

Auswirkungen landnutzungs- und klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten und naturschutzfachliche Handlungsoptionen

Von der Fakultät für Architektur und Landschaft
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation von

Dipl.-Ing. Janine Sybertz

geboren am 19.09.1983 in Geilenkirchen

2020

Referent: Prof. Dr. Michael Reich

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

Korreferentin: Prof. Dr. Aletta Bonn

Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv), Halle-Jena-Leipzig

Tag der Promotion: 07.01.2020

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand weitgehend während meiner Arbeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover. Die Forschungsprojekte „Zukünftige Naturschutzkonzepte für Harz und Lüneburger Heide“ im Rahmen des Forschungsverbundes KLIFF (Klimafolgenforschung in Niedersachsen) (2009-2013, Förderung: Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur) sowie „Firmen fördern Vielfalt“ (2013-2016, Förderung: Deutsche Bundesstiftung Umwelt [AZ 31112]), die ich während dieser Zeit bearbeitet habe, wiesen wesentliche thematische Schnittmengen mit den Forschungsfragen der Dissertation auf.

Ziel des Forschungsprojekts „Zukünftige Naturschutzkonzepte für Harz und Lüneburger Heide“ im Rahmen des Forschungsverbundes KLIFF war es, vor dem Hintergrund des Klimawandels in Niedersachsen fachlich fundierte Konzepte zum Erhalt der biologischen Vielfalt bzw. zur Abmilderung der Folgen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt für die Naturräume Harz und Lüneburger Heide zu entwickeln. Das Projekt „Firmen fördern Vielfalt“ ging der Frage nach, wie die Artenvielfalt auf Zulieferbetrieben von Lebensmittel erzeugenden Unternehmen mit Hilfe von einfach zu erfassenden Indikatoren bestimmt werden kann.

Ich danke meinem Betreuer Prof. Dr. Michael Reich herzlich für die fachliche Unterstützung, die gute Zusammenarbeit und das entgegengebrachte Vertrauen. Prof. Dr. Aletta Bonn danke ich herzlich für die Übernahme des Korreferats. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. Christina von Haaren, Prof. Dr. Michael Rode und Prof. Dr. Rüdiger Prasse, die als weitere Leiter der oben genannten Forschungsprojekte durch fachliches Feedback und hilfreiche Diskussionen mit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Als wissenschaftliche Hilfskräfte in den Forschungsprojekten mitgearbeitet haben Brigitte Grötzl, Ruth Tabea Klute, Katharina Niemann und Lotta Zoch, denen an dieser Stelle für ihre gute Unterstützung gedankt sei. Dr. Frank Schaarschmidt unterstützte die Arbeiten im Projekt „Firmen fördern Vielfalt“ durch statistische Beratung, dank der ich viel gelernt habe - vielen Dank!

Ein herzlicher Dank gilt meinen ehemaligen Kolleg*innen am IUP für die fachlichen Diskussionen, die unterhaltsamen Kaffeerunden und die gute Arbeitsatmosphäre. Ich bin dankbar für diese Zeit und die Freundschaften, die sich daraus entwickelt haben. Namentlich besonders gedankt sei hier Sarah Matthies und René Hertwig, die die beiden Forschungsprojekte mit mir gemeinsam bearbeitet haben, Birte Bredemeier für die kritische Durchsicht von Texten, Sebastian Krätzig für die Unterstützung beim Korrekturlesen, Nana Wix für hilfreiche Hinweise zum Promotionsverfahren, Christina Weiß für fachliches Feedback und Louise von Falkenhayn sowie Martha Graf für ihre Hilfe bei englischen Übersetzungen.

Bei Manuel Döllefeld möchte ich mich für die Unterstützung beim Korrekturlesen und für die Freundschaft bedanken. Stefan Balla danke ich herzlich für die kritische Durchsicht von Texten und die Ermutigungen auf dem Endspurt.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie und allen Freund*innen für ihr Da-Sein. Für Geduld, Unterstützung und liebevolle Begleitung danke ich von Herzen Michael Kowalski.

Zusammenfassung

Schlagwörter: Artenvielfalt, Landwirtschaft, Klimawandel

Der Schutz der biologischen Vielfalt ist eine gesellschaftlich sehr wichtige Aufgabe, deren Bedeutung in den letzten Jahrzehnten zunehmend auch politisch erkannt wird. Nationale wie globale Zielsetzungen, den Verlust der biologischen Vielfalt aufzuhalten und eine positive Trendwende zu erreichen, wurden bislang allerdings verfehlt. Als wichtige Ursachen für den Verlust der Artenvielfalt werden sowohl der Landnutzungswandel als auch Klimaveränderungen gesehen. Landnutzungsintensivierungen haben insbesondere seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu einem zunehmenden Rückgang der Artenvielfalt in der Agrarlandschaft geführt. Die Ursachen für diesen Rückgang sind vielfältig. Sie umfassen eine Abnahme der Nahrungsgrundlage vieler Arten, u.a. durch den Einsatz von Herbiziden und Insektiziden, und den Verlust von geeigneten Fortpflanzungs- und Nahrungshabitaten durch einen Rückgang der Strukturvielfalt und des Anteils naturnaher Habitate. Seit Ende des 20. Jahrhunderts rückt zunehmend auch der Klimawandel als Einflussgröße für den Rückgang der Artenvielfalt in den Fokus. Einhergehend mit steigenden Temperaturen wurden bereits Verschiebungen von Verbreitungsgrenzen und Veränderungen in der Phänologie von Arten beobachtet. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden neben weiter steigenden Temperaturen die Zunahme von Hitzewellen und extremen Niederschlagsereignissen, eine Veränderung der Niederschlagsverhältnisse und ein weiterer Anstieg des Meeresspiegels erwartet.

Zwischen Klima und Landnutzung gibt es vielfältige Wechselwirkungen und sich gegenseitig verstärkende Effekte - auch in ihrer Wirkung auf einzelne Arten und die biologische Vielfalt. Hier gilt es, Methoden zur Erfassung und Bewertung von Auswirkungen landnutzungs- und klimawandelbedingter Umweltveränderungen zu entwickeln und aufzuzeigen, durch welche Maßnahmen negative Auswirkungen auf die Artenvielfalt vermieden oder vermindert werden können. Akteure zur Umsetzung solcher Maßnahmen sind einerseits der behördliche und ehrenamtliche Naturschutz. Andererseits ist gerade in der Agrarlandschaft auch die Einbindung von Landwirten entscheidend, um möglichst dauerhafte und großflächige Wirkungen zu erzielen.

Ein Weg der Einbindung von Landwirten in naturschutzfachliche Maßnahmenprogramme führt über die lebensmittelerzeugenden Unternehmen, die Abnehmer ihrer Produkte sind. Solche Unternehmen, gerade aus der Biobranche, suchen zunehmend nach Möglichkeiten, ihren Kunden transparent und glaubwürdig zu kommunizieren, was ihre Zulieferlandwirte für den Erhalt und die Förderung der Artenvielfalt leisten. Flächendeckende Vor-Ort-Erfassungen von Arten sind dabei aber sowohl aus Kosten- als auch aus Zeitgründen unrealistisch. Einfache Modelle bzw. Indikatorensets, die die Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Flächen valide abbilden und dabei zeiteffizient und praxisnah in der Datenerhebung und Anwendung sind, werden daher dringend benötigt, fehlen aber bislang. Auf Basis solcher Modelle können auch Maßnahmen für die Betriebsebene und deren Potenzial zur Steigerung der Artenvielfalt abgeleitet werden.

Im Hinblick auf Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten fehlen derzeit vor allem auf regionaler Ebene Einschätzungen über die Empfindlichkeit von Artengemeinschaften gegenüber den projizierten Klimaänderungen und darüber, wie sich klimabedingte Arealverschiebungen auf die Zusammensetzung regionaler Artengemeinschaften auswirken könnten. Sol-

che Einschätzungen braucht es aber, um den naturschutzfachlichen Handlungsbedarf für Anpassungsstrategien und -maßnahmen zu identifizieren und zu konkretisieren. Zu entsprechenden Anpassungsmaßnahmen gibt es bereits eine Reihe von Empfehlungen, die allerdings häufig unspezifisch bleiben, so dass vielen Praktikern unklar ist, welche Maßnahmen Priorität haben und wie diese konkret umgesetzt werden sollen und können. Daher ist es erforderlich, solche allgemeinen Maßnahmenempfehlungen für die jeweilige regionale Ebene unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit der dort vorkommenden Arten und möglicher klimabedingter Ein- und Abwanderungsprozesse zu konkretisieren.

Vor dem Hintergrund dieser Wissenslücken war das Ziel der vorliegenden Arbeit, einen Beitrag dazu zu leisten, Auswirkungen landnutzungs- und klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten auf der regionalen bzw. lokalen Ebene zu ermitteln und zu bewerten, um darauf aufbauend geeignete und für die jeweilige Ebene hinreichend konkrete naturschutzfachliche Maßnahmen zur Verminderung negativer Auswirkungen ableiten zu können. Dazu wurde exemplarisch für einzelne Regionen, Lebensräume und Tierartengruppen untersucht,

- 1) anhand welcher Indikatorensets und Modelle sich die Artenvielfalt auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe praxistauglich, zeiteffizient und valide abbilden lässt,
- 2) an welchen Kriterien eine Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber klimatischen Veränderungen auf naturräumlicher Ebene festgemacht werden kann,
- 3) wie sich ein klimawandelbedingter Turnover in Artengemeinschaften eines Naturraums abschätzen lässt,
- 4) welche Maßnahmen zum Erhalt und zur Förderung der Artenvielfalt basierend auf den Ergebnissen solcher Analysen auf lokaler und regionaler Ebene abgeleitet werden können,
- 5) welche Synergien sich im Hinblick auf Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Klimawandel und Landnutzung ergeben und welche Grenzen die entwickelten Methoden zur Einschätzung solcher Auswirkungen aufweisen.

Hinsichtlich der Auswirkungen landnutzungsbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten wurde untersucht, ob und wie sich die Artenvielfalt und mögliche Veränderungen durch die Landnutzung oder durch Naturschutzmaßnahmen auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe mit Hilfe von einfach handhabbaren Modellen und Indikatorensets abbilden lassen. Dazu wurden in umfangreichen Literaturstudien mögliche Einflussvariablen identifiziert, die für die Artenvielfalt von Tagfaltern auf Rainen und die Artenvielfalt von Vögeln in Hecken sowie auf Äckern von Bedeutung sein können. Auf sieben über Deutschland verteilten landwirtschaftlichen Betrieben wurden sowohl Daten zu diesen möglichen Einflussvariablen erhoben als auch Erfassungen der Artengruppen Tagfalter und Vögel durchgeführt. Durch multiple lineare Regressionsanalysen wurden aus dem Set der möglichen Einflussvariablen anhand der auf den Betrieben erhobenen Daten diejenigen identifiziert, die die Artenvielfalt von Tagfaltern und Vögeln am besten vorhersagen. Bei Tagfaltern auf Rainen sind dies die Heterogenität der umgebenden Landschaft, der Mahdzeitpunkt, die Breite, Länge und das Gräser-Kräuter-Verhältnis des Rains sowie die Bewirtschaftungsart angrenzender Felder. Für die Artenvielfalt von Vögeln in Hecken wurden die Variablen Länge und Breite der Hecke, die Anzahl der Gehölzarten, das Vorkommen von Höhlen/Totholz, das Vorhandensein von Dornsträuchern sowie die Breite des angrenzenden Krautsaums als wichtigste Einflussfakto-

ren zur Vorhersage der Artenvielfalt ermittelt. Ein Modell zur Vorhersage der Artenvielfalt von Vögeln auf Äckern wurde verworfen, da die Ergebnisse deutlich von der Datenlage der Stichprobe geprägt waren und nur zum Teil den Erkenntnissen aus der zuvor durchgeführten Literaturstudie entsprachen.

Die aus den Modellergebnissen ableitbaren Maßnahmen für die Betriebsebene beziehen sich auf die jeweils bedeutsamen Einflussfaktoren - z.B. das Mahdregime bzw. den Mahdzeitpunkt bei Rainen und die Anlage oder Verbreitung von Krautsäumen zwischen Hecken und den an diese angrenzenden Feldern - und betreffen sowohl die Optimierung vorhandener Strukturen als auch die Neuanlage von Landschaftselementen. Diese stellen *einen* Baustein im Spektrum sinnvoller Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Betrieben dar und sollten durch weitere flankiert werden. Dazu ist eine gesamtbetriebliche Perspektive wichtig, die die betriebs- und landschaftsraumspezifischen Voraussetzungen einbindet. Zur Unterstützung hierbei kann einerseits landwirtschaftliche Beratung, andererseits aber auch eine vom Landwirt selbst bedienbare naturschutzfachliche Managementsoftware dienen. In eine solche Software (MANUELA - Managementsystem Naturschutz für eine nachhaltige Landwirtschaft) wurden die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Modelle bereits implementiert und ergänzen dort bereits vorhandene Tools, zum Beispiel zur Ermittlung und Bewertung der Pflanzenartenvielfalt auf Äckern, aber auch zum Landschaftsbild und zum Biotopverbund.

Hinsichtlich der Auswirkungen klimawandelbedingter Umweltveränderungen wurde untersucht, an welchen Kriterien sich eine Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber solchen Umweltveränderungen auf naturräumlicher Ebene festmachen lässt und welche Eigenschaften eine Anpassung an sich ändernde Umweltbedingungen erschweren. Mit Hilfe einer auf solchen Kriterien basierenden Empfindlichkeitsanalyse wurde ermittelt, wie viele Tierarten in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“ eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber klimawandelbedingten Umweltveränderungen aufweisen. Dabei wurden Vertreter der Artengruppen Brutvögel, Amphibien, Reptilien, Heuschrecken, Tagfalter und Libellen mit einbezogen. Eine voraussichtlich erhöhte Empfindlichkeit gegenüber spezifisch klimawandelbedingten Umweltveränderungen lässt sich bei jeweils ca. 39% der untersuchten Tierarten in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“ feststellen. Dabei scheinen insgesamt mehr Arten negativ von einer Abnahme der Sommerniederschläge betroffen zu sein als von einer Erhöhung der Temperaturen. Weiterhin wurde ermittelt, wie klimabedingte Veränderungen der Zusammensetzung von Vogelgemeinschaften in einem Naturraum abgeschätzt und Prognosen über mögliche klimabedingte Zu- und Abwanderungen von Arten getroffen werden können. Dazu wurde der Artenpool des Naturraums Lüneburger Heide mit den Artenpools zukünftig klimaanaloger Räume verglichen. Zukünftig klimaanaloge Räume sind Gebiete, die gegenwärtig klimatische Verhältnisse aufweisen, die zukünftig für das Untersuchungsgebiet projiziert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrzahl der Vogelarten die für den Zeitraum 2071-2100 erwarteten Klimabedingungen im Naturraum Lüneburger Heide vermutlich tolerieren kann, die Artenvielfalt insgesamt aber möglicherweise abnehmen wird. Viele der potenziell aus dem Naturraum abwandernden Arten sind an Feuchtgebiete als Lebensraum gebunden.

Zur Verringerung negativer klimawandelbedingter Auswirkungen auf Tierarten können zum einen derzeitige Gefährdungsursachen und Stressoren minimiert werden, um die Habitatverfügbarkeit und -qualität zu erhöhen und die Resilienz sowie das Anpassungspotenzial von

Arten zu stärken. Als prioritäre Maßnahmen sind je nach naturräumlicher Region die folgenden anzusehen: Maßnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Feuchtlebensräumen, Maßnahmen zur Verhinderung von Nährstoffeinträgen bzw. Eutrophierung und zur Extensivierung landwirtschaftlicher Nutzung, Maßnahmen zur Erhöhung der Konnektivität in der Landschaft und zur Verringerung des Landschaftsverbrauchs, Maßnahmen zur Offenhaltung von Lebensräumen und Maßnahmen zur naturnahen Waldrandgestaltung bzw. Waldbewirtschaftung. Zum anderen kann zur Verringerung negativer klimawandelbedingter Auswirkungen auf Tierarten die Konnektivität in der Landschaft gefördert und der Erhalt und die Schaffung von Biotopverbundstrukturen gestärkt werden, um den Arten eine Anpassung durch die Verschiebung ihrer Verbreitungsareale zu ermöglichen. Besonders auf überregionale Biotopverbundmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel angewiesen sind in beiden naturräumlichen Regionen Arten des Offenlandes, in der naturräumlichen Region „Lüneburger Heide und Wendland“ zusätzlich auch Arten der Gewässer.

Da viele der derzeitigen Gefährdungsursachen potenziell klimaempfindlicher Arten nutzungsbezogen sind und auch direkte oder indirekte Folge landwirtschaftlicher Nutzung sein können, sind Synergien zwischen Maßnahmen zur Verminderung negativer Auswirkungen von Landnutzungs- und Klimawandeleinflüssen offenkundig. Dies betrifft auch die Stärkung des Biotopverbunds. Hier spielen Raine und Hecken in der Agrarlandschaft eine wichtige Rolle - auch vor dem Hintergrund des Klimawandels, da viele der auf Biotopverbund als Anpassungsmaßnahme angewiesenen Arten Bewohner des Offenlandes sind. Ein besonderes Gewicht kommt im Hinblick auf den Klimawandel dem Schutz bzw. der Renaturierung und Schaffung von Feuchtlebensräumen zu. Diese werden bislang nur zum Teil durch die Modelle zur Abschätzung der Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Betrieben abgedeckt, so dass in der Erweiterung der Modelle um die Lebensräume Feuchtgrünland und Grünland im Allgemeinen eine mögliche Weiterentwicklung der vorliegenden Arbeit zu sehen ist. Da ein Großteil der Fläche Deutschlands landwirtschaftlich genutzt wird, kommt der Landwirtschaft bei der Bewahrung der Artenvielfalt eine Schlüsselrolle zu. Die vermehrte Integration naturschutzfachlicher Ziele in die Landbewirtschaftung kann daher wesentlich zum Erhalt und zur Förderung der Artenvielfalt beitragen, nicht nur im Hinblick auf landnutzungsbezogene sondern auch auf klimawandelbezogene Einflüsse. Die vorliegende Arbeit liefert dazu wichtige Ansätze.

Abstract

Keywords: biodiversity, agriculture, climate change

The conservation of biodiversity is a task of great importance for society. In recent decades, political awareness for biodiversity issues has risen, yet, global as well as national objectives to halt the loss of biodiversity have failed. Important causes of biodiversity loss include land use change as well as climatic changes. From the second half of the twentieth century, agricultural intensification has increasingly led to a decline of farmland biodiversity. This decline is caused by a multitude of factors, particularly a loss of semi-natural habitats and structural diversity as well as a shortage of food supply due to a usage of herbicides and insecticides. Since the end of the twentieth century, climatic changes have increasingly become apparent as another threat to biodiversity. Along with increasing temperatures, shifts of distribution ranges as well as in the phenology of species have already been observed. By the end of the 21st century, further increasing mean temperatures, an increase of hot extremes, a decrease of cold periods, a shift in annual precipitation regimes and a further rise of sea levels can be expected.

Climate and land use interact in a variety of ways - as do their effects on species and overall biodiversity. Thus, methods to capture and evaluate the effects of land use and climatic changes on species, and measures to prevent or mitigate the impacts, are greatly needed. Important stakeholders for the implementation of such measures are nature conservation authorities and organisations. However, protecting farmland biodiversity also requires the involvement of farmers to ensure sustainable and long-term effects. One way to involve farmers in nature conservation programs is to address the food companies they supply their products to. Food companies, especially from the organic sector, are increasingly looking for ways to transparently and credibly communicate to their customers how farmers (the suppliers) preserve and enhance biodiversity on their land. As company-wide biodiversity surveys of species in the field are not feasible, easy-to-use models and indicator sets projecting biodiversity on farmland, in both a sound and time-efficient way, are greatly needed. Such models could also help to identify and allocate nature conservation measures for a given farm and assess what biodiversity enhancement potentials are associated with which measure.

Regarding climate change impacts on animals, assessments on regional levels evaluating the sensitivity of animals towards such changes are largely missing. So too are estimations on how distribution shifts might alter regional species communities. However, such information is greatly needed to identify and specify appropriate adaptation strategies and measures. While recommendations for such adaptation strategies and measures already exist, they are mostly vague making it difficult for stakeholders to prioritise and implement them. Thus, it is necessary to specify general recommendations for given regions that take into account the climate sensitivity of the region's species as well as alterations in the region's species community.

Considering these knowledge gaps, the objective of this dissertation was to contribute to the assessment and evaluation of impacts of land use and climate change on animals on a regional and local level and, based on these assessments, derive measures suitable to aid in

the mitigation of negative impacts. Single regions, habitats and animal species groups were therefore investigated in order to assess;

1. which indicator sets and models are suitable to project biodiversity on a farm level in a practical, time-efficient and sound way,
2. which criteria indicate a sensitivity of animals towards climatic changes within an ecoregion,
3. how climate change induced turnovers in species communities within an ecoregion can be estimated,
4. which measures to preserve and enhance biodiversity can be derived based on such analyses for the local and regional level,
5. which synergies exist between measures for mitigating the negative impacts of land use and climate change and what are the limitations of the methods for the assessment of such impacts.

With respect to the impacts of land use on animals, I investigated if and how biodiversity and possible changes caused by land use or nature conservation measures can be projected with farm level based easy-to-use models and indicator sets. Therefore, I identified possible predictor variables effecting the species numbers of butterflies on field margins and birds in hedgerows and on arable fields. This was accomplished on the basis of an extensive literature review. Subsequently, the possible predictor variables, as well as butterflies and birds, were recorded on seven farms throughout Germany. By means of multiple linear regression analyses based upon the data recorded on the farms, variables were identified that best predicted the species numbers of butterflies and birds. In terms of butterflies, these variables included the landscape heterogeneity of the surroundings, the time of mowing, the width, length and the grass-herb-ratio of the margin as well as the management of the adjacent field. For birds in hedgerows, the variables length and width of a hedgerow, the number of woody species, the presence of tree holes, the presence of thorny shrubs, and the width of the herbaceous margin bordering the hedgerow were identified as the best predictors for species numbers. The model for predicting bird species numbers on arable fields was rejected as the results were significantly influenced by the examined sample and were only partly compatible with the results of the literature review.

Measures for the farm level are related to the predictor variables of the models in question, e.g. recommendations for the time of mowing of field margins or, for hedgerows, the establishment or extension of herbaceous margin strips between the hedgerow and bordering fields. These measures concern the improvement of existing landscape elements as well as the establishment of new ones. They should be seen as one component within a set of adequate measures for farms that ought to be accompanied by others. Therefore, a whole-farm perspective is needed which integrates farm specifics as well as specific landscape preconditions. To support this process, assistance by farm consultants may be reasonable but so too is GIS-based management software which aids farmers in addressing nature conservation issues. The models of this dissertation have already been implemented in such management software, MANUELA (Managementsystem Naturschutz für eine nachhaltige Landwirtschaft - Management System Nature Conservation for a Sustainable Agriculture). Within this software, the models complement other nature conservation tools, e.g. one that assesses the

diversity of plant species on arable fields and others that evaluate landscape aesthetics or the connectivity of habitats.

With respect to the impacts of climatic changes on animals, I examined which criteria are relevant for evaluating the sensitivity of species towards these changes. Based on these criteria, I investigated how many animal species from the 'Harz' and 'Lüneburger Heide und Wendland' ecoregions are probably sensitive towards climatic changes projected for the end of the 21st century. These sensitivity analyses included Red List species of breeding birds, reptiles, amphibians, dragonflies and damselflies, grasshoppers and crickets, and butterflies. About 39% of the examined species are probably sensitive towards these climatic changes. Overall, more species seem to be affected by a decrease of summer precipitation than by an increase of mean temperatures. In addition, I assessed how climate change induces turnovers in bird communities of a given region can be estimated. Hence, the species pool of the 'Lüneburger Heide' ecoregion was compared to species pools of future climatically analogous regions. Future climatically analogous regions are regions which currently have similar climatic conditions to the ones projected for the study area in the future. The results of these analyses show that the majority of species in the 'Lüneburger Heide' are probably able to tolerate the climatic conditions projected for 2071-2100 but that bird species richness, in general, may decline. Species that might potentially leave the regional species community in the course of climate change were often associated with inland wetland habitats.

To mitigate negative climate change induced impacts on animals, current non-climatic stressors can be reduced in order to increase habitat availability and quality and to strengthen the resilience and adaptation potential of species. Measures of high priority in this regard - depending on the respective region - include: measures for maintaining and promoting wetlands, measures for reducing eutrophication and for the extensification of agriculture, measures for increasing habitat connectivity and reducing land consumption, measures for the preservation of open landscapes, and measures for a nature-oriented forest management. In addition to reducing non-climatic stressors, habitat connectivity should be increased in order to help species to adapt to climatic changes by shifting their distribution ranges. In both examined ecoregions, most of the potential climate-sensitive species, which depend on an increased habitat connectivity for the adaptation to climatic changes, live in open land. Within the 'Lüneburger Heide und Wendland' ecoregion, additional emphasis in this regard should be put on waterbodies.

As many of the current non-climatic stressors impacting potentially climate-sensitive species are related to land use, synergies between measures mitigating negative impacts of land use and climate change are obvious. This is also true for the strengthening of habitat connectivity. Here, field margins and hedgerows play an important role - especially as many of the species that depend on habitat connectivity to adapt to climatic changes live in open land. In light of climate change, a special emphasis has to be put on the maintenance and restoration of grassland and wetlands. So far, grassland and wetlands are only partly covered by the models for the assessment of biodiversity on farmland. An inclusion of these habitats into the MANUELA model toolbox is, therefore, a possible future development. As a large part of Germany is covered by agriculture, farmers have a key role in preserving biodiversity. Integrating nature conservation objectives into farm management is therefore very beneficial not only

with regard to mitigating possible impacts of land use but also of climate change. This dissertation provides important approaches for this task.

Inhalt

Vorwort und Danksagung	I
Zusammenfassung	III
Abstract	VII
1. Einleitung	1
1.1. Hintergrund und Ziele der Arbeit.....	1
1.2. Stand der Forschung.....	4
1.2.1. Indikatoren und Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Auswirkungen landnutzungsbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten.....	4
1.2.2. Methoden zur Modellierung und Bewertung von Auswirkungen Klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten	6
1.2.3. Naturschutzfachliche Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Klimawandel- und Landnutzungseinflüssen auf Tierarten	8
1.3. Forschungsfragen und Aufbau der Arbeit	10
2. Ermittlung, Bewertung und Möglichkeiten zur Verminderung von Auswirkungen landnutzungsbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten.....	13
2.1. Assessing the value of field margins for butterflies and plants: how to document and enhance biodiversity at the farm scale	13
2.2. Biodiversity modelling in practice - predicting bird and woody plant species richness on farmlands	15
2.3. Modellgestützte Ermittlung der Vogelartenvielfalt auf Ackerflächen.....	17
3. Modellierung, Bewertung und Möglichkeiten zur Verminderung von Auswirkungen Klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten	23
3.1. Tierarten in Harz und Lüneburger Heide	23
3.1.1. Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber den bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwarteten Klimaänderungen in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“.....	23
3.1.2. Naturschutzfachliche Prioritäten zur Unterstützung der Anpassung von Tierarten an den Klimawandel in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“	25
3.2. Vogellebensgemeinschaften in der Lüneburger Heide	27
3.2.1. Artenpoolvergleiche klimaanaloger Räume als Methode zur Abschätzung von Klimawandelbedingten Veränderungen in der Zusammensetzung von Vogellebensgemeinschaften	27
3.2.2. Assessing Climate Change Induced Turnover in Bird Communities Using Climatically Analogous Regions	29
4. Zusammenfassende Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	31

4.1. Indikatorensets und Modelle zur Abbildung der Artenvielfalt und Abschätzung landnutzungsbedingter Einflüsse auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe	31
4.1.1. Validität, Übertragbarkeit und methodische Grenzen der Modelle	31
4.1.2. Zeiteffizienz und Praxistauglichkeit der Modellanwendung	33
4.2. Methoden zur Modellierung und Bewertung von Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten	35
4.2.1. Kriterien zur Einstufung der Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber klimatischen Veränderungen und Ermittlung der Betroffenheit in unterschiedlichen Naturräumen	35
4.2.2. Methoden zur Abschätzung eines möglichen klimawandelbedingten Turnovers in Artengemeinschaften eines Naturraums	36
4.2.3. Vergleich der unterschiedlichen Methoden zur Modellierung und Bewertung von Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten.....	37
4.2.4. Unsicherheiten und methodische Grenzen der Ermittlung klimabedingter Auswirkungen auf Tierarten.....	40
4.3. Maßnahmen zum Erhalt und zur Förderung der Biodiversität.....	42
4.3.1. Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Landnutzung und Landschaftsveränderungen auf Tierarten	42
4.3.2. Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten.....	44
4.3.3. Synergien naturschutzfachlicher Maßnahmen zur Verringerung negativer Einflüsse von Klimawandel und Landnutzung.....	45
5. Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	49
Literaturverzeichnis	52
Eidesstattliche Erklärung	69

1. Einleitung

1.1. Hintergrund und Ziele der Arbeit

Der Schutz der Artenvielfalt ist in den letzten Jahrzehnten zu einer wichtigen nationalen wie globalen Aufgabe geworden. Im Jahr 1992 wurde in Rio de Janeiro das UN-Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity - CBD) beschlossen, dessen Ziele in Deutschland durch die Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt (NBS) aus dem Jahr 2007 umgesetzt werden sollten (BMUB 2007). Das ursprüngliche Ziel, den Rückgang der Biodiversität bis zum Jahre 2010 aufzuhalten und danach eine positive Trendentwicklung zu erreichen, wurde allerdings sowohl global als auch national verfehlt (BMU 2013). Daher wurde 2010 in Nagoya ein neuer Strategischer Plan für den globalen Schutz der biologischen Vielfalt von 2011 bis 2020 verabschiedet, der als Zwischenziel beinhaltet, den Biodiversitätsverlust bis zum Jahr 2020 zu stoppen (ebd.). Auch dieser Zeithorizont erscheint mit Blick auf den letzten Rechenschaftsbericht der Bundesregierung zur Umsetzung der NBS unrealistisch, da der aktuelle Status eines Großteils der Indikatoren der NBS weit oder sehr weit vom angestrebten Zielbereich entfernt liegt (BMUB 2017).

