkten politischen Steuerung entziehen. Wegen ihrer hohen Anschaulichkeit wurden die Indikatoren I.1.1 und I.1.2 dennoch weitergeführt.

Als wesentliche Hemmnisse bei der Umsetzung weiterer Indikatoren erwiesen sich die nachfolgend aufgeführten Punkte.

a) Wissenslücken zu den Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen in Landnutzung und Naturschutz

Bei dem Indikatoransatz II.5.1 „Windenergieisikogebiete“ können die Auswirkungen von Windkraftanlagen auf bestimmte Artengruppen räumlich nicht zuverlässig quantifiziert werden, da Unklarheit besteht hinsichtlich der relevanten Abstandswerte zur Minimierung negativer Auswirkungen solcher Anlagen auf Arten. Verschiedene Leitfäden der Bundesländer und Forschungsarbeiten nennen sehr unterschiedliche Abstandswerte und -regelungen, die eine Uneinigkeit in der Fachwelt widerspiegeln, die im Rahmen des Vorhabens nicht gelöst werden konnte.

Der Indikator III.2.3 „Gebietsschutz“, der aus der NBS stammt, müsste für gezielte Aussagen im Zusammenhang mit dem Klimawandel stark modifiziert oder sogar neu konzipiert werden. Bspw. könnte versucht werden, den Flächenanteil der durch den Klimawandel gefährdeten Vorkommen von Lebensraumtypen (z. B. Moore, Fließ- und Stillgewässer, Feuchtgrünland) oder den Anteil von Prozessschutzflächen (als Fläche für natürliche Klimaanpassungsprozesse) innerhalb der Kulisse streng geschützter Gebiete in Deutschland zu ermitteln. Diese Arbeiten waren im Rahmen des Vorhabens nicht möglich.

b) Der Klimawandel ist als Einflussfaktor / Ursache von Veränderungen nicht ausreichend zu isolieren / zu quantifizieren.

Dieser Aspekt betraf alle Indikatoransätze für das Indikationsfeld I.3 (direkte klimawandelbedingte Veränderungen von Lebensräumen) sowie eine Reihe von Indikatoransätzen für die Indikationsfelder

II.1 und II.2 (indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt infolge von Anpassungen der Land- und Forstwirtschaft an den Klimawandel):

- I.3.1 Erhaltungszustand klimasensitiver FFH-Lebensräume
- I.3.2 Flächenanteile klimasensitiver Ökosysteme und Habitate
- I.3.3 Verschiebung der Waldgrenze
- II.1.2 Umbruch Dauergrünland
- II.1.3 Vogelarten in der Agrarlandschaft
- II.1.4 Landwirtschaftliche Bewässerung
- II.2.1 Waldumbau im Klimawandel.

Auch für den Indikatorvorschlag I.2.13 „Bestände klimasensitiver Arten“ konnte nicht geklärt werden, ob die Klimasensitivität ausgewählter Arten ausreichend ist, um vom Klimawandel als wesentlicher Gefährdungsursache sprechen zu können.

c) Unzureichende Datengrundlagen

Unter dieser Überschrift lassen sich mehrere Hemmnisse für die Indikatorentwicklung und -realisierung summieren:

- **Datengrundlagen fehlen**

Zu den Indikatorvorschlägen I.2.10 „Verbreitung von Reptilien und Amphibien“, I.2.11 „Veränderung von Biozönosen wenig mobiler Arten (Amphibien, Reptilien)“, II.1.4 „Landwirtschaftliche Bewässerung“ sowie II.4.2 „Veränderung von alpinen und Mittelgebirgsökosystemen und Übernachtungszahlen in Skigebieten“ konnten keine geeigneten Datengrundlagen identifiziert werden.

- **Datengrundlagen sind vorhanden, aber nicht verfügbar**

Die Datengrundlagen zum Indikatoransatz I.1.2 „Phänologische Veränderungen bei Tierarten“ konnten nur teilweise von den datenhaltenden Institutionen zur Verfügung gestellt werden.

Bei dem Indikator I.2.3 „Arealveränderungen bei marinen Arten“ liegen die Daten zwar beim Thünen-Institut für Seefischerei in Hamburg vor, die Bereitstellung der erforderlichen Daten – und damit auch die Realisierung des Indikators – ist jedoch abhängig von weiteren Verhandlungen zwischen dem BfN und dem Thünen-Institut für Seefischerei.

Die Datengrundlagen zum Indikatoransatz I.2.6 „Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften“ werden im Rahmen des Tagfalter-Monitorings (TMD) erhoben und am UFZ Halle-Leipzig vorgehalten, konnten aber im Rahmen des Vorhabens nicht zur Verfügung gestellt werden.

Die Realisierung des Indikatoransatzes I.2.8 „Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen“ hing von der Publikation der notwendigen Datengrundlagen durch die Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen (GdO) ab. Der Verbreitungsatlas der Libellen Deutschlands wurde nach Abschluss des Vorhabens veröffentlicht (Ott et al. 2015).

- **Datengrundlagen sind vorhanden, aber nicht ausreichend flächenscharf**

Die Daten für die Indikatoren I.1.4 „Phänologische Veränderungen bei Meeresorganismen“, II.1.1 „Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und naturschutzfachlich wertvolle Gebiete“ sowie III.1.2 „Naturschutzflächen mit Klimaschutzfunktion“ zeigten keine ausreichende räumliche Genauigkeit. Der SEBI-Indikator 004 „Ecosystem coverage“, der als Vorlage für den Indikatoransatz I.3.2 „Flächenanteile klimasensitiver Ökosysteme und Habitate“ diente, wertet Corine Land Cover (CLC)-Daten der europäischen Fernerkundung im Maßstab 1 : 100.000 aus, die für eine Indikato-

renentwicklung thematisch nicht ausreichend differenziert sind. Die erforderlichen schlaggenauen Daten zu den angebauten Energiepflanzen für den Indikator II.1.1 konnten nicht eruiert werden. Für den Indikator III.1.2 „Naturschutzflächen mit Klimaschutzfunktion“ fehlen bundesweite Zusammenstellungen flächenscharfer Daten zu relevanten Vorkommen geschützter Biotoptypen oder Lebensraumtypen, die mit Daten zu den CO₂-Bilanzen dieser Flächen verknüpft werden könnten. Hinzu kommt, dass auch die benötigten CO₂-Bilanzen teilweise noch mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

- **Datengrundlagen sind vorhanden, aber nicht flächendeckend bzw. räumlich repräsentativ**

Diese Problematik betraf zwei Indikatoransätze. Beim Ansatz I.1.4 „Phänologische Veränderungen bei Meeresorganismen“ werden die Daten im Rahmen des CPR-Monitorings lediglich linienhaft entlang der Hauptschiffahrtsrouten in der Nordsee erhoben und durch Extrapolation ergänzt, Daten zur deutschen Ostsee werden jedoch nicht erhoben. Das Konzept des Indikatoransatzes I.3.3 „Verschiebung der Waldgrenze“ erfordert Daten zur Lage der Waldgrenze, die aber nicht für die Gesamtheit der deutschen Hochgebirgsregionen aufgezeichnet werden.

- **Daten sind von sehr unterschiedlicher oder unzureichender Qualität bzw. nach unterschiedlicher Methodik erhoben (z. B. in verschiedenen Bundesländern)**

Dieses Hemmnis betrifft erstens den Indikatoransatz I.2.9 „Klimawandelbedingte Veränderungen bei Heuschrecken“, da in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Erhebungsmethoden angewandt und die Daten in unterschiedlichen Erhebungsintervallen erhoben werden. Eine flächenscharfe Erfassung streng geschützter Gebiete liegt für die Bundesländer nicht einheitlich vor. Dies schränkt zweitens den Indikator III.2.1 „Länderübergreifender Biotopverbund“ ein. Länderabhängig differieren auch die Datenerhebungen zu den Indikatorvorschlägen II.3.2. „Förderung des ökologischen Hochwasserschutzes“ und III.3.2 „Gebietsschutz als erfolgreiche Maßnahme in klimawandelsensitiven Gebieten“.

- **Datengrundlagen sind vorhanden, aber die Erhebungsintervalle sind zu lang**

Die Datengrundlagen zum Indikatorvorschlag I.3.1 „Erhaltungszustand klimasensitiver FFH-Lebensräume“ werden im Rahmen des FFH-Monitorings art- bzw. lebensraumspezifisch und kompatibel zur Berichtsperiode nur alle sechs Jahre erhoben. Die Datengrundlagen zum Indikatorvorschlag II.2.3 „Umbau gefährdeter Fichtenbestände“ aus der DAS werden im Rahmen der Bundeswaldinventur nur alle zehn Jahre erhoben. Sie entsprechen damit nicht den in Kapitel 3.2 formulierten Anforderungen. Dabei müssen die Gründe für die Wahl der Länge der Erhebungsintervalle beachtet werden. Bei vielen Monitoringprogrammen richtet sich die Länge der Intervalle – zumindest ungefähr – nach der erwarteten Geschwindigkeit von Veränderungen. Bei Veränderungen, die bspw. erst im Verlauf einer Dekade detektierbar werden, würden jährliche Erhebungen zwar die Kosten in die Höhe treiben, aber keinen Erkenntnisgewinn bringen. Auch die Datenreihen darauf aufbauender Indikatoren würden zwar jährlich Werte anzeigen, diese blieben aber weitgehend ohne Aussage, da statistisch signifikante Änderungen ggf. erst nach vielen Jahren festgestellt werden können.

d) Weitere Hemmnisse

Als weitere Hemmnisse bei der Realisierung einzelner Indikatoren erwiesen sich:

- Unzureichender Bezug zur Biodiversität: Dieser Aspekt betrifft den Indikator II.2.3 „Umbau gefährdeter Fichtenbestände“, da die Daten keine naturschutzfachliche Bewertung der Qualität und Richtung des Waldumbaus erlauben.
- Missinterpretationen bei Veränderungen des Indikatorwertes: Bei der Konzeption des Indikators II.1.1 „Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und naturschutzfachlich wertvolle Gebiete“ war

nicht bedacht worden, dass eine (erwünschte) Vergrößerung der Schutzgebietsfläche zu einer Fehlinterpretation der Aussage des Indikators (erhöhte Gefährdung von naturschutzfachlich wertvollen Gebieten) führen würde, auch wenn die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe unverändert bleibt.

- Problematik der Verschneidung von Daten unterschiedlicher räumlicher Ebenen: Bei der Konzeption der Indikatoren II.4.1 „Veränderungen von Küstenökosystemen an Nord- und Ostsee und Übernachtungszahlen in Badeorten“ und II.4.2 „Veränderungen von alpinen und Mittelgebirgsökosystemen und Übernachtungszahlen in Skigebieten“ konnte das methodische Problem einer sachgemäßen Verschneidung von Daten aus unterschiedlichen räumlichen Einheiten (hier: klimawandelsensitive Lebensräume und Skigebiete bzw. Badeorte) nicht gelöst werden.
- Indikator ändert sich voraussichtlich nicht über die Zeit: Der Gegenstand des Indikators II.3.3 „Ausbau der (kleinen) Wasserkraft und von Pumpspeicherwerken“ zeigt nach Einschätzung des Projektteams und nach Auswertung weiterer Quellen (s. Kap. 10) voraussichtlich wenig Entwicklungsdynamik. Bei der Recherche zur Realisierung des Indikators III.2.4 „Vertrieb autochthonen Pflanzenmaterials“ stellte sich heraus, dass gemäß § 40 BNatSchG spätestens ab 2020 keine oder nur geringfügige Veränderungen bei den abgebildeten Größen zu erwarten sind.

5.3.2 Vorschläge zur Entwicklung weiterer Indikatoren

Für die bisher nicht durch Indikatoren oder Indikatorkonzepte abgedeckten, für das Indikatorenset aber bedeutenden Themenbereiche sollen im Folgenden Ansatzpunkte für die zukünftige Entwicklung von Indikatoren und der Bedarf an zusätzlichen Monitoringprogrammen im Bereich Klimawandel und Biodiversität dokumentiert und erläutert werden. Diese Ansätze wurden zwar im Rahmen des Vorhabens erarbeitet und diskutiert, ihre Realisierung wäre aber weit über die Ressourcen des Vorhabens hinausgegangen, sodass hier zwar Möglichkeiten aufgezeigt werden sollen, eine Realisierung aber nachfolgenden Projekten überlassen bleibt.

a) Indikationsbereich I: Direkte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

Indikationsfeld „Phänologische Veränderungen bei Arten und Lebensgemeinschaften“

Generell besteht die Möglichkeit, weitere artengruppenbezogene Indikatoren zu entwickeln oder vorhandene zu ergänzen. Insbesondere beim Indikator I.1.2 „Phänologische Veränderungen bei Tierarten“ wäre eine Berücksichtigung weiterer Artengruppen erstrebenswert. Amphibien sind in diesem Zusammenhang als aussagekräftige Artengruppe geeignet, da Winterruhe und Laichbeginn stark witterungsabhängig sind. Insbesondere Explosivlaichereignisse oder Wanderungsbewegungen von Amphibien könnten zur Indikation phänologischer Veränderungen herangezogen werden. Als geeignete Indikatorarten zur Erfassung von Wanderungsbewegungen wurden Moorfrosch, Grasfrosch, Springfrosch und Erdkröte identifiziert; für den Moorfrosch ist eine mindestens zehnjährige Datenreihe bekannt. Generell wird die Datenlage bei Amphibien und Reptilien zwar als ausreichend eingeschätzt, allerdings nur, wenn man nicht den Anspruch auf bundesweit flächendeckende bzw. bundesweit repräsentative Daten erhebt. Zudem handelt es sich um verstreut vorliegende Mischdatensätze aus ehrenamtlich und im Rahmen von Auftragskartierungen erhobenen Daten, die für eine bundesweite Auswertung zunächst zusammengeführt werden müssten. Die Deutsche Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde e. V. arbeitet derzeit an der Erstellung einer Datenbank zur kontinuierlichen bundesweiten Sammlung von Daten; die darin erfassten Daten eignen sich jedoch nicht für phänologische Auswertungen, da nur ein jährlicher Zeitbezug gegeben sein wird ohne tagesgenaue Angaben.

Weiterhin wären Libellen zur Erfassung phänologischer Veränderungen geeignet (z. B. Massenschlupfereignisse der Plattbauchlibelle, der Frühen Adonislibelle und der Feuerlibelle). Die Anforde-

ung einer mindestens zehnjährigen Datenreihe kann nicht generell, aber bei einzelnen Arten erfüllt werden. Auch hier ist die Zusammenstellung der in verschiedenen Kartierungen und Atlasprojekten erhobenen Daten mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden und kann daher nicht kurzfristig erfolgen.

Tagfalter werden seit dem Jahr 2005 im Rahmen des ehrenamtlichen Tagfalter-Monitorings (TMD) bundesweit wöchentlich außerhalb der Wintermonate erfasst, womit sie als Artengruppe für einen phänologischen Indikator prädestiniert wären. Allerdings sind Flugzeiten oder Entwicklungsvorgänge nur bedingt als Maße für phänologische Veränderungen geeignet.

Heuschrecken werden nicht bundesweit und nicht einheitlich erfasst, regionale Kartierungsprogramme erheben Daten in unterschiedlicher Frequenz seit weniger als zehn Jahren. Der Fokus von Heuschreckenkartierungen liegt auf der räumlichen Verbreitung von Arten. Für phänologische Erfassungen eignet sich nach Expertenmeinung lediglich die weit verbreitete und über ihren Gesang leicht zu erfassende Feldgrille.

Phänologische Veränderungen im limnischen Bereich können vorerst nicht in einen phänologischen Indikator einbezogen werden. Im Falle der Binnenmollusken ist die Datenlage nicht ausreichend, und kaltstenotherme Benthosorganismen, die im Monitoring nach der WRRL erfasst werden, eignen sich aufgrund der niedrigen Erhebungsfrequenz nur begrenzt.

Indikationsfeld „Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen“

Für die Berücksichtigung möglichst vieler Artengruppen bei der künftigen Konzeption neuer Indikatoren spricht die Tatsache, dass in Zukunft andere oder mehr Arten als heute vom Klimawandel betroffen sein können. Auch die mikrobielle Ebene ist für das Themenfeld „Biodiversität und Klimawandel“ durchaus relevant. Als Datenquelle könnten bspw. die Bodendauerbeobachtungsflächen genutzt werden, die das Umweltbundesamt (UBA) betreut. Verwertbare Daten bspw. zu Waldböden werden außerdem im Rahmen der Bodenzustandserhebungen gesammelt (Auswertungen des Thünen-Instituts).

Für Artengemeinschaften der Quellen sollten Möglichkeiten zur Indikatorenentwicklung geprüft werden, da hier zumindest langfristig starke klimawandelbedingte Effekte zu erwarten sind. Weiterhin könnte die Anzahl zu- und abwandernder Arten (*turnover rate*) bei Artengruppen bilanziert werden, zu denen der floristische oder faunistische Kenntnisstand sehr gut ist.

Es sollten für dieses Indikationsfeld auch geeignete interspezifische Interaktionen wie z. B. Konkurrenz, Nahrungsnetze o. ä. betrachtet werden. Um solche Effekte durch Indikatoren abzubilden, sollten bekannte Einflüsse des Klimawandels auf Biozönosen definiert und Schlüsselprozesse identifiziert werden. Als Beispiele bieten sich Interaktionen zwischen Tagfaltern und Futterpflanzen oder zwischen Vögeln und deren Prädatoren und Nistplatzkonkurrenten an. Daten zum Vorkommen des Amphibien-Chytrid-Pilzes wären ein weiterer Ansatzpunkt, da dessen Ausbreitung und Übertragung durch den Klimawandel begünstigt werden könnten. Ein darauf basierender Indikator würde direkte Effekte des Klimawandels auf die Biodiversität abbilden. Eine ausreichende Datenlage vorausgesetzt, könnte ein „Nisthöhlen-Indikator“ oder „Amphibien-Chytridpilz-Indikator“ entwickelt werden ggf. unter Berücksichtigung von sog. „Tipping Points“.¹⁵

Weiterhin sollten insbesondere Säugetiere und ihre Funktionen in Biozönosen (z. B. über Räuber-Beute- oder Konkurrenzsysteme) bei der Entwicklung künftiger Indikatoren stärker beachtet werden.

¹⁵ Durch Störungen verursachte Veränderungen haben oft keinen linearen Effekt auf Komponenten der biologischen Vielfalt. Vielmehr erfolgen wahrnehmbare Veränderungen häufig erst, wenn eine bestimmte Schwelle, der sogenannte „Tipping Point“, überschritten wird.

Hilfreich wäre auch ein Indikator, der ähnlich dem Farmland-Bird-Indicator die Entwicklung verschiedener Arten mit Bezug zu Agrarlebensräumen unter dem Einfluss des Klimawandels bilanziert.

Indikationsfeld „Veränderungen von Lebensräumen“

Die klimawandelbedingte Dynamik im Bereich des Deichvorlandes an der Nordsee (Abträge durch zunehmende Sturmfluten, Einfluss des Meeresspiegelanstiegs) könnte ein möglicher Ansatzpunkt für eine Indikatorentwicklung in diesem Indikationsfeld sein. Weiterhin könnte die Strukturvielfalt von Lebensräumen in einem eigenen Indikatorkonzept erfasst werden.

Die Daten des WRRM-Monitorings wurden bisher aufgrund des lediglich sechsjährigen Erfassungsrhythmus nicht vertieft ausgewertet. Diese Monitoring-Daten könnten aber unter Umständen Möglichkeiten für eine Indikatorentwicklung aufzeigen. Im Gegensatz zu vielen anderen Datenquellen ist die umfangreiche Datenerhebung im Rahmen dieses Monitorings aufgrund der verbindlichen Berichtspflichten langfristig abgesichert.

b) Indikationsbereich II: Indirekte klimawandelbedingte Veränderungen der biologischen Vielfalt

Ergänzt werden könnten ggf. Indikatoren zu den Themen „Photovoltaik-Freianlagen“, „Wassermanagement / Landschaftswasserhaushalt / Wasserwirtschaft“ (z. B. über Indikatoren zum Makro-Zoobenthos der Fließgewässer oder zum Mindestabfluss) und „Siedlungen“ (z. B. über einen Temperaturindex häufiger Brutvogelarten im Siedlungsbereich). Weiterhin könnte ein Indikator entwickelt werden, der Wirkungen von Offshore-Windkraftanlagen auf das Benthos am Meeresgrund darstellt.

In der Schweiz wird bspw. die Landwirtschaft als „Gewinner“ des Klimawandels gesehen (u. a. aufgrund verbesserter Bedingungen für eine intensivere Produktion in Höhenlagen). Das Thema „Intensivierung der Landwirtschaft im Zuge des Klimawandels“ könnte ein Ausgangspunkt für eine entsprechende Indikatorentwicklung in Deutschland sein. Der NBS-Indikator „Agrarumweltmaßnahmen“ könnte modifiziert werden, um einen Bezug zur Anpassung an den Klimawandel herzustellen. Dazu könnten die Förderziele differenziert und die Haushaltsdaten der Länder entsprechend ausgewertet werden. Ungeklärt bleibt hier aber die Frage, ob die angestrebten Förderziele auch tatsächlich durch Umsetzung der geförderten Maßnahmen erreicht werden. Es sollte also eine Wirksamkeitskontrolle in Hinblick auf Agrarumweltmaßnahmen ergänzt werden, die für den Klimawandel relevant sind.

Aus dem Indikator II.2.1 „Waldumbau im Klimawandel“ könnte ein Teilindikator zu Veränderungen der Baumartenzusammensetzung abgeleitet werden. Die Bundeswaldinventur (BWI) liefert hierzu geeignete Daten (u. a. zur Bestockung), die nach Baumarten oder Baumartengruppen ausgewertet werden. Inwieweit weitergehende Bezüge zu anderen Elementen der biologischen Vielfalt der Wälder hergestellt werden können, bleibt zu prüfen. Durch eine Erweiterung der Erhebungen um zusätzliche Maße könnte die Verwendbarkeit der BWI-Daten für waldbezogene Indikatoren zur biologischen Vielfalt im Rahmen des Klimawandels ggf. verbessert werden.

c) Indikationsbereich III: Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel

Die Wirksamkeit naturschutzfachlicher Maßnahmen könnte anhand einer Analyse der Landschaftsqualität überprüft werden, die speziell auf den Klimawandel und dessen Folgen ausgerichtet ist. Relevante Ansatzpunkte wären bspw.

1. die Erhaltung von Feuchtgebieten als Flächen für den Schutz des Mikroklimas, um hiervon abhängige gefährdete Arten zu erhalten,
2. Renaturierungen degradierter Niederungslandschaften (Auen, Moore) mit Blick auf den Landschaftswasserhaushalt (Flächenanteil von Moorböden, die schonend bewirtschaftet werden),

3. tatsächliche (nicht nur konzeptionelle) Fortschritte bei der Umsetzung und Verbesserung des Biotopverbunds, wobei verschiedene Landschaftstypen (u. a. Wälder / Offenland) zu unterscheiden sind und insbesondere der kleinräumige Biotopverbund wichtig ist,
4. Erhaltung und Förderung von Wildnisgebieten / natürlicher Waldentwicklung.

Weitere übergeordnete Ansatzpunkte für die Entwicklung von Indikatoren liegen in der Überprüfung der Frage, inwieweit Naturschutzbelange bei der Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel verschiedener Landnutzungen berücksichtigt werden, oder in der kritischen Betrachtung klimawandelspezifischer Landnutzungsförderungen, die aus Naturschutzsicht ggf. kontraproduktiv sind.

Die Schaffung oder Weiterentwicklung von Biotopverbundsystemen stellt für den Naturschutz ein zentrales Element bei Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel dar. Mögliche Ansatzpunkte für eine Indikatorenentwicklung liegen in der Betrachtung von Veränderungen der Abstände zwischen Flächen relevanter Biotope oder in der Analyse der Durchgängigkeit von Fließgewässern. Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Planung und Ausgestaltung des Biotopverbunds häufig mit Blick auf bestimmte Zielarten erfolgt. Diese Arten müssten auf ihre Sensitivität gegenüber Auswirkungen des Klimawandels überprüft werden. Weiterhin könnten Veränderungen der Landschaftsmatrix mit Hilfe geeigneter Indikatoren dargestellt werden (z. B. Anzahl unterschiedlicher Habitate pro Flächeneinheit und deren Konnektivität).

Als mögliche Ansatzpunkte für Indikatoren zur Resilienzsteigerung von Ökosystemen können folgende Themen dienen:

- morphologischer Gewässerzustand bei Fließgewässern,
- landwirtschaftliche Brachflächen (ggf. auf Basis von Daten zum HNV Farmland),
- Naturwaldzellen,
- geeignete Daten aus dem Monitoring gemäß WRRL.

Als mögliche Ansatzpunkte für Indikatoren zu Synergien zwischen Naturschutz und Klimaschutz wurden folgende Themen identifiziert:

- Berücksichtigung klimawandelrelevanter Flächen (mit CO₂-Senkenfunktion) in Landschaftsprogrammen oder Landschaftsrahmenplänen,
- Anteil von Wäldern mit natürlicher Waldentwicklung,
- Nutzung organischer Böden,
- Naturschutzflächen mit Relevanz für den Klimaschutz (bspw. Auen, Moore, Küstenlebensräume).

Quellenverzeichnis zu Teil I und II

- Abegg, B. (2011): Tourismus im Klimawandel. Ein Hintergrundbericht der CIPRA. Commission Internationale pour la Protection des Alpes, CIPRA compact 1/2011, Schaan, LI, 32 S.
- Ackermann, W., Schweiger, M., Sukopp, U., Fuchs, D., Sachteleben, J. (2013): Indikatoren zur biologischen Vielfalt. Entwicklung und Bilanzierung. Naturschutz und Biologische Vielfalt 132, Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 229 S.
- Adamo, S. A., Lovett, M. M. E. (2011): Some like it hot: the effects of climate change on reproduction, immune function and disease resistance in the cricket *Gryllus texensis*. *Journal of Experimental Biology* 214 (12): 1997-2004.
- Alcamo, J., Moreno, J. M., Novaky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R. J. N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J. E., Shvidenko, A. (2007): Europe. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E. (Hg.): Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 541-580.
- Alcamo, J., Priess, J., Heistermann, M., Onigkeit, J., Mimler, M., Schaldach, R., Trinks, D. (2005): Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge. Abschlussbericht des Wissenschaftlichen Zentrums für Umweltsystemforschung. Kassel, 22 S.
- Amarasekare, P., Savage, V. (2012): A framework for elucidating the temperature dependence of fitness. *The American Naturalist* 179 (2): 178-191.
- Amelung, B., Moreno, A. (2011): Costing the impact of climate change on tourism in Europe: results of the PESETA project. *Climatic Change* (2012) 112: 83-100.
- Araújo, M. B., Thuiller, W., Pearson, R. G. (2006): Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of Biogeography* 33: 1712-1728.
- Arora, R., Rowland, L. J. (2011): Physiological research on winter-hardiness: deacclimation resistance, reacclimation ability, photoprotection strategies, and a cold acclimation protocol design. *Hortscience* 46 (8): 1070-1078.
- BAFU – Bundesamt für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft (Hg.) (2012): Klimawandel. BDM-Facts 4., Online, URL: www.biodiversitymonitoring.ch/publikationen [Zugriff: 21.06.2014].
- BAFU – Bundesamt für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft (Hg.) (2014): Biodiversitäts-Monitoring Schweiz BDM. URL: <http://www.biodiversitymonitoring.ch/de/home.html> [Zugriff: 26.05.2014].
- Bairlein, F., Hüppop, O. (2009): Klimawandel und Vogelwelt - eine kurze Übersicht. In: NABU (Hg.): Klimawandel und Biodiversität. Berlin: 15-22.
- Bartz, R., Dziock, F., Dziock, S., Heiland, S., Kowarik, I., Radtke, L., Schäffler, L., Schliep, R., Siedentop, S., Sudfeldt, C., Trautmann, S. (2013): Zwischenbericht zur Entwicklung von Indikationsfeldern und Indikatoren für das Fachgespräch am 28. / 29. Januar 2013 in Bonn. F+E-Vorhaben „Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3511 82 0400). Stand: Januar 2013. Auftraggeber: Bundesamt für Naturschutz (Bonn). Unveröffentlicht.
- Behrens, M., Fartmann, T., Hölzel, N. (2009): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt. Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. Teil 1: Fragestellung, Klimaszenario, erster Schritt der Empfindlichkeitsanalyse – Kurzprognose. Westfälische Wilhelms-Universität, Institut für Landschaftsökologie, Münster, 288 S.

- Bellard, C., Thuiller, W., Leroy, B., Genovesi, P., Bakkenes, M., Courchamp, F. (2013): Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology* 19: 3740-3748.
- Bellebaum, J., Korner-Nievergelt, F., Dürr, T., Mammen, U. (2013): Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. *Journal for Nature Conservation*. Online, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnc.2013.06.001> [31.03.2014].
- Berry, P. (Hg.) (2009): Climate change. Impacts of mitigation and adaptation measures on biodiversity. Pensoft, Moskau, RU, Sofia, BG, 24 S.
- Berry, P., Paterson, J. (2009): Energy mitigation, adaptation and biodiversity: synergies and antagonisms. *Earth and Environmental Science* 8: doi: 10.1088/1755-1315/8/1/012023
- BIP – Biodiversity Indicators Partnership (Hg.) (2011): Guidance for National Biodiversity Indicator Development and Use. UNEP World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK, 40 S.
- BLAG-NE – Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Nachhaltige Entwicklung (2005): Erfahrungsbericht Indikatoren. 116 S.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich (Hg.) (2006): MOBI-e Entwicklung eines Konzeptes für ein Biodiversitäts-Monitoring in Österreich. Wien, AT, 231 S.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich (Hg.) (2012): Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel. Teil 1 - Kontext. Wien, AT, 129 S.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich (Hg.) (2013): Zustand und Bedeutung der biologischen Vielfalt in Österreich. Wien, AT, 82 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 178 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2010): Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. I. Gödeke, U. Sukopp & M. Neukirchen (Red.), BMU, Berlin, 87 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2013): Gemeinsam für die biologische Vielfalt. Rechenschaftsbericht 2013 zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 151 S.
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hg.) (2015): Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. I. Gödeke & U. Sukopp (Red.), BMUB, Berlin, 111 S.
- Bosch & Partner (2010): Erstellung eines Indikatorenkonzepts für die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS). FKZ: 364 01 006. Schlussbericht. 25.05.2010. Im Auftrag des UBA. Unveröffentlicht.
- Boye, P., Klingenstein, F. (2006): Naturschutz im Wandel des Klimas. *Natur und Landschaft* 81 (12): 574-577.
- Braunisch, V. (2008): Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf boreal-montane Vogelarten. *FVA-Einblick* 12 (1): 40-43.
- Brinkmann, R., Schauer-Weissahn, H. (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Gundelfingen, 59 S.
- Bundesregierung (Hg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online, URL: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php> [Zugriff: 12.11.2011].
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., Baillie, J. E. M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K. E., Carr, G. M., Chanson, J., Chenery, A. M., Csirke, J., Davidson, N. C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J. N.,

- Genovesi, P., Gregory, R. D., Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J.-F., Leverington, F., Loh, J., McGeoch, M. A., McRae, L., Minasyan, A., Morcillo, M. H., Oldfield, T. E. E., Pauly, D., Quader, S., Revenga, C., Sauer, J. R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D., Stuart, S. N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T. D., Vié, J.-C., Watson, R. (2010): Global Biodiversity. Indicators of Recent Declines. *Science* 328: 1164–1168.
- CBD – Convention on Biological Diversity (2003): Implementation of the Strategic Plan: Evaluation of progress towards the 2010 biodiversity target: development of specific targets, indicators and a reporting framework. Online, URL: <http://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-07/official/cop-07-20-add3-en.pdf> [Zugriff: 26.05.2014].
- CBD – Convention on Biological Diversity (2010): User's Manual for the City Biodiversity Index. CBD, 34 S. Online, URL: <http://www.cbd.int/authorities/doc/User%27s%20Manual-for-the-City-Biodiversity-Index27Sept2010.pdf> [Zugriff: 26.05.2014].
- CBD – Convention on Biological Diversity (2011): National Indicators, Monitoring and Reporting for the Strategy for Biodiversity. A Review of Experience and Recommendations in Support of the CBD Ad Hoc Technical Expert Group (AHTEG) on Indicators for the Strategig Plan 2011-2020. CBD, Cambridge, UK, 97 S.
- Chazal, J. de, Rounsevell, M. D. A. (2009): Land-use and climate change within assessments of biodiversity change: a review. *Global Environmental Change* 19: 306-315.
- Chmielewski, F.-M. (2007): Phänologie – ein Indikator zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biosphäre. *Deutscher Wetterdienst, Promet – meteorologische Fortbildung* 33 (1/2): 28-35.
- CIPRA – Commission Internationale pour la Protection des Alpes (2007): Gletscherabdeckungen und Schneebeirtschaftung. Positionspapier der CIPRA Schweiz. Zürich, CH, 6 S.
- Compass Resource Management (Hg.) (2007): Major impacts: climate change. An assessment of climate change impacts on biodiversity management in BC. Compass Resource Management Ltd., Vancouver, CA, 41 S.
- Cornelissen, T. (2011): Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. *Neotropical Entomology* 40 (2): 155-163.
- Dale, V. H., Beyeler, S. C. (2001): Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1: 3–10.
- Dauber, J., Jones, M. B., Stout, J. C. (2010): The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity. *GCB Bioenergy* 2 (6): 289-309.
- DEFRA – Department for Environment, Food and Rural Affairs (2004) (Hg.): Review of UK Climate Change Indicators. Contract EPG 1/1/158. June 2003 (Revised Jan 2004). Department for Environment Food and Rural Affairs. Online, URL: <http://www.ecn.ac.uk/iccuk/reportjune2003/Jan2004.htm> [21.06.2014].
- DEFRA – Department for Environment, Food and Rural Affairs (Hg.) (2013): UK Biodiversity Indicators in Your Pocket 2013. Measuring progress towards halting biodiversity loss. Online, URL: <http://jncc.defra.gov.uk/page-4229#download> [21.06.2014].
- DESTATIS – Statistisches Bundesamt (2012): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 2011. Fachserie 3 Reihe 5.1, Wiesbaden.
- DESTATIS – Statistisches Bundesamt (2014): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2014. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 81 S. Online, URL: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/Indikatoren.html> [Zugriff: 06.11.2014].
- Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., Jiguet, F. (2008): Birds are tracking climate warming, but not fast enough. *Proceedings of the Royal Society* 275 (1652): 2743–2748.

- Dietrich, M. (2007): Die Bedeutung trocken fallender Oberläufe von Fließgewässern für Gewässerqualität und Naturschutz. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 46, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg: 91-104.
- Digout, D. (2005): DPSIR framework for State of Environment Reporting. UNEP/GRID-Arendal. http://www.grida.no/graphicslib/detail/dpsir-framework-for-state-of-environment-reporting_379f (aufgerufen am 3.10.2016).
- Dister, E., Henrichfreise, A. (2009): Veränderungen des Wasserhaushalts und Konsequenzen für den Naturschutz. *Natur und Landschaft* 84 (1): 26-31.
- Donnelly, A., Caffarra, A., O'Neill, B. F. (2011): A review of climate-driven mismatches between inter-dependent phenophases in terrestrial and aquatic ecosystems. *International Journal of Biometeorology* 55: 805-817.
- Dormann, C. F., Schweiger, O., Augenstein, A. I., Aviron, S., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bugter, R., Bukáček, R., Burel, F., Cerny, M., Cock, R. de, Blust, G. de, DeFilippi, R., Diekötter, T., Dirksen, J., Durka, W., Edwards, P. J., Frenzel, M., Hamersky, R., Hendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, a., Le Coeur, D., Liira, J., Maelfait, J. P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann-Legionnet, A., Schermann, N., Schmidt, T., Smulders, M. J. M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., Wingerden, W. van, Zobel, M. (2008): Prediction uncertainty of environmental change effects on temperate European biodiversity. *Ecology Letters* 11: 235-244.
- Doyle, U., Ristow, M. (2006): Biodiversitäts- und Naturschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels. Für einen dynamischen integrativen Schutz der biologischen Vielfalt. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 38 (4): 101-106.
- Drewitt, A. L., Langston, R. H. W. (2006): Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148: 29-42.
- DRL – Deutscher Rat für Landespflege (Hg.) (2006): Die Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natur und Landschaft. Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege 79: 5-47.
- Dröschmeister, R., Sukopp, U. (2009): Monitoring der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland. *Natur und Landschaft* 84 (1): 13-17.
- Dunwiddie, P. W., Hall, S. A., Ingraham, M. W., Bakker, J. D., Nelson, K. S., Fuller, R., Gray, E. (2009): Rethinking conservation practice in light of climate change. *Ecological Restoration* 27 (3): 320-329.
- Dürr, T. (2012): Vogel- und Fledermausverluste an Windenergieanlagen in Deutschland. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Stand: Mai 2012. – Online, URL: <http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de> [29.06.2014].
- DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2011): Die neuen RCP-Szenarien für den 5. IPCC-Sachstandsbericht. Online, URL: http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_result_page&gsbSearchDocId=933678 [Zugriff: 20.07.2014].
- DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2012): Lineare Trends der Niederschlagshöhe zwischen 1901 und 2011. Mitteilung vom 23. Januar 2012. Online, URL: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_tab_niederschlagshoehe_2013-08-14_neu.pdf [30.06.2014].
- EC – European Commission (2010): Wind energy developments and Natura 2000. Guidance Document, Luxembourg, LU, 116 S.
- EEA – European Environment Agency (2005): EEA core set of indicators. EEA Technical report, 1/2005, Kopenhagen, DK, 38 S.

- EEA – European Environment Agency (2007): Halting the loss of biodiversity by 2010: proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe. EEA Technical Report, 11/2007, Kopenhagen, DK, 182 S.
- EEA – European Environment Agency (2008): Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO report. EEA Report 4/2008, Kopenhagen, DK, 207 S.
- Emerson, J. W., Esty, D. C. Levy, M. A., Hsu, A., Sherbinin, A. de, Mara, V., Jaiteh, M. (2012): 2012 Environmental Performance Index and Pilot Trend Environmental Performance Index. Yale Center for Environmental Law and Policy, New Haven, US, 60 S.
- Engler, R., Randin, C. F., Thuiller, W., Dullinger, S., Zimmermann, N. E., Araújo, M. B., Pearman, P. B., Le Lay, G., Piedallu, C., Albert, C. H., Choler, P., Coldea, G., De Lamo, X., Dirnböck, T., Gégout, J.-C., Gomez-Garcia, D., Grytnes, J.-A., Heegaard, E., Hoistad, F., Nogués-Bravo, D., Normand, S., Puscas, M., Sebastia, M.-T., Stanisci, A., Theurillat, J.-P., Trivedi, M. R., Vittoz, P., Guisan, A. (2011): 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology* 17: 2330-2341.
- EPI – Environmental Performance Index (2014): Environmental Performance Index. A Global Ranking for the Environment. Online, URL: <http://epi.yale.edu/> [Zugriff: 17.06.2014].
- Erhard, M., Minnen, J. van, Voigt, T. (2002): Proposed Set of Climate Change State and Impact Indicators in Europe. EEA Technical Report, European Environment Agency, Kopenhagen, 20 S.
- Essl, F., Rabitsch, W. (Hg.) (2013): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. Springer Spektrum, i-xv, 458 S.
- Feehan, J., Harley, M., Minnen, J. van (2009): Climate change in Europe. 1. Impact on terrestrial ecosystems and biodiversity. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 409-421.
- Felton, A., Fischer, J., Lindenmayer, D. B., Montague-Drake, R., Lowe, A. R., Saunders, D., Felton, A. M., Steffen, W., Munro, N. T., Youngentob, K., Gillen, J., Gibbons, P., Bruzgul, J. E., Fazey, I., Bond, S. J., Elliott, C. P., MacDonald, B. C. T., Porfirio, L. L., Westgate, M., Worthy, M. (2009): Climate change, conservation and management: an assessment of the peer-reviewed scientific journal literature. *Biodiversity Conservation* 18: 2243-2253.
- Ficetola, G. F., Thuiller, W., Padoa-Schioppa, E. (2009): From introduction to the establishment of alien species: bioclimatic differences between presence and reproduction localities in the slider turtle. *Diversity and Distributions* 15: 108-116.
- Fiedler, W. (2008): Zugstrecken ändern sich. *Falke* 55: 305-309.
- Firbank, L. G. (2008): Assessing the ecological impacts of bioenergy projects. *Bioenergy Research* 1: 12-19.
- Fischlin, A. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf die Ökosysteme. HOTSPOT. Biodiversität und Klimawandel. Informationen des Forum Biodiversität Schweiz 16: 5-6.
- Flade, M. (2012): Von der Energiewende zum Biodiversitäts-Desaster – zur Lage des Vogelschutzes in Deutschland. *Vogelwelt* 133: 149-158. Online, URL: http://www.dda-web.de/downloads/texts/publications/vogelwelt/133/vowe_2012_03_flade_biodiversitaetsdesaster.pdf [Zugriff: 22.12.2014].
- Foden, W. B., Mace, G. M., Butchart, S. H. M. (2013): Indicators of Climate Change Impacts on Biodiversity. In: Collen et al. (Hg.) (2013): Biodiversity Monitoring and Conservation: Bridging the Gaps between Global Commitment and Local Action. Wiley-Blackwell: 120-137.
- Freibauer, A., Drösler, M., Gensior, A., Schulze, E.-D. (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. *Natur und Landschaft* 84 (1): 20-25.

- Gevers, J., Hoyer, T. T., Topping, C. J., Glemnitz, M., Schröder, B. (2011): Biodiversity and mitigation of climate change through bioenergy: impacts of increased maize cultivation on farmland wildlife. *GCB Bioenergy* 3: 472-482.
- Geyer, J., Kiefer, I., Kreft, S., Chavez, V., Salafsky, N., Jeltsch, F., Ibisch, P. L. (2011): Classification of Climate-Change-Induced Stresses on Biological Diversity. *Conservation Biology* 25 (4): 708-715.
- Gilman, S. E., Urban, M. C., Tewksbury, J., Gilchrist, G. W., Holt, R. D. (2010): A framework for community interactions under climate change. *Trends in Ecology and Evolution* 25 (6): 325-331.
- Gosling, S. N., Warren, R., Arnell, N. W., Good, P., Caesar, J., Bernie, D., Lowe, J. A., Linden, P. van der, P., O'Hanley, J., Smith, S. M. (2011): A review of recent developments in climate change science. Part II: the global-scale impacts of climate change. *Progress in Physical Geography* 35 (4): 443-464.
- Guisan, A., Vittoz, P. (2007): Klimawandel und alpine Flora. Fakten und Prognosen. HOTSPOT. Biodiversität und Klimawandel. Informationen des Forum Biodiversität Schweiz 16: 10.
- Hagerman, S. M., Chan, K. M. A. (2009): Climate change and biodiversity conservation: impacts, adaptation strategies and future research directions. F1000 Biology Reports: doi: 10.3410/B1-16.
- Hahn, F. (2004): Künstliche Beschneidung im Alpenraum. CIPRA-international. Schaan, 18 S. Online, URL: <http://www.cipra.org/de/publikationen/2709> [24.01.2014].
- Harley, M., Horrocks, L., Hodgson, N., Minnen, J. van (2008): Climate change vulnerability and adaptation indicators. The European Topic Centre on Air and Climate Change. ETC/ACC Technical Paper, 2008/9, 17 S.
- Heiland, S., Geiger, G., Rittel, K., Steinl, C., Wieland, S. (2008): Der Klimawandel als Herausforderung für die Landschaftsplanung. Probleme, Fragen und Lösungsansätze. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 40 (2): 37-41.
- Heiland, S., Kowarik, I. (2008): Anpassungserfordernisse des Naturschutzes und seiner Instrumente an den Klimawandel und dessen Folgewirkungen. Informationen zur Raumentwicklung 6/7: 415-422.
- Heiland, S., Tischler, M., Döring, T., Jessel, B. (2003b): Kommunale Nachhaltigkeitsindikatorensysteme – Anspruch, Eignung, Wirksamkeit – Indikatoren zur Zielkonkretisierung und Erfolgskontrolle im Rahmen der Lokalen Agenda 21. UVP-Report 17 (5), S. 202–206.
- Heiland, S., Tischler, M., Döring, T., Pahl, T., Jessel, B. (2003a): Indikatoren zur Zielkonkretisierung und Erfolgskontrolle im Rahmen der Lokalen Agenda 21 – Forschungsbericht 200 16 107. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Texte 67/2003, Berlin, 99 S.
- Heink, U., Kowarik, I. (2010): What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators* 10 (3): 584–593.
- Hellmann, J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., Dukes, J. S. (2008): Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology* 22 (3): 534-543.
- Herden, C., Gharadjedaghi, B., Rasmus, J. (2009): Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen – Endbericht – Stand Januar 2006. Unter Mitwirkung von S. Gödderz, S. Geiger, S. Jansen. BfN-Skripten 247, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 168 + XIV S.
- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows, C. W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., Allen, M. F. (2014): Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 766-779.
- Hötter, H., Jeromin, H., Thomsen, K.-M. (2006): Räumliche Dimensionen der Windenergie und Auswirkungen aus naturschutzfachlicher Sicht am Beispiel der Vögel und Fledermäuse - eine Literaturstudie. – *Schr.-R. d. Deutschen Rates für Landespflege* 79: 100-108.

- Hötter, H., Thomsen, K.-H., Köster, H. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. BfN-Skripten 142, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 83 S.
- Huntley, B., Green, R. E., Collingham, Y. C., Willis, S. G. (2007): A climatic atlas of European breeding birds. Lynx edicions, Barcelona, 521 S.
- Hüppop, O., Hüppop, K. (2003): North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270 (1512): 233-240.
- Ibisch, P. (2006): Klimaschutz versus Waldnaturschutz? Chancen, Gefahren und Handlungsoptionen für den Naturschutz im Wald. In: Höltermann, A., Hiermer, J. D. (Red.) (2006): Wald, Naturschutz und Klimawandel. Ein Workshop zur Zukunft des Naturschutzes im Wald vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels. BfN-Skripten 185, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg: 71-81.
- Ibisch, P., Kreft, S., Luthardt, V. (Hg.) (2012): Regionale Anpassung des Naturschutzes an den Klimawandel: Strategien und methodische Ansätze zur Erhaltung der Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen in Brandenburg. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde, 254 S.
- Ibisch, P., Müller-Motzfeld, G., Potthast, T. (2009): Muss der Naturschutz neue Strategien entwickeln? Ein Gespräch. *Natur und Landschaft* 84 (1): 18-19.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2000): IPCC special report. Emissions scenarios. Summary for policymakers. Online, URL: www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf [Zugriff: 02.02.2012].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2007a): IPCC Special Report. Emissions Scenarios. Summary for Policymakers. A Special Report of IPCC Working Group III. Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, USA, 27 S.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2007b): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Hg.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007, 18 S.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2013): Summary for Policymakers. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (Hg.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2014): Summary for Policymakers. In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Stechow, C. v., Zwickel, T., Minx, J. C. (Hg.): Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Jackson, A. L. R. (2011): Renewable energy vs. biodiversity: policy conflicts and the future of nature conservation. *Global Environmental Change* 21: 1195-1208.
- Jones, A., Stolbovoy, V., Rusco, E., Gentile, A.-R., Gardi, C., Marechal, B., Montanarella, L. (2009): Climate change in Europe. 2. Impact on soil. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 423-432.

- Kannan, R., James, D. A. (2009): Effects of climate change on global biodiversity: a review of key literature. *Tropical Ecology* 50 (1): 39-39.
- Kienast, F., Wildi, O., Brzeziecki, B. (1998): Potential impacts of climate change on species richness in mountain forests – an ecological risk assessment. *Biological Conservation* 83 (3): 291-305.
- Kölling, C., Ammer, C. (2006): Waldumbau unter den Vorzeichen des Klimawandels. *AFZ-Der Wald* 20/06: 1086-1089.
- Kölling, C., Zimmermann, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 67 (6): 259-268.
- Koppmann-Rumpf, B., Heberer, C., Schmidt, K.-H. (2003): Long term study of the reaction of the edible dormouse *Glis glis* (Rodentia: Gliridae) to climatic changes and its interactions with hole-breeding passerines. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 49: 69-76.
- Korn, H., Eppele, C. (2006): Biologische Vielfalt und Klimawandel. Gefahren, Chancen, Handlungsoptionen. BfN-Skripten 148, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg. 27 S.
- Kowarik, I., Seitz, B. (2003): Perspektiven für die Verwendung gebietseigener („autochthoner“) Gehölze. In: Seitz, B., Kowarik, I. (Hg.) (2003): Perspektiven für die Verwendung gebietseigener Gehölze. *NEOBIOTA* 2, Berlin.
- LANA – Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Naturschutz, Landschaftspflege und Erholung (2011): Thesenpapier „Klimawandel und Naturschutz“. Stand: 22./23.09.2011. Online, URL: http://www.la-na.de/servlet/is/26724/Thesenpapier_Klimawandel_und_Naturschutz.pdf [Zugriff 23.06.2014].
- Lange, M., Burkhard, B., Gee, K., Kannen, A. (2010): Risiko im Kontext von Offshore-Windkraft und systemischem Risikodiskurs. *Coastline Reports* 15: 1–13.
- Lavalle, C., Micale, F., Houston, T. D., Camia, A., Hiederer, R., Lazar, C., Conte, C., Amatulli, G., Genovese, G. (2009): Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 433-446.
- Lawler, J. J. (2009): Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. *The Year in Ecology and Conservation Biology. Annals of the New York Academy of Sciences* 1162: 79-98.
- Lawler, J. J., White, D., Neilson, R. P., Blaustein, A. R. (2006): Predicting climate-induced range shifts: model differences and model reliability. *Global Change Biology* 12 (8): 1568-1584.
- Leuschner, C., Schipka, F. (2004): Vorstudie Klimawandel und Naturschutz Deutschland. BfN-Skripten 115, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 35 S.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.) (2012): Windenergie in Bayern. Bayerisches Landesamtes für Umwelt, UmweltWissen, Augsburg, 17 S.
- Loss, S. R., Terwilliger, L. A., Peterson, A. C. (2011): Assisted colonization: integrating conservation strategies in the face of climate change. *Biological Conservation* 144: 92-100.
- Lübbert, J. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora Deutschlands. BfN-Skripten 207, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg: 63-70.
- Mackenzie, B. R., Schiedek, D. (2007): Daily ocean monitoring since the 1860s shows record warming of northern European seas. *Global Change Biology* 13 (7): 1335-1347.
- Mainka, A. S., Howard, G. W. (2010): climate change and invasive species: double jeopardy. *Integrative Zoology* 5: 102-111.
- Menon, S., Soberón, J., Li, X., Peterson, A. T. (2010): Preliminary global assessment of terrestrial biodiversity consequences of sea-level rise mediated by climate change. *Biodiversity Conservation* 19: 1599-1609.

- Menzel, A. (2007): Phänologische Modelle. Deutscher Wetterdienst, Promet – meteorologische Fortbildung 33 (1/2): 20-27.
- MKULNV NRW – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz der Landes Nordrhein-Westfalen (Hg.) (2010): Natur im Wandel. Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen. Online, URL: http://www.umwelt.nrw.de/ministerium/service_kontakt/publikationen/index.php#klima [Zugriff: 10.01.2012].
- Mosbrugger, V., Brasseur, G., Schaller, M., Stribny, B. (Hg.) (2012): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 432 S.
- Nadler, S., Jaeschke, A., Jentsch, A., Bittner, T., Beierkuhnlein, C. (2011): Auswirkungen von Extremereignissen auf die Biodiversität – eine Literaturanalyse. BfN-Skripten 289, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg: 87-93.
- Neumann, W., Schönauer, S. (2007): Strom und Wärmeherzeugung aus Geothermie. Anforderungen an die Produktionsprozesse aus ökologischer Sicht. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., Berlin, 11 S.
- Nitsch, J., Pregger, T., Naegler, T., Heide, D., Tena, D. L. de, Trieb, F., Scholz, Y., Nienhaus, K., Gerhardt, N., Sterner, M., Trost, T., Oehsen, A. von., Schwinn, R., Pape, C., Hahn, H., Wickert, M., Wenzel, B. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Online, URL: http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf [Zugriff: 10.01.2013].
- Noss, R. F. (1990): Indicators for Monitoring Biodiversity. A Hierarchical Approach. Conservation Biology 4 (4): 355–364.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (Hg.) (1993): OECD core set of indicators for environmental performance reviews. A synthesis report by the Group on the State of the Environment. Environment Monographs 83, OECD, Paris, FR, 49 S.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (Hg.) (2003): OECD Environmental Indicators. Development, Measurement and Use. OECD, Reference Paper, Paris, FR, 37 S.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (Hg.) (2008): OECD Key Environmental Indicators. Paris, FR, 31 S.
- Olofsson, J., Hickler, T., Sykes, M. T., Araújo, M. B., Baletto, E., Berry, P. M., Bonelli, S., Cabeza, M., Dubuis, A., Guisan, A., Kühn, I., Kujala, H., Piper, J., Rounsevell, M., Settele, J., Thuiller, W. (2008): Minimisation of and adaptation to climate change impacts on biodiversity. Climate change impacts on European biodiversity – observations and future projections. Online, URL: <http://macis-project.net/pub.html> [Zugriff: 02.01.2012].
- Ott, J. (2000): Die Ausbreitung mediterraner Libellenarten in Deutschland und Europa - die Folge einer Klimaveränderung. NNA Berichte 13: 13-35.
- Ott, J., Suhling, F., Weihrauch, F., Willigalla, C. (Hrsg.) (2015): Atlas der Libellen Deutschlands (Odonata). Libellula Supplement 14: 1-394.
- Pampus, M. (2005): Einschätzungen zu möglichen und bereits nachweisbaren Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Biodiversität in Hessen. Abschlussbericht im Rahmen des Forschungsprojektes INKLIM 2012, Baustein II (Klimafolgen). Online, URL: <http://klimawandel.hlug.de/index.php?id=67undtype=98> [Zugriff: 10.11.2011].
- Parmesan, C. (2006): Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 37: 637-669.
- Parmesan, C., Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421 (2): 37-42.

- Parr, T. W., Jongman, R. H. G., Klvik, M. (2010): The Selection of Biodiversity indicators for EBONE Development Work. Version 2.11. European Biodiversity Observation Network, 34 S.
- Paterson, J. S., Araújo, M. B., Berry, P. M., Piper, J. M., Rounsvelle, M. D. A. (2008): Mitigation, adaptation, and the threat to biodiversity. *Conservation Biology* 22 (5): 1352-1355.
- Pauli, H., Gottfried, M., Dullinger, S., Abdaladze, O., Akhalkatsi, M., Alonso, J. L. B., Coldea, G., Dich, J., Erschbamer, B., Calzado, R. F., Ghosn, D., Holten, J. I., Kanka, R., Kazakis, G., Kollar, J., Larsson, P., Moiseev, D., Molau, U., Mesa, J. M., Nagy, L., Pelino, G., Puscas, M., Rossi, G., Stanisci, A., Syverhuset, A. O., Theurillat, J.-P., Tomaselli, M., Unterluggauer, P., Villar, L., Vittoz, P., Grabherr, G. (2012): Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. – *Science* 336: 353-355.
- Pauli, H., Gottfried, M., Hohenwallner, D., Reiter, K., Casale, R., Grabherr, G. (2004): The GLORIA Field Manual – Multi-Summit Approach. European Commission, Directorate-General for Research, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, LU, 85 S.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C., Grabherr, G. (2007): Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biology* 13: 147-156.
- Pellissier, L., Brathen, K.A., Vittoz, P., Yoccoz, N.G., Dubuis, A., Meier, E.S., Zimmermann, N.E., Randin, C.F., Thuiller, W., Garraud, L., Van Es, J., Guisan, A. (2013): Thermal niches are more conserved at cold than warm limits in arctic-alpine plant species. *Global Ecology and Biogeography* 22: 933-941.
- Peschel, T. 2010: Solarparks – Chancen für die Biodiversität. Erfahrungsbericht zur biologischen Vielfalt in und um Photovoltaik-Freiflächenanlagen. *Renews Spezial* 45, Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin, 36 S.
- Peters, W., Grunow, B., Morkel, L., Schmelter, H., Schultze, C., Fritsche, U., Hennenberg, K., Herrera, R., Stein, S., Klinski, S., Hemke, S., Eisser, S., Schäfer, B. (2010): Naturschutzstandards Erneuerbare Energien. Geothermie. Online, URL: <http://www.naturschutzstandards-erneuerbarer-energien.de/index.php/ergebnisse/geothermie> [Zugriff: 12.01.2012].
- Plard, F., Gaillard, J.-M., Coulson, T., Hewison, A. J. M., Delorme, D., Warnant, C., Bonenfant, C. (2014): Mismatch between birth date and vegetation phenology slows the demography of roe deer. *PLOS Biology* 12 (4): e1001828.
- Pompe, S., Berger, S., Bergmann, J., Badeck, F., Lübbert, J., Klotz, S., Rehse, A.-K., Söhlke, G., Sattler, S., Walther, G.-R., Kühn, I. (2011): Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora und Vegetation in Deutschland. BfN-Skripten 304, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 98 S.
- Pompe, S., Berger, S., Walther, G.-R., Badeck, F., Hanspach, J., Sattler, S., Klotz, S., Kühn, I. (2009): Mögliche Konsequenzen des Klimawandels für Pflanzenareale in Deutschland. *Natur und Landschaft* 84 (1): 2-7.
- Pompe, S., Hanspach, J., Badeck, F., Klotz, S., Thuiller, W., Kühn, I. (2008): Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. *Biology Letters* 4: 564-567.
- Rabitsch, W., Herren, T. (2013): Klimawandeleffekte heute: Welche Änderungen finden bereits statt?– In: Essl, F., Rabitsch, W. (Hg.): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa: 52-58.
- Rabitsch, W., Winter, M., Kühn, E., Kühn, I., Gtzi, M., Essl, F., Gruttke, H. (2010): Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 98, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 265 S.
- Reese, M. (2010): Leitbilder des Umweltrechts. Zur Zukunftsfähigkeit leitender Schutzkonzepte. *Zeitschrift für Umweltrecht* 2010 (7-8): 339–346.

