NATUR und LANDSCHAFT
Zeitschrift für Naturschutz und Landschaftspflege

100. Jahrgang 2025 Ausgabe 1 Seiten 2 – 8 DOI: 10.19217/NuL2025-01-01

Effektivität und Kosteneffizienz von Artenschutzmaßnahmen unter Klimawandel – das Beispiel der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) in Schleswig-Holstein

Effectiveness and cost-effectiveness of species conservation measures under climate change – The example of the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*) in Schleswig-Holstein

Charlotte Gerling, Martin Drechsler, Klaus Keuler, Johannes Leins, Björn Schulz, Astrid Sturm und Frank Wätzold

Zusammenfassung

Der Klimawandel stellt eine große Bedrohung für viele Arten dar. Sollen Arten kosteneffizient – d. h. bestmöglich im Rahmen eines vorhandenen Budgets – geschützt werden, müssen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Arten und die Schutzmaßnahmen sowie deren Kosten berücksichtigt werden. Die Autorinnen und Autoren präsentieren im vorliegenden Beitrag ein ökologisch-ökonomisches Modellierungsverfahren, mit dem kosteneffiziente Artenschutzstrategien unter Klimawandel identifiziert werden können. Am Beispiel des Schutzes der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) in Schleswig-Holstein wird dargestellt, inwieweit Maßnahmen und Flächen unter Klimawandel angepasst werden müssen. Hier kommt es zu einer Verschiebung der optimalen Naturschutzflächen ins Zentrum des Fallstudiengebiets, da diese Flächen besser für die Sumpfschrecke geeignet sein werden und hier geringere Kosten entstehen werden. Zudem zeigt sich, dass phänologisch definierte Maßnahmen auch unter Klimawandel kosteneffizient bleiben können. Auf Grundlage der Ergebnisse werden allgemeine naturschutzpolitische Empfehlungen für den Artenschutz unter Klimawandel abgeleitet – ergänzt durch Überlegungen aus der Naturschutzpraxis. Insbesondere ist hierbei ein „Klimawandelcheck“ bei langfristigen naturschutzpolitischen Entscheidungen zu empfehlen und Politikinstrumente sollten flexibel ausgestaltet werden.

Abstract

Climate change presents a major threat for many species. In order to conserve species cost-effectively, i. e. maximising the conservation outcome within budget constraints, the impacts of climate change on species and conservation measures as well as their costs need to be considered. In this article, the authors present an ecological-economic model to identify cost-effective conservation strategies under climate change. The example of conserving the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*) in the German state of Schleswig-Holstein is used to illustrate the extent to which measures and sites need to be adapted under climate change. A shift of the optimal conservation areas to the centre of the case study area is observed, driven by the increasing suitability of these areas for the large marsh grasshopper and the relatively low costs arising there. The case study also shows that phenologically defined conservation measures can remain cost-effective even under climate change. On the basis of these findings, general recommendations for species conservation policy under climate change are derived and supplemented by considerations from nature conservation practice. In particular, a “climate change check” in long-term nature conservation decision-making is recommended, and a certain degree of flexibility should be allowed in the design of policy instruments.

Verlag W. Kohlhammer

Kohlhammer

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart

Effektivität und Kosteneffizienz von Artenschutzmaßnahmen unter Klimawandel – das Beispiel der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) in Schleswig-Holstein

Effectiveness and cost-effectiveness of species conservation measures under climate change – The example of the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*) in Schleswig-Holstein

Charlotte Gerling, Martin Drechsler, Klaus Keuler, Johannes Leins, Björn Schulz, Astrid Sturm und Frank Wätzold