Die aktuelle Aussterberate von Arten übertrifft aufgrund menschlicher Aktivitäten die natürliche Aussterberate um etwa das 1.000-fache (Pimm et al. 2014). Als eine der wesentlichen Ursachen für den Verlust von Biodiversität wird dabei gegenwärtig wie zukünftig der Landnutzungswandel gesehen (Sala et al. 2000), der in Deutschland in den letzten Jahrzehnten neben einer Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen auch durch eine intensivere landwirtschaftliche Flächennutzung charakterisiert war (Gömann & Weingarten 2017). Der Global Biodiversity Outlook 4 (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2014) geht davon aus, dass mit Landwirtschaft in Zusammenhang stehende Einflussfaktoren für 70% des projizierten terrestrischen Biodiversitätsverlust verantwortlich sind.

Seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wird eine zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft und damit einhergehend ein zunehmender Verlust der Artenvielfalt in der Agrarlandschaft beobachtet (Benton et al. 2002, Stoate et al. 2001). Der Einsatz von Herbiziden und Insektiziden sorgt für einen Rückgang von Insekten und Ackerwildkräutern und damit für den Rückgang der Nahrungsgrundlage vieler Arten (Benton et al. 2002, Boatman et al. 2004). Infolge zunehmend dichter und homogener Nutzpflanzen-Bestände und eines Verlustes naturnaher Habitats auf landwirtschaftlichen Flächen gehen sowohl geeignete Fortpflanzungshabitats für Tierarten als auch Flächen für die Nahrungssuche zurück (Newton 2004, Wilson et al. 2005). Dazu tragen auch eine zunehmende Düngung (Donald et al. 2001, Billeter et al. 2008) und veränderte Fruchtfolgen, wie beispielweise die Umstellung von Sommer- auf Wintergetreide, bei (Eggers et al. 2011). Vor allem der europaweit beobachtete Rückgang der Feldvögel steht dabei im Zentrum der Aufmerksamkeit (Donald et al. 2001, Donald et al. 2006, Gregory et al. 2004). Bestandsrückgänge sind aber auch für andere Artengruppen wie z.B. Schmetterlinge (Brereton et al. 2011, Van Dyck et al. 2009, van Swaay et al. 2006, van Swaay et al. 2015) und Insekten im Allgemeinen (Benton et al. 2002, Hallmann et al. 2017) dokumentiert.

Als Ursache für die Abnahme globaler Biodiversität rückt neben dem Landnutzungswandel seit Ende des 20. Jahrhunderts zunehmend eine weitere Einflussgröße in den Fokus: globale

und regionale Klimaveränderungen (vgl. auch Sala et al. 2000). Der 5. Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) geht für den Zeitraum von 1880 bis 2012 von einer durchschnittlichen weltweiten Erwärmung von 0,85°C aus (IPCC 2014). Für Deutschland wurde seit Ende des 19. Jahrhunderts eine Erwärmung von ca. 1,3°C festgestellt (Kaspar et al. 2017). Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden neben einer weiteren Steigerung der Temperaturen u.a. die Zunahme von Hitzewellen und extremen Niederschlagsereignissen, eine Veränderung der Niederschlagsverhältnisse und ein weiterer Anstieg des Meeresspiegels als Auswirkungen des Klimawandels projiziert (IPCC 2014). Das ursprüngliche Ziel des Pariser Klimaabkommens von 2015, die globale Erwärmung deutlich unter 2°C zu halten und auf 1,5°C im Vergleich zum vorindustriellen Wert zu begrenzen, wird im wissenschaftlichen Diskurs zunehmend als unrealistisch eingeschätzt (Mauritsen & Pincus 2017, Raftery et al. 2017).

Diese klimatischen Veränderungen bleiben für die biologische Vielfalt nicht ohne Folgen. Für einige Tierarten wurden bereits klimabedingte Veränderungen ihrer Verbreitungsgebiete festgestellt (Hill et al. 2002, Parmesan & Yohe 2003, Poniowski et al. 2018). Auch in Niedersachsen wurden Einwanderungen von wärmeliebenden Arten beobachtet, z.B. von Feuerlibelle *Crocothemis erythraea* (Lohr 2003) und Sichelschrecke *Phaneroptera falcata* (Grein 2010). Andere Arten weisen Veränderungen in ihrem Verhalten bzw. ihrer Phänologie auf (Crick & Sparks 1999, Parmesan & Yohe 2003, Root et al. 2003). Beispielsweise hat sich die Ankunft vieler Zugvogelarten in ihren europäischen Brutgebieten in den letzten Jahrzehnten zeitlich nach vorne verschoben (Lehikoinen et al. 2004, Sparks et al. 2005, Sparks et al. 2007). Da Tierarten aufgrund ihrer unterschiedlichen physiologischen Toleranzen und ihrer unterschiedlichen Migrationsfähigkeiten nicht uniform auf Klimaveränderungen reagieren werden, wird langfristig eine Veränderung der Zusammensetzung bestehender Lebensgemeinschaften erwartet (Zebisch et al. 2005).

Zwischen Klima und Landnutzung bzw. Klimaveränderungen und Landnutzungsveränderungen gibt es vielfältige Wechselwirkungen und sich gegenseitig verstärkende Effekte. So beeinflusst beispielsweise das Klima direkt oder indirekt die in einer Region vorherrschende Landnutzung und welche Nutzpflanzen dort angebaut werden können. Bereits heute ermöglicht die fortschreitende Erwärmung in Deutschland daher den Anbau von Kulturen und Sorten, die bislang auf mediterrane Gebiete beschränkt waren (Schaller et al. 2012) und eröffnet perspektivisch die Ausweitung des Anbaus weiterer wärmeliebender Kulturpflanzen wie z.B. von Sorghum-Hirse und Sojabohne (UBA 2015). Die Landbewirtschaftung und nutzungsbedingte Veränderungen der Landbedeckung wiederum können einerseits Einfluss auf das gegenwärtige Klima einer Region haben, beispielsweise aufgrund von Veränderungen des Anteils an Wald und an versiegelten Flächen (Dale 1997, Kalnay & Cai 2003). Andererseits können sie aber auch großräumliche Klimaveränderungen befördern, beispielsweise aufgrund der Freisetzung klimarelevanter Gase beim Umbruch von Grünland- und Niedermoorstandorten, bei intensiver Tierhaltung und beim Einsatz von Düngemitteln (Wegener et al. 2006, Drösler et al. 2013, Dale 1997).

Auch in ihrer Wirkung auf die Biodiversität bzw. auf einzelne Arten können Landnutzungs- und Klimaeinflüsse sich wechselseitig beeinflussen (vgl. Oliver & Morecroft 2014). So können höhere Temperaturen infolge des Klimawandels in Zusammenhang mit erhöhten Stickstoffeinträgen infolge der Intensivierung der Landwirtschaft zu einer erhöhten Biomassepro-

duktion und einer Veränderung der Vegetationszusammensetzung führen (vgl. z.B. van Wijk et al. 2003). In Stillgewässern können aufgrund von steigenden Temperaturen Eutrophierungsprozesse durch Beeinflussung der Entwicklung von Cyanobakterien, der Vegetation, des Schichtungsverhaltens und des Sauerstoffhaushalts verstärkt werden (Shatwell et al. 2013, Moss et al. 2011). Ein weiteres Beispiel für solche Wechselwirkungen sind Auswirkungen waldbaulicher Veränderungen in Kombination mit klimabedingten Veränderungen auf die Zusammensetzung des Baumartenspektrums und damit der Artengemeinschaft der Wälder: so kann sich der absehbare Rückgang von Fichtenwäldern, sowohl aufgrund des Waldumbaus (aus ökologischen wie auch aus Gründen der Klimaanpassung) als auch aufgrund des für die Fichte ungünstiger werdenden Klimas, negativ auf an Nadelwälder angepasste Arten auswirken, während andere Arten von einer Ausbreitung von Laubwäldern profitieren könnten (Hickler et al. 2012).

Auch gibt es Lebensraumtypen und Arten, die bereits im Zuge der Intensivierung der Landwirtschaft zurückgegangen sind und gleichzeitig besonders empfindlich auf klimawandelbedingte Veränderungen - wie z.B. eine Abnahme der Sommerniederschläge - reagieren. Hier sind vor allem Feuchtlebensräume wie Feuchtgrünland, Auen, feuchte oder feucht-kühle Wälder, Moore und Feuchtheiden und ihre Arten zu nennen (Dawson et al. 2003, Zebisch et al. 2005, Erwin 2009, Weiß et al. 2011). Der zukünftig projizierte verstärkte Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft wird bereits bestehende Beeinträchtigungen des Wasserhaushalts solcher Gebiete zusätzlich verschärfen (Heidt 2009, Berthold 2010; vgl. auch Olesen & Bindi 2002, Erwin 2009). Auf der anderen Seite könnten wärmeliebende Arten, die in den letzten Jahrzehnten aufgrund von Landnutzungsveränderungen in ihren Beständen zurückgegangen sind, von einer Erwärmung des Klimas profitieren, indem beispielweise ihre Nahrungsgrundlage zunimmt oder sich die von ihnen bevorzugten Lebensräume ausbreiten und sich dadurch die Konnektivität der Landschaft für sie verbessert (Reich et al. 2012). Ein Beispiel für einen solchen möglichen Profiteur ist der Bienenfresser (Bastian et al. 2013).

In diesem komplexen Wirkgefüge ist die naturschutzfachliche und ökologische Forschung gefragt, Methoden und Indikatoren zur Erfassung und Bewertung derartiger Auswirkungen zu entwickeln und aufzuzeigen, durch welche Maßnahmen negative Auswirkungen auf die Biodiversität vermieden oder vermindert werden können. Dabei sollte ein besonderes Augenmerk auf die praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse für die Akteure vor Ort gelegt werden. Die vorliegende Arbeit soll dazu einen Beitrag leisten.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, Methoden zu entwickeln und Indikatoren zu identifizieren, um Auswirkungen von Umweltveränderungen auf Tierarten zu modellieren bzw. die Empfindlichkeit von Arten gegenüber Umweltveränderungen abzuschätzen. Der Fokus liegt dabei auf Methoden, deren Ergebnisse für die angewandte Forschung und für Praktiker im Bereich Naturschutz und Landnutzung nutzbar sind und die geeignet sind, insbesondere die Wirkungen von Klimawandel- und Landnutzungseinflüssen abzubilden. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Analysen sollen naturschutzfachliche Prioritäten und konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, um die Auswirkungen solcher Umweltveränderungen abzumildern. Zielgröße ist dabei weniger die einzelne Art als vielmehr die Artenvielfalt insgesamt.

Die Arbeit widmet sich somit folgenden übergeordneten Fragestellungen:

- a) Anhand welcher Indikatoren und mit welchen Modellen können Auswirkungen landnutzungsbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten ermittelt und bewertet werden?
- b) Mit welchen Methoden können Auswirkungen klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten modelliert und bewertet werden?
- c) Wie lassen sich solche Analysen zur Ableitung naturschutzfachlicher Prioritäten und Maßnahmen nutzen, um negative Auswirkungen klimawandel- und landnutzungsbedingter Umweltveränderungen zu verringern?

1.2. Stand der Forschung

1.2.1. Indikatoren und Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Auswirkungen landnutzungsbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten

Zur Beobachtung und Beurteilung der Auswirkungen von gegenwärtigen bzw. in der Vergangenheit liegenden Landnutzungsänderungen auf Tierarten wird verbreitet mit Indikatoren gearbeitet, d.h. mit messbaren Parametern, die mit der eigentlich zu untersuchenden Größe korrelieren (vgl. Duelli & Obrist 2003). Bestimmte Arten(-gruppen) können dabei stellvertretend für den Zustand bzw. die Ausprägung einer gesamten Biozönose stehen. Auch können abiotische Parameter wie Bewirtschaftung, Standorteigenschaften und Landschaftsstruktur zur Beurteilung biotischer Größen (z.B. Biodiversität oder Artenzahl) herangezogen werden. So haben beispielsweise Billeter et al. (2008) in einer europaweiten Studie sowohl untersucht, welche Artengruppen in Agrarlandschaften besonders gut mit der Artenvielfalt anderer Artengruppen korrelieren, als auch, welche Zusammenhänge zwischen Landschaftsstruktur bzw. Bewirtschaftungsweise und Biodiversität bestehen. Hier hat sich insbesondere der flächenhafte Anteil naturnaher Habitats als wichtige europaweite Einflussgröße für die Biodiversität herausgestellt (vgl. auch Benton et al. 2003 sowie Kretschmer et al. 1995 für Brutvögel und Tagfalter in ostdeutschen Ackerbau-landschaften, Weibull et al. 2003 für Tagfalter und Laufkäfer auf Farmen im östlichen Schweden und Herzog & O'Hara 2007 für Vögel in der Agrarlandschaft des Baltikums). Eine einzelne Artengruppe, anhand derer man europaweit die Artenvielfalt aller anderen untersuchten Artengruppen ableiten konnte, konnte in der Studie von Billeter et al. (2008) nicht identifiziert werden (vgl. auch Weibull et al. 2003), regional oder auf einzelne Artengruppen bezogen gibt es solche Beispiele allerdings (vgl. Belfrage et al. 2005, Kati et al. 2004).

Neben der Landschaftsheterogenität bzw. dem Anteil naturnaher Habitats werden als Einflussgrößen für die Tierartenvielfalt in der Agrarlandschaft auch regelmäßig Bewirtschaftungsparameter genannt. Dazu zählen eine ökologische oder konventionelle Bewirtschaftung von Feldern (Bengtsson et al. 2005, Belfrage et al. 2005, Fischer et al. 2011a, Hötter et al. 2004) oder der Einsatz von Pestiziden (Rands & Sotherton 1986, de Snoo et al. 1998) sowie die Art der angebauten Feldfrüchte (Eggers et al. 2011, Hoffmann et al. 2012, Voigtländer et al. 2001, Fuchs & Stein-Bachinger 2008).

Artengruppen, die regelmäßig als Indikatoren für Umweltveränderungen und den Zustand der Biodiversität im Allgemeinen herangezogen werden, sind Vögel und Tagfalter. Ihre Eig-

nung für solche Zwecke leitet sich ab aus der guten Datengrundlage zu ihrer Verbreitung und Biologie, ihrer schnellen Reaktion auf Umweltveränderungen, ihrer guten Erfassbarkeit sowie ihrem positiven Image in der Bevölkerung (für Tagfalter s. Brereton et al. 2011, Kühn et al. 2015, Weibull et al. 2003; für Vögel s. Pulido & Berthold 2004, Lemoine et al. 2007, Crick 2004).

Sowohl Daten zu Vogel- als auch zu Tagfalterarten werden daher auf nationaler wie europäischer Ebene zur Abbildung von Landnutzungseinflüssen und des Zustands der Biodiversität genutzt. So findet sich im Indikatorenset der NBS der Indikator „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“, der Informationen über die Artenvielfalt, die Landschaftsqualität und den Zustand der Landschaft in Deutschland anhand der Bestandsentwicklungen von 51 Vogelarten bereitstellen soll (BMUB 2015). In Großbritannien werden zur Abbildung des Zustands der Artenvielfalt vor dem Hintergrund der Ziele der CBD zusätzlich zu den Populationstrends von Vogelarten auch die Populationstrends von Tagfalterarten herangezogen (DEFRA 2018). Auf EU-Ebene wird im Rahmen der ELER-Berichtspflichten (Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums) der Mitgliedsländer ein Indikator genutzt, der die Bestandstrends von Feldvögeln abbildet (EBCC 2017). Indikatoren, die sich aus den Bestandstrends häufiger Brutvogelarten sowie den Bestandstrends der an Grünland gebundenen Tagfalterarten zusammensetzen, sind Teil des Indikatorensets der Europäischen Umweltagentur (EEA) zur Messung der Artenvielfalt in Europa (Streamlining European Biodiversity Indicators (SEBI)) (EEA 2010, Gregory & Strien 2010, EEA 2013).

Neben diesen auf großräumiger Ebene anwendbaren Indikatoren gibt es auch erste Ansätze für Indikatorsysteme zur Abschätzung der Biodiversität auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe. Diese können sowohl zur Evaluierung des Status Quo herangezogen werden, als auch um mittel- und langfristige Auswirkungen von Veränderungen der Flächenbewirtschaftung und der umgebenden Landschaft auf die Artenvielfalt zu dokumentieren. Neumann und Dierking (2014) beispielsweise machen für landwirtschaftliche Betriebe in Schleswig-Holstein eine Abschätzung der gesamtbetrieblichen Biodiversität an einem Indikatorenset von 17 Parametern fest. Diese setzen sich zusammen aus der Anzahl der Nutzungstypen, der Ausstattung mit Landschaftselementen, Kenngrößen zu Äckern und Bewirtschaftungsmaßnahmen für Grünland. Die so ermittelten Biodiversitätswerte wiesen einen signifikanten Zusammenhang mit der Anzahl beobachteter Vogelindividuen sowie dem prozentualen Anteil von HNV (high nature value)-Farmland an der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf. Geht es gleichzeitig um die Honorierung biodiversitätsfördernder Maßnahmen oder einer biodiversitätsfördernden Wirtschaftsweise des Landwirts, werden regelmäßig Punktesysteme verwendet. Beispiele hierfür sind das Projekt „Landwirtschaft für Artenvielfalt“ in Nordostdeutschland (Gottwald & Stein-Bachinger 2016) und das Projekt „Mit Vielfalt punkten“ aus der Schweiz (Birrer et al. 2015). Die Validität solcher Punktesysteme wird üblicherweise durch eine begleitende bzw. nachträgliche Erfassung der Artenvielfalt und die Überprüfung einer Korrelation zwischen betrieblicher Punktezahl und gemessener Artenvielfalt sichergestellt (z.B. Jenny et al. 2013, Birrer et al. 2014). Auch anhand der zeitlichen Entwicklung solcher betrieblicher Punktezahlen lassen sich Veränderungen dokumentieren.

Ein Nachteil derartiger Indikatorenssysteme ist, dass sie häufig aus einer Vielzahl von Parametern aufgebaut sind, für die dementsprechend viele Daten erhoben oder zusammengestellt werden müssen. Eine andere Herangehensweise zur Abbildung der Biodiversität ist

daher, mit statistischen Verfahren Modelle zu entwickeln, bei denen aus einem Set möglicher relevanter Parameter diejenigen herausgefiltert werden, mit denen sich die Artenvielfalt am besten vorhersagen lässt. Dies hat zum Ziel, das Parameterset und damit auch die für die Modellierung erforderlichen Daten zu reduzieren und gleichzeitig die Vorhersagequalität zu erhöhen. Ein solches Modell haben beispielsweise Pywell et al. (2004) für Tagfalter in England entwickelt, um die Habitatqualität von Flächen in einer intensiv bewirtschafteten Agrarlandschaft für diese Artengruppe messen zu können (vgl. Kap. 2.1).

Soll die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft nicht nur auf wenigen Modellbetrieben, sondern möglichst flächendeckend ermittelt werden, um Naturschutzleistungen von Landwirten bilanzieren und vergleichen zu können sowie naturschutzfachliche Maßnahmen abzuleiten, fehlen dazu bislang praktikable und gleichzeitig valide Modelle bzw. Indikatorensets. Vor-Ort-Erfassungen von Arten sind zwar wünschenswert, flächendeckend sowohl aus Kosten- als auch aus Zeitgründen allerdings unrealistisch, so dass hierfür Modelle und Indikatorensets benötigt werden, die zeiteffizient und praxisnah in der Datenerhebung und Anwendung sind. Neben dem aktuellen Zustand könnten mithilfe solcher Indikatorensets bzw. Modelle mittel- und langfristig auch Auswirkungen von Umwelt- bzw. Bewirtschaftungsveränderungen auf die Artenvielfalt des Betriebs und seiner Umgebung dokumentiert und bewertet werden.

1.2.2. Methoden zur Modellierung und Bewertung von Auswirkungen klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten

Im Bereich der Klimafolgenforschung werden unterschiedliche Methoden eingesetzt, um gegenwärtige Auswirkungen des Klimawandels auf Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosysteme zu ermitteln und zukünftige Auswirkungen abzuschätzen.

Wie zur Dokumentation von Landnutzungsänderungen (vgl. Kap. 1.2.1) werden auch zur Erfassung von Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt tierartenbezogene Daten als Indikatoren verwendet (Braeckevelt et al. 2018). Diese Indikatoren können sich auf Populationstrends, Veränderungen der relativen Häufigkeiten von Arten, die Verschiebung von Verbreitungsgebieten oder auf Veränderungen in der Zusammensetzung von Artengemeinschaften beziehen. Beispiele für solche Indikatoren sind der SEBI-Indikator „Impact of climatic change on bird populations“ der Europäischen Umweltagentur (Gregory et al. 2009, EEA 2010) sowie der „Community Temperature Index (CTI)“ für Vögel und Tagfalter (Devictor et al. 2012, EEA 2017) und die Indikatoren „Temperaturindex häufiger Brutvogelarten“ und „Verbreitung warmadaptierter mariner Arten“, die in das Monitoring zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel einfließen (Wahl et al. 2015, UBA 2015). Weiterhin sind auf Bundesebene Indikatoren in Entwicklung, die sich auf Veränderungen in der Phänologie von Arten beziehen (Braeckevelt et al. 2018).

Neben der Ermittlung bereits dokumentierbarer Veränderungen versucht die Klimafolgenforschung Aussagen über zukünftige Entwicklungen anhand bereits beobachteter Veränderungen sowie anhand von Informationen zur Physiologie und Ökologie der Arten vor dem Hintergrund von Projektionen über zukünftige klimatische Entwicklungen zu treffen. Dazu muss auch mit Expertenwissen und Analogieschlüssen gearbeitet werden.

Eine der dafür angewendeten Methoden sind Sensitivitäts- bzw. Vulnerabilitätsanalysen. Die Sensitivität einer Art wird dabei durch intrinsische Faktoren wie beispielsweise physiologische Toleranzschwellen gegenüber Temperaturen, die genetische Diversität der Art und ihre

Anpassungsfähigkeit an Umweltveränderungen bestimmt. Aus dem Zusammenspiel mit extrinsischen Faktoren wie etwa klimatischen Veränderungen, denen die Art ausgesetzt ist, leitet sich ihre Vulnerabilität ab (Williams et al. 2008). Solche Analysen wurden z.B. von Behrens et al. (2009) zur Ermittlung von Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen, von Schlumprecht et al. (2010) für die FFH-Arten Deutschlands, von Rabitsch et al. (2010) für prioritäre Zielarten des zoologischen Artenschutzes in Deutschland und von Weiß et al. (2011) für die in Anhang II und IV der FFH-Richtlinie sowie in Anhang I der Vogelschutzrichtlinie geführten Arten der Metropolregion Hannover - Braunschweig - Göttingen - Wolfsburg durchgeführt.

Ein anderer Ansatz ist die Arbeit mit *climate envelope models* oder *bioclimatic envelope models*, die im Deutschen Klimahüllen- oder Klima-Nischen-Modelle genannt werden. Als Klimahülle werden dabei die klimatischen Bedingungen innerhalb des Areals, in welchem eine Art gegenwärtig verbreitet ist, verstanden. Für die Abgrenzung der Klimahülle werden Klimavariablen verwendet, die für die Verbreitung der Art bzw. Artengruppe als bedeutsam angesehen werden. Huntley et al. (2007), die zukünftige Arealverschiebungen anhand der Klimahüllen von insgesamt 431 europäischen Brutvogelarten modelliert haben, haben sich dafür auf die Klimavariablen „Durchschnittliche Temperatur des kältesten Monats“, „Jährliche Temperatursumme über 5°C“ und „Jährliches Verhältnis von tatsächlicher zu potenzieller Evapotranspiration“ bezogen. Auf Basis der so abgegrenzten Klimahülle und zukünftiger Klimaprojektionen für die betreffenden Variablen kann die zukünftige Verbreitung dieser Klimahülle und damit die potenzielle Verbreitung der Art modelliert werden. Solche Modellierungen gibt es europaweit für eine Reihe von Artengruppen - neben Brutvögeln (Huntley et al. 2007) z.B. auch für Amphibien und Reptilien (Araújo et al. 2006), Tagfalter (Settele et al. 2008) und Fledermäuse (Rebelo et al. 2010).

Neben der zukünftigen Verbreitung von Arten kann auch die zukünftige räumliche Ausdehnung von Klimaten losgelöst von den Ansprüchen spezifischer Arten modelliert werden. Die Methode der analogen bzw. nicht-analogen Klimate wird in diesem Zusammenhang genutzt, um zu analysieren, wie sich die Ausbreitung heutiger Klimate zukünftig verändern wird (Ohlemüller et al. 2006, Williams et al. 2007). Dabei werden Kombinationen von Ausprägungen bestimmter Klimavariablen aggregiert und in ihrer räumlichen Verbreitung beschrieben. Anhand von zukünftigen Klimaprojektionen werden dann in einem weiteren Schritt die Verschiebung der Verbreitung der zuvor beschriebenen Klimate sowie das Entstehen neuer, bisher nicht dokumentierter Klimate untersucht. Neue Kombinationen von Klimabedingungen oder bisherige Kombinationen von Klimabedingungen, die zukünftig im Gebiet nicht mehr vorkommen, werden dabei als nicht-analoge Klimate bezeichnet, da sie entweder in der Gegenwart oder in der Zukunft keine Entsprechung haben. Für analoge Klimate, das heißt Kombinationen von Klimabedingungen, die sowohl gegenwärtig als auch zukünftig in einem Gebiet vorkommen, kann einerseits ihre Zu- oder Abnahme und andererseits die zukünftige Verschiebung ihrer räumlichen Verortung ermittelt werden (Ohlemüller et al. 2006).

In die Analyse analoger bzw. nicht-analoger Klimate können auch Artverbreitungsdaten einbezogen werden. Verschieben sich Klimate, kann sich dies auf die Zusammensetzung der Artenpools einer Region auswirken (vgl. Böhning-Gaese et al. 2004). Zur Abschätzung solcher Veränderungen im Artenpool einer Region kann dieser im Sinne einer *space-for-time substitution* mit den Artenpools von Regionen verglichen werden, die gegenwärtig klimati-

sche Bedingungen aufweisen, wie sie für die zu untersuchende Region zukünftig projiziert werden („zukünftig klimaanalogue Räume“). Als *space-for-time substitution* werden Methoden bezeichnet, die versuchen, zeitliche Prozesse in Ökosystemen anhand von räumlichen Mustern zu analysieren, d.h. der Prozess wird über eine räumliche anstatt über eine zeitliche Sequenz beobachtet. Diese Methode wird vor allem eingesetzt, um Prozesse zu analysieren, die sich nicht beobachten lassen, da sie in der Vergangenheit oder Zukunft liegen (vgl. Blois et al. 2013). Übertragen auf die Klimafolgenforschung können also mögliche zukünftige Veränderungen durch eine Analyse von räumlichen Gradienten mit unterschiedlichen Klimabedingungen abgeschätzt werden. Skov et al. (2009) haben mit diesem Ansatz mögliche zukünftige Veränderungen in der Flora und Vegetation Dänemarks untersucht, Bergmann et al. (2010) haben so analysiert, inwiefern Pflanzenarten aus dem Artenpool der Iberischen Halbinsel aufgrund geeigneter Klimate möglicherweise zukünftig nach Deutschland einwandern könnten.

Forschungslücken in der Modellierung und Bewertung von klimawandelbedingten Umweltveränderungen sind vor allem auf der regionalen Ebene zu sehen, wo Abschätzungen über solche Auswirkungen auf Arten und Lebensräume oft fehlen, aber benötigt werden, um den naturschutzfachlichen Handlungsbedarf für Anpassungsstrategien und -maßnahmen zu identifizieren und zu konkretisieren. Dazu gilt es zu ermitteln, in welchem Ausmaß Artengemeinschaften eines Naturraums als empfindlich gegenüber Klimaänderungen einzuschätzen sind, welche Artengruppen möglicherweise besonders betroffen sind und wie sich klimabedingte Arealverschiebungen auf die Zusammensetzung regionaler Artengemeinschaften auswirken könnten. Auch für die niedersächsischen naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“ fehlen solche Studien bisher.