- Reif, A., Brucker, U., Kratzer, R., Schmiedinger, A., Bauhus, J. (2010): Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes. BfN-Skripten 272, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 111 S.
- Richert, E., Rüter, S., Seidler, C., Wilhelm, E.-G. (2011): Naturschutz und Hochwasservorsorge – unvereinbare Gegensätze? Ableitung und Bewertung von Maßnahmen aus interdisziplinärer Sicht. *Hercynia N. F.* 44 (1): 39-52.
- Riesner, A. (2010): Möglichkeiten und Grenzen der Bewertung von Landentwicklungsprozessen und deren Nachhaltigkeit. Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München, Heft 86, Neubiberg, 222 S.
- Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Goodwin, J., Harbusch, C. (2008): Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Windenergieprojekten. EUROBATS Publication Series No. 3 (deutsche Fassung). UNEP/EUROBATS Sekretariat, Bonn, Deutschland, 57 S.
- Romansic, J. M., Waggener, A. A., Bancroft, B. A., Blaustein, A. R. (2009): Influence of ultraviolet-B radiation on growth, prevalence of deformities, and susceptibility to predation in Cascades frog (*Rana cascadae*) larvae. *Hydrobiologia* 624 (1): 219-233.
- Russell, D. J. F., Brasseur, S. M. J. M., Thompson, D., Hastie, G. D., Janik, V. M., Aarts, G. et al. (2014): Marine mammals trace anthropogenic structures at sea. *Current Biology* 24 (14): R638.
- Sauerbrei, R., Ekschmitt, K., Wolters, V., Gottschalk, T. K. (2014): Increased energy maize production reduces farmland bird diversity. *Bioenergy* 6 (3): 265-274.
- Schäfer, M. (2003): Wörterbuch der Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 379 S.
- Schaller, M., Weigel, H.-J. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Sonderheft 316, Braunschweig, 247 S.
- Schanowski, A. (2007): Klimawandel und Insekten. Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe, 24 S.
- Schliep, R., Bartz, R., Dröschmeister, R., Dziock, F., Dziock, S., Fina, S., Kowarik, I., Radtke, L., Schäffler, L., Siedentop, S., Sudfeldt, C., Trautmann, S., Sukopp, U., Heiland, S. (2016): Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. F+E-Vorhaben (FKZ 3511 82 0400) im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. Abschlussbericht. Bonn – Bad Godesberg, 448 S.
- Schmidt, A. (2002): Veränderungen bei Erst- und Letztbeobachtung von Abendseglern (*Nyctalus noctula*) und Flughörnchen (*Pipistrellus nathusii*) in den letzten drei Jahrzehnten in Ostbrandenburg. *Nyctalus n.F.* 8 (4): 339-344.
- Schmidt, C., Hofmann, M., Dunkel, A. (2014): Den Landschaftswandel gestalten! Potentiale der Landschafts- und Raumplanung zur modellhaften Entwicklung und Gestaltung von Kulturlandschaften vor dem Hintergrund aktueller Transformationsprozesse. Bd.1. Bundesweite Übersichten. Bonn, 66 S.
- Schneeberger, E. (2013): Bundesweite Übersichten in Bezug auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien, Klimaschutz und Klimaanpassung. TU Dresden, Institut für Landschaftsarchitektur, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsplanung.
- Schönthaler, K., Andrian-Werburg, S. von, Nickel, D., Pieck, S., Tröltzsch, J., Küchenhoff, H., Rubenbauer, S. (2011): Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dessau-Roßlau, 224 S.
- Schönthaler, K., Pieck, S. (2013): Weiterentwicklung der umweltbezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren und des Umwelt-Kernindikatorensystems zur Bilanzierung der Fortschritte in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Umweltbundesamt, Texte 33/2013, Dessau-Roßlau, 70 S.

- Schubert, R., Schellnhuber, H.-J., Buchmann, N., Epiney, A., Griebhammer, R., Kulesa, M., Messner, D., Rahmstorf, S., Schmid, J. (2006): Die Zukunft der Meere - zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten, Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Berlin, 114 S.
- Schumann, K., Engel, J., Frank, K., Hutz, A., Luick, R., Wagner, F. (2010): Naturschutzstandards für den Biomasseanbau. Naturschutz und Biologische Vielfalt 106, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 197 S.
- Schweiger, O., Settele, J., Kudrna, O., Klotz, S., Kühn, I. (2008): Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* 89 (12): 3472-3479.
- SEBI Coordination Team (2011): Streamlining European biodiversity indicators - lessons learned from a regional process. Ad Hoc Technical Expert Group on Indicators for the Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020. High Wycombe, UK, 7 S.
- Seiche, K., Endl, P., Lein, M. (2008): Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006. Dresden, 59 S.
- Seitz, B., Jürgens, A., Kowarik, I. (2007): Erhaltung genetischer Vielfalt: Kriterien für die Zertifizierung regionalen Saat- und Pflanzguts. BfN-Skripten 208, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 48 S.
- Selinger, H. (2008): Stand der weltweiten Klimaforschung - Ergebnisse des aktuellen IPCC-Berichtes. – Online, URL: www.isw-muenchen.de/download/ipcc-hs.pdf [Zugriff: 03.03.2012].
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., Dikshit, A. K. (2009): An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators* 9: 189–212.
- Smeets, E., Weterings, R., (1999): Environmental Indicators: Typology and Overview. Europäische Umweltagentur (EEA), Kopenhagen. Report No. 25, 19 S. Online, URL: <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25/download> [Zugriff: 28.07.2014].
- SMUL – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hg.) (2013): Klimafolgenmonitoring in Sachsen. Indikatoren zur Beobachtung von Klimafolgen. – Online, URL: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/28944.htm> [Zugriff: 28.11.2014].
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (Hg.) (2011): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 396 S.
- Steinborn, H., Reichenbach, M., Timmermann, H. (2011): Windkraft – Vögel – Lebensräume. Ergebnisse einer siebenjährigen Studie zum Einfluss von Windkraftanlagen und Habitatparametern auf Wiesenvögel. Books on Demand GmbH, Norderstedt, 344 S.
- Stock, M., Kropp, J. P., Walkenhorst, O. (2009): Risiken, Vulnerabilität und Anpassungserfordernisse für klimaverletzliche Regionen. In: Raumforschung und Raumordnung, Nr. 2: 97–113.
- Sudfeldt, C., Dröschmeister, R., Langgemach, T., Wahl, J. (Hg.) (2010): Vögel in Deutschland - 2010. Dachverband Deutscher Avifaunisten, Bundesamt für Naturschutz, Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten, Münster, 49 S.
- Sukopp, U. (2009): A tiered approach to develop indicator systems for biodiversity conservation. In: BfN (Hg.): Second Sino-German Workshop on Biodiversity Conservation. Management of Ecosystems and Protected Areas: Facing Climate Change and Land Use. Bonn. BfN-Skripten 261: 38-40.
- Sukopp, U., Neukirchen, M., Ackermann, W., Fuchs, D., Sachteleben, J., Schweiger, M. (2010): Bilanzierung der Indikatoren der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Wo steht Deutschland beim 2010-Ziel? *Natur und Landschaft* 85 (7): 288-299.
- Sukopp, U., Neukirchen, M., Ackermann, W., Schweiger, M., Fuchs, D. (2011): Die Indikatoren der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. In: Bundesverband Beruflicher Naturschutz (Hg.): Frischer Wind und weite Horizonte. 30. Deutscher Naturschutztag 2010. 2. Band: Naturschutz

- in der Umsetzung: Strategien und rechtliche Rahmenbedingungen. *Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege* 58 (2): 12-33.
- Thomas, C. D., Bodsworth, E. J., Wilson, R. J., Simmons, A. D., Davies, Z. G., Musche, M., Conradt, L. (2001): Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. *Nature* 411: 577-581.
- Thomas, J. A., Telfer, M. G., Roy, D. B., Preston, C. D., Greenwood, J. J. D., Asher, J., Fox, R., Clarke, R. T., Lawton, J. H. (2004): Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis. *Science* 303 (5665): 1879-1881.
- Thuiller, W. (2004): Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change Biology* 10: 2020-2027.
- Thuiller, W. (2007): Climate Change and the ecologist. *Nature* 448 (2): 550-552.
- TMLFUN – Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (Hg.) (2012): Thüringer Strategie zur Erhaltung der biologischen Vielfalt. Erfurt, 102 S.
- Tröltzsch, P., Neuling, E. (2013): Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. *Die Vogelwelt* 134: 155-179.
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., Gekas, V. (2005): Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy* 33: 289-296.
- UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2009a): Daten zur Umwelt - Umweltzustand Deutschland. Klima. Klimaänderungen. Online, URL: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2347> [Zugriff: 10.02.2012].
- UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2009b): Klimawandel und marine Ökosysteme. Meeresschutz ist Klimaschutz. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 58 S.
- UBA – Umweltbundesamt (2013): Klimafolgen und Anpassung im Bereich Tourismus. Online, URL: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/handlungsfeld-tourismus> [02.07.2014].
- UBA – Umweltbundesamt (Hg.) (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 256 S.
- Uken, M. (2012): Der Süden entdeckt die Windkraft. *Zeit Online*, Online, URL: <http://www.zeit.de/wirtschaft/2012-08/windkraft-sueden/> [Zugriff: 12.12.2012].
- Vaissière, A.-C., Levrel, H., Pioch, S., Carlier, A. (2014): Biodiversity offsets for offshore wind farm projects: the current situation in Europe. *Marine Policy* 48: 172-183.
- Van Swaay, C. A. M., Nowicki, P., Settele, J., Van Strien, A. J. (2008): Butterfly monitoring in Europe: methods, applications and perspectives. *Biodiversity Conservation* 17: 3455-3469.
- Van Swaay, C. A. M., Van Strien, A. J., Harpke, A., Fontaine, B., Stefanescu, C., Roy, D., Maes, D., Kühn, E., Öunap, E., Regan, E., Švitra, G., Heliölä, J., Settele, J., Warren, M. S., Plattner, M., Kuussaari, M., Cornish, N., Garcia Pereira, P., Leopold, P., Feldmann, R., Jullard, R., Verovnik, R., Popov, S., Brereton, T., Gmelig Meyling, A., Collins, S. (2010): The European Butterfly Indicator for Grassland species 1990-2009. Report VS2010.010. De Vlinderstichting, Wageningen, NL, 19 S.
- Vohland, K. (2008): Impacts of climate change on biodiversity – consolidated knowledge and research gaps. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 86: 1-11.
- von Haaren, C., Saathoff, W., Bodenschatz, T., Lange, M. (2010): Der Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 94, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 181 S.

- Walentowski, H. (2008): Die Douglasie aus naturschutzfachlicher Sicht. LWF-Wissen 59: 67-69.
- Walkenhorst, O., Stock, M. (2009): Regionale Klimaszenarien für Deutschland. Eine Leseanleitung. E-Paper der ARL Nr. 6, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 16. S.
- Walther, G.-R., Roques, A., Hulme, P.E., Sykes, M.T., Pyšek, P., Kühn, I., Zobel, M., Bacher, S., Botta-Dukát, Z., Bugmann, H., Czúcz, B., Dauber, J., Hickler, T., Jarošík, V., Kenis, M., Klotz, S., Minchin, D., Moora, M., Nentwig, W., Ott, J., Panov, V.E., Reineking, B., Robinet, C., Semchenko, V., Solarz, W., Thuiller, W., Vilà, M., Vohland, K., Settele, J. (2009): Alien species in a warmer world - risks and opportunities. *Trends Ecol. Evol.* 24 (12): 686-693.
- Walz, U. (2011): Verwendung von Landschaftsstrukturmaßen zur Analyse und Bewertung der biologischen Vielfalt von Landschaften. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie*, 45 (3): 116-130.
- Warren, R., Price, J., Fischlin, A., Nava Santos, S. de la, Midgley, G. (2010): Increasing impacts of climate change upon ecosystems with increasing global mean temperature rise. *Climatic Change*: doi: 10.1007/s10584-010-9923-5.
- Wilke, C., Bachmann, J., Hage, G., Heiland, S. (2011): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 109, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 235 S.
- Willis, K. J., Bhagwat, S. A. (2009): Biodiversity and Climate Change. *Science* (326): 806-807.
- Winter, M., Musche, M., Kühn, I., Striese, M. (2010): Erarbeitung einer Konzeption „Monitoring Klima und Biodiversität“. Unveröffentlichter Projektbericht.
- Zebisch, M., Grothmann, T., Schröter, D., Hasse, C., Fritsch, U., Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Online, URL: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/2947.html> [Zugriff: 02.02.2012].
- Zielaskowski, J., Lüderitz, V. (2005): Hochwasserschutz und Naturschutz - Synergien und Konflikte am Beispiel der Elbe in Sachsen-Anhalt. *Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte* 1 (2005): 119-138.
- Zöphel, U., Steffens, R., Hauer, S., Wolf, R. (2009): Trends und Veränderungen in der rezenten Säugetierfauna. In: Hauer, S., Ansorge, H., Zöphel, U. (Hg.): *Atlas der Säugetiere Sachsens*. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden: 65-74.

Teil III:

Beschreibung der Einzelindikatoren und Indikatoransätze

6. Kennblätter der vollständig realisierten Indikatoren (Kategorie 1)

Die Indikatoren und Indikatorkonzepte werden in Kennblättern dargestellt, deren Entwicklung in Anlehnung an bereits vorhandene Indikatorensets (z. B. DAS, NBS, SEBI) erfolgte. In den Kennblättern werden für jeden Indikator Aussagen zu folgenden Punkten getroffen:

- **Allgemeine Angaben**

Neben der Nennung von Verfassern und Ansprechpartnern wird hier der Bearbeitungs- und Entwicklungsstatus vermerkt. Dies umfasst Angaben, ob es sich um einen neu zu entwickelnden Indikator handelt oder um einen Indikator, der entweder unverändert oder nach entsprechender Überarbeitung übernommen werden könnte.

- **Einordnung**

Hier werden die zutreffende Kategorie des DPSIR-Ansatzes sowie das Indikationsfeld genannt, dem der jeweils betrachtete Indikator zuzuordnen ist. Wegen der in Kapitel 3.1 beschriebenen „Perspektivenabhängigkeit“ der Indikatoren wird sowohl die DPSIR-Kategorie des Ausgangsindikatorensets als auch die Einordnung in das hier zu erarbeitende Indikatorenset genannt.

- **Beschreibung und Begründung**

Die Indikatorbeschreibung umfasst eine kurze Definition sowie Angaben zum Aufbau und zur Berechnung des Indikators. Unter „Begründung“ wird die Eignung des Indikators bewertet, Veränderungen der biologischen Vielfalt infolge des Klimawandels abzubilden, wobei nach Möglichkeit der spezifische Bezug sowohl zum Klimawandel als auch zur biologischen Vielfalt bzw. zu konkreten Schutzgütern des Naturschutzes aufgezeigt wird. Im Teilabschnitt „Zielbezug“ wird dargelegt, auf welche Ziele relevanter Strategien, Abkommen, gesetzlicher und planerischer Grundlagen der Indikator Bezug nimmt. Sofern möglich, erfolgt auch die Angabe konkreter Zielvorgaben mit Bezug auf die jeweils abgebildete Indikatorgröße (quantitativer Zielwert und vorgesehenes Zieljahr) und auf die jeweils relevanten Rechtsgrundlagen.

- **Datengrundlage**

Hier werden zur Verfügung stehende Datenquellen genannt und Aussagen zur räumlichen und zeitlichen Auflösung sowie zur geographischen Abdeckung vorhandener Daten getroffen. Zudem erfolgt eine Einschätzung zu Defiziten der Datengrundlage, und die Umsetzbarkeit des jeweiligen Indikators in Hinblick auf die verfügbaren Daten wird bewertet.

- **Umsetzungsaufwand und -verantwortlichkeit**

Es wird der Aufwand zur Datenbeschaffung und -verarbeitung genannt oder abgeschätzt, wenn er nicht genauer bestimmbar ist. Ferner werden die Kosten für die weitere Fortschreibung des Indikators abgeschätzt und die verantwortliche Institution benannt.

- **Aussage**

Unter „Interpretationsvorschrift“ wird angegeben, nach welcher Regel der Indikator interpretiert werden sollte. Darüber hinaus werden eine kurze Trend- und Statusanalyse vorgenommen sowie Handlungsempfehlungen unterbreitet, die sich ggf. aus bereits vorliegenden Indikatorwerten ableiten lassen.

- **Evaluierung**

In diesem Abschnitt erfolgt eine kurze Darlegung von Stärken und Schwächen des jeweiligen Indikators. Zudem werden Möglichkeiten zur Weiterentwicklung genannt.

- **Graphische Darstellung**

Hier wird jeweils ein Vorschlag zur graphischen Darstellung des Indikators unterbreitet, wobei nach Möglichkeit auch etwaige vorliegende Zielwerte einbezogen werden.

- **Glossar und Literatur**

Unter diesen Punkten werden die einschlägigen Fachbegriffe erläutert und die verwendeten Quellen angegeben.

Die folgenden Indikatoren wurden vollständig realisiert und werden in den nachfolgenden Unterkapiteln vorgestellt:

- Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten (Kap. 6.1),
- Temperaturindex häufiger Brutvogelarten (Kap. 6.2),
- Climate Impact Indicator für Vögel (Kap. 6.3),
- Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen (Kap. 6.4),
- Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung (Kap. 6.5).

6.1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

Indikator-Kennziffer I.1.1	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiterin: Dr. Livia Schäffler, Museum für Naturkunde Berlin Mitwirkung: Deutscher Wetterdienst (DWD), Referat Nationale Klimaüberwachung Prof. Dr. Stefan Siedentop, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung, Dortmund Dr. Ulrich Sukopp, Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner/in Museum für Naturkunde Berlin, Dr. Livia Schäffler, livia.schaeffler@mfn-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung: vollständig entwickelt und berechnet	

Einordnung

Indikationsfeld Direkte klimawandelbedingte Wirkungen auf die biologische Vielfalt	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset –	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Als Hauptindikator werden die klimawandelbedingten Veränderungen im jährlichen Eintrittsdatum vier phänologischer Jahreszeiten seit 1951 abgebildet. Dies sind der phänologische Vorfrühling, Frühsommer, Frühherbst und Winter, deren Beginn durch das Eintreten bestimmter Ereignisse in der Entwicklung einheimischer Wildpflanzenarten markiert wird (phänologische Leitphasen). Der Hauptindikator wird durch einen Indikator zur Dauer der phänologischen Vegetationsperiode ergänzt. Dieser	Einheit [Tag im Jahr], [°C]
---	---------------------------------------

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

bilanziert die Summe der Tage des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes. Um den Klimawandelbezug herzustellen, werden der Eintritt der vier phänologischen Jahreszeiten sowie Beginn und Ende der phänologischen Vegetationsperiode den gemittelten Temperaturen in den jeweils drei vorhergehenden Monaten gegenübergestellt, von welchen die Eintrittsdaten abhängen.

Zusätzlich werden die Verschiebungen im Jahresverlauf für alle 10 phänologischen Jahreszeiten in Form einer phänologischen Uhr graphisch veranschaulicht: In dieser Darstellung werden Beginn (Eintrittsdatum) und Dauer jeder phänologischen Jahreszeit für einen 30-jährigen Referenzzeitraum (1951-1980) den Werten aus einem fortlaufenden Zeitraum der jeweils letzten 30 Jahre gegenübergestellt (Phänologische Uhr für Wildpflanzen in Deutschland).

Berechnungsvorschrift

a) Als Hauptindikator werden die klimawandelbedingten Veränderungen im jährlichen Eintrittsdatum des phänologischen Vorfrühlings, Frühsommers, Frühherbstes und Winters seit 1951 abgebildet. Der Beginn dieser Jahreszeiten wird durch den Eintritt folgender phänologischer Leitphasen bestimmt (Angaben in der Liste: Nummer, Bezeichnung der phänologischen Jahreszeit, Name der Wildpflanzenart, Ereignis in der Entwicklung der Pflanze im Jahresgang):

1. Vorfrühling: Huflattich (*Tussilago farfara*) – Beginn der Blüte
2. Frühsommer: Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*) – Beginn der Blüte
3. Frühherbst: Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*) – Entwicklung erster reifer Früchte
4. Winter: Stieleiche (*Quercus robur*) – Beginn des Blattfalls

Die Berechnungen erfolgen tagesgenau entsprechend dem täglichen Meldungsrythmus der Beobachter nach den Richtlinien des DWD für Jahres- und Sofortmelder. Vom DWD werden jährlich bundesweite Mittelwerte der jeweiligen Eintrittsdaten aus dem deutschen Stationsnetz sowie die bundesweiten Monatsdurchschnittstemperaturen der bodennahen Luftschicht bereitgestellt. Die Eintrittsdaten (Angabe als Zahl der Kalendertage des Jahres) der vier phänologischen Jahreszeiten werden fortlaufend gegen die Beobachtungsjahre aufgetragen und jeweils den mittleren Temperaturen aus den drei Monaten gegenüber gestellt, die der betreffenden phänologischen Jahreszeit vorhergehen.

Die Dauer der Vegetationsperiode entspricht der Summe der Tage des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes und ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Eintrittsdatum des phänologischen Winters und des phänologischen Vorfrühlings.

$$d_{VP} = \emptyset ED_{Winter} - \emptyset ED_{Vorfrühling}$$

d_{VP} Dauer der Vegetationsperiode

ED Eintrittsdatum einer phänologischen Jahreszeit

$\emptyset$ bundesweites Jahresmittel

Entsprechend den Eintrittsdaten ausgewählter phänologischer Jahreszeiten wird auch die Dauer der Vegetationsperiode fortlaufend gegen die Beobachtungsjahre aufgetragen und im Zusammenhang mit den jeweiligen mittleren Temperaturen aus den drei Monaten dargestellt, die den beiden zugrundeliegenden phänologischen Jahreszeiten jeweils vorhergehen.

b) Phänologische Uhr: Für die Bestimmung des Beginns der zehn phänologischen Jahreszeiten werden als phänologische Leitphasen bundesweite Mittelwerte des Eintrittsdatums bestimmter Ereignisse im jahreszeitlichen Entwicklungsgang ausgewählter Zeigerarten herangezogen. Folgende Leitphasen wurden als Zeiger für die zehn phänologischen Jahreszeiten ausgewählt (Angaben in der Liste: Nummer, Bezeichnung der phänologischen Jahreszeit, Name der Wildpflanzen-

art, Ereignis in der Entwicklung der Pflanze im Jahresgang):

1. Vorfrühling: Huflattich (*Tussilago farfara*) – Beginn der Blüte
2. Erstfrühling: Buschwindröschen (*Anemone nemorosa*) – Beginn der Blüte
3. Vollfrühling: Stieleiche (*Quercus robur*) – Beginn der Blattentfaltung
4. Frühsommer: Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*) – Beginn der Blüte
5. Hochsommer: Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*) – Beginn der Blüte
6. Spätsommer: Eberesche (*Sorbus aucuparia*) – Entwicklung erster reifer Früchte
7. Frühherbst: Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*) – Entwicklung erster reifer Früchte
8. Vollherbst: Hängebirke (*Betula pendula*) – Beginn der Blattverfärbung
9. Spätherbst: Rotbuche (*Fagus sylvatica*) – Beginn des Blattfalls (extrapoliert)
10. Winter: Stieleiche (*Quercus robur*) – Beginn des Blattfalls (extrapoliert)

Über den Zeitraum der letzten 30 Jahre (gleitendes Zeitfenster bis zum jeweils letzten verfügbaren Jahr) werden die bundesweiten Mittelwerte der Eintrittsdaten der zehn aufeinanderfolgenden phänologischen Jahreszeiten berechnet und den entsprechenden Mittelwerten aus dem Referenzzeitraum 1951 bis 1980 in der Darstellungsform einer phänologischen Uhr gegenübergestellt. Beide Perioden umfassen den klimatologischen Standardzeitraum von 30 Jahren und liegen in möglichst großer zeitlicher Distanz zueinander.

$$\text{Mittelwert } ED_x = \frac{\sum_{i=1}^n \emptyset ED_x}{n}$$

ED Eintrittsdatum einer phänologischen Jahreszeit

∅ bundesweites Jahresmittel

x Nummer der phänologischen Jahreszeit (1-10)

n = 30 Anzahl der Jahre für den aktuellen Zeitraum (veränderlich über die jeweils letzten 30 verfügbaren Jahre) und den Referenzzeitraum (unveränderlich über die Jahre 1951 bis 1980)

Begründung

Von klimatischen Veränderungen können die Verbreitung und die Häufigkeit von Pflanzen und Tieren, die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften sowie Strukturen und Funktionen von Lebensräumen betroffen sein. Bereits heute belegen statistische Auswertungen Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und Veränderungen der Verteilung von Arten in Raum und Zeit (z. B. Parmesan und Yohe 2003, Menzel et al. 2006).

Der wohl einfachste und am besten untersuchte Weg, um Auswirkungen der Klimaänderungen auf Ökosysteme aufzuspüren und einem breiten Publikum anschaulich und allgemein verständlich zu vermitteln, ist die Phänologie (Menzel 2007). Die Anpassung des morphologischen und physiologischen Zustands von Pflanzen an den Wechsel der Jahreszeiten wird durch eine Vielzahl von Faktoren gesteuert – in den gemäßigten Breiten sind die pflanzlichen Entwicklungsvorgänge insbesondere vom Temperaturverlauf über lange Zeitspannen abhängig (z. B. Parmesan und Yohe 2003, Menzel et al. 2005, 2006). Dabei reagieren Pflanzen nicht ausschließlich auf die Temperatur bei Eintritt der phänologischen Phase, sondern proportional zur Summe der Temperaturen zwischen den Eintrittsterminen (Menzel 2007). Daher eignen sich phänologische Beobachtungen für die Erfassung langfristiger Auswirkungen veränderter klimatischer Bedingungen auf die biologische Vielfalt und haben einen großen Vorteil gegenüber direkten physikalischen Messungen kurzfristiger Temperaturveränderungen (Ackermann et al. 2013).

Insbesondere die phänologischen Jahreszeiten vom Vorfrühling bis zum Spätsommer eignen sich als Zeiger für klimatische Veränderungen, da deren Eintritt stark von der Temperatur in den vorhergehenden Monaten abhängt (Sparks und Menzel 2002, Menzel 2007). Steigende Temperaturen führen in diesen Phasen zu einer messbar beschleunigten Pflanzenentwicklung. So ist auch

die beobachtete Verlängerung der Vegetationsperiode in erster Linie auf den früheren Beginn des Vorfrühlings zurückzuführen (Ackermann et al. 2013). Eine unabdingbare Voraussetzung für die Verwendung phänologischer Verschiebungen bei Pflanzen als Indikator für den Klimawandel besteht darin, die festgestellten Veränderungen eindeutig und ursächlich regionalen Änderungen meteorologischer Parameter im Zuge des Klimawandels zuschreiben zu können (Menzel 2007). Für die biologische Vielfalt sind phänologische Veränderungen von großer Bedeutung, da sie das zeitliche Zusammenspiel zwischen Organismen entkoppeln und etablierte Interaktionsgefüge verändern können. Dies wirkt sich auf die Struktur und Funktion von Ökosystemen aus und kann zur Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten führen (Root und Hughes 2005). Eine verlängerte Vegetationsperiode kann die Produktivität von Ökosystemen erhöhen. Weitergehende Auswirkungen auf die biologische Vielfalt sind für Deutschland mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen, bislang jedoch kaum erforscht (Ackermann et al. 2013).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

Die Zielsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) besteht darin, die Verwundbarkeit natürlicher, sozialer und wirtschaftlicher Systeme gegenüber Klimafolgen zu mindern und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit dieser Systeme sowie die Ausnutzung möglicher Chancen zu erhöhen. Ein wesentliches Ziel des Aktionsplans Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel ist die Handlungsfähigkeit der Akteure auf allen relevanten Ebenen sowie deren Fähigkeit zur Eigenvorsorge – oft mit den Begriffen Anpassungsfähigkeit oder Anpassungskapazität bezeichnet – zu stärken (Bundesregierung 2008).

Der Indikator „Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten“ weist einen indirekten Bezug zum sogenannten 2-Grad-Ziel auf. In der Nationalen Biodiversitätsstrategie wird eine Begrenzung der mittleren globalen Erwärmung der Erdatmosphäre auf maximal 2 Grad gegenüber vorindustriellen Werten als Vision für die Zukunft definiert (BMU 2007: 55) und es wird grundsätzlich angestrebt „einer weiteren Verfrühung des Beginns des phänologischen Vollfrühlings durch eine konsequente Klimaschutzpolitik entgegenzuwirken“ (BMU 2010: 67). Eine konkrete Zielvorgabe liegt also darin, dem gegenwärtigen Klimatrend entgegenzuwirken – etwa durch eine deutliche Verringerung des Treibhausgasausstoßes – um weitere negative Auswirkungen des Klimawandels auf die Phänologie von Pflanzen, aber auch darüber hinaus auf die biologische Vielfalt zu begrenzen.

Datengrundlage

Datenquelle Phänologische Daten und Klimadaten aus dem phänologischen Beobachtungsnetz des DWD	
Räumliche Auflösung Flächenhaft, entsprechend dem phänologischen Beobachtungsnetz des DWD	NUTS 0
Geographische Abdeckung Deutschland	
Zeitliche Auflösung Jährliche Eintrittszeitpunkte; aktuellster 30-Jahreszeitraum im Vergleich zum Zeitraum 1951-1980	
Beschränkungen Der Blattfall wurde erst 1991 in das phänologische Beobachtungsprogramm des DWD aufgenommen; Eintrittsdaten zwischen 1951 und 1990 werden daher über die mittlere Differenz zwischen Blattfall und Blattverfärbung der betreffenden Pflanzenart aus dem Zeitraum 1991-2012 extrapoliert.	Machbarkeit Der Indikator ist auf der vorhandenen Datenbasis uneingeschränkt anwendbar.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung:	Mittel	Vor der Zusammenführung der Daten zur Darstellung des Indikators ist eine Aufbereitung in mehreren Schritten notwendig.
Erläuterung: Die erforderlichen phänologischen Daten werden vom DWD bereitgestellt. Die Qualitätskontrolle der ehrenamtlich erhobenen phänologischen Daten wird durch das Referat Nationale Klimaüberwachung übernommen. Der Aufwand für die Fortführung des Indikators wird als mittel eingeschätzt: Die jeweils aktuellen Jahresdaten müssen vom DWD abgerufen, aufbereitet und in das Datenblatt eingesetzt werden. Abschließend sind die Darstellungen anzupassen und die Statistik neu zu berechnen.		
Datenkosten		
Keine		
Zuständigkeit		
Bundesamt für Naturschutz (BfN)		
Erläuterung: Aufgrund der Vorarbeiten und der Kontakte zum DWD wird vorgeschlagen, die Fortschreibung des Indikators beim Bundesamt für Naturschutz (BfN) anzusiedeln.		

Aussage**Interpretationsvorschrift****a) Eintrittsdaten phänologischer Jahreszeiten:**

Je niedriger der Wert der Eintrittsdaten (Tage im Jahre), desto früher tritt eine phänologische Jahreszeit ein; ein negativer Zusammenhang mit der mittleren Temperatur in den drei der jeweiligen phänologischen Jahreszeit vorausgehenden Monaten zeigt eine temperaturbedingte Verfrühung des Eintritts an (derzeit bspw. beim Beginn des phänologischen Vorfrühlings der Fall), ein positiver Zusammenhang eine temperaturbedingte Verzögerung (derzeit bspw. beim Beginn des phänologischen Winters der Fall).

Dauer der Vegetationsperiode: Je höher der Indikatorwert, desto länger dauert die Vegetationsperiode.

b) Phänologische Uhr:

Die Phänologische Uhr trifft Aussagen zu drei verschiedenen Aspekten: (1) Je größer die in der Uhr gezeigten Indikatorwerte sind, desto länger dauern die betreffenden phänologischen Jahreszeiten. (2) Je weiter sich die Grenze zwischen zwei aufeinanderfolgenden phänologischen Jahreszeiten im Uhrzeigersinn verschiebt, desto später endet die erste und desto später beginnt die zweite dieser beiden phänologischen Jahreszeiten im Verlauf des Jahres. (3) Je größer die Abweichung der Lage der Grenzen zwischen zwei aufeinanderfolgenden phänologischen Jahreszeiten im Vergleich des aktuellen Zeitraums mit dem Referenzzeitraum ist, desto ausgeprägter ist die phänologische Veränderung zwischen den beiden miteinander verglichenen Zeiträumen.

Aussage

Die phänologischen Beobachtungen seit 1951 belegen einen verfrühten Eintritt der phänologischen Frühlingsjahreszeiten (Vorfrühling, Erstfrühling, Vollfrühling), der des Sommers (Frühsom-

mer, Hochsommer, Spätsommer) sowie des Frühherbstes; in den meisten Fällen unterscheiden sich die mittleren Eintrittsdaten zwischen den beiden 30jährigen Zeiträumen signifikant bis hochsignifikant. Voll- und Spätherbst und der Winter treten hingegen verspätet ein; signifikante Unterschiede zwischen den 30jährigen Zeiträumen ergaben sich beim Vollherbst und beim Winter. Der verfrühte phänologische Frühling im Zusammenspiel mit dem verspäteten phänologischen Winterbeginn bedingt eine deutliche Verlängerung der Vegetationsperiode. Der lineare Trend der Messwerte zeigt eine Verlängerung der Dauer der Vegetationsperiode um etwa 15 Tage auf zuletzt etwa 234 Tage im Zeitraum von 1951 bis 2012. Während der letzten 60 Jahre entspricht dies einer mittleren Verlängerung um ca. einen Tag im Zeitraum von vier Jahren. Während die Vegetationsperiode in den Jahren 1951 bis 1980 im Mittel lediglich 222 Tage dauerte, verlängerte sie sich im Durchschnitt der Jahre 1983 bis 2012 um 8 Tage auf 230 Tage. Die Höchstwerte wurden in den letzten 30 Jahren beobachtet (1990: 244 Tage, 1995: 242 Tage, 2007: 241 Tage) und in den vergangenen 15 Jahren dauerte die Vegetationsperiode stets mindestens 220 Tage. Diese Entwicklung steht in statistisch signifikantem Zusammenhang mit einem Anstieg der Lufttemperaturen in den dem Vorfrühling und dem Winter vorhergehenden drei Monaten.

Trend- und Statusanalyse

Zur Quantitativen Erfassung der phänologischen Veränderungen werden folgende statistische Tests durchgeführt:

- a) Die Dauer der Vegetationsperiode wird mittels linearer Regression mit zwei Einflussvariablen auf Zusammenhänge mit der Temperatur im jeweiligen Bezugsjahr untersucht. Herangezogen werden die Temperaturmittelwerte aus den drei Vormonate der beiden phänologischen Jahreszeiten, die Beginn und Ende der Vegetationsperiode bestimmen: der Beginn des Vorfrühlings (Blüte beim Huflattich) und der Beginn des Winters (Blattfall bei der Stieleiche).

Tab. 1: Zusammenhang zwischen der mittleren jährlichen Dauer der Vegetationsperiode und den mittleren Temperaturen (1) der Monate Dezember, Januar und Februar sowie (2) der Monate August, September und Oktober für die Jahre 1951 bis 2012 (Signifikanzwerte auf Grundlage des Mann-Whitney U-Tests) (s. dazu Abb. 2)

Dauer der Vegetationsperiode		
Differenz: mittlere ED Beginn Blattfall Stieleiche [#] - mittlere ED Beginn Blüte Huflattich		
N	62	
R ²	0,661	
Einflussfaktoren	(1) mittlere Temperatur Dez, Jan, Feb	(2) mittlere Temperatur Aug, Sep, Okt
B	3,948	4,231
SD	0,443	1,033
p	<0,001**	<0,001**

Legende	
N	Stichprobengröße
R ²	Bestimmtheitsmaß
B	Steigung der Regressionsgeraden
SD	Standardabweichung
p	Signifikanzwert
**	hochsignifikantes Ergebnis
#	Blattfall 1951-1990 extrapoliert

b) Die Eintrittsdaten jeder phänologischen Jahreszeit werden auf Unterschiede zwischen den Zeiträumen 1951-1980 und 1983-2012 untersucht (Mann-Whitney U-Test).

Tab. 2: Unterschiede der mittleren jährlichen Eintrittsdaten zehn phänologischer Jahreszeiten sowie der mittleren jährlichen Dauer der Vegetationsperiode zwischen den beiden 30-jährigen Zeiträumen 1951-1980 und 1983-2012 (Signifikanzwerte auf Grundlage des Mann-Whitney U-Tests) (s. dazu Abb. 3)

	Vorfrühling	Erstfrühling	Vollfrühling
	Huflattich - Beginn der Blüte	Buschwindröschen - Beginn der Blüte	Stieleiche - Beginn der Blühtentfaltung
mittleres ED 1951-1980	82,8	96,9	128,8
mittleres ED 1983-2012	78,1	91,8	121,8
p	0,079 ^(*)	0,017*	<0,001**

	Frühsommer	Hochsommer	Spätsommer
	Schwarzer Holunder - Beginn der Blüte	Sommerlinde - Beginn der Blüte	Eberesche - erste reife Früchte
mittleres ED 1951-1980	158,8	179,0	230,3
mittleres ED 1983-2012	149,9	171,8	218,4
p	<0,001**	<0,001**	<0,001**

	Frühherbst	Vollherbst	Spätherbst
	Schwarzer Holunder - erste reife Früchte	Hängebirke - Beginn Blattverfärbung	Rotbuche - Beginn Blattfall [#]
mittleres ED 1951-1980	248,0	277,5	299,8
mittleres ED 1983-2012	239,4	279,7	301,6
p	<0,001**	<0,009**	0,085 ^(*)

	Winter
	Stieleiche - Beginn Blattfall [#]
mittleres ED 1951-1980	304,8
mittleres ED 1983-2012	307,8
p	0,003**

	Vegetationsdauer
	ED Blattfall Stieleiche - ED Blüte Huflattich
mittlere Dauer 1951-1980	222,1
mittlere Dauer 1983-2012	229,7
p	0,004**

Legende	
ED	mittleres Eintrittsdatum aller phänologischer Stationen
p	Signifikanzwert
**	hochsignifikantes Ergebnis
*	signifikantes Ergebnis
(*)	n.s. trend
#	1951-1990 extrapoliert

Handlungsempfehlungen

Grundsätzlich ist aus dem bisherigen Indikatorverlauf abzuleiten, dass einer weiteren Verstärkung des Klimawandels entschieden entgegengewirkt werden sollte, um Auswirkungen auf die Phänologie von Wildpflanzen und damit auch auf andere Artengruppen, die mit den Pflanzen in synökologischen Beziehungen stehen, zu vermindern. Dabei sind insbesondere Mitigationsmaßnahmen zum Schutz des Klimas von Bedeutung.

Bewertung des Indikators

Stärken

Methodisch eignet sich der Indikator sehr gut für die Erfassung von direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität: Phänologische Veränderungen sind leicht zu beobachten, und das phänologische Beobachtungsprogramm des Deutschen Wetterdienstes (DWD) umfasst zahlreiche Zeigerpflanzen, für die seit 1951 bundesweite Zeitreihen vorliegen. Aufgrund der Länge der Zeitreihen und der jährlichen und tagesgenauen Erfassung der Daten eignen sich diese hervorragend für die Berechnung des hier vorgestellten Indikators.

Schwächen

Eingeschränkte politische Steuerbarkeit: Dieser Indikator beschreibt eine Entwicklung, die sich (kurz- und mittelfristigen sowie nationalen) Steuerungsmaßnahmen entzieht, also bestenfalls langfristig durch globales Handeln steuerbar ist.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Zur quantitativen Erfassung der Temperaturabhängigkeit phänologischer Veränderungen können die Eintrittsdaten jeder phänologischen Jahreszeit mittels Regressionsmodellen auf den Einfluss der Temperatur der drei vorhergehenden Monate untersucht werden. Die Steigung der Regressionsgeraden dient als Maß für die Temperatursensitivität der betreffenden Pflanzenart vor dem Eintritt der betreffenden phänologischen Jahreszeit. Aufgrund von zeitlicher Autokorrelation der Eintrittsdaten über die Jahre sind verallgemeinerte lineare gemischte Modelle die Regressionsmethode der Wahl. Für eine präzise Modellierung ist auf die jahresspezifischen mittleren Temperaturen innerhalb des 90-Tage-Zeitraums zurückzugreifen, der dem jährlich variierenden Eintrittsdatum jeder phänologischen Jahreszeit vorhergeht. Der DWD stellt keine bundesweiten tagesgenauen Temperaturmittelwerte zur Verfügung, so dass die benötigten Temperaturdaten über die Tagesmittelwerte der einzelnen Wetterstationen berechnet werden müssen; diese werden voraussichtlich ab Juli 2014 online abrufbar sein.

Graphische Darstellung

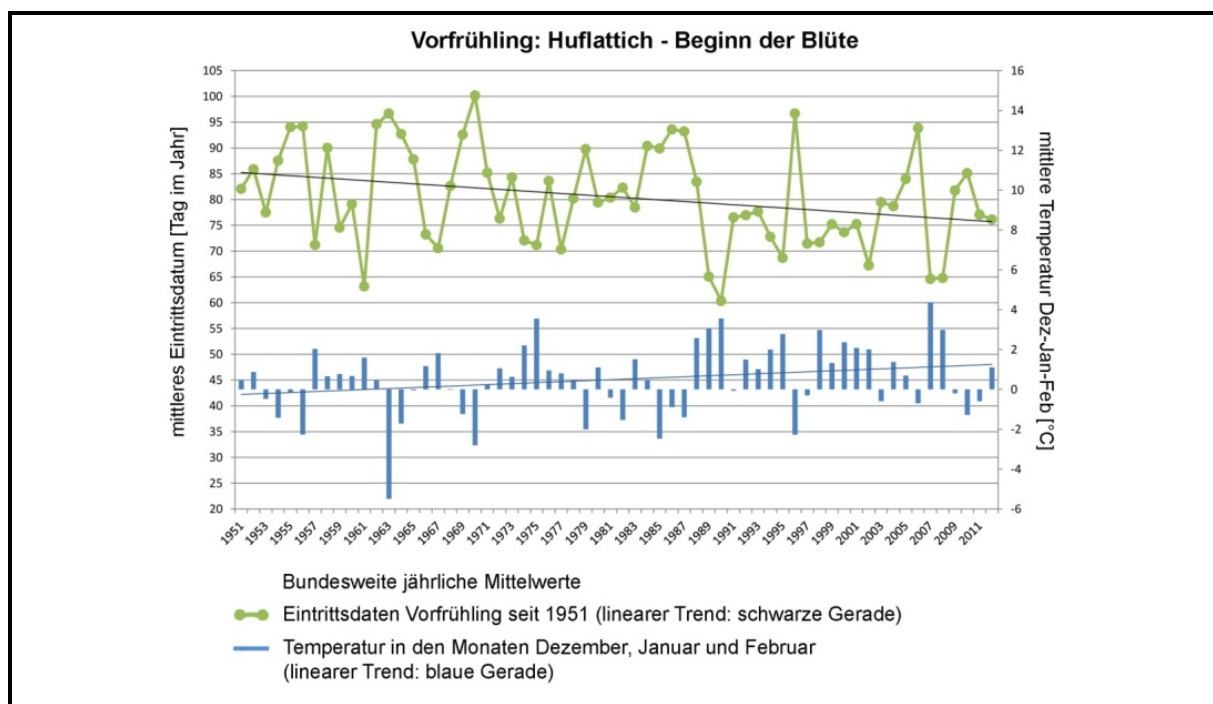


Abb. 1a: Jährlicher Beginn des phänologischen Vorfrühlings seit 1951 bis 2012 repräsentiert durch die bundesweiten mittleren Eintrittsdaten (Kalendertage) des Beginns der Blüte beim Huflattich (schwarze Gerade: linearer Trend) und bundesweite mittlere Temperaturen der drei Vormonate Dezember, Januar und Februar (blaue Gerade: linearer Trend), Datengrundlage: DWD

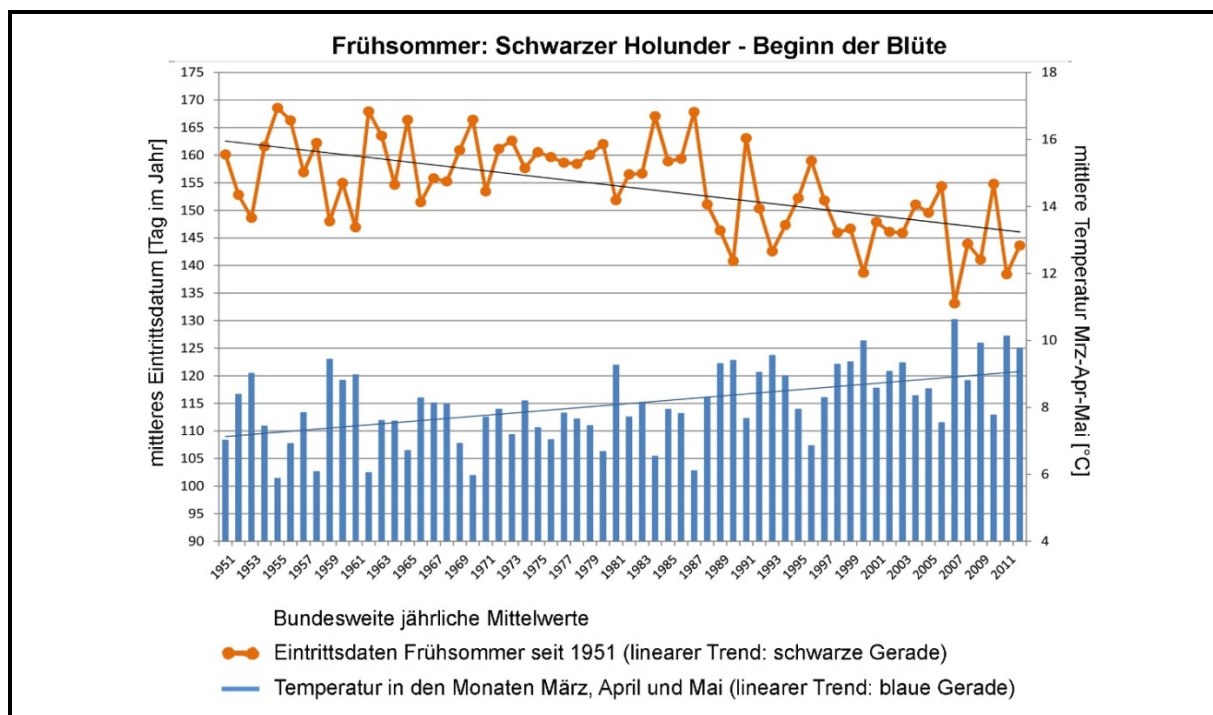


Abb. 1b: Jährlicher Beginn des phänologischen Frühlings seit 1951 bis 2012 repräsentiert durch die bundesweiten mittleren Eintrittsdaten (Kalendertage) des Beginns der Blüte beim Schwarzen Holunder (schwarze Gerade: linearer Trend) und bundesweite mittlere Temperaturen der drei Vormonate März, April und Mai (blaue Gerade: linearer Trend), Datengrundlage: DWD

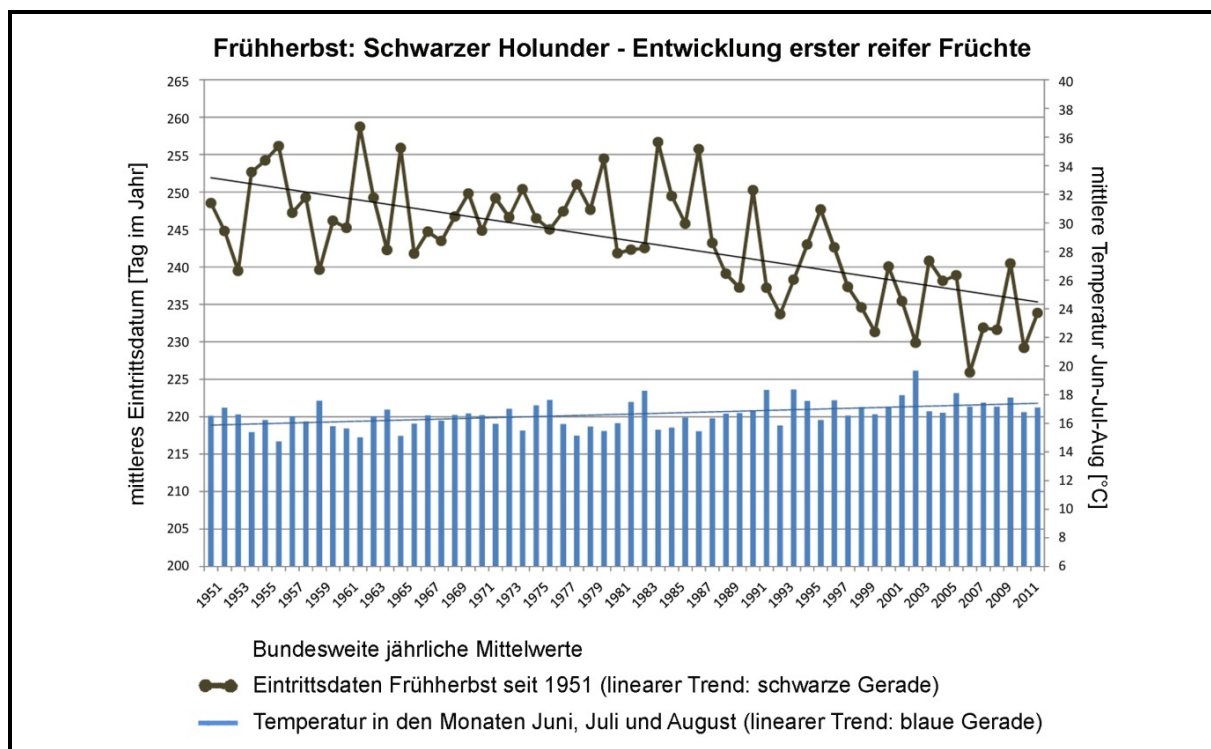


Abb. 1c: Jährlicher Beginn des phänologischen Frühherbstes seit 1951 bis 2012 repräsentiert durch die bundesweiten mittleren Eintrittsdaten (Kalendertage) der Entwicklung erster reifer Früchte beim Schwarzen Holunder (schwarze Gerade: linearer Trend) und bundesweite mittlere Temperaturen der drei Vormonate Juni, Juli und August (blaue Gerade: linearer Trend), Datengrundlage: DWD

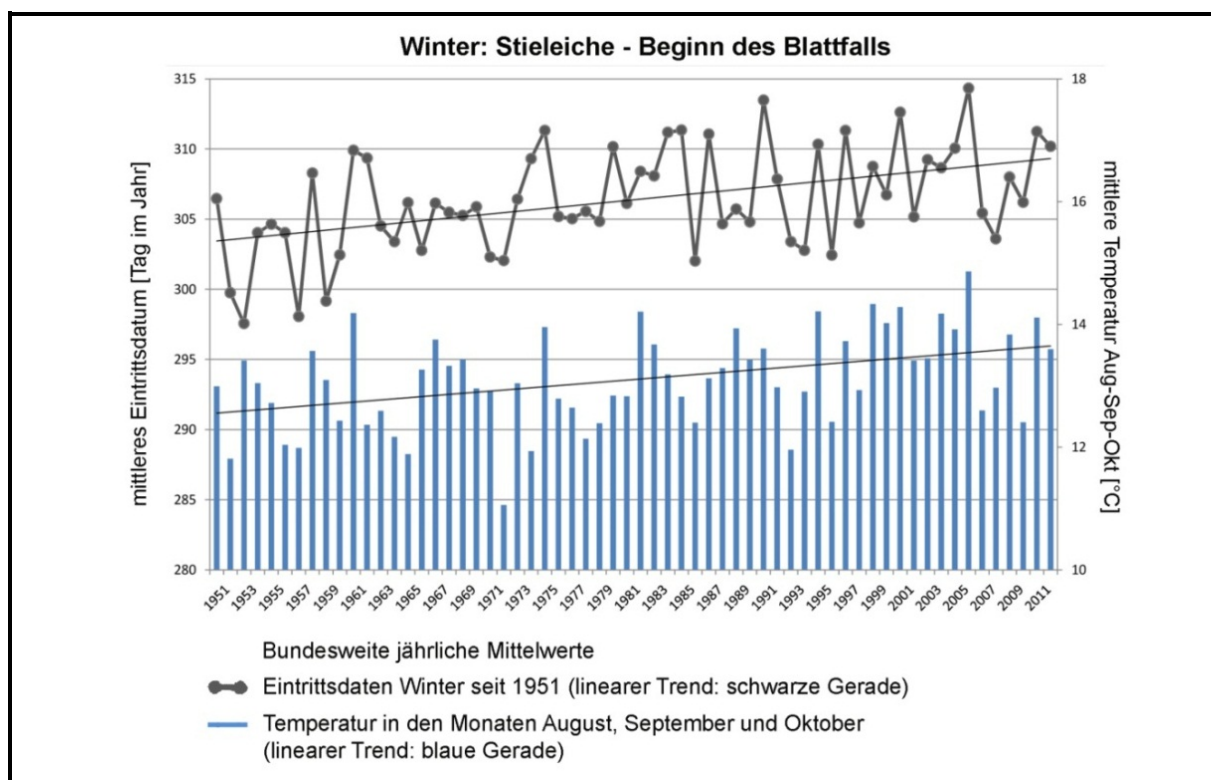


Abb. 1d: Jährlicher Beginn des phänologischen Winters seit 1951 bis 2012 repräsentiert durch die bundesweiten mittleren Eintrittsdaten (Kalendertage) des Beginns des Blattfalls bei der Stieleiche (schwarze Gerade: linearer Trend) und bundesweite mittlere Temperaturen der drei Vormonate August, September und Oktober (blaue Gerade: linearer Trend), Datengrundlage: DWD

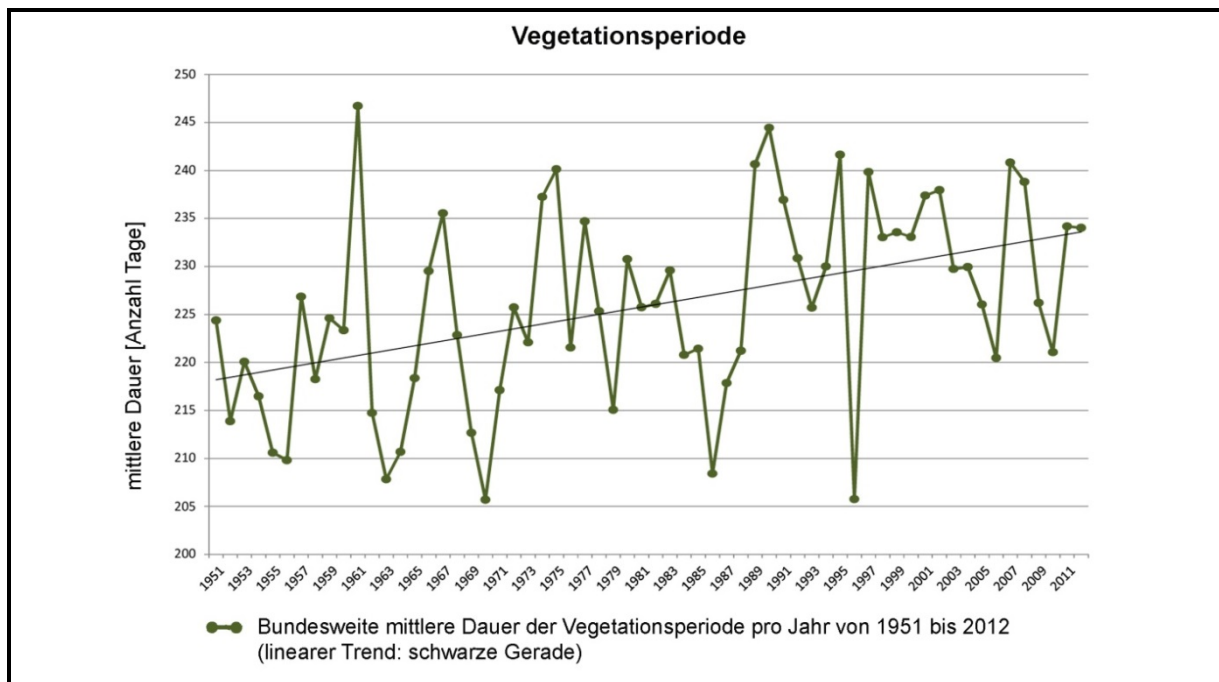


Abb. 2: Jährliche Dauer der Vegetationsperiode seit 1951 bis 2012 repräsentiert durch die Differenz aus den bundesweiten mittleren Eintrittsdaten (Kalendertage) des phänologischen Winters (Beginn des Blattfalls bei der Stieleiche) und des phänologischen Vorfrühlings (Beginn der Blüte beim Huflattich) (schwarze Gerade: linearer Trend), Datengrundlage: DWD

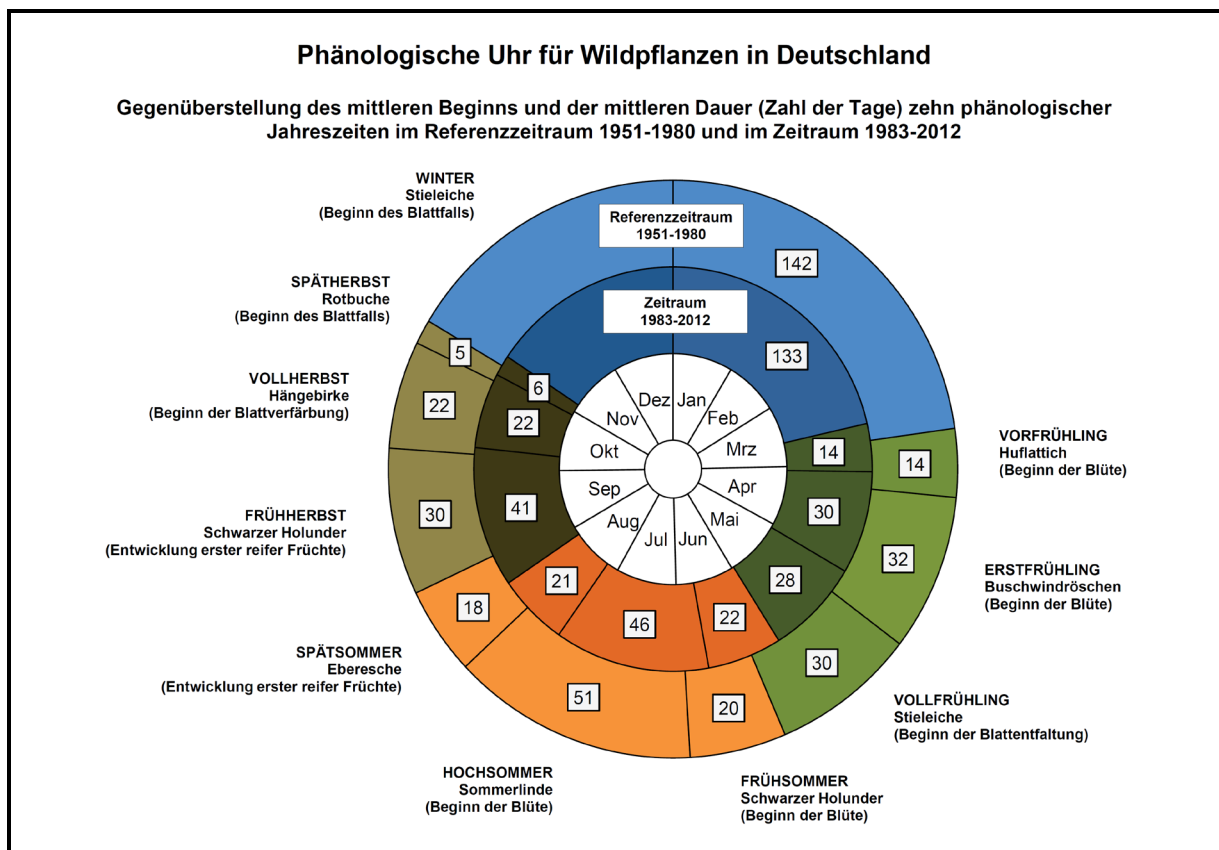


Abb. 3: Phänologische Uhr für Wildpflanzen in Deutschland: Gegenüberstellung der mittleren Eintrittsdaten (Kalendertage) und der mittleren Dauer (Zahl der Tage in den weißen Kästchen) zehn phänologischer Jahreszeiten im Referenzzeitraum 1951-1980 und im Zeitraum 1983-2012 (grün: Frühlingsphasen; orange: Sommerphasen; braun: Herbstphasen; blau: Winter), Datengrundlage: DWD

Glossar

Phänologie	Das Wort Phänologie ist dem Griechischen entlehnt und bedeutet Lehre von den Erscheinungen. In der modernen Biologie und Ökologie erfasst die Phänologie den jahreszeitlichen Entwicklungsgang von Pflanzen und Tieren, der neben endogenen Faktoren durch exogene Faktoren – insbesondere durch den Witterungsverlauf während des Jahres – gesteuert wird (DWD 2013).
Phänologische Phase	In der Phänologie unterscheidet man verschiedene phänologische Phasen, deren Beginn durch das Eintreten bestimmter Ereignisse in der Entwicklung ausgewählter Arten angezeigt wird. Eine solche phänologische Phase ist z. B. der Beginn der Blüte einer bestimmten Pflanzenart. Zur Bestimmung der phänologischen Phasen werden weitverbreitete Wild- und Nutzpflanzen in ihrem Entwicklungsgang im Verlauf des Jahres beobachtet. Der Beginn einer phänologischen Phase wird in einem größeren Gebiet an möglichst vielen Orten und Individuen beobachtet. Im Ergebnis kann der über das Gebiet gemittelte Eintrittstag im jeweiligen Kalenderjahr berechnet werden (DWD 2013).
Phänologische Leitphase	Der Beginn der phänologischen Jahreszeiten wird durch den Eintritt phänologischer Leitphasen bestimmt (DWD 2013). Grundsätzlich stehen für die Festlegung einer phänologischen Leitphase verschiedene phänologische Phasen zur Auswahl. So kann bspw. der Beginn des Erstfrühlings durch den Beginn der Blüte der Forsythie (<i>Forsythia suspensa</i>), den Beginn der Blüte des Buschwindröschens (<i>Anemone nemorosa</i>) oder den Beginn der Blattentfaltung der Stachelbeere (<i>Ribes uva-crispa</i>) angezeigt werden.
Phänologische Jahreszeiten	Das phänologische Jahr wird in 10 physiologisch-biologisch begründete phänologische Jahreszeiten eingeteilt, deren Beginn durch den Eintritt ausgewählter phänologischer Phasen (Leitphasen) bestimmt wird (DWD 2013). In den gemäßigten Breiten wiederholen sich die phänologischen Jahreszeiten in einem über die Jahre hinweg regelmäßig wiederkehrenden Ablauf, wobei sich der Beginn in den einzelnen Jahren zum Teil erheblich verfrühen oder verspäten kann. Außerdem können systematische Verschiebungen der Eintrittstermine über längere Zeiträume auftreten, die bspw. durch den Klimawandel verursacht werden.
Phänologische Uhr	Die Phänologische Uhr ist eine Darstellung des DWD, die die phänologischen Jahreszeiten – und somit den zeitlichen Vegetationsablauf, wie er im Mittel für ein bestimmtes Gebiet erwartet werden kann – beschreibt. Dabei wird jede phänologische Jahreszeit durch eine Leitphase eröffnet und endet mit dem Beginn der nächsten phänologischen Jahreszeit. Für die jeweilige phänologische Jahreszeit sind das mittlere Eintrittsdatum, das mittlere Ende (Beginn der folgenden phänologischen Jahreszeit minus einen Tag) sowie die mittlere Dauer der Phase in Tagen angegeben (DWD 2013).