Zusammenfassung

Der Klimawandel stellt eine große Bedrohung für viele Arten dar. Sollen Arten kosteneffizient – d. h. bestmöglich im Rahmen eines vorhandenen Budgets – geschützt werden, müssen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Arten und die Schutzmaßnahmen sowie deren Kosten berücksichtigt werden. Die Autorinnen und Autoren präsentieren im vorliegenden Beitrag ein ökologisch-ökonomisches Modellierungsverfahren, mit dem kosteneffiziente Artenschutzstrategien unter Klimawandel identifiziert werden können. Am Beispiel des Schutzes der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) in Schleswig-Holstein wird dargestellt, inwieweit Maßnahmen und Flächen unter Klimawandel angepasst werden müssen. Hier kommt es zu einer Verschiebung der optimalen Naturschutzflächen ins Zentrum des Fallstudiengebiets, da diese Flächen besser für die Sumpfschrecke geeignet sein werden und hier geringere Kosten entstehen werden. Zudem zeigt sich, dass phänologisch definierte Maßnahmen auch unter Klimawandel kosteneffizient bleiben können. Auf Grundlage der Ergebnisse werden allgemeine naturschutzpolitische Empfehlungen für den Artenschutz unter Klimawandel abgeleitet – ergänzt durch Überlegungen aus der Naturschutzpraxis. Insbesondere ist hierbei ein „Klimawandelcheck“ bei langfristigen naturschutzpolitischen Entscheidungen zu empfehlen und Politikinstrumente sollten flexibel ausgestaltet werden.

Artenschutz – Klimawandel – Kosteneffizienz – Agrarlandschaften – Flexibilität – Maßnahmen – Flächenwahl

Abstract

Climate change presents a major threat for many species. In order to conserve species cost-effectively, i. e. maximising the conservation outcome within budget constraints, the impacts of climate change on species and conservation measures as well as their costs need to be considered. In this article, the authors present an ecological-economic model to identify cost-effective conservation strategies under climate change. The example of conserving the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*) in the German state of Schleswig-Holstein is used to illustrate the extent to which measures and sites need to be adapted under climate change. A shift of the optimal conservation areas to the centre of the case study area is observed, driven by the increasing suitability of these areas for the large marsh grasshopper and the relatively low costs arising there. The case study also shows that phenologically defined conservation measures can remain cost-effective even under climate change. On the basis of these findings, general recommendations for species conservation policy under climate change are derived and supplemented by considerations from nature conservation practice. In particular, a “climate change check” in long-term nature conservation decision-making is recommended, and a certain degree of flexibility should be allowed in the design of policy instruments.

Species conservation – Climate change – Cost-effectiveness – Agricultural landscapes – Flexibility – Measures – Site selection

Double peer-reviewed, Einreichung: 15.12.2023, Annahme: 16.10.2024 DOI: 10.19217/NuL2025-01-01

1 Einleitung

Der Klimawandel wird zukünftig eine der größten Bedrohungen für die Artenvielfalt darstellen (Dasgupta 2021). Insbesondere in Agrarlandschaften, in denen zusätzlich die intensive Landnutzung viele Arten gefährdet, ergeben sich unter Klimawandel komplexe Auswirkungen auf Arten und Artenschutz, die zu berücksichtigen sind (Wätzold et al. 2020). Es kann zwischen räumlichen und zeitlichen Auswirkungen des Klimawandels unterschieden werden. So eignen sich aufgrund von Habitatverschiebungen nach Norden bzw. in größere Höhenlagen bestimmte Flächen künftig mehr und andere weniger für bestimmte Arten (Triviño et al. 2018).

Aber auch die zeitliche Dimension muss insbesondere in Agrarlandschaften berücksichtigt werden. Hier hat die Landnutzung während bestimmter Lebensphasen von Arten (bspw. Wiesenmahd während der Brutphase von Wiesenbrütern) große Auswirkungen, während sich die Landnutzung außerhalb dieser Phasen weniger stark auswirkt (Johst et al. 2015). Unter Klimawandel passen sich Arten jedoch phänologisch an sich ändernde Umweltbedingungen an (zeitliche Verschiebung von Beginn und Ende bestimmter Lebensphasen). Somit können Arten, die bislang von der agrarischen

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart

Landnutzung kaum negativ betroffen waren, zukünftig durch diese gefährdet werden (Santangeli et al. 2018). Aber auch naturschutzfördernde Landnutzungsmaßnahmen müssen sich ändern, wenn für diese Maßnahmen der zeitliche Aspekt der Landnutzung (bspw. Zeitpunkt von Mahdterminen) relevant ist (Landis 2017). Werden die zeitlichen Spezifikationen der Maßnahmen im Klimawandel nicht angepasst, kann es zu einer Desynchronisation zwischen der Phänologie der Arten und dem Zeitpunkt von Maßnahmen kommen, sodass diese nicht mehr wirken.