1.2.3. Naturschutzfachliche Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Klimawandel- und Landnutzungseinflüssen auf Tierarten

Zur Verringerung negativer Landnutzungseinflüsse und zur Förderung der Biodiversität in der Agrarlandschaft gibt es eine Vielzahl - z.T. sehr konkreter und in ihrer Wirksamkeit überprüfter - Empfehlungen und Maßnahmen. Zusammenstellungen finden sich beispielsweise in Dicks et al. (2013), Fuchs & Stein-Bachinger (2008) und Gottwald & Stein-Bachinger (2016). Solche Maßnahmen können sowohl auf unter landwirtschaftlicher Nutzung stehenden Flächen als auch auf landwirtschaftlichen Nebenflächen umgesetzt werden. Positiv auf die Artenvielfalt der Agrarlandschaft wirkt sich in einer Vielzahl von Untersuchungen der ökologische Landbau (Hole et al. 2005, Bengtsson et al. 2005, Rahmann 2011) bzw. der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel (Geiger et al. 2010, Bright et al. 2008) aus. Weiterhin ist ein positiver Einfluss auf die Artenvielfalt - insbesondere die avifaunistische - durch die Wahl der angebauten Feldfrüchte möglich, beispielsweise durch einen nur geringen Anteil von Mais (Hoffmann et al. 2012), durch den vermehrten Anbau von Sommergetreide (Fuchs & Stein-Bachinger 2008, Eggers et al. 2011) oder allgemein durch eine hohe Fruchtartenvielfalt (Hoffmann et al. 2012). Auch die Schaffung lichter Bestände durch doppelte Reihenabstände, reduzierte Saatstärken, Bracheinseln oder Drilllücken kann zu einer Steigerung der Artenvielfalt oder der Besiedlungsdichte von Arten infolge einer Verbesserung des Angebots an Nahrungsflächen und Brutplätzen beitragen (Fuchs & Stein-Bachinger 2008, Joest 2009). Auf die Bedeutung extensiver Bewirtschaftung bzw. lichter Bestände für die Biodiversität deuten auch europaweit dokumentierte, stark negative Zusammenhänge zwischen Getreie-

deerträgen und der Artenvielfalt von Pflanzen, Laufkäfern und bodenbrütenden Feldvögeln hin (Geiger et al. 2010).

Weitere Beispiele für auf Ackerflächen realisierbare Maßnahmen mit möglichen positiven Einflüssen auf die Artenvielfalt bzw. auf die Bestände von Arten sind Ackerrandstreifen (de Snoo 1999), eine späte Stoppelbearbeitung bzw. die Überwinterung von Stoppelfeldern (Fuchs & Stein-Bachinger 2008), die Verkleinerung von Schlägen (Hötker & Leuschner 2014, vgl. auch Marshall et al. 2006) und auf bestimmte Arten zugeschnittene Agrarumweltmaßnahmen wie z.B. Feldlerchenfenster (Donald & Morris 2005, Cimiotti et al. 2011). Neben dem Ackerland stellt das Grünland einen wichtigen Schwerpunkt für biodiversitätserhaltende und -fördernde Maßnahmen auf bewirtschafteten Flächen dar (s. z.B. Hötker & Leuschner 2014, Südbeck & Krüger 2004).

Maßnahmen zur Förderung der Artenvielfalt sind aber auch angrenzend an bewirtschaftete Flächen von besonderer Bedeutung. Hier ist vor allem die Erhöhung des Anteils von Strukturelementen und naturnahen Habitaten in der Agrarlandschaft, beispielsweise von Hecken, Rainen und Säumen, Gräben und Kleingewässern sowie deren Erhalt durch fachgerechte Pflege zu nennen (Hoffmann et al. 2012, Kretschmer et al. 1995, Fuller et al. 2004, Herzon & Helenius 2008). Auch die Anlage von Brachflächen ist für viele Arten als wichtige Maßnahme anzusehen (Hoffmann et al. 2012, van Buskirk & Willi 2004). Daneben kann sich die Anlage von mehrjährigen Blühstreifen positiv auf die Arten der Agrarlandschaft auswirken (Haaland & Gyllin 2010, Meek et al. 2002, Wix et al. 2018).

Auch zu naturschutzfachlichen Klimaanpassungsstrategien und -maßnahmen finden sich in der Literatur bereits eine Reihe von Empfehlungen (Hannah et al. 2002, Heller & Zavaleta 2009, Lawler 2009, Mawdsley et al. 2009). Zwei Strategien werden dabei besonders häufig genannt. Die eine ist die Minimierung derzeitiger Stressoren, wie beispielsweise Habitatverlust und -fragmentierung sowie stoffliche Belastungen, um so die Habitatverfügbarkeit und -qualität zu erhöhen und die Resilienz sowie das Anpassungspotenzial von Arten zu stärken (Heller & Zavaleta 2009, Hodgson et al. 2009, Lawler 2009, Mawdsley et al. 2009). Die andere ist eine Förderung der Konnektivität in der Landschaft durch eine Stärkung des Biotopverbunds mit der Schaffung von Ausbreitungskorridoren und der Beseitigung von Ausbreitungsbarrieren (Heller & Zavaleta 2009, Loss et al. 2011, Mawdsley et al. 2009, Vos et al. 2008). Weitere häufig empfohlene Klimaanpassungsstrategien und -maßnahmen betreffen ein adaptives, den Klimawandel berücksichtigendes Management von Schutzgebieten (Lawler et al. 2010, Mawdsley et al. 2009, Heller & Zavaleta 2009), eine Vergrößerung der unter Schutz gestellten Flächen (Hodgson et al. 2009, Hannah et al. 2002, Mawdsley et al. 2009), die Einrichtung von Monitoringprogrammen (Heller & Zavaleta 2009, Mawdsley et al. 2009), die Einrichtung von Pufferzonen um wertvolle Bereiche (Heller & Zavaleta 2009) und die Umsiedlung von Arten, denen die Anpassung vor Ort oder durch Wanderung nicht möglich ist (Loss et al. 2011, Mawdsley et al. 2009, Hulme 2005).

Da diese Empfehlungen zu naturschutzfachlichen Klimaanpassungsmaßnahmen eher genereller Art sind und unspezifisch bleiben, ist vielen Praktikern jedoch unklar, welche Maßnahmen Priorität haben und wie diese konkret umgesetzt werden sollen und können (vgl. Biesbroek et al. 2010, Heller & Zavaleta 2009). Dies spiegelt sich auch in den Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen in Deutschland wider, in denen Klimawandelaspekte zwar in zunehmendem Maße benannt, konkrete diesbezügliche Ziele oder Maßnahmen

aber nur selten abgeleitet werden (UBA 2015). Zur Klimaanpassung braucht es nicht nur generelle Empfehlungen oder Strategien auf Bundes- oder Länderebene, sondern auch eine Konkretisierung von Prioritäten und Maßnahmen für die regionale Ebene. Einer solchen Konkretisierung müssen wiederum regionsspezifische Abschätzungen zur Klimaempfindlichkeit von Arten, zu derzeitigen Gefährdungsursachen und zu möglichen klimabedingten Veränderungen von Artengemeinschaften zugrunde liegen (vgl. Kap. 1.2.2). Für die niedersächsischen naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“ fehlen solche Konzepte bislang.

Die Entwicklung und Umsetzung naturschutzfachlicher Prioritäten und Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Landnutzung und Klimawandel fällt in den Zuständigkeitsbereich unterschiedlicher Akteure. Im Bereich Klimawandel sind die relevanten Akteure vor allem in den Naturschutzverwaltungen und im ehrenamtlichen Naturschutz zu sehen. Für die Umsetzung naturschutzfachlicher Maßnahmen im Bereich Landnutzung sind neben dem behördlichen und ehrenamtlichen Naturschutz auch Landwirte und Unternehmen, die landwirtschaftliche Erzeugnisse verarbeiten, gefragt. Für lebensmittelerzeugende Unternehmen aus der Biobranche ist Artenvielfalt in den letzten Jahren zu einem immer wichtigeren Thema geworden (Kempa 2013). Um ihren Kunden transparent und glaubwürdig kommunizieren zu können, was ihre Zulieferlandwirte für den Erhalt und die Förderung der Artenvielfalt leisten, ist für solche Firmen sowohl eine Ermittlung des Status Quo auf den Betrieben als auch eine Quantifizierung des Erfolgs biodiversitätsfördernder Maßnahmen interessant. Daher sind zur flächendeckenden Ermittlung der Biodiversität auf den Betrieben Indikatoren bzw. Modelle gefragt, die nicht nur mit einer allgemeinen Förderung der Biodiversität korrelieren, sondern sich konkret auf die Artenzahlen der Betriebsflächen beziehen. Auf Basis dieser Analysen können Maßnahmen für die Betriebsebene abgeleitet werden, deren Potenzial zur Steigerung der Artenvielfalt wiederum über die entsprechenden Modelle ermittelt werden kann. Derartige Indikatorensets bzw. Modelle fehlen bisher. Da fast 52% der Fläche Deutschlands landwirtschaftlich genutzt werden (Statistisches Bundesamt 2017), liegt ein großes Potenzial zum Schutz und zur Steigerung der Artenvielfalt in der Entwicklung und Anwendung solcher Indikatorensysteme und Modelle.

1.3. Forschungsfragen und Aufbau der Arbeit

Vor dem Hintergrund des Stands der Forschung sowie der dargelegten Wissenslücken soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag dazu leisten, Auswirkungen landnutzungs- und klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten auf der regionalen bzw. lokalen Ebene zu ermitteln und zu bewerten, um darauf aufbauend geeignete und für die jeweilige Ebene hinreichend konkrete naturschutzfachliche Maßnahmen zur Verminderung negativer Auswirkungen ableiten zu können.

Dazu werden folgende Forschungsfragen beispielhaft für einzelne Regionen, Lebensräume und Artengruppen untersucht:

1. Anhand welcher Indikatorensets und Modelle lässt sich die Artenvielfalt auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe praxistauglich, zeiteffizient und wissenschaftlich valide abbilden, um sowohl den Status Quo als auch Veränderungen durch Naturschutzmaßnahmen und die Landnutzung abschätzen zu können?
2. An welchen Kriterien lässt sich eine Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber klimatischen Veränderungen auf naturräumlicher Ebene festmachen und wie empfindlich reagieren Tierarten unterschiedlicher Naturräume auf solche Veränderungen?
3. Mit welchen Methoden kann ein möglicher klimawandelbedingter Turnover in Artengemeinschaften eines Naturraums abgeschätzt und wie können Prognosen über die klimabedingte Zu- und Abwanderung von Arten in einem Naturraum getroffen werden?
4. Welche Maßnahmen zum Erhalt und zur Förderung der Artenvielfalt lassen sich basierend auf den Ergebnissen solcher Analysen und unter Berücksichtigung naturschutzfachlicher Empfehlungen auf lokaler und regionaler Ebene ableiten?
5. Welche Synergien ergeben sich im Hinblick auf naturschutzfachliche Prioritäten und Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Klimawandel und Landnutzung und welche Grenzen weisen die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Methoden zur Einschätzung solcher Auswirkungen auf?

Die Forschungsfragen werden in insgesamt sieben Veröffentlichungen sowie im Kapitel 4 der vorliegenden Arbeit beantwortet.

Die Kapitel 2.1., 2.2 und 2.3 (Veröffentlichung 1, 2 und 3) befassen sich mit der Forschungsfrage 1, die Kapitel 2.1. und 2.2 darüber hinaus zusätzlich mit der Forschungsfrage 4. Auf Basis einer umfangreichen Literaturstudie und deutschlandweiter Datenerhebungen werden Indikatoren identifiziert und darauf aufbauend Modelle entwickelt, mit deren Hilfe der Artenreichtum auf landwirtschaftlichen Flächen modelliert werden kann. Dabei wird auf eine einfache und praxistaugliche Handhabbarkeit der Indikatoren und Modelle bei gleichzeitiger Sicherstellung ihrer Validität geachtet. Die Modelle dienen dazu, artenreichere von artenärmeren Flächen und Strukturelementen zu unterscheiden, um Maßnahmen zur Aufwertung artenärmerer Flächen und Strukturelemente ableiten zu können. Kapitel 2.1 befasst sich dabei mit der Artenvielfalt von Tagfaltern auf Rainen, Kapitel 2.2 mit der Artenvielfalt von Vögeln in Hecken und Kapitel 2.3 mit der Artenvielfalt von Vögeln auf Äckern.

Kapitel 3.1.1 (Veröffentlichung 4) behandelt die Forschungsfrage 2. Dazu werden mit Hilfe einer kriterienbasierten Empfindlichkeitsanalyse solche in Niedersachsen vorkommende Arten identifiziert, die aufgrund ihrer ökologischen und physiologischen Eigenschaften eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber den projizierten Auswirkungen des Klimawandels in Harz und Lüneburger Heide aufweisen (Kapitel 3.1.1). Hierbei werden alle auf den niedersächsischen Roten Listen geführten Tierarten der Artengruppen Brutvögel, Reptilien, Amphibien, Tagfalter, Heuschrecken und Libellen betrachtet.

Im Kapitel 3.1.2 (Veröffentlichung 5) wird dann bezugnehmend auf Forschungsfrage 4 für die als klimaempfindlich identifizierten Arten analysiert, welche Stressoren bereits heute auf diese Arten wirken, um daraus Handlungsempfehlungen für den klimawandelbezogenen Naturschutz abzuleiten. Dabei wird auch berücksichtigt, welche Arten möglicherweise von Biotopverbundmaßnahmen als Anpassung an den Klimawandel profitieren.

Die Kapitel 3.2.1 und 3.2.2 (Veröffentlichungen 6 und 7) behandeln die Forschungsfrage 3 mit einem Fokus auf Auswirkungen des Klimawandels auf die Vogellebensgemeinschaften der Lüneburger Heide. Diese werden mit Hilfe der Methode des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume (vgl. Kap. 1.2) untersucht. Dazu werden zum Naturraum Lüneburger Heide zukünftig klimaanaloge Räume zunächst identifiziert und beschrieben sowie der zugrundeliegende Korridor der Klimaprojektionen diskutiert (Kapitel 3.2.1). Anschließend wird die Methode des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume für die Artengruppe Vögel weiterentwickelt, am Beispiel des Naturraums Lüneburger Heide angewendet und einschließlich ihrer naturschutzfachlichen Konsequenzen diskutiert (Kapitel 3.2.2).

Das Kapitel 4 dient der Beantwortung der Forschungsfrage 5. Hier werden die Ergebnisse der Einzelveröffentlichungen zusammengefasst und diskutiert, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf der kritischen Betrachtung der methodischen Grenzen liegt (Kapitel 4.1.1 und 4.2.4). Weiterhin werden Synergien und Zielkonflikte im Hinblick auf klimawandel- bzw. landnutzungsbezogene naturschutzfachliche Prioritäten und Maßnahmen beleuchtet (Kapitel 4.3.3). Abschließend wird in einem Ausblick der weitere Forschungsbedarf dargelegt (Kapitel 5).

2. Ermittlung, Bewertung und Möglichkeiten zur Verminderung von Auswirkungen landnutzungsbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten

2.1. Assessing the value of field margins for butterflies and plants: how to document and enhance biodiversity at the farm scale

Sybertz, J.; Matthies, S.; Schaarschmidt, F.; Reich, M.; von Haaren, C. (2017): Assessing the value of field margins for butterflies and plants: how to document and enhance biodiversity at the farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 249: 165-176.

doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.018>

Beiträge der Autoren: Die Studie wurde von JS, SM, FS, MR und CH konzipiert. Die Datenerhebung und -analyse erfolgte durch JS (Tagfalter) und SM (Pflanzen), bei der Datenanalyse unterstützte zusätzlich FS. Die Ausarbeitung des Artikels erfolgte durch JS und SM mit Beiträgen von FS, MR und CH.

Abstract

With ongoing biodiversity loss in agricultural landscapes, there is an increasing demand to document how farmers preserve and enhance biodiversity on their farmland. This subject is not only of interest for conservation authorities and NGOs, food companies also look for ways to integrate biodiversity issues into their corporate activities. They want to know how their farm product suppliers contribute to biodiversity on their land. However, species counting and mapping on contracted farms seems unrealistic to these companies. Therefore, we aimed to devise simple and easy-to-use but scientifically sound parameters to assess the biodiversity value of farmlands. For this we focused on estimating the value of field margins for butterflies and typical vascular grassland plants. We identified 13 parameters that are of likely importance for the species numbers of butterflies and 14 parameters likely to be important for the species numbers of plants on field margins. These parameters were tested on a total of 70 field margins on seven farms located throughout Germany. Automatic linear modelling procedures selected six parameters as the most important variables in predicting butterfly numbers: the landscape heterogeneity of the surroundings, the time of mowing, the width and length of the margin, the grass-herb-ratio and the management of the adjacent field. For predicting plant species numbers, the automatic linear modelling procedures again selected six parameters as best predictors: the length of the margin, the presence of trees and/or shrubs, the amount of source habitats in the surroundings, the width of the margin, the nutrient availability and the landscape heterogeneity of the surroundings. The adapted final model for butterfly species numbers explained 63% of the variation. The adapted final model for typical vascular grassland plant species numbers, which excluded the margin width variable as it did not prove stable in cross-validation procedures, explained 67% of the variation in plant species numbers. Both models can be used by farmers and food companies alike to rapidly assess the present value of field margins for butterflies and plants on their (contracted) farms and to identify potential and appropriate measures to enhance biodiversity.

2.2. Biodiversity modelling in practice - predicting bird and woody plant species richness on farmlands

Sybertz, J.; Matthies, S.; Schaarschmidt, F.; Reich, M.; von Haaren, C. (2020): Biodiversity modelling in practice - predicting bird and woody plant species richness on farmlands. *Ecosystems and People* 16: 19-34.

doi: 10.1080/26395916.2019.1697900

Beiträge der Autoren: Die Studie wurde von JS, SM, FS, MR und CH konzipiert. Die Datenerhebung und -analyse erfolgte durch JS (Vögel) und SM (Pflanzen), bei der Datenanalyse unterstützte zusätzlich FS. Die Ausarbeitung des Artikels erfolgte durch JS und SM mit Beiträgen von FS, MR und CH.

Abstract

In light of decreasing species richness on farmland and an increasing awareness of biodiversity issues among customers and food companies, concepts and models to evaluate and enhance farmland biodiversity are greatly needed. It is important that the models are easy to apply as they have to be utilized by practitioners such as farmers and their consultants. In this study, simple but valid predictors were identified to rapidly assess the species richness of birds and woody plants in hedgerows, an important farmland landscape element. Hedgerows were sampled in seven agricultural landscapes throughout Germany. By means of automatic model selection procedures, linear regression models were estimated to predict bird and woody plant species richness. Cross validation procedures were carried out in order to visualize model selection uncertainty and estimate the prediction error. Due to a rather high prediction error, the model for plants can only be recommended for use when field work is not feasible. The model for birds, however, explained 70.8% of the variance in species numbers. It may help farmers, food companies and nature conservation agencies to rapidly evaluate bird species richness in hedgerows on farmland and to identify potentials and appropriate measures for enhancing it.

2.3. Modellgestützte Ermittlung der Vogelartenvielfalt auf Ackerflächen

Basierend auf:

Matthies, S.; Sybertz, J.; Reich, M.; von Haaren, C. (2016): „Firmen fördern Vielfalt“. Praxis-taugliche Erfassung, Bewertung und Darstellung der „Naturschutz-Biodiversität“ auf Zulieferbetrieben von Nahrungsmittelunternehmen. Im Selbstverlag, IUP Leibniz Universität Hannover.

Online verfügbar unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-31112.pdf>

Beiträge der Autoren: Die Studie wurde von SM, JS, MR und CH konzipiert. Die Datenerhebung und -analyse erfolgte durch SM (Pflanzen) und JS (Vögel). Die Ausarbeitung der Veröffentlichung erfolgte durch SM und JS mit Beiträgen von MR und CH. Der vorliegende Beitrag stellt einen Kurzauszug der Studie dar und befasst sich ausschließlich mit der Artengruppe Vögel auf Äckern.

Im Forschungsprojekt „Firmen fördern Vielfalt“ wurde untersucht, in wieweit sich die Artenvielfalt von Vögeln auf Äckern anhand von indikatorbasierten Modellen mit einfach erfassbaren Eingangsdaten ermitteln lässt, um so Naturschutzleistungen von Landwirten praxisnah und wissenschaftlich valide bilanzieren zu können. Als für die Artenvielfalt von Vögeln auf Äckern potenziell relevante Einflussgrößen wurden dabei anhand einer Literaturstudie die folgenden abgeleitet:

- Bewirtschaftungsart der Fläche (ökologisch oder konventionell)
(Batáry et al. 2010, Belfrage et al. 2005, Christensen et al. 1996, Fischer et al. 2011, Geiger et al. 2010, Meinert & Rahmann 2009, Smith et al. 2010)
- Angebaute Fruchtart
(Eggers et al. 2011, Fuchs & Stein-Bachinger 2008, Stein-Bachinger et al. 2010, Henderson et al. 2009, Hoffmann et al. 2012, Voigtländer et al. 2001)
- Fruchtfolge/ Fruchtartenvielfalt
(Belfrage et al. 2005)
- Bestandsdichte der Feldfrüchte
(Fuchs & Stein-Bachinger 2008, Geiger et al. 2010, Hoffmann et al. 2012)
- Weitere Agrarumweltmaßnahmen auf der Fläche - z.B. Blühstreifen
(Bernhausen et al. 2011, Bright et al. 2008)
- Landschaftselemente auf dem Acker
(Eggers et al. 2011)
- Angrenzende Strukturen - z.B. Gehölze und Gewässer
(Arnold 1983, Batáry et al. 2010, Herzon & O'Hara 2007)
- Heterogenität der umgebenden Landschaft
(Batáry et al. 2010, Billeter et al. 2008, Eggers et al. 2011, Fischer et al. 2011, Fuller et al. 2001, Herzon & O'Hara 2007, Hoffmann et al. 2012, Kretschmer et al. 1995, Marshall et al. 2006, Wretenberg et al. 2010)

Zur Überprüfung der Eignung dieser möglichen Einflussgrößen für die Modellierung der Vogelartenvielfalt auf Äckern wurden Vogelerfassungen auf sieben über Deutschland verteilten landwirtschaftlichen Betrieben (vgl. Kap. 2.1 und Kap. 2.2) zwischen März und Juli 2014 durchgeführt. Die gewählte Methodik orientierte sich dabei an Südbeck et al. (2005). Die Untersuchungsflächen wurden über eine Zufallsstichprobe gezogen. So sollte ein breites Spektrum an Validierungsdaten für die Modelle sichergestellt werden. Auf jedem der sieben Betriebe wurden 10-11 Ackerschläge fünfmal im Abstand von ca. drei Wochen begangen. Die Begehungen fanden frühmorgens ab kurz vor Sonnenaufgang statt. Die untersuchten Ackerschläge wurden flächendeckend in Transekten mit ca. 100 m Abstand abgegangen, um ein Einsehen und -hören der gesamten Fläche zu ermöglichen. Für jede Fläche wurde pro Begehung eine Artenliste erstellt, in der alle angetroffenen Arten erfasst wurden. Dabei wurde zwischen Arten unterschieden, die revieranzeigendes Verhalten zeigten (z.B. singende Männchen, Futter tragende Altvögel) und solchen, die die Strukturen lediglich zur Nahrungssuche oder Rast aufsuchten. Anschließend an die Kartierungen wurde für jede Fläche eine Gesamtartenliste erstellt. Daneben wurden die oben als mögliche Einflussgrößen beschrie-

benen Bewirtschaftungs- und Umgebungsvariablen einschließlich der Flächengröße des Ackers erhoben.

Es wurden 73 Ackerschläge untersucht, auf denen insgesamt 64 Arten festgestellt wurden. Davon zeigten 12 Arten revieranzeigendes Verhalten. Weitere 52 Arten traten lediglich als Rast- bzw. Nahrungsgäste auf. Die am häufigsten festgestellte Vogelart mit revieranzeigendem Verhalten war die Feldlerche (*Alauda arvensis*), gefolgt von der Wiesenschafstelze (*Motacilla flava*). Weitere auf den Schlägen festgestellte Arten mit revieranzeigendem Verhalten waren Grauammer (*Emberiza calandra*), Austernfischer (*Haematopus ostralegus*), Kiebitz (*Vanellus vanellus*), Heidelerche (*Lullula arborea*), Wachtel (*Coturnix coturnix*), Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*), Dorngrasmücke (*Sylvia communis*), Jagdfasan (*Phasianus colchicus*), Sumpfrohrsänger (*Acrocephalus palustris*) und Haubenlerche (*Galerida cristata*). Die häufigsten auf den Flächen erfassten Nahrungsgäste waren Rauchschnalbe (*Hirundo rustica*), Bachstelze (*Motacilla alba*) und Rabenkrähe (*Corvus corone*). Die durchschnittliche Artenzahl pro Schlag lag bei ca. 8 Arten. Es wurden insgesamt zwischen 0 und 27 Arten auf einem Schlag festgestellt.

Anhand der in den Kapiteln 2.1 und 2.2 beschriebenen Methodik wurde mit multiplen linearen Regressionsanalysen mit „forward stepwise selection“ ein Modell entwickelt, das 66,3% der Varianz der Zahl typischer Feldvogelarten (nach Hötker 2004 und Hötker 2013) auf den Ackerschlägen erklärt. Allerdings konnten allein anhand der Flächengröße schon 55% der Varianz erklärt werden. Neben der Flächengröße wurden die angebaute Fruchtart, das Vorhandensein angrenzender Strukturen wie Gehölze und Gewässer, das Vorhandensein von Landschaftselementen auf dem Acker und die Heterogenität der umgebenden Landschaft als wichtigste Variablen zur Vorhersage der Artenvielfalt identifiziert, wobei eine geringe Heterogenität in der umgebenden Landschaft mit einer hohen Artenzahl korrelierte.

Hier zeigte sich ein deutlicher Effekt der Datenlage der Stichprobe, da der positive Einfluss einer geringen Landschaftsheterogenität maßgeblich durch die hohen Artenzahlen eines Betriebs in Friedrichsgabekoog, Schleswig-Holstein, bedingt ist, die auf dessen räumliche Nähe zu Watt und Meer zurückzuführen sind. Neben dem Effekt der Stichprobe und des hohen Einflusses der Flächengröße stellte sich die grundsätzliche Frage nach der Eignung des Modells, da die Reviere der Vögel nicht an der Schlaggrenze enden, der Schlag zur Bewertung der Artenvielfalt auf Betriebsebene aber als abgegrenzte Einheit betrachtet werden musste. Grund hierfür war, dass viele Betriebe, darunter auch die Mehrheit der untersuchten, nicht arrondiert sind und z.T. weit verstreute Einzelflächen bewirtschaften. Für eine Bilanzierung der Naturschutzleistungen des Landwirts ist ein schlagbezogener Ansatz daher wünschenswert, hat sich aber für die Artengruppe der Vögel nicht als zielführend herausgestellt.

Aus diesen Gründen wurde das Modell zur Prognose der Artenvielfalt von Vögeln auf Äckern verworfen. Es wird empfohlen, Feldvogelarten besser auf einer schlag- und ggf. betriebsübergreifenden Ebene zu betrachten oder zur Bilanzierung der Naturschutzleistungen des Landwirts auf Äckern andere Artengruppen heranzuziehen, beispielsweise Gefäßpflanzen (vgl. Bredemeier et al. 2015).