Quellen und weiterführende Informationen

Ackermann, W., Schweiger, M., Sukopp, U., Fuchs, D., Sachteleben, J. (2013): Die Indikatoren zur biologischen Vielfalt. Entwicklung und Bilanzierung. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 132, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 229 S.

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2013): Gemeinsam für die biologische Vielfalt. Rechenschaftsbericht 2013 zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss: 194 S. Online, URL: www.bmu.de/N49866 [Zugriff: 24.06.2013].
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online, URL: www.bmub.bund.de/N47641/ [Zugriff: 03.02.2014].
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010): Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Eigenverlag, Berlin, 87 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Eigenverlag, Berlin, 178 S.
- Bundesregierung (Hg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online, URL: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php> [Zugriff: 12.11.2011].
- DWD – Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2013): Phänologie. Online Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienstes. Online, URL: <http://www.dwd.de/lexikon> [Zugriff: 03.02.2014].
- Estrella, N., Menzel, A. (2006): Responses of leaf colouring in four deciduous tree species to climate and weather in Germany. *Climate Research* 32: 253-267.
- Estrella, N., Sparks, T. H., Menzel, A. (2007): Trends and temperature response in the phenology of crops in Germany. *Global Change Biology* 13: 1737-1747.
- Estrella, N., Sparks, T. H., Menzel, A. (2009): Effects of temperature, phase type and timing, location, and human density on plant phenological responses in Europe. *Climate Research* 39: 235-248.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2010): Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Wetter und Klima. ID Umweltbeobachtung U96-U51-N10. Online, URL: <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de> [Zugriff: 27.06.2013].
- Menzel, A. (2007): Phänologische Modelle. *promet / Meteorologische Fortbildung*, (33) 1/2: 20-27.
- Menzel, A., Estrella, N., Testka, A. (2005): Temperature response rates from long-term phenological records. *Climate Research* 30: 21-28.
- Menzel, A., Estrella, N., Fabian, P. (2001): Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. *Global Change Biology* 7: 657-666.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å., Defila, C., Donnelly, A., Filella, I., Jatczak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuela, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheinfinger, H., Striž, M., Susnik, A., Van Vliet, A. J. H., Wiegolaski, F.-E., Zach, S., Züst, A. (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12: 1969-1976.
- Parmesan, C., Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Randalls, S. (2010): History of the 2 °C Climate Target. *WIREs Climate Change* 1 (2010) 4: 598–605.
- Root, T. L., Hughes, L. (2005): Present and Future Phenological Changes in Wild Plants and Animals. In: Lovejoy, T. E., Hannah, L. (Hg.): *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press. New Haven, Conn., 418 S.
- Sparks, T. H., Menzel, A. (2002): Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology* 22: 1715-1725.

6.2 Temperaturindex häufiger Brutvogelarten

Indikator-Kennziffer I.2.1	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter: Sven Trautmann, Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V., Sven Trautmann, Tel.: 0251/21014014, trautmann@dda-web.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2015
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Der Temperaturindex häufiger Brutvogelarten basiert auf dem Community Temperature Index (CTI) für Vögel (Devictor et al. 2008). Für die Anwendung in Deutschland wurde der Temperaturindex modifiziert. Die Berechnung für Vogelarten aus Deutschland erfolgt hier erstmalig.	

Einordnung

Indikationsfeld Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset -	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Der Temperaturindex summiert die artspezifischen auf das europäische Verbreitungsgebiet bezogenen Temperaturnischen von in Deutschland vorkommenden häufigen Brutvogelarten unter Berücksichtigung der Veränderungen der relativen Häufigkeiten dieser Arten in Deutschland in Bezug zu einem Referenzjahr.	Einheit [°C]
Berechnungsvorschrift 1. Berechnung der europäischen Temperaturnische der Vogelarten (STI = Species Temperature Index) Mittelwert der Durchschnittstemperatur zwischen März und August („Brutzeit“) im Zeitraum 1961-	

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

1990 (= Referenzperiode) über alle (~ 50 km x 50 km) UTM-Gitterzellen in Europa, in denen eine Art laut EBCC-Atlas der europäischen Brutvögel (Hagemeijer und Blair 1997) als Brutvogel vorkommt.

Für eine Art i mit Vorkommen M in den Zellen j wird aus den Durchschnittstemperaturen zwischen März und August $TMP_{\text{MärzAug}}$ der Species Temperature Index STI der Art i errechnet:

$$STI_i = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} TMP_{\text{MärzAug } j}}{M_i}$$

2. Berechnung des Temperaturindex der Vogelartengemeinschaft

Der Temperaturindex häufiger Brutvogelarten ist die Summe aller STI-Werte der im zu betrachtenden Raum vorkommenden Vogelarten (bzw. Auswahl von Vogelarten, für die die vorliegenden Berechnungen durchgeführt wurden) gewichtet nach dem Abundanz-Index m_ind einer Art i im Jahr t in Relation zur Summe der Abundanz-Indizes aller eingehenden Arten:

$$CTI_t = \sum_{i=1}^N \left(STI_i \cdot \frac{m_ind_{it}}{\sum_{i=1}^N m_ind_{it}} \right)$$

Im Gegensatz zum ursprünglichen Ansatz von Devictor et al. (2008) werden hier bei der Berechnung Abundanz-Indizes verwendet, wie sie mit Hilfe logistischer Regressionsmodelle auch für Standardauswertungen des Monitorings häufiger Brutvögel verwendet werden. Diese Abundanz-Indizes ersetzen Zählraten bzw. relative Häufigkeiten (basierend auf den Rohdaten der Erfassungen einzelner Monitoringflächen), die im Ansatz von Devictor et al. (2008) verwendet wurden. Die absoluten Bestandsgrößen einzelner Arten werden dabei nicht berücksichtigt. Die Veränderungen der Abundanz-Indizes werden damit für häufige und für seltene Vogelarten theoretisch gleich gewichtet. Um zu vermeiden, dass starke relative Veränderungen der Abundanz-Indizes sehr seltener Arten das Ergebnis beeinflussen können, wurden bei der Berechnung nur häufige Brutvogelarten berücksichtigt.

Die Berechnung des Trends erfolgt mit Hilfe von generalized estimation equations, wie sie auch im Rahmen der Auswertungen des Monitorings häufiger Brutvögel berechnet werden. Die Bestands-Indexwerte des Monitoringprogramms häufiger Vogelarten (1990-2010) und des Monitorings häufiger Brutvögel (2005-2011) wurden innerhalb des Überlappungszeitraumes beider Programme 2005-2010 miteinander kombiniert.

Die Aktualisierung des Indikators sollte jährlich erfolgen. Um den Einfluss kurzfristiger Populationschwankungen zu minimieren, wird die Bewertung des Trends an der Entwicklung des gleitenden 5-Jahresmittelwerts vorgenommen, wobei sich der angegebene Mittelwert auf das genannte Jahr und die jeweils vier vorangegangenen Jahre bezieht.

Begründung

Vögel sind als Indikatoren für die Auswirkungen vieler Umwelteinflüsse allgemein anerkannt. Seit langem werden Vogelaten auf nationaler (z. B. Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“, Achtziger et al. 2004; Indikator „Gefährdete Arten“, in den u. a. auch die Daten der Roten Liste der Brutvögel Deutschlands einfließen, Südbeck et al. 2007, 2009, BMU 2010) und auf internationaler Ebene (z. B. *Climate Impact Indicator*, Gregory et al. 2009, s. a. EEA 2009; *Wild Bird Indicators* des europäischen Brutvogelmonitorings, Klvaňová et al. 2009) für die Berechnung von Indi-

katoren in verschiedenen Anwendungsbereichen verwendet. Ihre besondere Eignung und Einsatzmöglichkeiten als Indikatoren wurden in wissenschaftlichen Publikationen beschrieben (u. a. Gregory et al. 2005).

Argumente für die Verwendung von Vögeln als Bioindikatoren schließen die vergleichsweise einfache, mit vertretbarem (personellem und finanziellem) Aufwand langfristig standardisiert durchführbare Erfassung und die sehr breite zur Verfügung stehende Datenbasis ein. Das Vorkommen in allen Hauptlebensraumtypen der Landschaft, die relative Stabilität der natürlichen Populationsentwicklungen (im Gegensatz zu sehr starken kurzfristigen Häufigkeitsschwankungen vieler Arten bspw. der Wirbellosen), aber auch die Empfindlichkeit gegenüber Störeinflüssen machen Vögel zu geeigneten Indikatoren für Veränderungen von Lebensräumen. Diese Veränderungen führen bei vielen Vogelarten zu steigenden oder fallenden Bestandsgrößen, die im Kurvenverlauf entsprechender Indikatoren direkt abgebildet werden können. Da neben Vögeln auch viele andere Arten bspw. auf Temperaturänderungen empfindlich reagieren, bildet der Indikator indirekt auch die Entwicklung zahlreicher weiterer Arten in der Landschaft ab. Zuletzt sollte auch die hohe Wertschätzung erwähnt werden, die viele Menschen der Gruppe der Vögel mit vielen bekannten und beliebten Arten entgegenbringen.

Auch als Indikatoren für die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt sind Vögel geeignet. Untersuchungen belegen, dass Vögel auf Klimaveränderungen sensibel reagieren. Dies zeigt sich z. B. bei klimatisch bedingten Veränderungen im Bereich der Phänologie der Vögel (Zugzeiten, Brutbiologie; Both und Visser 2001, 2004, Hüppop und Hüppop 2003, Hüppop et al. 2008, van Buskirk et al. 2009), im Zugverhalten (Zugwege, Zugdistanzen; Rolshausen et al. 2010, Visser et al. 2009), bei biotischen Interaktionen (Konkurrenz, Parabiose, Mutualismus; Ahola et al. 2007, Heikkinen et al. 2007), in den Strukturen von Artengemeinschaften (ökologische Ebene, genetische Ebene; Lemoine et al. 2007, Pulido und Berthold 2004) sowie bei der Häufigkeit und Verbreitung von Arten (Both et al. 2010, Brommer et al. 2012, Hüppop et al. 2008, Möller et al. 2008, Thomas und Lennon 2001).

Auf europäischer Ebene wurde zudem bereits die Eignung von Vögeln als Indikatoren für Klimawandelauswirkungen positiv getestet (Devictor et al. 2008, Gregory et al. 2009). Im Rahmen des SEBI-2010-Prozesses wird der hier vorgestellte Indikator als *Community Temperature Index* für Schmetterlinge bereits berichtet (EEA 2009). Auf Deutschland lässt sich der Indikator aufgrund seiner einfachen räumlichen Skalierbarkeit problemlos übertragen.

Bei Verwendung von 88 häufigen Brutvogelarten ergibt sich ein signifikant positiver Indikatorverlauf (s. Abb. 1). Dieses Ergebnis ist bei Verwendung eines deutlich kleineren Artensets nicht reproduzierbar. Es empfiehlt sich daher, möglichst viele Arten mit einer großen Bandbreite an klimatischen einzubeziehen, um auf einer belastbaren Datenbasis zu robusten und verallgemeinerbaren Aussagen zu kommen.

Durch die Verwendung von Indexdaten für ganz Deutschland erfolgt die Berechnung direkt auf nationaler Ebene und nicht durch das Verrechnen der Werte einzelner Monitoring-Probeflächen.

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), Kapitel 3.2.5: „Im Sinne einer integrierten Herangehensweise sollten Bund und Länder integrative Maßnahmen prüfen und ergreifen, die Synergien zwischen Naturschutz, Klimaschutz und Anpassung nutzen und die Biodiversität erhalten.“ (BMU 2008: 26).
- Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS), Kapitel B 3.2: „Unsere Vision für die Zukunft ist: Der Anstieg der mittleren globalen Erwärmung ist auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland (z. B. Verschiebung der Vegetationszonen, Veränderung des Vogelzugverhaltens, Gefährdung kälteliebender Arten) sind abgepuffert bzw. minimiert.“ (BMU 2007)

Datengrundlage

Datenquelle Bestandsindizes von 88 häufigen Brutvogelarten (Artenauswahl s. Tab. 1 im Anhang) mit Basisjahr 2006: Daten aus dem Monitoringprogramm häufiger Vogelarten (1990-2010) und dem Monitoring häufiger Brutvögel (jährlich fortlaufend seit 2005), kombiniert für den Zeitraum 2005-2010 (Sudfeldt et al. 2012). STI-Werte: EBCC Atlas of European Breeding Birds (Hagemeijer und Blair 1997) für die Verbreitungsdaten, www.worldclim.org (Hijmans et al. 2005) für die Klimadaten; unveränderte Übernahme der STI-Werte aus Devictor et al. (2008)	
Räumliche Auflösung Flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung Ganz Deutschland	
Zeitliche Auflösung Jährlich	
Beschränkungen Keine	Machbarkeit Der Indikator ist vollständig berechnet.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung:	Mittel	Eigene, einfachere Berechnungen („Nebenrechnungen“) notwendig
Erläuterung: Für die Berechnung des Indikators müssen Bestandsindexwerte bestimmt, fachlich geprüft und miteinander verrechnet sowie die Änderungen zu den klimatischen Entwicklungen in Bezug gesetzt und interpretiert werden. Aufwand: ca. 5 Arbeitstage.		
Datenkosten Der DDA möchte prinzipiell für die Datenauswertung und -qualitätssicherung verantwortlich zeichnen, allerdings ist zu klären, ob der entstehende Mehraufwand im Rahmen der bestehenden Verwaltungsvereinbarung zum Vogelmonitoring leistbar ist oder zusätzlicher Mittel bedarf.		
Zuständigkeit Bundesamt für Naturschutz (Neuvorschlag)		
Anmerkung Es ist zu prüfen, in welchem Umfang der Indikator mit beobachteten Klimaveränderungen korreliert und ob es Korrelationen auch mit anderen Faktoren (z. B. Landnutzungsänderungen) gibt.		

Aussage

Interpretationsvorschrift Eine langfristige Zunahme des Indikatorwertes bedeutet einen wachsenden Einfluss einer durch den Klimawandel bedingten Erwärmung auf die Verbreitung und Abundanz häufiger Vogelarten,
--

da steigende Temperaturen die relativen Häufigkeiten von Vogelarten mit unterschiedlichen Temperaturpräferenzen gegeneinander verschieben. Der Indikatorwert nimmt zu, wenn wärmeliebende Arten relativ gesehen häufiger werden bzw. kälteliebende Arten relativ gesehen seltener werden. Der Indikatorwert fällt hingegen, wenn umgekehrt kälteliebende Arten relativ gesehen häufiger werden bzw. wärmeliebende Arten relativ gesehen seltener werden. Je stärker sich der Indikatorwert langfristig verändert, desto stärker ist der Einfluss des Klimawandels auf die betrachtete Gruppe der Vögel. Wenn jedoch die relative Zunahme einiger Arten mit hohem STI gleich groß wäre wie die relative Zunahme einiger Arten mit niedrigem STI, so bliebe der Wert des Temperaturindex insgesamt unverändert.

Trend- und Statusanalyse

- a) Der Indikator nimmt im Betrachtungszeitraum 1990-2011 unter Verwendung eines Artensets von 88 Arten hochsignifikant zu (Abb. 1).
- b) Der Indikator liegt im Jahr 2011 bei einem verwendeten Artenset von 88 häufigen Vogelarten und mit den kombinierten Daten des Monitoringprogramms häufiger Vogelarten (1990-2010) und des Monitorings häufiger Brutvögel (2005-2011) im Bezugsraum Deutschland bei einem Wert von 12,33 °C. Er liegt damit höher als die tatsächliche Jahresmitteltemperatur der Luft von 9,64 °C in Deutschland im Jahr 2011. Dies weist darauf hin, dass in Deutschland viele Vogelarten vorkommen, die insgesamt einen südlicheren Verbreitungsschwerpunkt haben.

Handlungsempfehlungen

Die Differenzierung nach Lebensräumen kann dabei helfen, Maßnahmen zur Schadensvermeidung bzw. -begrenzung zielgerichtet anzusetzen. Um das Ziel eines gleichbleibenden Indikatorwertes verwirklichen zu können, müssen Maßnahmen zur Vermeidung oder Minderung von Auswirkungen des Klimawandels definiert werden. Klimaschutzmaßnahmen sind zur Begrenzung der Effekte von Bedeutung, ebenso Schutzmaßnahmen für Einzelarten sowie die räumliche Vernetzung von Schutzgebieten oder die Erhöhung der Durchlässigkeit der Landschaftsmatrix für Arealverschiebungen von Arten.

Bewertung des Indikators

Stärken

Der Temperaturindex erlaubt das Erkennen von Effekten für große Gruppen von Vogelarten, nicht nur für ausgewählte Arten, bei deren Auswahl bereits Annahmen zu gerichteten Reaktionen auf den Klimawandel einfließen (z. B. für Arten, von denen bekannt ist oder zumindest angenommen wird, dass sie positiv oder negativ durch den Klimawandel beeinflusst werden). Zur Messung eines Klimawandeleffektes auf Artengruppen sollten möglichst viele Arten mit belastbarer Datenbasis herangezogen werden (z. B. auch Daten zu mittelhäufigen Brutvogelarten).

Der Ansatz lässt sich bei Verwendung relativer Häufigkeiten einfach skalieren und damit europaweit, national oder auch auf kleineren räumlichen Skalen (z. B. für einzelne Bundesländer) verwenden, sofern auf diesen Skalen belastbare Trenddaten vorliegen. Auf Skalenebenen, für die keine belastbaren Trenddaten vorliegen, kann der Indikator basierend auf dem ursprünglichen Ansatz von Devictor et al. (2008) mit Abundanz- anstatt Indexdaten berechnet werden. Die Verwendung des Indikators für kleine geographische Räume sollte allerdings immer auf Sinnhaftigkeit geprüft werden.

Die Berechnungsweise ist sehr einfach und erfordert keine Artverbreitungsmodelle, sondern lediglich Kenntnisse über die europäische Brutverbreitung der zu betrachtenden Arten sowie über Faktoren, die diese beeinflussen.

Der Ansatz ist potenziell auch nutzbar, um eine mögliche Pufferwirkung von Schutzgebieten gegen Klimawandelauswirkungen über den Vergleich des Temperaturindex innerhalb und außer-

halb von Schutzgebieten messen zu können.

Schwächen

Nach starken Verschiebungen der Verbreitungsgebiete von Indikatorarten müssten die STI-Werte für den Index für eine neue Referenzperiode neu berechnet werden, um mögliche Verschiebungen der klimatischen Nische einzelner Arten berücksichtigen zu können.

Der Kurvenverlauf des Indikators reagiert in einzelnen Jahren unter Umständen sehr deutlich auf kurzfristige witterungsbedingte Effekte. Dies kann die Interpretation der Indikatoraussage ggf. erschweren. Um dies zu vermeiden und die Aussage des Indikators stärker auf langfristige durch den Klimawandel bedingte Effekte auszurichten, wird zur Trendanalyse der gleitende 5-Jahresmittelwert verwendet.

Welchen Anteil andere Faktoren wie zum Beispiel der Landnutzungswandel neben dem Klimawandel an den Änderungen haben, bedarf einer gesonderten Analyse.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Um den Zusammenhang zwischen den Verschiebungen der Häufigkeiten der Indikatorarten und dem Klimawandel zu überprüfen, sollten die Ergebnisse in Beziehung zu einem Parameter für den Klimawandel gesetzt werden (z. B. die Temperatur) und der Zusammenhang sollte mit statistischen Methoden auf Signifikanz getestet werden.

Zur Unterscheidung positiver und negativer Klimawandelauswirkungen könnten Teilindikatoren entwickelt werden, die auf einer Klassifizierung der Vogelarten als wärme- bzw. kälteliebende Arten basieren.

Der Ausschluss von Landnutzungseffekten könnte beispielsweise mit Hilfe eines ähnlichen Index zur Habitatspezialisierung von Vogelarten gewährleistet werden (s. a. Kampichler et al. 2012). Ein solcher Index könnte als Korrektur- oder Gewichtungsfaktor in den Temperaturindex einfließen.

Des Weiteren könnte der Temperaturindex fachlich abgesichert werden, indem man ihn für Arten unterschiedlicher Lebensweise, beispielsweise verschiedener Zugmodi berechnet. So könnte gezeigt werden, ob der Temperaturindex in seinem Verlauf robust ist oder sich abhängig von bestimmten Arteigenschaften unterscheidet.

Graphische Darstellung

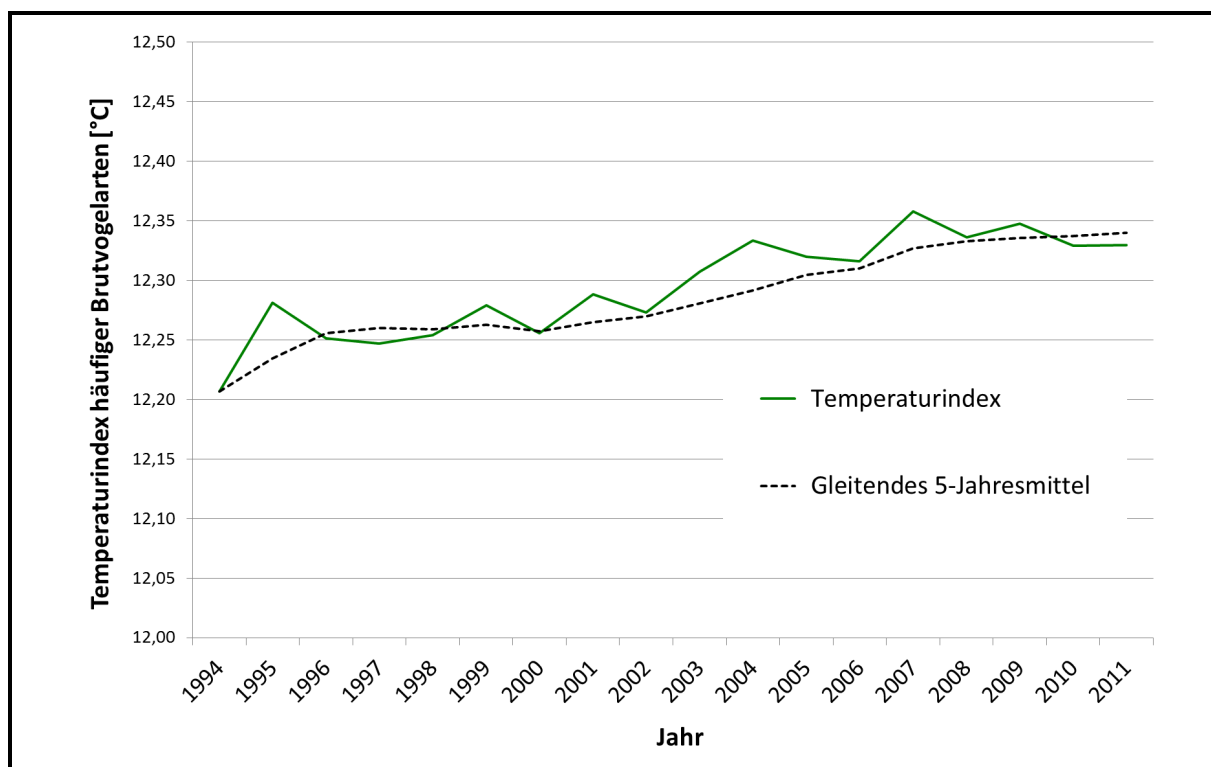


Abb. 1: Verlauf des Temperaturindexes für 88 in Deutschland vorkommende häufige Brutvogelarten (grüne Linie) und des gleitenden 5-Jahresmittels (gestrichelte Linie)

Glossar

Abundanz-Index	Jährlicher Index der Häufigkeit von Vogelarten, berechnet mit Hilfe von generalized estimation equation models im Programm TRIM. Die Berechnung erfolgt wie bei den Auswertungen des Monitorings häufiger Brutvögel. Die Bestands-Indexwerte des Monitoringprogramms häufiger Vogelarten (1990-2010) und des Monitorings häufiger Brutvögel (2005-2011) wurden innerhalb des Überlappszeitraumes beider Programme 2005-2010 miteinander kombiniert.
Community Temperature Index (CTI)	Der CTI beschreibt die durchschnittliche Temperaturnische einer Artengemeinschaft in einem definierten Raum auf Grundlage der STI (Species Temperature Index) der Arten dieser Artengemeinschaft gewichtet mit der Häufigkeit der einzelnen Arten.
Generalized Estimation Equation Model	Log-lineares Regressionsmodell, das Lücken in Zählreihen interpoliert
MhV	Monitoringprogramm häufiger Vogelarten (1990-2010): Ehrenamtliches Monitoringprogramm mit zufälliger Routenauswahl, entlang derer Punkt-Stopp-Zählungen durchgeführt wurden (s. Sudfeldt et al. 2012).

MhB	Monitoring häufiger Brutvögel (seit 2005): Ehrenamtliches Monitoringprogramm mit stratifiziert zufälliger Auswahl 1 km ² großer Probeflächen, auf denen entlang von Wegen Linientranssektzählungen durchgeführt werden (s. Sudfeldt et al. 2012).
Species Temperature Index (STI)	Der STI beschreibt die Temperaturnische (Devictor et al. 2008) einer Vogelart als das Temperaturmittel, das in den Monaten März bis August im europäischen Brutverbreitungsgebiet dieser Art herrscht.

Quellen und weiterführende Informationen

- Achtziger, R., Stickroth, H., Zieschank, R. (2004): Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt – ein Indikator für den Zustand von Natur und Landschaft in Deutschland. *Angewandte Landschaftsökologie* 62.
- Ahola, M. P., Laaksonen, T., Eeva, T., Lehikoinen, E. (2007): Climate change can alter competitive relationships between resident and migratory birds. *Journal of Animal Ecology* 76: 1045-1052.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010): Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin, 87 S.
- Both, C., Visser, M. E. (2001): Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature* 411: 296-298.
- Both, C., Artemyev, A. V., Blaauw, B., Cowie, R. J., Dekhuijzen, A. J., Eeva, T., Enemar, A., Gustafsson, L., Ivankina, E. V., Järvinen, A., Metcalfe, N. B., Nyholm, N. E. I., Potti, J., Ravussin, P.-A., Sanz, J. J., Silverin, B., Slater, F. M., Sokolov, L. V., Török, J., Winkel, W., Wright, J., Zang, H., Visser, M. E. (2004): Large-Scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings Royal Society London B* 271: 1657-1662.
- Both, C., van Turnhout, C. A. M., Bijlsma, R. G., Siepel, H., van Strien, A. J., Foppen, R. P. B. (2010): Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. *Proceedings Royal Society London B* 277: 1259-1266.
- Brommer, J. E., Lehikoinen, A., Valkama, J. (2012): The Breeding Ranges of Central European and Arctic bird species move poleward. *PLoS One* 7(9): e43648.
- Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., Jiguet, F. (2008): Birds are tracking climate warming, but not fast enough. *Proceedings Royal Society London B* 275: 2743-2748.
- EEA – European Environment Agency (2009): Progress towards the European 2010 biodiversity target – indicator fact sheets. EEA Technical report No 5/2009, Kopenhagen, 78 S.
- Gregory, R. D., van Strien, A. J., Vorisek, P., Gmelig-Meyling, A. W., Noble, D., Foppen, R. P. B., Gibbons, D. W. (2005): Developing indicators for European birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 360: 269-288.
- Gregory, R. D., Willis, S. G., Jiguet, F., Vorisek, P., Klvanova, A., van Strien, A. J., Huntley, B., Collingham, Y. C., Couvet, D., Green, R. E. (2009): An indicator of the impact of climatic change on European breeding birds. *PLoS One* 4(3): e4678.
- Hagemeijer, E. J. M., Blair, M. J. (Hg.) (1997): The EBCC Atlas of European Breeding Birds: their distribution and abundance. T & A. D. Poyser, London, 960 S.
- Heikkinen, R. K., Luoto, M., Virkkala, R., Pearson, R. G., Körber, J.-H. (2007): Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography* 16: 754-763.

- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A. (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hüppop, O., Hüppop, K. (2003): North Atlantic Oscillation and the timing of spring migration in birds. *Proceedings of the Royal Society London B* 270: 233-240.
- Hüppop, K., Hüppop, O., Bairlein, F. (2008): Veränderungen von Zugzeiten. *Falke* 55: 294-299.
- Klvanova, A., Vorisek, P., Gregory, R. D., van Strien, A. J., Gmelig-Meyling, A. (2009): Wild birds as indicators in Europe: latest results from the Pan-European Common Bird Monitoring Scheme (PECBMS). *Avocetta* 33: 7-12.
- Lemoine, N., Bauer, H. G., Peintinger, M., Boehning-Gaese, K. (2007): Effects of climate and land-use change on species abundance in a central European bird community. *Conservation Biology* 21: 495-503.
- Möller, A. P., Rubolini, D., Lehikoinen, E. (2008): Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *PNAS* 105: 16195-16200.
- Rolshausen, G., Hobson, K. A., Schäfer, H. M. (2010): Spring arrival along a migratory divide of sympatric blackcaps (*Sylvia atricapilla*). *Oecologia* 162: 175-183.
- Pulido, F., Berthold, P. (2004): Microevolutionary response to climatic change. *Advances in Ecological Research* 35: 151-183.
- Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen (2013): Klimafolgenmonitoring in Sachsen. Indikatoren zur Beobachtung von Klimafolgen. Internet: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/Sammelmappe2.pdf> [Zugriff: 16.09.2013]
- Sudfeldt, C., Dröschmeister, R., Wahl, J., Berlin, K., Gottschalk, T., Grüneberg, C., Mitschke, A., Trautmann, S. (2012): Vogelmonitoring in Deutschland – Programme und Anwendungen. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 119, Bonn. 257 S.
- Südbeck, P., Bauer, H.-G., Boschert, M., Boye, P., Knief, W. (2007): Rote Liste der Brutvögel Deutschlands. 4. Fassung, 30. November 2007. *Berichte zum Vogelschutz* 44: 23-81.
- Südbeck, P., Bauer, H.-G., Boschert, M., Boye, P., Knief, W. (2009): Rote Liste und Gesamtartenliste der Brutvögel (Aves) Deutschlands. 4. Fassung, Stand 30. November 2007. In: Haupt, H., Ludwig, G., Gruttker, H., Binot-Hafke, M., Otto, C., Pauly, A. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 1: Wirbeltiere. Münster (Landwirtschaftsverlag). *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70(1): 159-227.
- Thomas, C. D., Lennon, J. J. (1999): Birds extend their ranges northwards. *Nature* 399: 213.
- van Buskirk, J., Mulvihill, R. S., Leberman, R. C. (2009): Variable shifts in spring and autumn migration phenology in North American songbirds associated with climate change. *Global Change Biology* 15: 760-771.
- van Swaay, C. A. M., van Strien, A. J., Julliard, R., Schweiger, O., Brereton, T., Heliölä, J., Kuussaari, M., Roy, D., Stefanescu, C., Warren, M. S., Settele, J. (2008): Developing a methodology for a European Butterfly Climate Change Indicator. Report VS2008.040, De Vlinderstichting, Wageningen.
- van Swaay, C. A. M., Harpke, A., van Strien, A., Fontaine, B., Stefanescu, C., Roy, D., Maes, D., Kühn, E., Önap, E., Regan, E., Švitra, G., Heliölä, J., Settele, J., Musche, M., Warren, M. S., Plattner, M., Kuussaari, M., Cornish, N., Schweiger, O., Feldmann, R., Julliard, R., Verovnik, R., Roth, T., Brereton, T., Devictor, V. (2010): The impact of climate change on butterfly communities 1990-2009. De Vlinderstichting, Wageningen.
- Wiemers, M., Winter, M., Musche, M. (2012): Naturschutzfachliches Monitoring "Klimawandel und Biodiversität" – Weiterentwicklung der Konzeption und Auswertung ausgewählter vorhandener Daten. 2. Zwischenbericht. Unveröffentlichter Projektbericht.

Visser, M. E., Perdeck, A. C., van Balen, J. H., Both, C. (2009): Climate Change leads to decreasing migration distances. *Global Change Biology* 15: 1859-1865.

Vorisek, P., Klvanova, A., Wotton, S., Gregory, R. D. (Hg.) (2008): A best practice guide for wild bird monitoring schemes. CSO/RSPB. 150 S.

Anhang

Artenauswahl

Für die verwendeten Artensets wurden 88 häufige Brutvogelarten in Deutschland ausgewählt, für die mit den Daten des Monitoringprogramms häufiger Vogelarten und des Monitorings häufiger Brutvögel eine Trendermittlung möglich ist (Tab. 1).

Tab. 1: 88 häufige Brutvogelarten, die für die Verwendung im Temperaturindex anhand der Datenverfügbarkeit ausgewählt wurden.

Art deutsch	Art wissenschaftlich
Zwergtaucher	<i>Tachybaptus ruficollis</i>
Stockente	<i>Anas platyrhynchos</i>
Rotmilan	<i>Milvus milvus</i>
Rebhuhn	<i>Perdix perdix</i>
Wachtel	<i>Coturnix coturnix</i>
Jagdfasan	<i>Phasianus colchicus</i>
Teichhuhn	<i>Gallinula chloropus</i>
Blässhuhn	<i>Fulica atra</i>
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>
Straßentaube	<i>Columba livia f. domestica</i>
Hohltaube	<i>Columba oenas</i>
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>
Türkentaube	<i>Streptopelia decaocto</i>
Turteltaube	<i>Streptopelia turtur</i>
Kuckuck	<i>Cuculus canorus</i>
Mauersegler	<i>Apus apus</i>
Wendehals	<i>Jynx torquilla</i>
Grauspecht	<i>Picus canus</i>
Grünspecht	<i>Picus viridis</i>
Schwarzspecht	<i>Dryocopus martius</i>
Buntspecht	<i>Dendrocopos major</i>
Mittelspecht	<i>Dendrocopos medius</i>
Kleinspecht	<i>Dendrocopos minor</i>
Heidelerche	<i>Lullula arborea</i>
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>
Rauchschwalbe	<i>Hirundo rustica</i>

6.2 Kennblatt Indikator „Temperaturindex häufiger Brutvogelarten“

Art deutsch	Art wissenschaftlich
Mehlschwalbe	<i>Delichon urbicum</i>
Baumpieper	<i>Anthus trivialis</i>
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>
Wiesenschafstelze	<i>Motacilla flava</i>
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>
Zaunkönig	<i>Troglodytes troglodytes</i>
Heckenbraunelle	<i>Prunella modularis</i>
Rotkehlchen	<i>Erithacus rubecula</i>
Nachtigall	<i>Luscinia megarhynchos</i>
Hausrotschwanz	<i>Phoenicurus ochruros</i>
Gartenrotschwanz	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>
Braunkehlchen	<i>Saxicola rubicola</i>
Schwarzkehlchen	<i>Saxicola torquata</i>
Amsel	<i>Turdus merula</i>
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>
Misteldrossel	<i>Turdus viscivorus</i>
Feldschwirl	<i>Locustella naevia</i>
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>
Teichrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>
Gelbspötter	<i>Hippolais icterina</i>
Klappergrasmücke	<i>Sylvia curruca</i>
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>
Gartengrasmücke	<i>Sylvia borin</i>
Mönchsgrasmücke	<i>Sylvia atricapilla</i>
Waldlaubsänger	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>
Wintergoldhähnchen	<i>Regulus regulus</i>
Sommergoldhähnchen	<i>Regulus ignicapilla</i>
Grauschnäpper	<i>Muscicapa striata</i>
Trauerschnäpper	<i>Ficedula hypoleuca</i>
Schwanzmeise	<i>Aegithalos caudatus</i>
Sumpfbeise	<i>Parus palustris</i>
Weidenmeise	<i>Parus montanus</i>
Haubenmeise	<i>Parus cristatus</i>
Tannenmeise	<i>Parus ater</i>
Blaumeise	<i>Parus caeruleus</i>
Kohlmeise	<i>Parus major</i>

Art deutsch	Art wissenschaftlich
Kleiber	<i>Sitta europaea</i>
Waldbaumläufer	<i>Certhia familiaris</i>
Gartenbaumläufer	<i>Certhia brachydactyla</i>
Pirol	<i>Oriolus oriolus</i>
Neuntöter	<i>Lanius collurio</i>
Eichelhäher	<i>Garrulus glandarius</i>
Elster	<i>Pica pica</i>
Dohle	<i>Coleus monedula</i>
Kolkrabe	<i>Corvus corax</i>
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>
Haussperling	<i>Passer domesticus</i>
Feldsperling	<i>Passer montanus</i>
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>
Girlitz	<i>Serinus serinus</i>
Grünfink	<i>Carduelis chloris</i>
Stieglitz	<i>Carduelis carduelis</i>
Bluthänfling	<i>Carduelis cannabina</i>
Gimpel	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>
Kernbeißer	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>
Goldammer	<i>Emberiza citrinella</i>
Rohrhammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>
Grauammer	<i>Emberiza calandra</i>

6.3 Climate Impact Indicator für Vögel

Indikator-Kennziffer I.2.5	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter: Sven Trautmann, Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V., Sven Trautmann, Tel.: 0251/21014014, trautmann@dda-web.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2015
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Der hier dargelegte Indikator wurde aus dem EEA-Indikatorenset SEBI entnommen und für eine Anwendung in Deutschland modifiziert. Die Original-Bezeichnung des Indikators SEBI 011 lautet „Impact of climate change on bird populations“ und basiert auf Gregory et al. (2009).	

Einordnung

Indikationsfeld Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset Pressure	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Indikator der Auswirkungen des Klimawandels auf Arealgrößen häufiger Brutvogelarten, die anhand der Ergebnisse statistischer Prognosemodelle (Modellierungen) in „Klimagewinner“ und „Klimaverlierer“ unterteilt werden	Einheit Dimensionsloser Index
Berechnungsvorschrift a) Der Indikator besteht aus zwei Teilindikatoren, aus denen der Quotient (potenziell positiv/negativ beeinflusste Arten) gebildet wird: 1. Teilindikator für potenziell positiv vom Klimawandel beeinflusste Arten („CLIM+“) 2. Teilindikator für potenziell negativ vom Klimawandel beeinflusste Arten („CLIM-“) Das erste Jahr der Zeitreihe wird auf 100 normiert.	

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

Die Formel lautet:

$$\text{Index} = \text{Index}_{\text{CLIM}+} / \text{Index}_{\text{CLIM}-}$$

b) Berechnung der Teilindikatoren:

Die Teilindikatoren bestehen aus gewichteten Populationsindizes häufiger Vogelarten und werden als natürliche Logarithmen des Quotienten der Indexwerte zweier aufeinanderfolgender Jahre nach folgender Formel (jeweils getrennt für die „CLIM+“- und „CLIM“-Arten) berechnet (im Folgenden mit der Bezeichnung $\pm$ zusammengefasst):

$$X_{i,j} \pm = \ln(I_{i,j+1} / I_{i,j}),$$

wobei $I_{i,j}$ der Indexwert einer Art i im Jahr j ist und $I_{i,j+1}$ der Indexwert einer Art i im Jahr $j+1$. Die Daten der jährlichen Indexwerte stammen aus Programmen des deutschlandweiten Vogelmonitorings, die der DDA koordiniert (Beschreibung der Programme in Sudfeldt et al. 2012).

Mit Hilfe dieser jährlichen Änderungen der Indexwerte werden die Werte der beiden Teilindikatoren (jeweils getrennt für die „CLIM+“- und „CLIM“-Arten) mit folgenden Formeln berechnet:

$$XG_{i,j} \pm = X_{i,j} \cdot w_{i,j}$$

$$\text{mit } w_{i,j} = \frac{|CLIM_i|}{\sum_{s=1}^v |CLIM_s|}$$

$CLIM_i$ ist die CLIM-Variable der Art i , für die im Jahr j Daten vorliegen. Diese errechnet sich aus dem logarithmierten Verhältnis des potenziellen zukünftigen Verbreitungsgebietes unter Klimawandeleinfluss und des modellierten heutigen Verbreitungsgebiets (CLIM+ für Arten mit potenziellen Arealgewinnen, CLIM- für Arten mit potenziellen Arealverlusten). Anschließend werden für jedes Jahr alle gewichteten $XG_{i,j}$ jeweils für die beiden Teilindikatoren (CLIM+ und CLIM-) getrennt aufsummiert, das Ergebnis zur Basis e rücktransformiert und dann aus den jährlichen Änderungen der Indexwerte durch Multiplikation mit dem Wert aus dem Vorjahr für jedes Jahr die eigentlichen Werte der beiden Teilindikatoren ($\text{Index}_{\text{CLIM}+}$ und $\text{Index}_{\text{CLIM}-}$) errechnet, d. h.

$$\text{Index}_{\text{CLIM}+} = e^{\sum_1^i XG_{ij} - 1} \cdot e^{\sum_1^i XG_{ij} +}$$

und

$$\text{Index}_{\text{CLIM}-} = e^{\sum_1^i XG_{ij} - 1} \cdot e^{\sum_1^i XG_{ij} -}$$

Diese jährlichen Werte werden auf einen anfänglichen dimensionslosen Indexwert von 100 für das Jahr 1990 bezogen. Abschließend wird für jedes Jahr der Climate Impact Indicator nach der Vorschrift in Abschnitt a) berechnet.

Die Ergebnisse werden als drei getrennte Kurven dargestellt: In der Kurve „CLIM+“ wird der Teilindikator für die „Klimagewinner“ berechnet. Als solche werden Arten bezeichnet, deren Brutareal durch den Klimawandel statistischen Prognosemodellen zufolge zunehmen sollte. Der Teilindikator für die „Klimaverlierer“ – d. h. Arten, deren Brutareal durch Klimawandeleinflüsse zurückgehen sollte – wird in der Kurve „CLIM-“ dargestellt. In einer dritten Kurve wird der Gesamtindex als Quotient der Teilindizes für CLIM+ und CLIM- dargestellt.

Die Fortschreibung des Indikators erfolgt jährlich. Die Bewertung des Trends kann beispielsweise anhand des Vergleichs mehrerer um maximal 5 Jahre überlappender 10-Jahresmittel oder anhand gleitender 5-Jahresmittel vorgenommen werden.

Begründung

Vögel bilden als Artengruppe ein breites Spektrum an ökologischen Ansprüchen und Eigenschaften (z. B. Nahrungs- und Habitatwahl, Phänologie, Fortpflanzungsstrategie) ab und sind somit gut als Indikatorarten geeignet.

Der Indikator zeigt über ein breites Artenset Veränderungen der Bestandsgrößen von Vogelarten in Deutschland und kann dabei mit Hilfe der beiden Teilindikatoren auch zwischen positiven und negativen Effekten differenzieren. Der Indikator kann in Verbindung mit Monitoringdaten genutzt werden, um Auswirkungen des Klimawandels auf häufige Vogelarten zu quantifizieren. Bei Erweiterung des Artensets (durch Berechnung weiterer Prognosemodelle zu Auswirkungen des Klimawandels auf einzelne Arten) könnten neben den Daten aus dem Monitoring häufiger Brutvögel gegebenenfalls auch Daten aus dem Monitoring seltener Brutvögel genutzt werden.

Der Climate Impact Indicator wird bereits von der EEA verwendet und ist Teil des SEBI-Indikatorensets (SEBI 2010).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

a) Reduktion des Klimawandeleinflusses auf die Biodiversität (Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, BMU 2007).

b) Die Definition eines konkreten Zielwerts ist nach Gregory et al. (2009) nicht sinnvoll. Stattdessen sollte ein Bezug zur Entwicklung des Indikators hergestellt werden: Eine zeitlich stagnierende Entwicklung bedeutet, dass der Einfluss der Klimawandels auf Vogelarten (sei dieser positiv oder negativ) nicht über das bisher erreichte Maß hinausgeht (SEBI 2010). Als mögliches Ziel kann daher entweder definiert werden, dass der Indikator konstant bleiben bzw. sich möglichst wenig verändern soll oder dass er sich in Bezug auf einen Referenzwert (z. B. der Wert in einem bestimmten Jahr) nicht verändern soll.

Datengrundlage

Datenquelle

Modellierte CLIM-Werte: Gregory et al. (2009) für 78 häufige Brutvogelarten (s. Tab. 1). Trenddaten: Bestandsindexwerte aus dem Monitoringprogramm häufiger Vogelarten (1990-2010) und dem Monitoring häufiger Brutvögel (2005-2011), Beschreibung der Programme in Sudfeldt et al. (2012).

Für 78 Arten liegen sowohl verlässliche Trenddaten aus dem Monitoringprogramm häufiger Vogelarten und dem Monitoring häufiger Brutvögel als auch Prognosen über potenzielle Verbreitungsänderungen in Europa unter Klimawandeleinfluss vor (Gregory et al. 2009). Verwendet werden Bestandsindexwerte, die für den Überlappszeitraum (2005-2010) zwischen dem Monitoringprogramm häufiger Vogelarten und dem Monitoring häufiger Brutvögel kombiniert werden.

Die CLIM-Werte werden auf Basis der prognostizierten Änderungen des Verbreitungsgebietes in Europa für das Set von 78 Arten berechnet.

Räumliche Auflösung

Deutschland (Berechnung basierend auf Abundanz-Indizes anhand der 1 km² großen Probeflächen des Monitorings häufiger Brutvögel)

NUTS

0

Geographische Abdeckung

Deutschland

Zeitliche Auflösung

Jährlich

Beschränkungen Der Indikator ist nur in Verbindung mit Ergebnissen von Modellierungen nutzbar (CLIM-Werte), das Artenset müsste durch Erstellung weiterer Modelle für mehr als die bisher modellierten Vogelarten erweitert werden, um eine höhere Repräsentativität zu erzielen.	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis vorhandener Daten bisher nur eingeschränkt anwendbar.
---	---

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung:	Mittel	Einfachere Berechnungen („Nebenrechnungen“) notwendig
Erläuterung: Für den Indikator müssen Trendindexwerte fachlich geprüft und miteinander verrechnet werden; zusätzlich müssten gegebenenfalls neue Artverbreitungsmodelle erzeugt werden, die zur Berechnung für Deutschland spezifischer CLIM-Werte verwendet werden könnten.		
Datenkosten Keine		
Zuständigkeit Bundesamt für Naturschutz (Neuvorschlag)		

Aussage

Interpretationsvorschrift Der Indikator bilanziert zum einen Arealgewinne und zum anderen Arealverluste von Vogelarten. Entwickeln sich Gewinne und Verluste gleichsinnig mit den Modellprognosen (wenn z. B. Arten mit prognostizierten Arealgewinnen tatsächlich zunehmen und solche mit prognostizierten Arealverlusten tatsächlich zurückgehen), zeigt der Indikator einen positiven Verlauf. Stimmt die tatsächliche Entwicklung nicht mit den Modellprognosen überein, zeigt der Indikator einen stagnierenden oder negativen Verlauf. Ein stagnierender Indikator ergibt sich, wenn sich die Bestände der „CLIM+“- und „CLIM“-Arten gleichsinnig (d. h. parallel) entwickeln, so dass sich einer der beiden Teilindikatoren gegenläufig zu den Modellprognosen verändert. Ein negativer Verlauf hingegen ergibt sich, wenn sich beide Teilindikatoren gegenläufig zu den Modellprognosen entwickeln. Dies wäre darauf zurückzuführen, dass es entweder kein Klimasignal gibt und andere Faktoren für die Bestandsveränderungen ausschlaggebend wären oder aber dass die Modelle die realen Zusammenhänge zwischen den Arealen der Arten und dem Klima nicht korrekt prognostizieren.
Trend- und Statusanalyse a) Der Indikator zeigt mit den kombinierten Daten des Monitoringprogramms häufiger Vogelarten (1990-2010) und des Monitorings häufiger Brutvögel (2005-2011) zwischen 1990 und 2011 in Deutschland keine signifikante Veränderung. b) Der Indikator liegt im Jahr 2011 bei Verwendung kombinierter Trenddaten aus dem Monitoringprogramm häufiger Vogelarten (1990-2010) und dem Monitoring häufiger Brutvögel (2005-2011) bei einem Indexwert von 102,57.

Handlungsempfehlungen

Aus dem CII lassen sich prinzipiell Handlungsempfehlungen zum Schutz der Biodiversität ableiten, der Indikator wird hierfür auf europäischer Ebene auch bereits genutzt.

Die Teilindizes der CLIM-positiven und CLIM-negativen Arten lassen eine Abschätzung der positiven und negativen Effekte des Klimawandels zu und ermöglichen für Arten dieser beiden Artensets zielgerichtete Managementmaßnahmen.

Momentan lassen sich für Deutschland allerdings aus dem bisherigen Indikatorverlauf noch keine Handlungsempfehlungen ableiten.

Bewertung des Indikators

Stärken

Vögel bilden als Artengruppe ein breites Spektrum an ökologischen Ansprüchen und Eigenschaften (z. B. Nahrungs- und Habitatwahl, Phänologie, Fortpflanzungsstrategie) ab und sind somit gut als Indikatorarten geeignet.

Der Indikator selbst erlaubt eine Unterscheidung in positiv und negativ klimawandelabhängige Arten, d. h. in sog. „Klimawandelgewinner“ und „Klimawandelverlierer“.

Schwächen

Der Indikator ist von verlässlichen Prognosemodellen zu Klimawandelwirkungen auf die einzelnen einfließenden Arten abhängig. Die artspezifisch unterschiedliche Modellgüte geht nicht in den Indikator mit ein, wäre aber sicherlich zur Beurteilung der statistischen Belastbarkeit wichtig, wenngleich Gregory et al. (2009) keinen signifikanten Einfluss der Modellgüte auf den Indikatorverlauf für ganz Europa finden.

Unterschiedliche Modelle und Modelltypen lassen sich nicht immer miteinander vergleichen und können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Bereits wenige sehr stark klimaabhängige Arten beeinflussen den Indikatorverlauf für Europa stark, wobei viele dieser Arten aber in Deutschland nicht vorkommen (z. B. Seidensänger) oder durch das Monitoring häufiger Brutvögel nicht abgedeckt werden (z. B. Bienenfresser). Zudem zeigten Testreihen für verschiedene nationale Indikatoren z. T. schwer interpretierbare Ergebnisse (Gregory, schriftl.). Dies verdeutlicht, dass die Anwendbarkeit des Indikatorkonzepts für kleinere geographische Räume eingeschränkt ist, was einer der Gründe für die gegenwärtig von Gregory und Kollegen vorgenommene Überarbeitung des CII sein dürfte.

Mit dem gegenwärtigen Indikator lassen sich Änderungssignale für kleine geographische Räume vermutlich erst über längere Zeiträume feststellen, während über den bisher betrachteten Zeitraum Witterungsschwankungen eine größere Rolle spielen könnten. Insbesondere scheinen sich gegenwärtig die strengen Winter 2009/2010 und 2010/2011 auf den Indikatorverlauf auszuwirken. Ob sich – wie der Indikatorverlauf ab dem Jahr 2010 suggeriert – hierdurch tatsächlich (auch längerfristig) klimatische Einflüsse auf Vogelarten abschwächen, lässt sich nur durch weiterführende Untersuchungen klären. Generell bilden die CLIM-Werte durch Bezug auf längerfristige Arealveränderungen kleinräumige und kurzfristige Veränderungen offenbar nur unzureichend ab bzw. nur für Arten, die sehr stark von klimatischen Faktoren beeinflusst werden.

Eine eindeutige Interpretation des Indikatorwerts in Bezug auf den Biodiversitätsschutz ist nicht immer möglich. Eine Abnahme des Indikatorwertes kann u. a. dadurch verursacht werden, dass sich die beiden Teilindikatoren rückläufig entwickeln (beim europäischen Indikator zwischen 1991 und 1992 zu sehen), was dem eigentlichen Ziel des Biodiversitätsschutzes entgegensteht.

Aufgrund der komplizierten Berechnung des Indikators mithilfe von Modellierungen ist die Nachvollziehbarkeit der Werte erschwert und keine ausreichende Transparenz gegeben. Durch die Auswahl anderer Artensets und/oder anderer Modelle ist der Indikator beeinflussbar.

Aufgrund der hohen Mobilität von Vögeln sollten für ein umfassendes Bild der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt zusätzlich weitere Artengruppen geringerer Mobilität betrachtet werden.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Es sollte getestet werden, ob sich die Einbeziehung sehr seltener Arten auf den Indikatorverlauf auswirkt und gegebenenfalls Teilindikatoren definiert werden sollten.

Zusätzlich sollten für eine realistischere Einschätzung der Klimaabhängigkeit (d. h. der CLIM-Werte) für alle betrachteten Vogelarten Prognosemodelle mit Szenarien möglicher Landnutzungsänderungen erstellt werden, um die unterschiedlichen Einflüsse von Änderungen des Klimas und der Landnutzungen auf Vogelarten abschätzen zu können.

Momentan wird zudem auf europäischer Ebene untersucht, ob die Entwicklung eines Indikators basierend auf tatsächlich beobachteten Trendveränderungen und Änderungen der klimatischen Eignung bestimmter Räume für Vogelarten erfolgen kann. Ein solcher Indikator wäre unabhängig von Prognosen zu den künftigen Auswirkungen des Klimas auf Vogelarten und würde lediglich die beobachteten Zusammenhänge abbilden, wobei länderspezifische Unterschiede in der klimatischen Eignung bestimmter Räume berücksichtigt werden könnten (s. hierzu die Ergebnisse in Stephens et al. 2016). Dieser Indikator könnte mittelfristig den Climate Impact Indicator ersetzen und die Indikatorenberechnung auf nationaler Ebene vereinfachen, auch wenn immer noch statistische Modelle erforderlich wären.

Graphische Darstellung

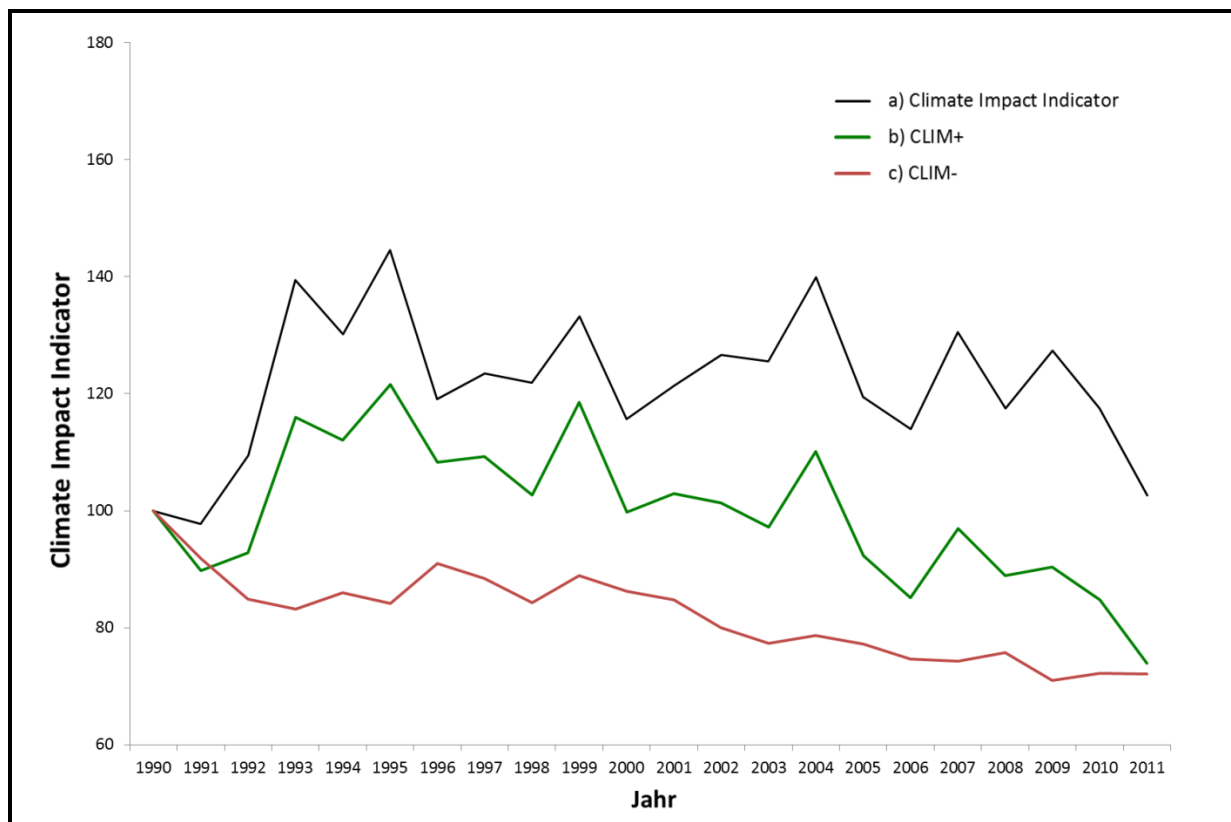


Abb. 1: Climate Impact Indicator und Teilindikatoren für 78 Arten: Indikator für 78 häufige Brutvogelarten mit kombinierten Bestandsindizes des Monitoringprogramms häufiger Vogelarten (1990-2010) und des Monitorings häufiger Brutvögel (2005-2011); a) Gesamtindikator, b) Teilindikatoren potenziell positiv durch den Klimawandel beeinflusster Vogelarten (n = 12), c) Teilindikator potenziell negativ durch den Klimawandel beeinflusster Vogelarten (n = 66).