Das Kriterium der Kosteneffizienz ist bei Artenschutzprogrammen wichtig, da häufig nur ein begrenztes Budget zur Verfügung steht. Wobei Kosteneffizienz bedeutet, dass ein möglichst weitgehender Artenschutz mit einem definierten Budget erreicht wird (Gerling, Wätzold 2021). Damit Artenschutz unter Klimawandel kosteneffizient gestaltet werden kann, müssen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Kosten des Artenschutzes berücksichtigt werden. Auch hierbei ist die räumliche und zeitliche Dimension zu unterscheiden. Wenn sich die Produktivität verschiedener landwirtschaftlicher Flächen aufgrund des Klimawandels unterschiedlich entwickelt, können sich auch die Artenschutzkosten (bspw. Landpreise) auf diesen Flächen heterogen entwickeln – z. B. auf einigen Flächen relativ zu einem Durchschnittspreis steigen, auf anderen relativ zu diesem sinken. Die zeitliche Dimension bezieht sich auf mögliche Zeitpunkte einer Landnutzung, die eine Naturschutzmaßnahme vorschreibt. Da der phänologische Frühlingsbeginn unter Klimawandel zunehmend früher einsetzt, kann sich der profitmaximierende Zeitpunkt der Landnutzung ändern, wenn z. B. frühere (und möglicherweise häufigere) Mahdtermine profitabel sind. Ändert sich der profitmaximierende Zeitpunkt, ändern sich auch die Kosten einer Naturschutzmaßnahme mit festgelegtem Mahdtermin. Generell können die Kosten einiger Maßnahmen unter Klimawandel steigen, während andere Maßnahmen zukünftig geringere Kosten haben werden (Huber et al. 2017).

Gerling et al. (2022) haben ein ökologisch-ökonomisches Modell entwickelt, um zu untersuchen, wie sich klimawandelbedingte Änderungen auf die kosteneffiziente räumliche Verteilung von Naturschutzmaßnahmen auswirken. In einer Fallstudie wurde dieses Modell exemplarisch angewendet und die Kosteneffizienz von Maßnahmen im Grünland zum Schutz der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum* [Linnaeus, 1758]) in Schleswig-Holstein für die Zeiträume 2020 – 2039 und 2060 – 2079 analysiert. Im vorliegenden Beitrag, der auf den Ergebnissen von Gerling et al. (2022) basiert, werden die Methodik der Fallstudie und des Modells vorgestellt (Abschnitt 2) und die wichtigsten Ergebnisse der Fallstudie präsentiert (Abschnitt 3, S. 5 f.). Nach einer Diskussion über die Modellannahmen (Abschnitt 4, S. 6) werden aus den Fallstudienergebnissen allgemeine Empfehlungen für den Artenschutz unter Klimawandel abgeleitet (Abschnitt 5, S. 6 f.). In Abschnitt 6, S. 7, folgt ein kurzes Fazit.

Abb. 1: Männliches Exemplar der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*). (Foto: Daniel Konn-Vetterlein)

Fig. 1: Male specimen of the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*).

2 Methodik

2.1 Fallstudie

Ökologie und Verbreitung der Sumpfschrecke

Die Sumpfschrecke (Abb. 1) hat eine moderate Ausbreitungsfähigkeit und ist in Feucht- und Nasswiesen (Abb. 2) Mitteleuropas zu finden (Heydenreich 1999). In Schleswig-Holstein ist die Art momentan relativ weit verbreitet, sodass davon ausgegangen werden kann, dass neue Habitatflächen landesweit von der Art besiedelt werden können. Während ihres einjährigen Lebenszyklus entwickelt sie sich vom Ei- über das Larvenstadium im Frühjahr bis hin zum adulten Tier ab Spätfrühling/Frühsommer. Der Lebenszyklus wird hauptsächlich von Temperatur und Bodenfeuchte beeinflusst, wobei der hohe Wasserbedarf der im Boden abgelegten Eipakete vor und nach dem Winter die Art an feuchtes Grünland bindet (Koschuh 2004). Die für die Art ungünstigen Mahdtermine in der (konventionellen) Grünlandbewirtschaftung schränken die Habitateignung vieler Flächen ein (Malkus 1997).