Quellenverzeichnis

- Arnold, G. W. (1983): The influence of ditch and hedgerow structure, length of hedgerows, and area of woodland and garden on bird numbers on farmland. *Journal of Applied Ecology* 20 (3), 731-750.
- Batáry, P.; Matthiesen, T.; Tschardtke, T. (2010): Landscape-moderated importance of hedges in conserving farmland bird diversity of organic vs. conventional croplands and grasslands. *Biological Conservation* 143 (9), 2020-2027.
- Belfrage, K.; Björklund, J.; Salomonsson, L. (2005): The effects of farm size and organic farming on diversity of birds, pollinators, and plants in a Swedish landscape. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34 (8), 582-588.
- Bernhausen, F. Fuhr-Boßdorf, K.; Kreuziger, J.; Sacher, T.; Stübing, S. (2011): Förderung von Feldvogelgemeinschaften (Agro-Avizonosen) durch Integration von Artenhilfsmaßnahmen beim Anbau nachwachsender Rohstoffe. Frankfurt / Main: Gutachten im Auftrag der Staatlichen Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie Hessen, Projekt „Artenvielfalt in Hessen - auf Acker, Wiesen und in Gärten“, Projektsäule „Vielfalt in Fruchtfolgen im Ackerbau“.
- Billeter, R.; Liira, J.; Bailey, D.; Bugter, R.; Arens, P.; Augenstein, I.; Aviron, S.; Baudry, J.; Bukacek, R.; Burel, F.; Cerny, M.; De Blust, G.; De Cock, R.; Diekötter, T.; Dietz, H.; Dirksen, J.; Dormann, C.; Durka, W.; Frenzel, M.; Hamersky, R.; Hendrickx, F.; Herzog, F.; Klotz, S.; Koolstra, B.; Lausch, A.; Le Coeur, D.; Maelfait, J.P.; Opdam, P.; Roubalova, M.; Schermann, A.; Schermann, N.; Schmidt, T.; Schweiger, O.; Smulders, M.J.M.; Speelmans, M.; Simova, P.; Verboom, J.; van Wingerden, W.K.R.E.; Zobel, M.; Edwards, P.J. (2008): Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology* 45 (1), 141-150.
- Bredemeier, B.; von Haaren, C.; Rüter, S.; Reich, M.; Meise, T. (2015): Evaluating the nature conservation value of field habitats: A model approach for targeting agri-environmental measures and projecting their effects. *Ecological Modelling* 295, 113–122.
- Bright, J. A.; Morris, T.; Winspear, R. J. (2008): A review of Indirect Effects of Pesticides on Birds and mitigating land-management practices. *RSPB* 28.
- Christensen, K. D.; Jacobsen, E. M.; Nøhr, H. (1996): A comparative study of bird faunas in conventionally and organically farmed areas. *Dansk Orn. Foren. Tidsskr* 90, 21-28.
- Eggers, S.; Unell, M.; Pärt, T. (2011): Autumn-sowing of cereals reduces breeding bird numbers in a heterogeneous agricultural landscape. *Biological Conservation* 144 (3), 1137-1144.
- Fischer, C.; Flohre, A.; Clement, L. W.; Batáry, P.; Weisser, W. W.; Tschardtke, T.; Thies, C. (2011): Mixed effects of landscape structure and farming practice on bird diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141 (1), 119-125.
- Fuchs, S.; Stein-Bachinger, K. (2008): Naturschutz im Ökolandbau. Praxishandbuch für den ökologischen Ackerbau im norddeutschen Raum. Mainz: Bioland Verlags GmbH.
- Fuller, R. J.; Chamberlain, D. E.; Burton, N. H. K., & Gough, S. J. (2001): Distributions of birds in lowland agricultural landscapes of England and Wales: How distinctive are bird communities of hedgerows and woodland? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 84 (1), 79-92.
- Geiger, F.; Bengtsson, J.; Berendse, F.; Weisser, W. W.; Emmerson, M.; Morales, M. B.; Ceryngier, P.; Liira, J.; Tschardtke, T.; Winqvist, C.; Eggers, S.; Bommarco, R.; Pärt, T.; Bretagnolle, V.; Plantegenest, M.; Clement, L.W.; Dennis, C.; Palmer, C.; Onate,

- J.J.; Guerrero, I.; Hawro, V.; Aavik, T.; Thies C.; Flohre A.; Hänke, S.; Fischer, C.; Goedhart P.W.; Inchausti, P. (2010): Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11(2), 97-105.
- Henderson, I.G.; Ravenscroft, N.; Smith, G.; Holloway, S. (2009): Effects of crop diversification and low pesticide inputs on bird populations on arable land. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129, 149–156.
- Herzon, I.; O'Hara, R. B. (2007): Effects of landscape complexity on farmland birds in the Baltic States. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118 (1), 297-306.
- Hoffmann, J.; Berger, G.; Wiegand, I.; Wittchen, U.; Pfeffer, H.; Kiesel, J.; Ehlert, F. (2012): Bewertung und Verbesserung der Biodiversität leistungsfähiger Nutzungssysteme in Acker-baugebieten unter Nutzung von Indikatorvogelarten. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* 163. Ribbesbüttel: Saphir-Verlag.
- Kretschmer, H.; Pfeffer, H.; Hoffmann, J.; Schrödl, G.; Fux, I. (1995): Strukturelemente in Agrarlandschaften Ostdeutschlands. Bedeutung für den Biotop-und Artenschutz. Münchenberg: ZALF-Bericht Nr.19.
- Marshall, E. J. P.; West, T. M.; Kleijn, D. (2006): Impacts of an agri-environment field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113 (1), 36-44.
- Meinert, R.; Rahmann, G. (2010): Entwicklung einer Brutvogelgemeinschaft sechs Jahre nach Umstellung auf den Ökologischen Landbau in Norddeutschland. *Ressortforschung für den Ökologischen Landbau* 2009, 31-48.
- Smith, H. G.; Dänhardt, J.; Lindström, A.; Rundlöf, M. (2010): Consequences of organic farming and landscape heterogeneity for species richness and abundance of farmland birds. *Oecologia* 162 (4), 1071-1079.
- Stein-Bachinger, K.; Fuchs, S.; Gottwald, F.; Helmecke, A.; Grimm, J.; Zander, P.; Schuler, J.; Bachinger, J.; Gottschall, R. (2010): Naturschutzfachliche Optimierung des Ökologischen Landbaus „Naturschutzhof Brodowin. Ergebnisse des E+E-Projektes „Naturschutzhof Brodowin“. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 90, Münster: BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag.
- Südbeck, P.; Andretzke, H.; Fischer, S.; Gedeon, K.; Schikore, T.; Schröder, K.; Sudfeldt, C. (Hrsg.; 2005): *Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands*. Raldorfzell.
- Voigtländer, U.; Scheller, W.; Martin, C. (2001): Ermittlung von Ursachen für die Unterschiede im biologischen Inventar der Agrarlandschaft in Ost- und Westdeutschland als Grundlage für die Ableitung naturschutzverträglicher Nutzungsverfahren : Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 808 02 005 des Bundesamtes für Naturschutz. Münster: BfN Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag.
- Wretenberg, J.; Pärt, T.; Berg, A. (2010): Changes in local species richness of farmland birds in relation to land-use changes and landscape structure. *Biological Conservation* 143 (2), 375-381.

3. Modellierung, Bewertung und Möglichkeiten zur Verminderung von Auswirkungen klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten

3.1. Tierarten in Harz und Lüneburger Heide

3.1.1. Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber den bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwarteten Klimaänderungen in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“

Sybertz, J.; Reich, M. (2018): Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber den bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwarteten Klimaänderungen in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“. Umwelt und Raum 10: 7-56.

doi: <https://doi.org/10.15488/4237>

Beiträge der Autoren: Die Studie wurde JS und MR konzipiert und von JS mit Unterstützung von MR durchgeführt. Die Konzeption und Ausarbeitung des Artikels erfolgte durch JS mit Beiträgen von MR.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsverbunds KLIFF („Klimafolgenforschung in Niedersachsen“, 2009 - 2013) wurde die Empfindlichkeit von insgesamt 227 nach Roter Liste gefährdeten Arten der Artengruppen Brutvögel, Amphibien, Reptilien, Tagfalter, Libellen und Heuschrecken gegenüber Auswirkungen des Klimawandels in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“ untersucht. Neben der Empfindlichkeit gegenüber spezifisch klimawandelbedingten Auswirkungen wurde auch die Empfindlichkeit gegenüber Umweltveränderungen im Allgemeinen ermittelt, um so Rückschlüsse auf das Anpassungspotential einer Art ziehen zu können.

Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist auf Grundlage der ausgewerteten Klimaprojektionen in beiden naturräumlichen Regionen mit einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur, einer Zunahme von Wärmeextremen, einer Verkürzung von Kälteperioden und einer Verschiebung der Niederschlagsverhältnisse (Abnahme der Sommer- und Zunahme der Winterniederschläge) zu rechnen. Gegenüber diesen Klimaänderungssignalen weisen 43% der untersuchten Arten eine erhöhte Empfindlichkeit auf, die meisten allerdings in geringem bis mäßigem Umfang. Die höchste Klimaempfindlichkeit zeigen zwei Vertreter der Artengruppe Libellen, *Aeshna subarctica elisabethae* und *Somatochlora alpestris*. Insgesamt scheinen mehr Arten negativ von einer Abnahme der Sommerniederschläge betroffen zu sein als von einer Erhöhung der Temperaturen. Für die untersuchten Arten lässt sich im Durchschnitt gegenüber Umweltveränderungen im Allgemeinen eine höhere Empfindlichkeit feststellen als gegenüber spezifisch klimawandelbedingten Auswirkungen.

Zukünftige mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten abzuschätzen ist mit einer Reihe von Unsicherheiten verbunden. Trotzdem sind solche Prognosen aus Naturschutzsicht wichtig, um rechtzeitig Anpassungsmaßnahmen treffen zu können. Es wird empfohlen, basierend auf den Ergebnissen der Empfindlichkeitsanalysen an den Klimawandel angepasste naturschutzfachliche Ziele und Managementstrategien zu entwickeln, die diese Unsicherheiten berücksichtigen. Vor allem dem Erhalt und der Renaturierung von Feuchtgebieten kommt vor dem Hintergrund des Klimawandels eine hohe Bedeutung zu. Auch Biotopverbundkonzepte, die insbesondere den Arten besonders betroffener Lebensräume eine Anpassung durch Wanderung ermöglichen, sind notwendig und sinnvoll.

3.1.2. Naturschutzfachliche Prioritäten zur Unterstützung der Anpassung von Tierarten an den Klimawandel in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“

Sybertz, J. (2018): Naturschutzfachliche Prioritäten zur Unterstützung der Anpassung von Tierarten an den Klimawandel in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“. Umwelt und Raum 10: 57-91.

doi: <https://doi.org/10.15488/4238>

Beiträge der Autoren: JS ist Alleinverfasserin des Artikels.

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist es eine wichtige Aufgabe des Naturschutzes, Anpassungsstrategien zu entwickeln und umzusetzen, die Arten das Überleben vor Ort oder die Abwanderung in neue geeignete Lebensräume ermöglichen. Es gibt bereits eine Reihe von Vorschlägen für solche naturschutzfachlichen Anpassungsstrategien - was für die Umsetzung in der Regel fehlt, ist eine hinreichende Konkretisierung von Maßnahmen für die regionale Ebene. Ziel dieser Studie war eine solche Konkretisierung für die beiden niedersächsischen naturräumlichen Regionen Harz und Lüneburger Heide und Wendland, um die Implementierung von Anpassungsstrategien in den regionalen Naturschutz zu fördern. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Strategien „Reduzierung derzeitiger Stressoren“ zur Erhöhung der Resilienz von Arten vor Ort und „Schaffung von Biotopverbundstrukturen“ zur Unterstützung der Anpassung durch Wanderung.

Dazu wurden die deutschlandweit wichtigsten Gefährdungsursachen der in Harz und Lüneburger Heide potentiell klimaempfindlichen und naturschutzfachlich besonders relevanten Arten ermittelt und darauf aufbauend art- und lebensraumübergreifende Handlungsprioritäten für Maßnahmen in beiden Naturräumen abgeleitet. Darüber hinaus wurde analysiert, aus welchen Lebensräumen die Arten stammen, die besonders auf Biotopverbundmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel angewiesen sind, um daraufhin Empfehlungen zu geben, auf welche Lebensräume sich solche Maßnahmen prioritär konzentrieren sollten.

Für den Naturraum Harz wird als Anpassung an den Klimawandel vorgeschlagen, prioritär in Maßnahmen zur Verhinderung von Nährstoffeinträgen bzw. Eutrophierung zu investieren, gefolgt von Maßnahmen zur Erhöhung der Konnektivität in der Landschaft und zur Verringerung des Landschaftsverbrauchs, Maßnahmen zur Offenhaltung von Lebensräumen, Maßnahmen zur naturnahen Waldrandgestaltung bzw. Waldbewirtschaftung und Maßnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Feuchtlebensräumen. Im Naturraum Lüneburger Heide sind in erster Linie Maßnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Feuchtlebensräumen wichtig, gefolgt von Maßnahmen zur Extensivierung landwirtschaftlicher Nutzung, Maßnahmen zur Offenhaltung von Lebensräumen und Maßnahmen zur Erhöhung der Konnektivität in der Landschaft und zur Verringerung des Landschaftsverbrauchs.

Im Hinblick auf Biotopverbundmaßnahmen ist in beiden naturräumlichen Regionen der Schwerpunkt auf den Lebensraumtyp (trockenes) Offenland zu legen, in der Lüneburger Heide zusätzlich auch auf den Lebensraumtyp Gewässer. Generell ist eine Vergrößerung des Anteils naturschutzrechtlich geschützter bzw. gesicherter Fläche sinnvoll. Zur Beobachtung möglicher Veränderungen und zur Evaluation umgesetzter Maßnahmen wird die Einrichtung von Monitoringprogrammen empfohlen, deren Ergebnisse in ein adaptives Management einfließen. Da die Gefährdungsursachen einiger Arten und somit für sie geeignete Schutzmaßnahmen aufgrund unzureichender Daten zu ihrer Physiologie und Ökologie nicht hinreichend bekannt sind, besteht weiterhin ein erheblicher Bedarf für Grundlagenforschung.

3.2. Vogellebensgemeinschaften in der Lüneburger Heide

3.2.1. Artenpoolvergleiche klimaanaloger Räume als Methode zur Abschätzung von klimawandelbedingten Veränderungen in der Zusammensetzung von Vogellebensgemeinschaften

Sybertz, J.; Reich, M. (2012): Artenpoolvergleiche klimaanaloger Räume als Methode zur Abschätzung von klimawandelbedingten Veränderungen in der Zusammensetzung von Vogellebensgemeinschaften. In: Feit, Ute & Korn, Horst (Bearb.), Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Treffpunkt Biologische Vielfalt XI – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. Bonn, BfN-Skripten 309: 71-76.

Online verfügbar unter: https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_309.pdf

Beiträge der Autoren: Die Studie wurde JS und MR konzipiert. Die Analyse der Daten erfolgte durch JS. Die Interpretation der Ergebnisse sowie die Ausarbeitung des Artikels erfolgte durch JS mit Beiträgen von MR.

3.2.2. Assessing Climate Change Induced Turnover in Bird Communities Using Climatically Analogous Regions

Sybertz, J.; Reich, M. (2015): Assessing Climate Change Induced Turnover in Bird Communities Using Climatically Analogous Regions. *Diversity* 7: 36-59.

doi: 10.3390/d7010036

Beiträge der Autoren: Die Studie wurde von der JS und MR konzipiert. Die Durchführung der Studie, Analyse der Daten und Interpretation der Ergebnisse erfolgt durch JS mit Beiträgen von MR. Der Artikel wurde von JS mit Beiträgen von MR geschrieben.

Abstract

It is crucial to define and quantify possible impacts of climate change on wildlife in order to be able to pre-adapt management strategies for nature conservation. Thus, it is necessary to assess which species might be affected by climatic changes, especially at the regional scale. We present a novel approach to estimate possible climate change induced turnovers in bird communities and apply this method to Lüneburg Heath, a region in northern Germany. By comparing species pools of future climatically analogous regions situated in France with the Lüneburg Heath species pool, we detected possible trends for alterations within the regional bird community in the course of climate change. These analyses showed that the majority of bird species in Lüneburg Heath will probably be able to tolerate the projected future climate conditions, but that bird species richness, in general, may decline. Species that might leave the community were often significantly associated with inland wetland habitats, but the proportion of inland wetlands within the regions had a significant influence on the magnitude of this effect. Our results suggest that conservation efforts in wetlands have to be strengthened in light of climate change because many species are, in principle, able to tolerate future climate conditions if sufficient habitat is available.

4. Zusammenfassende Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

4.1. Indikatorensets und Modelle zur Abbildung der Artenvielfalt und Abschätzung landnutzungsbedingter Einflüsse auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe

In den Kapiteln 2.1, 2.2 und 2.3 wurde untersucht, mit welchen Indikatorensets und Modellen sich die Artenvielfalt auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe für die Strukturelemente Raine und Hecken sowie für Ackerschläge abbilden lässt. Wichtige Kriterien bei der Entwicklung der Modelle waren einerseits ihre Validität, andererseits ihre Praxistauglichkeit und eine damit einhergehende zeiteffiziente Anwendung, um eine hohe Nutzerfreundlichkeit zu gewährleisten. Die Modelle sollten bezüglich der Artenvielfalt sowohl den Status Quo als auch Veränderungen durch Naturschutzmaßnahmen und die Landbewirtschaftung abschätzen können. Dazu wurden in einer Literaturstudie zunächst dreizehn mögliche Einflussvariablen für die Artenvielfalt von Tagfaltern auf Rainen, neunzehn für die Artenvielfalt von Vögeln in Hecken und acht für die Artenvielfalt von Vögeln auf Äckern identifiziert. Durch multiple lineare Regressionsanalysen wurden folgende sechs Variablen als wichtigste Einflussvariablen zur Vorhersage der Artenvielfalt von Tagfaltern auf Rainen ermittelt: Heterogenität der umgebenden Landschaft, Mahdzeitpunkt, Breite, Länge und Gräser-Kräuter-Verhältnis des Rains sowie die Bewirtschaftungsart angrenzender Felder (Kap. 2.1). Bei der Artengruppe Vögel und dem Strukturelement Hecke wurden auf dieselbe Weise die fünf Variablen Länge und Breite der Hecke, Anzahl der Gehölzarten, Höhlen/Totholz und die Breite des angrenzenden Krautsaums als wichtigste Einflussfaktoren zur Vorhersage der Artenvielfalt identifiziert. Zusätzlich hat sich in einigen Regionen das Vorhandensein von Dornsträuchern als weitere wichtige Variable herausgestellt (Kap. 2.2). Die finalen Modelle erklären 63% der Varianz der Tagfalter-Artenzahl auf Rainen und 71% der Varianz der Vogel-Artenzahl in Hecken. Das Modell zur Vorhersage der Vogelartenvielfalt auf Äckern (Kap. 2.3) wurde verworfen, da sich ein zu deutlicher Effekt der Stichprobe abzeichnete und die Ergebnisse der Regressionsanalysen daher teilweise den Erkenntnissen der Literaturstudie widersprachen. Dieses Modell ist daher auch nicht Bestandteil der nachfolgenden Ausführungen.

4.1.1. Validität, Übertragbarkeit und methodische Grenzen der Modelle

Die Modelle zur Abschätzung der Artenvielfalt auf Rainen und in Hecken (Kap. 2.1 und Kap. 2.2) basieren auf einer umfassenden Literaturstudie, in der Einflussgrößen identifiziert wurden, die mit der Artenvielfalt von Vögeln und Tagfaltern in der Agrarlandschaft korrelieren. Dazu wurden Studien aus dem europäischen Raum ausgewertet. Die den Modellen zugrunde liegenden Zusammenhänge zwischen Landnutzungseinflüssen, der Ausprägung von Strukturelementen auf landwirtschaftlichen Betrieben und der Anzahl der darin vorkommenden Arten werden also neben den eigenen Felderfassungen auch durch anderenorts in Europa dokumentierte Beobachtungen unterstützt.

Die Felderfassungen, auf deren Daten die Modelle beruhen, wurden auf sieben über Deutschland verteilten landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt, die hinsichtlich ihrer geographischen Lage, ihrer Landschaftsheterogenität, ihrer Bewirtschaftung und ihrer abiotischen Rahmenbedingungen eine große Varianz aufwiesen. Um den Vorhersagefehler der

Modelle einschätzen zu können, wurde eine umfangreiche Kreuzvalidierung durchgeführt, deren Ergebnisse in die finale Anpassung der Modelle einfließen. Nichtsdestotrotz konnten bei weitem nicht alle Regionen und Umweltbedingungen in Deutschland repräsentativ abgebildet werden. Auch wurde der Großteil der Untersuchungen auf biologisch bewirtschafteten Höfen durchgeführt, so dass es im Sinne der Repräsentativität wünschenswert wäre, die Datenbasis um weitere konventionell bewirtschaftete Höfe zu erweitern. Grundsätzlich ist es dem Anwender der Modelle möglich, deren Übertragbarkeit auf seinen Betrieb durch einen Abgleich mit den untersuchten Betrieben anhand der Dokumentation zu ihren klimatischen und edaphischen Bedingungen, ihrer Bewirtschaftung und Betriebsgröße sowie der sie umgebenden Landschaft (s. Kap 2.1 und Kap. 2.2, supplementary material) abzuschätzen. Bei einer Anwendung des Modells in Landschaften oder auf Betriebstypen, die sich erheblich von den untersuchten Betrieben und Landschaften unterscheiden, werden zusätzliche testweise Arterfassungen zur Validierung der Modelle für den jeweiligen Betriebstyp bzw. die jeweilige Landschaft empfohlen. Eine Unterfütterung der Modelle mit weiteren Daten ist auch deswegen wünschenswert, weil die Stichprobe nicht für jede Variablenausprägung genügend Fallzahlen aufwies. So konnte beispielsweise aufgrund unzureichender Fallzahlen nicht getestet werden, welchen Einfluss die Entfernung des Mahdguts bei der Pflege von Rainen auf die Artenzahl von Tagfaltern hat.

Aus naturschutzfachlicher Sicht liegt eine Einschränkung der entwickelten Modelle darin, dass unterschiedliche Arten unterschiedliche Ansprüche an die Ausprägung von Strukturelementen und die Agrarlandschaft insgesamt stellen. So gibt es beispielsweise nicht eine einzelne Hecke, die den Ansprüchen aller in Hecken brütenden Arten gerecht wird (Arnold 1983, Barkow 2001, Hinsley & Bellamy 2000). Wie Filippi-Codaccioni et al. (2010) daher zu Recht feststellen, ist es unmöglich Maßnahmen zu entwickeln, von denen alle Arten gleichermaßen profitieren, so dass es unabdingbar ist, Entscheidungen zu treffen, welche Arten durch die Maßnahmen gefördert werden sollen. Hier ist die Einbindung einer landschaftlichen bzw. gesamtbetrieblichen Sicht einhergehend mit der Förderung einer Vielfalt verschiedener Strukturen gefragt. Auf dieser Ebene gilt es - mit fachkundiger Beratung - naturschutzfachlich sinnvolle Ziele für den Gesamtbetrieb zu definieren. Diese hängen beispielsweise auch davon ab, ob der Betrieb in einer Landschaft liegt, die aufgrund ihrer Ausprägung einen hohen Wert für Offenlandarten aufweist, oder eher in einer kleinstrukturierten Landschaft mit hohem Wert für in Hecken oder Saumstrukturen brütenden Arten (vgl. Hoffmann & Greef 2003) bzw. ob die Ansprüche beider Artengruppen auf unterschiedlichen Flächen des Betriebs realisiert werden können. Der Erhalt und die Förderung der Artenvielfalt zielt demzufolge nicht zwangsläufig auf eine Maximierung der Artenzahl ab, sondern auf den Erhalt und die Förderung einer landschaftstypischen Diversität (ebd.).

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Kenngröße zur Beschreibung der Artenvielfalt herangezogen wird. Aus Sicht des Naturschutzes kommt den seltenen und gefährdeten Arten sowie lebensraumtypischen Spezialisten eine hohe Bedeutung zu. Gleichzeitig ist es aufgrund eher geringer Bestände von Spezialisten und Rote-Liste-Arten in der Agrarlandschaft schwierig, hierfür eine Datengrundlage zu generieren, die genügend Varianz für die Entwicklung valider Modelle aufweist. Für die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Modelle für Vögel und Tagfalter wurde daher die Anzahl aller in den untersuchten Strukturelementen vorkommenden Arten erfasst. Zwar bedeuten höhere Artenzahlen nicht per se einen größeren naturschutzfachlichen Wert des Strukturelements, jedoch deuten die in den

Kapiteln 2.1 und 2.2 dargelegten eigenen Auswertungen auf einen Zusammenhang zwischen der Gesamtartenzahl und der Anzahl gefährdeter Arten bzw. der Anzahl von Spezialisten hin, so dass eine insgesamt höhere Artenzahl tendenziell auch auf eine höhere Anzahl von Spezialisten und/ oder gefährdeten Arten hinweist. Zudem ist in artenarmen Gebieten auch die Schaffung von Lebensräumen für Arten notwendig, die früher eher als „Allerweltsarten“ galten (Hampicke 2013).

4.1.2. Zeiteffizienz und Praxistauglichkeit der Modellanwendung

Zur Gewährleistung einer praxistauglichen Anwendung wurden die in den Kapiteln 2.1 und 2.2 entwickelten Modelle in die Open-Source-Software MANUELA implementiert. MANUELA (Managementsystem Naturschutz für eine nachhaltige Landwirtschaft) ist ein GIS-gestütztes Bewertungssystem für Landwirte mit dem Schwerpunkt Naturschutz-Biodiversität (von Haaren et al. 2008). Es dient der Erfassung, Dokumentation und Bewertung von Naturschutzleistungen des Landwirtes und letztlich der naturschutzfachlichen Maßnahmenplanung. Die entwickelten Modelle zur Bewertung von Hecken und Rainen für Vögel und Tagfalter sowie für Pflanzen (Kap. 2.1 und 2.2) ergänzen hier bereits vorhandene Tools, zum Beispiel zur generellen Bewertung von Biotoptypen, zum Landschaftsbild und zum Biotopverbund. Durch diese Einbindung wird die in Kapitel 4.1.1 geforderte Berücksichtigung einer gesamtbetrieblichen Sicht zur Festlegung naturschutzfachlicher Ziele unterstützt. Für die Bewertung von Biotoptypen im Hinblick auf die Artenvielfalt einzelner Artengruppen sind in der Software MANUELA nun Tools für die Bewertung von Äckern für die Pflanzenartenvielfalt (Bredemeier et al. 2015, 2017), von Hecken für die Artenvielfalt von Vögeln und Pflanzen (vgl. Kap. 2.2) und von Rainen für die Artenvielfalt von Tagfaltern und Pflanzen (vgl. Kap. 2.1) vorhanden.

Im Sinne der Zeiteffizienz müssen zur Prognose der Artenzahlen von Tagfaltern auf Rainen und Vögeln in Hecken nur für wenige Variablen Daten in die Modelle eingestellt werden, die auch von sachkundigen Laien - wie etwa den betroffenen Landwirten und landwirtschaftlichen Beratern - erhoben und ausgewertet werden können. Die Zahl der zunächst als möglicherweise relevant identifizierten Einflussvariablen, aus denen Vorläufermodelle entwickelt wurden (Matthies et al. 2016), konnte für die finalen Modelle erheblich reduziert werden. Für Variablen, die nicht aus Bewirtschaftungsdaten oder anderweitig verfügbaren Daten wie z.B. Luftbildern abgeleitet werden können, reicht eine einmalige Feldbegehung, die pro Hecke oder Rain nur wenige Minuten in Anspruch nimmt - im Gegensatz zu mehrmaligen Begehungen der Flächen, wie sie für die klassische Erfassung der Artengruppen notwendig wären (vgl. Pollard & Yates 1993, Kühn et al. 2014, Südbeck et al. 2005).

Ein wichtiger Faktor für die Praxisnähe der Modelle und die Umsetzung von aus den Modellergebnissen abgeleiteten Maßnahmen ist neben der Zeiteffizienz und der Nutzerfreundlichkeit auch die Akzeptanz solcher Modelle durch die betreffenden Akteure sowie ihre Motivation diese anzuwenden. In der Agrarlandschaft sind solche Akteure vor allem Landwirte, aber auch landwirtschaftliche Berater und lebensmittelverarbeitende Unternehmen. Um die Praxistauglichkeit der entwickelten Modelle sicherzustellen, wurden daher im Forschungsprojekt „Firmen fördern Vielfalt“ Praxistests mit landwirtschaftlichen Beratern und Landwirten durchgeführt, in denen die erforderlichen Daten für die Modellvariablen im Gelände erhoben wurden und die Software MANUELA für die jeweiligen Betriebsflächen getestet werden konnte

(Matthies et al. 2016). Daneben fanden Workshops mit lebensmittelerzeugenden Unternehmen statt, um deren Ansprüche anwenderorientiert einzubinden (ebd.).

Eine wichtige Motivation für Unternehmen, sich für den Naturschutz und die Artenvielfalt zu engagieren, ist die Öffentlichkeitsarbeit und Kundenkommunikation (Kempa 2013). Die Motivation für Landwirte zur Teilnahme an Programmen zur Förderung der Artenvielfalt auf ihren Betriebsflächen kann einerseits finanzieller Art sein, andererseits aber auch aus dem Wunsch nach der Förderung eines positiven Images der Landwirtschaft oder aus einem altruistischen Umweltschutzgedanken erwachsen (Morris & Potter 1995, Siebert et al. 2010) und durch die öffentliche Wertschätzung von Biodiversitätsleistungen begünstigt werden (Oppermann & Liesen 2015). Auch die Erweiterung des Wettbewerbsgedankens von der wirtschaftlichen Produktivität eines Betriebs hin zu Biodiversitätsleistungen kann Ansporn sein (de Snoo et al. 2013). So gibt es beispielsweise in einigen Regionen Deutschlands und Europas sogenannte Wiesenmeisterschaften und Wiesenwettbewerbe, bei denen Bewirtschafter ausgezeichnet werden, die ihre Wiesen so bewirtschaften, dass sie gleichzeitig ökologisch wertvoll und von guter futterbaulicher Qualität sind (Oppermann & Liesen 2015).