Glossar

Abundanz-Index	Jährlicher Index der Häufigkeit von Vogelarten, berechnet mit Hilfe eines Generalized Estimation Equation Model im Programm TRIM
CLIM-Wert	Auf Modellberechnungen basierender Wert für die Klimaabhängigkeit einzelner Vogelarten
CLIM+	Verhältnis des potenziellen zukünftigen Verbreitungsgebietes unter Klimawandeleinfluss und des modellierten heutigen Verbreitungsgebietes für Arten mit potenziellen Arealzugewinnen unter Klimawandeleinflüssen
CLIM-	Verhältnis des potenziellen zukünftigen Verbreitungsgebietes unter Klimawandeleinfluss und des modellierten heutigen Verbreitungsgebietes für Arten mit potenziellen Arealverlusten unter Klimawandeleinflüssen
Generalized Estimation Equation Model	Log-lineares Regressionsmodell, das Lücken in Zählreihen interpoliert
MhV	Monitoringprogramm häufiger Vogelarten (1990-2010): Ehrenamtliches Monitoringprogramm mit zufälliger Routenauswahl, entlang derer Punkt-Stopp-Zählungen durchgeführt wurden (s. Sudfeldt et al. 2012).
MhB	Monitoring häufiger Brutvögel (seit 2005): Ehrenamtliches Monitoringprogramm mit stratifiziert zufälliger Auswahl 1 km ² großer Probeflächen, auf denen entlang von Wegen Linienkartierungen durchgeführt werden (s. Sudfeldt et al. 2012).
MsB	Monitoring seltener Brutvögel: Ehrenamtliches Monitoringprogramm, das seltene und mittelhäufige Arten, die nicht ausreichend über das MhB erfasst werden, nach Gruppen methodisch differenziert erfasst (s. Sudfeldt et al. 2012).

Quellen und weiterführende Informationen

- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Eigenverlag, Berlin, 178 S.
- Gregory, R. D., Willis, S. G., Jiguet, F., Vorisek, P., Klvanova, E., van Strien, A., Huntley, B., Collingham, Y. C., Couvet, D., Green, R. E. (2009): An indicator of the impact of climatic change on European bird populations. PLoS one 4: e4678.
- SEBI (2010): The 26 indicators proposed for the first European set grouped by CBD focal area and EU/PEBLDS headline. S. E. B. I. (SEBI).
- Stephens, P. A., Mason, L. R., Green, R. E., Gregory, R. D., Sauer, J. R., Alison, J., Aunins, A., Brotons, L., Butchart, S. H. M., Campedelli, T., Chodkiewicz, T., Chylarecki, P., Crowe, O., Elts, J., Escandell, V., Foppen, R. P. B., Heldbjerg, H., Herrando, S., Husby, M., Jiguet, F., Leikoinen, A., Lindström, Å., Noble, D. G., Paquet, J.-Y., Reif, J., Sattler, T., Szép, T., Teufelbauer, N., Trautmann, S., van Strien, A. J., van Turnhout, C. A. M., Vorisek, P., Willis, S. G. (2016): Consistent response of bird populations to climate change on two continents. Science 352: 84-87. doi: 10.1126/science.aac4858
- Sudfeldt, C., Dröschmeister, R., Wahl, J., Berlin, K., Gottschalk, T., Grüneberg, C., Mitschke, A., Trautmann, S. (2012): Vogelmonitoring in Deutschland – Programme und Anwendungen. Naturschutz und Biologische Vielfalt 119, Bonn. 257 S.

Anhang

Tab. 1: 78 häufige Brutvogelarten, für die mit den Daten des Monitoringprogramms häufiger Vogelarten (1990-2010) und des Monitorings häufiger Brutvögel (2005-2010) eine gesicherte Trendermittlung möglich ist und Modellvorhersagen zu potenziellen Klimawandelauswirkungen auf diese Arten (nach Gregory et al. 2009) vorliegen. Ein „+“ bzw. „-“ in der Spalte „CLIM“ bezeichnet Arten, für die von Gregory et al. (2009) positive bzw. negative Klimawandelauswirkungen in Europa prognostiziert wurden.

Art deutsch	Art wissenschaftlich	CLIM
Rebhuhn	<i>Perdix perdix</i>	-
Kiebitz	<i>Vanellus vanellus</i>	-
Hohltaube	<i>Columba oenas</i>	-
Ringeltaube	<i>Columba palumbus</i>	-
Türkentaube	<i>Streptopelia decaocto</i>	+
Turteltaube	<i>Streptopelia turtur</i>	+
Kuckuck	<i>Cuculus canorus</i>	-
Mauersegler	<i>Apus apus</i>	-
Wendehals	<i>Jynx torquilla</i>	-
Grauspecht	<i>Picus canus</i>	-
Grünspecht	<i>Picus viridis</i>	-
Schwarzspecht	<i>Dryocopus martius</i>	-
Buntspecht	<i>Dendrocopos major</i>	-
Kleinspecht	<i>Dendrocopos minor</i>	-
Heidelerche	<i>Lullula arborea</i>	-
Feldlerche	<i>Alauda arvensis</i>	-
Rauchschwalbe	<i>Hirundo rustica</i>	-
Mehlschwalbe	<i>Delichon urbicum</i>	-
Baumpieper	<i>Anthus trivialis</i>	-
Wiesenpieper	<i>Anthus pratensis</i>	-
Wiesenschafstelze	<i>Motacilla flava</i>	-
Bachstelze	<i>Motacilla alba</i>	-
Zaunkönig	<i>Troglodytes troglodytes</i>	-
Heckenbraunelle	<i>Prunella modularis</i>	-
Rotkehlchen	<i>Erithacus rubecula</i>	-
Nachtigall	<i>Luscinia megarhynchos</i>	+
Hausrotschwanz	<i>Phoenicurus ochruros</i>	-
Gartenrotschwanz	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	-
Braunkehlchen	<i>Saxicola rubicola</i>	-
Schwarzkehlchen	<i>Saxicola torquata</i>	+
Amsel	<i>Turdus merula</i>	-
Wacholderdrossel	<i>Turdus pilaris</i>	+
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	-

6.3 Kennblatt Indikator „Climate Impact Indicator für Vögel“

Art deutsch	Art wissenschaftlich	CLIM
Misteldrossel	<i>Turdus viscivorus</i>	-
Feldschwirl	<i>Locustella naevia</i>	-
Schilfrohrsänger	<i>Acrocephalus schoenobaenus</i>	-
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>	-
Teichrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	-
Gelbspötter	<i>Hippolais icterina</i>	-
Klappergrasmücke	<i>Sylvia curruca</i>	-
Dorngrasmücke	<i>Sylvia communis</i>	-
Gartengrasmücke	<i>Sylvia borin</i>	-
Mönchsgrasmücke	<i>Sylvia atricapilla</i>	-
Waldlaubsänger	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	-
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	-
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	-
Wintergoldhähnchen	<i>Regulus regulus</i>	-
Sommergoldhähnchen	<i>Regulus ignicapilla</i>	-
Grauschnäpper	<i>Muscicapa striata</i>	-
Trauerschnäpper	<i>Ficedula hypoleuca</i>	-
Schwanzmeise	<i>Aegithalos caudatus</i>	-
Sumpfmeise	<i>Parus palustris</i>	-
Weidenmeise	<i>Parus montanus</i>	-
Haubenmeise	<i>Parus cristatus</i>	-
Tannenmeise	<i>Parus ater</i>	-
Kohlmeise	<i>Parus major</i>	-
Kleiber	<i>Sitta europaea</i>	-
Waldbaumläufer	<i>Certhia familiaris</i>	-
Gartenbaumläufer	<i>Certhia brachydactyla</i>	-
Pirol	<i>Oriolus oriolus</i>	+
Neuntöter	<i>Lanius collurio</i>	+
Eichelhäher	<i>Garrulus glandarius</i>	-
Elster	<i>Pica pica</i>	-
Dohle	<i>Coleus monedula</i>	-
Kolkrabe	<i>Corvus corax</i>	-
Star	<i>Sturnus vulgaris</i>	-
Haussperling	<i>Passer domesticus</i>	-
Feldsperling	<i>Passer montanus</i>	-
Buchfink	<i>Fringilla coelebs</i>	-
Girlitz	<i>Serinus serinus</i>	+
Grünfink	<i>Carduelis chloris</i>	-
Stieglitz	<i>Carduelis carduelis</i>	+

Art deutsch	Art wissenschaftlich	CLIM
Bluthänfling	<i>Carduelis cannabina</i>	+
Gimpel	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	-
Kernbeißer	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	-
Goldammer	<i>Emberiza citrinella</i>	-
Rohrammer	<i>Emberiza schoeniclus</i>	+
Grauammer	<i>Emberiza calandra</i>	+

6.4 Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen

Indikator-Kennziffer II.3.1	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter: Rainer Schliep, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung Mitwirkung: Prof. Dr. Stefan Heiland, Laura Radtke, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung Bernd Neukirchen, Dr. Thomas Ehlert, Bundesamt für Naturschutz, Fachgebiet II 3.2 Binnengewässer, Auenökosysteme und Wasserhaushalt Dr. Ulrich Sukopp, Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring	Letzte Aktualisierung am 04.07.2014
Ansprechpartner TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung, Rainer Schliep, Tel.: 030/314-79456, rainer.schliep@tu-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung	

Einordnung

Indikationsfeld Veränderungen biologischer Vielfalt infolge von Anpassungen an den Klimawandel im Bereich der Wasserwirtschaft	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset -	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Mit diesem Indikator wird jährlich der kumulierte Flächenzuwachs der rückgewonnenen Aue durch Deichrückverlegungen in den Haupteinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee bilanziert.	Einheit [ha]
Berechnungsvorschrift Bilanziert wird jährlich der kumulierte Flächenzuwachs der rückgewonnenen Aue durch Deichrückverlegungen in Hektar jeweils beginnend an der Stelle des Flusses, an der das Einzugsgebiet 1.000 km² überschreitet (insgesamt 10.276 Flusskilometer). Die Datenreihe beginnt mit einer summarischen Bilanzierung aller älteren Projekte in der Zeit von 1983 (erste Wiedergewinnung von Überflutungsflächen durch das Belassen von Deichbrüchen) bis einschließlich des Jahres 2000 und wird dann jährlich kumulativ fortgeschrieben. Stichtag für die Bilanzierung der jeweiligen Vorhaben ist das Datum der Baufertigstellung. Ist dieses Datum nicht verfügbar, werden andere verfügbare Daten zur zeitlichen Einordnung verwendet. Formel: $F_i = F_{\text{Startperiode}} + F_{2001 \text{ bis Jahr } i}$ F_i = Indikatorwert im Jahr i in Hektar $F_{\text{Startperiode}}$ = Summe aller wiedergewonnenen natürlichen Überflutungsflächen in der Startperiode (Zeitraum vom 01.01.1983 bis zum 31.12.2000) in den Haupteinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee in Hektar $F_{2001 \text{ bis Jahr } i}$ = Summe aller wiedergewonnenen natürlichen Überflutungsflächen im Zeitraum vom 01.01.2001 bis zum 31.12. des Jahres i in den Haupteinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee in Hektar, i = betrachtetes Jahr für i > 2000	
Begründung Der Klimawandel findet nicht nur Ausdruck in steigenden Temperaturen, sondern zeigt sich auch in veränderten Niederschlagsverhältnissen. So ist in Deutschland das Gebietsmittel der jährlichen Niederschläge um ca. 10 % angestiegen, wobei diese Zunahme sowohl regional als auch saisonal starken Schwankungen unterliegt (UBA 2009). Während insbesondere die Frühjahrs- und Winterniederschläge stark zugenommen haben, ist in Bezug auf die Sommermonate kein wesentlicher Trend erkennbar (ebd.). Zudem beschränkt sich die Zunahme der jährlichen Niederschlagsmenge weitgehend auf Westdeutschland. In den östlichen Bundesländern hingegen werden die Zunahmen im Winter durch Abnahmen im Sommer größtenteils ausgeglichen (ebd.). Darüber hinaus lassen Klimamodellierungen auf eine Steigerung des Ausmaßes und der Häufigkeit von z. B. Starkregenereignissen schließen (ebd.). Diese waren maßgeblich für die Hochwasserereignisse 2002 und 2013 im Donau- und Elbeeinzugsgebiet. Da das Ausmaß und die Intensität von Niederschlägen neben anderen Faktoren wie dem Verlust natürlicher Retentionsräume, Gewässerausbau oder Versiegelung maßgeblich die Entstehung von Hochwasser beeinflussen (vgl. Zielaskowski und Lüderitz 2005), ist vor dem Hintergrund der klimawandelbedingten Veränderung des Niederschlagsregimes und einer Zunahme von Niederschlägen bzw. Starkregenereignissen in einigen Regionen Deutschlands mit steigender Hochwassergefahr zu rechnen (Dister und Henrichfreise 2009). Die Bundesländer haben die zunehmende Hochwassergefahr bereits in Plänen und Programmen berücksichtigt und Maßnahmen zur Anpassung eingeleitet (vgl. bspw. MKULNV 2009). Die Beweggründe für die Initiierung der bilanzierten Vorhaben können dabei durchaus unterschiedlich sein (z. B. Naturschutz, Hochwasserschutz) und müssen nicht explizit durch den Klimawandel	

und eine dadurch veränderte Abflussdynamik in den Flusseinzugsgebieten begründet sein (Möhring et al. 2012: 34). Erfolgen die Anpassungsmaßnahmen im Rahmen des ökologischen Hochwasserschutzes, ergeben sich positive Auswirkungen für die biologische Vielfalt, u. a. durch eine Verbesserung von Habitatfunktionen (Scholz et al. 2012: 180). So ist beispielsweise die Wiederherstellung natürlicher Retentionsräume aus naturschutzfachlicher Sicht zu befürworten (Möhring et al. 2012, vgl. auch Richert et al. 2011), da rezente Auen Lebensraum für zahlreiche seltene und geschützte Tier und Pflanzenarten sind und hier seltene FFH-Lebensraumtypen auftreten. Zudem stellen diese selten gewordenen Lebensräume ein wichtiges Bindeglied im Biotopverbund und dem Schutzgebietssystem Natura 2000 dar und beherbergen „eine Vielzahl seltener Tier- und Pflanzenarten sowie europaweit gefährdete Auwälder“ (BMU 2009: 4)

Zusammengefasst verbessern sich in den Flussauen durch den Deichrückbau die Qualität der Lebensräume für Pflanzen und Tiere sowie die morphologischen und hydrologischen Bedingungen. Die Naturnähe der Auen steigt in den betreffenden Flussabschnitten. Da gleichzeitig das Rückhaltevermögen der Auen im Falle von Überflutungen erhöht wird, dienen die Maßnahmen auch dem Hochwasserschutz und tragen zur Anpassung an den Klimawandel bei.

Der Indikator ist ein Maß für die erfolgreiche Umsetzung von Maßnahmen zum naturverträglichen Hochwasserschutz in Flussauen. Er bilanziert auf Basis einer bundesweiten Erfassung von Projekten zur Auenrenaturierung (Möhring et al. 2012) den Flächenzugewinn von Überschwemmungsflächen, die wieder an die natürliche Überflutungs-dynamik der Fließgewässer angeschlossen wurden. Dabei steht die naturschutzfachliche Aussage zu positiven Effekten für die biologische Vielfalt im Vordergrund. Zugleich sind die bilanzierten Flächengewinne durch Deichrückverlegungen als Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Handlungsfeld „Hochwasserschutz“ zu betrachten. Der Indikator beleuchtet somit einen naturschutzfachlich bedeutsamen Aspekt des vorbeugenden Hochwasserschutzes, der ansonsten stark durch technische Maßnahmen wie den Bau von Deichen, Rückhaltebecken oder Hochwasserschutzpoldern geprägt ist. Dazu werden Vorhaben erfasst, bei denen durch Rückbau, Rückverlegung oder Schlitzung von Deichen und Dämmen natürliche Überflutungsflächen zurückgewonnen werden konnten. Stichtag für die Bilanzierung der jeweiligen Vorhaben ist das Datum der Baufertigstellung. Ist dieses Datum nicht verfügbar, werden andere verfügbare Daten zur zeitlichen Einordnung verwendet. Die Überflutung der rückgewonnenen Auen erfolgt nach der Maßnahmenumsetzung ungesteuert und bereits bei kleinen Hochwasserereignissen. Der Wiederanschluss von Altarmen oder Flutrinnen wird nur dann berücksichtigt, wenn zu diesem Zweck flussnahe Deiche und Dämme abgetragen wurden. Die Einrichtung gesteuerter Hochwasserschutzpolder oder sonstige gesteuerte Flutungen der Aue werden nicht berücksichtigt.

Der Untersuchungsraum erstreckt sich über die Auen von bundesweit 79 Flüssen jeweils beginnend an der Stelle des Flusses, an der das Einzugsgebiet 1.000 km² überschreitet (insgesamt 10.276 Flusskilometer in den Haupteinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee). Dies entspricht der Flächenkulisse des Auenzustandsberichtes (BMU und BfN 2009), demzufolge von ehemals ca. 1,5 Mio. ha Auenfläche heute noch ca. 480.000 ha als rezente Auen überflutet werden können.

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), Kapitel 2.3: „Es sind solche Maßnahmen zu fördern, die zum Beispiel eine abmildernde Wirkung auf Extremereignisse – und zwar sowohl auf den Verlauf von Hochwasserereignissen als auch auf Niedrigwassersituationen – haben. Dies können Maßnahmen zur Verbesserung der Hydromorphologie, z. B. Anbinden von Altarmen, aber auch Deichrückverlegungen sein.“ (BMU 2008)
- Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS), Kapitel B 1.2.4: „Vergrößerung der Rückhalteflächen an den Flüssen um mindestens 10 % bis 2020“ (BMU 2007)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG), § 77, Satz 3: „Frühere Überschwemmungsgebiete, die als

Rückhalteflächen geeignet sind, sollen so weit wie möglich wiederhergestellt werden, wenn überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit dem nicht entgegenstehen.“

Datengrundlage

Datenquelle ▪ Möhring et al. 2012: Erfassung überregional bedeutsamer Projekte zur Auenrenaturierung und zur Wiederherstellung von Überschwemmungsflächen ▪ Eigenrecherchen des Bundesamtes für Naturschutz	
Räumliche Auflösung Flächenhaft	79 Flüsse in den Einzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau und der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee
Geographische Abdeckung Deutschland	
Zeitliche Auflösung Startwert: Summe des Flächenzuwachses über die Jahre 1983 bis 2000, ab 2001: jährlich	
Beschränkungen Keine	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis vorhandener Daten uneingeschränkt anwendbar, allerdings ist die Datenerhebung dauerhaft sicher zu stellen.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Hoch	Eigene Datenzusammenstellung / Recherche erforderlich
Datenverarbeitung:	Hoch	Eigene, einfache Berechnungen („Nebenrechnungen“) notwendig, manuelle Datenselektion, aufwändige Überprüfungen
Erläuterung: Die erforderlichen Daten zu den Vorhaben zur Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen müssen von den unterschiedlichen Projektträgern der Vorhaben angefordert oder durch Eigenrecherchen erbracht werden. Für die jetzt vorliegende Übersicht von Projekten wurde neben Eigenrecherchen eine Abfrage bei den Umweltministerien der Länder durchgeführt (Möhring et al. 2012: 11f.). Häufig liegen die Daten zu den Vorhaben in sehr heterogener Form und nicht immer digital vor (vgl. ebd.: 16). Für die Fortschreibung des Indikators ist aber lediglich eine Angabe zum Flächenzugewinn von Überschwemmungsflächen und eine Beschreibung des Projektes notwendig, anhand derer entschieden wird, ob das Projekt die unter „Kurzbeschreibung des Indikators“ genannten Kriterien erfüllt. Da ab 2001 pro Jahr im Durchschnitt lediglich ca. drei neue Projekte hinzugekommen sind, ist der Aufwand für die Neuberechnung begrenzt. Geschätzter Arbeitsaufwand: 3 Arbeitstage.		
Datenkosten Keine		

Zuständigkeit

Bundesamt für Naturschutz (Neuvorschlag)

Erläuterung:

Auf Grund der Vorarbeiten und der Kontakte zu den relevanten Personen wird vorgeschlagen, die Fortschreibung des Indikators beim Bundesamt für Naturschutz (BfN) anzusiedeln.

Aussage

Interpretationsvorschrift

Je größer die Fläche wiederangeschlossener Retentionsflächen durch Deichrückverlegung ist, desto größer sind sowohl die positiven Effekte für den Hochwasserschutz als auch die positiven Wirkungen für die biologische Vielfalt und für den Zustand der Gewässer.

Trend- und Statusanalyse

Der kumulierte Zuwachs natürlicher Überflutungsflächen zeigte in den Jahren von 1983 bis 2014 einen positiven Trend, der statistisch signifikant ist. Dadurch sind neue naturschutzfachlich wertvolle Lebensräume für eine Vielzahl seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten sowie naturschutzfachlich bedeutsame Auwälder entstanden.

Handlungsempfehlungen

Natürliche Überflutungsflächen wie Auen sind aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit an wechselnde Wasserverhältnisse zur Abpufferung der Auswirkungen des Klimawandels (mögliche Häufung von Extremereignissen wie Überflutungen und Niedrigwasserperioden) bestens geeignet. Die mittel- bis langfristigen Anforderungen zur Anpassung an den Klimawandel machen es daher erforderlich, die natürliche Dynamik und die ökologische Schwankungsbreite der Auen zu nutzen.

Dazu sind aus den vorhandenen Untersuchungen wie dem Auenzustandsbericht (BMU 2009) Schwerpunkträume zur Rückgewinnung weiterer Überflutungsflächen abzuleiten und geeignete Planungs- und Finanzierungsinstrumente zu identifizieren. „Die in den nationalen und internationalen Flussgebietskommissionen und -gemeinschaften bereits angelegten Handlungspfade zeichnen den Weg zu einer umfassenden Betrachtung der Flusslandschaften zum Teil bereits vor.“ (ebd.: 34)

Bewertung des Indikators

Stärken

Leicht verständlicher und anschaulicher Indikator.

Schwächen

Bislang ist noch ungeklärt, ob und in welchem Umfang künftig eine Auswertung von Deichrückverlegungsmaßnahmen für die bundesweit 79 betrachteten Flüsse erfolgt und in welchen Abständen die Datensätze des Fachinformationssystems „Flussauen in Deutschland“ des Bundesamtes für Naturschutz fortgeschrieben werden.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

-

Graphische Darstellung

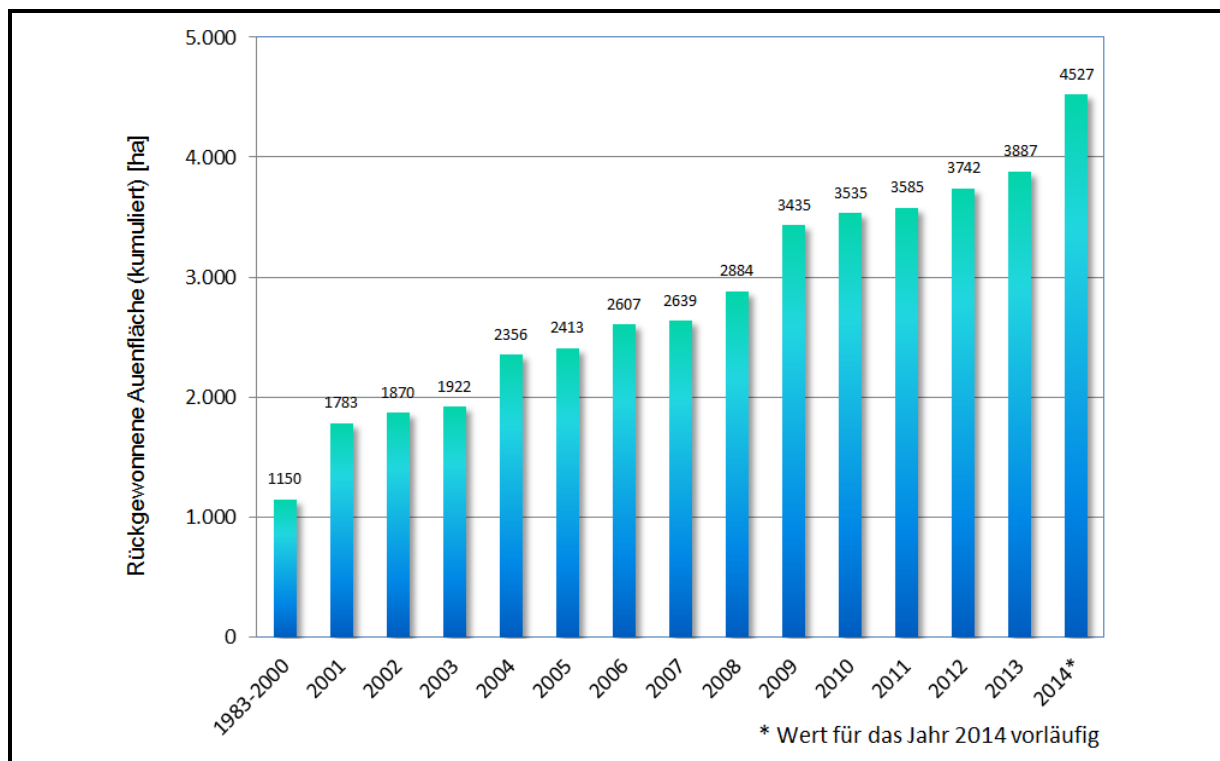


Abb. 1: Indikator „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“: Kumulierter jährlicher Zuwachs bei der Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen durch Deichrückverlegungen in den Auen von bundesweit 79 Flüssen für den Zeitraum von 1983 bis 2014 in Hektar

Glossar

Altaue	Teil der morphologischen Aue, der gegenwärtig vom Überflutungsgeschehen abgeschnitten ist.
Aue	Bei Hochwasser periodisch oder episodisch überschwemmte Fläche entlang von Bächen und Flüssen. Die Auen (Altauen und rezente Auen) der im Auenzustandsbericht 2009 bilanzierten 79 Flüsse in den Flusseinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee nehmen eine Fläche von ca. 1,5 Mio. ha ein (BMU 2009), das entspricht 4,4 % der Fläche Deutschlands.
Hochwasserschutzpolder	Ein Hochwasserschutzpolder ist ein Retentionsgebiet, das bei Hochwasser geflutet werden kann, um die Wasserführung flussabwärts gelegener Flussabschnitte vorübergehend zu vermindern und dadurch den Scheitel einer Flutwelle zu erniedrigen. Sie sind vom Flussbett durch Deiche getrennt.
Ökologischer Hochwasserschutz	Wiederherstellung der ökologischen Einheit von Fluss und Aue vornehmlich durch die Rückgewinnung von Auen als Überschwemmungsgebiete.

Rezente Aue	Gegenwärtig noch überflutbare Teile der Aue, die an die natürliche Überflutungs dynamik angeschlossen sind und dem unregelmäßigen Wechsel von Überflutungen und Trockenfallen unterliegen. Die rezenten Auen, die bei großen Hochwasserereignissen an den im Auenzustandsbericht 2009 bilanzierten 79 Flüssen in den Flusseinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie an den direkten Zuflüssen zu Nord- und Ostsee (BMU 2009) noch überflutet werden können, umfassen in Deutschland nach aktuellen Erhebungen des Bundesamtes für Naturschutz (http://www.bfn.de/0324_auenzustand.html) eine Fläche von rund 480.000 ha.
--------------------	---

Quellen und weiterführende Informationen

- BfN – Bundesamt für Naturschutz (2013): Rückgewinnung von Überschwemmungsflächen an 79 Flüssen in Deutschland (Stand März 2013). Unveröffentlichte Datensammlung.
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (Ed.) (2009): Fachinformationssystem „Flussauen in Deutschland“. www.geodienste.bfn.de/flussauen/.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und BfN – Bundesamt für Naturschutz (Ed.) (2009): Auenzustandsbericht. Flussauen in Deutschland. Berlin, Bonn, 34 S.
- Dister, E., Henrichfreise, A. (2009): Veränderungen des Wasserhaushalts und Konsequenzen für den Naturschutz. Natur und Landschaft 84 (1): 26-31.
- MKULNV – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009): Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, 155 S.
- Möhring, U., Peters, A., Schackers, B., Kurth, A., Gebauer, S., Weißhaupt, R. (2012): Erfassung überregional bedeutsamer Projekte zur Auenrenaturierung und zur Wiederherstellung von Überschwemmungsflächen – bundesweite Übersicht. Unveröff. Abschlussbericht. Höxter, 70 S.
- Richert, E., Rüter, S., Seidler, C., Wilhelm, E.-G. (2011): Naturschutz und Hochwasservorsorge – unvereinbare Gegensätze? Ableitung und Bewertung von Maßnahmen aus interdisziplinärer Sicht. Hercynia N. F. 44: 39-52.
- Scholz, M., Mehl, D., Schulz-Zunkel, C., Kasperidus, H. D., Born, W., Henle, K. (2012): Ökosystemfunktionen von Flussauen – Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion. Naturschutz und Biologische Vielfalt 124: 257 S.
- UBA – Umweltbundesamt (Ed.) (2009): Daten zur Umwelt – Umweltzustand Deutschland. Klima. Klimaänderungen. www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdatenpublic/theme.do?nodeId=2347
- Zielaskowski, J., Lüderitz, V. (2005): Hochwasserschutz und Naturschutz – Synergien und Konflikte am Beispiel der Elbe in Sachsen-Anhalt. Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte 1: 119-138.

6.5 Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung

Indikator-Kennziffer III.1.1	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter: Rainer Schliep, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung Mitwirkung: Prof. Dr. Stefan Heiland, Laura Radtke, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner/in TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung, Rainer Schliep, Tel.: 030/314-79456, rainer.schliep@tu-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung	

Einordnung

Indikationsfeld Anpassung naturschutzfachlicher Strategien an den Klimawandel	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset -	DPSIR in diesem Indikatorenset Response

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Der Indikator beschreibt die Berücksichtigung von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen: <u>Teil A:</u> Berücksichtigung von Auswirkungen des Klimawandels in Landschaftsprogrammen (prozentualer Anteil der Landschaftsprogramme, in denen der Klimawandel berücksichtigt wird, an der Gesamtzahl aller ausgewerteten Landschaftsprogramme)	Einheit [%]
--	-----------------------

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

<u>Teil B:</u> Berücksichtigung von Auswirkungen des Klimawandels in Landschaftsrahmenplänen (prozentualer Anteil der Landschaftsrahmenpläne, in denen der Klimawandel berücksichtigt wird, an der Gesamtzahl aller ausgewerteten Landschaftsrahmenpläne)	
Berechnungsvorschrift Teil A und B: Die ausgewerteten Planwerke werden vier Kategorien K1, K2, K3a und K3b zugeordnet: Kategorie 1: Klimawandel bzw. klimawandelrelevante Flächen (mit Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff) werden im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen erwähnt. Kategorie 2: Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt werden beschrieben. Kategorie 3a: Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden u. a. mit dem Klimawandel begründet. Kategorie 3b: Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden ausschließlich oder vorwiegend mit dem Klimawandel begründet. Die Bedeutung des Klimawandels und der daraus resultierenden naturschutzfachlichen Anpassungserfordernisse nimmt in der hier genannten Reihenfolge der Kategorien 1 bis 3b grundsätzlich zu. Jedoch umfassen höhere Kategorien nicht notwendigerweise die jeweils niedrigeren Kategorien. Aufgrund dieser teilweisen Unabhängigkeit der Kategorien voneinander ist eine mehrfache Zuordnung von Planwerken zu verschiedenen Kategorien möglich. Die Summe der prozentualen Anteile der Planwerke mit Zuordnungen zu den Kategorien 1, 2, 3a und 3b kann daher 100 % übersteigen. Teil A: Ergebnis für die Kategorien K1, K2, K3a, K3b: $100 \cdot \frac{\text{Anzahl } n \text{ der Landschaftsprogramme (bei Primärintegration Kapitel „Natur und Landschaft“ des Landesentwicklungsplans) in der Kategorie } K_i}{\text{Gesamtzahl } N \text{ der ausgewerteten Planwerke}}$. Die Ergebnisse werden als prozentualer Anteil der Landschaftsprogramme, in denen der Klimawandel berücksichtigt wird, an der Gesamtzahl aller ausgewerteten Landschaftsprogramme (alle 16 Bundesländer) angegeben. Teil B: Ergebnis für die Kategorien K1, K2, K3a, K3b: $100 \cdot \frac{\text{Anzahl } n \text{ der Landschaftsrahmenpläne (bei Primärintegration Kapitel „Natur und Landschaft“ der Regionalpläne) in der Kategorie } K_i}{\text{Gesamtzahl } N \text{ der ausgewerteten Planwerke}}$. Die Ergebnisse werden als prozentualer Anteil der Landschaftsrahmenpläne, in denen der Klimawandel berücksichtigt wird, an der Gesamtzahl aller ausgewerteten Landschaftsrahmenpläne (alle Bundesländer ohne Stadtstaaten und ohne das Saarland) angegeben. Die Gesamtzahl aller ausgewerteten Landschaftsrahmenpläne N je Zeitschnitt schwankt, da: 1. sich der Zuschnitt der Planungsregionen (beispielsweise durch Kreisreformen) bzw. die Gesamtzahl der Landschaftsrahmenpläne (beispielsweise durch Zusammenfassung mehrerer Landschaftsrahmenpläne) im Laufe der Jahre verändert hat und 2. die Anzahl der verfügbaren Landschaftsrahmenpläne je nach Zeitschnitt schwankt. Es bedeuten: N = ausgewertete Grundgesamtheit, n = Teilmenge der Grundgesamtheit, auf die das betrachtete Merkmal zutrifft.	

Begründung

Zur Sicherung der biologischen Vielfalt ist es notwendig, bei naturschutzfachlichen Entscheidungen die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen, auf der konzeptionellen und planerischen Ebene auf Basis entsprechender Analysen die erforderlichen Ziele zu benennen und konkrete Maßnahmen vorzubereiten. Hierfür ist besonders die Landschaftsplanung als flächendeckendes Instrument des Naturschutzes bedeutsam.

Der Indikator zeigt, in welchem Umfang die Landschaftsplanung auf Landes- und Regionalebene auf den Klimawandel, dessen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und daraus resultierende naturschutzfachliche Anpassungserfordernisse reagiert. Für die Bilanzierung der beiden Teilindikatoren werden alle 16 Landschaftsprogramme auf Ebene der Bundesländer (Teilindikator A) sowie die verfügbaren Landschaftsrahmenpläne (zuletzt 135 im Jahr 2012) auf Ebene von Planungsregionen bzw. Landkreisen oder Regierungsbezirken (Teilindikator B; die Stadtstaaten Berlin, Bremen und Hamburg sowie das Saarland und künftig auch Hessen und Schleswig-Holstein verzichten auf dieses Planungsinstrument) herangezogen. Bei primär in die Landesentwicklungs- bzw. Regionalpläne integrierten Landschaftsprogrammen bzw. Landschaftsrahmenplänen (Primärintegration) werden die Kapitel „Natur und Landschaft“ dieser Planwerke ausgewertet.

Der Indikator beschränkt sich aus vier Gründen auf Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne: 1) Die Deutsche Anpassungsstrategie bezieht sich auf das gesamte Bundesgebiet, daher sollte dieses auch durch den Indikator weitgehend abgedeckt sein. 2) Nach BNatSchG besteht nur für die Landschaftsrahmenplanung eine Pflicht zur Aufstellung. 3) Die Landschaftsrahmenplanung kann als zentrale Ebene zur Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung betrachtet werden (Wilke et al. 2011). 4) Die Berücksichtigung kommunaler Landschaftspläne wäre mit sehr großem Aufwand verbunden. Zudem sollen kommunale Landschaftspläne die Ziele und Aussagen der Landschaftsrahmenpläne konkretisieren, so dass letztere zumindest eine gewisse Zeigerfunktion für die Behandlung des Klimawandels auch in der kommunalen Landschaftsplanung haben.

Das BNatSchG (Fassung vom 01.03.2010, zuletzt geändert durch Gesetz vom 21.01.2013) führt in § 10 zu Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen aus:

„(1) Die überörtlichen konkretisierten Ziele, Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege werden für den Bereich eines Landes im Landschaftsprogramm oder für Teile des Landes in Landschaftsrahmenplänen dargestellt. (...).

(2) Landschaftsprogramme können aufgestellt werden. Landschaftsrahmenpläne sind für alle Teile des Landes aufzustellen, soweit nicht ein Landschaftsprogramm seinen Inhalten und seinem Konkretisierungsgrad nach einem Landschaftsrahmenplan entspricht.“

Die Auswertung der Planwerke beantwortet folgende Fragen:

- Wird der Klimawandel durch die Landschaftsplanung berücksichtigt bzw. thematisiert?
Dies beinhaltet sowohl einzelne Verweise auf klimatische Veränderungen oder den Klimawandel als auch weitergehende Analysen und Planaussagen. Diese können sich sowohl auf Anpassung an den Klimawandel (adaptation) als auch Klimaschutz (mitigation) durch naturschutzfachliche Maßnahmen (bspw. Erhaltung von Ökosystemen als Speicher bzw. Senken für Kohlenstoff) beziehen.
- Werden (potenzielle) Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt benannt?
Voraussetzung für die Ableitung von naturschutzfachlichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ist die Erfassung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. Auch wenn in wichtigen Bereichen (Biozöosen, synökologische Beziehungen etc.) erhebliche Unsicherheiten zu den Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt bestehen (vgl. Korn 2006, Campbell et al. 2009), so ist doch für den weiteren planerischen Prozess die Erkenntnis wesentlich, dass der Klimawandel die biologische Vielfalt in unterschiedlichem Ausmaß betrifft. Mit den bestehenden Unsicherheiten muss im Kon-

text der Landschaftsplanung umgegangen werden (Wilke et al. 2011).

- Werden naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen teilweise oder vollständig mit dem Klimawandel begründet?

Durch die Beantwortung dieser Frage wird untersucht, ob der Klimawandel als Einflussfaktor auf die biologische Vielfalt in die Formulierung von Zielen und Maßnahmen eingeht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Klimawandel zwar ein bedeutender, aber in der Regel nicht der alleinige auslösende Faktor für aktuelle und zukünftige Veränderungen der biologischen Vielfalt ist und sich seine relative Bedeutung im Vergleich zu anderen anthropogenen Faktoren oft nur schwer bestimmen lässt. Um geeignete naturschutzfachliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu entwickeln, muss aber bekannt sein, welche Veränderungen der biologischen Vielfalt ganz oder teilweise auf den Klimawandel zurückgeführt werden können.

Der Indikator trifft eine Aussage darüber, inwieweit die Landschaftsplanung als Fachplanung des Naturschutzes die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt erkennt, differenziert erfasst und passgenau mit Zielen und Maßnahmen in ihren Planwerken auf Ebene der Bundesländer und der Regionen untersetzt. Die Erwähnung des Klimawandels bzw. klimawandelrelevanter Flächen (mit Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff) im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen (Kategorie 1) ist ein Hinweis darauf, dass diese Problematik auf der jeweiligen Planungsebene als relevanter Planungsgegenstand erkannt worden ist. Werden die Auswirkungen des Klimawandels beschrieben (Kategorie 2) zeigt dies, dass man sich der Folgen für die biologische Vielfalt bewusst ist. Darauf aufbauend können Ziele und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel formuliert werden (Kategorie 3).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), Kapitel 3.2.5: „Die Landschaftsplanung sollte zukünftig verstärkt die Dynamik und die Veränderungen in Natur und Landschaft durch den Klimawandel vorausschauend berücksichtigen. Ziel muss es sein, Anpassungsoptionen sowie flexible Entwicklungsmöglichkeiten von Natur und Landschaft zu unterstützen. Wenn in der überörtlichen Landschaftsplanung Vorgaben zur Vermeidung negativer Auswirkungen von Eingriffen in Ökosysteme gemacht werden, sollten bei der Beurteilung möglicher Eingriffsfolgen auch die – zukünftigen – ökologischen und räumlichen Folgen des Klimawandels beachtet werden. Mit Hilfe der kommunalen Landschaftsplanung (...) sollten klimarelevante Funktionen von Natur und Freiräumen im Siedlungsbereich stärker berücksichtigt werden.“ (BMU 2008: 25)
- Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS), Kapitel B 3.2: „Wir streben Folgendes an: [...] Vermehrte Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Biodiversitätsverlust und Klimawandel in allen Bereichen gesellschaftlichen Handelns“. (BMU 2007: 56ff)

Datengrundlage

Datenquelle Eigene Auswertung	
Räumliche Auflösung Flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung Deutschland	

Zeitliche Auflösung Die Auswertung erfolgt jeweils auf dem Stand der Daten zum 31.12. der Jahre 2000, 2005 und 2010. Derzeit werden zusätzlich Werte für das Jahr 2012 berichtet, die gemäß dem genannten Turnus künftig durch Daten für das Jahr 2015 ersetzt werden sollen (Erhebung im fünfjährigen Turnus).	
Beschränkungen Je nach Zeitschnitt sind bis zu etwa 20 % der Landschaftsrahmenpläne nicht verfügbar.	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis vorhandener Daten uneingeschränkt anwendbar.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Hoch	Mehrere datenhaltende Institutionen
Datenverarbeitung:	Hoch	Komplexe Datenaufbereitung, manuelle Datenselektion, aufwändige Überprüfungen
Erläuterung: Das Bundesamt für Naturschutz hält in einem Landschaftsplanungsverzeichnis eine Übersicht über den Planstand auf der jeweiligen Planungsebene im Internet vor (http://www.bfn.de/0312_lpv.html). Hierbei ist der jeweilige Aktualitätsstand zu beachten, die Angaben sind teilweise bis zu einem Jahr alt. Auf der Ebene der Bundesländer sind die Planwerke (Landschaftsprogramme, in BW Landschaftsrahmenprogramm) in der Regel leicht über das Internet zugänglich. Auf der Ebene der Regionen ist der Zugang je nach Bundesland bzw. Planstand unterschiedlich schwierig: einige Bundesländer haben die vorliegenden Landschaftsrahmenpläne, Regionalpläne und Regionalen Entwicklungspläne über das Internet zugänglich gemacht. In anderen Bundesländern müssen die Planwerke einzeln angefordert werden und sind nicht allgemein zugänglich. Eine automatisierte Datenverarbeitung ist nur insofern möglich, als über Such-Funktionen in den auszuwertenden Planwerken nach Schlüsselbegriffen wie „Klimawandel“, „Klimaveränderung“, „Klimaschutz“, „Anpassung“ oder „Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff“ gesucht wird. Die Bewertung der relevanten Textteile nach den vorgegebenen Kategorien ist aber kontextabhängig und nicht automatisierbar. Eine Prüfung der inhaltlichen Qualität und Tiefe der Planwerke ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich. Geschätzter Arbeitsaufwand für einen neuen Zeitschnitt: 10 Arbeitstage		
Datenkosten Keine		
Zuständigkeit Bundesamt für Naturschutz (Neuvorschlag) Erläuterung: Auf Grund der möglichen Synergien aus der Vorhaltung des Landschaftsplanungsverzeichnisses wird vorgeschlagen, die Fortschreibung des Indikators beim Bundesamt für Naturschutz (BfN) anzusiedeln.		

Aussage

Interpretationsvorschrift

Teil A und B:

Je höher die Prozentzahl in den Kategorien 1, 2, 3a und 3b, in desto mehr Fällen werden naturschutzfachliche Anpassungserfordernisse an den Klimawandel in den betrachteten Planwerken der Landschaftsplanung berücksichtigt.

Trend- und Statusanalyse

Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne konkretisieren Ziele und Grundsätze von Naturschutz und Landschaftspflege für das jeweilige Land (Landschaftsprogramm) bzw. für Regionen bzw. Landkreise (Landschaftsrahmenplan). Eine Auswertung der 16 Landschaftsprogramme der Länder sowie der verfügbaren Landschaftsrahmenpläne – im Jahr 2012 waren dies 135 – zeigt, dass die Auswirkungen des Klimawandels und die daraus resultierenden planerischen Anforderungen zwar noch keine breite Berücksichtigung finden. Jedoch haben klimawandelbezogene Aussagen in Programmen und Plänen im Zeitraum zwischen den Jahren 2000 und 2012 bereits deutlich zugenommen. So finden der Klimawandel sowie Themen des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen inzwischen in der Hälfte der Landschaftsprogramme Erwähnung. Dabei wurde für den Klimaschutz die Berücksichtigung von Flächen mit Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff in den Plänen ausgewertet. Demgegenüber lässt die deutliche Mehrzahl der Planwerke Beschreibungen konkreter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt bislang vermissen. Auf dem Stand des Jahres 2012 werden nur in ca. jedem zehnten Planwerk einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen zumindest zum Teil mit dem Klimawandel begründet.

Auf Grundlage der vorgenommenen Analysen sind detaillierte Aussagen zur fachlich-inhaltlichen Tiefe der Berücksichtigung des Klimawandels in den Planwerken nicht möglich. Es lässt sich jedoch feststellen, dass die Landschaftsplanung auf Ebene der Länder und Regionen mit Blick auf die Herausforderungen des Klimawandels bislang nur in geringem Umfang zukunftsweisende Aussagen zu konkreten Zielen und Maßnahmen trifft. Die aktuellen Initiativen einzelner Länder lassen erwarten, dass bei anstehenden Programm- und Planfortschreibungen die planerischen Steuerungsmöglichkeiten künftig stärker ausgeschöpft werden.

Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen sind aus der DAS, Kapitel 3.2.5 (BMU 2008), sowie der NBS, Kapitel B 3.2 (BMU 2008: 25), abzuleiten: Bei den Vorgaben zur Vermeidung negativer Auswirkungen von Eingriffen in Ökosysteme in der überörtlichen Landschaftsplanung sollten bei der Beurteilung möglicher Eingriffsfolgen auch die – zukünftigen – ökologischen und räumlichen Folgen des Klimawandels beachtet werden. In der kommunalen Landschaftsplanung sind klimarelevante Funktionen von Natur und Freiräumen im Siedlungsbereich stärker zu berücksichtigen (BMU 2008).

Bewertung des Indikators

Stärken

Der Indikator ist leicht verständlich und anschaulich, die Datenlage ist hervorragend. Der Indikator weist einen nachvollziehbaren direkten Bezug zum Klimawandel auf und ist gut dokumentiert.

Schwächen

Eine Auswertung der Planwerke auf der Ebene der Bundesländer und Regionen hinsichtlich der inhaltlichen Tiefe und Detaillierung der Planaussagen wäre sehr aufwändig. Deshalb ist nur ein Ansatz möglich, der die Berücksichtigung des Klimawandels in den Planwerken anhand von ein-

fach gefassten Kategorien bilanziert. Detaillierte Aussagen zur fachlich-inhaltlichen Tiefe der Berücksichtigung des Klimawandels in den Planwerken sind damit aber nicht möglich (solche Aussagen mit Stand 2014 finden sich jedoch in Radtke 2015 sowie Radtke et al. 2015).

Landschaftsprogramme sind seit der letzten Novelle des BNatSchG nicht mehr bundesrechtlich vorgeschrieben. Die Regelungen der einzelnen Landesnaturschutzgesetze zur Aufstellung und Fortschreibung von Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen sind uneinheitlich. Die aktuelle Rechtslage führt dazu, dass ältere Landschaftsprogramme nicht mehr fortgeschrieben werden müssen und auf der Ebene der Landschaftsrahmenpläne teilweise zeitlich sehr unterschiedliche Fortschreibungsstände vorliegen können.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

-

Graphische Darstellung

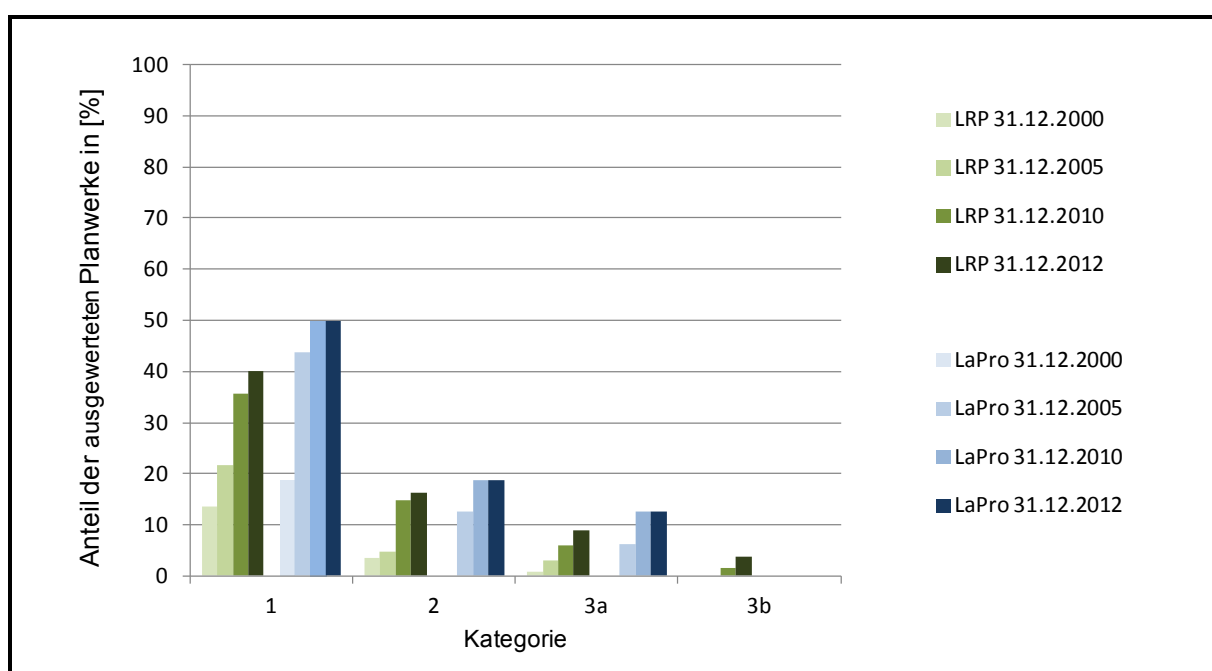


Abb. 1: Indikator „Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsplanung“. Behandlung bzw. Berücksichtigung des Klimawandels bzw. klimawandelrelevanter Flächen (mit Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff) in Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen:

Kategorie 1: Klimawandel bzw. klimawandelrelevante Flächen (mit Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff) werden im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen erwähnt.

Kategorie 2: Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt werden beschrieben.

Kategorie 3a: Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden u. a. mit dem Klimawandel begründet.

Kategorie 3b: Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden ausschließlich oder vorwiegend mit dem Klimawandel begründet.

LaPro: Landschaftsprogramme (bei Primärintegration Kapitel „Natur und Landschaft“ des Landesentwicklungsplans) mit $N = 16$ und Gültigkeit zum 31.12. des genannten Jahres

LRP: Landschaftsrahmenpläne (bei Primärintegration Kapitel „Natur und Landschaft“ der Regionalpläne) der Flächenstaaten mit $N_{2000} = 117$, $N_{2005} = 129$, $N_{2010} = 135$, $N_{2012} = 135$ und Gültigkeit zum 31.12. des genannten Jahres (keine Landschaftsrahmenplanung in den Stadtstaaten und im Saarland)

Glossar

Landschafts- programm	„Das Landschaftsprogramm wird als Fachkonzept des Naturschutzes flächendeckend für das jeweilige Bundesland erstellt. Es dient dazu, landesweit bedeutsame Erfordernisse und Maßnahmen zu erarbeiten sowie Naturschutzaufgaben zu koordinieren und dabei Prioritäten zu setzen. (...)“ Zu den Schwerpunkten des Landschaftsprogramms zählen programmatische Zielsetzungen und Leitlinien für die Naturschutzpolitik eines Bundeslandes ebenso wie raumkonkrete Darstellungen. Es ist die wichtigste Arbeitsgrundlage für spezielle Umsetzungsaufgaben der obersten Naturschutzbehörde. Dazu gehören z. B. Großschutzgebiete oder andere Schutzgebiete von überregionaler Bedeutung, der landesweite Biotopverbund oder Gebietskulissen für Förderprogramme. Das Landschaftsprogramm bereitet zudem die raumbedeutsamen Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege zur Integration in die Landesplanung (Landesraumordnungsprogramm) auf.“ (Haaren et al. 2007: 14ff) Rechtsgrundlage: § 10 BNatSchG (Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne) und die entsprechenden Regelungen der Landesnaturschutzgesetze.
Landschafts- rahmenplan	„Landschaftsrahmenpläne konkretisieren die überörtlichen Ziele, Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege für die jeweilige Region (z. B. Regierungsbezirk, Kreis). Wesentlicher Auftrag des Landschaftsrahmenplans ist die Vorbereitung der Arbeit der unteren und teilweise der oberen Naturschutzbehörden. (...) Ebenso werden Flächen für den regionalen Biotopverbund, Vorranggebiete für den Schutz fruchtbarer oder seltener Böden, des Grundwassers oder Gebiete mit besonderer Bedeutung für die Hochwasserrückhaltung abgebildet.“ Der Landschaftsrahmenplan ist Grundlage für Stellungnahmen zu Planungen und Vorhaben der verschiedensten Fachplanungen und Vorhabensträger. (...)“ Das maßgebliche raumplanerische Instrument für die Übernahme der Inhalte des Landschaftsrahmenplanes ist die Regionalplanung. Um die Integration der dargestellten Ziele, Erfordernisse und Maßnahmen in den Regionalplan zu vereinfachen, wird der Landschaftsrahmenplan auf die Darstellungsmöglichkeiten der Regionalplanung abgestimmt.“ (Haaren et al. 2007: 15) Rechtsgrundlage: § 10 BNatSchG (Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne) und die entsprechenden Regelungen der Landesnaturschutzgesetze.
Primärintegration	„Hier nehmen die Pläne der Raumordnung und der Bauleitplanung die Funktion der Landschaftsplanung selbst wahr, d. h. de jure existiert kein eigener Landschaftsplan. Die Primärintegration findet z. B. in Bayern und Rheinland-Pfalz sowie auf Regional- und Landesebene in Sachsen Anwendung. In der Praxis existiert jedoch auch in diesen Bundesländern häufig ein eigenes landschafts-planerisches Werk mit Gutachtencharakter, das als Grundlage für die landschaftsplanerischen Aussagen des

Sekundär-integration Eigenständige Rechtsverbindlichkeit	räumlichen Gesamtplans dient. Damit nähert sich dieses Modell zwar nicht rechtlich, aber inhaltlich-methodisch der Sekundärintegration (s. unten) an“ (Heiland 2010: 296). „Im Gegensatz zur Primärintegration wird hier zunächst ein eigenständiger Landschaftsplan erstellt, der in einem zweiten Schritt in die räumliche Gesamtplanung integriert wird und dadurch Rechtsverbindlichkeit erlangt. Auch bei der Sekundärintegration hat die Landschaftsplanung keine eigenständige Rechtsverbindlichkeit, sondern erhält diese erst durch die Integration in die räumliche Gesamtplanung. Dieses Modell findet in den meisten Bundesländern Anwendung“ (Heiland 2010: 296). „In den Stadtstaaten und auf kommunaler Ebene in Nordrhein-Westfalen ist die Landschaftsplanung ohne Integration in die räumliche Gesamtplanung rechtsverbindlich. Mögliche Zielkonflikte zwischen den Planwerken werden vermieden bzw. gelöst, indem in den Stadtstaaten die Aussagen der Flächennutzungsplanung Vorrang vor jenen der Landschaftsplanung haben. In Nordrhein-Westfalen werden Flächennutzungspläne für den baurechtlichen Innenbereich, Landschaftspläne für den baurechtlichen Außenbereich erstellt, sodass eine räumliche Trennung der jeweiligen Planungen gegeben ist“ (Heiland 2010: 297).
--	--

Quellen und weiterführende Informationen

- Campbell, A., Kapos, V., Scharlemann, J. P. W., Bubb, P., Chenery, A., Coad, L., Dickson, B., Doswald, N., Khan, M. S. I., Kershaw, F., Rashid, M. (2009): Review of the Literature on the Links between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series No. 42, 124 S.
- Korn, H. (2006): Biodiversität und Klimaveränderungen – Aktivitäten des BfN. In: Korn, H., Schliep, R., Stadler, J. (Ed.) (2006): Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland II – Ergebnisse und Dokumentation des 2. Workshops. BfN-Skripten 180. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg: 24-28.
- Haaren, C. v., Galler, C., Ott, S. (2007): Landschaftsplanung – Grundlage vorsorgenden Handelns. Hg.: Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 52 S.
- Heiland, S. (2010): Landschaftsplanung. In: Henckel, D. et al. (Ed.): Planen – Bauen – Umwelt. Ein Handbuch. Wiesbaden: 294-300.
- Radtke, L. (2015): Klimawandel in der Landschaftsrahmenplanung. Eine repräsentative Untersuchung zur Berücksichtigung von Klimawandel, Klimaschutz und Klimaanpassung durch Landschaftsrahmenpläne im zeitlichen Verlauf. Unveröffentlichte Bachelor-Arbeit am Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung der TU Berlin: 147 S. Online, URL: http://www.landschaft.tu-berlin.de/menue/studium_und_lehre/abschlussarbeiten/ [Zugriff: 11.03.2016].
- Radtke, L., Schliep, R. & Heiland, S. (2015): Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsrahmenplanung – Ein bundesweiter Überblick. Naturschutz und Landschaftsplanung 47: 201-208.
- Wilke, C., Bachmann, J., Hage, G., Heiland, S. (2011): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 109, Bonn-Bad Godesberg, 235 S.

7. Kennblätter der Indikator-Prototypen (Kategorie 2)

Insgesamt neun Indikator-Prototypen mit folgenden Titeln konnten im Vorhaben entwickelt werden:

- Phänologische Veränderungen bei Tierarten (Kap. 7.1),
- Veränderung des Arteninventars auf High Nature Value Farmland (Kap. 7.2),
- Arealveränderungen bei marinen Arten (Kap. 7.3),
- Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten (Kap. 7.4),
- Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften (Kap. 7.5),
- Veränderung der Flora auf Alpengipfeln (Kap. 7.6),
- Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen (Kap. 7.7),
- Länderübergreifender Biotopverbund (Kap. 7.8),
- Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität (Kap. 7.9).

7.1 Phänologische Veränderungen bei Tierarten

Indikator-Kennziffer I.1.2	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiterin: Dr. Livia Schäffler, Museum für Naturkunde Berlin Mitwirkung: Prof. Dr. Stefan Siedentop, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung, Dortmund Prof. Dr. Marten Boersma, Biologische Anstalt Helgoland Prof. Dr. Franz Bairlein, Institut für Vogelforschung / Vogelwarte Helgoland Jan von Rönn, Verein Jordsand zum Schutze der Seevögel und der Natur e.V./ Greifswalder Oie Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner/in Museum für Naturkunde Berlin, Dr. Livia Schäffler, livia.schaeffler@mfn-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung: Vollständig entwickelt, Datenlieferung ausstehend bzw. unvollständig, Auswertung ausstehend	

Einordnung

Indikationsfeld Direkte klimawandelbedingte Wirkungen auf die biologische Vielfalt	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset –	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

173

fassen, werden als erklärende Variable die mittlere Winter-SST jedes Jahres aus den SST-Werten der ersten bis zehnten Kalenderwoche (Greve et al. 2005) berechnet und mittels verallgemeinerter linearer gemischter Modelle auf Zusammenhänge mit dem jährlichen Saisonbeginn getestet. Zusätzlich wird der Saisonbeginn für jedes Taxon auf Unterschiede zwischen dem weitest möglich zurückliegenden Referenzzeitraum (1975-1994) und einem laufenden Zeitfenster (aktuell 1995-2014) von je zwanzig Jahren getestet (Mann-Whitney-U-Test).