Abb. 2: Zwei Beispiele für Gebiete der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, die sich unter momentanen klimatischen Bedingungen als Habitat für die Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) eignen. (Fotos: Charlotte Gerling)

Fig. 2: Two examples of areas of the Schleswig-Holstein Nature Conservation Foundation that are suitable habitats for the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*) under current climatic conditions.

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart

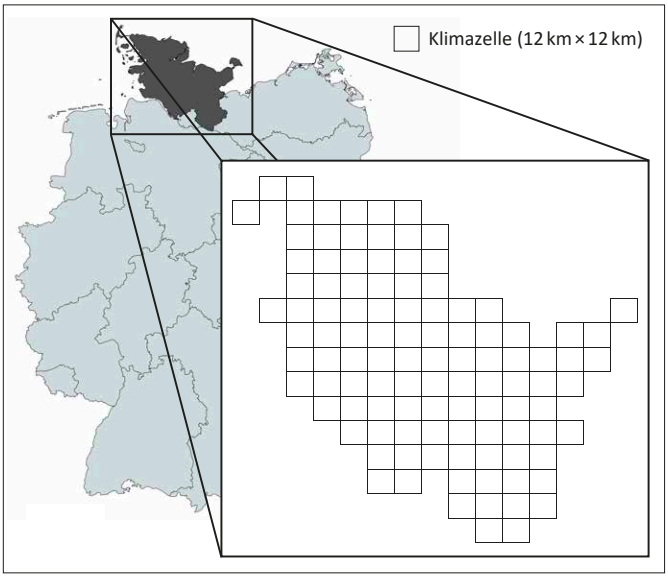

Abb. 3: Aufteilung des Fallstudiengebiets in Schleswig-Holstein in 12 km × 12 km große Klimazellen.

Fig. 3: Division of the case study area in Schleswig-Holstein into 12 km × 12 km climate cells.

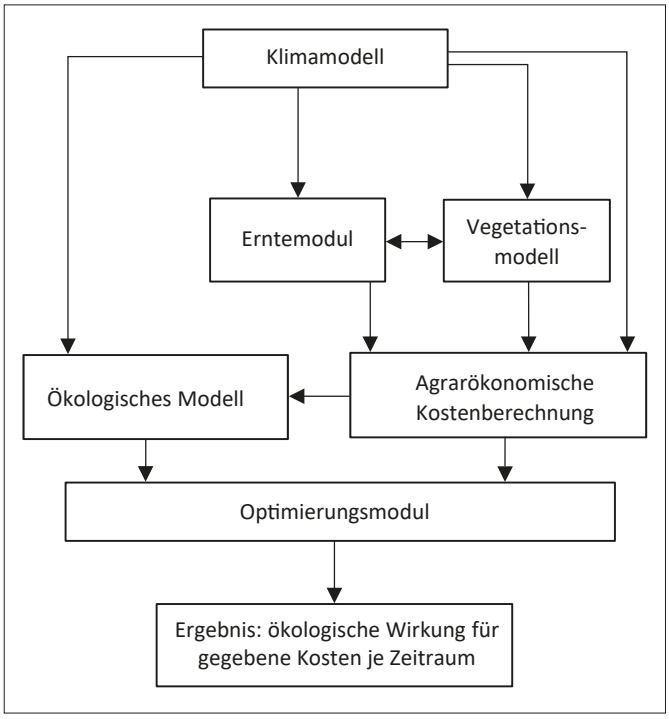

Abb. 4: Übersicht zur Struktur des ökologisch-ökonomischen Modells nach Gerling et al. (2022).