Subventionen sind ein guter erster Anreiz für Biodiversitätsleistungen, bilden aber nicht unbedingt den entscheidenden Faktor für eine langfristige Motivation (Ahnström et al. 2008, de Snoo et al. 2013, Schenk et al. 2007). Auf lange Sicht gesehen ist die Haltung und das Engagement der Landwirte (Morris & Potter 1995) sowie das gesellschaftliche Ansehen solcher Leistungen und die Weiterbildung in diesem Themenfeld durch eigenes Lernen und Erfahrungsaustausch entscheidend (de Snoo et al. 2013). Wichtig für die Haltung zu Naturschutzleistungen und die eigene Beteiligung an solchen Maßnahmen sind dabei auch soziale Normen, in diesem Fall die Haltung und Einstellung anderer Landwirte, sowie die Sicht auf die eigene Identität und Rolle in der Gesellschaft - z.B. als Nahrungsmittelproduzent und/oder naturverbundener Landbewirtschafter (Ahnström et al. 2008, Lokhorst et al. 2011, de Snoo et al. 2013). Maßgeblich für die Akzeptanz sind weiterhin die flexible Anpassung der Maßnahmen an die eigenen betrieblichen Erfordernisse (Ahnström et al. 2008) und das Gefühl der eigenen Beteiligung, z.B. durch die Einbindung und Wertschätzung des lokalen Wissens der Landwirte (Harrison et al. 1998, Schenk et al. 2007).

Die Modelle aus den Kapiteln 2.1 und 2.2 leisten hierzu einen guten Beitrag, weil sie gemeinsam mit den bereits vorhandenen Modellen und Tools (von Haaren et al. 2008, von Haaren et al. 2012, Bredemeier et al. 2015) aufgrund ihres modularen Aufbaus individuelle Schwerpunktsetzungen in den einzelnen Betrieben oder Unternehmen ermöglichen (Matthies et al. 2016). So kann sowohl die notwendige Flexibilität zur Akzeptanz gewährleistet werden, als auch die Einbindung lokalen Wissens, da auf dem einen Betrieb die Förderung der Avifauna in Hecken sinnvoller sein kann und auf dem anderen die Förderung der Segetalflora auf Äckern.

Lebensmittelerzeugende Unternehmen könnten ihre Zulieferbetriebe zunächst über eine finanzielle Honorierung motivieren - sei es über die direkte Finanzierung von Maßnahmen oder über höhere Abnahmepreise für die erzeugten Produkte. Daneben können langfristige Abnahmeverträge Anreiz für den Landwirt und ein gangbarer Weg für Unternehmen sein (vgl. Kempa 2013). Besondere Vorteile einer unternehmensweiten Umsetzung von Biodiversitätszielen auf Zulieferbetrieben ergeben sich aber auch dadurch, dass innerhalb des Unternehmens ein Umfeld geschaffen werden kann, das die oben aufgeführten Aspekte be-

günstigt, die eine positive Haltung von Landwirten gegenüber Naturschutzleistungen langfristig fördern: gegenseitiges Lernen und Erfahrungsaustausch innerhalb einer Gruppe von Landwirten mit ähnlichen Einstellungen sowie gezielte Öffentlichkeitsarbeit und Anerkennung der erbrachten Naturschutzleistungen sowie ggf. weiterführende Beratung und Schulungen im Unternehmenskontext.

4.2. Methoden zur Modellierung und Bewertung von Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten

Im Kapitel 3.1.1 wurde untersucht, an welchen Kriterien sich bei Tierarten eine Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Veränderungen und gegenüber Umweltveränderungen im Allgemeinen auf naturräumlicher Ebene festmachen lässt. Mit Hilfe einer auf solchen Kriterien basierenden Empfindlichkeitsanalyse wurde ermittelt, wie viele Tierarten in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“ (im Folgenden als Lüneburger Heide abgekürzt) eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Klimaveränderungen und gegenüber Umweltveränderungen im Allgemeinen aufweisen. Dabei wurden Vertreter der Artengruppen Brutvögel, Amphibien, Reptilien, Heuschrecken, Tagfalter und Libellen mit einbezogen.

In den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 wurde eine Methode entwickelt, um klimabedingte Veränderungen der Zusammensetzung von Vogellebensgemeinschaften in einem Naturraum abzuschätzen und Prognosen über mögliche klimabedingte Zu- und Abwanderungen von Arten zu treffen. Diese Methode wurde am Beispiel des Naturraums Lüneburger Heide erprobt.

4.2.1. Kriterien zur Einstufung der Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber klimatischen Veränderungen und Ermittlung der Betroffenheit in unterschiedlichen Naturräumen

Klimatische Veränderungen, denen Tierarten in Harz und Lüneburger Heide bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ausgesetzt sein werden, umfassen eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur, eine Zunahme von Wärmeextremen, eine Verkürzung von Kälteperioden und eine Verschiebung der Niederschlagsverhältnisse (Abnahme der Sommer- und Zunahme der Winterniederschläge).

Von einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur können Arten betroffen sein, die in ihrer Verbreitung auf kühle Klimate beschränkt sind. Ein geeignetes Kriterium zur Identifizierung solcher Arten kann die zonale bzw. altitudinale Verbreitung der Art sein. Die Empfindlichkeit einer Art gegenüber Hitze macht sie potenziell anfällig gegenüber einer Zunahme von Hitzeextremen, die Empfindlichkeit gegenüber milden (d.h. warmen und feuchten) Wintern anfällig gegenüber einer Verkürzung von Kälteperioden und einer Zunahme der Winterniederschläge. Von einer Abnahme der Sommerniederschläge können einerseits Arten betroffen sein, die vor allem von Grund- oder Niederschlagswasser geprägte Lebensräume besiedeln und andererseits Arten, die physiologisch empfindlich auf Trockenstress reagieren. Eine Empfindlichkeit kann daher an den Feuchtigkeitsansprüchen der Art in Bezug auf ihre Physiologie und ihren Lebensraum festgemacht werden. Zusätzlich ist es wichtig zu berücksichtigen, welche Eigenschaften einer Art zu einer Empfindlichkeit gegenüber Umweltveränderungen im Allgemeinen beitragen, die auch im Zuge des Klimawandels eine Anpassung erschweren könnten. Zu solchen Arten gehören Arten mit geringer Ausbreitungsfähigkeit (Kriterium: Mo-

bilität/Ortstreue), Habitatspezialisten (Kriterium: Habitatamplitude), Nahrungsspezialisten (Kriterium: Nahrungsspektrum) sowie Arten mit hochspezialisierten Lebenszyklen, d.h. mit einer besonderen Spezialisierung im Lebenszyklus wie beispielsweise eine symbiotische Lebensweise oder obligate Wanderungen.

Anhand dieser Kriterien lässt sich gegenüber spezifisch klimawandelbedingten Umweltveränderungen bei jeweils ca. 39% der untersuchten Tierarten in Harz und Lüneburger Heide (bzw. bei 43% der insgesamt untersuchten Tierarten) eine voraussichtlich erhöhte Empfindlichkeit feststellen. Die meisten dieser Arten sind allerdings nur in geringem bis mäßigem Umfang unmittelbar klimaempfindlich. Zusätzlich zeigt sich gegenüber Umweltveränderungen im Allgemeinen bei ca. 78% der untersuchten Tierarten im Harz und ca. 82% der untersuchten Tierarten in der Lüneburger Heide eine voraussichtlich zumindest gering bis mäßig erhöhte Empfindlichkeit, die ihr Anpassungspotenzial zusätzlich beeinträchtigen könnte. Die höchste Klimaempfindlichkeit wiesen zwei Vertreter der Artengruppe Libellen, *Aeshna subarctica elisabethae* und *Somatochlora alpestris*, auf. Beide wurden auch auf nationaler Ebene von Rabitsch et al. (2010) als Hochrisikoarten im Hinblick auf ihre Sensitivität gegenüber Folgen des Klimawandels identifiziert.

4.2.2. Methoden zur Abschätzung eines möglichen klimawandelbedingten Turnovers in Artengemeinschaften eines Naturraums

Zur Abschätzung von Veränderungen in der Vogellebensgemeinschaft eines Naturraums und zur Prognose möglicher zu- und abwandernder Arten wurde eine Methode aus der Klimafolgenforschung an Pflanzen (Skov et al. 2009, Bergmann et al. 2010) weiterentwickelt und auf die Artengruppe der Vögel übertragen. Diese umfasst einen Vergleich der Artenpools so genannter zukünftig klimaanaloger Räume mit dem Artenpool des Untersuchungsgebiets. Zukünftig klimaanaloge Räume sind Gebiete, die gegenwärtig das Klima aufweisen, das für das Untersuchungsgebiet als zukünftiges Klima projiziert wird. Als Parameter, um das Klima solcher Gebiete zu charakterisieren, wurde das Set von Klimavariablen gewählt, für das die höchste Korrelation zwischen Klima und Verbreitung der Vogelarten für das Untersuchungsgebiet festgestellt werden konnte. Dabei wurden Klimaparameter aus anderen Studien im Themenfeld Klimawandel und Vögel besonders berücksichtigt (u.a. Harrison et al. 2003, Lemoine & Böhning-Gaese 2003, Luoto et al. 2007). Als Untersuchungsgebiet zur Anwendung dieser Methode diente der Naturraum Lüneburger Heide, als Bezugszeitraum für das gegenwärtige Klima die Jahre 1971-2000 und für das zukünftige Klima die Jahre 2071-2100.

Der Artenpoolvergleich zukünftig klimaanaloger Räume zeigt für den Naturraum Lüneburger Heide, dass die Mehrzahl der Vogelarten die für den Zeitraum 2071-2100 erwarteten Klimaänderungen vermutlich tolerieren kann, die Artenvielfalt insgesamt aber möglicherweise abnehmen wird. Potenziell aus dem Naturraum abwandernde Arten waren häufig an Feuchtgebiete als Lebensraum gebunden, wobei die Stärke des Effekts abhängig vom Anteil der Feuchtgebiete im zukünftig klimaanalogen Raum war, der je nach betrachteter Klimasimulation geographisch unterschiedlich verortet war.

Zum Abgleich und zur Einordnung dieser Ergebnisse wurden die Ergebnisse einer weiteren Methode - der Klimahüllenmodellierungen von Huntley et al. (2007) - für das Gebiet des Naturraums Lüneburger Heide herangezogen. Die Ergebnisse beider Methoden wiesen grund-

sätzlich eine hohe Übereinstimmung auf, zeigten im Detail aber Unterschiede. Diese betreffen beispielsweise die Anzahl potenziell zuwandernder Arten, die nach den Ergebnissen von Huntley et al. (2007) höher eingeschätzt werden kann, sowie die Arten der Feuchtgebiete, die nach Huntley et al. (2007) in noch größerem Ausmaß den potenziellen Abwanderern aus dem Naturraum zugerechnet werden können.

4.2.3. Vergleich der unterschiedlichen Methoden zur Modellierung und Bewertung von Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten

Im Folgenden werden für die Artengruppe Vögel im Naturraum Lüneburger Heide bzw. der weitgehend deckungsgleichen naturräumlichen Region „Lüneburger Heide und Wendland“ die Ergebnisse der Empfindlichkeitsanalyse (Kap. 3.1.1) mit den Ergebnissen des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume (Kap. 3.2.2) verglichen und zusätzlich den Ergebnissen der Klimahüllenmodellierungen von Huntley et al. (2007) für das Gebiet des Naturraums gegenübergestellt. Die Tabelle 1 zeigt den Vergleich der Ergebnisse aller drei Methoden für die in der Empfindlichkeitsanalyse als potenziell klimaempfindlich identifizierten Arten.

28 der in Kapitel 3.1.1 untersuchten Vogelarten in der Lüneburger Heide wurden als potenziell klimaempfindlich eingestuft. Für 16 dieser als potenziell klimaempfindlich eingestuften Arten legt der Artenpoolvergleich zukünftig klimaanaloger Räume für alle untersuchten Klimaprojektionen in Übereinstimmung mit der festgestellten potenziellen Klimaempfindlichkeit zukünftige Abnahmen der Verbreitung im Naturraum Lüneburger Heide bzw. eine Abwanderung aus dem Gebiet nahe. Hierbei handelt es sich um die Arten Rohrdommel, Schwarzstorch, Weißstorch, Krickente, Knäkente, Löffelente, Rohrweihe, Birkhuhn, Tüpfelsumpfhuhn, Sandregenpfeifer, Bekassine, Uferschnepfe, Großer Brachvogel, Rotschenkel, Trauerseeschwalbe und Braunkehlchen. Für 13 dieser 16 Arten (Rohrdommel, Schwarzstorch, Weißstorch, Krickente, Löffelente, Birkhuhn, Tüpfelsumpfhuhn, Sandregenpfeifer, Bekassine, Uferschnepfe, Großer Brachvogel, Rotschenkel und Trauerseeschwalbe) wird auch in den Klimahüllenmodellierungen von Huntley et al. (2007) zukünftig im Naturraum Lüneburger Heide kein Vorkommen mehr angezeigt. Die Rohrdommel ist bereits heute aufgrund von Lebensraumverlust und -zerstörung ein sehr seltener Brutvogel in Niedersachsen mit nur noch lokalem Vorkommen in der naturräumlichen Region „Lüneburger Heide und Wendland“ (Krüger et al. 2014). Auch die Trauerseeschwalbe weist nur noch vereinzelte Vorkommen in Niedersachsen auf. Das einzige in der naturräumlichen Region „Lüneburger Heide und Wendland“ bekannte Vorkommen mit regelmäßig etwa zehn Brutpaaren liegt am Penkefitzer See im Wendland (ebd.). Für den Sandregenpfeifer ist in der naturräumlichen Region „Lüneburger Heide und Wendland“ derzeit nur ein einzelnes Brutpaar im Wendland bekannt (ebd.). Allerdings brütet der Sandregenpfeifer ohnehin bevorzugt an Küsten (Bauer et al. 2005). Baustellen, Bodenentnahmeflächen, Spülflächen etc. stellen Sekundärlebensräume im Binnenland dar (Zang & Seitz 1995).

Tab. 1: Potenziell klimaempfindliche Arten nach Sybertz & Reich (2018) mit Angabe der Ergebnisse des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume (Sybertz & Reich 2015) und der Klimahüllenmodellierung von Huntley et al. (2007) für das Gebiet des Naturraums Lüneburger Heide. Arten mit übereinstimmenden Tendenzen in den Ergebnissen aller drei Methoden und für alle untersuchten Klimaprojektionen sind hervorgehoben.

Allgemeine Angaben			Empfindlichkeitsanalyse: Index-Wert Klima ¹⁾ (Sybertz & Reich 2018)	Artenpoolvergleich zu künftig klimaanaloger Räume ²⁾ (Sybertz & Reich 2015)				Klimahüllenmodellierung: Vorkommen im UG ³⁾ (Huntley et al. 2007)
EURING -code	Artnamen (deutsch)	Artnamen (wiss.)		CLM B1	REMO B1	REMO A1B	REMO A2	
950	Rohrdommel	Botaurus stellaris	0,7	↘	↓	↓↓	↓	0
1310	Schwarzstorch	Ciconia nigra	0,5	↓↓	↓↓	↓	↓	0
1340	Weißstorch	Ciconia ciconia	0,5	↓↓	↓↓	↓	↓	0
1840	Krickente	Anas crecca	0,5	↘	↘	↘	↘	0
1910	Knäkente	Anas querquedula	0,3	↓	↓	↓	↓	1
1940	Löffelente	Anas clypeata	0,5	↘	↘	↘	↘	0
2600	Rohrweihe	Circus aeruginosus	0,5	↘	↘	↘	↘	1
2610	Kornweihe	Circus cyaneus	0,3	↑	↑	↑	↑	1
2630	Wiesenweihe	Circus pygargus	0,5	→	↗	↗	↗	1
3320	Birkhuhn	Tetrao tetrix	0,5	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	0
4070	Wasserralle	Rallus aquaticus	0,7	→	→	→	→	1
4080	Tüpfelsumpfhuhn	Porzana porzana	1,0	↓	↓	↓	↓	0
4210	Wachtelkönig	Crex crex	0,5	↘	↓	→	↘	0
4240	Teichhuhn	Gallinula chloropus	0,3	→	→	→	→	1
4700	Sandregenpfeifer	Charadrius hiaticula	0,5	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓	0
4930	Kiebitz	Vanellus vanellus	0,3	→	→	→	→	1
5190	Bekassine	Gallinago gallinago	1,0	↓	↘	↘	↘	0
5320	Uferschnepfe	Limosa limosa	1,0	↓↓	↓↓	↓↓	↓	0
5410	Großer Brachvogel	Numenius arquata	1,0	↓	↓	↘	↘	0
5460	Rotschenkel	Tringa totanus	1,0	↓↓	↓↓	↓	↓↓	0
6270	Trauerseeschwalbe	Chlidonias niger	0,5	↘	↓↓	↘	↘	0
7680	Sumpfohreule	Asio flammeus	0,5	↘	↘	→	↘	0
10110	Wiesenpieper	Anthus pratensis	0,5	→	→	↘	→	0
11370	Braunkehlchen	Saxicola rubetra	0,5	↘	↘	↘	↘	1
12380	Rohrschwirl	Locustella luscinioides	1,0	↘	↘	→	↘	1
12430	Schilfrohrsänger	Acrocephalus schoenobaenus	1,0	→	→	→	↘	0
12510	Teichrohrsänger	Acrocephalus scirpaceus	0,5	→	→	→	→	1
12530	Drosselrohrsänger	Acrocephalus arundinaceus	0,3	↗	↗	↘	↘	1

1) je höher der Index-Wert, desto größer die potenzielle Klimaempfindlichkeit;

2) Vergleich der Verbreitung im Naturraum Lüneburger Heide (LH) und zukünftig klimaanalogen Raum (ZkR) mit Angabe der Klimaprojektion: ↑: Art hat in ZkR deutlich weitere Verbreitung als in LH; ↗: Art hat in ZkR leicht bis mäßig weitere Verbreitung als in LH; →: Art ist in ZkR und LH gleich weit verbreitet; ↘: Art hat in ZkR leicht bis mäßig geringere Verbreitung als in LH; ↓: Art hat in ZkR deutlich geringere Verbreitung als in LH; ↓↓: Art kommt in LH, aber nicht in ZkR vor;

3) 0: Der Naturraum Lüneburger Heide gehört nicht zum zukünftigen Verbreitungsgebiet der Art (Ende 21. Jhd); 1: Der Naturraum Lüneburger Heide gehört zum zukünftigen Verbreitungsgebiet der Art (Ende 21. Jhd).

Für weitere sechs potenziell klimaempfindliche Arten lassen sich aus dem Artenpoolvergleich zukünftig klimaanaloger Räume nur für einen Teil der untersuchten Klimaprojektionen zukünftige Abnahmen im Naturraum Lüneburger Heide ableiten, für andere untersuchte Klimaprojektionen jedoch eine gleichbleibende Verbreitung oder eine Zunahme. Hierbei handelt es sich um Wachtelkönig, Sumpfohreule, Wiesenpieper, Rohrschwirl, Schilfrohrsänger und Drosselrohrsänger. Für vier dieser Arten (Wachtelkönig, Sumpfohreule, Wiesenpieper, Schilfrohrsänger) modellieren auch Huntley et al. (2007) zukünftig keine Verbreitung mehr im Naturraum Lüneburger Heide. Von diesen Arten ist für die Sumpfohreule in der naturräumlichen Region „Lüneburger Heide und Wendland“ aktuell nur ein Einzelvorkommen im Wendland bekannt (Krüger et al. 2014).

Für fünf weitere potenziell klimaempfindliche Arten (Wiesenweihe, Wasserralle, Teichhuhn, Kiebitz und Teichrohrsänger) zeigt der Artenpoolvergleich zukünftig klimaanaloger Räume für keine der untersuchten Klimaprojektionen Abnahmen im Naturraum Lüneburger Heide. Auch die Klimahüllenmodellierungen von Huntley et al. (2007) zeigen für alle diese Arten noch ein zukünftiges Vorkommen im Naturraum. Für eine weitere potenziell klimaempfindliche Art (Kornweihe) legt der Artenpoolvergleich zukünftig klimaanaloger Räume für alle untersuchten Klimaprojektionen sogar zukünftige Zunahmen nahe und auch Huntley et al. (2007) modellieren noch ein zukünftiges Vorkommen im Naturraum Lüneburger Heide. Die Kornweihe weist derzeit nur ein unregelmäßiges Brutvorkommen in der naturräumlichen Region „Lüneburger Heide und Wendland“ auf (Krüger et al. 2014).

Für Arten, die nach den Ergebnissen aller drei Methoden potenziell klimaempfindlich bzw. klimabedingt rückläufig im Naturraum Lüneburger Heide scheinen, ist prioritärer Handlungsbedarf im Hinblick auf den Schutz vor Auswirkungen des Klimawandels anzuraten, einerseits im Hinblick auf Anpassungsmaßnahmen, andererseits im Hinblick auf ein Monitoring der Bestandsentwicklung dieser Arten. Dies betrifft Rohrdommel, Schwarzstorch, Weißstorch, Krickente, Löffelente, Birkhuhn, Tüpfelsumpfhuhn, Sandregenpfeifer, Bekassine, Uferschnepfe, Großer Brachvogel, Rotschenkel und Trauerseeschwalbe, wobei der Sandregenpfeifer als bevorzugt an Küsten brütende Art hier weniger im Fokus steht. Hiernach folgen im Hinblick auf die Priorität an zweiter Stelle solche Arten, die in der Empfindlichkeitsanalyse als potenziell klimaempfindlich eingestuft wurden und für die entweder Huntley et al. (2007) kein zukünftiges Vorkommen im Naturraum Lüneburger Heide mehr modellieren oder die aufgrund des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume bis zum Ende des 21. Jahrhunderts im Naturraum zumindest bei einem Teil der Klimaprojektionen rückläufig scheinen. Dies sind Knäkente, Rohrweihe, Braunkehlchen, Wachtelkönig, Sumpfohreule, Wiesenpieper, Schilfrohrsänger, Rohrschwirl und Drosselrohrsänger. Insgesamt sollte ein besonderes Augenmerk dabei auf den Arten liegen, die derzeit einen Verbreitungsschwerpunkt im Naturraum Lüneburger Heide haben. Arten mit gegenläufigen Tendenzen in den Ergebnissen der drei Methoden sind vorerst nicht als prioritäre Arten für Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen im Naturraum Lüneburger Heide anzusehen. Dies betrifft Kornweihe, Wiesenweihe, Wasserralle, Teichhuhn, Kiebitz und Teichrohrsänger

Insgesamt zeigt sich ein hoher Übereinstimmungsgrad der Ergebnisse aller drei Methoden. Ein methodischer Unterschied zwischen ihnen besteht darin, dass auf Basis der Ergebnisse der Empfindlichkeitsanalyse - im Gegensatz zu denen des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume oder der Klimahüllenmodellierung - nicht abschließend beurteilt wer-

den kann, ob tatsächlich Arten klimabedingt aus dem Naturraum abwandern werden. Gleichwohl kann eine hohe Klimaempfindlichkeit auch ein mögliches Indiz für eine zukünftige Abwanderung oder zumindest einen zukünftigen Verbreitungsrückgang sein.

Ein Vorteil des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume sowie der Klimahüllenmodellierung gegenüber der Empfindlichkeitsanalyse ist, dass anhand der erstgenannten Methoden auch mögliche zukünftige Einwanderer in den Naturraum abgeleitet werden können. In Kapitel 3.2.2 konnten auf diese Weise je nach betrachteter Klimaprojektion zwischen zehn und zwanzig Arten als mögliche zukünftige Einwanderer in den Naturraum identifiziert werden. Von diesen Arten modellieren auch Huntley et al. (2007) für 13 Arten ein zukünftiges Vorkommen im Naturraum Lüneburger Heide. Bei diesen Arten handelt es sich um Nachtreiher, Purpurreiher, Schlangennadler, Rothuhn, Triel, Mittelmeermöwe, Zwergohreule, Seidensänger, Cistensänger, Orpheusspötter, Berglaubsänger, Rotkopfwürger und Zaunammer. Gegenüber der Methode der Klimahüllenmodellierung hat die Methode des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume verschiedene Vorteile: sie lässt sich unabhängig davon anwenden, ob das gesamte Verbreitungsgebiet der Art bekannt ist bzw. dafür Daten vorliegen, sie lässt die Verwendung genauerer, regionaler Klimaprojektionen zu (zum Mehrwert regionaler Klimamodelle s. Dobler et al. 2017) und ermöglicht eine Berücksichtigung des Landschaftskontextes. Gegenüber dem Ansatz von Huntley et al. (2007) wurden zudem mehr Klima-Simulationen in die Analysen mit einbezogen.

4.2.4. Unsicherheiten und methodische Grenzen der Ermittlung klimabedingter Auswirkungen auf Tierarten

Die Klimafolgenforschung bedarf aufgrund ihres weit in die Zukunft reichenden Betrachtungsgegenstands der Arbeit mit Modellen und der Extrapolation vergangener und aktueller Beobachtungen. Zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten werden dafür sowohl Daten zur Ökologie, Physiologie und Verbreitung der Arten, als auch Daten zu den zukünftig zu erwartenden klimatischen Veränderungen benötigt.

Solche Daten bergen Unsicherheiten. Diese liegen einerseits darin begründet, dass es sich bei Klimamodellen um Projektionen verschiedener Möglichkeiten in die Zukunft handelt, die auf der Basis unterschiedlicher Annahmen über wirtschaftliche, technische und demographische Entwicklungen und den damit einhergehenden Treibhausgasemissionen errechnet werden. Bandbreiten in der zukünftigen Entwicklung des Klimas entstehen also zum einen durch verschiedene Emissionsszenarien, zum anderen aber auch durch die natürliche Klimavariabilität - beispielsweise verursacht durch Vulkanausbrüche und Schwankungen der Solarstrahlung - und durch Unsicherheiten in den Modellierungsmethoden, die etwa durch Kenntnislücken über Prozesse im Klimasystem und einer unzureichenden Erfassung kleinräumiger klimatischer Prozesse bedingt werden (Jacob et al. 2012, vgl. auch Dobler et al. 2017). Andererseits fehlen für viele Arten ausreichende ökologische bzw. physiologische Daten darüber, welche Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse toleriert werden bzw. unter welchen klimatischen und sonstigen Umweltbedingungen die Art ausreichend konkurrenzstark ist (vgl. Kap. 3.1.1; Rabitsch et al. 2010). Gleichzeitig sind die Wirkpfade bisheriger auf Auswirkungen des Klimawandels zurückgeführter Populationsrückgänge und Aussterbeprozesse vielfach unklar (vgl. Cahill et al. 2013). Die Komplexität ökologischer Zusammenhänge limitiert die Vorhersehbarkeit der Auswirkungen klimatischer Veränderungen zusätz-

lich (vgl. Walther 2010). Auch können Arten und Ökosysteme auf eine derzeit nicht vorhersehbare Weise auf Folgen des Klimawandels reagieren (vgl. Hulme 2005, Lawler et al. 2010).

Diesen Unsicherheiten und Datenlücken wird in der vorliegenden Arbeit auf unterschiedliche Weise begegnet. Die Unsicherheiten hinsichtlich der Ausprägung zukünftiger klimatischer Veränderungen werden durch die Verwendung eines Korridors an Klimaprojektionen (vgl. Kap. 3.2.1 und 3.2.2) bzw. durch die Ableitung von Trends aus unterschiedlichen Klimaprojektionen (vgl. Kap. 3.1.1) verringert. Gerade bei weit in die Zukunft gerichteten Wirkprognosen und der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen ist es von großer Wichtigkeit, für die Abschätzung von Klimafolgen einen Multi-Modell-Ansatz zu wählen bzw. mit Ensembles zu arbeiten und so eine möglichst breite Spanne an Klima-Simulationen, denen unterschiedliche Szenarien zu Treibhausgasemissionen zugrunde liegen, zu betrachten (vgl. NKGCF 2010, Jacob et al. 2012). Für die Ermittlung zukünftig klimaanaloger Räume (Kap. 3.2) wurden daher sieben verschiedene Klimaprojektionen herangezogen, für die vier zukünftig klimaanaloge Räume abgeleitet werden konnten. Den Empfindlichkeitsanalysen für Tierarten in Harz und Lüneburger Heide (Kap. 3.1.1) liegen zukünftige klimatische Trends, die sich aus elf verschiedenen Klimarechnungen herleiten, zugrunde (Norddeutsches Klimabüro 2010).

Insgesamt gesehen ist nicht nur die Verwendung eines Korridors bzw. Ensembles an Klimaprojektionen empfehlenswert, sondern auch ein Methodenmix, um Prognoseunsicherheiten zu reduzieren. In der vorliegenden Arbeit wurde die Artengruppe Brutvögel im Naturraum Lüneburger Heide daher exemplarisch anhand verschiedener Methoden im Hinblick auf ihre Empfindlichkeit gegenüber Auswirkungen des Klimawandels untersucht. Diese Methoden umfassen eine kriterienbasierte Empfindlichkeitsanalyse (vgl. Kap. 3.1.1), einen Vergleich der Artenpools zukünftig klimaanaloger Räume sowie die Auswertung der von Huntley et al. (2007) anhand der Klimahüllen der Arten modellierten zukünftigen Verbreitungsdaten für dieses Gebiet (vgl. Kap. 3.2.2). Die Ergebnisse dieser unterschiedlichen methodischen Ansätze wurden in Kapitel 4.2.3 zusammengeführt.