Begründung

Die Phänologie beschreibt die im Jahresablauf wiederkehrenden Erscheinungen bei Organismen, wie etwa Wachstumsvorgänge, Populationszyklen oder saisonale Migration von Tierarten. Diese jahreszeitlichen Zyklen werden durch die ökologischen Bedingungen bestimmt und unterliegen daher dem Einfluss des Klimawandels (z. B. Walther et al. 2002, Parmesan und Yohe 2003). Aus naturschutzfachlicher Sicht können phänologische Veränderungen sowohl positive als auch negative Konsequenzen für die Biodiversität haben: Als vorteilhaft kann etwa die Ausbildung einer zusätzlichen Generation bei naturschutzfachlich wertvollen Insektenarten gewertet werden, deren individuelle Entwicklung infolge klimatischer Veränderungen beschleunigt wird (z. B. Schwarnowski 2007). Asynchrone phänologische Verschiebungen können allerdings zu einer Entkopplung synökologischer Beziehungen führen (etwa Räuber-Beute-Beziehungen: z. B. Verfügbarkeit von Insekten für brütende Singvögel: Visser und Holleman 2006, Both et al. 2010; Konkurrenz-Verhältnisse: z. B. zwischen Vögeln und Säugern um Baumhöhlen: Koppmann-Rumpf et al. 2003) und sich dadurch negativ auf die Bestandsentwicklung der beteiligten Arten auswirken.

Phänologische Beobachtungen sind besonders gut für die Abbildung langfristiger Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt geeignet, da die jahreszeitlichen Vorgänge vieler Organismen vom Temperaturverlauf über längere Zeitspannen abhängen und sich biologische Veränderungen oft erst über Jahre hinweg zeigen. Aufgrund ihrer Anschaulichkeit eignet sich die Phänologie darüber hinaus hervorragend dazu, einer breiten Öffentlichkeit die Folgen klimatischer Veränderungen zu vermitteln (Ackermann et al. 2012).

a) Zugvögel sind aufgrund ihres seit langem gut dokumentierten Zugverhaltens sehr gute Modellorganismen, um Auswirkungen von Klimaänderungen auf phänologische Ereignisse aufzuzeigen (Rabitsch et al. 2011). Der Vogelzug hat sich vor allem im Zusammenhang mit den im Jahresverlauf wechselnden klimatischen Bedingungen und der damit verbundenen Variabilität in der Nahrungsverfügbarkeit entwickelt. Zugzeiten werden zwar wesentlich durch die jahresperiodischen Änderungen der Tageslänge bestimmt, die Feinabstimmung erfolgt jedoch zusätzlich über die Temperatur (Coppack und Pulido 2004, in Peintinger und Schuster 2005). Für den Vogelzug sind dabei die ökologischen Bedingungen in den Brutgebieten von geringerer Bedeutung (Lehikoinen et al. 2004; Gordo 2007; Gordo und Sanz 2008) als die Gegebenheiten, welchen Zugvögel auf ihrem Weg zwischen Überwinterungs- und Brutgebieten ausgesetzt sind. Die exogenen Faktoren, die das Nahrungsangebot entlang der Zugstrecke bestimmen und an die sich der Vogelzug anpassen muss, werden insbesondere durch die Nordatlantische Oszillation in den Winter- und Frühjahrsmonaten beeinflusst (Hüppop und Hüppop 2003, 2005). Ein niedriger Winter-NAOI resultiert aus einer geringen Luftdruckdifferenz, und die damit einhergehende Großwetterlage in West-, Nord- und Mitteleuropa ist gekennzeichnet von schwachen Westwinden und damit einem größeren Einfluss des kontinentalen Winter-Hochdruckgebietes mit niedrigen Temperaturen und geringen Niederschlagsmengen. Umgekehrt geht ein hoher Winter-NAOI mit starken Westwinden einher, die milde Frühjahrs Temperaturen und höhere Niederschlagsmengen bedingen und damit einen frühen Heimflug in die Brutgebiete begünstigen. Sowohl bei Kurz- und Mittel- als auch bei Langstreckenziehern wird eine Verfrühung der Durchzugszeiten, der Ankunft im Brutgebiet und des Brutbeginns als Anpassung an die langfristig milder gewordenen Winter und Frühjahre beobachtet (Bairlein 2006, Hüppop et al. 2008).

In den Fangstationen der Vogelwarte Helgoland und der Greifswalder Oje werden im Frühjahr durchziehende Kleinvögel täglich mit Reusen gefangen. Der Analyse langfristiger Veränderungen kommt besonders zu Gute, dass die meisten der in den Fanggärten der Vogelwarte Helgoland und an der Greifswalder Oje gefangenen Arten nicht vor Ort brüten. Die Auswertungen müssen also nicht auf Erstankunftsdaten basieren, sondern können auf der Grundlage von statistisch robusten jährlichen Mittelwerten der Überflugzeiten aller im Frühjahr gefangenen Individuen einer Art durchgeführt werden (Sparks et al. 2001, Bairlein 2006, Hüppop und Hüppop 2013).

Die Auswahl an Zugvogelarten (Tab. 1) umfasst drei Kurz- bzw. Mittelstreckenzieher (KMZ) und vier Langstreckenzieher (LZ), bei welchen bereits Auswirkungen des Klimawandels auf die Heimzugzeiten in die Brutgebiete festzustellen sind (Hüppop und Hüppop 2003, 2005; Peintinger und Schuster 2005).

b) Zooplanktonarten sind in ihrer Populationsentwicklung stark von der Meerestemperatur vor Saisonbeginn abhängig und eignen sich daher hervorragend als Indikatoren für die Erfassung langfristiger Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität. Die stärksten phänologischen Veränderungen beim Plankton werden in der südlichen Nordsee beobachtet, die sich im Vergleich zu anderen Regionen des NO-Atlantiks besonders schnell erwärmt (EEA 2008). Starke Variationen in der Reaktion auf Temperaturveränderungen verschiedener mariner Organismen führen zur Desynchronisierung zwischen trophischen Ebenen (z. B. Edwards und Richardson 2004, Weijerman et al. 2005), so dass sowohl Auswirkungen auf kommerziell wichtige Fischpopulationen zu erwarten sind (z. B. Kabeljau und Dorsche: Platt et al. 2003, Beaugrand et al. 2003) als auch ein Rückgang der Seevogelpopulationen (Frederiksen et al. 2006).

Die Datenreihe der Helgoland Reede stellt die wertvollste Datenquelle dar, die zur Beobachtung der Langzeitentwicklung des Zooplanktons in der Deutschen Bucht verfügbar ist (BSH 2009). Zooplanktonproben werden durch die Biologische Anstalt Helgoland (BAH) seit 1975 systematisch an der sog. „Kabeltonne“ der Helgoland Reede erhoben und die Zusammensetzung der darin enthaltenen Taxa sowie deren Häufigkeit im Jahresverlauf werden bestimmt (Greve et al. 2004, Wiltshire et al. 2010).

Die Artengruppe des Zooplanktons, das für die Berechnung des Indikators herangezogen werden soll, umfasst je zwei taxonomische Gruppen des Meroplanktons sowie des copepodischen und nicht-copepodischen Holozooplanktons (Tab. 2), bei welchen klimawandelbedingte phänologische Veränderungen in der Nordsee festgestellt wurden (Greve et al. 2001, Edwards und Richardson 2004, Wiltshire et al. 2010, Mackas et al. 2012, Boersma, pers. comm.).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

a) Die Zielsetzung des Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) besteht darin, die Verwundbarkeit natürlicher, sozialer und wirtschaftlicher Systeme gegenüber Klimafolgen zu mindern und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit dieser Systeme sowie die Ausnutzung möglicher Chancen zu erhöhen. Ein wesentliches Ziel des Aktionsplans Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel ist die Handlungsfähigkeit der Akteure auf allen relevanten Ebenen sowie deren Fähigkeit zur Eigenvorsorge – oft mit den Begriffen Anpassungsfähigkeit oder Anpassungskapazität bezeichnet – zu stärken (BMU 2011: 8).

b) Der Indikator „Phänologische Veränderungen bei Tierarten“ weist einen indirekten Bezug zum sogenannten 2-Grad-Ziel auf. In der Nationalen Biodiversitätsstrategie wird eine Begrenzung der mittleren globalen Erwärmung der Erdatmosphäre auf maximal 2 Grad gegenüber vorindustriellen Werten als Vision für die Zukunft definiert. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland (z. B. Verschiebung der Vegetationszonen, Veränderung des Vogelzugverhaltens, Gefährdung kälteliebender Arten) sollen abgepuffert bzw. minimiert werden, so dass empfindliche Arten und Lebensgemeinschaften auf klimabedingte Veränderungen durch räumliche Wanderungen reagieren können (BMU 2007: 55f). Eine konkrete Zielvorgabe liegt also

darin, dem gegenwärtigen Klimatrend entgegenzuwirken – etwa durch eine deutliche Verringerung des Treibhausgasausstoßes – um weitere negative Auswirkungen des Klimawandels auf die Phänologie von Pflanzen, aber auch darüber hinaus auf die biologische Vielfalt zu begrenzen.

Datengrundlage

Datenquelle Durchflugszeiten der Zugvögel aus Frühjahrsfängen in den Fanggärten der Vogelwarte Helgoland/Institut für Vogelforschung (seit 1961) und der Greifswalder Oje (seit 1994) NAOI (monatliche Werte): Climatic Research Unit at the University of East Anglia, Norwich, UK 1821-2000: http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao 1999-2013: http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm Zooplanktondaten (Zählungen dreimal wöchentlich) und Meeresoberflächentemperaturen (Messungen an jedem Werktag) an der „Kabeltonne“ der Helgoland Reede: Biologische Anstalt Helgoland (seit 1975)	
Räumliche Auflösung Punkthaft, Fanggärten der Vogelwarte Helgoland und der Greifswalder Oje bzw. Kabeltonne der Helgoland Reede	NUTS LAU 2
Geographische Abdeckung a) Nord- und Ostsee (Helgoland und Greifswalder Oje) b) Nordsee (54°11'18"N; 7°54'E)	
Zeitliche Auflösung Jährliche Eintrittszeitpunkte a) Helgoland seit 1961, Greifswalder Oje seit 1994 b) Kabeltonne der Helgoland Reede seit 1975	
Beschränkungen –	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis vorhandener Daten nur eingeschränkt anwendbar

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Hoch	Mehrere datenhaltende Institutionen
Datenverarbeitung:	Hoch	Komplexe Datenaufbereitung, manuelle Datenselektion
Erläuterung: Bei den Daten von (a) den Frühjahrsfangstationen der Vogelwarte Helgoland und der Greifswalder Oje und (b) der Kabeltonne Helgoland handelt es sich um tägliche bzw. wöchentliche Zählraten, die für die Auswertungen zunächst aufbereitet werden müssen. Ebenso sind die NAO Indices bzw. SST-Daten zunächst in eine für die Auswertungen geeignete Form zu bringen.		
Datenkosten Keine		

Zuständigkeit

Bundesamt für Naturschutz (BfN)

Erläuterung:

Da die datenhaltenden Institutionen für die Berechnung des Indikators nicht zur Verfügung stehen, müsste die Zuständigkeit durch das BfN übernommen werden.

Aussage**Interpretationsvorschrift**

a) Zugvögel: Je niedriger der Mittelwert des Überflugs im Frühjahr (Tag im Jahr), desto früher findet der Heimflug der Zugvögel in die Brutgebiete statt. Ein negativer Zusammenhang mit dem Winter-NAOI zeigt an, dass die Verfrühung des Vogelzugs meteorologisch bedingt ist.

b) Zooplankton: Je niedriger der Wert des Saisonbeginns (Kalenderwoche im Jahr), desto früher beginnt die Populationsentwicklung beim Zooplankton. Ein negativer Zusammenhang mit der Winter-SST zeigt an, dass die Verfrühung des Saisonbeginns temperaturbedingt ist.

Trend- und Statusanalyse

Kann erst nach vollständiger und abschließender Auswertung der Daten durchgeführt werden.

Handlungsempfehlungen

a) Zugvögel: Im Zuge der Klimaänderungen wird sich die zukünftige Zusammensetzung unserer Vogelwelt verändern. Vorhersagen der resultierenden Gemeinschaften sind heute nicht möglich. Es ist jedoch klar, dass intakte Lebensräume für die Erhaltung der Bestände und der Diversität der Vögel notwendig sind. Ein effizienter und effektiver Naturschutz ist deshalb mehr denn je unverzichtbar, und es bedarf gleichzeitig der Entwicklung flexiblerer Naturschutzkonzepte, die klimabedingte Veränderungen berücksichtigen (Bairlein 2006).

b) Zooplankton: Um die absehbaren negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischpopulationen über Veränderungen der Populationsdynamik des Zooplanktons nicht weiter zu fördern, sollten dringend wirksame Maßnahmen zur Begrenzung der Überfischung ergriffen werden (z. B. Kabeljau und Dorsch: Beaugrand et al. 2003).

Bewertung des Indikators**Stärken**

Weit zurückreichende und kontinuierlich erhobene Daten in beiden Artengruppen

Schwächen

Punkthafte Daten

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Zusätzliche Arten können sukzessive in den Indikator miteinbezogen werden (Baukastenprinzip), sobald geeignete Daten zur Verfügung stehen (s. Dokumentation ausgeschlossener Artengruppen im Anhang auf S. 191/192). Ein artübergreifend aggregierter Indikatorwert bietet sich nicht an, da für die Artengruppen verschiedene Maße relevant sind. Beispielsweise ließen sich phänologische Veränderungen bei Tagfaltern über den Beginn der Flugzeiten im Frühjahr erfassen, bei Libellen über die Zeit der Larvalentwicklung oder Emergenz, bei Amphibien hingegen über das Einsetzen der Wanderungen zu den Laichgewässern oder Explosivlaichereignisse. Abhängig von der Artengruppe und dem herangezogenen phänologischen Maß müssten jeweils relevante Witterungsbedingungen als Einflussvariablen herangezogen werden.

Graphische Darstellung

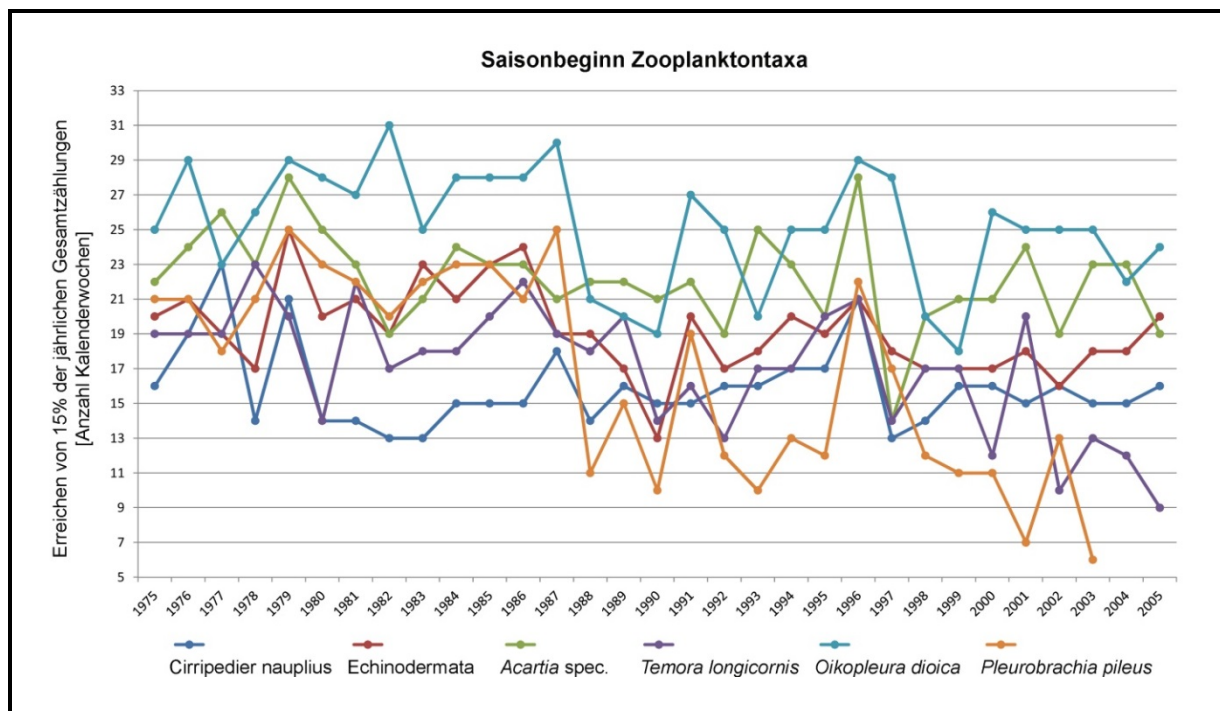


Abb. 1: Indikator-Prototyp „Phänologische Veränderungen bei Tierarten“: Vorläufige Darstellung des Saisonbeginns ausgewählter Taxa des Zooplanktons im Zeitraum von 1975 bis 2005 an der Kabeltonne der Helgoland Reede (Datenquelle: Biologische Anstalt Helgoland).

Glossar

Phänologie

Das Wort Phänologie ist dem Griechischen entlehnt und bedeutet Lehre von den Erscheinungen. Gemeint sind die periodischen Wachstums- und Entwicklungserscheinungen aller pflanzlichen und tierischen Lebewesen in ihren zeitlichen Abhängigkeiten. Die Phänologie untersucht die Entwicklung der Pflanzen und Tiere im Jahresablauf indem sie die Eintrittszeiten auffälliger Erscheinungen notiert. Bei Tieren sind dies z. B. Daten für periodische Wanderungen oder bestimmte Verhaltensweisen. Die Phänologie erforscht auch die Zusammenhänge zwischen der biologischen Rhythmik und den Umwelteinflüssen, insbesondere den Witterungs- und Klimaverhältnissen (DWD 2014).

Nordatlantische Oszillation

In West-, Nord- und Mitteleuropa bestimmt die Nordatlantische Oszillation (NAO) als großräumiges Klimaphänomen Temperatur, Niederschlag, Windstärke und Windrichtung. Der Nordatlantische Oszillationsindex (NAOI) quantifiziert die monatliche mittlere Differenz zwischen dem hohen Luftdruck bei den Azoren und dem Tiefdruckgebiet bei Island. Die NAO beeinflusst maßgeblich das Wetter und die Witterung in den Europäischen Brutgebieten von Zugvögeln und unterliegt in den Wintermonaten den stärksten Schwankungen. Daher eignet sich der Winter-NAOI besonders für die Untersuchung großräumiger Zusammenhänge ökologischer Phänomene mit der meteorologischen Situation (Hüppop et al. 2008).

Zooplanktonkategorien

Zum Meroplankton zählen Arten, die nur das Larvenstadium im Zooplankton verbringen (Larven von z. B. Fischen, Stachelhäutern, Krebstieren, marinen Würmern und Schnecken). Das Holozooplankton verbringt dagegen den gesamten Lebenszyklus als Plankton. Ruderfußkrebse der Unterklasse Copepoda gehören zum Stamm der Krebstiere (Crustacea); zum nicht-copepodischen Holozooplankton zählen z. B. die hier verwendeten Ordnungen Cydippida des Stammes Rippenquallen (Ctenophora) und Copelata des Stammes Chordatiere (Chordata) (Edward und Richardson 2004, MarineBio Conservation Society 2014).

Quellen und weiterführende Informationen

- Ackermann, W., Schweiger, M., Sukopp, U., Fuchs, D., Sachteleben, J. (2013): Indikatoren zur biologischen Vielfalt. Entwicklung und Bilanzierung. Naturschutz und Biologische Vielfalt 132, Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 229 S.
- Bairlein, F. (2006): Klimawandel und Vögel. 24. Internationaler Ornithologen-Kongress. Hamburg, Institut für Vogelforschung, Wilhelmshaven: 1-4.
- Beaugrand, G., Brander, K. M., Lindley, J. A., Souissi, S., Reid, P. C. (2003): Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature* 426: 661-664.
- Beringungszentrale Hiddensee (2012): 16. Mitteilung Integriertes Monitoring von Singvogelpopulationen (IMS) in Deutschland 2011. Online, URL: http://www.ifv-vogelwarte.de/img/Beringer/IMS_Bericht_2011.pdf [Zugriff: 06.09.2015].
- Both, C., Van Turnhout, C. A. M., Bijlsma, R. G., Siepel, H., Van Strien, A. J., Foppen, R. P. B. (2010): Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 277: 1259-1266.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Eigenverlag, Berlin, 178 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel: 1-93.
- BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2009): Umweltbericht zum Raumordnungsplan für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ): Teil Nordsee. Hamburg: 1-536.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2014): Phänologie. Online Wetterlexikon des Deutschen Wetterdienstes, http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_menu2_wetterlexikon&_nfls=false [Zugriff: 21.01.2014].
- Edwards, M., Richardson, A. J. (2004): Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430: 881-884.
- EEA – European Environment Agency (2008): Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO report. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities: 1-246.
- Frederiksen, M., Edwards, M., Richardson, A. J., Halliday, N. C., Wanless, S. (2006): From plankton to top predators: bottom-up control of a marine food web across four trophic levels. *Journal of Animal Ecology* 75: 1259-1268.
- Greve, W., Lange, U., Reiners, F., Nast, J. (2001): Predicting the Seasonality of North Sea Zooplankton. *Senckenbergiana maritima* 31(2): 263-268.

- Greve, W., Prinage, S., Zidowitz, H., Reiners, F. (2005): On the phenology of North Sea ichthyoplankton. *ICES Journal of Marine Science* 62: 1216-1223.
- Greve, W., Reiners, F., Nast, J., Hoffmann, S. (2004): Helgoland Roads meso- and macrozooplankton time-series 1974 to 2004: lessons from 30 years of single spot, high frequency sampling at the only off-shore island of the North Sea. *Helgoland Marine Research* 58: 274-288.
- Hüppop, K., Hüppop, O., Bairlein, F. (2008): Immer früher wieder zurück: Veränderung von Zugzeiten. *Der Falke* 55(Sonderheft Klimawandel und Vögel): 294-299.
- Hüppop, K., Ommo, H. (2005): Atlas zur Vogelberingung auf Helgoland. *Vogelwarte* 43: 217-248.
- Hüppop, O., Hüppop, K. (2003): North Atlantic Oscillation and timing of spring migration in birds. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 270: 233-240.
- Hüppop, O., Hüppop, K. (2013): Zugvögel und Klimawandel: Vom Lang- zum Mittelstreckenzieher? *Der Falke* 60(Sonderheft Vogelzug): 58-61.
- Koppmann-Rumpf, B., Heberer, C., Schmidt, K.-H. (2003): Long-term study of the reaction of the edible dormouse *Glis glis* (Rodentia: Gliridae) to climatic changes and its interactions with hole-breeding passerines. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 49 (suppl. 1): 69-76.
- Mackas, D. L., Greve, W., Edwards, M., Chiba, S., Tadokoro, K., Eloire, D., Mazzocchi, M. G., Batten, S., Richardson, A. J., Johnson, C., Head, E., Conversi, A., Peluso, T. (2012): Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography* 97-100: 31-62.
- MarineBio Conservation Society (2014): Zooplankton. MARINEBIO
Online, URL: <http://marinebio.org/oceans/zooplankton.asp> [Zugriff: 21.01.2014].
- Parmesan, C., Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Peintinger, M., Schuster, S. (2005): Veränderungen der Erstankünfte bei häufigen Zugvogelarten in Südwestdeutschland. *Vogelwarte* 43: 161-169.
- Platt, T., Fuentes-Yaco, C., Frank, K. T. (2003): Spring algal bloom and larval fish survival. *Nature* 423: 389-399.
- Rabitsch, W., Winter, M., Kühn, E., Kühn, I., Götzl, M., Essl, F., Gruttke, H. (2010): Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland. Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz), *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 98, 265 S.
- Schanowski, A. (2007): Klimawandel und Insekten. LUBW Landesanstalt für Umwelt Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: 3-22.
- Sparks, T. H., Roberts, D. R., Crick, H. Q. P. (2001): What is the value of first arrival dates of spring migrants in phenology? *Avian Ecology and Behaviour* 7: 75-85.
- Visser, M. E., Holleman, L. J. M. (2006): Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. *Oecologia* 147: 164-172.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- Weijerman, M., Lindeboom, H., Zuur, A. F. (2005): Regime shifts in marine ecosystems of the North Sea and Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series* 298: 21-39.
- Wiltshire, K. H., Kraberg, A., Bartsch, I., Boersma, M., Franke, H.-D., Freund, J., Gebühr, C., Gerdt, G., Stockmann, K., Wichels, A. (2010): Helgoland Roads, North Sea: 45 Years of Change. *Estuaries and Coasts* 33: 295-310.

Anhang

Tab. 1: Indikatorarten Zugvögel

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name	Zugform
Mönchsgrasmücke	<i>Sylvia atricapilla</i>	KMZ
Zilpzalp	<i>Phylloscopus collybita</i>	KMZ
Singdrossel	<i>Turdus philomelos</i>	KMZ
Teichrohrsänger	<i>Acrocephalus scirpaceus</i>	LZ
Sumpfrohrsänger	<i>Acrocephalus palustris</i>	LZ
Gartengrasmücke	<i>Sylvia borin</i>	LZ
Fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	LZ

KMZ = Kurzstrecken- und Mittelstreckenzieher, LZ = Langstreckenzieher

Tab. 2: Indikator taxa Zooplankton

	Meroplankton	Copepodisches Holozooplankton	Nicht-copepodisches Holozooplankton
Art		<i>Temora longicornis</i>	<i>Oikopleura dioica</i> <i>Pleurobrachia pileus</i>
Gattung		<i>Acartia</i> spp.	
Infra- klasse	Cirripedia nauplius (Nauplius-Larven der Cirripedia)		
Stamm	Echinodermata		

Aufgrund eingeschränkter Datenverfügbarkeit ausgeschlossene Artengruppen:

Tagfalter

- Bundesweites Tagfalter-Monitoring ist seit 2005 etabliert
- Wöchentliche Transekt-Erfassung von Individuen aller Tagfalterarten über die gesamte Saison
- Beginn der jährlichen Flugzeiten wäre für den Phänologieindikator bedingt geeignet
- Keine Bereitstellung von Daten durch das UFZ (Dr. Joseph Settele, pers. Komm.)

Libellen

- Bundesweite Datensammlung aus verschiedenen Kartierungen und Atlasprojekten (FFH-/ÖFS-Monitoring)
- Monitoring aller Libellenarten auf zahlreichen Untersuchungsflächen (über Landesämter, ehrenamtliche Datenerhebung privater Initiativen)
- Gute Datengrundlage zur Phänologie (seit 1970 in unterschiedlicher Wiederholungsfrequenz); aufgenommene Daten abhängig vom Projektansatz, zumindest immer Präsenz-/Absenz-Daten)
- Die Bereitstellung der benötigten Daten wäre mit erheblichem Arbeitsaufwand verbunden und ist daher kurzfristig nicht realisierbar (Dr. Jürgen Ott, pers. Komm.).

Heuschrecken

- Keine bundesweite Erfassung (Artengruppe nicht im FFH-Monitoring)
- Regionale Kartierungsprogramme meist mit Fokus auf Verbreitung (Ausnahme Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)
- Keine Datenreihen, die länger als 10 Jahre zurückreichen
- Wiederholungsfrequenz mehrjährig mit wechselnden zeitlichen Abständen (mehrmals im Jahr nur durch LfUG Sachsen)
- Lediglich die Feldgrille ist als weit verbreitete und über ihren Gesang leicht zu erfassende Art geeignet (Dr. Stephan Maas, pers. Komm)

Amphibien

- Bundesweites Monitoring nach FFH-Richtlinie (Richard Podloucky, pers. Komm.):
 - Aus dem Berichtszeitraum 2001-2006 liegen heterogene Daten aus Programmen auf Länderebene vor, erst ab 2008 bundesweit einheitliches Monitoring etabliert
 - Bilanzierung des Erhaltungszustands in einem Untersuchungsjahr innerhalb des Berichtszeitraums von 6 Jahren; Erfassung durch die Länder nicht unbedingt im selben Jahr
- Wanderungsdaten von Amphibienschutzzäunen:
 - In die Schutzzaundatenbank des NABU geht nur die jährliche Anzahl der eingesammelten Tiere ein (NABU Bundesfachausschuss Feldherpetologie und Ichthyofaunistik: Sascha Schleich, pers. Komm.)
 - Daten werden den überregionalen Ansprechpartnern der Länder nicht in der benötigten zeitlichen Auflösung durch ehrenamtliche Zaunbetreuer vorgelegt und die vorliegenden Meldebögen enthalten stark heterogene und lückenhafte Daten; die Bereitstellung der benötigten Daten wäre mit erheblichem Arbeitsaufwand verbunden und ist daher kurzfristig nicht realisierbar (Ansprechpartner der Länder, pers. Komm.)
- Datenbank der Deutschen Gesellschaft für Herpetologie und Terrarienkunde e.V. (Dr. Ulrich Schulte, pers. Komm.):
 - Noch im Aufbau befindlich
 - Auf gemischter Basis von ehrenamtlich erhobenen Daten und Ergebnissen beruflicher Auftragskartierungen
 - Verbreitungsinformationen auf Quadrantenbasis mit Zeitbezug des Dokumentationsjahres
 - Kein Fokus auf der Phänologie

Reptilien

- Als Indikatoren weniger gut geeignet, da nur schwer regelmäßig zu erfassen (Richard Podloucky, pers. Komm.)

Limnischer Bereich

- Datengrundlage für Binnenmollusken nicht ausreichend (Dr. Dietrich von Knorre, pers. Komm.)
- Daten zu kaltstenothermen Benthosorganismen aus dem biologischen WRRL-Monitoring auf Länderebene reichen weniger als 10 Jahre zurück: initiale Bestandsaufnahme 2004 oder später (z. B. LANA LAWA 2008, BMU-UBA 2010)
- Erfassungsfrequenz je nach Artengruppe nur alle 3 bis 6 Jahre

7.2 Veränderung des Arteninventars auf High Nature Value Farmland

Indikator-Kennziffer I.2.2	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiterin: Dr. Livia Schöffler, Museum für Naturkunde Berlin Mitwirkung: Dr. Ulrich Sukopp und Armin Benzler, Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring Daniel Fuchs, Planungsbüro für angewandten Naturschutz (PAN) GmbH	Letzte Aktualisierung am 16.06.2014
Ansprechpartner/in Museum für Naturkunde Berlin, Dr. Livia Schöffler, livia.schaeffler@mfn-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung: Konzeptionelle Entwicklung, exemplarische Auswertung eines Testdatensatzes	

Einordnung

Indikationsfeld Direkte klimawandelbedingte Wirkungen auf die biologische Vielfalt	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset –	DPSIR in diesem Indikatorenset IMPACT

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Der hier zu entwickelnde Indikator bildet klimawandelbedingte Veränderungen im Vorkommen von Kennarten des High Nature Value Farmland (HNV Farmland) im Grünland ab. Hierfür werden Monitoringflächen gezählt, auf denen klimasensitive Gefäßpflanzenarten aus der Gruppe der HNV Grünland-Kenntaxa vorkommen. Künftig sind weitergehende Auswertungen möglich.	Einheit [Anzahl Flächen mit unterschiedlicher Anzahl Kennarten]
--	---

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schöffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

Berechnungsvorschrift

Alle HNV-Kennarten des Grünlands, die auf den Monitoringtransekten auf Artebene erfasst werden, wurden anhand ihrer Temperatursensitivität (Zeigerwerte nach Ellenberg 1974) auf Eignung zur Abbildung von Auswirkungen des Klimawandels geprüft. Über die Filterfunktionen des Internetportals FloraWeb (BfN 2012) wurden 18 Gefäßpflanzenarten aus der Gruppe der HNV-Grünland-Kenntaxa selektiert, die in Bezug auf die Temperatur nicht indifferent sind und einen Temperatur-Zeigerwert ungleich 5 haben: Diese als klimasensitiv gewerteten Arten setzen sich zusammen aus vier Kühle- bis Mäßigwärmezeigern (Temperatur-Zeigerwert von 3 oder 4) und 14 Mäßigwärme- bis Wärmezeigern (Temperatur-Zeigerwert von 6 oder 7; Tab. 1). Aufgrund der zu erwartenden gegensätzlichen Reaktionen auf Temperaturerhöhungen im Zuge des Klimawandels wurden kälte- und wärmeliebende Arten im Folgenden getrennt untersucht.

In den beiden vorliegenden Zeitschnitten (Ersterfassung 2009 und Folgeerfassung 2010-2013) wurde die Zahl der Probeflächen ermittelt mit Vorkommen von jeweils 1, 2, 3 usw. der Kenntaxa getrennt nach kälte- bzw. wärmeliebenden Arten. Die Zählergebnisse wurden als prozentualer Anteil an der Gesamtzahl der betrachteten Probeflächen ausgedrückt. Die exemplarische Untersuchung eines Testdatensatzes mit bisher verfügbaren Kartierungsdaten aus Baden-Württemberg, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen stellt länderübergreifend die Ergebnisse der Ersterfassung im Jahr 2009 und der ersten Folgeerfassung im Zeitraum 2010-2013 separat für kälteliebende (Abb. 1) und wärmeliebende Kenntaxa (Abb. 2) einander gegenüber. Bei Vorlage des vollständigen Datensatzes können die tatsächlichen bundesweiten Unterschiede zwischen den Zeitschnitten ermittelt und auch quantitativ erfasst werden.

Die Entwicklung der Vorkommen klimasensitiver Kennarten im Grünland soll künftig auf Bundesebene und auf Ebene der landschaftlichen Großräume nach Ssymank et al. (1998) oder der standortökologischen Raumeinheiten Deutschlands nach Schröder und Schmidt (2001) untersucht werden. Die datenhaltende Institution (PAN GmbH) hat hierfür die Vorlage der bundesweiten Präsenz-/Absenz-Daten der eingegrenzten HNV-Grünland-Kennarten in Form einer detaillierten Matrix mit den georeferenzierten Transekten angekündigt. Nach Vorlage des vollständigen Datensatzes einschließlich der Geodaten können die Vorkommen der klimasensitiven Kennarten auf den genannten Raumskalen oder auch kleinräumig untersucht und beobachtete Unterschiede statistisch quantifiziert werden.

Begründung

Im Zuge des Klimawandels werden kälteliebende Arten voraussichtlich von einem Rückgang geeigneter klimatischer Räume betroffen sein, wärmeliebende Arten könnten dagegen von den steigenden Temperaturen profitieren und ihre Areale ausweiten. Auch auf landwirtschaftlichen Flächen ist mit Auswirkungen des Klimawandels auf die Anzahl vorkommender Arten und deren Zusammensetzung zu rechnen. Abhängig von den Temperaturansprüchen der betrachteten Arten kann die Klimaerwärmung zu einer Absenkung oder zu einem Anstieg der Artenanzahl pro Untersuchungsfläche beitragen. Obwohl sich der Klimawandel auf diese Weise auch auf den Naturwert von Grünlandflächen auswirken kann, wird dies beim HNV Farmland-Monitoring bisher nicht explizit thematisiert.

Das HNV Farmland-Monitoring erfolgt seit dem Jahr 2009 mittels wiederholter Transekterhebungen auf derzeit ca. 1.100 jeweils 1 km² großen zufällig verteilten und bundesweit repräsentativen Probeflächen. Die HNV Farmland-Flächen liegen digitalisiert als ESRI-Shape-Dateien vor und können mit den in einer Access-Datenbank erfassten Kartierungsdaten verknüpft werden. Eine vollständige Aufnahme aller Stichprobenflächen erfolgt alle vier Jahre (je nach Bundesland jährlich ein Viertel oder 2-jährlich die Hälfte der im jeweiligen Bundesland gelegenen Flächen: PAN et al. 2011). Bisher wurden die HNV Farmland-Kartierungen auf allen Probeflächen zweimal durchgeführt, in einer Ersterfassung im Jahr 2009 (in Schleswig-Holstein 2010) und in der ersten Fol-

geerfassung im Zeitraum 2010-2013 (in Schleswig-Holstein 2011-2013). Der naturschutzfachliche Wert der landwirtschaftlichen Flächen wird gemäß der Erfassungsanleitung für den HNV Farmland-Indikator (BfN 2013) u. a. anhand des Vorkommens von Kenntaxa (Gefäßpflanzen) ermittelt. Dabei werden für die Bewertung der erfassten Landnutzungstypen in verschiedenen Regionen Deutschlands bzw. in einzelnen Bundesländern unterschiedliche Kennartenlisten herangezogen. Für das Grünland liefert das HNV Farmland-Monitoring Informationen zur Präsenz oder Abwesenheit von 88 Kenntaxa, von welchen 51 auf Artebene bestimmt werden. Die Aufnahme der Grünlandbestände auf den Probeflächen erfolgt über mehrere Schritte: Nach einer groben Erstabschätzung werden die Kennarten auf mehreren Transekt-Streifen von 30 m Länge und 2 m Breite aufgenommen. Begehungen werden in dem für das Grünland günstigsten Zeitraum zwischen dem 15. und 31. Mai durchgeführt. Wenn Flächen zum genannten Zeitpunkt nicht erfasst werden können, wird die Kartierung zum Zeitpunkt des zweiten Aufwuchses durchgeführt (BfN 2013).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

Im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik wurde von der Europäischen Union beschlossen, dass die Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume durch ein breit angelegtes Set von Indikatoren verfolgt wird. Der Agrar-Umweltindikator „High Nature Value Farmland“ ist gemäß „EU Common Monitoring and Evaluation Framework for the rural development programmes“ und der ELER(Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums)-Verordnung ein Pflicht-Baseline-Indikator (Pflichtindikator 18) und außerdem Teil des Indikatorensets der nationalen ELER-Strategie.

Der HNV Farmland-Indikator muss als Pflichtindikator im Rahmen der Evaluierung der Entwicklungsprogramme Ländlicher Raum von allen Bundesländern gegenüber der EU berichtet werden und ist auch auf Bundesebene im Rahmen der Berichtspflichten für den Nationalen Strategieplan darzustellen. Zudem wurde der HNV Farmland-Indikator in den Satz von derzeit 19 Indikatoren aufgenommen, die zur Erfolgskontrolle der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt dienen (BfN 2013).

Datengrundlage

Datenquelle Planungsbüro für angewandten Naturschutz (PAN GmbH); das Einverständnis der Länder für die Datennutzung liegt dem BfN vor.	
Räumliche Auflösung Ca. 1.100 jeweils 1 km ² große Probeflächen	NUTS 0 1
Geographische Abdeckung a) Bundesebene b) Ebene der landschaftlichen Großräume (Ssyman et al. 1998) oder Ebene der standortökologischen Raumeinheiten Deutschlands (Schröder und Schmidt 2001)	
Zeitliche Auflösung Ersterfassung 2009 (Schleswig-Holstein 2010) und Folgeerfassung 2010-2013 (Schleswig-Holstein 2011-2013), künftig alle vier Jahre bundesweite Vollerfassung (je nach Bundesland jährlich ein Viertel oder 2-jährlich die Hälfte der im jeweiligen Bundesland gelegenen Flächen)	

Beschränkungen Aktuell liegt lediglich ein Testdatensatz vor, der die Vorkommen von 4 kälte- und 12 wärmeliebenden Kennarten auf 1.030 Probeflächen in sieben Bundesländern bei der Ersterfassung 2009 und der ersten Folgeerfassung in den Jahren 2010 und 2012 enthält. Für die Auswertungen in einem kleineren Maßstab ist eine Verknüpfung der Kartierungsdaten mit Geodaten notwendig, die zum Zeitpunkt der Indikatorentwicklung noch nicht möglich war. Quantitative Tests auf Unterschiede in der Anzahl vorkommender Arten zwischen den Zeitschnitten werden erst nach Vorlage der bundesweiten transektsspezifischen Präsenz-/Absenz-Daten zu den ausgewählten HNV-Grünland-Kennarten möglich sein.	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis derzeit zur Verfügung gestellter Daten nur eingeschränkt anwendbar.
---	--

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung:	Hoch	Komplexe Datenaufbereitung, manuelle Datenselektion, aufwändige Überprüfungen
Erläuterung: Die auf Länderebene erhobenen Daten werden vom Planungsbüro für angewandten Naturschutz (PAN GmbH) zusammengeführt und in einer bundesweiten Datenbank verwaltet. Der mit der Fortführung des Indikators verbundene Arbeitsaufwand kann erst nach Vorlage aller Daten und vollständiger Ausarbeitung der Analysemethoden präzise abgeschätzt werden. Aufgrund der vielfältigen Ebenen, auf denen der Indikator umgesetzt werden kann (quantitative Auswertungen in verschiedenen räumlichen Maßstäben einschließlich GIS-Analysen) wird der Aufwand zunächst als hoch eingeschätzt.		
Datenkosten Keine		
Zuständigkeit Es wird vorgeschlagen, die Fortschreibung des Indikators beim Bundesamt für Naturschutz (BfN) anzusiedeln.		

Aussage

Interpretationsvorschrift Der zu erwartende positive Einfluss des Klimawandels auf den Naturwert von Grünlandflächen ist umso größer, je stärker wärmeliebende Kennarten auf den Transekten zunehmen. Umgekehrt entsteht ein negativer Einfluss des Klimawandels, wenn kälteliebende Kennarten auf den Transekten abnehmen.
Trend- und Statusanalyse a) Bei den kälteliebenden Arten stieg der Anteil der Flächen, auf denen eine der vier HNV-Grünland-Kennarten mit einem Temperatur-Zeigerwert < 5 gefunden wurde, leicht an (die absolute Anzahl dieser Flächen nahm von 98 bei der Ersterfassung auf 107 bei der Zweiterfassung zu). Die Anzahl von Flächen mit zwei oder drei dieser Kennarten blieb hingegen zwischen den beiden

Zeitschnitten konstant niedrig (Abb. 1).

b) Bei den wärmeliebenden Arten blieb die Gesamtanzahl der Flächen, auf denen HNV-Kennarten vorgefunden wurden, mit 515 bei beiden Erfassungen konstant. Es zeigte sich aber zwischen den beiden Zeitschnitten eine Erhöhung des Anteils der Flächen mit zwei (die absolute Anzahl dieser Flächen nahm von 137 auf 151 zu), drei (absolute Anzahl von 57 auf 69) und vier (absolute Anzahl von 7 auf 14) wärmeliebenden Kennarten bei gleichzeitiger Verringerung des Anteils der Flächen mit fünf (absolute Anzahl von 4 auf 1) oder dem Maximum von sechs Kennarten (eine einzige Fläche im Jahr 2009) ebenso wie des Anteils von Flächen mit nur einer Kennart (absolute Anzahl von 321 auf 295; Abb. 2).

Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen können erst nach Vorlage aller Daten und vollständiger Ausarbeitung des Indikators gegeben werden.

Bewertung des Indikators

Stärken

Bundesweites flächendeckendes Monitoring durch die Länder dauerhaft abgesichert (ELER-Berichtspflicht), verlässliche bundesweite Datengrundlage.

Schwächen

Nur geringe Anzahl klimasensitiver Gefäßpflanzenarten, insbesondere Kühlezeiger, unter den HNV-Grünland-Kenntaxa.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Als alternativer Ansatz könnten für jede der kälte- und wärmeliebenden Kennarten Veränderungen in der Anzahl belegter Probeflächen über die Zeit ausgewertet (bundesweit und auf einer kleinräumigeren Ebene) und die beobachteten Unterschiede quantitativ erfasst werden.

Zudem könnten die einzelnen Probeflächen qualitativ in Hinblick auf den Beitrag klimasensitiver Gefäßpflanzen zur Entwicklung des Naturwertes der Grünlandflächen bewertet werden: Je höher der Anteil klimasensitiver Kennarten an der Veränderung der Gesamtanzahl vorkommender Kenntaxa auf den Probeflächen, desto stärker ist der Einfluss des Klimawandels auf den Naturwert der Grünlandflächen (entsprechend dem Bewertungsschema für Offenlandflächen; PAN et al. 2011, BfN 2013).

Nach Vorlage des vollständigen Datensatzes aus dem HNV Farmland-Monitoring und Verknüpfung mit den Geodaten könnten zudem geostatistische Analyseansätze entwickelt werden.

Graphische Darstellung

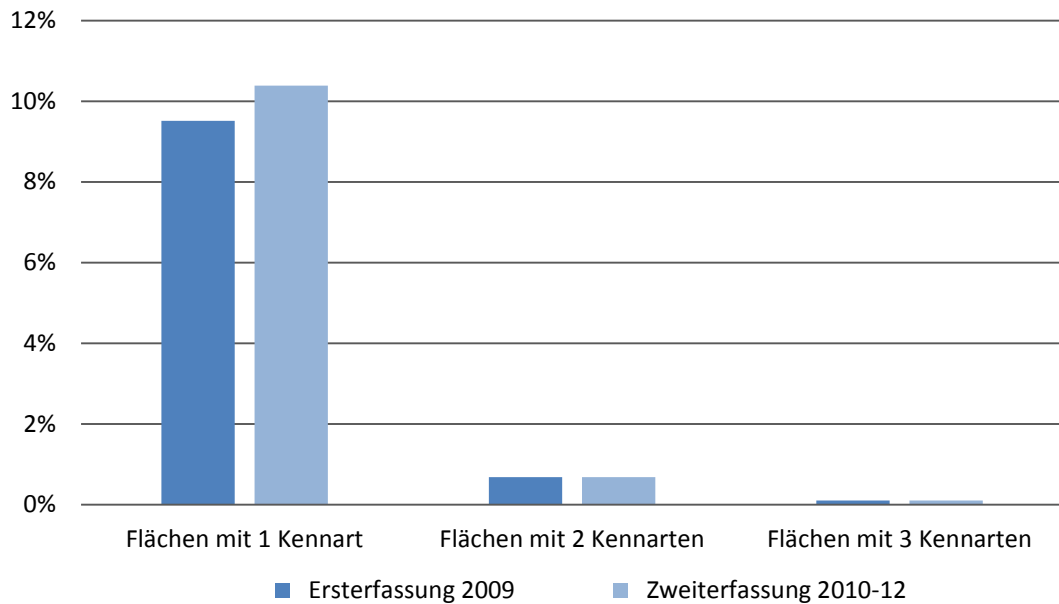


Abb. 1: HNV Farmland-Monitoring: Anteil der Grünlandflächen [in %] mit ein bis drei kälteliebenden Kennarten des HNV Grünlands an 1.030 Probeflächen eines Testdatensatzes aus Baden-Württemberg, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen

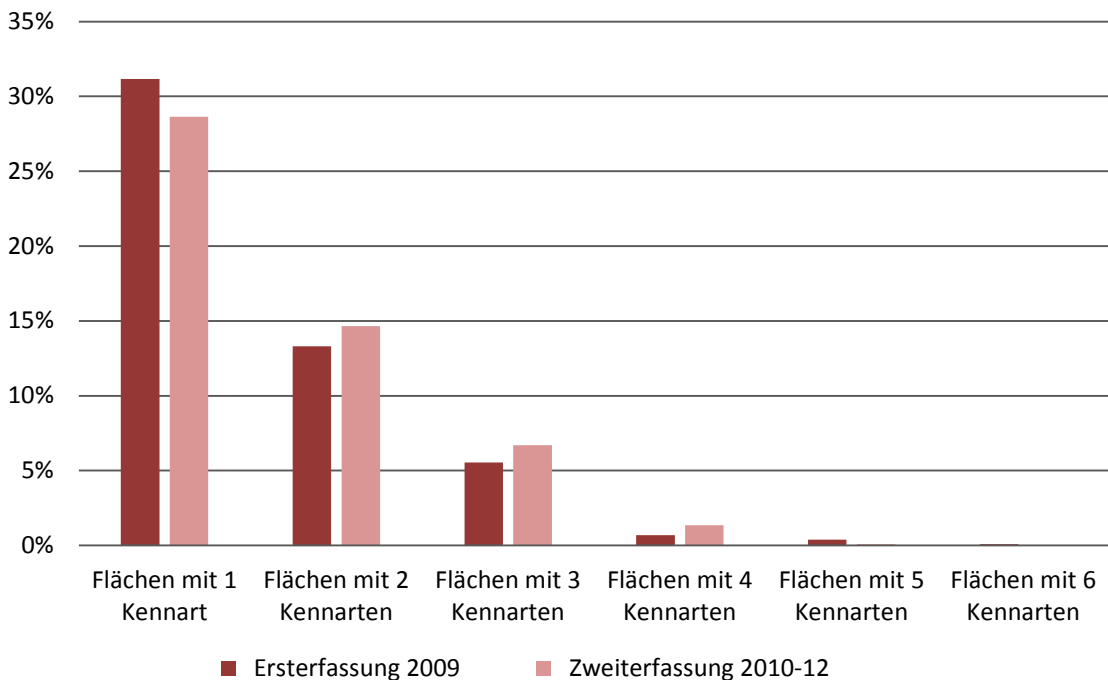


Abb. 2: HNV Farmland-Monitoring: Anteil der Grünlandflächen [in %] mit ein bis sechs wärmeliebenden Kennarten des HNV Grünlands an 1.030 Probeflächen eines Testdatensatzes aus Baden-Württemberg, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen

Glossar

HNV Farmland	Im Bewertungsschema für Offenlandflächen werden die Stufen I bis III von fünf Qualitätsstufen als High Nature Value (HNV) Farmland bezeichnet (BfN 2013).
---------------------	---

Quellen und weiterführende Informationen

BfN – Bundesamt für Naturschutz (Hg.) (2012): FloraWeb. Suche nach Eigenschaften. – Online, URL: <http://www.floraweb.de/pflanzenarten/eigenschaften1.xsql> [Zugriff: 02.12.2013].

BfN – Bundesamt für Naturschutz (2013): Erfassungsanleitung für den HNV-Farmland-Indikator. Version 4: 1-41.

Ellenberg, H. (1974): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Göttingen, Verlag Erich Goltze KG.

PAN Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH et al. (2011): Umsetzung des High Nature Value Farmland-Indikators in Deutschland - Ergebnisse eines Forschungsvorhabens (UF-OPLAN FKZ 3508 89 0400) im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. München, Mannheim und Singen: 1-54.

Schröder, W., Schmidt, G. (2001): Defining ecoregions as framework for the assessment of ecological monitoring networks in Germany by means of GIS and classification and regression trees (CART). *Gate to Environmental and Health Science* 3: 1-9.

Ssymank, A., Hauke, U., Rückriem, C., Schröder, E. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG). Unter Mitarbeit von D. Messer. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 53, 560 S.

Anhang

Tab. 1: Auswahl der Kennarten des HNV-Grünlands mit Temperatur-Zeigerwerten (T-Zahl) $\neq$ x und $\neq$ 5 und deren Verwendung als HNV-Grünland-Kenntaxa in verschiedenen Teilen Deutschlands. NW = Schleswig-Holstein und Niedersachsen, NO = Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg, MW = Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland, MO = Sachsen-Anhalt und Thüringen, SN = Sachsen, BW = Baden-Württemberg und BY = Bayern. T-Zahlen: 1 = Kältezeiger; 2 = Kälte- bis Kühlezeiger; 3 = Kühlezeiger; 4 = Kühle- bis Mäßigwärmezeiger; 5 = Mäßigwärmezeiger; 6 = Mäßigwärme- bis Wärmezeiger; 7 = Wärmezeiger; 8 = Wärme- bis Extremwärmezeiger; 9 = Extremwärmezeiger; x = indifferent in Bezug auf die Temperatur

Kennarten (wiss.)	Kennarten (dt.)	Verwendung als regionale Kenntaxa								T-Zahl	
<i>Trollius europaeus</i>	Trollblume				MO	SN		S	BY	3	tendenziell kälteliebende Pflanzen
<i>Carum carvi</i> ¹	Wiesen-Kümmel	–	–	–	–	–	–	–	BY	4	
<i>Meum athamanticum</i>	Bärwurz				MO	SN		S	BY	4	
<i>Polygonum bistorta</i>	Schlangen-Knöterich	NW		MW	MO	SN	HE	S	BY	4	
<i>Achillea ptarmica</i>	Gewöhnliche Sumpf-Schafgarbe	NW	NO						BY	6	tendenziell wärmeliebende Pflanzen
<i>Agrimonia eupatoria</i>	Kleiner ODERmennig				MO	SN				6	
<i>Betonica officinalis</i>	Heil-Ziest			MW			HE			6	
<i>Daucus carota</i>	Wilde Möhre		NO							6	
<i>Inula britannica</i> ²	Wiesen-Alant					SN				6	
<i>Knautia arvensis</i>	Wiesen-Witwenblume	NW	NO	MW	MO	SN	HE	S	BY	6	
<i>Lathyrus palustris</i>	Sumpf-Platterbse		NO							6	
<i>Ranunculus auricomus</i>	Artengruppe Gold-Hahnenfuß		NO							6	
<i>Salvia pratensis</i>	Wiesen-Salbei			MW	MO		HE	S	BY	6	
<i>Sanguisorba minor</i>	Kleiner Wiesenknopf			MW			HE		BY	6	
<i>Saxifraga granulata</i>	Knöllchen-Steinbrech		NO	MW			HE		BY	6	
<i>Thymus serpyllum</i>	Sand-Thymian			MW	MO	SN	HE	S		6	
<i>Cnidium dubium</i> ²	Sumpf-Brenndolde		NO							7	
<i>Rumex thyrsiflorus</i>	Straußblütiger Sauerampfer	NW								7	

^[1] Der Wiesen-Kümmel (*Carum carvi*) wird seit 2011 ausschließlich von den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg kartiert. Im Rahmen einer Revision wurde die Art nun auch in die Listen der anderen Bundesländer aufgenommen und kann daher erst künftig in den Zeitvergleich einbezogen werden.

^[2] Im bisher vorliegenden Datensatz sind keine Vorkommen dieser Kennart enthalten.

7.3 Arealveränderungen bei marinen Arten

Indikator-Kennziffer I.2.3	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter/in: Rainer Schliep, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung Dr. Anne Sell, Thünen-Institut für Seefischerei	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner/in Thünen-Institut für Seefischerei, Dr. Anne Sell, Tel.: 040/38905 246, anne.sell@ti.bund.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Der hier dargestellte Indikator entstammt – leicht modifiziert – dem in Entwicklung befindlichen DAS-Indikatorenset zum Klimawandel (Bezeichnung dort: FI-I-1 „Verbreitung warmadaptierter mariner Arten“; Schönthaler 2013). Die Daten für die Berechnung des Indikators konnten vom Thünen-Institut für Seefischerei in der Laufzeit des Vorhabens nicht zur Verfügung gestellt werden, es sind noch weitere Abstimmungen mit dem BfN erforderlich.	

Einordnung

Indikationsfeld Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset Impact	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Teilindikator A: Häufigkeit sechs lusitanischer Fischarten in standardisierten Fängen in sieben festgelegten Untersuchungsgebieten („Boxen“) des German Small-scale Bottom Trawl Surveys (GSBTS) (davon drei in der deutschen AWZ) als gleitender Drei-Jahres-Mittelwert Teilindikator B: Anzahl lusitanischer Fischarten in den Fängen	Einheit [%] [Anzahl]
---	---------------------------------------

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

der sieben Boxen des GSBTS (davon drei in der deutschen AWZ) als gleitender Drei-Jahres-Mittelwert	
Berechnungsvorschrift Teilindikator A: Gleitender Mittelwert der Häufigkeit der sechs ausgewählten lusitanischen Arten in Box A im Jahr t_i = $\frac{[(\text{Anzahl von Fängen in Box A mit Funden von mindestens einer der sechs ausgewählten lusitanischen Fischarten im Jahr } t_{i-1}) * 100 / (\text{Anzahl aller Fänge in Box A im Jahr } t_{i-1})] + [(\text{Anzahl von Fängen in Box A mit Funden von mindestens einer der sechs ausgewählten lusitanischen Fischarten im Jahr } t_i) * 100 / (\text{Anzahl aller Fänge in Box A im Jahr } t_i)] + [(\text{Anzahl von Fängen in Box A mit Funden von mindestens einer der sechs ausgewählten lusitanischen Fischarten im Jahr } t_{i+1}) * 100 / (\text{Anzahl aller Fänge in Box A im Jahr } t_{i+1})]}{3}$ Teilindikator B: Gleitender Mittelwert der Anzahl lusitanischer Arten in Box A im Jahr t_i = $\frac{(\text{Anzahl aufgetretener lusitanischer Arten in allen Fängen in Box A im Jahr } t_{i-1}) + (\text{Anzahl aufgetretener lusitanischer Arten in allen Fängen in Box A im Jahr } t_i) + (\text{Anzahl aufgetretener lusitanischer Arten in allen Fängen in Box A im Jahr } t_{i+1})}{3}$ Diese Berechnungen erfolgen für beide Teilindikatoren auch für die Boxen N, P (die Boxen A, N und P liegen in der deutschen AWZ) sowie für die Boxen C, E, H, K. In den Diagrammen werden die Datenreihen für jede der Boxen gesondert dargestellt. Als lusitanische Arten, d. h. Arten mit typischerweise südlichem Verbreitungsgebiet, wurden für den Teilindikator A folgende Arten ausgewählt: Roter Knurrhahn – <i>Chelidonichthys lucerna</i> Streifenbarbe – <i>Mullus surmuletus</i> Sardine – <i>Sardina pilchardus</i> Anchovis / Sardelle – <i>Engraulis encrasicolus</i> Lammzunge – <i>Arnoglossus laterna</i> Zwergzunge – <i>Buglossidium luteum</i> Für den Teilindikator B wird darüber hinaus über alle Fänge eines Jahres die Anzahl aller gefundenen lusitanischen Fischarten (auch über die sechs für Teilindikator A ausgewählten Fischarten hinaus) ermittelt. Die Fänge werden standardisiert mit 30-Minuten-Dauer und einem GOV Scherbrettnetz in den ebenfalls standardisierten Untersuchungsgebieten („Boxen“) durchgeführt. Der gleitende Drei-Jahres-Mittelwert wird stets aus den Werten für das jeweils aktuelle sowie für das vorausgehende und das nachfolgende Jahr berechnet. Das Start- und Endjahr der Zeitreihe werden jeweils nur aus zwei Werten, d. h. aus den Werten für das jeweils aktuelle sowie für das vorausgehende bzw. das nachfolgende Jahr berechnet. Fehlende Werte werden aus dem vorausgehenden und nachfolgenden Jahr linear interpoliert.	
Begründung Im Zuge des globalen Klimawandels ändern sich Verbreitungsgebiete und Populationsdynamik der nordatlantischen Fischbestände, da die räumliche Verteilung von Meeresorganismen maßgeblich von der Wassertemperatur bestimmt wird. Dies zeigen Langzeit-Messreihen hydrographischer Parameter und von Populationsparametern von Fischbeständen. Daher eignen sich Arealverschiebungen von Kalt- und Warmwasserorganismen sehr gut als Indikator von Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität in marinen Lebensräumen. In der Nordsee ist das klimatische Signal bisher schwächer und nur in den südlichen Bereichen feststellbar. Auch hier werden Zusammenhänge etwa mit den Verbreitungsmustern der Fischarten diskutiert (WBGU 2006: 17). Die Veränderung der Artenzusammensetzung und der Bestände des Zooplanktons, die wahrscheinlich mit der Erwärmung der Meere in Verbindung zu setzen ist (WBGU 2006), zieht in der Folge eine Wanderung derjenigen Arten nach sich, denen Plankton und andere Meeresorganis-	

men als Nahrungsgrundlage dienen. Aber auch die Bedeutung der Wassertemperatur für die Reproduktion spielt bei den Wanderungsbewegungen der Meeresorganismen eine Rolle: Mehrere mildere Winter in Reihe ermöglichen es südlichen Arten, in nördlicher gelegenen Lebensräumen zu überwintern und sich dort zu reproduzieren.