Fig. 4: Overview of the structure of the ecological-economic model according to Gerling et al. (2022).

Fallstudiengebiet

Das Untersuchungsgebiet der Fallstudie sind die ca. 3.200 km² Dauergrünland Schleswig-Holsteins (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2019), die prinzipiell als Habitat für die Sumpfschrecke in Frage kommen. Es wird erwartet, dass der Klimawandel in Schleswig-Holstein einen vergleichsweise moderaten Temperaturanstieg verursacht und sich der Niederschlag zunehmend vom Sommer zum Winter und Frühling verschiebt (DWD, LLUR 2017). Für die Modellierung wurde das Fallstudiengebiet in 12 km × 12 km große Klimazellen eingeteilt (Abb. 3). Innerhalb dieser Klimazellen wurden Grünlandflächen als 250 m × 250 m große Grünlandzellen dargestellt. Für jede Grünlandzelle lagen Klimadaten sowie Grünlandzahlen, die als Produktivitätsindikator die Artenschutzkosten entscheidend beeinflussen, vor.

Mögliche Erhaltungsmaßnahmen

In der Fallstudie wurden fünf mögliche Erhaltungsmaßnahmen zum Schutz der Sumpfschrecke berücksichtigt, die jeweils unterschiedliche Mahdtermine beinhalten (Tab. 1). Diese erlauben eine frühe Mahd (M1a und M1b), eine späte Mahd (M2a und M2b) oder zwei Schnitte (M3). Um mögliche Auswirkungen des Klimawandels bei der Definition der Maßnahmen zu berücksichtigen, wurden keine kalendarischen Mahdtermine festgelegt, sondern phänologische Termine (z. B. Mahdtermin sieben Wochen nach Beginn der Vegetationsperiode). Der phänologische Frühlingsbeginn wurde per Temperatursumme definiert: Beginnend mit dem 1. Januar wurde pro Tag die durchschnittliche Temperatur aufsummiert, bis 200 °C erreicht wurden. Dabei wurden Temperaturen im Januar zu 50 %, im Februar zu 75 % und ab März zu 100 % berücksichtigt (vgl. LKSH 2024).

2.2 Modellierungsverfahren

Grundlage des von Gerling et al. (2022) entwickelten ökologisch-ökonomischen Modellierungsverfahrens (Abb. 4) ist ein **Klimamodell**, das auf Tagesbasis Temperatur-, Niederschlags- und Bodenfeuchtewerte für jede Klimazelle und jedes Jahr für den Zeitraum von 2015 bis 2080 generiert (Keuler et al. 2016), wobei für die Fallstudie die beiden Zeiträume 2020 – 2039 und 2060 – 2079 betrachtet wurden. Die tagesgenauen Werte flossen in ein **Vegetationsmodell** (vereinfacht nach Schippers, Kropff 2001) ein, um das Graswachstum zu modellieren. Ergebnis des Vegetationsmodells war der jährliche Aufwuchs jeder Grünlandzelle (unter Berücksichtigung der Grünlandzahl, die als Maßstab der Ertragsfähigkeit von Grünland bei der Bodenschätzung dient) für die o. g. Zeiträume (wir berücksichtigten hierbei lediglich die Auswirkungen der Bewirtschaftung innerhalb eines Jahres und keine langfristigen Auswirkungen der Bewirtschaftungsform auf Bodenqualität und Erträge). Informationen aus dem Klimamodell und dem Vegetationsmodell flossen in das **Erntemodul** ein, mit dessen Hilfe die Mahdtermine für jede Grünlandzelle und jedes Jahr sowohl für die profitmaximierende Bewirtschaftung als auch die Artenschutzmaßnahmen berechnet wurden. Die Berechnungen basierten auf dem modellierten Wachstum der Grünlandbiomasse unter Berücksichtigung des simulierten Wetters, wobei Niederschläge und Überschwemmungen zu Verschiebungen des Mahdtermins führen konnten.