Dennoch verbleiben methodische Grenzen und Unsicherheiten. So konnte beispielsweise der Einfluss einiger Klimavariablen, wie etwa von Extremwetterereignissen, erst gar nicht einbezogen werden, weil schlicht keine belastbaren Modellierungen dazu vorliegen (zu Schwierigkeiten und Unsicherheiten bei der Modellierung von Stürmen, Hochwasser und Extremniederschlägen s. Pinto & Meyers 2017 sowie Bronstert et al. 2017). Dies betrifft z.B. Extremwetterereignisse, die bekanntermaßen ein Risiko, vor allem für kleine Populationen, darstellen (Primack 2008, vgl. auch Beierkuhnlein et al. 2014). Eine weitere Unsicherheit resultiert aus der dem Artenpoolvergleich zukünftig klimaanaloger Räume zugrunde liegenden Annahme, dass Vogelarten sich in ihrer Verbreitung mehr oder weniger im Gleichgewicht mit den für sie günstigen Klimabedingungen befinden (Araújo & Pearson 2005), da dies nicht für alle Vogelarten in gleichem Maße zutrifft. So weisen beispielsweise Greifvögel aufgrund von gegenwärtiger oder vergangener Verfolgung eine lückige Verbreitung in Europa auf (Newton 2003), so dass für diese Arten die Ergebnisse des Artenpoolvergleichs mit besonderer Vorsicht zu interpretieren sind. Weiterhin konnten Einflüsse, die auf die Vögel in ihren Rast- und Überwinterungsgebieten wirken (Bairlein & Hüppop 2004), nicht in die Betrachtung miteinbezogen werden. Auch ergibt sich bei der Betrachtung einer gesamten Artengruppe (wie in Kap. 3.2.2) oder sogar mehrerer Artengruppen (wie in Kap. 3.1.1) mit ei-

nem methodisch gleichen Ansatz ein gewisser Unschärfegrad, da unterschiedliche Einflussgrößen für unterschiedliche Arten(gruppen) in unterschiedlichem Maße relevant sein können und viele Arten sehr spezifisch auf direkte oder indirekte Auswirkungen des Klimawandels reagieren (vgl. Kerth et al. 2014).

Aufgrund des weit in die Zukunft gerichteten Zeithorizonts eröffnet sich bei der Abschätzung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auch ein Spielraum für Methoden experimentellerer Art. Als solche ist der Vergleich der Artenpools zukünftig klimaanaloger Räume im Sinne einer *space-for-time substitution* (vgl. Kap. 1.2) zu sehen, für den mangels ausreichender derzeitiger Beobachtungen im Untersuchungsraum auf Beobachtungen aus anderen Regionen zurückgegriffen wird, deren heutiges Klima dem zukünftigen Klima des Untersuchungsraums ähnelt. Da dieser Ansatz mit einigen Unsicherheiten behaftet ist (vgl. Kap. 3.2.2), ist er vor allem als Ergänzung und Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse der kriterienbasierten Empfindlichkeitsanalysen anzusehen. Ein Mehrwert der Arbeit mit zukünftig klimaanalogen Räumen eröffnet sich allerdings im Hinblick auf mögliche klimabedingte Ein- und Abwanderungsprozesse innerhalb einer Region. Während die Empfindlichkeitsanalysen nur Arten einschließen, die bereits heute im Untersuchungsgebiet vorkommen, kann mithilfe des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume auch abgeschätzt werden, welche Arten möglicherweise bis zum Ende des 21. Jahrhunderts neu in das Untersuchungsgebiet einwandern (s. Kap. 4.2.3).

Trotz der beschriebenen Unsicherheiten ist eine Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten alternativlos, da rechtzeitig Maßnahmen zur Verminderung solcher Auswirkungen in die Wege geleitet werden müssen. Der beschriebene Methodenmix und die Einbeziehung eines Korridors von Klimaprojektionen bieten hierfür eine gute Basis.

4.3. Maßnahmen zum Erhalt und zur Förderung der Biodiversität

In den Kapiteln 2.1, 2.2 und 3.1.2 wurde dargelegt, wie sich Maßnahmen zum Erhalt und zur Förderung der Biodiversität sowie zur Verringerung negativer Einflüsse von Klimawandel und Landnutzung anhand der Ergebnisse der in der vorliegenden Arbeit entwickelten und angewendeten Methoden ableiten lassen. Räumliche Bezugsgröße für diese Maßnahmen waren die regionale Ebene (Naturraum) und die lokale Ebene (landwirtschaftlicher Betrieb).

4.3.1. Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Landnutzung und Landschaftsveränderungen auf Tierarten

Die in den Kapiteln 2.1 und 2.2 entwickelten Modelle ermöglichen im Hinblick auf die Abschätzung der Artenvielfalt auf Rainen und in Hecken nicht nur die Ermittlung des Status Quo sondern auch möglicher zukünftiger Änderungen. So kann der Nutzer durch eine Veränderung der Werteeingaben im Modell unmittelbar abschätzen, welches Potenzial zur Steigerung der Artenvielfalt in welchen Maßnahmen liegt. Auch kann er überprüfen, in welchen Strukturen das Potenzial zur Steigerung der Artenvielfalt groß ist bzw. welche Strukturen schon annähernd optimal ausgeprägt sind, wobei - wie in Kapitel 4.1.1 dargelegt - die spezifischen landschaftlichen Voraussetzungen sowie die gesamtbetriebliche Ebene zu berücksichtigen sind.

Einleitend wurde in Kapitel 1.2.3 erläutert, welche Maßnahmen sich grundsätzlich zur Verringerung negativer Auswirkungen von Landnutzungseinflüssen und Landschaftsveränderungen eignen und dass diese sowohl auf den bewirtschafteten Flächen als auch angrenzend an diese umgesetzt werden können. Maßnahmen, die sich aus den entwickelten Modellen zur Abschätzung der Artenvielfalt auf Rainen und in Hecken herleiten, betreffen sowohl die Strukturelemente selber als auch die Bewirtschaftung an sie angrenzender Flächen sowie die Landschaft, in die sie eingebettet sind.

Hinsichtlich der Raine beziehen sich aus den Modellergebnissen ableitbare Maßnahmen auf das Mahdregime bzw. den Mahdzeitpunkt der Raine, ihre Breite, ihr Gräser-Kräuter-Verhältnis, die Bewirtschaftungsart des an sie angrenzenden Ackers und die Landschaftsheterogenität. Positiv auf die Artenvielfalt wirkt sich nach den Ergebnissen der Regressionsanalysen aus, wenn die Raine eine hohe Breite aufweisen, das an sie angrenzende Feld ökologisch bewirtschaftet wird, der Anteil krautiger Pflanzen 50-75% beträgt und der Rain in einer Landschaft mit hoher Strukturvielfalt liegt. Negativ auf die Artenvielfalt wirkt sich aus, wenn Raine im Sommer (Juni/Juli) gemäht werden und in einer Landschaft mit geringer Strukturvielfalt liegen. Geeignete Maßnahmen auf den Rain selbst bezogen können daher die Verbreiterung des Rains, eine Unterlassung der Mahd in den Monaten Juni/Juli und eine Förderung des Anteils krautiger Pflanzen sein, z.B. durch Nährstoffentzug/ Aushagerung (Abraum des Mahdguts), Schutz vor Herbiziden und Vermeidung des Eintrags von Düngemitteln im Sinne der guten fachlichen Praxis und ggf. Ansaat mit kräuterreichem Regio-Saatgut oder Mahdgutübertragung von artenreichen Rainen (vgl. LANUV o.J.). Bezogen auf die Bewirtschaftung angrenzender Flächen ist die Umstellung auf ökologischen Landbau bzw. eine Beibehaltung dieser Bewirtschaftungsart empfehlenswert. Im Hinblick auf die umgebende Landschaft kann eine Erhöhung der Strukturvielfalt, z.B. durch eine Vergrößerung des Anteils an Landschaftselementen, empfohlen werden, wobei es hierfür auch Anstrengungen auf einer überbetrieblichen Ebene bedarf.

Aus den Modellergebnissen ableitbare Maßnahmen für Hecken betreffen ihre Breite und ggf. Länge, ihre Gehölzartenzusammensetzung (Gehölzartenzahl und das Vorkommen von Dornsträuchern), das Vorhandensein von Totholz und Höhlen sowie die Breite des Krautsaums zwischen Hecke und angrenzendem Feld. Positiv auf die Artenvielfalt wirkt sich eine hohe Breite der Hecke und des Krautsaums zwischen Hecke und angrenzendem Feld aus, ebenso wie das Vorhandensein von Dornsträuchern und Höhlen bzw. Totholz. Eine niedrige Gehölzartenvielfalt beeinflusst die Vogelartenvielfalt negativ. Geeignete biodiversitätsfördernde Maßnahmen können daher neben der Neuanlage breiter, gehölzartenreicher Hecken in einer Verbreiterung bestehender Hecken, der Anpflanzung zusätzlicher gebietsheimischer Strauch- und Baumarten sowie von Dornsträuchern und dem Zulassen einzelner Überhälter bzw. des Durchwachsens einzelner Bäume liegen. Weiterhin ist anzuraten, Krautsäume zwischen Hecken und bewirtschafteten Flächen zu verbreitern bzw. in ausreichender Breite anzulegen. Auch wenn die Länge der Hecke in den Regressionsmodellen als weitere Einflussvariable für die Vogelartenvielfalt identifiziert wurde, kann hier keine generelle Empfehlung zur Anlage langer Hecken ausgesprochen werden, da der beobachtete Effekt auf die Arten-Areal-Beziehung zurückzuführen sein dürfte. Zudem sind Revierdichten allgemein in kürzeren Hecken höher als in längeren (Barkow 2001, Zwölfer et al. 1984), so dass mehrere kürzere, möglichst in räumlicher Nähe liegende Hecken gegenüber einer langen Hecke die bessere Alternative darstellen können. Signifikante Einflüsse der Landschaftsheterogenität und

der Bewirtschaftungsart angrenzender Flächen auf die Vogelartenvielfalt in Hecken konnten nicht festgestellt werden. Jedoch wird ein schwach positiver Zusammenhang zwischen einer hohen Landschaftsheterogenität und einer hohen Vogelartenvielfalt bzw. ein schwach negativer Zusammenhang zwischen einer geringen Landschaftsheterogenität und einer geringen Vogelartenvielfalt aus den Daten ersichtlich.

Im Spektrum möglicher Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen von Landnutzungseinflüssen und Landschaftsveränderungen stellen die oben aufgezeigten Maßnahmen einen Baustein dar, der durch weitere Maßnahmen (vgl. Kap. 1.2.3) flankiert werden sollte. Zur Unterstützung hierbei kann einerseits landwirtschaftliche Beratung aber auch eine naturschutzfachliche Managementsoftware für Landwirte wie MANUELA (Kap. 4.1.2) dienen. Neben einer Förderung durch lebensmittelerzeugende Unternehmen bieten sich Möglichkeiten der Förderung solcher Maßnahmen auch über Agrarumweltmaßnahmen der Länder oder eine produktionsintegrierte Kompensation im Rahmen der Eingriffsregelung an. Landschaftselemente wie Hecken und Raine sind auch im Hinblick auf Direktzahlungen im Rahmen des Greenings als ökologische Vorrangflächen von Bedeutung und müssen ab bestimmten Mindestgrößen auf Grundlage der Cross Compliance-Regelungen erhalten werden (BMEL 2015).

4.3.2. Maßnahmen zur Verringerung negativer Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten

Zwei naturschutzfachliche Strategien, die häufig zur Unterstützung der Anpassung von Tierarten an den Klimawandel empfohlen werden, sind die Reduzierung derzeitiger Stressoren, um die Resilienz von Populationen zu erhöhen und die Stärkung des Biotopverbunds, um die Anpassung von Arten durch eine räumliche Verschiebung ihres Verbreitungsareals zu fördern (Heller & Zavaleta 2009, Mawdsley et al. 2009). Diese Strategien wurden für die naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“ im Hinblick auf Maßnahmen und Handlungsprioritäten konkretisiert. Dazu wurden aufbauend auf den Ergebnissen aus Kapitel 3.1.1 derzeitige Gefährdungsursachen der in beiden naturräumlichen Regionen potenziell klimaempfindlichen Arten zusammengestellt und Maßnahmen abgeleitet, um diesen Gefährdungsursachen entgegenzuwirken. Daneben wurde analysiert, in welchen Lebensräumen Arten besonders auf Biotopverbundmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel angewiesen sind (nach Reich et al. 2012).

Im Harz sind zur Erhöhung der Resilienz von Populationen zur Anpassung an den Klimawandel Maßnahmen zur Verhinderung von Nährstoffeinträgen bzw. Eutrophierung als prioritär anzusehen. Hiernach folgen Maßnahmen zur Erhöhung der Konnektivität in der Landschaft und zur Verringerung des Landschaftsverbrauchs, Maßnahmen zur Offenhaltung von Lebensräumen, Maßnahmen zur naturnahen Waldrandgestaltung bzw. Waldbewirtschaftung und Maßnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Feuchtlebensräumen. In der Lüneburger Heide werden zur Erhöhung der Resilienz von Populationen zur Anpassung an den Klimawandel Maßnahmen zum Schutz und zur Wiederherstellung von Feuchtlebensräumen als prioritär empfohlen. Weiterhin wichtig sind Maßnahmen zur Extensivierung landwirtschaftlicher Nutzung, Maßnahmen zur Offenhaltung von Lebensräumen sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Konnektivität in der Landschaft und zur Verringerung des Landschaftsverbrauchs. In beiden naturräumlichen Regionen sind, mit Blick auf eine überregiona-

le Klimawandelanpassung, schwerpunktmäßig im Lebensraumtyp (trockenes) Offenland Biotopverbundmaßnahmen umzusetzen, in der Lüneburger Heide zusätzlich auch im Lebensraumtyp Gewässer. Weiterhin werden eine Vergrößerung des Anteils naturschutzrechtlich gesicherter Fläche, die Einrichtung von Monitoringprogrammen und ein darauf aufbauendes adaptives Management sowie eine Stärkung der Grundlagenforschung empfohlen.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen können vor dem Hintergrund des Klimawandels als no-regret-Maßnahmen (Willows & Connell 2003) angesehen werden. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen, deren Umsetzung derzeit sinnvoll ist und unabhängig vom konkreten Ausmaß klimatischer Veränderungen sinnvoll bleibt. Da die Prognosen über Klimaveränderungen und ihre Auswirkungen aufgrund des mehrere Jahrzehnte in die Zukunft reichenden Zeithorizonts unter Unsicherheiten getroffen werden (Kap. 4.2.4; vgl. auch Birkmann et al. 2017), macht es Sinn, auf solche no-regret-Maßnahmen zurückzugreifen. Diese tragen dem Risiko unvorhersehbarer Reaktionen von Tierarten auf klimatische Veränderungen sowie den allgemeinen Prognoseunsicherheiten aufgrund von Datenlücken zur Ökologie und Physiologie der Arten Rechnung. Selbst wenn die tatsächliche Wirkungen der klimatischen Veränderungen von den projizierten abweichen, ist von einem positiven Einfluss der Maßnahmen auf die jeweiligen Arten und Lebensgemeinschaften auszugehen.

4.3.3. Synergien naturschutzfachlicher Maßnahmen zur Verringerung negativer Einflüsse von Klimawandel und Landnutzung

Die Themenfelder Landnutzung und Klima bzw. Klimawandel sind auf vielfältige Art miteinander verwoben (vgl. Dale 1997 und Kap. 1.1). Vor dem Hintergrund dieser vielfältigen Wechselwirkungen können auch naturschutzfachliche Maßnahmen Synergien im Hinblick darauf aufweisen, sowohl negative Auswirkungen von Landnutzungseinflüssen als auch von klimawandelbedingten Einflüssen auf Arten und Lebensräume abzumildern. So ist es beispielsweise sinnvoll, zur Stärkung der Resilienz von Arten gegenüber potenziellen Auswirkungen des Klimawandels zunächst derzeit wirkende Stressoren und Gefährdungsursachen zu minimieren (vgl. Kap. 3.1.2). Viele solcher derzeit wirkenden Stressoren und Gefährdungsursachen sind nutzungsbezogen - sie können auch direkte oder indirekte Folge landwirtschaftlicher Nutzung sein. Dazu gehören beispielsweise die Trockenlegung von Feuchtgrünland und Kleingewässern, die Eutrophierung von Gewässern und Mooren, die Düngung von Grünland und die Umwandlung von Grünland in Acker (vgl. Kap. 3.1.2). Im Harz sind beispielsweise Maßnahmen zur Verhinderung von Nährstoffeinträgen bzw. Eutrophierung zur Erhöhung der Resilienz von Populationen gegenüber Auswirkungen des Klimawandels wichtig, in der Lüneburger Heide Maßnahmen zur Extensivierung landwirtschaftlicher Nutzung (vgl. Kap. 3.1.2). Geeignete Maßnahmen stellen - je nach Region - z.B. die Förderung extensiver Landbewirtschaftung mit geringeren Düngergaben und die Anlage von Gewässerrandstreifen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten dar. Hier ist jeweils ein direkter Bezug zur Landnutzung bzw. Landwirtschaft gegeben. Auch kann eine an Klimaveränderungen angepasste Landnutzung mögliche negative Auswirkungen auf Tierarten zumindest teilweise abmildern. Ein Beispiel hierfür sind Anpassungen im Mahdregime von Wiesen, damit über die Ebene des Mikroklimas mögliche negative makroklimatische Auswirkungen auf Wirbellose verringert werden (vgl. Klotz & Settele 2017).

Neben der Reduzierung derzeit wirkender Stressoren gilt auch die Erhöhung der Konnektivität von Lebensräumen, also die Stärkung des Biotopverbunds, als eine robuste Anpassungsstrategie vor dem Hintergrund klimatischer Veränderungen und ihrer Prognoseunsicherheiten (Lawler et al. 2010). Das Thema Biotopverbund nimmt daher sowohl vor dem Hintergrund des Klimawandels als auch vor dem Hintergrund des Landnutzungswandels eine entscheidende Rolle ein. Sowohl im Harz als auch in der Lüneburger Heide kann der Schutz bzw. die Entwicklung unzerschnittener Biotopverbundstrukturen sowohl die Anpassung von Arten an den Klimawandel durch Wanderung unterstützen als auch der Reduzierung derzeit wirkender Stressoren dienen (vgl. Kap. 3.1.2). Bei den auf Biotopverbund als Anpassungsmaßnahme angewiesenen Arten liegt dabei in beiden naturräumlichen Regionen ein besonderer Fokus auf den Lebensraumtypen des Offenlandes. Maßnahmen zur Erhöhung der Konnektivität in der Landschaft und zur Verringerung des Landschaftsverbrauchs, z.B. durch Anlage von Brach- und Extensivflächen und extensiv genutzten Randstreifen, finden sich in beiden naturräumlichen Regionen unter den prioritären Maßnahmen zur Stärkung der Resilienz von Arten bzw. Populationen gegenüber Auswirkungen des Klimawandels. Die Erhöhung der Durchlässigkeit von Landschaften durch den Erhalt und die Entwicklung von extensiv genutzten Trittsteinen und Verbundstrukturen, gerade auch in der landwirtschaftlich genutzten „Normallandschaft“, ist neben dem Erhalt und der Entwicklung von großräumigen Biotopverbundsystemen von entscheidender Bedeutung, um die Wanderung von Arten zu ermöglichen (Schlumprecht et al. 2014).

Raine und Hecken können solche extensiv genutzten Randstreifen bzw. Biotopverbundstrukturen im Offenland darstellen (Forman & Baudry 1984, Knauer 1993, Lüttmann 1994). In der vorliegenden Arbeit wurden Modelle entwickelt, die Raine und Hecken hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Artenvielfalt bewerten und auf dieser Basis die Grundlage für eine Ableitung und Lokalisierung biodiversitätsfördernder Maßnahmen für diese Strukturen auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe schaffen. Die Landwirtschaft spielt bei der Bewahrung der Artenvielfalt eine Schlüsselrolle. Dabei ist - wie oben dargelegt - die Zusammenarbeit mit Landnutzern zur Erreichung naturschutzfachlicher Ziele nicht nur vor dem Hintergrund des Landnutzungswandels, sondern auch vor dem Hintergrund des Klimawandels notwendig. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass ein Großteil der Fläche Deutschlands (51,6%) landwirtschaftlich genutzt wird (Statistisches Bundesamt 2017). Die vermehrte Integration naturschutzfachlicher Ziele in die Landbewirtschaftung kann daher wesentlich zum Erhalt und zur Förderung der Biodiversität beitragen. Die bereits erfolgte Implementierung der Modelle in die Open-Source-Software MANUELA (s. Kap. 4.1.2) kann - gerade wenn Lebensmittelunternehmen als Abnehmer landwirtschaftlicher Produkte die Nutzung solcher Programme aktiv fördern - einen Beitrag dazu leisten, Naturschutzmaßnahmen in die Landbewirtschaftung zu integrieren, sei es auf der bewirtschafteten Fläche selbst oder auf Nebengebäuden.

Eine solche Integration naturschutzfachlicher Ziele in die Landbewirtschaftung berührt die *land sharing / land sparing*-Debatte, die global kontrovers geführt wird (Fischer et al. 2011b, Kremen 2015, Phalan et al. 2011) und in Deutschland auch als Segregation versus Integration bekannt ist (Haber 2014). *Land sparing* (Segregation) meint ein Nebeneinander von intensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen und Flächen für den Naturschutz. *Land sharing* (oder *wildlife-friendly farming / Integration*) meint eine Naturschutzziele integrierende bzw. extensivere Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen und damit den Erhalt von

Artenvielfalt in der Fläche (Green et al. 2005, Fischer et al. 2014). Zum Erhalt der Artenvielfalt in der europäischen Agrarlandschaft sind in besonderem Maße Bewirtschaftungsweisen und Naturschutzstrategien wichtig, die eher dem *land sharing* zuzuordnen sind. Diese können je nach Standortverhältnissen unterschiedlich ausgeprägt sein, so dass auf hochproduktiven Standorten eher ein Fokus auf dem Erhalt und der Förderung naturnaher Habitats als Strukturelemente auf den Betriebsflächen und auf weniger produktiven Standorten zusätzlich auf einer extensiven Bewirtschaftung auf ganzer Fläche liegen kann (Herzog & Schüepp 2013, vgl. auch Hampicke 2013). Der modulare Aufbau der Software MANUELA, in der die in der vorliegenden Arbeit entwickelten Modelle implementiert sind, ermöglicht solch eine betrieblich individuelle Schwerpunktsetzung, auch vor dem Hintergrund der Produktivität der Flächen.

Naturschutzfachliche Synergien zwischen den Themenbereichen Klimawandel und Landnutzungswandel ergeben sich nicht nur beim Schutz der Artenvielfalt im Allgemeinen, sondern auch auf der Ebene des Schutzes und der Förderung einzelner Arten, darunter auch solcher, die beim Artenpoolvergleich zukünftig klimaanaloger Räume als potenziell in den Naturraum Lüneburger Heide einwandernde Arten identifiziert wurden. Bei etwa der Hälfte dieser in Kapitel 3.2.2 identifizierten Arten handelt es sich um ehemalige gelegentliche oder regelmäßige Brutvögel in Niedersachsen (Krüger & Oltmanns 2007), die zumindest teilweise auch aufgrund von Landnutzungsintensivierungen im Laufe des 20. Jahrhunderts Bestandseinbußen in Europa erfahren haben, wie etwa der Triel (Glutz von Blotzheim 1986), der Rotkopfwürger (Glutz von Blotzheim 1993) und die Zwergtrappe (Glutz von Blotzheim 1994). Solche potenziell einwandernden Arten, die auf landwirtschaftlichen Flächen brüten oder dort nach Nahrung suchen, könnten daher ebenfalls von Maßnahmen zur Förderung einer extensiveren Landnutzung profitieren. In Kombination mit einem für diese Arten günstiger werdenden Klima könnten solche Maßnahmen zu einer Zunahme der für sie geeigneten Habitats führen. Triel und Rotkopfwürger, aber auch weitere potenziell in den Naturraum Lüneburger Heide einwandernde Arten wie z.B. Rothuhn, Zwergohreule, Orpheusspötter und Zaunammer wurden darüber hinaus bei Reich et al. (2012) als Arten identifiziert, die infolge des Klimawandels potenziell gefährdet sind und besonders auf einen Biotopverbund in Deutschland im Lebensraumtyp trockenes Offenland angewiesen sind.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels muss ein weiterer wichtiger Schwerpunkt naturschutzfachlicher Bemühungen auf dem Schutz und der Renaturierung von Feuchtgebieten liegen (vgl. Kap. 3.1.1 und 3.2.2). Zukünftig werden Arten der Feuchtgebiete, die aufgrund des Verlusts ihrer Lebensräume in den vergangenen Jahrzehnten - aber auch aufgrund weiterhin bestehender Gefährdungsfaktoren wie Entwässerung und Grünlandumbruch - stark zurückgegangen sind (vgl. Nehls et al. 2001, Südbeck & Krüger 2004), zusätzlich dem Stress einer erhöhten Sommertrockenheit ausgesetzt sein. Die Ergebnisse des Artenpoolvergleichs zukünftig klimaanaloger Räume (Kap. 3.2.2) legen für auf solche Feuchtgebiete angewiesene Vogelarten nahe, dass für die meisten Arten die Klimaveränderungen an sich weniger problematisch sind. Entscheidend scheint vielmehr das mit den Klimaänderungen einhergehende Verschwinden ihrer Lebensräume zu sein. Andere Studien zu Auswirkungen des Klimawandels auf Tierarten kommen zu ähnlichen Ergebnissen. So fanden Kerth et al. (2014) bei der Abschätzung des Anpassungspotenzials von in besonderem Maße durch den Klimawandel gefährdeten Arten ebenfalls nur wenige Hinweise auf eine direkte Gefährdung der Arten durch höhere Temperaturen. Eine wesentlich größere Anzahl von Arten war hinge-

gen durch die Austrocknung ihrer Habitate gefährdet (ebd.). Auch Cahill et al. (2013) zeigen in ihrer Übersichtsarbeit zu Ursachen klimawandelbedingter Aussterbeprozesse auf, dass andere mit Klimaveränderungen in Zusammenhang stehende Wirkmechanismen, wie z.B. Veränderungen zwischenartlicher Interaktionen, wichtiger als physiologische Toleranzen sein könnten.

Der Schutz und die Renaturierung bzw. Schaffung von Feuchtlebensräumen kann daher negative Auswirkungen des Klimawandels auf diese Arten abmildern. Daneben stellen die Erhaltung und Renaturierung von Mooren und Feuchtgebieten aufgrund ihrer Funktion als Kohlenstoffsinken auch einen positiven Beitrag zum Klimaschutz dar (von Haaren et al. 2010, Schlegelmilch et al. 2018). Um den Schutz von Feuchtgebieten und Renaturierungsmaßnahmen erfolgreich umsetzen zu können, wird der Dialog und die Kooperation mit Landnutzern zukünftig von noch größerer Bedeutung sein, da landnutzungsbedingte negative Auswirkungen auf Feuchtgebiete infolge eines vermutlich steigenden landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs zukünftig noch verstärkt werden könnten (vgl. Olesen & Bindi 2002, Erwin 2009). Bereits bestehende naturschutzfachliche Forderungen erhalten hier aufgrund der zukünftig durch den Klimawandel anzunehmenden Auswirkungen ein zusätzliches Gewicht.

5. Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Arbeit hat Auswirkungen landnutzungs- und klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchtet und Wege aufgezeigt, wie diese ermittelt und bewertet werden können, aber auch welche Möglichkeiten bestehen, negative Auswirkungen abzumildern bzw. positive Effekte zu verstärken. Dabei wurden sowohl Synergien und Wechselwirkungen zwischen den Themenfeldern Landnutzung und Klimawandel und den sie betreffenden Naturschutzmaßnahmen (Kap. 4.3.3) als auch Unsicherheiten und methodische Grenzen, was die Vorhersagbarkeit von Auswirkungen und die zugrunde liegenden Wirkzusammenhänge anbelangt, herausgearbeitet (Kap. 4.1.1 und 4.2.4).