Zurzeit existiert lediglich das wissenschaftliche Fischfangprogramm GSBTS (German Small-scale Bottom Trawl Survey) des Thünen-Instituts für Seefischerei, das geeignete Daten zur Verfügung stellt, um die Veränderungen in Anzahl und Abundanz von (teilweise auch kommerziell genutzten) Fischarten in deutschen Meeresgebieten abzubilden. Dabei werden mit Hilfe sog. Fischereihols (d. h. standardisierten wissenschaftlichen Fischfängen) in definierten 10 Seemeilen x 10 Seemeilen großen sog. Boxen (d. h. standardisierten Fanggebieten) von zwei deutschen Fischereiforschungsschiffen Daten zu Vorkommen und Abundanz häufiger Fischarten des Meeresbodens gewonnen, um Veränderungen in Bodenfischgemeinschaften zu erfassen. Der GSBTS wurde im Jahr 1987 mit dem Ziel initiiert, komplementär zu den Untersuchungen des International Bottom Trawl Survey (IBTS) in der Nordsee mit derselben Methodik definierte Areale (Boxen) zu befishen. Über die Jahre wurden aus den anfänglich vier Boxen insgesamt zwölf Boxen, die über die gesamte Nordsee verteilt sind. Die Daten werden am Thünen-Institut für Seefischerei vorgehalten und ausgewertet.

Ausgewählt wurden für den Indikator drei innerhalb der deutschen AWZ gelegene Boxen (A, N, P) sowie weitere vier Boxen (C, E, H, K), die auf unterschiedlicher geografischer Breite in der Nordsee liegen und geeignet sind, die Wanderungsbewegung aus dem südlicher gelegenen Einstromungsbereich am Ausgang des Englischen Kanals (Box E) bis zu nördlicher gelegenen Lebensräumen in der Nordsee (Boxen K, H, C) zu erfassen (vgl. Abb. 1). Dabei liegt Box E nach der Klassifizierung der Wasserkörper in der Nordsee nach Laevastu (1963) im Einzugsbereich des Englischen Kanals, die Boxen A und N liegen im Bereich der kontinentalen Küstengewässer, die Boxen P und K in der zentralen Nordsee und die Boxen C und H in der nördlichen Nordsee.

Beobachtbare Veränderungen lassen sich zum einen auf den Klimawandel zurückführen, zum anderen werden sie auch durch die menschliche Nutzung (Fischerei) beeinflusst. So ist der Rückgang der Bestände des (Kälte liebenden) Kabeljaus nicht nur durch die Erwärmung der Nordsee und die in der Folge verringerte Reproduktion zu erklären, sondern vor allem durch die intensive Befischung der Bestände (WBGU 2006: 17, OSPAR 2010).

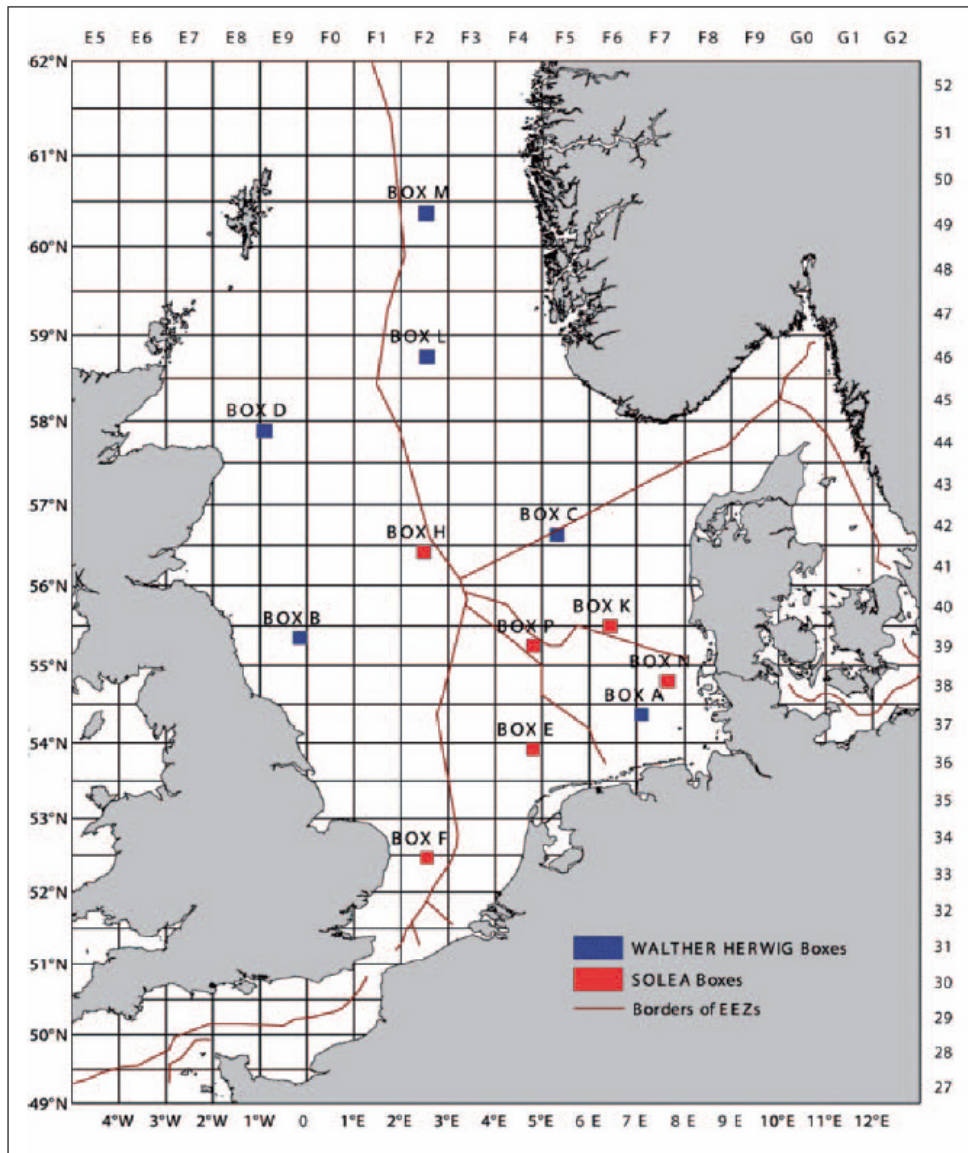


Abb. 1: Lage der ausgewerteten sieben GSBTS-Boxen: Die Boxen A, N, P liegen innerhalb der deutschen AWZ, die Boxen C, E, H, K liegen zum Vergleich außerhalb der deutschen AWZ (nach Ehrich et al. 2007, verändert)

Veränderungen der Fischartenzusammensetzung in der Nordsee sind bereits heute dokumentiert, wobei in den Jahren 1999 bis 2005 mehrere lusitanische Arten neu nachgewiesen werden konnten (EHRICH et al. 2007: 43).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

DAS: Für den hier betrachteten Indikator besteht indirekt ein Bezug zum „2-Grad-Ziel“ der EU (BMU 2010) und dem Anspruch, die Widerstandsfähigkeit von Küsten- und Meeresregionen gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen und deren Funktionsfähigkeit zu erhalten (EK 2009). Die relevante Zielvorgabe liegt somit in der Verlangsamung oder dem Aufhalten des gegenwärtigen Klimatrends, um weitergehende Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt zu begrenzen.

NBS: Erhaltung der Artenvielfalt in unseren Meeren. Kritischen Bestandsrückgängen, die durch den Klimawandel verursacht oder begünstigt werden, kann mit allgemeinen Maßnahmen zum Klimaschutz oder mit spezifischen Maßnahmen zur Verminderung anderer belastender anthropogener Einflüsse (z. B. Vermeidung von Überfischung) entgegengewirkt werden.

Datengrundlage

Datenquelle Thünen-Institut für Seefischerei: Langzeituntersuchungen im Rahmen des German Small-scale Bottom Trawl Survey (GSBTS)	
Räumliche Auflösung Wissenschaftliche Fischereihörs in 10 Seemeilen x 10 Seemeilen großen sog. Boxen (d. h. standardisierten Fanggebieten)	NUTS -
Geographische Abdeckung Nordsee: Boxen A, N, P (innerhalb der deutschen AWZ) sowie C, E, H, K (Vergleichsboxen außerhalb der deutschen AWZ).	
Zeitliche Auflösung Jährlich seit 1987, teilweise auch erst ab 2003 (Boxen N und P)	
Beschränkungen Die Anzahl der Fänge schwankt von Jahr zu Jahr u. a. in Abhängigkeit von den Wetterbedingungen. Dies muss bei der Interpretation der Messwerte berücksichtigt werden. Der Indikator wurde auf der Basis der bisher gefundenen lusitanischen Fischarten entwickelt. Die zugrunde liegende Artenliste muss regelmäßig überprüft und gegebenenfalls angepasst bzw. erweitert werden, falls weitere Arten einwandern.	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis der beim Thünen-Institut für Seefischerei vorhandenen Daten uneingeschränkt anwendbar.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung	Hoch	Komplexe Datenaufbereitung, manuelle Datenselektion, aufwändige Überprüfungen
Erläuterung: Die Datenerhebung und -auswertung wird vom Thünen-Institut für Seefischerei vorgenommen.		
Datenkosten Derzeit noch offen		
Zuständigkeit Es wird vorgeschlagen, die Zuständigkeit beim Thünen-Institut für Seefischerei anzusiedeln, da dort die Datenerhebung und -auswertung für den Indikator im Rahmen des wissenschaftlichen Fischfangprogramms GSBTS (German Small-scale Bottom Trawl Survey) vorgenommen wird. Erläuterung: Das wissenschaftliche Fischfangprogramm GSBTS (German Small-scale Bottom Trawl Survey) ist ein Programm des Thünen-Instituts für Seefischerei. Die erhobenen Daten werden dort wissenschaftlich ausgewertet.		

Aussage

Interpretationsvorschrift

Teilindikator A: Je höher der Indikatorwert, desto größer ist die Häufigkeit (Fangfrequenz) für die Gruppe der sechs ausgewählten lusitanischen Fischarten. Dies zeigt eine Ausbreitung warm-adaptierter Fischarten an.

Teilindikator B: Je höher der Indikatorwert, desto mehr lusitanische Fischarten tauchen über jeweils ein ganzes Jahr hinweg betrachtet in den Standarduntersuchungsgebieten (Boxen) auf.

Trend- und Statusanalyse

Teilindikator A: In den Fanggebieten der Deutschen Bucht lassen sich eine – wenn auch geringe – Zunahme der Anzahl der südlichen lusitanischen Arten in den Fischgemeinschaften und eine Zunahme der Abundanz dieser Arten feststellen (Ehrich und Stein 2005, Kröncke et al. 2012 in Schönthaler 2013). Brander et al. (2003) fanden bei den Plattfischen in der Nordsee Anzeichen für einen Anstieg der Warmwasserart Scholle im Verhältnis zur Kaltwasserart Seezunge. In der Ordnung der Dorschartigen stieg der Quotient aus der Warmwasserart Pollack und der Kaltwasserart Seelachs nicht an, da der Pollack immer in geringer Abundanz vorkam.

Teilindikator B: Im Zeitraum von 1987 bis 2011 konnte in den betrachteten Boxen insgesamt eine Zunahme lusitanischer Arten festgestellt werden. Allerdings sind seit dem Jahr 2008 wieder deutliche Abnahmen der Artenzahl der Fische dieser Gruppe in mehreren Boxen zu erkennen. Weitere Analysen werden nach vollständiger Berechnung des Indikators ergänzt.

Handlungsempfehlungen

Alle Maßnahmen, die einer Begrenzung des Klimawandels und des damit einhergehenden Anstiegs der Meerestemperaturen dienlich sind, können auch einer weiteren temperaturbedingten Verschiebung der Areale von Meeresorganismen entgegenwirken. Da Fischbestände bereits durch Veränderungen im Nahrungsangebot und den kommerziellen Fischfang beeinträchtigt werden, sollten zudem Maßnahmen zur Vermeidung von Überfischung ergriffen werden (EEA 2012).

Bewertung des Indikators

Stärken

- Langjährige Datenerhebung
- Starker Bezug zu Biodiversität und Klimawandel
- Leicht verständlich und vermittelbar

Schwächen

- Die Messwerte werden von multidekadischen Schwankungen in marinen Systemen überlagert, die derzeit noch nicht ausreichend berücksichtigt werden.
- Die Messwerte könnten zudem von der kommerziellen Fischerei direkt oder indirekt beeinflusst werden. Eine eindeutige Trennung des Klimasignals von anderen Einflussfaktoren ist allein auf Grundlage der vorhandenen Daten nicht möglich.
- Es handelt sich um einen neu entwickelten Indikator: Auch wenn der Indikator Hinweise auf systematische Veränderungen in den Fischartengemeinschaften der deutschen Nordsee erwarten lässt, steht eine genauere Prüfung der Sensitivität des Indikators hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels noch aus.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

- Datenerhebung und -verfügbarkeit für Nordsee sicherstellen bzw. verbessern

- Die Aussagekraft des Indikators könnte verbessert werden, wenn die Daten aus den Fischhols mit Daten zur Einstromung wärmeren Wassers durch den Ärmelkanal verknüpft würden, da diese Einstromung die Ausbreitung der lusitanischen Arten in der Nordsee wesentlich bestimmt, jährlich aber starken Schwankungen unterliegt. Nach Auskunft von Dr. Sell (Thünen-Institut für Seefischerei; Stand Dezember 2013) wird an einer Modellierung der Strömungsverhältnisse auf der Grundlage engmaschiger physikalischer Daten (Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit etc.) gearbeitet.

Graphische Darstellung

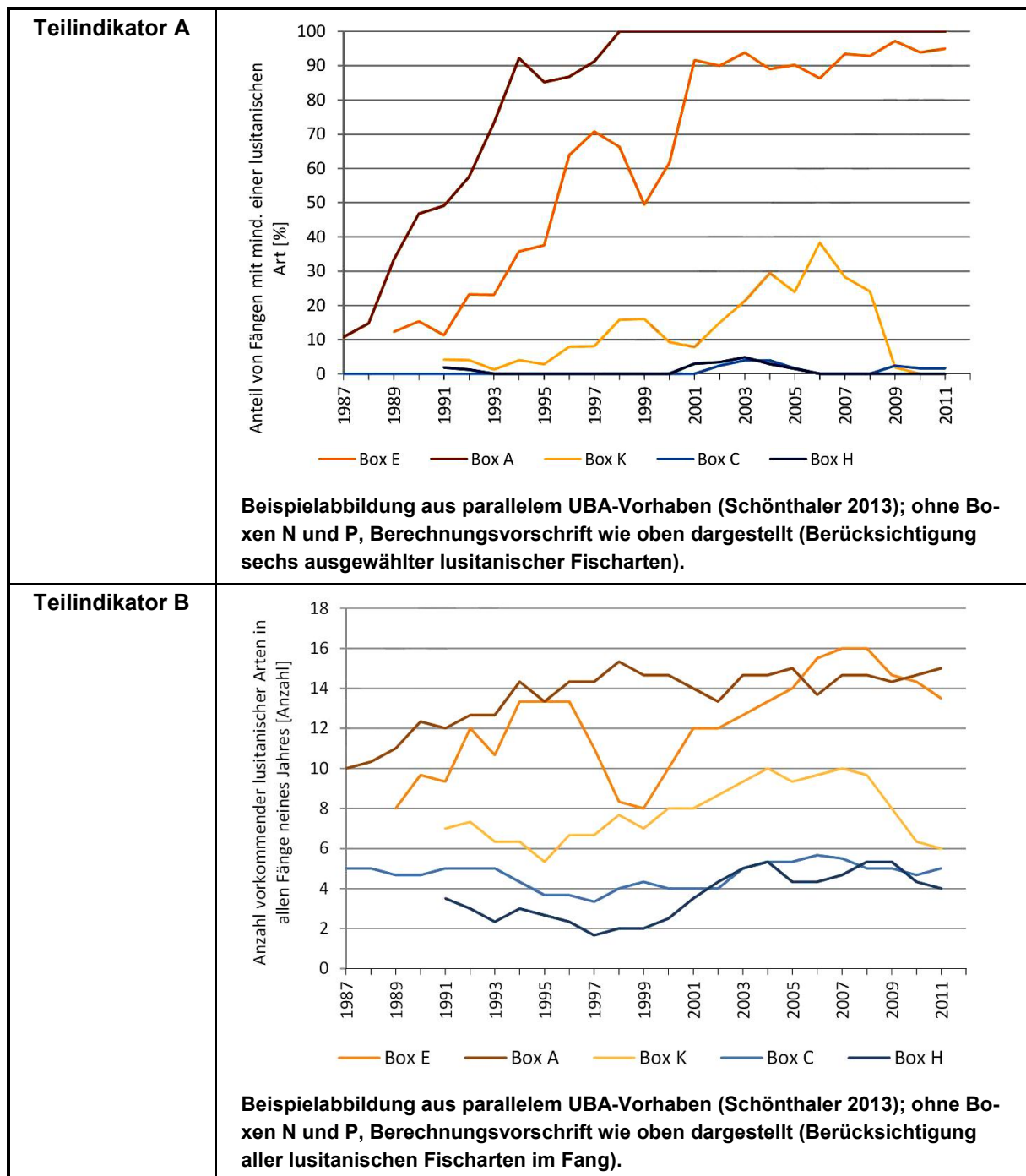


Abb. 2: Indikator-Prototyp „Arealveränderungen bei marinen Arten“: Beispielabbildungen zu den beiden Teilindikatoren

Glossar

AWZ	Als Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) wird nach Art. 55 des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen das Gebiet jenseits des Küstenmeeres bis zu einer Erstreckung von 200 Seemeilen ab der Basislinie bezeichnet (daher auch 200-Meilen-Zone), in dem der angrenzende Küstenstaat in begrenztem Umfang souveräne Rechte und Hoheitsbefugnisse wahrnehmen kann.
Lusitanische Fischarten	Lusitanische Fischarten sind nach dem Lusitanischen Becken benannt, das zu den atlantischen Randbecken zählt und als Bestandteil der Iberischen Platte im westlichen Teil von Zentral-Portugal liegt. Der marine Teil des Lusitanischen Beckens vor der portugiesischen Küste befindet sich im küstennahen Schelfbereich, d. h. in Wassertiefen unter 200 m.

Quellen und weiterführende Informationen

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2010): Indikatorenbericht 2010 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Eigenverlag, Berlin, 87 S.
- Brander, K. M., Blom, G., Borges, M. F., Erzini, K., Henderson, G., Mackenzie, B. R., Mendes, H., Ribeiro, J., Santos, A. M. P., Toresen, R. (2003): Changes in fish distribution in the eastern North Atlantic: Are we seeing a coherent response to changing temperature? ICES Marine Science Symposia 219: 261-270.
- EEA – Europäische Umweltagentur (Hg.) (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. European Environment Agency, Kopenhagen, 300 S.
- Ehrich, S., Stein, M. (2005): Fisch und Klima. BMELV ForschungsReport 1/2005. Schwerpunkt: Klimawandel und die Folgen: 18-21.
- Ehrich, S., Adlerstein, S., Brockmann, U., Floeter, J., Garthe, S., Hinz, H., Kröncke, I., Neumann, H., Reiss, H., Sell, A. F., Stein, M., Stelzenmüller, V., Stransky, C., Temming, A., Wegner, G., Zauke, G.-P. (2007): 20 years of the German Small-Scale Bottom Trawl Survey (GSBTS): A review. Senckenbergiana maritime. 37(1): 13-82.
- EK – Europäische Kommission (Hg.) (2009): White paper – Adapting to climate change: towards a European framework for action. Commission of the European Communities, Brüssel, 16 S.
- Kröncke, I., Boersma, M., Czeck, R., Dippner, J. W., Ehrich, S., Exo, M. K., Hüppop, O., Malzahn, A. M., Marencic, H., Markert, A., Millat, G., Neumann, H., Reiss, H., Sell, A. F., Sobottka, M., Wehrmann, A., Wiltshire, K. H., Wirtz, K. (2012): Auswirkungen auf marine Lebensräume. In: Mosbrugger, V., Brasseur, G. P., Schaller, M., Stribny, B. (Hg.). Klimawandel und Biodiversität : Folgen für Deutschland. Darmstadt, Wiss. Buchges.: 106-127.
- Laevastu, T. (1963): Surface water types of the North Sea and their characteristics. Serial Atlas of the Marine Environment, Folio 4. American Geographical Society, New York.
- OSPAR Commission (2010): Background Document for Atlantic cod *Gadus morhua*. The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. Publication Number: 482/2010. London, 23 S.
- Schönthaler, K. (2013): Indikatoren für die Deutsche Anpassungsstrategie. Indikatoren-Factsheets zum Handlungsfeld Fischerei. Indikatoren-Factsheet: Verbreitung warmadaptierter Arten. Inter-ner Entwurf. Bosch & Partner GmbH, München, 7 S.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2006): Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer. Sondergutachten. Berlin, 114 S.

7.4 Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten

Indikator-Kennziffer I.2.4	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiterin: Dr. Livia Schäßler, Museum für Naturkunde Berlin Mitwirkung: Dr. Ulrich Sukopp, Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring Rudolf May, Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.2 Botanischer Artenschutz	Letzte Aktualisierung am 16.06.2014
Ansprechpartner/in Museum für Naturkunde Berlin, Dr. Livia Schäßler, livia.schaeffler@mfn-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfm.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung: Datenlieferungen ausstehend, Auswertung ausstehend	

Einordnung

Indikationsfeld Direkte klimawandelbedingte Wirkungen auf die biologische Vielfalt	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset –	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Ziel der Indikatorentwicklung ist die Abbildung langfristiger Verschiebungen des Areals und der Höhenamplitude bei Gefäßpflanzenarten im Zuge des Klimawandels. Der Indikator besteht aus zwei Teilindikatoren, die diese Verschiebungen bei zwei Artengruppen mit unterschiedlichen Temperatursprüchen erfassen: 1. Verschiebungen der nördlichen Arealgrenzen wärmeliebender Gefäßpflanzenarten in höhere Breiten	Einheit [km pro Dekade]
---	---------------------------------------

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäßler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziok, S. Dziok (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

2. Verschiebungen der Höhenamplitude kälteliebender Gefäßpflanzenarten (obere Höhengrenze und Median der Höhenamplitude) sowie deren flächiger Rückzug aus den Mittelgebirgen	[m pro Dekade] [Anzahl Viertel-TK25]
Berechnungsvorschrift ▪ Teilindikator 1: Wärmeliebende Gefäßpflanzenarten (n = 60) Bei Gefäßpflanzen mediterranen und submediterranen Ursprungs sind Vergrößerungen der Area- le in Deutschland zu erwarten, die anhand der Verschiebung der nördlichen Arealgrenzen in hö- here Breiten erfasst werden können (Walther et al. 2005, Pompe et al. 2011). Hierfür wird die mittlere Breite der 10 am nördlichsten gelegenen besetzten Messtischblatt-Viertel-Quadranten (Viertel-TK25) ermittelt; die Verschiebung ergibt sich aus der Veränderung dieses Maßes zwi- schen zwei Zeiträumen (Hickling et al. 2006). Für die hier untersuchte Artengruppe wird für elf Dekaden (1900-2009) aus den artspezifischen mittleren Breiten der nördlichsten Vorkommen ein Mittelwert für alle Arten gebildet, und die Veränderung wird als Differenz zwischen den Werten aufeinanderfolgender Dekaden berechnet [km pro Dekade]. ▪ Teilindikator 2: Kälteliebende Gefäßpflanzenarten <u>Arten mit Beschränkung auf alpine Höhenlagen (n = 75)</u> Bei Gefäßpflanzen mit Vorkommen ab einer Höhe von 700 m über NN lassen sich die Verschie- bungen der oberen oder unteren Grenze der Höhenamplitude der Vorkommen (Kullmann 2002, Hickling et al. 2006, Telwala et al. 2013) erfassen, oder es kann die mittlere Höhenlage der Vor- kommen in den Bergen berechnet werden (Kelly und Goulden 2008). Der hier vorliegende Indikator untersucht (1) die obere Höhengrenze der Vorkommen, für die bei Bäumen und Sträuchern im Zuge der klimatischen Erwärmung eine Verlagerung in größere Hö- hen beobachtet wurde (Kullmann 2002) sowie (2) die mittlere Höhenlage der Vorkommen, ein Maß, das geringere Verschiebungen entlang von Höhengradienten zu detektieren erlaubt als die Betrachtung der Grenzen der Höhenamplitude (Shoo et al. 2006). Für die kälteliebenden Gefäß- pflanzenarten wird für jede Art (1) jeweils aus den mittleren Höhen der 10 am höchsten gelege- nen besetzten Viertel-TK25 ein Mittelwert berechnet sowie (2) der Median der Höhe aller besetz- ten Viertel-TK25 ermittelt. Aus den artspezifischen mittleren Höhen der oberen Höhengrenze bzw. aus den Medianen der Höhenlage aller besetzten Viertel-TK25 wird für jede der elf Dekaden seit 1900 ein Mittelwert über alle eingehenden Arten gebildet, und die Veränderung wird als Differenz zwischen den Werten aufeinanderfolgender Dekaden berechnet [m pro Dekade]. <u>Arten mit Schwerpunkt der Vorkommen im Alpenraum sowie mit zusätzlichen Vorkommen in den Mittelgebirgen (n = 62)</u> Klimabedingte Arealveränderungen bei Arten, deren Vorkommen nicht auf alpine und subalpine Höhenlagen beschränkt sind, sondern die auch Vorkommen in den Mittelgebirgen haben, lassen sich durch eine Verkleinerung der Fläche des Verbreitungsgebietes in Deutschland erfassen. Hier ist mit steigenden Temperaturen ein Verlust an klimatisch geeigneten Mittelgebirgshabitaten zu erwarten, der zu einer Verringerung der Anzahl belegter Viertel-TK25 von Dekade zu Dekade füh- ren sollte.	
Begründung Die biogeographische Verbreitung von Pflanzen und Tieren auf der Erde wird maßgeblich durch das Klima bestimmt (Lesica und McCune 2004). Klimawandelbedingte Arealverschiebungen in kühlere Breiten sind gut dokumentiert (z. B. Walther et al. 2001, 2002, 2005, Parmesan und Yohe 2003, Root et al. 2003, 2005, Chen et al. 2011). Bei wärmeliebenden Pflanzenarten in Deutsch- land ist eine Arealerweiterung in Richtung Norden und Nordosten zu beobachten (Pompe et al. 2011). Kälteliebende Gefäßpflanzen montaner Höhenlagen ziehen sich an höher gelegene Wuchsorte zurück (Grabherr et al. 1994, Keller et al. 2000, Lenoir et al. 2008, Pompe et al. 2009).	

Da die Ausweichmöglichkeiten in größere Höhenlagen begrenzt sind, verkleinern sich im Zuge des Klimawandels die klimatisch geeigneten Räume für montane Arten. Insbesondere Arten der Gebirgsregionen werden daher als besonders empfindlich gegenüber Klimaveränderungen eingeschätzt (BMU 2011: 25).

Bei ausdauernden Pflanzenarten verlaufen Arealverschiebungen langsamer als bei mobilen Organismen, bei denen lokale Aussterbeereignisse und Neubesiedelungen wesentlich schneller ablaufen können (Parmesan 2001). Einzelne Arten „wandern“ entsprechend ihren spezifischen Lebensraumansprüchen und ihrem Ausbreitungspotential, und es kommt in der Folge zur Ausbildung neuer Pflanzengemeinschaften und Vegetationstypen (Klotz und Kühn 2007) mit neuen Nahrungsnetzen und veränderten Konkurrenzverhältnissen (BMU 2011: 25). Die naturschutzfachliche Bewertung von Arealverschiebungen ist in vielen Fällen schwierig: Die Erweiterung des Areals gefährdeter Arten, die aus naturschutzfachlicher Sicht zunächst positiv erscheint, kann sich über eine Veränderung synökologischer Beziehungen (z. B. veränderte interspezifische Interaktionen zwischen trophischen Ebenen: Chapin III et al. 2004, Schweiger et al. 2008) indirekt auch negativ auf die biologische Vielfalt auswirken (z. B. Gefährdung anderer Arten).

Bei der Auswahl von Arten zur Abbildung klimawandelbedingter Arealveränderungen und Verschiebungen der Vorkommen entlang von Höhengradienten ist deren Empfindlichkeit gegenüber relevanten Klimafaktoren maßgeblich. Im Zuge des Klimawandels unterliegt die Temperatur der bodennahen Luftschichten im langjährigen zeitlichen Mittel auf großen Raumskalen relativ einheitlichen Veränderungen, so dass für die Auswahl der Indikatorarten spezifische Temperaturansprüche als primäres Kriterium herangezogen wurden. Bei wärmeliebenden Pflanzen mit Temperatur-Zeigerwerten ≥ 7 (Ellenberg 1974) ist eine klimawandelbedingte Erweiterung der Areale anzunehmen, bei kälteliebenden Pflanzen mit Zeigerwerten ≤ 3 kann von einer negativen Entwicklung der Verbreitungsgebiete bzw. der Höhenamplituden ausgegangen werden. Die temperatursensitiven Pflanzen für beide Teilindikatoren wurden zunächst über Filterfunktionen auf dem Internetportal FloraWeb (BfN 2012) ermittelt, und die Auswahl geeigneter wärme- und kälteliebender Gefäßpflanzen anschließend weiter eingegrenzt nach bestimmten Anforderungen an den Arealtyp, die Rasterfrequenz und zusätzliche artspezifische Merkmale (s. Anhang).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

Die Zielsetzung des Aktionsplans Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) besteht darin, die Verwundbarkeit natürlicher, sozialer und wirtschaftlicher Systeme gegenüber Klimafolgen zu mindern und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit dieser Systeme sowie die Ausnutzung möglicher Chancen zu erhöhen. Ein wesentliches Ziel des Aktionsplans Anpassung der DAS ist die Handlungsfähigkeit der Akteure auf allen relevanten Ebenen sowie deren Fähigkeit zur Eigenvorsorge – oft als Anpassungsfähigkeit bezeichnet – zu stärken (BMU 2011: 8).

Der Indikator weist einen indirekten Bezug zum sogenannten 2-Grad-Ziel auf. In der Nationalen Biodiversitätsstrategie wird eine Begrenzung der mittleren globalen Erwärmung der Erdatmosphäre auf maximal 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten als Vision für die Zukunft definiert. Die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland (z. B. Verschiebung der Vegetationszonen, Gefährdung kälteliebender Arten) sollen abgepuffert bzw. minimiert werden, so dass empfindliche Arten und Lebensgemeinschaften auf klimabedingte Veränderungen durch räumliche Wanderungen reagieren können (BMU 2007: 55f). Eine konkrete Zielvorgabe liegt also darin, dem gegenwärtigen Klimatrend entgegenzuwirken, um weitere klimawandelbedingte Veränderungen der Verbreitungsgebiete von Pflanzen und damit Auswirkungen auf die biologische Vielfalt zu begrenzen. Konkrete Ziele sind dabei etwa die deutliche Verringerung des Treibhausgasausstoßes und die Wiederherstellung natürlicher Ausbreitungswege sowie der natürlichen Speicherkapazität von Landlebensräumen für CO₂ (BMU 2007: 56).

Datengrundlage

Datenquelle Datengrundlage sind Verbreitungsdaten aus Florenkartierungen in Deutschland (BfN 2008), die in der Datenbank FloraWeb erfasst sind und durch das BfN bereitgestellt werden. Ein digitales Höhenmodell Deutschlands (DGM50) wird ebenfalls durch das BfN bereitgestellt.	
Räumliche Auflösung Daten zu den Verbreitungsgebieten der Gefäßpflanzen Deutschlands basieren auf der Datenbank von FloraWeb. Die Angaben zu den Vorkommen werden auf Rasterfelder der Topographischen Karte im Maßstab 1 : 25.000 (TK25) aggregiert, die bei der Geländeerhebung als Basis-Flächenbezug dient (BfN 2008). Die Viertel-Quadranten (Viertel-TK25) bieten eine höhere Auflösung.	NUTS a) 0 b) 1
Geographische Abdeckung a) Deutschland b) Deutsche Gebirgsregionen	
Zeitliche Auflösung Die im Rahmen diverser Florenkartierungen erhobenen Daten reichen z. T. sehr weit zurück (ältester Eintrag aus dem Jahr 1561), wurden aber zeitlich nicht kontinuierlich erhoben. Für die Auswertung wird eine zeitliche Auflösung in elf Dekaten ab dem Jahr 1900 vorgenommen (1900-2009).	
Beschränkungen Da der Großteil der Daten zu Vorkommen der Arten bei diversen Florenkartierungen nicht bundesweit flächendeckend und nicht in regelmäßigen Zeitintervallen erfasst wurde, sind Auswertungen zu einzelnen Arten oder Zeitreihen auf Jahresbasis nicht möglich.	Machbarkeit Die Machbarkeit des Indikators kann erst nach abschließender Auswertung der verfügbaren Daten beurteilt werden.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung:	Hoch	Komplexe Datenaufbereitung, manuelle Datenselektion
Erläuterung: Die Daten zu Vorkommen der Gefäßpflanzenarten Deutschlands werden in Form eines umfangreichen Auszugs aus der FloraWeb Datenbank (MS Access) geliefert und müssen für die Auswertungen zunächst aufbereitet werden. Die GIS-Analysen sind ebenfalls mit hohem Aufwand verbunden.		
Datenkosten Keine		

Zuständigkeit

Bundesamt für Naturschutz (BfN)

Erläuterung:

Als datenhaltende Institution wird das Bundesamt für Naturschutz (BfN) für die Fortschreibung des Indikators vorgeschlagen.

Aussage

Interpretationsvorschrift

Je stärker die Verschiebungen der nördlichen Arealgrenzen wärmeliebender Gefäßpflanzenarten in höhere Breiten (mittlere Breite der 10 am nördlichsten gelegenen besetzten Viertel-TK25) bzw. je stärker die Verschiebungen der Höhenamplitude kälteliebender Gefäßpflanzenarten in größere Höhenlagen (mittlere Höhe der 10 am höchsten gelegenen besetzten Viertel-TK25 bzw. Median der Höhenamplitude) zwischen den Dekaden ausfallen, desto stärker ist die Reaktion dieser Arten auf die klimatische Erwärmung.

Je stärker sich die Verbreitungsgebiete kälteliebender Arten mit Schwerpunkt der Vorkommen im Alpenraum sowie mit zusätzlichen Vorkommen in den Mittelgebirgen von Dekade zu Dekade verkleinern (Anzahl belegter Viertel-TK25 in den Mittelgebirgen), desto stärker ist die Reaktion dieser Arten auf die klimatische Erwärmung.

Trend- und Statusanalyse

Die Trend- und Statusanalyse kann erst nach Auswertung aller Daten, GIS-Analyse und Indikatorberechnung ergänzt werden.

Handlungsempfehlungen

Alle Maßnahmen, die einer Begrenzung des Klimawandels und des damit einhergehenden Anstiegs der Temperatur bodennaher Luftschichten dienlich sind, können auch einer weiteren Verschiebung der Areale bzw. der Höhenamplitude der Vorkommen von Gefäßpflanzen entgegenwirken.

Bewertung des Indikators

Stärken

Die Florenkartierungen umfassen alle in Deutschland vorkommenden Gefäßpflanzenarten. Für viele dieser Arten liegen vergleichsweise umfassende und zeitlich weit zurückreichende Datenreihen vor, die auch in Zukunft fortgeschrieben werden.

Schwächen

Die Datenbasis ist für die einzelnen Arten in räumlicher und zeitlicher Hinsicht sehr heterogen.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Es sollte versucht werden, Determinanten für die räumliche Verteilung der ausgewählten Arten (insbesondere Zusammenhang mit der Temperatur der bodennahen Luftschicht) zu identifizieren. Weiterhin sollte der zeitliche Verlauf von Arealverschiebungen und Temperaturerhöhungen im Zuge des Klimawandels auf Zusammenhänge untersucht werden.

Graphische Darstellung (Beispieldarstellung)

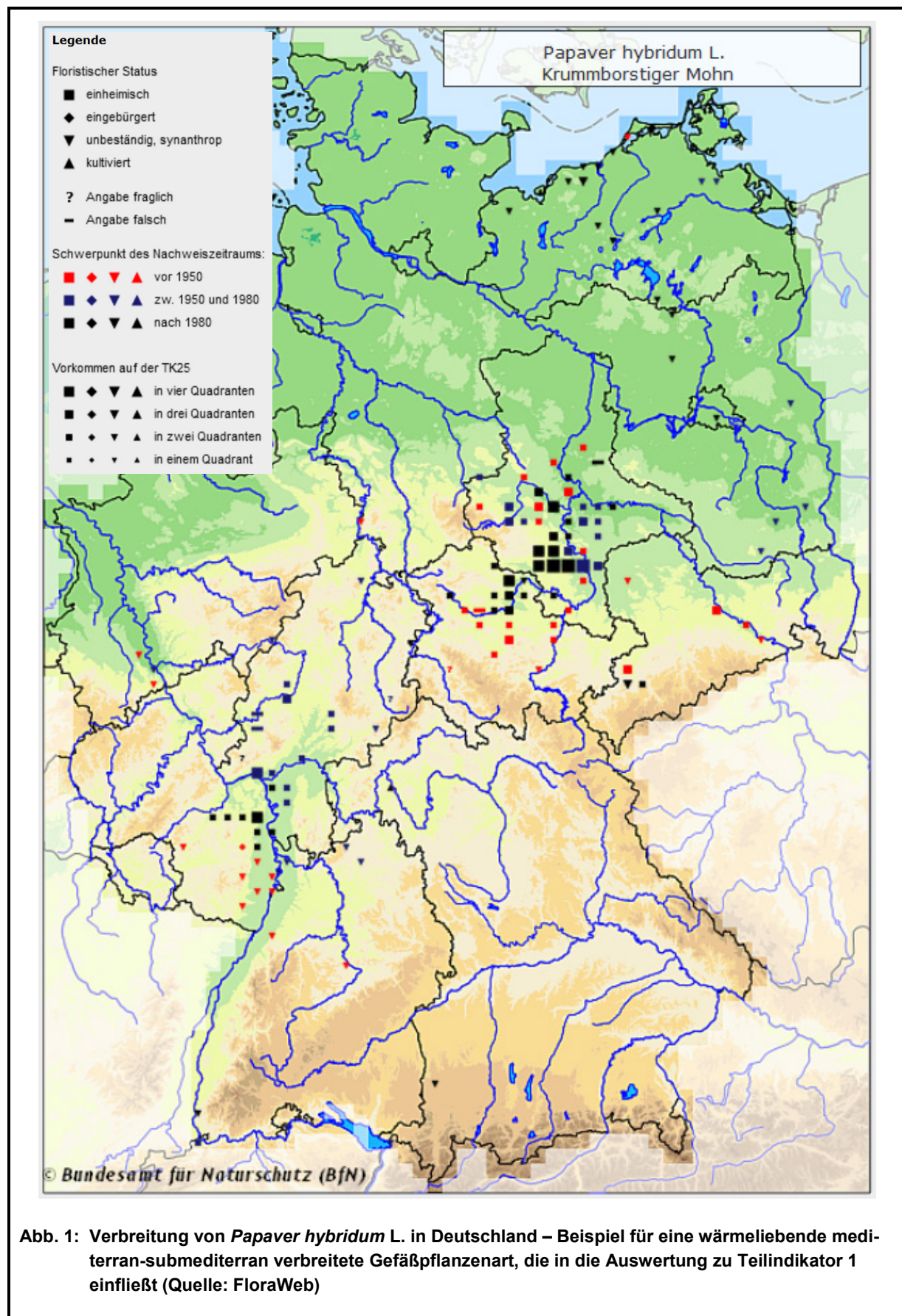


Abb. 1: Verbreitung von *Papaver hybridum* L. in Deutschland – Beispiel für eine wärmeliebende mediterran-submediterran verbreitete Gefäßpflanzenart, die in die Auswertung zu Teilindikator 1 einfließt (Quelle: FloraWeb)

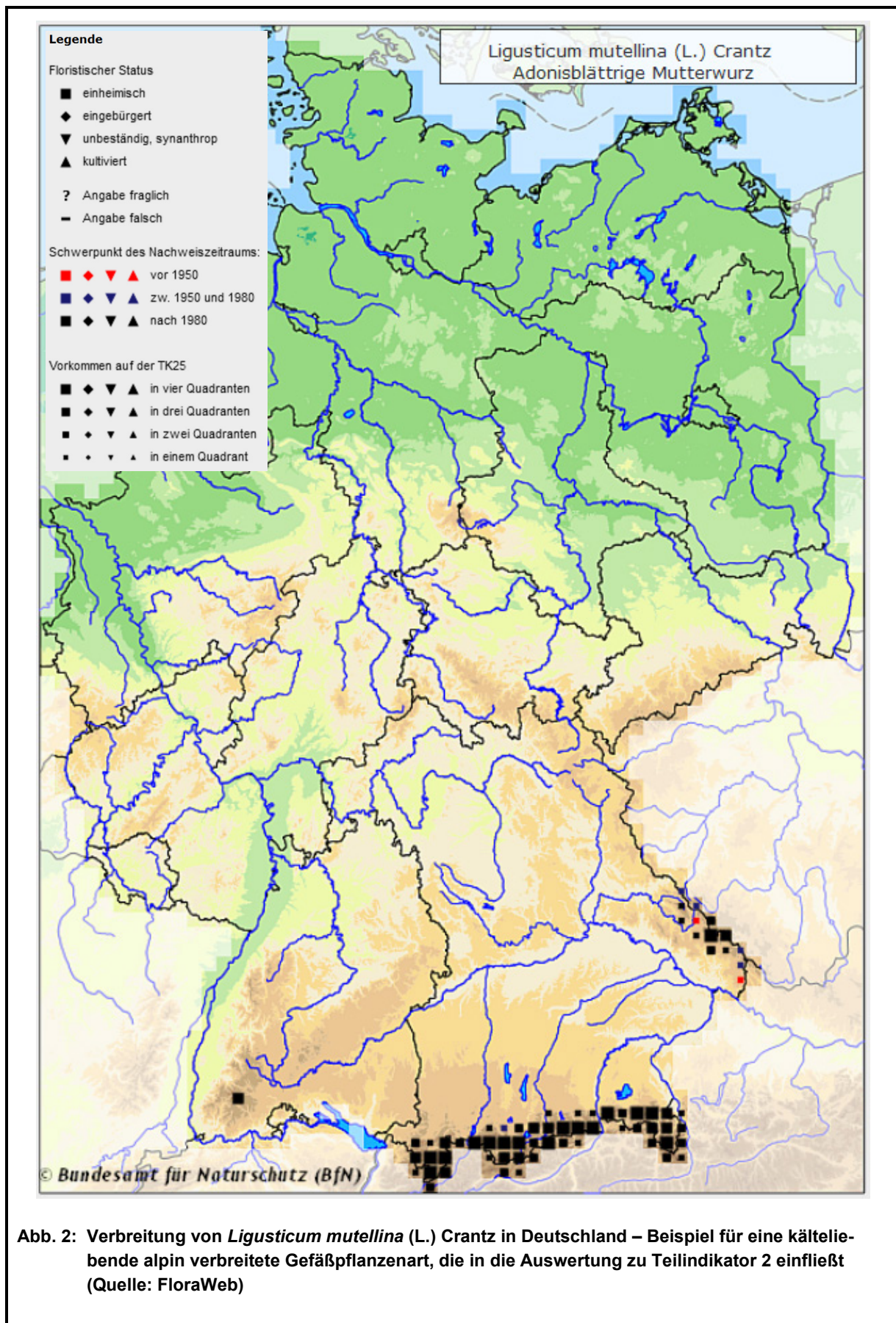


Abb. 2: Verbreitung von *Ligusticum mutellina* (L.) Crantz in Deutschland – Beispiel für eine kälteliebende alpin verbreitete Gefäßpflanzenart, die in die Auswertung zu Teilindikator 2 einfließt (Quelle: FloraWeb)

Glossar

Florenkartierung	Unter der Bezeichnung Florenkartierung findet in Deutschland die Bestandserhebung und Kartierung der Gefäßpflanzen (Farn- und Blütenpflanzen) statt (BfN 2008). Diese flächendeckende Bestandserhebung und Kartierung der Flora in Deutschland basiert auf ehrenamtlichen Geländeerhebungen unter Beteiligung Fachkundiger sowie taxonomischer Betreuung durch Spezialisten. Die deutschlandweiten Kartierungen und die flächendeckende Zusammenführung der regionalen Erhebungen wurden zunächst durch Koordinationsstellen an Universitäten und später durch die deutsche Zentralstelle für die floristische Kartierung Deutschlands übernommen.
FloraWeb	Das internetbasierte Informationssystem FloraWeb basiert auf der zentralen Datenbank der Florenkartierung (FlorKart) und wird vom BfN als Daueraufgabe in Kooperation mit der Zentralstelle für die floristische Kartierung Deutschlands bzw. deren Nachfolger, der Zentralstelle für die Phytodiversität Deutschlands (ZePhyD), weitergeführt. FloraWeb bietet öffentlich und frei zugängliche Informationen zu Pflanzen und Vegetation in Deutschland und einen integrierten dynamischen Kartendienst zur Erzeugung von Verbreitungskarten aus der Datenbank FlorKart.
Messtischblatt	Topographische Karte im Maßstab 1 : 25.000 (TK25), die der deutschen Rasterkartierung als Basis-Flächenbezug bei der Geländeerhebung dient (BfN 2008).

Quellen und weiterführende Informationen

- BfN – Bundesamt für Naturschutz (Hg.) (2008): Florenkartierung in Deutschland. – Online, URL: http://www.bfn.de/0302_florenkartierung.html [Zugriff: 13.01.2014]
- BfN – Bundesamt für Naturschutz (Hg.) (2012): FloraWeb. Suche nach Eigenschaften. – Online, URL: <http://www.floraweb.de/pflanzenarten/eigenschaften1.xsql> [Zugriff: 02.12.2013]
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt. R. Öffentlichkeitsarbeit. Berlin: 1-180.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel: 1-93.
- Chapin III, F. S., Zavaleta, E. S., Eviner, V. T., Naylor, R. L., Vitousek, P. M., Reynolds, H. L., Hooper, D. U., Lavorel, S., Sala, O. E., Hobbie, S. E., Mack, M. C., Díaz, S. (2000): Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234-242.
- Chen, I.-C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., Thomas, C. D. (2011): Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science* 333: 1024-1026.
- Ellenberg, H. (1974): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Göttingen, Verlag Erich Goltze KG.
- Grabherr, G., Gottfried, M., Pauli, H. (1994): Climate effects on mountain plants. *Nature* 369: 448.
- Hickling, R., Roy, D. B., Hill, J. K., Fox, R., Thomas, C. D. (2006): The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12: 450-455.
- Keller, F., Kienast, F., Beniston, M. (2000): Evidence of response of vegetation to environmental change on high-elevation sites in the Swiss Alps. *Regional Environmental Change* 1(2): 70-77.

- Kelly, A. E., Goulden, M. L. (2008): Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(no. 33): 11823-11826.
- Klotz, S., Kühn, I. (2007): Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora Deutschlands. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*. Bonn, Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz. 46: 49-56.
- Kullman, L. (2002): Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes. *Journal of Ecology* 90: 68-77.
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Marquet, P. A., Ruffray, P. de, Brisse, H. (2008): A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. *Science* 320: 1768-1771.
- Lesica, P., McCune, B. (2004): Decline of arctic-alpine plants at the southern margin of their range following a decade of climatic warming. *Journal of Vegetation Science* 15: 679-690.
- Parmesan, C. (2001): Detection of range shifts: General methodological issues and case studies using butterflies. "Fingerprints" of Climate Change. G.-R. Walther, C. A. Burga and P. J. Edwards. New York, Kluwer Academic/ Plenum Publishers: 57-76.
- Parmesan, C., Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Pompe, S., Berger, S., Walther, G.-R., Badeck, F., Hanspach, J., Sattler, S., Klotz, S., Kühn, I. (2009): Mögliche Konsequenzen des Klimawandels für Pflanzenareale in Deutschland. *Natur und Landschaft*. 84: 2-7.
- Pompe, S., Berger, S., Bergmann, J., Badeck, F., Lübbert, J., Klotz, S., Rehse, A.-K., Söhlke, G., Sattler, S., Walther, G.-R., Kühn, I. (2011): Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Flora und Vegetation in Deutschland. Bonn, Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz: 1-98.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., Pounds, J. A. (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60.
- Root, T. L., Price, J. T., Hall, K. R., Schneider, S. H., Rosenzweig, C., Pounds, J. A. (2005): The Impact of Climatic Change on Wild Animals and Plants: A Meta-Analysis. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191: 1115-1118.
- Schweiger, O., Settele, J., Kudrna, O., Klotz, S., Kühn, I. (2008): Climate Change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* 89: 3472-3479.
- Shoo, L. P., Williams, S. E., Hero, J.-M. (2006): Detecting climate change induced range shifts: Where and how should we be looking? *Austral Ecology* 31: 22-29.
- Telwala, Y., Brook, B. W., Manish, K., Pandit, M. K. (2013): Climate-Induced Elevational Range Shifts and Increase in Plant Species Richness in a Himalayan Biodiversity Epicentre. *PLoS ONE* 8: 1-8.
- Walther, G.-R. (2001): Adapted behaviour and shifted ranges of species - a result of recent climate warming? "Fingerprints" of Climate Change. G.-R. Walther, C. A. Burga and P. J. Edwards. New York, Kluwer Academic/ Plenum Publishers: 1-15.
- Walther, G.-R., Berger, S., Sykes, M. T. (2005): An ecological 'footprint' of climate change. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* 272: 1427-1432.
- Walther, G.-R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.

Anhang: Eingrenzung der Auswahl klimasensitiver Arten der Gefäßpflanzen Deutschlands**a) Teilindikator 1: Wärmeliebende Arten**

1. Einengung auf Arten mit Temperatur-Zeigerwerten ≥ 7 (insgesamt 464 Arten von Wärmezeigern, Wärme- bis Extremwärmezeigern und Extremwärmezeigern)
2. Weitere Einschränkung auf Arten des Arealtyps „mediterran / submediterran“ (mediterran, ost- und west-mediterran, mediterran-submediterran, submediterran, ost- und west-submediterran, submediterran-mediterran)
3. Die Eignung der resultierenden Arten für eine weitere Auswertung wurde anhand der TK25-Rasterfrequenz in Deutschland beurteilt: Als grundsätzlich geeignet erscheinen Arten mit einer Rasterfrequenz zwischen 25 und 2.500 der deutschlandweit ca. 3.000 Rasterflächen sowie Arten mit einer geringeren Rasterfrequenz, die geklumpt entlang häufiger Einwanderungsrouten wärmeliebender Arten vorkommen (Oberrheinebene, Donauebene, Mosel, Main, mitteldeutsches Trockengebiet, Thüringer Becken).
4. Durchsicht der resultierenden 165 Arten auf Eignung für die vorliegende Fragestellung und Aus-sortierung von Sonderfällen. Folgende Gruppen von Florenelementen wurden aufgrund besonderer Merkmale als ungeeignet identifiziert und daher von der weiteren Analyse ausgeschlossen:
 - Gruppe eher seltener, gefährdeter bis stark gefährdeter Ackerwildkräuter mediterranen Ursprungs. Obwohl diese Taxa deutliche Arealgewinne im Zuge des Klimawandels erwarten lassen, wird diese Entwicklung überlagert durch einen starken Rückgang bis hin zum lokalen Aussterben aufgrund einer fortschreitenden Intensivierung der Landwirtschaft. Zur Erfassung von Umkehrungen in der langfristigen Arealentwicklung wäre ein Ansatz zur Differenzierung von klimawandelbedingten rezenten (Wieder-)Ausbreitungen und durch andere Ursachen bedingten historischen Arealverlusten erforderlich.
 - Hochgradig spezialisierte Arten der Küsten oder seltener Biotope, deren Verbreitung nicht vornehmlich durch Temperaturveränderungen bestimmt wird.
 - Verschollene oder aus klimawandelunabhängigen Gründen vom Aussterben bedrohte Arten (RL 0 bis RL 1), deren sehr seltene Vorkommen Auswertungen im Sinne der hier vorliegenden Fragestellung unmöglich machen.
5. Die resultierenden 126 Arten wurden abschließend nach dem Verlauf ihrer Arealgrenze gefiltert und diejenigen Arten für die Auswertung ausgewählt, deren nördliche Arealgrenze sich durch Deutschland zieht: Das sind 37 Arten mit nördlichem Arealrand in Deutschland und 23 Arten, die mit einzelnen Vorposten in Deutschland auftreten (Tab. 1).

Tab. 1: Ergebnis der Auswahl 60 wärmeliebender Arten der Gefäßpflanzen Deutschlands, die für eine systematische Analyse von Arealverschiebungen im Klimawandel geeignet erscheinen

Gefäßpflanzenart	T-Zahl	Arealtyp	Arealcharakter in D
<i>Aceras anthropophorum</i> (L.) W. T. Aiton	7	submediterran	Arealrand
<i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb.	8	mediterran-submediterran	Arealrand
<i>Althaea hirsuta</i> L.	8	mediterran-submediterran	Arealrand
<i>Anacamptis pyramidalis</i> (L.) Rich.	7	submediterran	Arealrand
<i>Arabis turrita</i> L.	7	submediterran	Arealrand
<i>Artemisia pontica</i> L.	7	ostsubmediterran	Arealrand

Gefäßpflanzenart	T-Zahl	Arealtyp	Arealcharakter in D
<i>Bothriochloa ischaemum</i> (L.) Keng	7	submediterranean	Arealrand
<i>Buxus sempervirens</i> L.	8	submediterranean	Arealrand
<i>Crepis foetida</i> L.	7	submediterranean	Arealrand
<i>Fumaria schleicheri</i> Soy.-Will.	7	ostsubmediterranean	Arealrand
<i>Galium tricornutum</i> Dandy	7	submediterranean-mediterranean	Arealrand
<i>Heliotropium europaeum</i> L.	8	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Iris spuria</i> L.	8	submediterranean	Arealrand
<i>Lathyrus aphaca</i> L.	7	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Legousia speculum-veneris</i> (L.) Chaix	7	submediterranean-mediterranean	Arealrand
<i>Linum tenuifolium</i> L.	8	submediterranean	Arealrand
<i>Malva pusilla</i> Sm.	7	ostmediterranean	Arealrand
<i>Medicago minima</i> (L.) L.	7	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Minuartia setacea</i> (Thuill.) Hayek	7	ostsubmediterranean	Arealrand
<i>Moenchia erecta</i> (L.) P. Gaertn., B. Mey. & Scherb.	7	westsubmediterranean	Arealrand
<i>Muscari comosum</i> (L.) Mill.	8	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Muscari neglectum</i> Guss. ex Ten.	8	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Najas minor</i> All.	7	submediterranean	Arealrand
<i>Nymphoides peltata</i> (S. G. Gmel.) Kuntze	7	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Papaver hybridum</i> L.	7	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Petrorhagia saxifraga</i> (L.) Link	7	submediterranean	Arealrand
<i>Peucedanum carvifolia</i> Vill.	7	submediterranean	Arealrand
<i>Prunella laciniata</i> (L.) L.	7	submediterranean	Arealrand
<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) All.	7	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Rosa gallica</i> L.	7	ostsubmediterranean	Arealrand
<i>Staphylea pinnata</i> L.	7	ostsubmediterranean	Arealrand
<i>Tamus communis</i> L.	8	submediterranean	Arealrand
<i>Tordylium maximum</i> L.	8	submediterranean-mediterranean	Arealrand
<i>Torilis arvensis</i> (Huds.) Link	7	submediterranean-mediterranean	Arealrand
<i>Verbascum blattaria</i> L.	7	ostsubmediterranean	Arealrand
<i>Verbascum pulverulentum</i> Vill.	8	submediterranean	Arealrand
<i>Viola alba</i> Besser	7	mediterranean-submediterranean	Arealrand
<i>Althaea officinalis</i> L.	7	ostmediterranean	Vorposten
<i>Anthemis austriaca</i> Jacq.	7	ostsubmediterranean	Vorposten
<i>Arabis auriculata</i> Lam.	7	submediterranean	Vorposten
<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.	7	submediterranean	Vorposten
<i>Fumana procumbens</i> (Dunal) Gren. & Godr.	7	submediterranean	Vorposten

Gefäßpflanzenart	T-Zahl	Arealtyp	Arealcharakter in D
<i>Helianthemum canum</i> (L.) Baumg.	7	submediterrän	isolierter Vorposten
<i>Himantoglossum hircinum</i> (L.) Spreng.	7	westsubmediterrän	Vorposten
<i>Hornungia petraea</i> (L.) Rchb.	7	submediterrän	Vorposten
<i>Legousia hybrida</i> (L.) Delarbre	7	mediterrän-submediterrän	Vorposten
<i>Luzula forsteri</i> (Sm.) DC.	8	mediterrän-submediterrän	Vorposten
<i>Mentha pulegium</i> L.	7	mediterrän-submediterrän	Vorposten
<i>Mercurialis ovata</i> Sternb. & Hoppe	7	ostsubmediterrän	Vorposten
<i>Odontites luteus</i> (L.) Clairv.	7	submediterrän	Vorposten
<i>Orchis simia</i> Lam.	8	submediterrän	Vorposten
<i>Orchis tridentata</i> Scop.	7	submediterrän	Vorposten
<i>Orobanche purpurea</i> Jacq.	7	submediterrän	Vorposten
<i>Potentilla micrantha</i> Ramond ex DC.	7	submediterrän	Vorposten
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	8	submediterrän	Vorposten
<i>Rorippa pyrenaica</i> (L.) Rchb.	7	submediterrän	isolierter Vorposten
<i>Sclerochloa dura</i> (L.) P. Beauv.	7	mediterrän	Vorposten
<i>Sorbus domestica</i> L.	8	submediterrän	Vorposten
<i>Valerianella rimosa</i> Bastard	7	submediterrän-mediterrän	Vorposten
<i>Ventenata dubia</i> (Leers) Coss.	8	submediterrän	Vorposten

b) Teilindikator 2: Kälteliebende Arten

1. Einengung auf Arten mit Temperatur-Zeigerwerten ≤ 3 (insgesamt 348 Arten von Kältezeigern, Kälte- bis Kühlezeigern und Kühlezeigern)
2. Weitere Einschränkung auf Arten des Arealtyps „arktisch / alpin“ (arktisch, arktisch-alpin, arktisch-nordisch, alpin, ost- und westalpin)
3. Weitere Einengung dieser Gruppe auf Arten mit einer TK25-Rasterfrequenz zwischen 25 und 2.500
4. Die Durchsicht der resultierenden 138 Arten auf Eignung für die vorliegende Fragestellung führte zur Aussortierung eines einzigen Sonderfalls einer Zierpflanze.
5. Die verbliebenen 137 Arten setzen sich zusammen aus 75 Arten, deren Verbreitungsgebiet sich nach 1980 auf die Alpen beschränkt, und 62 Arten mit zusätzlichen Vorkommen in den Hochlagen im (Süd)Schwarzwald, im Bayerischen Wald, seltener auch in den Mittelgebirgen der Schwäbischen Alb, der Rhön, des Fichtelgebirges, des Erzgebirges und des Harzes (Tab. 2).