Tab. 1: Erhaltungsmaßnahmen zum Schutz der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*).

Table 1: Conservation measures to protect the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*).

Kürzel der Maßnahme	Beschreibung	Anforderungen
M1a	Frühe Mahd	Mahd bis 7 Wochen nach Beginn der Vegetationsperiode, max. 1 Schnitt
M1b		Mahd bis 9 Wochen nach Beginn der Vegetationsperiode, max. 1 Schnitt
M2a	Späte Mahd	Mahd ab 21 Wochen nach Beginn der Vegetationsperiode, max. 1 Schnitt
M2b		Mahd ab 23 Wochen nach Beginn der Vegetationsperiode, max. 1 Schnitt
M3	2-schürige Mahd	Mahd bis 7 und ab 23 Wochen nach Beginn der Vegetationsperiode, max. 2 Schnitte

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart

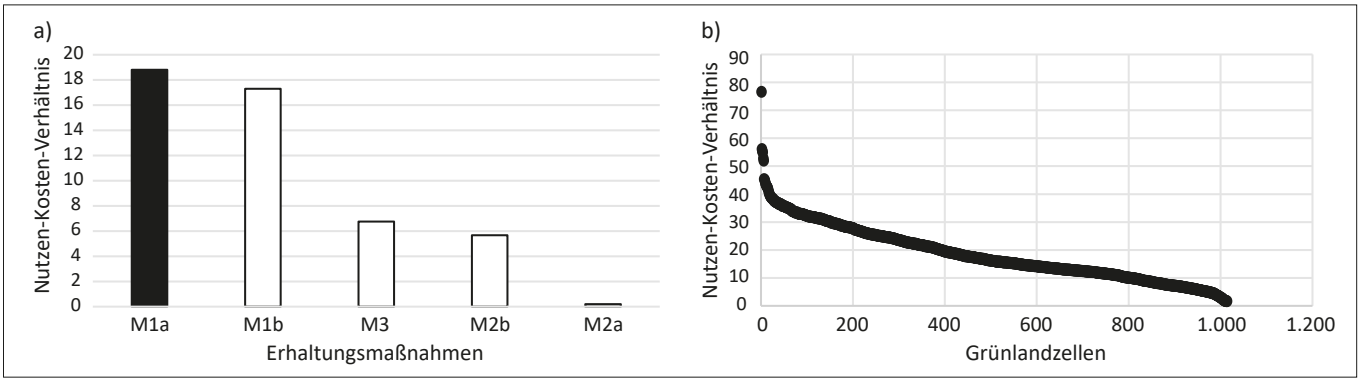

Abb. 5: Illustration der zwei Schritte des Optimierungsverfahrens des ökologisch-ökonomischen Modells nach Gerling et al. (2022): a) Auswahl der kosteneffizientesten Maßnahme am Beispiel einer Grünlandzelle mit Grünlandzahl (GZ) 31 (GZ = Maßstab der Ertragsfähigkeit von Grünland bei der Bodenschätzung) in Klimazelle 38 (einer Fläche im Zentrum des Fallstudiengebiets); Nutzen-Kosten-Verhältnis = durchschnittliche Anzahl an Sumpfschrecken (*Stethophyma grossum*) je Grünlandzelle/Gesamtkosten während des Untersuchungszeitraums; für die Erläuterung zu den Maßnahmen-Kürzeln siehe Tab. 1. b) Sortierung der Grünlandzellen anhand des Nutzen-Kosten-Verhältnisses für den ersten Untersuchungszeitraum 2020 – 2039.

Fig. 5: Illustration of the two steps of the optimisation process of the ecological-economic model according to Gerling et al. (2022): a) Selection of the most cost-effective measure using the example of a grassland cell with grassland number (GN) 31 (GN = measure of the yield capacity of grassland in soil estimation) in climate cell 38 (an area in the centre of the case study area); benefit-cost ratio ("Nutzen-Kosten-Verhältnis") = average number of large marsh grasshoppers (*Stethophyma grossum*) per grassland cell/total costs during the investigation period; for an explanation of the measure abbreviations, see Table 1. b) Sorting of the grassland cells based on the benefit-cost ratio for the first investigation period 2020 – 2039.