Solche Unsicherheiten und methodischen Grenzen liegen auch in Datenlücken und der teilweise unvollständigen Kenntnis ökologischer Ansprüche und biotischer Interaktionen der Arten begründet (vgl. hierzu auch Rabitsch et al. 2010, Grant et al. 2014, Kerth et al. 2014). Hier hat sich gerade bei der Erarbeitung der Empfindlichkeitsanalysen zur Beurteilung der Einflüsse des Klimawandels auf Tierarten gezeigt, dass der Grundlagenforschung in diesem Themenfeld eine wichtige Rolle zukommt. Bei vielen Arten ist noch unklar, wie diese auf steigende Temperaturen und ein verändertes Niederschlagsregime reagieren. Hinzu kommt, dass Arten und Lebensgemeinschaften möglicherweise in einer für uns unerwarteten Weise auf klimabedingte Veränderungen reagieren (vgl. Hulme 2005, Lawler et al. 2010). Klimawandelbezogene Monitoringprogramme sind daher unerlässlich. Anpassungsstrategien und -maßnahmen müssen in einem iterativen Prozess in regelmäßigen Abständen mit dem neuen Erkenntnisstand abgeglichen und ggf. angepasst werden (vgl. Hannah et al. 2002, Lawler et al. 2010). Dies betrifft sowohl die Einbeziehung der Daten neuer Emissionsszenarien¹ als auch neuer Erkenntnisse der Klimafolgenforschung an Tierarten aus Modellierungen, empirischen Studien und Freilandbeobachtungen. Für Monitoringprogramme zur Überwachung von Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Lebensräume sind vor allem auf regionaler Ebene geeignete Indikatoren zu identifizieren - auf nationaler sowie z.T. auf Länder-Ebene liegen solche Indikatoren bereits vor (Schliep et al. 2017, Braeckevelt et al. 2018, UBA 2015). Anpassungsmaßnahmen sind in Pilotprojekten wissenschaftlich zu begleiten. Ein Beispiel hierfür ist das Waldklimafonds-Projekt „Fit für den Klimawandel“, in dem Maßnahmen zur Anpassung von Feuchtwäldern und Waldmooren im Süden von Münster entwickelt, umgesetzt und durch ein Monitoring wissenschaftlich begleitet wurden (Linneemann et al. 2018). Auch ist zu überlegen, welchen Beitrag die bestehenden landschaftsplanerischen Instrumente zur Klimaanpassung von Tierarten und deren Lebensräumen leisten können und müssen. Im Hinblick auf die Eingriffsregelung wird dies derzeit im Projekt „Kompensationsflächenmanagement im Klimawandel - Anpassungsmaßnahmen im Bremer Feuchtgrünland zum Erhalt von Ökosystemleistungen und Empfehlungen für die Eingriffsregelung“ erforscht (Kunze et al. 2014). Für Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne hat der Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel gezeigt, dass klimawandelbezogene Aussagen zwar deutlich zugenommen haben, die

¹ Für den 5. Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2014) haben die RCP-Szenarien die bis dahin genutzten SRES-Szenarien abgelöst. Den regionalen Klimamodellen REMO und CLM, die für die vorliegende Arbeit verwendet wurden, liegen noch die SRES-Szenarien zugrunde.

Ableitung klimawandelbezogener Ziele und Maßnahmen aber bislang nur in geringem Umfang erfolgt (UBA 2015).

Im Hinblick auf Klimafolgen und Klimaanpassung müssen grundlegende Diskussionen geführt werden, die im Rahmen dieser Arbeit nur angerissen werden können. Dazu gehören beispielsweise mögliche Zielkonflikte zwischen Biotopverbundmaßnahmen und dem Schutz vor invasiven Arten, die im Zuge des Klimawandels zu einem zunehmenden Problem werden könnten (vgl. Rahel & Olden 2008 für aquatische Arten). Weiterhin stellt sich die Frage, was wir unter zukünftigen klimatischen Bedingungen mit welchen Mitteln erhalten können und wollen und wo ein konservierender Naturschutz mit Aufrechterhaltung des Status Quo und wo ein dynamischer Prozessschutz angestrebt werden sollte, wobei solche Fragen auch in Abhängigkeit vom Lebensraumtyp beantwortet werden müssen (vgl. Hampicke 2013).

Hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung von Landnutzungseinflüssen ist als Weiterentwicklung der vorliegenden Arbeit Forschungsbedarf in der Erweiterung der vorgestellten Modelle auf andere Arten und Lebensräume der Agrarlandschaft zu sehen. Ein Ansatzpunkt für zukünftige Arbeiten ist beispielsweise die Überprüfung, inwiefern die Modelle, die für Tagfalter auf Rainen und Vögel in Hecken entwickelt wurden, auch auf andere Artengruppen übertragbar sind bzw. ob sich für andere Artengruppen anhand der gleichen Variablen Regressionsmodelle mit ähnlicher Vorhersagegüte entwickeln ließen. Dies hätte den Vorteil, dass Naturschutzleistungen von Landwirten und der Nutzen von Maßnahmen auf ihren Flächen umfangreicher quantifiziert werden könnten und dafür keine zusätzlichen Datenerhebungen notwendig wären. Die Entwicklung eines Modells zur Abschätzung der Vogelartenvielfalt auf Ackerflächen mit einem schlagübergreifenden Ansatz bei gleichzeitiger Nutzbarkeit für die Ebene des einzelnen Betriebs stellt eine zusätzliche mögliche zukünftige Erweiterung des Modell-Baukastens dar.

Auch ist die Einbeziehung weiterer Lebensräume auf landwirtschaftlichen Betrieben in die Modelle lohnenswert, vor allem von Grünland, das mit 28% an der landwirtschaftlichen Fläche Deutschlands (vgl. Statistisches Bundesamt 2017) und als Lebensraum vieler Arten (Knauer 1993) einen sehr wichtigen Beitrag zur Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Betrieben leistet. Weiterhin sind an dieser Stelle Gewässer zu nennen - auch weil ihnen, neben dem Feuchtgrünland, vor dem Hintergrund des Klimawandels in der Agrarlandschaft eine besondere Bedeutung zukommt. Für Kleingewässer in der Agrarlandschaft gibt es in der naturschutzfachlichen Betriebsmanagement-Software MANUELA bereits die Möglichkeit einer differenzierten Biotopbewertung, die allerdings noch nicht mit einer quantitativen Prognose der Artenvielfalt einhergeht (Pfeiffenberger et al. 2013). Hierin liegt ebenfalls eine Möglichkeit der Weiterentwicklung und Vervollständigung der Modelle.

Die Aufbereitung der Ergebnisse zur Ermittlung und Bewertung von Auswirkungen landnutzungsbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten (Kap. 2) als leicht anwendbare Modelle integriert in eine frei verfügbare Software gewährleistet eine hohe Nutzerfreundlichkeit. Eine solche nutzer- bzw. aktorsfreundliche Aufbereitung ist auch für die Ergebnisse aus dem Themenfeld der Auswirkungen klimawandelbedingter Umweltveränderungen auf Tierarten (Kap. 3) wünschenswert und eine denkbare zukünftige Weiterentwicklung der entwickelten Methoden und Ergebnisse. Möglicherweise könnten dazu - bezogen auf Auswirkungen des Klimawandels auf die Arten der Agrarlandschaft - auch Informationen in eine naturschutzfachliche Betriebsmanagement-Software wie MANUELA integriert werden, zum Beispiel zur

Klimaempfindlichkeit und dementsprechenden Schutzbedürftigkeit von Arten und ihren Lebensräumen, zu geeigneten Maßnahmen oder auch zu regionalen Klimaprojektionen.

Generell gilt sowohl für die Beurteilung von Auswirkungen des Klimawandels wie auch von Auswirkungen von Landschaftsveränderungen und Landnutzung, dass natürliche Prozesse eine zum Teil nur schwer statistisch abzubildende Dynamik haben, und dass nicht alle Parameter, die Tierarten beeinflussen, auch bekannt sind bzw. mit vertretbarem Aufwand erhoben werden können. Methoden, wie die in dieser Arbeit entwickelten, können immer nur einen Ausschnitt der Umwelt betrachten, der bestimmte Lebensräume und bestimmte Artengruppen umfasst. Nichtsdestotrotz bedarf es gerade im Hinblick auf die Ableitung naturschutzfachlicher Maßnahmen solcher Methoden zur Ermittlung und Bewertung von landnutzungs- und klimawandelbedingten Auswirkungen auf Tierarten.

Literaturverzeichnis

- Ahnström, J.; Höckert, J.; Bergea, H. L.; Francis, C. A.; Skelton, P.; Hallgren, L. (2008): Farmers and nature conservation: What is known about attitudes, context factors and actions affecting conservation? *Renewable Agriculture and Food Systems* 24 (1), 38–47.
- Araújo, M. B.; Pearson, R. G. (2005): Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography* 28 (5), 693–695.
- Araújo, M. B.; Thuiller, W.; Pearson, R. G. (2006): Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *Journal of biogeography* 33 (10), 1712-1728.
- Arnold, G. W. (1983): The influence of ditch and hedgerow structure, length of hedgerows, and area of woodland and garden on bird numbers on farmland. *Journal of Applied Ecology* 20 (3), 731-750.
- Bairlein, F.; Hüppop, O. (2004): Migratory Fuelling and Global Climate Change. In: Møller, A. P.; Fiedler, W.; Berthold, P. (Hrsg.): *Birds and Climate Change*. Amsterdam: Elsevier, 33-48.
- Barkow, A. (2001): Die ökologische Bedeutung von Hecken für Vögel. Dissertation am Institut für Vogelforschung 'Vogelwarte Helgoland' in Wilhelmshaven und am Zentrum für Naturschutz der Georg-August-Universität Göttingen. Aufgerufen am 23.10.2013, <https://d-nb.info/966435338/34>.
- Bastian, A.; Bastian, H. V.; Fiedler, W.; Rupp, J.; Todte, I.; Weiss, J. (2013): Der Bienenfresser (*Merops apiaster*) in Deutschland: eine Erfolgsgeschichte. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 12 (3), 861-894.
- Bauer, H.-G.; Bezzel, E.; Fiedler, W. (Hrsg.; 2005): *Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas: Alles über Biologie, Gefährdung und Schutz. Nonpasseriformes – Nichtsperlingsvögel*. 2. Aufl., Wiebelsheim: AULA-Verlag.
- Behrens, M.; Fartmann, T.; Hölzel, N. (2009): Pilotstudie "Klimawandel und Biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen" - Teil 1. Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.
- Beierkuhnlein, C.; Jentsch, A.; Jäger, J.; Ellwanger, G. (2014): Naturschutz in Zeiten des Klimawandels: Herausforderungen und Konsequenzen. In: Beierkuhnlein, C.; Jentsch, A.; Reineking, B.; Schlumprecht, H.; Ellwanger, G. (Hrsg.): *Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes*. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 137, Bonn – Bad Godesberg, 417-432.
- Belfrage, K.; Björklund, J.; Salomonsson, L. (2005): The effects of farm size and organic farming on diversity of birds, pollinators, and plants in a Swedish landscape. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 34 (8), 582-588.
- Bengtsson, J.; Ahnström, J.; Weibull, A. C. (2005): The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of applied ecology* 42 (2), 261-269.

- Benton, T. G.; Bryant, D. M.; Cole, L.; Crick, H. Q. P (2002): Linking agricultural practice to insect and bird populations: a historical study over three decades. *Journal of Applied Ecology* 39 (4), 673-687.
- Benton, T. G.; Vickery, J. A.; Wilson, J. D. (2003): Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. *Trends in ecology & evolution* 18 (4), 182-188.
- Bergmann, J.; Pompe, S.; Ohlemüller, R.; Freiberg, M.; Klotz, S.; Kühn, I. (2010): The Iberian Peninsula as a potential source for the plant species pool in Germany under projected climate change. *Plant Ecology* 207 (2), 191-201.
- Berthold, G. (2010): Klimawandel und Zusatzwasserbedarf im Hessischen Ried. In: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.): Jahresbericht 2009 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Wiesbaden, 63-71.
- Biesbroek, G. R.; Swart, R. J.; Carter, T. R.; Cowan, C.; Henrichs, T.; Mela, H.; Morecroft, M. D.; Rey, D. (2010): Europe adapts to climate change: comparing national adaptation strategies. *Global environmental change* 20 (3), 440-450.
- Billeter, R.; Liira, J.; Bailey, D.; Bugter, R.; Arens, P.; Augenstein, I.; Aviron, S.; Baudry, J.; Bukacek, R.; Burel, F.; Cerny, M.; De Blust, G.; De Cock, R.; Diekötter, T.; Dietz, H.; Dirksen, J.; Dormann, C.; Durka, W.; Frenzel, M.; Hamersky, R.; Hendrickx, F.; Herzog, F.; Klotz, S.; Koolstra, B.; Lausch, A.; Le Coeur, D.; Maelfait, J. P.; Opdam, P.; Roubalova, M.; Schermann, A.; Schermann, N.; Schmidt, T.; Schweiger, O.; Smulders, M. J. M.; Speelmans, M.; Simova, P.; Verboom, J.; van Wingerden, W. K. R. E.; Zobel, M.; Edwards, P. J. (2008): Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan - European study. *Journal of Applied Ecology* 45 (1), 141-150.
- Birkmann, J.; Greiving, S.; Serdeczny, O. M. (2017): Das Assessment von Vulnerabilitäten, Risiken und Unsicherheiten. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöllner, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 267-276.
- Birrer, S.; Zellweger-Fischer, J.; Stoeckli, S.; Korner-Nievergelt, F.; Balmer, O.; Jenny, M.; Pfiffner, L. (2014): Biodiversity at the farm scale: A novel credit point system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 197, 195-203.
- Birrer, S.; Bircher, R.; Chevillat, V.; Graf, R.; Hagist, D.; Home, R.; Jenny, M.; Pfiffner, L.; Stoeckli, S.; Steinemann, B.; Weidmann, G.; Zellweger-Fischer, J. (2015): Mit Vielfalt punkten – Bauern beleben die Natur - Jahresbericht 2015. Schweizerische Vogelwarte, CH-Sempach und Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), CH-Frick.
- Blois, J. L.; Williams, J. W.; Fitzpatrick, M. C.; Jackson, S. T.; Ferrier, S. (2013): Space can substitute for time in predicting climate-change effects on biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (23), 9374-9379.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2015): Umsetzung der EU-Agrarreform in Deutschland - Ausgabe 2015. Berlin.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2013): Gemeinsam für die biologische Vielfalt. Rechenschaftsbericht 2013 zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin.

- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. 4. Aufl., Berlin.
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2015): Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin.
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2017): Biologische Vielfalt in Deutschland: Fortschritte sichern - Herausforderungen annehmen! Rechenschaftsbericht 2017 der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt.
- Boatman, N. D.; Brickle, N. W.; Hart, J. D.; Milsom, T. P.; Morris, A. J.; Murray, A. W.; Murray, K. A.; Robertson, P. A. (2004): Evidence for the indirect effects of pesticides on farmland birds. *Ibis* 146, 131-143.
- Böhning-Gaese, K.; Lemoine, N. (2004): Importance of Climate Change for the Ranges, Communities and Conservation of Birds. In: Møller, A. P.; Fiedler, W.; Berthold, P. (Hrsg.): *Birds and Climate Change*. Amsterdam: Elsevier, 211-236.
- Braeckevelt, E.; Heiland, S.; Schliep, R.; Sukopp, U.; Trautmann, S.; Züghart, W. (2018): Indikatoren zu Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. Stand und Perspektiven am Beispiel von Meereszooplankton und Vögeln in Deutschland. *Natur und Landschaft* 93 (12), 538-544.
- Bredemeier, B.; von Haaren, C.; Rüter, S.; Reich, M.; Meise, T. (2015): Evaluating the nature conservation value of field habitats: A model approach for targeting agri-environmental measures and projecting their effects. *Ecological Modelling* 295, 113–122.
- Bredemeier, B.; Schmehl, M.; Rode, M.; Geldermann, J.; von Haaren, C. (2017): Biodiversität und Landschaftsbild in der Ökobilanzierung von Biogasanlagen. *Umwelt und Raum* 8. Hannover: Repositorium der Leibniz Universität Hannover.
- Brereton, T.; Roy, D. B.; Middlebrook, I.; Botham, M.; Warren, M. (2011): The development of butterfly indicators in the United Kingdom and assessments in 2010. *Journal of Insect Conservation* 15 (1-2), 139-151.
- Bright, J. A.; Morris, T.; Winspear, R. J. (2008): A review of Indirect Effects of Pesticides on Birds and mitigating land-management practices. RSPB Research Report No 28. Sandy, Bedfordshire: RSPB.
- Bronstert, A.; Bormann, H.; Bürger, G.; Haberlandt, U.; Hattermann, F.; Heistermann, M.; Huang, S.; Kolokotronis, V.; Kundzewicz, Z. W.; Menzel, L.; Meon, G.; Merz, B.; Meuser, A.; Paton, E. N.; Petrow, T. (2017) Hochwasser und Sturzfluten an Flüssen in Deutschland. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 87-101.
- Cahill, A. E.; Aiello-Lammens, M. E.; Fisher-Reid, M. C.; Hua, X.; Karanewsky, C. J.; Yeong Ryu, H.; Sbeglia, G. C.; Spagnolo, F.; Waldron, J. B.; Warsi, O.; Wiens, J. J. (2013). How does climate change cause extinction?. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 280 (1750), 20121890.

- Cimiotti, D.; Hötger, H.; Schöne, F. (2011): Projekt „1000 Äcker für die Feldlerche“ des Naturschutzbundes Deutschland in Kooperation mit dem Deutschen Bauernverband. Abschlussbericht. Projektbericht für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Crick, H. Q. P.; Sparks, T. H. (1999): Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399, 423-424.
- Crick, H. Q. P. (2004): The impact of climate change on birds. *Ibis* 146, 48-56.
- Dale, V. H. (1997): The relationship between land-use change and climate change. *Ecological applications* 7 (3), 753-769.
- Dawson, T. P.; Berry, P. M.; Kampa, E. (2003): Climate change impacts on freshwater wetland habitats. *Journal for Nature Conservation* 11 (1), 25-30.
- DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) (2018): UK Biodiversity Indicators 2018. London: DEFRA.
- de Snoo, G. R.; Van der Poll, R. J.; Beitels, J. (1998): Butterflies in sprayed and unsprayed field margins. *Journal of Applied Entomology* 122 (1-5), 157-161.
- de Snoo, G. R. (1999): Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice. *Landscape and Urban Planning* 46 (1-3), 151-160.
- de Snoo, G. R.; Herzon, I.; Staats, H.; Burton, R. J. F.; Schindler, S.; van Dijk, J.; Lokhorst, A. M.; Bullock, J. M.; Lobley, M.; Wrška, T.; Schwarz, G.; Musters, C. J. M. (2013): Toward effective nature conservation on farmland: making farmers matter. *Conservation Letters* 6 (1), 66-72.
- Devictor, V.; van Swaay, C.; Brereton, T.; Brotons, L.; Chamberlain, D.; Heliola, J.; Herrando, S.; Julliard, R.; Kuussaari, M.; Lindström, A.; 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* 2, 121-124.
- Dicks, L. V.; Ashpole, J. E.; Dänhardt, J.; James, K.; Jönsson, A.; Randall, N.; Showler, D. A.; Smith, R. K.; Turpie, S.; Williams, D.; Sutherland, W. J. (2013): *Farmland Conservation: Evidence for the effects of interventions in northern and western Europe*. Exeter: Pelagic Publishing.
- Dobler, A.; Feldmann, H.; Ulbrich, U.; Jacob, D.; Kottmeier, C. (2017): Grenzen und Herausforderungen der regionalen Klimamodellierung. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 37-44.
- Donald, P. F.; Green, R. E.; Heath, M. F. (2001): Agriculture intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 268, 25-29.
- Donald P. F.; Morris T. J. (2005): Saving the sky lark: new solutions for a declining farmland bird. *British Birds* 98, 570-578.

- Donald, P. F.; Sanderson, F. J.; Burfield, I. J.; Bommel van, F. P. J. (2006): Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990–2000. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 116 (3-4), 189–196.
- Drösler, M.; Adelman, W.; Augustin, J.; Bergmann, L.; Beyer, C.; Chojnicki, B.; Förster, C.; Freibauer, A.; Giebels, M.; Görlitz, S.; Höper, H.; Kantelhardt, J.; Liebersbach, H.; Hahn-Schöfl, M.; Minke, M.; Petschow, U.; Pfadenhauer, J.; Schaller, L.; Schägner, P.; Sommer, M.; Thuille, A.; Wehrhan, M. (2013): Klimaschutz durch Moorschutz. Schlussbericht des BMBF-Vorhabens: Klimaschutz - Moornutzungsstrategien 2006-2010. Aufgerufen am 22.03.2019, <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/735500762.pdf>.
- Duelli, P.; Obrist, M. K. (2003): Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98 (1-3), 87-98.
- EBCC (European Bird Census Council) (2017): Use of outputs generated by Pan-European Common Bird Monitoring Scheme. Aufgerufen am 20.04.2018, <http://www.ebcc.info/921-revision-v1/>.
- EEA (European Environment Agency) (2010): Assessing biodiversity in Europe - the 2010 report. Copenhagen: EEA.
- EEA (European Environment Agency) (Hrsg.; 2013): The European grassland butterfly indicator: 1990–2011. EEA Technical Reports 11. Luxemburg: Publications Office of the European Union.
- EEA (European Environment Agency) (2017): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report. Copenhagen: EEA.
- Eggers, S.; Unell, M.; Pärt, T. (2011): Autumn-sowing of cereals reduces breeding bird numbers in a heterogeneous agricultural landscape. *Biological Conservation* 144 (3), 1137-1144.
- Erwin, K. L. (2009). Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and management*, 17 (1), 71-84.
- Filippi-Codaccioni, O.; Devictor, V.; Bas, Y.; Julliard, R. (2010): Toward more concern for specialisation and less for species diversity in conserving farmland biodiversity. *Biological Conservation* 143 (6), 1493-1500.
- Fischer, C.; Flohre, A.; Clement, L. W.; Batáry, P.; Weisser, W. W.; Tschardtke, T.; Thies, C. (2011a): Mixed effects of landscape structure and farming practice on bird diversity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141 (1), 119-125.
- Fischer, J.; Batáry, P.; Bawa, K. S.; Brussaard, L.; Chappell, M. J.; Clough, Y.; Daily, G. C.; Dorrough, J.; Hartel, T.; Jackson, L. E.; Klein, A. M.; Kremen, C.; Kuemmerle, T.; Lindenmayer, D. B.; Mooney, H. A.; Perfecto, I.; Philpott, S. M.; Tschardtke, T.; Vandermeer, J.; Cherico Wanger, T.; Von Wehrden, H. (2011b): Conservation: limits of land sparing. *Science* 334 (6056), 593.
- Fischer, J.; Abson, D. J.; Butsic, V.; Chappell, M. J.; Ekroos, J.; Hanspach, J.; Kuemmerle, T.; Smith, H. G.; von Wehrden, H. (2014): Land sparing versus land sharing: moving forward. *Conservation Letters* 7 (3), 149-157.

- Forman, R. T.; Baudry, J. (1984): Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. *Environmental management* 8 (6), 495-510.
- Fuchs, S.; Stein-Bachinger, K. (2008): *Naturschutz im Ökolandbau: Praxishandbuch für den ökologischen Ackerbau im norddeutschen Raum*. Mainz: Bioland Verlags GmbH.
- Fuller, R. J.; Hinsley, S. A.; Swetnam, R. D. (2004): The relevance of non-farmland habitats, uncropped areas and habitat diversity to the conservation of farmland birds. *Ibis* 146, 22-31.
- Geiger, F.; Bengtsson, J.; Berendse, F.; Weisser, W. W.; Emmerson, M.; Morales, M. B.; Ceryngier, P.; Liira, J.; Tschamntke, T.; Winqvist, C.; Eggers, S.; Bommarco, R.; Pärt, T.; Bretagnolle, V.; Plantegenest, M.; Clement, L. W.; Dennis, C.; Palmer, C.; Oñate, J. J.; Guerrero, I.; Hawro, V.; Aavik, T.; Thies, C.; Flohre, A.; Hänke, S.; Fischer, C.; Goedhart, P. W.; Inchausti, P. (2010): Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11 (2), 97-105.
- Glutz von Blotzheim, U. N. (Hrsg.; 1986): *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Band 7: Charadriiformes (Teil 2). 2. Aufl., Wiesbaden: Aula.
- Glutz von Blotzheim, U. N. (Hrsg.; 1993): *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Band 13/II: Passeriformes (Teil 4). Wiesbaden: Aula.
- Glutz von Blotzheim, U. N. (Hrsg.; 1994): *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Band 5: Galliformes und Gruiformes. 2. Aufl., Wiesbaden: Aula.
- Gömann, H.; Weingarten, P. (2017): Landnutzungswandel. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. Hannover. Aufgerufen am 13.01.2019, https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059218.pdf.
- Gottwald F.; Stein-Bachinger K. (2016): *Landwirtschaft für Artenvielfalt – Ein Naturschutzmodul für ökologisch bewirtschaftete Betriebe*. 2. Aufl. Aufgerufen am 01.02.2019, http://www.landwirtschaft-artenvielfalt.de/wp-content/uploads/2016/12/WWF_LFA_Handbuch_ZweiteAuflage_web.pdf.
- Grant, K.; Hein, R.; Gellesch, E.; Nagy, L.; Schlumprecht, H.; Beierkuhnlein, C. (2014): Biotische Interaktionen im Klimawandel. In: Beierkuhnlein, C.; Jentsch, A.; Reineking, B.; Schlumprecht, H.; Ellwanger, G. (Hrsg.): *Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebensräume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes*. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 137, Bonn – Bad Godesberg, 212-273.
- Green, R. E.; Cornell, S. J.; Scharlemann, J. P.; Balmford, A. (2005): Farming and the fate of wild nature. *Science* 307 (5709), 550-555.
- Gregory, R. D.; Noble, D. G.; Custance, J. (2004): The state of play of farmland birds: population trends and conservation status of lowland farmland birds in the United Kingdom. *Ibis* 146, 1–13.
- Gregory, R. D.; Willis, S. G.; Jiguet, F.; Voříšek, P.; Klvaňová, A.; 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 (3), e4678.

- Gregory, R. D.; van Strien, A. (2010): Wild bird indicators: using composite population trends of birds as measures of environmental health. *Ornithological Science* 9 (1), 3-22.
- Grein, G. (2010): Fauna der Heuschrecken (Ensifera & Caelifera) in Niedersachsen - Datenstand 31.10.2008, unter Mitarbeit von A. Hochkirch, K. Schröder & H.-J. Clausnitzer. *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen* 46.
- Haaland, C.; Gyllin, M. (2010): Butterflies and bumblebees in greenways and sown wildflower strips in southern Sweden. *Journal of Insect Conservation* 14 (2), 125-132.
- Haber, W. (2014): *Landwirtschaft und Naturschutz*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Hallmann, C. A.; Sorg, M.; Jongejans, E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H.; Stenmans, W.; Müller, A.; Sumser, H.; Hörren, T.; Goulson, D.; de Kroon, H. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one* 12 (10), e0185809.
- Hampicke, U. (2013): *Kulturlandschaft und Naturschutz: Probleme – Konzepte - Ökonomie*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Hannah, L.; Midgley, G. F.; Millar, D. (2002): Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology and Biogeography* 11 (6), 485-495.
- Harrison, C. M.; Burgess, J.; Clark, J. (1998): Discounted knowledges: farmers' and residents' understandings of nature conservation goals and policies. *Journal of Environmental Management* 54 (4), 305-320.
- Harrison, P. A.; Vanhinsbergh, D. P.; Fuller, R. J.; Berry, P. M. (2003): Modelling climate change impacts on the distribution of breeding birds in Britain and Ireland. *Journal for Nature Conservation* 11 (1), 31-42.
- Heidt, L. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens. *GeoBerichte 13 - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie*, 1-109.
- Heller, N. E.; Zavaleta, E. S. (2009): Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation* 142 (1), 14-32.
- Herzog, F.; Schüepp, C. (2013): Are land sparing and land sharing real alternatives for European agricultural landscapes. *Aspects of Applied Biology* 121, 109-116.
- Herzon, I.; O'Hara, R. B. (2007): Effects of landscape complexity on farmland birds in the Baltic States. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118 (1), 297-306.
- Herzon, I.; Helenius, J. (2008): Agricultural drainage ditches, their biological importance and functioning. *Biological conservation* 141 (5), 1171-1183.
- Hickler, T.; Bolte, A.; Beierkuhnlein, C.; Blaschke, M.; Blick, T.; Brüggemann, W. ; Dorow, W. H. O.; Fritze, M.-A. ; Gregor, T. ; Ibisch, P. L.; Kölling, C. ; Kühn, I.; Musche, M.; Pompe, S.; Petercord, R.; Schweiger, O. ; Trautmann, S.; Waldenspuhl, T.; Walentowski, H. (2012): Folgen des Klimawandels für die Biodiversität in Wald und Forst. In: Mosbrugger, V.; Brasseur, G.; Schaller, M.; Stribny, B. (Hrsg.): *Klimawandel und Biodiversität - Folgen für Deutschland*. Darmstadt : WBG, 164-221.