Tab. 2: Ergebnis der Auswahl 137 kälteliebender Arten der Gefäßpflanzen Deutschlands, die für eine systematische Analyse von Verschiebungen des Areals bzw. der Höhenamplitude der Vorkommen im Klimawandel geeignet erscheinen

Gefäßpflanzenart	T-Zahl	Arealtyp	Vorkommen Alpen	Vorkommen Mittelgebirge
a) Arten mit Vorkommen nur im deutschen Alpenraum:				
<i>Achillea clavennae</i> L.	2	ostalpin	x	
<i>Agrostis alpina</i> Scop.	2	alpin	x	
<i>Agrostis schleicheri</i> Jord. und Verlot	1	westalpin	x	
<i>Alchemilla pallens</i> Buser	2	westalpin	x	
<i>Androsace chamaejasme</i> Wulfen	2	alpin	x	
<i>Arabis ciliata</i> Clairv.	2	alpin	x	
<i>Arctostaphylos alpinus</i> (L.) Spreng.	2	arktisch-alpin	x	
<i>Campanula barbata</i> L.	2	alpin	x	
<i>Carex capillaris</i> L.	1	arktisch-alpin	x	
<i>Carex ferruginea</i> Scop.	2	alpin	x	
<i>Carex firma</i> Host	2	alpin	x	
<i>Carex parviflora</i> Host	2	arktisch-alpin	x	
<i>Cerastium fontanum</i> Baumg.	3	alpin	x	
<i>Chamorchis alpina</i> (L.) Rich.	2	alpin	x	
<i>Cirsium spinosissimum</i> (L.) Scop.	2	alpin	x	
<i>Crepis aurea</i> (L.) Cass.	2	alpin	x	
<i>Crepis conyzifolia</i> (Gouan) Kern.	3	alpin	x	
<i>Daphne striata</i> Tratt.	3	alpin	x	
<i>Draba tomentosa</i> Clairv.	1	alpin	x	
<i>Dryopteris villarii</i> (Bellardi) Woy. ex Thell.	2	alpin	x	
<i>Epilobium anagallidifolium</i> Lam.	2	arktisch-alpin	x	
<i>Epilobium nutans</i> F. W. Schmidt	3	alpin	x	
<i>Erigeron uniflorus</i> L.	1	alpin	x	
<i>Eriophorum scheuchzeri</i> Hoppe	2	arktisch-alpin	x	
<i>Euphrasia minima</i> Jacq. ex DC.	2	alpin	x	
<i>Festuca alpina</i> Suter	1	alpin	x	
<i>Festuca rupicaprina</i> (Hack.) A. Kern.	1	alpin	x	
<i>Galium megalospermum</i> All.	2	alpin	x	
<i>Gentiana bavarica</i> L.	2	alpin	x	
<i>Gentiana nivalis</i> L.	1	arktisch-alpin	x	
<i>Gentiana punctata</i> L.	2	alpin	x	
<i>Globularia nudicaulis</i> L.	2	alpin	x	
<i>Gnaphalium hoppeanum</i> W. D. J. Koch	2	alpin	x	
<i>Hedysarum hedysaroides</i> (L.) Schinz und Thell.	2	arktisch-alpin	x	

7.4 Kennblatt Indikator-Prototyp „Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten“

Gefäßpflanzenart	T-Zahl	Arealtyp	Vorkommen Alpen	Vorkommen Mittelgebirge
<i>Hieracium alpinum</i> L.	2	arktisch-alpin	x	
<i>Hieracium glabratum</i> Hoppe ex Willd.	2	alpin	x	
<i>Hieracium glaucum</i> All.	3	alpin	x	
<i>Hieracium villosum</i> Jacq.	2	alpin	x	
<i>Juncus triglumis</i> L.	2	arktisch-alpin	x	
<i>Juniperus communis</i> L. subsp. <i>nana</i> (Willd.) Syme	2	alpin	x	
<i>Leontopodium alpinum</i> Cass.	2	alpin	x	
<i>Leucanthemum halleri</i> (Suter) Ducommun	2	alpin	x	
<i>Moehringia ciliata</i> (Scop.) Dalla Torre	2	alpin	x	
<i>Myosotis alpestris</i> F. W. Schmidt	2	arktisch-alpin	x	
<i>Oxytropis jacquinii</i> Bunge	2	alpin	x	
<i>Pedicularis rostratocapitata</i> Crantz	2	ostalpin	x	
<i>Petrocallis pyrenaica</i> (L.) R. Br.	1	alpin	x	
<i>Phleum hirsutum</i> Honck.	3	alpin	x	
<i>Plantago alpina</i> L.	3	westalpin	x	
<i>Plantago atrata</i> Hoppe	3	alpin	x	
<i>Poa cenisia</i> All.	2	alpin	x	
<i>Polygala alpestris</i> Rchb.	2	alpin	x	
<i>Potentilla brauneana</i> Hoppe ex Nestl.	2	alpin	x	
<i>Ranunculus alpestris</i> L.	2	alpin	x	
<i>Rhamnus pumila</i> Turra	2	alpin	x	
<i>Rhododendron hirsutum</i> L.	3	ostalpin	x	
<i>Rhodothamnus chamaecistus</i> (L.) Rchb.	3	ostalpin	x	
<i>Salix glabra</i> Scop.	3	ostalpin	x	
<i>Salix hastata</i> L.	3	arktisch-alpin	x	
<i>Salix reticulata</i> L.	2	arktisch-alpin	x	
<i>Salix retusa</i> L.	2	alpin	x	
<i>Salix serpillifolia</i> Scop.	2	alpin	x	
<i>Salix waldsteiniana</i> Willd.	3	ostalpin	x	
<i>Saxifraga androsacea</i> L.	2	alpin	x	
<i>Saxifraga aphylla</i> Sternb.	1	alpin	x	
<i>Saxifraga caesia</i> L.	2	alpin	x	
<i>Saxifraga oppositifolia</i> L. subsp. <i>oppositifolia</i>	2	arktisch-alpin	x	
<i>Scabiosa lucida</i> Vill.	3	alpin	x	
<i>Sedum atratum</i> L.	2	alpin	x	
<i>Senecio doronicum</i> (L.) L.	2	alpin	x	
<i>Trifolium badium</i> Schreb.	2	alpin	x	

Gefäßpflanzenart	T-Zahl	Arealtyp	Vorkommen Alpen	Vorkommen Mittelgebirge
<i>Trisetum distichophyllum</i> (Vill.) P. Beauv.	2	alpin	x	
<i>Valeriana montana</i> L.	2	alpin	x	
<i>Valeriana saxatilis</i> L.	2	ostalpin	x	
<i>Veronica aphylla</i> L.	2	alpin	x	
b) Arten mit Vorkommen im deutschen Alpenraum und in den deutschen Mittelgebirgen:				
<i>Acinos alpinus</i> (L.) Moench	3	alpin	x	x
<i>Adenostyles alliariae</i> (Gouan) Kern.	3	alpin	x	x
<i>Adenostyles glabra</i> (Mill.) DC.	3	alpin	x	x
<i>Agrostis rupestris</i> All.	2	alpin	x	x
<i>Alchemilla decumbens</i> Buser	2	alpin	x	x
<i>Alchemilla hoppeana</i> (Rchb.) Dalla Torre	2	alpin	x	x
<i>Alchemilla reniformis</i> Buser	3	westalpin	x	x
<i>Allium victorialis</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Androsace lactea</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Anemone narcissiflora</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Anthoxanthum alpinum</i> Å. Löve und D. Löve	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Arabis alpina</i> L.	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Aster alpinus</i> L.	2	alpin	x	x
<i>Aster bellidiastrum</i> (L.) Scop.	3	alpin	x	x
<i>Athamanta cretensis</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Bartsia alpina</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Betula nana</i> L.	3	arktisch-nordisch	x	x
<i>Campanula cochleariifolia</i> Lam.	3	alpin	x	x
<i>Campanula scheuchzeri</i> Vill.	2	alpin	x	x
<i>Carex brachystachys</i> Schrank	2	alpin	x	x
<i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poir.	2	arktisch-alpin	x	x
<i>Carex mucronata</i> All.	3	alpin	x	x
<i>Carex pauciflora</i> Lightf.	3	arktisch	x	x
<i>Crepis pyrenaica</i> (L.) Greuter	3	alpin	x	x
<i>Doronicum grandiflorum</i> Lam.	2	alpin	x	x
<i>Dryas octopetala</i> L.	2	arktisch-alpin	x	x
<i>Epilobium alsinifolium</i> Vill.	2	arktisch-alpin	x	x
<i>Euphrasia salisburgensis</i> Funck ex Hoppe	3	alpin	x	x
<i>Galium anisophyllum</i> Vill.	2	alpin	x	x
<i>Gentiana clusii</i> Perr. und Song.	3	alpin	x	x
<i>Gentiana pannonica</i> Scop.	3	ostalpin	x	x

7.4 Kennblatt Indikator-Prototyp „Arealveränderungen bei klimasensitiven Pflanzenarten“

Gefäßpflanzenart	T-Zahl	Arealtyp	Vorkommen Alpen	Vorkommen Mittelgebirge
<i>Globularia cordifolia</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Gnaphalium norvegicum</i> Gunnerus	3	alpin	x	x
<i>Gnaphalium supinum</i> L.	2	alpin	x	x
<i>Hieracium humile</i> Jacq.	3	alpin	x	x
<i>Kernera saxatilis</i> (L.) Sweet	3	alpin	x	x
<i>Leontodon helveticus</i> Mérat	3	alpin	x	x
<i>Ligusticum mutellina</i> (L.) Crantz	2	alpin	x	x
<i>Linaria alpina</i> (L.) Mill.	3	alpin	x	x
<i>Luzula sudetica</i> (Willd.) Schult.	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Pedicularis foliosa</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Pinguicula alpina</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Poa alpina</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Poa minor</i> Gaudin	2	alpin	x	x
<i>Poa supina</i> Schrad.	3	alpin	x	x
<i>Potentilla aurea</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Primula auricula</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Ranunculus montanus</i> Willd.	3	alpin	x	x
<i>Rhododendron ferrugineum</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Sagina saginoides</i> (L.) H. Karst.	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Saxifraga aizoides</i> L.	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Saxifraga stellaris</i> L.	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P. Beauv.	3	arktisch-alpin	x	x
<i>Silene pusilla</i> Waldst. und Kit.	3	alpin	x	x
<i>Silene rupestris</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Soldanella alpina</i> L.	2	alpin	x	x
<i>Thesium alpinum</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Tozzia alpina</i> L.	2	alpin	x	x
<i>Traunsteinera globosa</i> (L.) Rchb.	3	alpin	x	x
<i>Valeriana tripteris</i> L.	3	alpin	x	x
<i>Veronica fruticans</i> Jacq.	2	alpin	x	x

7.5 Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften

Indikator-Kennziffer I.2.6	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter/in: Silvia Dziock, Hochschule für Technik und Wirtschaft, HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege, Professur Tierökologie / Angewandter Umweltschutz Dr. Martin Wiemers, Department Biozönoseforschung, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)	Letzte Aktualisierung am 01.07.2015
Ansprechpartner/in Hochschule für Technik und Wirtschaft, HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege, Professur Tierökologie / Angewandter Umweltschutz, Silvia Dziock, Tel.: 0351/30991094, silvia.dziock@gmx.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung Offen
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Der Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften wurde analog dem Community Temperature Index (CTI) für Vögel (Devictor et al. 2008) entwickelt. Auf europäischer Ebene wird ein entsprechender Klimawandel-Indikator für Tagfalter bereits erfolgreich eingesetzt (van Swaay et al. 2010). Im Rahmen des Klimafolgenmonitorings Sachsen wird der gleichartig berechnete „CTI für Tagfalter“ als komplexer Kernindikator im Themenfeld „Änderung der Artenvielfalt und -zusammensetzung“ verwendet. Eine Prüfung des Indikators für den Einsatz in Sachsen erfolgte im Zuge des FuE-Vorhabens „Naturschutzfachliches Monitoring Klimawandel und Biodiversität“ durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ). Die nachfolgenden Darstellungen des Indikators basieren im Wesentlichen auf dem Indikatorsteckbrief zum „CTI für Tagfalter in Sachsen“ von Wiemers et al. (2013) (vgl. auch SMUL 2013) sowie auf dem Steckbrief zum „Temperaturindex häufiger Brutvogelarten“ des DDA (Trautmann 2014). Der Indikator wird zunächst als Prototyp ausgearbeitet, da die benötigten Datengrundlagen aus dem Tagfalter-Monitoring Deutschland bisher für das Vorhaben nicht verfügbar sind.	

Einordnung

Indikationsfeld Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset Impact	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziock, S. Dziock (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Der Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften summiert für möglichst repräsentative Transekte in Deutschland die artspezifischen auf das europäische Verbreitungsgebiet bezogenen Temperaturindizes (STI) der vorkommenden Tagfalterarten unter Berücksichtigung der relativen Häufigkeiten der Arten innerhalb dieser Artengemeinschaften in Bezug zu einem Referenzjahr. Der Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften stellt somit den Durchschnittswert der STIs aller Tagfalterarten der zugrunde gelegten Transekte für den Bezugsraum Deutschland dar.	Einheit [°C]
Berechnungsvorschrift 1. Berechnung der europäischen Temperaturnische der Tagfalterarten (STI = Species Temperature Index) Die STI-Werte stellen jeweils das arithmetische Mittel aus den Mitteltemperaturen eines gerasterten Verbreitungsareals einer Art innerhalb einer Referenzperiode dar. Die Berechnung der STI-Werte erfolgt auf der Grundlage der europaweiten Verbreitungskarten der Arten. Für Tagfalter (wie auch für Vögel und Libellen) wurden diese STI-Werte bereits berechnet (vgl. Schweiger et al. 2014). 2. Berechnung des Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften (CTI = Community Temperature Index) Der Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften wird aus dem arithmetischen Mittel der nach Häufigkeit der Arten gewichteten Species Temperature Indices (STI) von Artengemeinschaften repräsentativer Transekte zu einem bestimmten Zeitpunkt berechnet. Das Artenset der Tagfalter, die in die Berechnung des Indexes einfließen ist offen. Allerdings kann es sinnvoll sein, Daten einzelner nicht bodenständiger Wanderfalterarten aus der Berechnung auszunehmen, da diese bei starken Einwanderungswellen zu Veränderungen des Indexwertes führen können, die keinen Bezug zu den Klimaverhältnissen in Deutschland haben. Grundvoraussetzung für eine belastbare Auswertung des Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften ist eine ausreichende Datenmenge. Um die Vergleichbarkeit der Daten zwischen verschiedenen Jahren zu gewährleisten, sollten regelmäßig bearbeitete und räumlich repräsentativ verteilte Transekte die Grundlage für die Berechnung darstellen. Idealerweise sollten die Datensätze räumlich und zeitlich repräsentativ sein sowie verschiedene Höhenstufen und Biotoptypen abdecken (Wiemers et al. 2013). Zur Gewichtung der STI-Werte bei der Berechnung des CTI gibt es zwei Möglichkeiten: 1. Methode – Gewichtung mittels Individuenzahlen $CTI_{IZ} = \frac{\sum_{j=1}^n STI_j * IZ_j}{\sum_{i=1}^n IZ_i}$ Hierbei sind i und j die Arten mit n als Anzahl der Arten, IZ die Individuenzahlen und STI die Species Temperature Indices. Diese Methode ist vorzugsweise zu verwenden bei Monitoringdaten, wobei hier im Falle von extremen Abundanzen möglicherweise eine Transformation der Individuenzahlen (z. B. In-Transformation) notwendig sein kann. Falls Individuenzahlen nicht oder nicht durchgängig vorliegen, kann stattdessen auch die folgende Methode verwendet werden:	

2. Methode – Gewichtung mittels Datensatzzahlen

$$CTI_{DS} = \frac{\sum_{j=1}^n STI_j * DS_j}{\sum_{i=1}^n DS_i}$$

Hierbei sind i und j die Arten mit n als Anzahl der Arten, DS die Anzahl der zu den einzelnen Arten vorliegenden Datensätze und STI die Species Temperature Indices.

Es ist zu beachten, dass die Berechnung der STI-Werte vom Betrachtungsmaßstab und von der betrachteten Referenzperiode abhängig ist. Wenn das gesamte Verbreitungsgebiet der Art betrachtet wird, kann der STI-Wert höher oder niedriger sein, als wenn nur ein Teilbereich als Grundlage genutzt wird (vgl. Devictor et al. 2008).

Berechnung des Trends: Die Veränderung des Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften entlang einer Zeitachse, die als Indikator für Auswirkungen der Temperaturentwicklung auf Tagfalterartengemeinschaften genutzt wird, kann durch Berechnung generalisierter linearer Modelle (GLM) erfolgen, wobei lineare Regressionsmodelle für einfache Trendberechnungen ausreichend sind. Der Index sollte jährlich berechnet werden, die Berechnung von Trends sollte allerdings über einen längeren Zeitraum erfolgen, um den Einfluss kurzfristiger Populationschwankungen zu minimieren. Es ist zu beachten, dass sich die Anzahl und Zusammensetzung der betrachteten Arten im zeitlichen Verlauf durch Arealverschiebungen ändern können. Durch Arealerweiterungen können neue Arten hinzukommen, und durch Arealverkleinerungen kann die Artenzahl abnehmen.

Begründung

Tagfalter eignen sich besonders für die Anwendung des Indikators, da sie als wechselwarme Tiere in ihrer Entwicklung stark von der Temperatur abhängig sind und auch aufgrund ihrer vergleichsweise kurzen Generationszyklen schneller auf Klimaveränderungen reagieren als die meisten Wirbeltiere. Als eine in weiten Teilen der Bevölkerung beliebte Artengruppe weisen die Tagfalter zudem eine hohe Öffentlichkeitswirksamkeit auf. Durch das seit 2005 bestehende Tagfalter-Monitoring Deutschland, das ein langfristig angelegtes Citizen Science Programm darstellt, besteht eine gute Grundlage für deutschlandweite Datenauswertungen. Der zeitliche Verlauf des Indikators spiegelt mittel- und langfristige durch den Klimawandel verursachte Veränderungen der Tagfalterartengemeinschaften (Zusammensetzung und Häufigkeiten der Arten) wider. Auf europäischer Ebene ist bereits zu erkennen, dass eine signifikante und schnelle Zunahme von Arten stattfindet, die an wärmere Temperaturen gebunden sind (van Swaay et al. 2010). Der Indikator ermöglicht es zudem, durch den Abgleich mit Temperaturveränderungen festzustellen, in welchem Ausmaß die betrachteten Artengruppen dem Klimawandel folgen können. Aufgrund der kurzen Generationsdauer der Tagfalterarten besteht eine hohe Korrelation zwischen Jahresmittelwert der Temperatur und dem für das jeweilige Jahr berechneten Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften.

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

- Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), Kapitel 3.2.5: „Im Sinne einer integrierten Herangehensweise sollten Bund und Länder integrative Maßnahmen prüfen und ergreifen, die Synergien zwischen Naturschutz, Klimaschutz und Anpassung nutzen und die Biodiversität erhalten.“ (BMU 2008: 26).
- Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS), Kapitel B 3.2: „Unsere Vision für die Zukunft ist: Der Anstieg der mittleren globalen Erwärmung ist auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland (z. B. Verschiebung der Vegetationszonen, Veränderung des

Vogelzugverhaltens, Gefährdung kälteliebender Arten) sind abgepuffert bzw. minimiert.“
(BMU 2007)

Datengrundlage

Datenquelle Folgende Datengrundlagen werden für die Berechnung des Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften und die Darstellung von Veränderungen dieses Indexes im zeitlichen Verlauf benötigt: 1. Species Temperature Index (STI) für alle analysierten Arten. Die STI-Werte sind in Schweiger et al. (2014) veröffentlicht. Die Berechnungen des STI erfolgten auf der Grundlage des Europäischen Verbreitungsatlas von Kudrna (2002) und Kudrna et al. (2011) sowie des Climatic Risk Atlas of European Butterflies von Settele et al. (2008) (vgl. Wiemers et al. 2013, van Swaay et al. 2010). 2. Jährlich aktualisierte Individuenzahlen aus den Transektdaten des Tagfalter-Monitorings Deutschland (TMD) (Kühn et al. 2014). Grundlage für die Berechnung sollten regelmäßig bearbeitete und räumlich repräsentativ verteilte Transekte sein. Koordination des TMD: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Biozönosforschung; Ansprechpartner: Elisabeth Kühn, Tel.: 0345-5585263, Fax: 0345-5585329, tagfalter-monitoring@ufz.de; PD Dr. Josef Settele, josef.settele@ufz.de	
Räumliche Auflösung Flächenhaft	NUTS 0
Geographische Abdeckung Deutschland, allerdings fehlt eine gleichmäßige Abdeckung der gesamten Fläche. Lücken existieren u. a. in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein, auch Gebirgslagen sind unterrepräsentiert.	
Zeitliche Auflösung Das Tagfalter-Monitoring Deutschland startete im Juni 2005 und wird seither regelmäßig durchgeführt. Von April bis September finden die Erfassungen in der Regel einmal wöchentlich statt. Die erforderlichen Daten stehen damit jährlich zur Verfügung.	
Beschränkungen Die Grundlagendaten aus dem Tagfalter-Monitoring Deutschland sind nicht öffentlich verfügbar, können aber ggf. auf Anfrage bereitgestellt werden.	Machbarkeit Die konkrete Auswahl der in den Indikator einfließenden Arten sowie die Methode der Trendberechnung muss noch abschließend geklärt werden. Danach kann der Indikator in Kooperation mit dem UFZ berechnet werden.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Mittel	Datenhaltende Institution (UFZ) und Fachgesellschaft (GfS)
Datenverarbeitung:	Mittel	Der zeitliche Aufwand kann zurzeit noch nicht abgeschätzt werden.
Datenkosten Die Datenkosten können zurzeit noch nicht abgeschätzt werden.		

Zuständigkeit

Ggf. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), Department Biozönoseforschung & Gesellschaft für Schmetterlingsschutz (GfS), Tagfalter-Monitoring Deutschland

Erläuterung:

Es wird vorgeschlagen, die Datenauswertung und Berechnung des Indikators dem UFZ zu übertragen. Hierzu müssten konkrete Vereinbarungen zwischen dem BfN und dem UFZ getroffen werden.

Aussage**Interpretationsvorschrift**

Steigt der Indexwert an, so nimmt der relative Anteil wärmeliebender Arten im Untersuchungsgebiet zu bzw. der relative Anteil kälteliebender Arten nimmt ab. Sinkt der Indexwert, so steigt die relative Häufigkeit kälteliebender Arten bzw. es sinkt die relative Häufigkeit wärmeliebender Arten. Je stärker der Wert sich ändert, desto größer ist die Änderung der Häufigkeiten kälte- oder wärmeliebender Arten im Untersuchungsgebiet. Dies könnte vor allem auf den Klimawandel zurückzuführen sein.

Steigt der Wert langsamer an als die Durchschnittstemperatur, so wird davon ausgegangen, dass die Arten dem Klimawandel nicht ausreichend schnell durch Arealverschiebungen folgen können (Devictor et al. 2008). Devictor et al. (2012) bezeichnen diese akkumulierte Verzögerung der ökologischen Antwort der Arten auf die klimatischen Veränderungen als „Climatic debt“ (= Klimaschuld).

Trend- und Statusanalyse

Der Community Temperature Index (CTI) für Tagfalter, der analog dem Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften berechnet wird, wurde in Deutschland bisher lediglich für Sachsen mit Daten aus der Artdatenbank (Multi-BaseCS-Format) von Rolf Reinhardt mit ca. 100.000 Datensätzen (ausreichende Daten für 1975-2010) und aus den TMD-Daten berechnet. Die vorhandene Datengrundlage für Sachsen weist damit eine längere Zeitreihe auf als der Datensatz, der allein dem TMD entstammt. Im Zeitraum 1975-2010 ist in Sachsen eine deutliche Zunahme des CTI mit einem statistisch signifikantem positivem Trend festzustellen, wobei der Anstieg des CTI in den Artengilden verschiedener Habitattypen allerdings unterschiedlich stark ausgeprägt ist (Wiemers et al. 2013).

Handlungsempfehlungen

Die Differenzierung nach Lebensräumen kann dabei helfen, Maßnahmen zur Schadensvermeidung bzw. -begrenzung zielgerichtet anzusetzen. Es sollten Maßnahmen zur Vermeidung oder Minderung von Auswirkungen des Klimawandels definiert werden. Klimaschutzmaßnahmen sind zur Begrenzung der negativen Effekte des Klimawandels auf Tagfalter von Bedeutung, ebenso Schutzmaßnahmen für Artengemeinschaften sowie die räumliche Vernetzung von Schutzgebieten oder die Erhöhung der Durchlässigkeit der Landschaftsmatrix für Arealverschiebungen. Nach van Swaay et al. (2010) sollten Schutzmaßnahmen vor allem auf die Erhaltung großer Populationen in zusammenhängenden Verbreitungsgebieten ausgerichtet sein und auf die Verbesserung der Mobilität der Arten durch Biotopverbundmaßnahmen.

Bewertung des Indikators

Stärken

- Die zugrundeliegende Methode ist sehr robust in Bezug auf Artenauswahl und Datenqualität und kann in unterschiedlichen Regionen angewendet werden.
- Da die Ergebnisse vor allem durch häufige Arten bestimmt werden, eignen sich auch Daten aus nicht flächendeckenden Monitoringprogrammen, die wie beim Tagfalter-Monitoring Deutschland von Ehrenamtlichen erfasst werden.
- Der Berechnungsansatz ist einfach und erfordert keine Artverbreitungsmodelle mithilfe von Klimaprojektionen, sondern lediglich Verbreitungsdaten der betrachteten Arten.
- Mithilfe des Temperaturindex (CTI) können Aussagen zur Veränderung ganzer Artengemeinschaften getroffen werden. Der Ansatz ist somit repräsentativer und robuster als die Fokussierung auf bestimmte Arten.
- Laut Methodenvergleich von van Swaay et al. (2008) scheint die Veränderung des CTI der empfindlichste und am einfachsten zu berechnende Indikator zur Darstellung der Effekte des Klimawandels auf Tagfalter zu sein.
- Auch auf europäischer Ebene wird der CTI bereits als Klimawandel-Indikator für Tagfalter genutzt.

Schwächen

- Da das TMD ein Freiwilligen-Monitoring ist, müssen hinsichtlich der Raumrepräsentativität der Transekte Abstriche hingenommen werden. Die Transektstrecken werden von den Bearbeitern ausgesucht und decken daher nicht gleichmäßig das gesamte Bundesgebiet ab.
- Nicht alle Transekte werden regelmäßig in jedem Jahr bearbeitet.
- Daten liegen bundesweit erst ab dem Jahr 2005 vor.
- Die Häufigkeiten und/oder Areale der Arten und damit auch der Temperaturindex der Tagfalterartengemeinschaften können nicht nur durch Klimaveränderungen beeinflusst werden, sondern auch durch Landnutzungsänderungen oder weitere Faktoren (vgl. Clavero et al. 2011).
- Eine Analyse zur Repräsentativität verschiedener Lebensraumtypen im TMD liegt derzeit noch nicht vor, so dass hierzu noch keine Aussagen getroffen werden können.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

- Anhand einer Differenzierung des Temperaturindex nach verschiedenen Regionen, nach bestimmter Lebensraumnutzung oder Spezialisierungsgrad der Arten (euryöke und stenöke Arten) könnte untersucht werden, ob der Verlauf des Temperaturindex robust ist oder in Abhängigkeit von bestimmten Arteigenschaften oder in verschiedenen Regionen variiert.
- Es sollte überprüft werden, in welchem Umfang der Indikator mit beobachteten Klimaveränderungen korreliert und ob es Korrelationen auch mit anderen Faktoren, insbesondere Landnutzungsänderungen, gibt. Landnutzungseffekte könnten beispielsweise mit Hilfe der Berechnung eines ähnlichen Index zur Habitatspezialisierung (Community Specialisation Index = CSI) von Tagfalterarten ausgeschlossen werden (s. a. Kampichler et al. 2012). Ein solcher Index könnte als Korrektur- oder Gewichtungsfaktor in den Temperaturindex einfließen.
- Der Temperaturindex könnte auch für andere Artengruppen wie beispielsweise Libellen und Heuschrecken berechnet werden.

Graphische Darstellung (Beispieldarstellung)

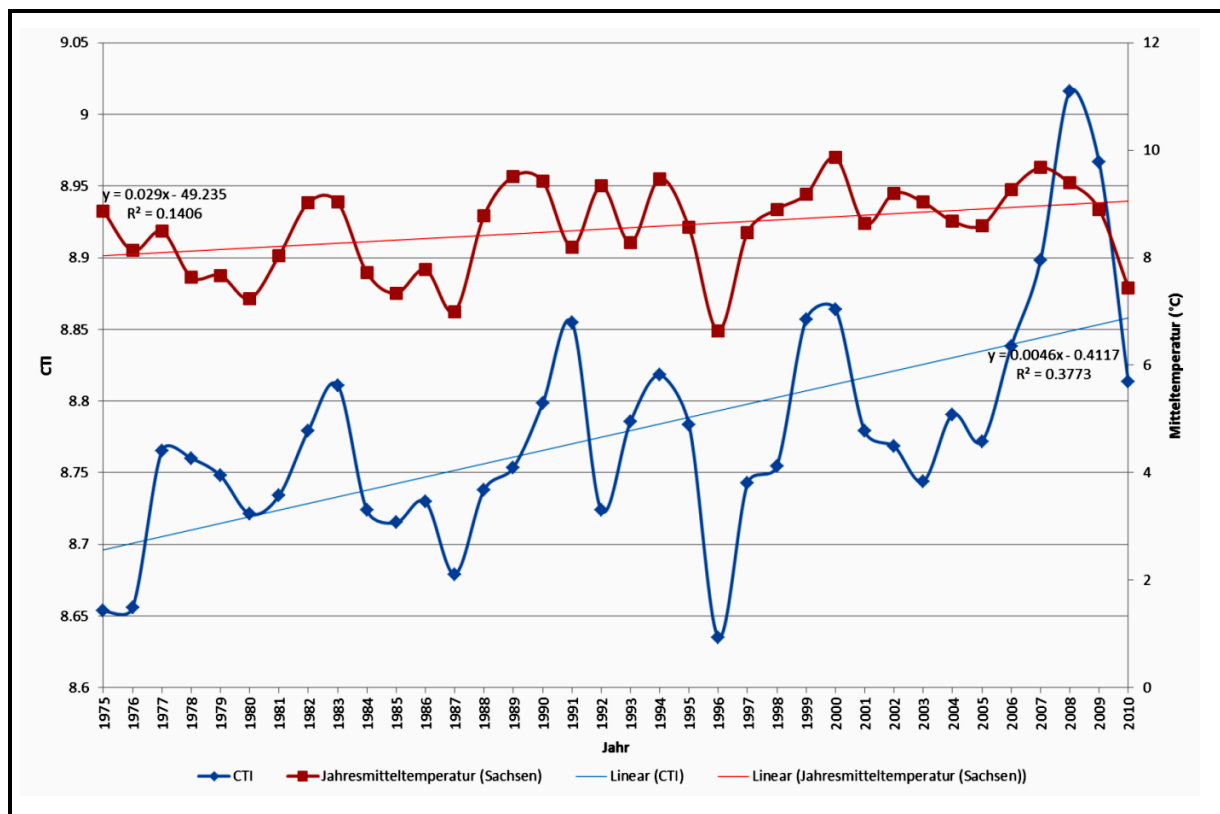


Abb. 1: Entwicklung des CTI bei Tagfaltern in Sachsen 1975-2010. Im angegebenen Zeitraum korreliert der Verlauf des Temperaturindexes stark mit dem Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Sachsen. Der Temperaturindex steigt im Zeitraum von 1975 bis 2010 statistisch signifikant an und zeigt damit an, dass die Gruppe der Tagfalter in Sachsen immer stärker durch wärmeliebende Arten geprägt wird (Quelle: Wiemers et al. 2013).

Glossar

Community Temperature Index (CTI)

Der CTI beschreibt die Zusammensetzung einer Artengemeinschaft hinsichtlich der Temperaturansprüche der in dieser Gemeinschaft enthaltenen Arten.

Species Temperature Index (STI)

Der STI beschreibt die Temperaturnische einer Art in einem bestimmten (z. B. dem europäischen) Verbreitungsgebiet.

TMD

Tagfalter-Monitoring Deutschland

Quellen und weiterführende Informationen

Clavero, M., Villero, D., Brotons, L. (2011): Climate Change or Land Use Dynamics: Do We Know What Climate Change Indicators Indicate? – PloS one 6 (4): e18581. doi: 10.1371/journal.pone.0018581.

Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., Jiguet, F. (2008): Birds are tracking climate warming, but not fast enough. Proceedings of the Royal Society London B 275: 2743-2748.

- Devictor, V., Van Swaay, C. A. M., Brereton, T., Brotons, L., Chamberlain, D., Heliölä, J., Herrando, S., Julliard, R., Kuussaari, M., Lindström, Å., Reif, J., Roy, D.B., Schweiger, O., Settele, J., Stefanescu, C., Van Strien, A., Van Turnhout, C., Vermouzek, Z., WallisDeVries, M., Wynhoff, I., Jiguet, F. (2012): Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change*. doi: 10.1038/nclimate1347.
- Kampichler, C., van Turnhout, C. V. M., Devictor, V., van der Jeugd, H. P. (2012): Large-Scale changes in community composition: Determining Land Use and Climate Change Signals. *PLoS one* 7: e35272.
- Kudrna, O. (2002): The distribution atlas of European butterflies. *Oedippus 20 - Naturschutzbund Deutschland*.
- Kudrna, O., Harpke, A., Lux, K., Pennerstorfer, J., Schweiger, O., Settele, J., Wiemers, M. (2011): Distribution atlas of butterflies in Europe. *Gesellschaft für Schmetterlingsschutz, Halle, Germany*, 576 S.
- Kühn, E., Musche, M., Harpke, A., Feldmann, R., Wiemers, M., Metzler, B., Hirneisen, N., Settele, J. (Hg.) (2014): Tagfalter-Monitoring Deutschland – Jahresbericht 2012. *Oedippus* 28.
- Reinhardt, R., Sbieschne, H., Settele, J., Fischer, U., Fiedler, G. (2007): Tagfalter von Sachsen. Beiträge zur Insektenfauna Sachsens Band 6 [= *Entomologische Nachrichten und Berichte Beih.* 11]: 696 Seiten. Dresden.
- Settele, J., Kudrna, O., Harpke, A., Kühn, I., van Swaay, C., Verovnik, R., Warren, M., Wiemers, M., Hanspach, J., Hickler, T., Kühn, E., van Halder, I., Veling, K., Vleigenthart, A., Wynhoff, I., Schweiger, O. (2008): Climatic risk atlas of European butterflies. *Biorisk* 1: 1-710.
- Schweiger, O., Harpke, A., Wiemers, M., Settele, J. (2014): CLIMBER: Climatic niche characteristics of the butterflies in Europe. *ZooKeys* 367: 65-84. doi: 10.3897/zookeys.367.6185 Resource ID: GBIF key: <http://www.gbif.org/dataset/e2bcea8c-dfea-475e-a4ae-af282b4ea1c5>.
- Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (Hg.) (2013): Klimafolgenmonitoring in Sachsen. Indikatoren zur Beobachtung von Klimafolgen.
- Trautmann, S. (2014): Kennblatt zum „Temperaturindex häufiger Brutvogelarten“. Kap. 8.2 in diesem Bericht.
- van Swaay, C., van Strien, A. J., Julliard, R., Schweiger, O., Brereton, T., Heliölä, J., Kuussaari, M., Roy, D., Stefanescu, C., Warren, M. S., Settele, J. (2008): Developing a methodology for a European Butterfly Climate Change Indicator. Report VS2008.040, De Vlinderstichting, Wageningen.
- van Swaay, C., Harpke, A., van Strien, A., Fontaine, B., Stefanescu, C., Roy, D., Maes, D., Kühn, E., Öunap, E., Regan, E., Švitra, G., Heliölä, J., Settele, J., Musche, M., Warren, M. S., Plattner, M., Kuussaari, M., Cornish, N., Schweiger, O., Feldmann, R., Julliard, R., Verovnik, R., Roth, T., Brereton, T., Devictor, V. (2010): The impact of climate change on butterfly communities 1990-2009. De Vlinderstichting, Wageningen.
- Wiemers, M., Musche, M., Striese, M., Kühn, I., Winter, M., Denner, M. (2013): Naturschutzfachliches Monitoring Klimawandel und Biodiversität, Teil 2: Weiterentwicklung des Monitoringkonzeptes und Auswertung ausgewählter vorhandener Daten. Schriftenreihe des LfULG, Heft 25/2013.

7.6 Veränderung der Flora auf Alpengipfeln

Indikator-Kennziffer I.2.7	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter: Rainer Schliep, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung, Rainer Schliep, Tel.: 030/314-79456, rainer.schliep@tu-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Das hier vorgestellte Indikatorkonzept wurde aus dem Indikatorenset des österreichischen Biodiversitätsmonitorings übernommen (MOBI-e, vgl. BMLFUW 2006). Eine Anpassung des bisher auf das GLORIA-EUROPE-Monitoring der Ostalpen in Österreich bezogenen Indikators auf die deutschen Alpen ist bisher noch nicht durchgeführt worden. Der Indikator wird als Prototyp geführt, da die bayerische Landesregierung derzeit keine Finanzierung zur Weiterführung des GLORIA-EUROPE-Monitorings auf den bayerischen Alpengipfeln zur Verfügung stellt.	

Einordnung

Indikationsfeld Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset Impact	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Der Indikator beschreibt die Veränderungen der Artenzusammensetzung der Flora der Gefäßpflanzen auf drei deutschen Berggipfeln.	Einheit Gewichtete Artenzunahme / 10 a [%]
Berechnungsvorschrift „Die Änderung [der Zusammensetzung] der Pflanzenarten auf Berggipfeln wird als Index angege-	

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

ben, bei dem die Ergebnisse zweier über etwa eine Dekade auseinander liegender Erhebungen verglichen werden. Die Zahl der neu gefundenen Arten, der nicht wieder gefundenen Arten und der in beiden Aufnahmen gefundenen Arten werden zueinander in Beziehung gesetzt. Berücksichtigt wird dabei zusätzlich die Vorkommenshäufigkeit der einzelnen Arten, um eine Überbewertung seltener Vorkommen zu vermeiden“ (BMLFUW 2009: 6).

Die Berechnung des gewichteten Anstiegsindex (gAI) wird wie folgt vorgenommen (vgl. BMLFUW 2006: 83):

$$gAI = \frac{gNA - gVA}{GA + gVA} * \frac{100}{ND - HD} * 10$$

mit:

gNA = gewichtete Zahl neu gefundener Arten

gVA = gewichtete Zahl nicht wieder gefundener Arten

GA = Zahl der in beiden Aufnahmen gefundenen Arten

ND = Jahr der Neuaufnahme

HD = Jahr der historischen Aufnahme

Die Gewichtung erfolgt nach den Einstufungen sehr selten (0,25), selten bis zerstreut (0,5), zerstreut (0,7) und häufig (1). Arten, die sowohl in den historischen als auch in den aktuellen Aufnahmen auftreten, werden stets mit 1 gewichtet, Arten, die lediglich in der historischen Aufnahme Erwähnung finden, werden stets mit 0,7 gewichtet (ebd.).

Begründung

Die Zusammensetzung der Arten der Gefäßpflanzen in der Gebirgsvegetation wird nahezu ausschließlich von der Lufttemperatur und der Höhe der Schneedecke bestimmt. Klimawandelbedingte Änderungen der äußeren Bedingungen führen so, besonders in den Übergangsbereichen zwischen unterschiedlichen Vegetationsstufen, zu veränderten Artenzusammensetzungen (Pauli et al. 2004). Dabei kann das Eindringen alpiner Arten in nivale Lebensräume zur Verdrängung nivaler Arten führen (BMLFUW 2006).

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS): „Bis zum Jahre 2020 ist der Gefährdungsstatus des größten Teils der noch regenerierbaren gebirgsspezifischen Lebensraumtypen und der endemischen und typischen Arten um eine Stufe in den Roten Listen“ zu reduzieren (BMU 2007: 38). Diesem Ziel der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt laufen eine Veränderung der Artenzusammensetzung oberhalb der Baumgrenze und die Verdrängung nivaler Arten entgegen.

Datengrundlage

Datenquelle

Nationalpark Berchtesgaden; Ansprechpartner: Hr. Vogel, Hr. Franz, Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, Doktorberg 6, 83471 Berchtesgaden; Tel.: 08652/9686-0, poststelle@npv-bgd.bayern.de

Räumliche Auflösung

Punktuell: drei im Nationalpark Berchtesgaden verortete Gipfel (Schlung-horn, Hochscheibe, Graskopf)

NUTS

3

Geographische Abdeckung Nationalpark Berchtesgaden in den Nordalpen	
Zeitliche Auflösung Seit 2004 Datenaufnahme auf den drei deutschen Alpengipfeln	
Beschränkungen Eine historische Datengrundlage für Deutschland fehlt, Daten liegen nur für drei deutsche Alpengipfel vor. Mangels Finanzierung konnte die Datenaufnahme auf dem Schlunghorn-Gipfel bisher nicht turnusgemäß nach zehn Jahren wiederholt werden.	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis vorhandener Daten nicht anwendbar.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung:	Mittel	Eigene, einfachere Berechnungen notwendig
Datenkosten Ungeklärt		
Zuständigkeit Ungeklärt		

Aussage

Interpretationsvorschrift Eine deutliche Veränderung der Artenzusammensetzung im jeweiligen Untersuchungsgebiet lässt prinzipiell auf einen entsprechend hohen Einfluss des Klimawandels schließen. Allerdings sollten dabei auch andere mögliche Einflussfaktoren (z. B. Störungen durch Bergsteiger) ausgeschlossen werden. Nimmt die Artenvielfalt in der nivalen Stufe zu, kann von einer erhöhten Gefährdung (bis hin zum Risiko des Aussterbens) der in dieser Stufe vorkommenden Arten ausgegangen werden.
Trend- und Statusanalyse Derzeit liegen lediglich Aussagen zur Auswertung der historischen und aktuellen Daten im Rahmen des MOBI-Projektes vor. Diese zeigen, auf Österreich bezogen, einen Anstieg der Artenzahlen auf 70 % der untersuchten Gipfel. Diese Zunahme der Artenvielfalt auf den untersuchten Gipfeln ist jedoch qualitativ betrachtet und nach naturschutzfachlichen Aspekten ein Warnzeichen, da das durch ansteigende Temperaturen bedingte Eindringen alpiner Arten auf eine fortschreitende Veränderung des nivalen Lebensraums hindeutet, die zum Verlust nivaler Arten führen könnte. Die Möglichkeiten für nivale Arten, Ersatzlebensräume in größeren Höhenlagen zu nutzen, sind durch die natürlichen Gegebenheiten begrenzt. So könnte es langfristig zu einer Abnahme der Artenvielfalt der Gefäßpflanzen kommen (BMLFUW 2006).
Handlungsempfehlungen Da die mit dem hier vorgestellten Indikator abgebildete Veränderung der Artenzusammensetzung der Gefäßpflanzen in der nivalen Stufe maßgeblich auf klimatische Veränderungen zurückzuführen ist, beschränken sich daraus abzuleitende Handlungsempfehlungen zur in situ-Erhaltung betroffener Arten auf die Durchführung wirksamer Klimaschutzmaßnahmen.

Bewertung des Indikators

Stärken

Leicht verständlicher Zusammenhang

Schwächen

Mit steigenden Temperaturen in Höhenlagen und über Breitengrade nimmt die biologische Vielfalt grundsätzlich zu. Dies bestätigen auch die bisherigen Ergebnisse von GLORIA für europäische Gipfel mit Ausnahme einiger mediterraner Gipfel, bei denen die zunehmende Trockenheit eine Abnahme der Artenzahlen bewirkt. Eine Zunahme der Artenzahlen bedeutet im Wesentlichen, dass zum Set der nivalen Arten (hoch)alpine Arten hinzukommen, was numerisch eine Zunahme der Artenvielfalt bedeutet. Die Verdrängung nivaler Arten kann sich mitunter erst nach sehr langen Zeiträumen ergeben oder ganz ausbleiben.

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

- Datenerhebung dauerhaft sicherstellen
- Auswertbarkeit der Daten in Deutschland überprüfen
- Nach Möglichkeit weitere Untersuchungsgebiete in Deutschland ergänzen

Graphische Darstellung (Beispieldarstellung)

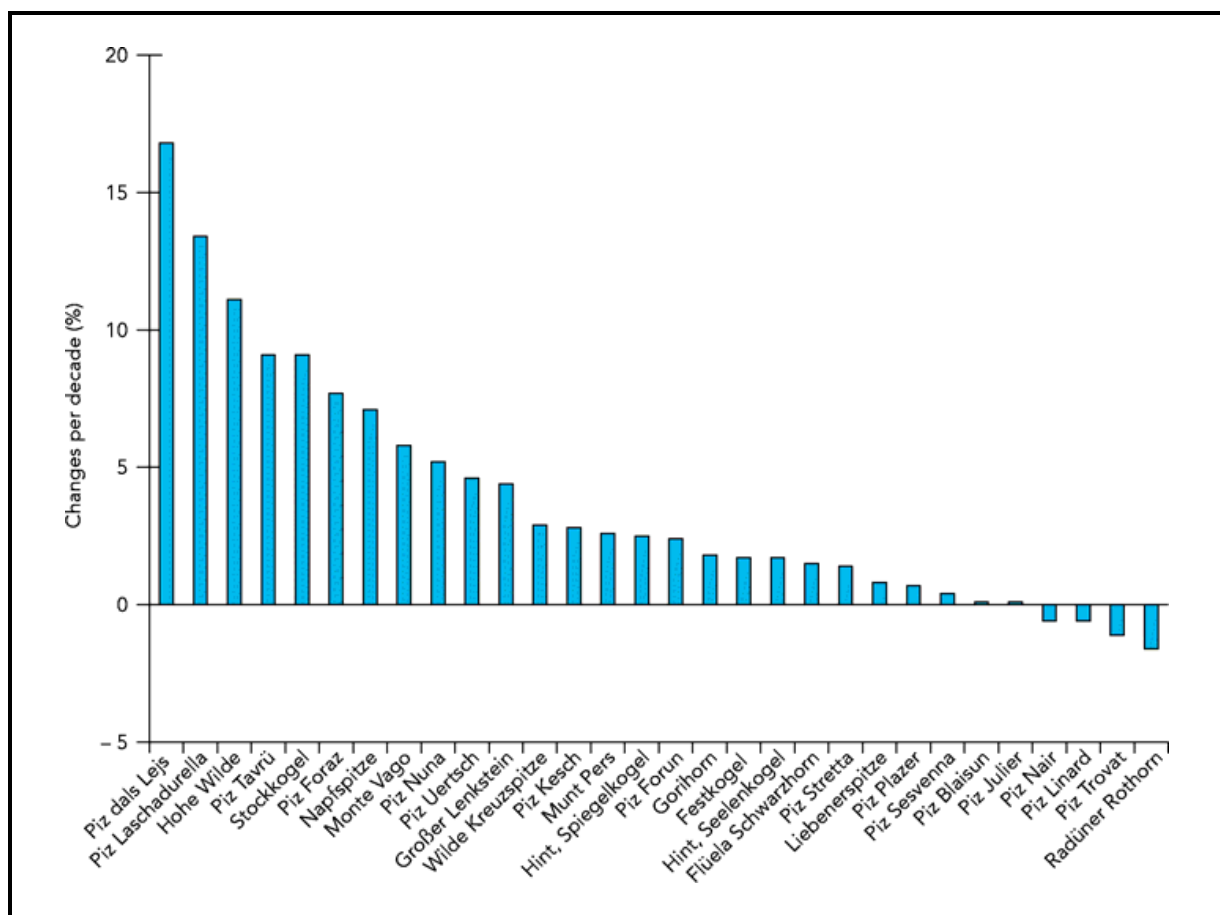


Abb. 1: Beispieldarstellung „Veränderung der Flora auf Alpengipfeln“: Gewichtete Artenzahlzunahme (positive Werte) bzw. Artenzahlabnahme (negative Werte) pro Jahrzehnt auf 30 nivalen Berggipfeln der Ostalpen im 20. Jahrhundert (BMLFUW 2006).

Glossar

Alpine Höhenstufe	Die alpine Höhenstufe ist die Stufe der geschlossenen Vegetation (Zwergstrauchheiden, Rasen, Matten, Schuttvegetation) mit höchstens vereinzelt und sehr niedrigem Baumbestand (Pauli et al. 2004).
Endemisch	Eine Art wird als endemisch bezeichnet, wenn sie ausschließlich in einem natürlich begrenzten Gebiet (z. B. Insel, Gebirge) vorkommt (Schaefer 2011).
Gipfel	Gipfel im Rahmen des GLORIA-Projektes ist nicht zwangsläufig der höchste Punkt eines Berges, sondern kann ebenso eine Erhebung im Gebirge sein, die mindestens 20 m Höhenunterschied zur umliegenden Landschaft aufweist (Pauli et al. 2004).
Nivale Höhenstufe	Die nivale Höhenstufe („Schneestufe“, „Stufe des ewigen Eises“) liegt oberhalb der alpinen Höhenstufe und ist geprägt von Resten offener Vegetation auf Schutt und in Felsritzen (Pauli et al. 2004).
Waldgrenze	Die Höhengrenze des geschlossenen Vorkommens von Bäumen im Gebirge (Pauli et al. 2004). Die Waldgrenze kann sowohl klimatisch als auch anthropogen bedingt sein (Damm 1998).

Quellen und weiterführende Informationen

- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich (Hg.) (2006): MOBI-e Entwicklung eines Konzeptes für ein Biodiversitäts-Monitoring in Österreich. Eigenverlag, Wien, 231 S.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Umwelt und Wasserwirtschaft Österreich (Hg.) (2009): Indikatorenbericht zur Biodiversität in Österreich. – Online, URL: http://www.lebensministerium.at/publikationen/umwelt/archiv/indikatoren-bericht_zur_biodiversitaet_in_oesterreich.html [Zugriff: 03.01.2013]
- Damm, B. (1998): Waldgrenze, Baumgrenze, Waldentwicklung und Siedlungstätigkeit in den Tauferer Bergen (Südtirol) während des Postglazials. *Geoökodynamik* 19 (1): 19-42.
- Pauli, H., Gottfried, M., Hohenwallner, D., Reiter, K., Casale, R., Grabherr, G. (2004): The GLORIA Field Manual - Multi-Summit Approach. European Commission, Directorate-General for Research. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 85 S.
- Schaefer, M. (2011): Wörterbuch der Ökologie. 5. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, 379 S.

7.7 Klimawandelbedingte Veränderungen bei Libellen

Indikator-Kennziffer I.2.8	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter/in: Rainer Schliep, Laura Radtke, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung	Letzte Aktualisierung am 03.07.2014
Ansprechpartner/in Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen e. V. (GdO), Klaus-Jürgen Conze, Tel.: 06306/99388-8, kjc@loekplan.de Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Herr Christoph Hettwer; Christoph.Hettwer@smul.sachsen.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Das Indikatorkonzept greift den Arealindex des Klimafolgenmonitorings des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie auf, der bereits für die Artengruppen der Tagfalter und Libellen in Sachsen berechnet wurde (Wiemers et al. 2013). Der Indikator konnte bislang nicht berechnet werden, da die Datenbasis bis zum Abschluss des Vorhabens nicht zur Verfügung stand. Der Zugang zu Klimadaten dürfte im Rahmen des Projekts gesichert sein. Als Datenbasis für die Darstellung der klimawandelbedingten Veränderungen der Areale von Libellen soll der „Verbreitungsatlas der Libellen Deutschlands“ genutzt werden, der zurzeit unter Federführung der GdO vorbereitet wird und für den sowohl Daten früherer Jahre als auch Daten neuer Kartierungen verwendet werden. Im Atlas werden die Daten u. a. hinsichtlich der Verbreitung, Phänologie und Bestandsentwicklung ausgewertet. Bislang ist unklar, in welcher Qualität die Daten vorliegen, bspw. in welcher Form sich die Erhebungsmethoden der verwendeten Datensätze unterscheiden. Für die Berechnung des Indikators sind besonders folgende Daten relevant: Angaben zum Messtischblatt, zu Koordinaten des Fundorts, zur Zuwanderung und ggf. zu Erfassungslücken, Artensättigung, Nachbarschaftseffekten.	

Einordnung

Indikationsfeld Veränderungen von Populationen, Arealen und Biozönosen	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset Impact	DPSIR in diesem Indikatorenset Impact

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Klimawandelbedingte Veränderungen der Areale von Libellen sollen mit Hilfe des sächsischen Arealindex (AI) beschrieben werden, der am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) entwickelt wurde. Dieser Index beschreibt das Verhältnis zwischen wärme- und kälteadaptierten Arten in einer Region und ist insbesondere für faunistische Datensätze mit guter räumlicher Abdeckung geeignet. Die Anwendung des AI erfordert eine ausreichende Anzahl wärmeadaptierter wie kälteadaptierter Arten.	Einheit [Tag im Jahr], [°C]
Berechnungsvorschrift Berechnet wird das Verhältnis der Anzahl der von wärme- bzw. kälteadaptierten Libellenarten besiedelten Messtischblätter: $AI = \frac{\sum_{i=1}^w MTB_i}{\sum_{j=1}^k MTB_j}$ i = wärmeadaptierte Arten mit w = Anzahl i; j = kälteadaptierte Arten mit k = Anzahl j; MTB = Anzahl der besiedelten Messtischblätter (Wiemers et al. 2013). Für diese ungewichtete Variante sollte die Datenauswahl so erfolgen, dass nur solche Arten betrachtet werden, die in Deutschland ihre nördliche oder südliche Verbreitungsgrenze haben. Arten, die zu spontaner (hier: ohne Druck oder sichtbaren Grund erfolgter) Migration neigen, sollten von der Berechnung ausgenommen werden. Eine Gewichtung des Indexes mittels Community Temperature Index (CTI) und Species Temperature Index (STI) ist möglich. CTI und STI müssten jedoch zunächst berechnet werden. Die Methoden hierfür werden abgeleitet vom CTI und STI für Brutvögel (vgl. Indikator I.2.1). Für die Berechnung der STI-Werte von Libellen würden die Verbreitung der Arten im 50 km x 50 km UTM-Raster in Europa und die Durchschnittstemperaturen der besetzten Zellen in den Jahren 1961 – 1990 in den aktiven Monaten der Libellen benötigt. Der STI bezieht sich auf das europäische Verbreitungsgebiet der Arten, die Berechnung sollte jedoch lediglich für Deutschland erfolgen. Der für die Bestimmung des CTI benötigte Abundanz-Index liegt für Libellen nicht vor, er müsste zunächst bestimmt werden. Im Falle einer gewichteten Indexberechnung ergäbe sich durch Hinzunahme von STI und mittlerem CTI folgende Formel: $AI = \frac{\sum_{i=1}^w MTB_i * (STI_i - \overline{CTI})}{\sum_{j=1}^k MTB_j * (\overline{CTI} - STI_j)}$	
Begründung Laut Ott (2008) ist bereits jetzt eine Verschiebung der Areale verschiedener Libellenarten in Deutschland zu erkennen. So sind zunehmend mediterrane Arten wie die Feuerlibelle (<i>Crocothemis erythraea</i>) oder die Kleine Königslibelle (<i>Anax parthenope</i>) zu beobachten, deren Verbreitungsgebiet sich nach Norden ausweitet. Zudem treten sonst in Südeuropa verbreitete Arten neu auf, die zuvor nicht im deutschen Raum beobachtet wurden (z. B. die Westliche Geisterlibelle, <i>Boyeria irene</i>). Infolge der Arealveränderungen ist eine Neuausrichtung der Artenzusammensetzung zu erwarten, die in der Summe zu einer Zunahme der Artenvielfalt der Libellen führt. Dabei treten jedoch auch Verluste kälteadaptierter Arten auf (ebd.). Der Arealindex bildet die Dynamik dieser klimawandelbedingten Veränderungen ab und erlaubt durch die Möglichkeit der getrennten Betrachtung der Entwicklung kälte- und wärmeadaptierter Arten eine differenzierte Dar-	

stellung des Phänomens.

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

- a) Reduktion des Klimawandeleinflusses auf die Biodiversität (Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt, BMU 2007).
- b) Es ist nicht sinnvoll, einen konkreten numerischen Zielwert zu formulieren. Stattdessen sollte ein allgemeiner qualitativer Bezug zur Entwicklung des Indikators hergestellt werden: Eine über den zeitlichen Verlauf des Indikators stagnierende Entwicklung bedeutet dabei, dass der Einfluss der Klimawandels auf die Verbreitungsgebiete von Libellenarten (sei dieser positiv oder negativ) nicht über das bisher erreichte Maß hinausgeht. Ziel ist es daher, dass der Indikator konstant bleibt bzw. sich möglichst wenig verändern soll. Hierbei ist zu definieren, wie lange die Stagnation anhalten muss, damit von einem Erreichen des Ziels gesprochen werden kann. Idealerweise würde dieser Zeitraum so gewählt, dass Auswirkungen kurzzeitiger Wetterschwankungen in einzelnen oder einigen wenigen Jahren unbeachtet bleiben. Denn es sollen die langfristigen Klimaefekte auf die Verbreitung von Libellenarten detektiert werden. Ggf. können getrennte Aussagen auf Grundlage der beiden Teilindikatoren gemacht werden. Es könnte bspw. eine Umkehrung des negativen Trends für kälteliebende Arten durch Umsetzen naturschutzfachlicher Maßnahmen angestrebt werden.

Datengrundlage

Datenquelle Klimadaten: Deutscher Wetterdienst (DWD) Datenbasis zu den Libellenarten in Deutschland: „Verbreitungsatlas der Libellen Deutschlands“ der Gesellschaft deutschsprachiger Odonatologen e.V. (GdO) (in Vorbereitung)	
Räumliche Auflösung Zum derzeitigen Stand keine Aussage möglich	NUTS 0
Geographische Abdeckung Deutschland	
Zeitliche Auflösung Zum derzeitigen Stand keine Aussage möglich	
Beschränkungen Da bisher keine ausreichende Datengrundlage vorliegt, kann der Indikator derzeit nicht berechnet werden.	Machbarkeit Kann erst nach Datenanalyse beurteilt werden.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Zum derzeitigen Stand der Entwicklung sind keine Aussagen zum Umsetzungsaufwand und zur Verantwortlichkeit für den Indikatorenansatz möglich.

Aussage**Interpretationsvorschrift**

Wenn die Indexwerte über die Zeit ansteigen, weiten sich die Areale wärmeadaptierter Arten aus (d. h. die Zahl besiedelter Messtischblätter steigt an) oder die Areale kälteadaptierter Arten verkleinern sich (d. h. die Zahl besiedelter Messtischblätter fällt ab) oder beide Veränderungen finden parallel statt. Ein steigender Indexwert deutet also auf zunehmende Auswirkungen einer Erwärmung auf die Verbreitungsgebiete von Libellen hin. Ein stagnierender Wert deutet auf ein gleichbleibendes Verhältnis der Arealgrößen zueinander und damit auf ein Stagnieren der Auswirkungen einer Erwärmung hin, während ein sinkender Wert auf eine nachlassende Erwärmung im Klimawandel schließen lässt.

Trend- und Statusanalyse

Zum derzeitigen Stand der Entwicklung sind keine Aussagen zum Status und zum Trend des Arealindex für Libellen in Deutschland möglich.

Jedoch ist aus den für Sachsen durchgeführten Berechnungen ein Anstieg des Indexes in den Jahren 1990-2010 abzuleiten. Dies gilt sowohl für die Berechnung mit manueller Artenselektion als auch für den mit STI gewichteten Wert (vgl. Abb. 1). Somit lässt sich zumindest für Sachsen die Aussage treffen, dass die Veränderungen des Indexes auf einen zunehmenden Einfluss der Klimaerwärmung auf die Areale von Libellen hinweisen. Dabei nehmen die Areale kälteadaptierter Arten tendenziell ab und/oder die Areale wärmeadaptierter Arten zu (Wiemers et al. 2013).

Handlungsempfehlungen

Es ist zum derzeitigen Entwicklungsstand nicht möglich, Handlungsempfehlungen auf Bundesebene zu formulieren. Generell ist eine naturschutzfachliche Bewertung der Arealentwicklung schwierig, da durchaus auch derzeit als gefährdet eingestufte, wärmeadaptierte Arten von dieser profitieren können. Gleichzeitig sind jedoch auch Arealverluste bei kälteadaptierten Arten zu erwarten (Ott 2008).