In der **agrarökonomischen Kostenberechnung** (Gerling et al. 2020) wurden die Kosten aller Maßnahmen je Grünlandzelle und Jahr berechnet. Die Kosten einer Maßnahme ergaben sich aus der Differenz des Profits, der bei profitmaximierender Bewirtschaftung (ohne Artenschutzmaßnahme) generiert wird, und des (reduzierten) Profits, der bei Umsetzung der Maßnahme erwirtschaftet wird. Klimawandelbedingte Änderungen des Aufwuchses, die auf Grundlage des Vegetationsmodells für jede Grünlandzelle berechnet wurden, veränderten den Profit (Gerling et al. 2020). Alle anderen Größen, die die Kosten bestimmten, wurden nicht geändert, da hierzu keine Voraussagen möglich waren. Der ökonomische Wert des Aufwuchses wurde bestimmt, indem zunächst der Energiegehalt des Mahdguts abgeschätzt wurde. Die Monetarisierung erfolgte unter der Annahme, dass dieser Energiegehalt alternativ über Kraftfutter – für das es einen Marktpreis gibt – gedeckt werden kann. Des Weiteren wurden variable Kosten (bspw. Maschinenkosten, Arbeitskraft) berücksichtigt, um den Profit einer Bewirtschaftungsform abzuschätzen.

Das **ökologische Modell** (Leins et al. 2021) ist ein prozessbasiertes Modell und schätzte die erwarteten Auswirkungen der Mahdtermine und klimatischen Bedingungen auf die Anzahl adulter Sumpfschrecken je Grünlandzelle und Jahr. Dafür wurden die verschiedenen Lebensstadien der Sumpfschrecke und die Übergänge zwischen diesen Stadien quantitativ betrachtet. Auf der Grundlage eines umfassenden Studiums experimenteller und empirischer Arbeiten zur Sumpfschrecke (Leins et al. 2021) wurden die Wahrscheinlichkeiten, von einem Stadium in das jeweils nächste zu gelangen, abgeschätzt. Diese hingen neben der bisherigen Verweildauer in dem jeweiligen Stadium v. a. von äußeren Umwelteinflüssen ab – insbesondere der Temperatursumme, der Bodenfeuchte und Verfügbarkeit von Kontaktwasser sowie davon, ob während der Verweildauer die Grünlandzelle gemäht wurde. Im Herbst eines jeden Modelljahres wurde die Zahl der Imagines auf der Zelle festgestellt. Sie diente dazu, die Auswirkungen der Klima- bzw. Wetterparameter und der Landnutzung auf die Größe und Überlebensfähigkeit der Sumpfschreckenpopulation zu bewerten.

Im **Optimierungsmodul** wurden die ökologischen Informationen und die Kosteninformationen miteinander kombiniert, um mithilfe des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (durchschnittliche Anzahl an Sumpfschrecken je Grünlandzelle/Gesamtkosten während des Untersuchungszeitraums) die optimale räumliche Allokation der Erhaltungsmaßnahmen zu ermitteln. Um die kosteneffizientesten Maßnahmen zu ermitteln, wurden in einem ersten Schritt die Nutzen-Kosten-Verhältnisse aller Maßnahmen je Grünlandzelle berechnet und die Maßnahmen nach sinkendem Nutzen-Kosten-Verhältnis sortiert (exemplarisch in Abb. 5a für eine Beispielfläche im Zentrum des Fallstudiengebiets dargestellt; Maßnahme M1a wurde hier als kosteneffizienteste Maßnahme identifiziert). Um die kosteneffizientesten Flächen auszuwählen, wurden in einem zweiten Schritt die Grünlandzellen nach absteigendem Nutzen-Kosten-Verhältnis sortiert (Abb. 5b zeigt das Ergebnis für den ersten Untersuchungszeitraum 2020 – 2039). Eine Umsetzung der Maßnahmen erfolgte im Modell beginnend mit der kosteneffizientesten Fläche und dann fortlaufend mit der jeweils folgenden etwas weniger kosteneffizienten Fläche, bis das zur Verfügung stehende Budget erschöpft war.