- Hill, J. K.; Thomas, C. D.; Fox, R.; Telfer, M. G.; Willis, S. G.; Asher, J.; Huntley, B. (2002): Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 269 (1505), 2163–2171.
- Hinsley, S. A.; Bellamy, P. E. (2000): The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: A review. *Journal of Environmental Management* 60 (1), 33–49.
- Hodgson, J. A.; Thomas, C. D.; Wintle, B. A.; Moilanen, A. (2009): Climate change, connectivity and conservation decision making: back to basics. *Journal of Applied Ecology* 46 (5), 964–969.
- Hoffmann, J., Greef, J. M. (2003): Mosaic indicators - theoretical approach for the development of indicators for species diversity in agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment* 98 (1-3), 387-394.
- Hoffmann, J.; Berger, G.; Wiegand, I.; Wittchen, U.; Pfeffer, H.; Kiesel, J.; Ehlert, F. (2012): Bewertung und Verbesserung der Biodiversität leistungsfähiger Nutzungssysteme in Ackerbaugebieten unter Nutzung von Indikatorvogelarten. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* 163. Ribbesbüttel: Saphir-Verlag.
- Hole, D. G.; Perkins, A. J.; Wilson, J. D.; Alexander, I. H.; Grice, P. V.; Evans, A. D. (2005): Does organic farming benefit biodiversity?. *Biological conservation* 122 (1), 113-130.
- Hötker, H.; Rahmann, G.; Jeromin, K. (2004): Positive Auswirkungen des Ökolandbaus auf Vögel der Agrarlandschaft - Untersuchungen in Schleswig-Holstein auf schweren Ackerböden. In: Rahmann, G.; van Elsen, T. (Hrsg.): *Naturschutz als Aufgabe des Ökologischen Landbaus. Landbauforschung Völkenrode - Sonderheft* 272, 43-60.
- Hötker, H.; Leuschner, C. (2014): *Naturschutz in der Agrarlandschaft am Scheideweg - Misserfolge, Erfolge, neue Wege. Studie im Auftrag der Michael Otto Stiftung für Umweltschutz. Aufgerufen am 04.01.2019, https://www.umweltstiftungmichaelotto.de/uploads/downloads/Downloads/lang_Studie2014_Naturschutz%20in%20der%20Agrarlandschaft%20am%20Scheideweg_Michael%20Otto%20Stiftung.pdf*.
- Hulme, P. E. (2005): Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology* 42 (5), 784–794.
- Huntley, B.; Green, R. E.; Collingham, Y. C.; Willis, S. G. (2007): *A climatic atlas of European breeding birds*. Barcelona: Lynx.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Hauptautoren, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Hrsg.)]*. Genf: IPCC.
- Jacob, D.; Bülow, K.; Kotova, L.; Moseley, C.; Petersen, J.; Rechid, D. (2012): *Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland: Ensemble Simulationen für die Klimafolgenforschung. CSC Report 6*, Hamburg: Climate Service Center.

- Jenny, M.; Zellweger-Fischer, J.; Balmer, O.; Birrer, S.; Pfiffner, L. (2013): The credit point system: an innovative approach to enhance biodiversity on farmland. *Aspects of Applied Biology* 118, 23-30.
- Joest, R. (2009): Hilfe für Wiesenweihe, Feldlerche und Co. Zur Wirksamkeit des Vertragsnaturschutzes für die Brutvögel der Hellwegbörde. *ABU info* 31/32, 20-29.
- Kalnay, E.; Cai, M. (2003): Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature* 423 (6939), 528.
- Kaspar, F.; Mächel, H.; Jacob, D.; Kottmeier, C. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöllner, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 17-26.
- Kati, V.; Devillers, P.; Dufrêne, M.; Legakis, A.; Vokou, D.; Lebrun, P. (2004): Testing the value of six taxonomic groups as biodiversity indicators at a local scale. *Conservation biology* 18 (3), 667-675.
- Kempa, D. (2013): Environmental services coupled to food products and brands: Food companies interests and on-farm accounting. *Journal of environmental management* 127, 184-190.
- Kerth, G.; Blüthgen, N.; Dittich, C.; Dworschak, K.; Fischer, K.; Fleischer, T.; Heidinger, I.; Limberg, J.; Obermaier, E.; Rödel, M.-O.; Nehring, S. (2014): Anpassungskapazität naturschutzfachlich wichtiger Tierarten an den Klimawandel. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 139, Bonn - Bad Godesberg.
- Klotz, S.; Settele, J. (2017): Biodiversität. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöllner, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 151-160.
- Knauer, N. (1993): *Ökologie und Landwirtschaft: Situationen – Konflikte – Lösungen*. Stuttgart: Ulmer.
- Kremen, C. (2015): Reframing the land-sparing/land-sharing debate for biodiversity conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1355 (1), 52-76.
- Kretschmer, H.; Pfeffer, H.; Hoffmann, J.; Schrödl, G.; Fux, I. (1995): Strukturelemente in Agrarlandschaften Ostdeutschlands. Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz. München: ZALF-Bericht Nr.19.
- Krüger, T.; Oltmanns, B. (2007): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Brutvögel. *Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen* 27 (3), 131–175.
- Krüger, T., Ludwig, J.; Pfützke, S.; Zang, H. (2014): *Atlas der Brutvögel in Niedersachsen und Bremen 2005 - 2008*. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen 48, Hannover.
- Kühn, E.; Musche, M.; Harpke, A.; Feldmann, R.; Metzler, B.; Wiemers, M.; Hirneisen, N.; Settele, J. (2014): *Tagfalter-Monitoring Deutschland – Anleitung für Transektzähler*. Oedippus 27, Sofia-Moskau: Pensoft.

- Kühn, E.; Wiemers, M.; Feldmann, R.; Musche, M.; Harpke, A.; Schweiger, O.; Hirneisen, N.; Settele, J. (2015): Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD) und europäische Indikatoren - erste Langzeitergebnisse und ihre Verwendung im Naturschutz. DNT- Jahrbuch für Naturschutz und Landschaftspflege 60, 98-103.
- Kunze, K.; von Haaren, C.; Reich, M.; Weiß, C. (2014): Kompensationsflächenmanagement im Klimawandel – Anpassungsmaßnahmen im Bremer Feuchtgrünland zur Erhaltung von Ökosystemleistungen und Empfehlungen für die Eingriffsregelung. In: Korn H.; Bockmühl, K.; Schliep, R. (Hrsg.): Biodiversität und Klima – Vernetzung der Akteure in Deutschland X – Ergebnisse und Dokumentation des 10 Workshops. BfN-Skripten 357, 26-29.
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) (o.J): Blühende Vielfalt am Wegesrand. Praxis-Leitfaden für artenreiche Weg- und Feldraine. LANUV-Info 39. Aufgerufen am 17.02.2019, https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/publ/1_infoblaetter/info39_Broschuere_Wegrain.pdf.
- Lawler, J. J. (2009): Climate change adaptation strategies for resource management and conservation planning. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1162 (1), 79-98.
- Lawler, J. J.; Tear, T. H.; Pyke, C.; Shaw, M. R.; Gonzalez, P.; Kareiva, P.; Hansen, L.; Hannah, L.; Klausmeyer, K.; Aldous, A.; Bienz, C.; Pearsall, S. (2010): Resource management in a changing and uncertain climate. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8 (1), 35-43.
- Lehikoinen, E.; Sparks, T. H.; Zalakevicius, M. (2004): Arrival and Departure Dates. In: Møller, A. P.; Fiedler, W.; Berthold, P. (Hrsg.): *Birds and Climate Change*. Amsterdam: Elsevier, 1-32.
- Lemoine, N.; Böhning-Gaese, K. (2003): Potential impact of global climate change on species richness of long-distance migrants. *Conservation Biology* 17 (2), 577-586.
- Lemoine, N.; Schaefer, H.-C.; Böhning-Gaese, K. (2007): Species richness of migratory birds is influenced by global climate change. *Global Ecology and Biogeography* 16 (1), 55-64.
- Linnemann, B.; Elmer, M.; Tecker, A.; Greiving, K.; Bieker, D.; Hochhäuser, H.-P.; Wälter, T.; Wertebach, T.-M.; Hölzel, N. (2018): Fit für den Klimawandel – Anpassung von Feuchtwäldern an den Klimawandel. *Natur und Landschaft* 93, 562-568.
- Lohr, M. (2003): *Crocothemis erythraea* auch in Niedersachsen (Odonata: Libellulidae). *Libellula* 22 (1/2), 35-39.
- Lokhorst, A. M.; Staats, H.; van Dijk, J.; van Dijk, E.; de Snoo, G. (2011): What's in it for Me? Motivational Differences between Farmers' Subsidised and Non-Subsidised Conservation Practices. *Applied Psychology* 60 (3), 337-353.
- Loss, S. R.; Terwilliger, L. A.; Peterson, A. C. (2011): Assisted colonization: Integrating conservation strategies in the face of climate change. *Biological Conservation* 144 (1), 92-100.
- Luoto, M.; Virkkala, R.; Heikkinen, R. K. (2007): The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global ecology and biogeography* 16 (1), 34-42.

- Lüttmann, J. (1994): Zur Bedeutung von Ackerrainen für die Fauna von Agrarlandschaften: Ein Beitrag zum Biotopverbund. Beiträge zur räumlichen Planung 40, Hannover.
- Marshall, E. J. P.; West, T. M.; Kleijn, D. (2006): Impacts of an agri-environment field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. Agriculture, ecosystems & environment 113 (1-4), 36-44.
- Matthies, S.; Sybertz, J.; Reich, M.; von Haaren, C. (2016): „Firmen fördern Vielfalt“. Praxis-taugliche Erfassung, Bewertung und Darstellung der „Naturschutz-Biodiversität“ auf Zulieferbetrieben von Nahrungsmittelunternehmen. Im Selbstverlag, IUP Leibniz Universität Hannover.
- Mauritsen, T.; Pincus, R. (2017): Committed warming inferred from observations. Nature Climate Change 7 (9), 652.
- Mawdsley, J. R.; O'Malley, R.; Ojima, D. S. (2009): A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. Conservation Biology 23 (5): 1080-1089.
- Meek, B.; Loxton, D.; Sparks, T.; Pywell, R.; Pickett, H.; Nowakowski, M. (2002): The effect of arable field margin composition on invertebrate biodiversity. Biological Conservation 106 (2), 259-271.
- Morris, C.; Potter, C. (1995): Recruiting the new conservationists: farmers' adoption of agri-environmental schemes in the UK. Journal of rural studies 11 (1), 51-63.
- Moss, B.; Kosten, S.; Meerhoff, M.; Battarbee, R. W.; Jeppesen, E.; Mazzeo, N.; Havens, K.; Lacerot, G.; Liu, Z.; De Meester, L.; Paerl, H.; Scheffer, M. (2011): Allied attack: climate change and eutrophication. Inland waters 1 (2), 101-105.
- Nehls, G.; Beckers, B.; Belting, H.; Blew, J.; Melter, J.; Rode, M.; Sudfeldt, C. (2001): Situation und Perspektive des Wiesenvogelschutzes im Nordwestdeutschen Tiefland. Corax 18 (Sonderheft 2), 1- 26.
- Neumann, H.; Dierking, U. (2014): Biodiversitätswert landwirtschaftlicher Betriebe. Naturschutz und Landschaftsplanung 46 (5), 145-152.
- Newton, I. (2003): The Speciation and Biogeography of Birds. London: Academic Press.
- Newton, I. (2004): The recent declines of farmland bird populations in Britain: an appraisal of causal factors and conservation actions. Ibis 146 (4), 579-600.
- NKGCF (Nationales Komitee für Global Change Forschung) (2010): Regionale Klimamodelle - Potentiale, Grenzen und Perspektiven. Kiel: German National Committee on Global Change Research.
- Norddeutsches Klimabüro (2010): Norddeutscher Klimaatlas. Aufgerufen am 03.08.2010, <http://www.norddeutscher-klimaatlas.de/>.
- Ohlemüller, R.; Gritti, E. S.; Sykes, M. T.; Thomas, C. D. (2006): Towards European climate risk surfaces: the extent and distribution of analogous and non-analogous climates 1931–2100. Global ecology and biogeography 15 (4), 395-405.

- Olesen, J. E.; Bindi, M. (2002): Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European journal of agronomy* 16 (4), 239-262.
- Oliver, T. H.; Morecroft, M. D. (2014): Interactions between climate change and land use change on biodiversity: attribution problems, risks, and opportunities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 5 (3), 317-335.
- Oppermann, R.; Liesen, J. (2015): Wiesenmeisterschaften – Win-win-Effekte für alle Beteiligten. Perspektiven für die Zukunft. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47 (11), 361-368.
- Parmesan, C.; Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421 (6918), 37.
- Pfeiffenberger, M.; Kasten, J.; Fock, T.; Kempa, D.; Weller, M.; von Haaren, C. (2013): Verringerung von Risikopotenzialen aufgrund landwirtschaftlicher Nutzung für den Naturschutz im Peenetal. Neubrandenburg.
- Phalan, B.; Onial, M.; Balmford, A.; Green, R. E. (2011): Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science* 333 (6047), 1289-1291.
- Pimm, S. L.; Jenkins, C. N.; Abell, R.; Brooks, T. M.; Gittleman, J. L.; Joppa, L. N.; Raven, P. H.; Robens, C. M.; Sexton, J. O. (2014): The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science* 344 (6187), 1246752.
- Pinto, J.G.; Reyers, M. (2017): Winde und Zyklonen. In: Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 67-75.
- Pollard, E.; Yates, T. J. (1993): *Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation*. London: Chapman & Hall.
- Poniatowski, D.; Münsch, T.; Helbing, F.; Fartmann, T. (2018): Arealveränderungen mitteleuropäischer Heuschrecken als Folge des Klimawandels. *Natur und Landschaft* 93 (12), 553–561.
- Primack, R. (2008): *A Primer of Conservation Biology*. 4. Aufl., Sinauer Associates: Sunderland.
- Pulido, F.; Berthold, P. (2004): Microevolutionary Response to Climate Change. In: Møller, A. P.; Fiedler, W.; Berthold, P. (Hrsg.): *Birds and Climate Change*. Amsterdam: Elsevier, 151-184.
- Pywell, R. F.; Warman, E. A.; Sparks, T. H.; Greatorex-Davies, J. N.; Walker, K. J.; Meek, W. R.; Carvell, C.; Petit, S.; Firbank, L. G. (2004): Assessing habitat quality for butterflies on intensively managed arable farmland. *Biological Conservation* 118 (3), 313-325.
- 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, Bonn – Bad Godesberg.
- Rafferty, A. E.; Zimmer, A.; Frierson, D. M.; Startz, R.; Liu, P. (2017): Less than 2°C warming by 2100 unlikely. *Nature Climate Change* 7 (9), 637.

- Rahel, F. J.; Olden, J. D. (2008): Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation biology* 22 (3), 521-533.
- Rahmann, G. (2011): Biodiversity and Organic farming: What do we know?. *vTI Agriculture and Forestry Research* 3 (61), 189-208.
- Rands, M. R. W.; Sotherton, N. W. (1986): Pesticide use on cereal crops and changes in the abundance of butterflies on arable farmland in England. *Biological Conservation* 36 (1), 71-82.
- Rebelo, H.; Tarroso, P.; Jones, G. (2010): Predicted impact of climate change on European bats in relation to their biogeographic patterns. *Global Change Biology* 16 (2), 561-576.
- Reich, M.; Rüter, S.; Prasse, R.; Matthies, S.; Wix, N.; Ullrich, K. (2012): Biotopverbund als Anpassungsstrategie für den Klimawandel? *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 122, Bonn-Bad Godesberg.
- 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 (6918), 57.
- Sala, O. E.; Chapin, F. S.; Armesto, J. J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Huenneke, L. F.; Jackson, R. B.; Kinzig, A.; Leemans, R.; Lodge, D. M.; Mooney, H. A.; Oesterheld, M.; Poff, N. L.; Sykes, M. T.; Walker, B. H.; Walker, M.; Wall, D. H. (2000): Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287 (5459), 1770-1774.
- Schaller, M.; Beierkuhnlein, C.; Rajmis, S.; Schmidt, T.; Nitsch, H.; Liess, M.; Kattwinkel, M.; Settele, J. (2012): Auswirkungen auf landwirtschaftlich genutzte Lebensräume. In: Mosbrugger, V.; Brasseur, G.; Schaller, M.; Stribrny, B. (Hrsg.): *Klimawandel und Biodiversität - Folgen für Deutschland*. Darmstadt : WBG, 222-259.
- Schenk, A.; Hunziker, M.; Kienast, F. (2007): Factors influencing the acceptance of nature conservation measures - A qualitative study in Switzerland. *Journal of environmental management* 83 (1), 66-79.
- Schlegelmilch, K.; Bonn, A.; Schröder, A.; Schröter-Schlaack, C.; Hansjürgens, B. (2018): Naturbasierte Lösungen für Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel – Nutzen von Naturschutzmaßnahmen. *Natur und Landschaft* 93 (12), 569–577.
- 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. (2017): Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. *BfN-Skripten* 470, Bonn-Bad Godesberg.
- Schlumprecht, H.; Bittner, T.; Jaentsch, A.; Jentsch, A.; Reineking, B.; Beierkuhnlein, C. (2010): Gefährdungsdiskussion von FFH-Tierarten Deutschlands angesichts des Klimawandels - eine vergleichende Sensitivitätsanalyse. *Natur und Landschaft* 42 (10), 293-303.
- Schlumprecht, H.; Gohlke, A.; Beierkuhnlein, C. (2014): Klimaanpassung für FFH-Tierarten und Lebensräume. In: Beierkuhnlein, C.; Jentsch, A.; Reineking, B.; Schlumprecht, H.; Ellwanger, G. (Hrsg.): *Auswirkungen des Klimawandels auf Fauna, Flora und Lebens-*

- räume sowie Anpassungsstrategien des Naturschutzes. Naturschutz und Biologische Vielfalt 137, Bonn – Bad Godesberg, 400-416.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) Global Biodiversity Outlook 4: A mid-term assessment of progress towards the implementation of the Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020. Montréal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- 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.; Vliegthart, A.; Wynhoff, I.; Schweiger, O. (2008): Climatic Risk Atlas of European Butterflies. Moskau: Pensoft.
- Shatwell, T.; Jordan, S.; Ackermann, G.; Dokulil, M.; Rücker, J.; Scharf, W.; Wager, A.; Kasprzak, P. (2013): Langzeitbeobachtungen zum Einfluss von Klimawandel und Eutrophierung auf Seen und Talsperren in Deutschland. Korrespondenz Wasserwirtschaft 12 (6), 729-736.
- Siebert, R.; Berger, G.; Lorenz, J.; Pfeffer, H. (2010): Assessing German farmers' attitudes regarding nature conservation set-aside in regions dominated by arable farming. Journal for Nature Conservation 18 (4), 327-337.
- Skov, F.; Nygaard, B.; Wind, P.; Borchsenius, F.; Normand, S.; Balslev, H.; Fløjgaard, C.; Svenning, J. C. (2009): Impacts of 21st century climate changes on flora and vegetation in Denmark. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 8 (1), 012015.
- Sparks, T. H.; Bairlein, F.; Bojarinova, J. G.; Hüppop, O.; Lehtikoinen, E. A.; Rainos, K.; Sokolov, L. V.; Walker, D. (2005): Examining the total arrival distribution of migratory birds. Global Change Biology 11 (1), 22-30.
- Sparks, T. H.; Huber, K.; Bland, R. L.; Crick, H. Q. P.; Croxton, P. J.; Flood, J.; Loxton, R. G.; Mason, C. F.; Newnham, J. A.; Tryjanowski, P. (2007): How consistent are trends in arrival (and departure) dates of migrant birds in the UK?. Journal of Ornithology 148 (4), 503-511.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2017): Statistisches Jahrbuch 2017: Deutschland und Internationales. Aufgerufen am 22.03.2019, https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEAusgabe_derivate_00001629/StatistischesJahrbuch2017.pdf.
- Stoate, C.; Boatman, N. D.; Borralho, R. J.; Carvalho, C. R.; de Snoo, G. R.; Eden, P. (2001): Ecological impacts of arable intensification in Europe. Journal of environmental management 63 (4), 337-365.
- Südbeck, P.; Krüger, T. (2004): Erhaltungssituation und erforderliche Schutzmaßnahmen für Wiesenvögel in Niedersachsen - Bilanz und Ausblick. In: Krüger, T.; Südbeck, P. (Hrsg.): Wiesenvogelschutz in Niedersachsen. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen 41, 106-123.
- Südbeck, P.; Andretzke, H.; Fischer, S.; Gedeon, K.; Schikore, T.; Schröder, K.; Sudfeldt, C. (Hrsg.; 2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Radolfzell.

- Sybertz, J.; Reich, M. (2012): Artenpoolvergleiche klimaanaloger Räume als Methode zur Abschätzung von klimawandelbedingten Veränderungen in der Zusammensetzung von Vogellebensgemeinschaften. In: Feit, Ute & Korn, Horst (Bearb.), Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Treffpunkt Biologische Vielfalt XI – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. Bonn, BfN-Skripten 309, 71-76.
- Sybertz, J.; Reich, M. (2015): Assessing Climate Change Induced Turnover in Bird Communities Using Climatically Analogous Regions. *Diversity* 7, 36-59.
- Sybertz, J.; Matthies, S.; Schaarschmidt, F.; Reich, M.; von Haaren, C. (2017): Assessing the value of field margins for butterflies and plants: how to document and enhance biodiversity at the farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 249, 165–176.
- Sybertz, J. (2018): Naturschutzfachliche Prioritäten zur Unterstützung der Anpassung von Tierarten an den Klimawandel in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“. *Umwelt und Raum* 10, 57-91.
- Sybertz, J.; Reich, M. (2018): Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber den bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwarteten Klimaänderungen in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“. *Umwelt und Raum* 10, 7-56.
- Sybertz, J.; Matthies, S.; Schaarschmidt, F.; Reich, M.; von Haaren, C. (2020): Biodiversity modelling in practice - predicting bird and woody plant species richness on farmlands. *Ecosystems and People* 16: 19-34.
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.; 2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel: Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe - Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Van Buskirk, J.; Willi, Y. (2004): Enhancement of farmland biodiversity within set-aside land. *Conservation Biology* 18 (4), 987-994.
- Van Dyck, H.; Van Strien, A. J.; Maes, D.; van Swaay, C. A. (2009): Declines in common, widespread butterflies in a landscape under intense human use. *Conservation Biology* 23 (4), 957-965.
- van Swaay, C.; Warren, M.; Loïs, G. (2006): Biotope use and trends of European butterflies. *Journal of Insect Conservation* 10 (2), 189–209.
- van Swaay, C. A. M.; Van Strien, A. J.; Aghababayan, K.; Åström, S.; Botham, M.; Brereton, T.; Chambers, P.; Collins, S.; Domènech Ferrés, M.; Escobés, R.; Feldmann, R.; Fernández-García, J. M.; Fontaine, B.; Goloshchapova, S.; Gracianteparaluceta, A.; Harpke, A.; Heliölä, J.; Khanamirian, G.; Julliard, R.; Kühn, E.; Lang, A.; Leopold, P.; Loos, J.; Maes, D.; Mestdagh, X.; Monasterio, Y.; Munguira, M. L.; Murray, T.; Musche, M.; Öunap, E.; Pettersson, L. B.; Popoff, S.; Prokofev, I.; Roth, T.; Roy, D.; Settele, J.; Stefanescu, C.; Švitra, G.; Teixeira, S. M.; Tiitsaar, A.; Verovnik, R.; Warren, M. S. (2015): The European Butterfly Indicator for Grassland species 1990-2013. Report VS2015.009. Wageningen: De Vlinderstichting.
- van Wijk, M. T.; Clemmensen, K. E.; Shaver, G. R.; Williams, M.; Callaghan, T. V.; Chapin III, F. S.; Cornelissen, J. H. C.; Gough, L.; Hobbie, S. E.; Jonasson, S.; Lee, J. A.; Michel-

- sen, A.; Press, M. C.; Richardson, S. J.; Rueth, H. (2003): Long-term ecosystem level experiments at Toolik Lake, Alaska, and at Abisko, Northern Sweden: generalizations and differences in ecosystem and plant type responses to global change. *Global Change Biology* 10 (1): 105-123.
- Voigtländer, U.; Scheller, W.; Martin, C. (2001): Ermittlung von Ursachen für die Unterschiede im biologischen Inventar der Agrarlandschaft in Ost- und Westdeutschland als Grundlage für die Ableitung naturschutzverträglicher Nutzungsverfahren: Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 808 02 005 des Bundesamtes für Naturschutz. Münster: BfN Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag.
- von Haaren, C.; Hülsbergen, K.-J.; Hachmann, R. (Hrsg.; 2008): Naturschutz im landwirtschaftlichen Betriebsmanagement. EDV-Systeme zur Unterstützung der Erfassung, Bewertung und Konzeption von Naturschutzleistungen landwirtschaftlicher Betriebe. Stuttgart: Ibidem-Verlag.
- von Haaren, C.; Saathoff, W.; Bodenschatz, T.; Lange, M. (2010): Der Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 94, Bonn – Bad Godesberg.
- von Haaren, C.; Kempa, D.; Vogel, K.; Rüter, S. (2012): Assessing biodiversity on the farm scale as basis for ecosystem service payments. *Journal of environmental management* 113, 40-50.
- Vos, C. C.; Berry, P.; Opdam, P.; Baveco, H.; Nijhof, B.; O’Hanley, J.; Bell, C.; Kuipers, H. (2008): Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology* 45 (6), 1722–1731.
- Wahl, J.; Dröschmeister, R.; Gerlach, B.; Grüneberg, C.; Langgemach, T.; Trautmann, S.; Sudfeldt, C. (2015): *Vögel in Deutschland – 2014*. Münster: DDA, BfN, LAG VSW.
- Walther, G. R. (2010): Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1549), 2019-2024.
- Wegener, J.; Lücke, W.; Heinzemann, J. (2006): Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. *Agricultural Engineering Research* 12, 103-114.
- Weibull, A. C.; Östman, Ö.; Granqvist, Å. (2003): Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity & Conservation* 12 (7), 1335-1355.
- Weiß, C.; Reich, M.; Rode, M. (2011): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Netzwerk Natura 2000 in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg und Konsequenzen für den Naturschutz. In: LBEG (Hrsg.): *Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen*. Hannover: GeoBerichte 18, 103-116.
- Williams, J. W.; Jackson, S. T.; Kutzbach, J. E. (2007): Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 (14), 5738-5742.

- Williams, S. E.; Shoo, L. P.; Isaac, J. L.; Hoffmann, A. A.; Langham, G. (2008): Towards an integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. *PLoS biology* 6 (12), e325.
- Willows, R.; Connell, R. (Hrsg.; 2003): *Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision-Making*. UKCIP Technical Report. Oxford : UK Climate Impacts Programme.
- Wilson, J. D.; Whittingham, M. J.; Bradbury, R. B. (2005): The management of crop structure: a general approach to reversing the impacts of agricultural intensification on birds? *Ibis* 147 (3), 453–463.
- Wix, N.; Rode, M.; Reich, M. (Hrsg.) (2018): *Blühstreifen - Biodiversität und produktionsintegrierte Kompensation*. Umwelt und Raum 9. Hannover: Repositorium der Leibniz Universität Hannover.
- Zang, H.; Seitz, J. (1995): Sandregenpfeifer – *Charadrius hiaticula*. In: Zang, H.; Großkopf, G.; Heckenroth, H. (Hrsg.): *Die Vögel Niedersachsens – Austernfischer bis Schnepfen*. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen B (2.5), 69-79.
- Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Haße, C.; Fritsch, U.; Cramer, W. (2005): *Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*. Dessau: Umweltbundesamt.
- Zwölfer, H.; Bauer, G.; Heusinger, G.; Stechmann, D. (1984): *Die tierökologische Bedeutung und Bewertung von Hecken*. Laufen/Salzach: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Dissertation selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Die Arbeit wurde noch nicht als Dissertation oder als Prüfungsarbeit vorgelegt.

Teile der Dissertation wurden mit Zustimmung des Betreuers Prof. Dr. Michael Reich in folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

Sybertz, J.; Matthies, S.; Schaarschmidt, F.; Reich, M.; von Haaren, C. (2017): Assessing the value of field margins for butterflies and plants: how to document and enhance biodiversity at the farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 249: 165–176. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.018>

Sybertz, J.; Matthies, S.; Schaarschmidt, F.; Reich, M.; von Haaren, C. (2020): Biodiversity modelling in practice - predicting bird and woody plant species richness on farmlands. *Ecosystems and People* 16: 19-34. doi: [10.1080/26395916.2019.1697900](https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1697900)

Matthies, S.; Sybertz, J.; Reich, M.; von Haaren, C. (2016): „Firmen fördern Vielfalt“. Praxis-taugliche Erfassung, Bewertung und Darstellung der „Naturschutz-Biodiversität“ auf Zulieferbetrieben von Nahrungsmittelunternehmen. Im Selbstverlag, IUP Leibniz Universität Hannover. Online verfügbar unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-31112.pdf>

Sybertz, J.; Reich, M. (2018): Empfindlichkeit von Tierarten gegenüber den bis zum Ende des 21. Jahrhunderts erwarteten Klimaänderungen in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“. *Umwelt und Raum* 10: 7-56. doi: <https://doi.org/10.15488/4237>

Sybertz, J. (2018): Naturschutzfachliche Prioritäten zur Unterstützung der Anpassung von Tierarten an den Klimawandel in den naturräumlichen Regionen „Harz“ und „Lüneburger Heide und Wendland“. *Umwelt und Raum* 10: 57-91. doi: <https://doi.org/10.15488/4238>

Sybertz, J.; Reich, M. (2012): Artenpoolvergleiche klimaanaloger Räume als Methode zur Abschätzung von klimawandelbedingten Veränderungen in der Zusammensetzung von Vogellebensgemeinschaften. In: Feit, Ute & Korn, Horst (Bearb.), Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Treffpunkt Biologische Vielfalt XI – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. Bonn, BfN-Skripten 309: 71-76. Online verfügbar unter: https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_309.pdf

Sybertz, J.; Reich, M. (2015): Assessing Climate Change Induced Turnover in Bird Communities Using Climatically Analogous Regions. *Diversity* 7: 36-59. doi: [10.3390/d7010036](https://doi.org/10.3390/d7010036)

Hannover, den 07.01.2020

Janine Sybertz