Bewertung des Indikators**Stärken**

Bei vollständig vorliegender Datenbasis (STI-Werte) ist eine „automatisierte Anwendung“ des Indexes möglich (Wiemers 2013 et al.: 131).

Eine getrennte Darstellung von Klimawandelgewinnern und -verlieren ist möglich.

Schwächen

Ohne Gewichtung durch STI und CTI ist eine manuelle Selektion geeigneter Arten mit Verbreitungsgrenze in Deutschland nötig (ebd.).

Für das Monitoring der Arten sind gleichbleibende Rahmenbedingungen (Intensität der Untersuchung, räumliche Abdeckung) nötig, um den AI korrekt zu bestimmen (ebd.).

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Bei dem neuentwickelten Indikatorkonzept sind weitere Tests erforderlich, um dessen Anwendbarkeit auf weitere reale Datensets zu überprüfen. Klärungsbedarf besteht auch noch in der korrekten Berechnung von Konfidenzintervallen und bei Signifikanztests (Wiemers et al. 2013: 132).

Die Veränderungen der Areale wärmeliebender und kälteliebender Arten sollten nach der Datenerlieferung zunächst getrennt berechnet werden, so dass erkennbar wird, ob Trends durch die Veränderung der Arealgröße wärmeadaptierter Arten oder durch die Veränderung der Arealgröße kälteadaptierter Arten begründet sind oder beide Fälle vorliegen. Liegen beide Fälle vor, sollte geprüft werden, ob sie widerspruchsfrei mit einem einheitlichen Klimasignal der Erwärmung er-

klärt werden können. So wäre bspw. auch denkbar, dass sowohl die Areale wärmeliebender Arten zunehmen als auch die Areale kälteliebender Arten.

Graphische Darstellung (Beispielabbildung)

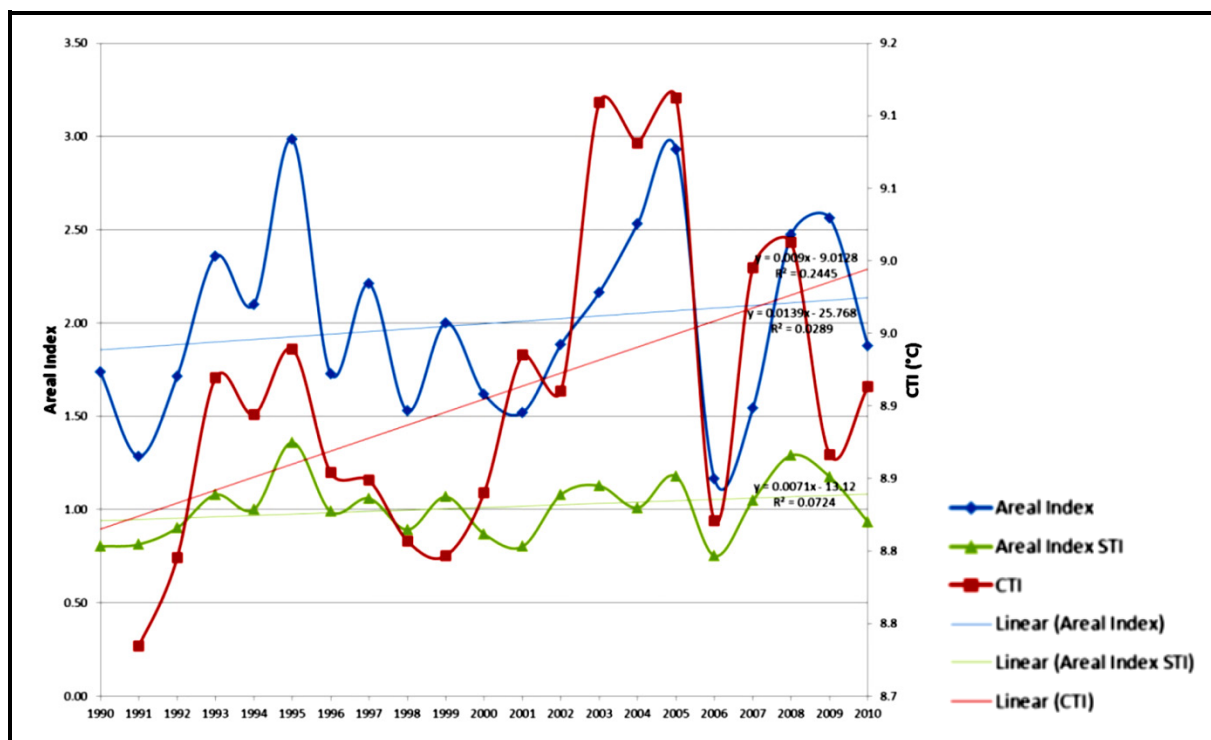


Abb. 1: Entwicklung des Arealindexes (AI) der Libellen Sachsens 1990-2010 im Vergleich zum Community Temperature Index (CTI) der Libellen Sachsens: Sowohl AI als auch CTI weisen für den Zeitraum 1990-2010 eine deutliche Steigung auf (Wiemers et al. 2013: 35; AI STI: STI-basierte Berechnung des Arealindexes)

Glossar

AI (Arealindex)	Der Arealindex beschreibt das Verhältnis zwischen den Arealen ausgewählter wärme- und kälteadaptierter Arten in einer Region.
Community Temperature Index (CTI)	Der CTI beschreibt die Zusammensetzung einer Artengemeinschaft hinsichtlich der Temperaturansprüche der in dieser Gemeinschaft enthaltenen Arten.
Species Temperature Index (STI)	Der STI beschreibt die Temperaturnische einer Art in einem bestimmten (z. B. dem europäischen) Verbreitungsgebiet.

Quellen und weiterführende Informationen

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU, Berlin. 178 S.
- Ott, J. (2008): Libellen als Indikatoren der Klimaänderung – Ergebnisse aus Deutschland und Konsequenzen für den Naturschutz. In: Insecta 2008 (11): 75-89.
- Wiemers, M., Musche, M., Striese, M., Kühn, I., Winter, M., Denner, M. (2013): Naturschutzfachliches Monitoring Klimawandel und Biodiversität. Teil 2: Weiterentwicklung des Monitoringkonzeptes und Auswertung ausgewählter vorhandener Daten. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 2013 (25). Dresden, 138 S.

7.8 Länderübergreifender Biotopverbund

Indikator-Kennziffer III.2.1	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Bearbeiter/in: Dr. Livia Schöffler, Museum für Naturkunde Berlin, und Dr. Stefan Fina, Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung Mitwirkung: Prof. Dr. Stefan Siedentop, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung, Dortmund Prof. Dr. Stefan Heiland und Rainer Schliep, TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung Dr. Ulrich Sukopp, Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring Jessica Wiesinger und Ursula Euler, Bundesamt für Naturschutz, FG Z 2.1 „Naturschutzinformation, Geoinformation“ Dr. Peter Finck, Bundesamt für Naturschutz, FG II 2.1 „Biotopschutz und Biotopmanagement“	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner/in Museum für Naturkunde Berlin, Dr. Livia Schöffler, livia.schaeffler@mfn-berlin.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung 2014
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung: Vollständig entwickelt, als Prototyp ausgearbeitet	

Einordnung

Indikationsfeld Anpassung naturschutzfachlicher Strategien und Maßnahmen an den Klimawandel	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset –	DPSIR in diesem Indikatorenset Response

¹ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schöffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziok, S. Dziok (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung	Einheit
Der Indikator stellt zwei Werte einander gegenüber: a) Prozentuale jährliche Zu- und Abnahme der Flächen streng geschützter Gebiete (Nationalparke und Naturschutzgebiete), die innerhalb der Kulisse von Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund (FBV) liegen b) Gesamte jährliche Zu- und Abnahme der Flächen streng geschützter Gebiete (Nationalparke und Naturschutzgebiete) Damit wird der Anteil neu ausgewiesener streng geschützter Gebiete bilanziert, die zugleich der Sicherung von Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund dienen. Dieser Anteil wird jährlich berechnet und bezieht sich auf die Gesamtfläche neu ausgewiesener streng geschützter Gebiete im jeweils betrachteten Jahr. Zugleich zeigt er die absoluten Flächengrößen der Neuausweisung streng geschützter Gebiete. Der Indikator verdeutlicht, welcher Stellenwert der Sicherung des länderübergreifenden Biotopverbunds bei der Ausweisung neuer streng geschützter Gebiete beigemessen wird. Diese Ausweisung ermöglicht, nach § 21 BNatSchG – neben planungsrechtlichen Festlegungen, langfristigen vertraglichen Vereinbarungen oder anderen geeigneten Maßnahmen – den länderübergreifenden Biotopverbund durch rechtliche Sicherung dauerhaft zu gewährleisten. Der Biotopverbund gilt als ein wichtiges Instrument, um Tieren und Pflanzen Wanderungen zu ermöglichen, die nicht nur den genetischen Austausch zwischen Populationen fördern, sondern es den Arten auch erlauben, deren Verbreitungsgebiete unter den Bedingungen des Klimawandels zu verschieben.	[%] [ha]
Berechnungsvorschrift Die jährliche Fläche neu ausgewiesener streng geschützter Gebiete (Nationalparke, Naturschutzgebiete), die innerhalb der Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund liegen, werden absolut in Hektar ermittelt (Stichtag: 31.12.). Weiterhin wird der prozentuale Anteil der Fläche neu ausgewiesener streng geschützter Gebiete (Nationalparke, Naturschutzgebiete), die innerhalb der Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund liegen, an allen neu ausgewiesenen streng geschützten Gebieten jährlich nach folgender Formel berechnet: $\text{Indikatorwert} = \frac{\text{Fläche neu ausgewiesener sgG in FBV}}{\text{Fläche neu ausgewiesener sgG}} \times 100$ sgG = streng geschützte Gebiete FBV = Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund	
Begründung Artenvielfalt und genetische Vielfalt wildlebender Pflanzen- und Tierarten hängen maßgeblich vom Schutz geeigneter Habitate und Lebensräume ab (BMU 2007). Flächeninanspruchnahme und Landschaftszerschneidung, insbesondere durch Siedlungsbau und Verkehrswege, reduzieren die Zahl und Größe verbliebener Lebensräume kontinuierlich und führen zu deren zunehmender Fragmentierung und Isolierung. Neben der Größe und Qualität (z. B. im Hinblick auf Nahrungsverfügbarkeit und Habitatstrukturen) verbliebener Lebensrauminselfen sind für den Fortbestand von Tier- und Pflanzenpopulationen zudem Wanderungs- und Ausbreitungsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Vorkommen essentiell, um den genetischen Austausch zwischen den Populationen zu gewährleisten. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels entscheidend für die Erhaltung der biologischen Vielfalt, da viele Arten ihre Verbreitungsgebiete	

an die klimatischen Änderungen anpassen müssen (Doyle und Ristow 2006, Dunwiddie et al. 2009, Lawler 2009, Hagerman und Chan 2009, Reich et al. 2012). Der länderübergreifende Biotopverbund gewinnt daher zunehmend an Bedeutung, da er einen wichtigen Beitrag dazu leistet, dass sich Tier- und Pflanzenarten durch Migration in ihrer Verbreitung an veränderte klimatische Bedingungen anpassen können.

Nach § 20 Abs. 1 BNatSchG ist ein Netz verbundener Biotope (Biotopverbund) auf mindestens 10 % der Fläche jedes Bundeslandes zu schaffen, um der voranschreitenden Zerschneidung und Verinselung von Lebensräumen auf verschiedenen räumlichen Ebenen entgegen zu wirken.

Der Biotopverbund besteht laut BNatSchG aus Kernflächen, Verbindungsflächen und Verbindungselementen. Diese sollten in eine Landschaftsmatrix eingebunden sein, die für Organismen durchgängig ist. Um den Biotopverbund dauerhaft zu gewährleisten, sollen zudem nach § 21 Abs. 4 des BNatSchG dessen Bestandteile rechtlich gesichert werden. Mit der Ausweisung streng geschützter Gebiete (Naturschutzgebiete und Nationalparke) wird ein wichtiger Beitrag zur Erreichung dieses Ziels geleistet (BMU 2010). Als weitere mögliche Sicherungsmaßnahmen werden im BNatSchG weitere Flächenschutzkategorien des § 20 Abs. 2, planungsrechtliche Vereinbarungen, langfristige vertragliche Vereinbarungen sowie andere geeignete Maßnahmen genannt. Um die Funktionalität eines länderübergreifenden Biotopverbunds zu gewährleisten, sollte dieser durch Biotopverbundssysteme auf lokaler, regionaler und internationaler Ebene ergänzt werden. Darüber hinaus sollten bei der klimawandelbezogenen Konzeption von Biotopverbundssystemen auch Zielarten im Fokus stehen, die besonders von den Folgen des Klimawandels betroffen sind (Zielarten eines Biotopverbundsystems sind z. B. Verantwortungsarten oder Rote-Liste-Arten).

Auf Basis der Biotopkartierungen der Bundesländer, der Daten zur Bodenbedeckung (Corine Landcover) und bekannter Vorkommen von Zielarten für den länderübergreifenden Biotopverbund wurde der Bestand an Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund ermittelt (Fuchs et al. 2010, Ackermann et al. 2013). Auf eine Kategorisierung dieser Flächen in Kernflächen, Verbindungsflächen und Verbindungselemente wurde bewusst verzichtet, da die konkrete Funktion jeder Fläche u. a. von der betrachteten Zielart abhängt (Burkhardt et al. 2004). So kann ein und dieselbe Fläche für Arten mit geringer Mobilität den gesamten Lebensraum einer Population ausmachen und damit Kernflächencharakter haben, während sie für mobile Arten mit größeren Raumansprüchen den funktionalen Charakter einer Verbindungsfläche oder eines Verbindungselements hat.

Der Datensatz zu den Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund steht seit dem Jahr 2010 deutschlandweit für feuchte und trockene Lebensräume des Offenlands (außer Hessen), für Waldlebensräume sowie für Europäische Vogelschutzgebiete zur Verfügung. Im Jahr 2013 konnten auch die Offenlanddaten für Hessen ergänzt werden.

Von besonderer Bedeutung ist die tatsächliche Sicherung von Biotopverbundflächen durch strenge Schutzgebiete, die hier ausschließlich betrachtet werden soll. Die Auswertungen werden jährlich durchgeführt und beginnen im Jahr 2010, seitdem das bundesweite Konzept für den länderübergreifenden Biotopverbund vorliegt.

Rechtsgrundlage und/oder Zielbezug

Biotopverbund (§§ 20, 21 BNatSchG): Bundesrechtlich sind die Länder zur Schaffung eines Biotopverbunds, der mindestens 10 % der Landesfläche umfassen soll, verpflichtet.

Ziel ist die Erhaltung bzw. Wiederherstellung zusammenhängender Lebensräume, um Tier- und Pflanzenarten im Klimawandel eine Verschiebung von Verbreitungsgebieten zu ermöglichen und so irreversiblen lokalen Aussterbeereignissen vorzubeugen. Neu ausgewiesene streng geschützte Gebiete sollen sich zunehmend am Biotopverbundkonzept ausrichten, um die Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund zu sichern.

Datengrundlage

Datenquelle BfN Geofachdaten: ▪ Länderübergreifender Biotopverbund in Deutschland: Vektordaten der FBV für feuchte und trockene Lebensräume des Offenlandes und Waldlebensräume sowie für Europäische Vogelschutzgebiete ▪ Naturschutzgebiete Deutschlands ▪ Nationalparke Deutschlands	
Räumliche Auflösung 1 : 200.000	NUTS 0
Geographische Abdeckung Deutschland	
Zeitliche Auflösung Jährlich seit 2010	
Beschränkungen Die räumliche Genauigkeit der Digitalisierungen streng geschützter Gebiete variiert je nach Bundesland und Zeitstand teilweise stark. Die Extraktion von Flächenveränderungen erzeugt deshalb zahlreiche kleine Einzelflächen, die zwischen den Jahren dazukommen oder wegfallen. Ein großer Teil davon ist aller Wahrscheinlichkeit nach auf Digitalisierungsfehler zurückzuführen, die zwar zum Teil herausgefiltert werden können. Dennoch kann in vielen Einzelfällen nicht mit Sicherheit entschieden werden, ob es sich um Digitalisierungsartefakte oder tatsächliche Flächenänderungen handelt. Ohne Referenzdaten kann also eine Plausibilisierung valider Flächenveränderungen nur mit geostatistischen Werkzeugen geleistet werden. Damit kann zwar eine Annäherung der jährlichen Flächenänderungen an die Zahlen der Ländermeldungen erreicht werden. Dieser Vergleich alleine ist aber keine Garantie für Plausibilität. Die Diskrepanz zwischen den ermittelten Werten lässt darauf schließen, dass eine robuste Umsetzung mit den derzeit verfügbaren Datengrundlagen nicht geleistet werden kann.	Machbarkeit Der Indikator ist auf Basis vorhandener Daten nur eingeschränkt anwendbar.

Umsetzung – Aufwand und Verantwortlichkeit

Aufwandsschätzung		
Datenbeschaffung:	Niedrig	Eine datenhaltende Institution
Datenverarbeitung:	Hoch	Komplexe Datenaufbereitung, manuelle Datenselektion
Erläuterung: Die Geodaten zu den Flächen für den Biotopverbund werden durch das BfN (Fachgebiet II 2.1 „Biotopschutz und Biotopmanagement“, Dr. Peter Finck) bereitgestellt. Die Geodaten zu den streng geschützten Gebieten (Naturschutzgebiete und Nationalparke) werden durch das BfN (Fachgebiet Z 2.1 „Naturschutzinformation, Geoinformation“, Jessica Wiesinger, Ursula Euler) bereitgestellt. Aufgrund der unter „Beschränkungen“ aufgeführten Schwächen müssen die Geodaten zu den betrachteten Schutzgebieten zunächst plausibilisiert werden, bevor eine Verschneidung mit den		

Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund erfolgen kann.
Datenkosten Keine
Zuständigkeit Bundesamt für Naturschutz (BfN) Erläuterung: Als datenhaltende Institution wird das Bundesamt für Naturschutz (BfN) für die Fortschreibung des Indikators vorgeschlagen.

Aussage

Interpretationsvorschrift Je größer der Flächenanteil neu ausgewiesener streng geschützter Gebiete in Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund ist bezogen auf die gesamte Fläche neu ausgewiesener streng geschützter Gebiete, desto stärker richten sich Schutzgebietsausweisungen am Ziel des länderübergreifenden Biotopverbunds aus und tragen damit als ein wichtiges rechtliches Instrument zur dauerhaften Sicherung von Flächen des länderübergreifenden Biotopverbunds bei. Umgekehrt gilt, je höher der Anteil abgegangener streng geschützter Gebiete in Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund ist, desto weniger tragen streng geschützte Gebiete zur dauerhaften Sicherung des länderübergreifenden Biotopverbunds bei.
Aussage Nach der geostatistischen Plausibilisierung der Geodaten (für verwendete Parameter und Beschränkungen s. Dokumentation) ergaben sich folgende Neuausweisungen bzw. Abgänge innerhalb der Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund: Zwischen den Jahren 2009 und 2010 lagen 37,4 % der neu ausgewiesenen, und nur 10,6 % der abgegangenen streng geschützten Gebiete innerhalb von Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund. Zwischen den Jahren 2010 und 2011 leisteten nur noch 26,8 % der Neuausweisungen einen Beitrag zur dauerhaften Sicherung von Flächen des länderübergreifenden Biotopverbunds, und ganze 62,0 % der Flächenabgänge gingen für die Sicherung des Biotopverbunds verloren.
Trend- und Statusanalyse Die Berechnung des Indikators erfolgt durch eine Verschneidung der Kulisse der FBV mit den im jeweiligen Jahr neu ausgewiesenen Flächen der streng geschützten Gebiete und deren Abgängen. Aus der Datenbank wird der Anteil neu ausgewiesener und abgegangener streng geschützter Gebiete innerhalb von FBV bezogen auf die Gesamtfläche neu ausgewiesener bzw. abgegangener streng geschützter Gebiete berechnet. Dabei sollte der Flächenanteil der neu ausgewiesenen Gebiete innerhalb der Kulisse der FBV möglichst hoch liegen, der entsprechende Flächenanteil der Abgänge jedoch möglichst gering sein.
Handlungsempfehlungen Um Tier- und Pflanzenarten eine Reaktion auf den Klimawandel zu ermöglichen, sollte ein großräumig funktionierender länderübergreifender Biotopverbund geschaffen werden, damit die Arten klimatisch geeignete Lebensräume erreichen können. Die Konnektivität von Habitaten ist eine Grundvoraussetzung für die Anpassung von Verbreitungsgebieten an veränderte klimatische Bedingungen. Für die Sicherung oder Wiederherstellung dieser Konnektivität bietet der länderübergreifende Biotopverbund eine wichtige konzeptionelle Grundlage, an welcher sich Neuausweisungen und Abgänge streng geschützter Gebiete künftig stärker orientieren sollten.

Bewertung des Indikators

Stärken

Der Indikator bildet den Beitrag von Ausweisungen bzw. Abgängen streng geschützter Gebiete zum Biotopverbund ab und hat damit einen klaren Bezug zu Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel.

Schwächen

Keine Berücksichtigung anderer Maßnahmen, die ebenfalls zur Sicherung des länderübergreifenden Biotopverbunds beitragen können

Möglichkeiten zur Weiterentwicklung

Einbeziehung weiterer Schutzgebietskategorien (u. a. Flächen in Biosphärenreservaten und Natura-2000-Gebieten, soweit sie nicht als Naturschutzgebiet oder Nationalpark ausgewiesen sind, Landschaftsschutzgebiete), Berücksichtigung raumplanerischer Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft, Berücksichtigung von Flächen des Vertragsnaturschutzes etc.

Graphische Darstellung

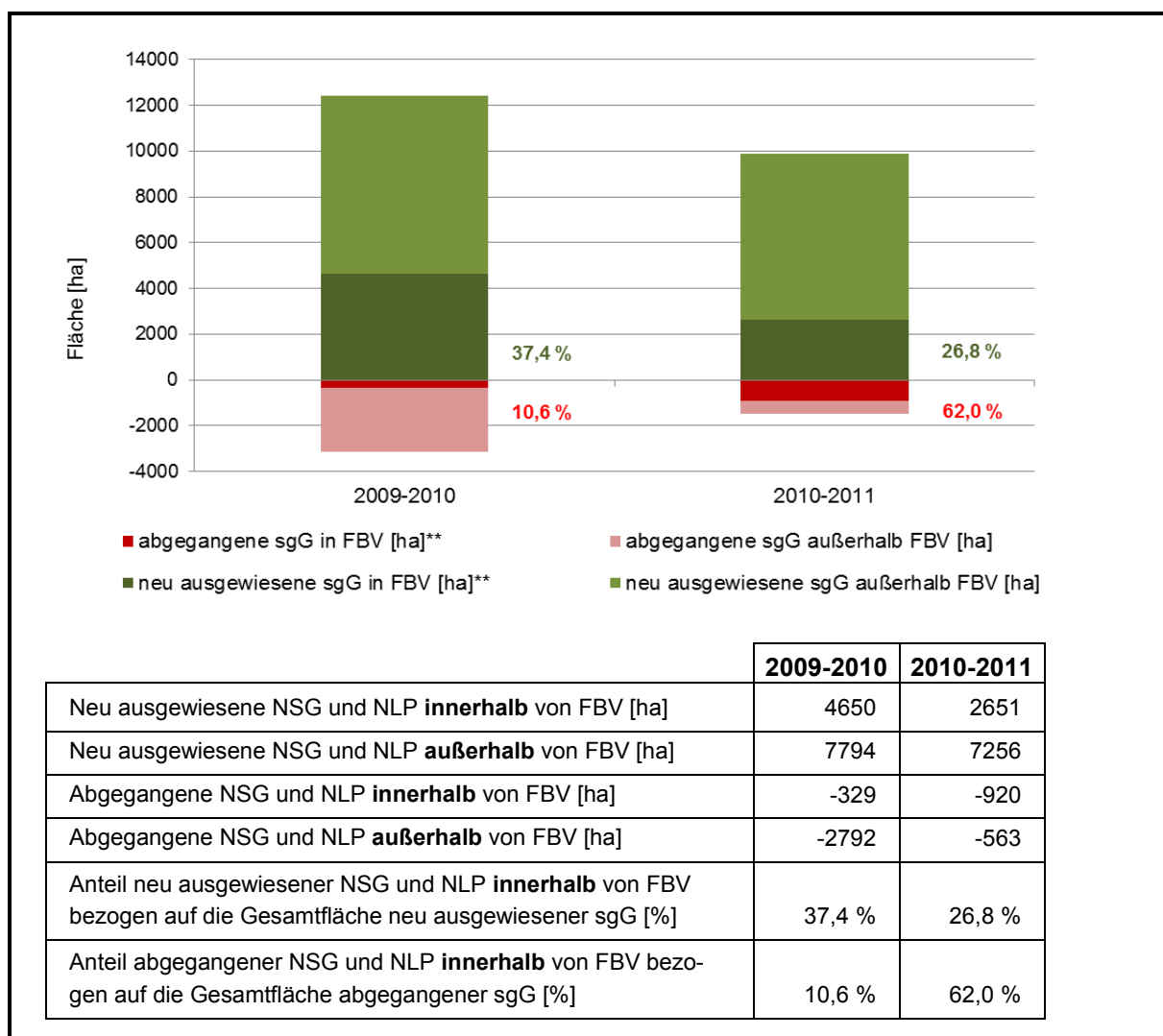


Abb. 1: Indikator-Prototyp „Länderübergreifender Biotopverbund“: Zuwächse und Abgänge von streng geschützten Gebieten (sgG) innerhalb und außerhalb von Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund (FBV) in den Zeitschnitten 2009 bis 2010 und 2010 bis 2011

Glossar

Biotopverbund	Der Begriff „Biotopverbund“ beschreibt die Erhaltung, Entwicklung und Wiederherstellung von räumlichen Voraussetzungen und funktionalen Beziehungen in Natur und Landschaft, die erforderlich sind, um Tiere, Pflanzen, deren Lebensgemeinschaften und Lebensräume langfristig zu sichern (z. B. Burkhardt et al. 2004, Ullrich 2008).
Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund (FBV)	Unter Flächen für den länderübergreifenden Biotopverbund werden Flächen verstanden, die aufgrund ihrer aktuellen biotischen und abiotischen Ausstattung geeignet sind, die nachhaltige Sicherung von (Teil-)Populationen oder Individuen standort- und naturraumtypischer Arten und von deren Lebensräumen zu gewährleisten, und die selbst Ausgangsbereiche für Wiederbesiedlungsprozesse sein können (Burkhardt et al. 2004: 11; vgl. Fuchs et al. 2010: 17). Die entsprechenden Flächen wurden anhand von Kriterien wie Flächengröße, Ausprägung und Vollständigkeit, Unzerschnittenheit und Vorkommen von Zielarten für den Biotopverbund ermittelt, die von einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe erarbeitet wurden (Burkhardt et al. 2004, Fuchs et al. 2010).
Streng geschützte Gebiete (sgG)	Naturschutzgebiete (NSG) und Nationalparke (NLP) gemäß §§ 23, 24 BNatSchG.

Quellen und weiterführende Informationen

- Ackermann, W., Schweiger, M., Sukopp, U., Fuchs, D., Sachteleben, J. (2013): Indikatoren zur biologischen Vielfalt. Entwicklung und Bilanzierung. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 132, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 229 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Eigenverlag, Berlin, 178 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2010): Dialogforum Biotopverbund. Dokumentation. Eigenverlag, Berlin, 17 S.
- Burkhardt, R., Baier, H., Bendzko, U., Bierhals, E., Finck, P., Jenemann, K., Liegl, A., Mast, R., Mirbach, E., Nagler, A., Pardey, A., Riecken, U., Sachteleben, J., Schneider, A., Szekely, S., Ullrich, K., Van Hengel, U., Zeltner, U., Zimmermann, F. (2004): Empfehlungen zur Umsetzung des § 3 BNatSchG „Biotopverbund“. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Band 2, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 84 S.
- Doyle, U., Ristow, M. (2006): Biodiversitäts- und Naturschutz vor dem Hintergrund des Klimawandels. Für einen dynamischen integrativen Schutz der biologischen Vielfalt. Naturschutz und Landschaftsplanung 38 (4): 101-106.
- Dunwiddie, P. W., Hall, S. A., Ingraham, M. W., Bakker, J. D., Nelson, K. S., Fuller, R., Gray, E. (2009): Rethinking conservation practice in light of climate change. Ecological Restoration 27 (3): 320-329
- Fuchs, D., Hänel, K., Lipski, A., Reich, M., Finck, P., Riecken, U. (2010): Länderübergreifender Biotopverbund in Deutschland. Grundlagen und Fachkonzept. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 96, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 191 S.
- Hagerman, S. M., Chan, K. M. A. (2009): Climate change and biodiversity conservation: impacts, adaptation strategies and future research directions. F1000 Biology Reports. doi: 10.3410/B1-16.

- Lawler, J. J. (2009): Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. – The Year in Ecology and Conservation Biology. Annals of the New York Academy of Sciences 1162: 79-98.
- Reich, M., Rüter, S., Prasse, R., Matthies, S., Wix, N., Ullrich, K. (2012): Biotopverbund als Anpassung an den Klimawandel? Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 122, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 170 S.
- Ullrich, K. 2008: Biotopverbundsysteme. Online, URL:
http://www.aid.de/downloads/1459_2008_biotopverbundsysteme.pdf [Zugriff: 11.06.2013]

7.9 Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität

Indikator-Kennziffer III.2.2	
Verfasser/in des Kennblatts Arbeitsgruppe „Indikatorensystem Klimawandel Biologische Vielfalt“ ¹⁴ im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, FB Wandel und Management von Landschaften (Dr. Ulrich Walz)	Letzte Aktualisierung am 20.06.2014
Ansprechpartner/in Technische Universität Berlin, Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung, Rainer Schliep, Tel.: 030/314-79456, rainer.schliep@tu-berlin.de Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, FB Wandel und Management von Landschaften, Dr. Ulrich Walz, Tel. 0351/4679-234, u.walz@ioer.de Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring, Dr. Ulrich Sukopp, Tel.: 0228/8491-1474, ulrich.sukopp@bfn.de	Nächste Fortschreibung -
Bearbeitungs- / Entwicklungsstatus Neuentwicklung: Der Indikatorvorschlag wurde als Prototyp ausgearbeitet.	

Einordnung

Indikationsfeld Anpassung naturschutzfachlicher Maßnahmen an den Klimawandel	
DPSIR im ursprünglichen Indikatorenset –	DPSIR in diesem Indikatorenset State

Beschreibung und Begründung

Kurzbeschreibung Der Indikator und seine Teilindikatoren bilanzieren die Lebensraumvielfalt auf Kreisebene (besser: 1 km ² -Raster) als Voraussetzung für den Artenschutz im Klimawandel und als Ausdruck klimawandelresilienter Landschaften.	Einheit [sehr gering – gering – mittel – hoch – sehr hoch]
Berechnungsvorschrift Der Indikator bildet einen Index aus Teilindikatoren zur Bewertung der Lebensraumvielfalt in der Landschaft. Vorgeschlagen werden zunächst drei Teilindikatoren: 1. Hemerobievelfalt (Shannon Diversity Index – SDI): Anteil der verschiedenen Hemerobiegrade	

¹⁴ Prof. Dr. S. Heiland, L. Radtke, R. Schliep (TU Berlin, FG Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung), Prof. Dr. I. Kowarik, R. Bartz (TU Berlin, FG Ökosystemkunde / Pflanzenökologie), Prof. Dr. S. Siedentop (ILS Dortmund), Dr. L. Schäffler (Museum für Naturkunde Berlin), Dr. S. Fina (Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung), Prof. Dr. F. Dziöck, S. Dziöck (HTW Dresden, Fakultät Landbau / Landespflege), Dr. C. Sudfeldt, S. Trautmann (Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.), R. Dröschmeister, Dr. U. Sukopp (Bundesamt für Naturschutz, FG II 1.3 Monitoring)

aller Habitattypen in der Referenzfläche in fünf Wertstufen

2. Einstreuung und Anordnung (Interspersion and Juxtaposition Index – IJI): Abwechslungsreichtum aller Habitattypen in der Referenzfläche in fünf Wertstufen
3. Struktureichtum (Shape Index – SI): Komplexität der Referenzfläche, d. h. Unregelmäßigkeit der Ränder

Als weiterer Teilindikator könnten die Randlängen ausgewählter Lebensräume (Kantendichte / Ökotope – Edge Density; s. u.) herangezogen werden, beispielsweise von gehölzbetonten Ökotonen (Waldränder, Hecken, Baumreihen etc.), Gewässern/Gewässerufeln, aber auch Acker-säumen. Gerade Übergangsbereiche erfüllen wichtige Habitatfunktionen und tragen wesentlich zur gewünschten Heterogenität bei.

Zu überlegen wäre, ob auf den Shape-Index zugunsten der Einbeziehung der Ökotope verzichtet werden kann. Dies hätte den Vorteil, dass gezielt ausgewählt werden kann, welche Randlängen welcher Nutzungsklassen berücksichtigt werden.

Die Abgrenzung der Wertstufen sowie die Verknüpfung der Teilindikatoren (bspw. über Wertpunkte oder Verknüpfungsmatrizen) zum Gesamtindex werden nach der endgültigen Festlegung der Teilindikatoren und nach Proberechnungen (bspw. auf der Basis von Korrelationsrechnungen) mit Testdaten festgelegt.

Berechnung:

1. Hemerobievelfalt (Shannon Diversity Index – SDI)

$$SDI = - \sum_{i=1}^m (p_i \ln p_i) \quad (\text{McGarigal und Marks 1995})$$

wobei: p_i = Flächenanteil der Klasse i (Hemerobiestufen von $i = 1$ bis $i = m$)

Der SDI ist gleich Null, wenn es nur eine Nutzungseinheit mit einheitlichem Hemerobiegrad, also in dieser Hinsicht keine Diversität gibt. Die Werte steigen mit zunehmender Klassenzahl und / oder mit zunehmender Gleichverteilung der Flächenanteile der Klassen.

2. Einstreuung und Anordnung (Interspersion and Juxtaposition Index – IJI)

$$IJI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{E} \right) * \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(0,5[m(m-1)])} (100) \quad (\text{McGarigal und Marks 1995})$$

wobei: e_{ik} = Gesamtlänge (in m) der Kanten zwischen den Klassen i und k (jeweils von $i = 1$ bis $i = m$ und von $k = i + 1$ bis $k = m$); E = Gesamtlänge (in m) der Kanten in einer Landschaft

Der Wert für IJI ist 100, wenn alle Klassen an alle anderen Klassen gleichhäufig angrenzen. Je ungleichmäßiger die Verteilung, desto näher liegt der Wert bei 0.

3. Struktureichtum (Shape Index – SI)

$$SI = \frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi} * a_{ij}} \quad (\text{McGarigal und Marks 1995})$$

wobei: a_{ij} = Fläche (in m²) des Patches ij ; p_{ij} = Umfang (in m) des Patches ij

Beschrieben wird mit dem Index das Verhältnis des tatsächlichen Umfangs eines Patches zu einem Kreis gleicher Fläche.

4. Kantendichte / Ökotope (Edge Density – ED)

$$ED = \frac{E}{A}$$

wobei: E = Gesamtlänge der Kanten bzw. Linien (z. B. einer Nutzungsklasse in Metern); A = Gesamtfläche in ha

Begründung

Es ist davon auszugehen, dass in Deutschland alle Lebensräume durch den Klimawandel beeinflusst werden, wobei es jedoch lebensraumspezifisch zu unterschiedlichen Auswirkungen kommt und auch der Grad der Beeinflussung stark variieren kann (vgl. Thuiller 2007). Im Zuge des Klimawandels ist voraussichtlich von einer Intensivierung der hydrologischen Dynamik auszugehen (vgl. Wilke et al. 2011), die sich vor allem in regional wie saisonal stark schwankenden Veränderungen des Wasserhaushalts zeigen wird (vgl. Dister und Henrichfreise 2009). Hiervon werden vor allem wassergebundene Lebensräume betroffen sein (Rabitsch et al. 2011), die in Deutschland überwiegend stark gefährdet und nur selten ungestört sind. Mit klimawandelbedingten Veränderungen von Böden und Bodenfunktionen können schließlich weitere Wirkungen auf die biologische Vielfalt verbunden sein. Relevante Wirkfaktoren sind hier zum einen die Bodenerosion sowie Veränderungen der Wasserrückhalte- und Wasserspeicherefunktion von Böden (Jones et al. 2009).

Die Rolle der Lebensraumvielfalt in der Landschaft wird traditionellerweise aus der Sicht einzelner Arten mit deren besonderen Standortansprüchen (u. a. Nahrung, Reproduktion) betrachtet. Vor dem Hintergrund des Klimawandels gewinnt aber zunehmend der Aspekt der Interaktion zwischen mehreren Arten an Bedeutung: Die durch phänologische Daten schon seit längerer Zeit belegten Verschiebungen bestimmter jahreszeitlicher Entwicklungsphänomene von Tieren und Pflanzen können synökologische Beziehungen aufbrechen und damit einzelne Arten oder bestimmte Artengemeinschaften gefährden. Gleichzeitig bilden sich neue Artengemeinschaften mit anderen Ansprüchen an ihre Lebensräume. Vor diesem Hintergrund ist eine Vielfalt von Lebensräumen in der Landschaft ein wichtiger Beitrag zur Dynamik der Landschaftsentwicklung – auch als eine Art Versicherung gegen die Auswirkungen des Klimawandels. Eine Landschaft mit einem vielfältigen Mosaik verschiedener Lebensräume und einer hohen Heterogenität der Formen und Habitattypen verbessert die Überlebensmöglichkeiten von Tieren und Pflanzen, weil Rückzugs- und Ausweichlebensräume für gefährdete Arten in ausreichender Zahl und ausreichender Nähe zueinander vorhanden sind. Auch der Erfolg eines bundesweiten Biotopverbundes ist in starkem Maße von der so beschriebenen Qualität der Landschaftsmatrix abhängig (s. a. Walz 2011).

Die Dynamik der Landschaftsentwicklung wird im Wesentlichen durch die Vielfalt an Strukturen und Lebensräumen bestimmt, die durch ausgewählte Landschaftsstrukturmaße beschrieben werden kann. Werden dabei bestimmte Schwellenwerte einzelner Landschaftsstrukturmaße unterschritten, kann die Funktionsfähigkeit des gesamten Landschaftsgefüges eingeschränkt werden, die Landschaft könnte in einen neuen und weniger klimawandel-resilienten Zustand übergehen.

Es wird eine primäre und eine sekundäre Landschaftsstruktur unterschieden, wobei die primäre Landschaftsstruktur durch die ursprüngliche standörtliche Vielfalt bedingt ist, die sekundäre, anthropogen bedingte Landschaftsstruktur dagegen das Ergebnis der Überformung der natürlichen, primären Landschaftsstruktur durch menschliche Eingriffe ist (Walz 2004: 21ff). Naturräumliche Vielfalt wird also nicht nur durch Eigenschaften des Reliefs, der Böden und des Landschaftswasserhaushalts bestimmt, sondern auch durch menschliche Nutzungen und Überprägungen. Beide Aspekte sollten bei der Bilanzierung der Lebensraumvielfalt Berücksichtigung finden.

Um die Biodiversität in agrarischen „Mosaik-Landschaften“ zu erfassen und zu bewerten, nennt Duelli (1997) als am besten geeignete Faktoren: (1) die Habitatvariabilität (Anzahl der Biotoptypen je Raumeinheit), (2) die Habitat-Heterogenität (Anzahl der Habitatflächen (Patches) und Ökotonlängen je Raumeinheit) und (3) die Flächenanteile natürlicher oder naturnaher und intensiv genutzter Flächen.

Zur Erfassung der Landschaftsstruktur existiert zwar eine große Anzahl unterschiedlicher Maße (vgl. z. B. Schindler et al. 2008: 505), zur Beschreibung reichen in der Regel aber einige wenige

Maße aus (Lausch und Herzog 2002: 13ff). Zur Bilanzierung der Lebensraumvielfalt werden hier zunächst drei Landschaftsstrukturmaße vorgeschlagen:

1. Der Shannon Diversity Index beschreibt die Mannigfaltigkeit von Lebensräumen in der Landschaft. Dabei wird nicht nur die reine Anzahl verschiedener Lebensraumtypen zur Bewertung herangezogen, sondern auch die Gleichverteilung dieser Lebensraumtypen in der Fläche betrachtet.
2. Der Interspersion and Juxtaposition Index beschreibt die Verteilung der Lebensraumtypen und deren Anordnung in der Landschaft. Er ist umso höher, je gleichmäßiger die Nachbarschaftsbeziehungen sind und damit die Durchmischung bzw. Durchdringung der Lebensraumtypen.
3. Der Shape Index ist ein Maß für die „Geometrisierung“ der Landschaft. Er gibt an, inwieweit eine Fläche von der Form eines Quadrates bzw. eines Kreises abweicht, also wie kompakt diese ist. Je weniger kompakt eine Fläche ist, desto größer ist der Anteil von Randlinien im Verhältnis zur Flächengröße. Der Shape Index misst daher indirekt auch die Häufigkeit des Auftretens von Übergangsbiotopen (Ökotonen). Diese erhöhen zum einen die Vielfalt der Lebensraumtypen in der Landschaft, dienen zum anderen aber auch als lineare Verbindungskorridore, die Wanderungsbewegungen von Arten in der Landschaft ermöglichen.

Das Konzept von Frank et al. (2010) verfolgt bei der Bewertung der Lebensraumvielfalt mit Hilfe der Landnutzungsdiversität und der Heterogenität naturbetonter Flächen zwar einen ähnlichen Ansatz wie der hier vorgestellte, engt aber den Blick zu stark auf die wenig vom Menschen beeinflussten Lebensräume ein. Es vernachlässigt dabei, dass kulturbeeinflusste Lebensräume bspw. in Städten einer Vielzahl von Arten Ausweich- und Rückzugsräume bieten.

Als weiterer Teilindikator könnten – wie oben bereits vorgeschlagen und erläutert – die Randlängen ausgewählter Ökotope (Edge Density) herangezogen werden. Auch das Schweizer Biodiversitäts-Monitoring verwendet Indikatoren zu Ökotonen (E4: Länge linearer Landschaftselemente) und zur Vielfalt an Nutzungen (E5: Nutzungs- und Bedeckungsvielfalt des Bodens) (BAFU 2010). Offene Fragen bleiben (a) die Maßstabsabhängigkeit der Teilindikatoren, (b) die Datenverfügbarkeit und (c) der Aktualisierungsrhythmus für die zugrunde liegenden Daten. Weiterhin wäre zu klären, wie aus einer bundesweiten Analyse der Teilindikatoren geeignete Zielwerte und Wertstufen abgeleitet werden könnten. Dabei ist auch eine regionale Differenzierung zu berücksichtigen: Die Heterogenität von Landschaftsstrukturen ist beispielsweise in topographisch relativ homogenen Landschaften wie Tiefebene anders zu bewerten als in stärker reliefierten Landschaften mit dementsprechend vielfältigeren primären Standorten (in Abhängigkeit bspw. von Exposition, Höhenlage, Böden und Grundwassernähe).

Für bestimmte Arten sind homogene, aber naturschutzfachlich hochwertige Lebensräume wertvoller als eine hohe Heterogenität. Bei der endgültigen Ausarbeitung des Indikators ist daher zu prüfen, ob dieser Aspekt berücksichtigt werden kann oder ob er ggf. durch einen anderen Indikator bereits abgedeckt ist bzw. abgedeckt werden sollte.

Rechtsgrundlagen und/oder Zielbezug

Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt strebt eine dauerhafte Sicherung der naturraumtypischen Vielfalt der Lebensräume an (BMU 2007: Abschnitt B 1.1.3 – Vielfalt der Lebensräume). „Die Lebensräume und ihre Lebensgemeinschaften sind in ein funktionsfähiges ökologisches Netzwerk eingebunden und befinden sich in einem günstigen Erhaltungszustand.“ (BMU 2007: 28)

Ferner wird die Definition einer naturraumbezogenen Minstdichte von zur Vernetzung von Biotopen erforderlichen linearen und punktförmigen Elementen (z. B. Saumstrukturen, Hecken, Feldraine, Trittsteinbiotope) bis 2010 und der Abbau bestehender Unterschreitungen angestrebt (BMU 2007: Abschnitt B1.3.2 – Kulturlandschaften). Eine naturraumbezogene Minstdichte wurde aller-

dings bislang nicht definiert (BMU 2007: 42).

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) fordert die Verringerung „beeinträchtigender Nutzungsformen“ zur Unterstützung von voraussichtlich vom Klimawandel besonders betroffenen Arten und Biotopen, die Etablierung von Ausweichhabitaten im Küstenraum und die Erhöhung der Strukturvielfalt von Gewässern (Bundesregierung 2008: 27), ohne dezidiert auf die Lebensraumvielfalt auf der Landschaftsebene einzugehen.

In der Novelle des BNatSchG aus dem Jahr 2009 wird in § 21 „Biotopverbund, Biotopvernetzung“ als neue Regelung zur Biotopvernetzung im Abs. 6 aufgeführt: „Auf regionaler Ebene sind insbesondere in von der Landwirtschaft geprägten Landschaften zur Vernetzung von Biotopen erforderliche lineare und punktförmige Elemente (Saumstrukturen, insbesondere Hecken und Feldraine sowie Trittsteinbiotop) zu erhalten und dort, wo sie nicht in ausreichendem Maße vorhanden sind, zu schaffen (Biotopvernetzung).“ (BNatSchG 2009)

Regelungen zur Mindestdichte von Kleinstrukturen in Agrarlandschaften finden sich beispielsweise in den Landesnaturschutzgesetzen von Baden-Württemberg (NatSchG BW § 5), Nordrhein-Westfalen (LG NRW § 2c Abs. 3) und Sachsen (SächsNatSchG 2007 § 1c Abs. 2) – allerdings ohne spezifische Zielwerte.

Zielvorgabe für den Indikator könnte die Definition einer bereits in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt angekündigten Mindestdichte von zur Vernetzung von Biotopen erforderlichen linearen und punktförmigen Elementen (z. B. Saumstrukturen, Hecken, Feldraine, Trittsteinbiotop) sein.

Datengrundlage

Datenquelle ▪ Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS Basis-DLM) ▪ Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE) ▪ Ggf. Digitales Geländemodell (DGM 10) ▪ Ggf. Indikatoren des IÖR-Monitors	
Räumliche Auflösung Kreisebene und 1 km ² -Raster, ggf. auch Gemeindeebene	NUTS 3
Geographische Abdeckung Deutschland	
Zeitliche Auflösung Jährlich	
Beschränkungen Einschränkungen betreffen: ▪ die jährliche Wiederholbarkeit, da die Datengrundlage DLM-DE nur ca. alle 3-5 Jahre erhoben wird, ▪ die inhaltliche Auflösung, da ATKIS im Vegetationsbereich teilweise nicht sehr tiefgehend differenziert.	Machbarkeit Kann erst nach Festlegung der Teilindikatoren bestimmt werden

Aussage

Interpretationsvorschrift Je größer der Indexwert, desto höher ist die Vielfalt der Lebensräume bezogen auf die Referenz-

fläche. Je niedriger der Indexwert, desto geringer ist die Vielfalt der Lebensräume bezogen auf die Referenzfläche.
Trend- und Statusanalyse Können erst nach Festlegung der Teilindikatoren bestimmt werden
Handlungsempfehlungen Können erst nach Festlegung der Teilindikatoren bestimmt werden

Bewertung des Indikators

Stärken Können erst nach Festlegung der Teilindikatoren bestimmt werden
Schwächen Der Indikator bilanziert mit der Lebensraumvielfalt in der Landschaft das Ergebnis von (u. a. naturschutzfachlichen) Maßnahmen, die nicht zwingend infolge des Klimawandels umgesetzt werden, sondern auch als Reaktion auf den allgemeinen Landschaftswandel infolge der Intensivierung von Landnutzungen, infolge des Infrastrukturausbaus etc. Eine vielfältige Landschaftsstruktur muss nicht notwendigerweise typisch für eine bestimmte Region sein. Es gibt vielfältige Unterschiede sowohl auf der Ebene der primären Naturausstattung als auch auf der Ebene der Nutzungsgeschichte.
Möglichkeiten zur Weiterentwicklung Es sollte geprüft werden, ob die landschaftlich variierende, gegebene Lebensraumvielfalt auf der Basis naturräumlicher Landschaftseinheiten – z. B. Großräume nach Meynen-Schmithüsen (1962) – sinnvoll normiert und ggf. zur Ableitung naturraumspezifischer Zielwerte genutzt werden kann.

Graphische Darstellung (Beispielabbildung, keine Berechnung des Indikator-Prototypen)

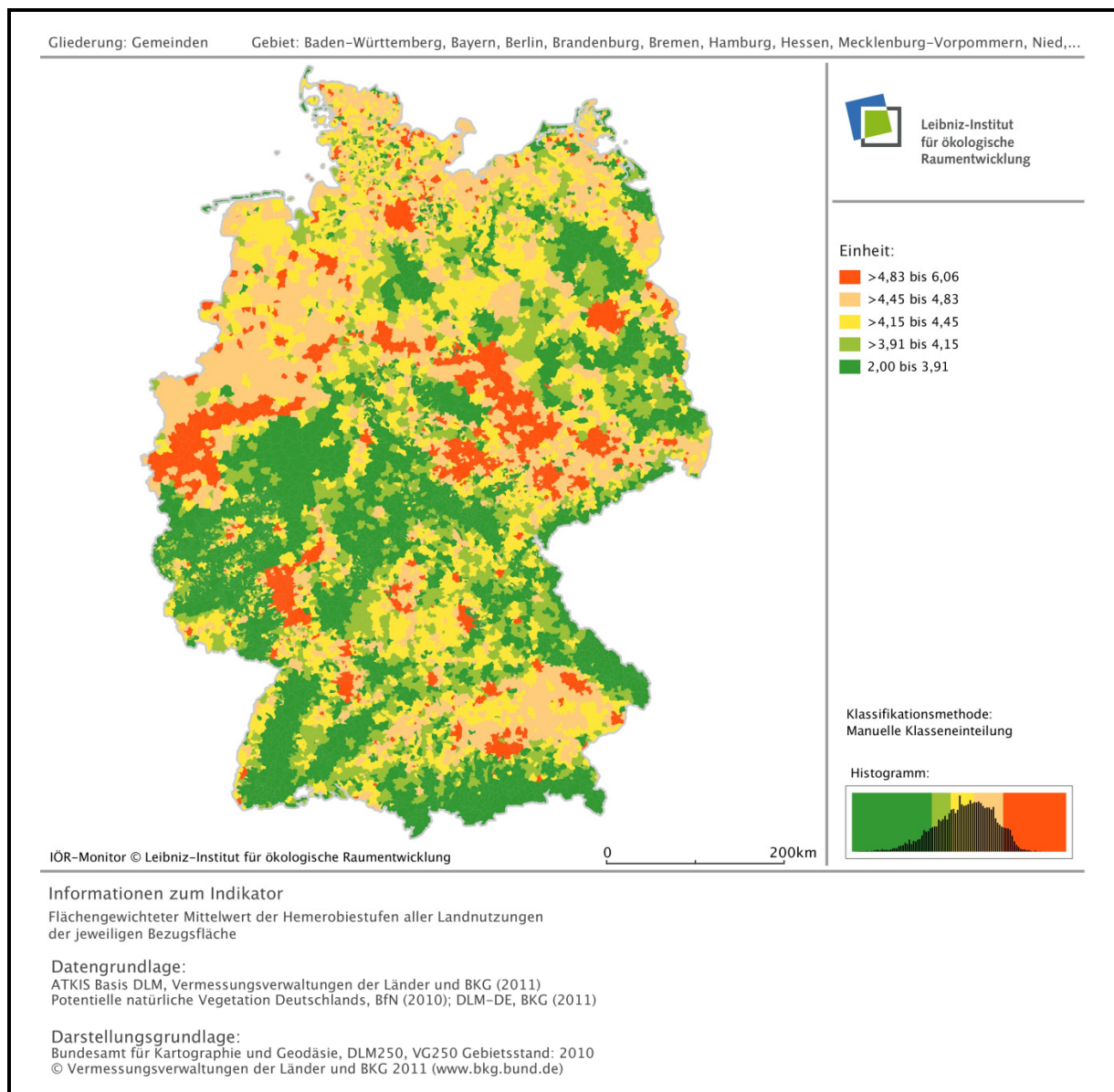


Abb. 1: Beispielabbildung zum Indikator-Prototyp „Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität“: Vorschlag zur graphischen Darstellung der Lebensraumvielfalt und Landschaftsqualität auf Gemeindeebene als Index in 5 Klassen, hier beispielhaft berechnet mit Daten zur Hemerobie (Quelle: IÖR-Monitor; dunkelgrün = ahemerob/oligohemerob, hellgrün = mesohemerob, gelb = β -euhemerob, hellrot = α -euhemerob, rot = polyhemerob/metahemerob)

Glossar

Biotop	Ein Biotop ist ein Lebensraum einer Lebensgemeinschaft.
Habitat	Ein Habitat ist im ursprünglichen, autökologischen Sinn der Lebensraum einer Art. Mittlerweile wird der Begriff auch synonym zum (synökologischen) Biotopbegriff für den Lebensraum einer Lebensgemeinschaft verwendet.
Hemerobie	Der ökologische Begriff der Hemerobie ist ein Maß für den Einfluss des Menschen auf natürliche Ökosysteme und kann etwa mit menschlichem

	Kultureinfluss übersetzt werden (Kowarik 2006). Im Sprachgebrauch des Naturschutzes wird Hemerobie in vielen Fällen synonym mit dem Begriff der Naturferne verwendet. Die Beeinflussung natürlicher Ökosysteme durch den Menschen wird häufig in sieben Hemerobiegrade von natürlich (ahemerob) bis naturfremd (metahemerob) eingeteilt.
Interspersion and Juxtaposition Index	Der Einstreuungs- und Anordnungsindex gibt an, wie häufig die einzelnen Habitattypen an alle anderen Habitattypen angrenzen. Der Index nimmt hohe Werte an, wenn die Habitattypen gleichverteilt sind, d. h. gleich häufig aneinander grenzen (Walz 2013).
Ökoton	Als Ökoton wird in der Ökologie der Übergangsbereich zwischen zwei verschiedenen Ökosystemen bezeichnet. Oft sind diese Bereiche besonders artenreich und weisen eine höhere Artenvielfalt auf als die Summe der Arten, die in den angrenzenden Gebieten vorkommen (Tansley 1939, Duelli 1997, Hansen und DiCasteri 1992).
Resilienz	Als Resilienz wird die Fähigkeit von Ökosystemen bzw. Landschaften verstanden, Störungen zu absorbieren und sich so zu reorganisieren, dass deren Eigenart, wesentliche Funktionen, Strukturen und Rückkopplungsprozesse erhalten bleiben (vgl. Walker et al. 2004).
Shannon Index	Der Shannon Index beschreibt als Landschaftsstrukturmaß die Vielfalt der Lebensräume und berücksichtigt dabei sowohl die Anzahl unterschiedlicher Lebensraumtypen als auch deren Abundanz (Häufigkeit).
Shape Index	Der Shape Index charakterisiert als Landschaftsstrukturmaß die Abweichung einer Fläche von der Kreisform. Je geringer der Shape Index einer Fläche ist, desto kompakter ist deren Form. Das Wertintervall reicht von 1 (Kreisform) bis unendlich für zunehmend zerfrante, strukturreiche Formen.

Quellen und weiterführende Informationen

- BAFU – Bundesamt für Umwelt (2010): Alle Indikatoren in Kürze: Basisdaten aus dem Biodiversitäts-Monitoring Schweiz BDM.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Eigenverlag, Berlin, 178 S.
- Bundesregierung (Hg.) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online, URL: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php> [Zugriff: 12.11.2011].
- Dister, E., Henrichfreise, A. (2009): Veränderungen des Wasserhaushalts und Konsequenzen für den Naturschutz. Natur und Landschaft 84 (1): 26-31.
- Duelli, P. (1997): Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. Agriculture, Ecosystems and Environment, 62: 81-91.
- Frank, S., Fürst, C., Koschke, L., Pietzsch, K., Makeschin, F. (2010): Landschaftsbewertung zur Unterstützung regionaler Planung: Landschaftsstrukturmaße als Indikatoren ökologischer Intaktheit. In: Korn, H., Schliep, R., Stadler, J. (Hg.): Biodiversität und Klima - Vernetzung der Akteure in Deutschland VII - Ergebnisse und Dokumentation des 7. Workshops. BfN-Skripten 282. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Insel Vilm: 49-52.
- Hansen, A. J., di Castri, F. (Hg.) (1992): Landscape boundaries. Consequences for biotic diversity and ecological flows. Ecological studies, 92. Springer, New York, 452 S.

- Jones, A., Stolbovoy, V., Rusco, E., Gentile, A.-R., Gardi, C., Marechal, B., Montanarella, L. (2009): Climate change in Europe. 2. Impact on soil. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 423-432.
- Kowarik, I. (2006): Natürlichkeit, Naturnähe und Hemerobie als Bewertungskriterien. In: Fränzle, O., Müller, F., Schröder, W. (Hg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften: Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. 16. Erg. Lfg. Landsberg, S. VI.3-12.
- Lausch, A., Herzog, F. (2002): Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators* 2 (1-2): 3-15.
- McGarigal, K., Marks, B. J. (1995): FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, 122 S.
- Meynen, E., Schmithüsen, J., Gellert, J. F., Neef, E., Müller-Miny, H., Schultze, J. H. (Hg.) (1962): *Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands*. 1.-9. Lieferung. Veröffentlichung des Instituts für Landeskunde in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung und des Deutschen Instituts für Länderkunde unter Mitwirkung des Zentralausschusses für deutsche Landeskunde. Bad Godesberg: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung.
- Rabitsch, W., Winter, M., Kühn, E., Kühn, I., Götzl, M., Essl, F., Gruttke, H. (2010): Auswirkungen des rezenten Klimawandels auf die Fauna in Deutschland. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 98, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 265 S.
- Schindler, S., Poirazidis, K., Wrabka, T. (2008): Towards a core set of landscape metrics for biodiversity assessments: A case study from Dadia National Park, Greece. *Ecological Indicators* 8 (5): 502-514.
- SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2004): Umweltgutachten 2004 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Drucksache / Deutscher Bundestag, 15/3600. Baden-Baden (Nomos), 549 S.
- Tansley, A. G. (1939): *The british islands and their vegetation: Volume 1*. Cambridge University Press, Cambridge, 484 S.
- Thuiller, W. (2007): Climate change and the ecologist. *Nature* 448 (2): 550-552.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., Kinzig, A. (2004): Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9 (2): 5.
- Walz, U. (2004): Landschaftsstrukturmaße - Indizes, Begriffe und Methoden. In: Walz, U., Lutze, G., Schultz, A., Syrbe, R.-U. (Hg.): *Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung - Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen*. Dresden: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR-Schriften, 43): 15-27.
- Walz, U. (2011): Verwendung von Landschaftsstrukturmaßen zur Analyse und Bewertung der biologischen Vielfalt von Landschaften. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 45 (3): 116-130.
- Walz, U. (2013): *Landschaftsstrukturmaße und Indikatorensysteme zur Erfassung und Bewertung des Landschaftswandels und seiner Umweltauswirkungen - unter besonderer Berücksichtigung der biologischen Vielfalt*. Habilitationsschrift. Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock, 261 S.
- Wilke, C., Bachmann, J., Hage, G., Heiland, S. (2011): Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 109, Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 235 S.