Als Ergebnis der Modellierung wurden für jeden der beiden betrachteten Zeiträume die kosteneffizientesten Erhaltungsmaßnahmen, deren räumliche Verteilung und die daraus resultierende Wirkung auf die Größe der Sumpfschreckenpopulation angegeben. Für detaillierte Informationen zum Modellierungsverfahren siehe Gerling et al. (2022).

3 Zusammenfassende Ergebnisse der Fallstudie

3.1 Auswahl kosteneffizienter Maßnahmen

In beiden Zeiträumen ist Maßnahme M1a (vgl. Tab. 1) kosteneffizient für den Schutz der Sumpfschrecke. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sich der Zeitpunkt der Landnutzung nicht verschiebt, da durch die phänologische Definition der Maßnahmen entsprechende zukünftige Klimaauswirkungen automatisch berücksichtigt werden. Die Fallstudie legt demnach nahe, dass eine phänologische Definition von Artenschutzmaßnahmen eine mögliche Herangehensweise darstellen kann, wie Maßnahmen mit zeitlicher Beschränkung der Landnutzung auch unter Klimawandel kosteneffizient bleiben können.

3.2 Auswahl kosteneffizienter Flächen

In Bezug auf die Flächenauswahl zeigt sich, dass es zu einer Verschiebung der kosteneffizienten Flächen in Richtung des Zentrums des

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart

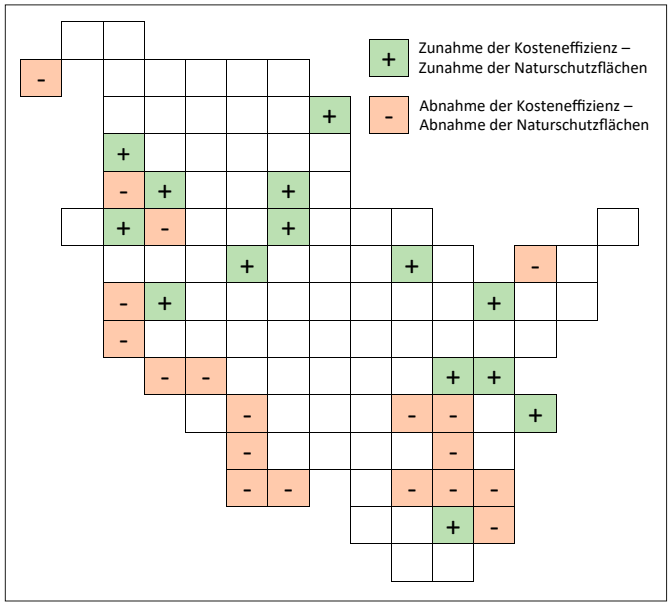

Abb. 6: Klimazellen, in denen die für den kosteneffizienten Schutz der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) gewählten Flächen vom ersten Untersuchungszeitraum (2020 – 2039) zum zweiten Zeitraum (2060 – 2079) zunehmen (grün) oder abnehmen (beige). In nicht farbig markierten Zellen kommt es zu keiner Änderung bzw. sie wurden im Zuge der Modellrechnungen in beiden Zeiträumen nicht ausgewählt (modifiziert nach Gerling et al. 2022).

Fig. 6: Climate cells in which the areas selected for the cost-effective conservation of the large marsh grasshopper (*Stethophyma grossum*) increase (in green) or decrease (in beige) from the 1st investigation period (2020 – 2039) to the 2nd period (2060 – 2079). In cells not marked in colour, there is no change or they were not selected in the course of the model calculations in both periods (modified after Gerling et al. 2022).

Fallstudiengebiets kommt (Abb. 6). Diese Verschiebung erklärt sich damit, dass diese Gebiete zunächst nur eine geringe potenzielle Habitatqualität erreichen, unter Klimawandel jedoch zunehmend für die Sumpfschrecke geeignet sind. Flächen entlang des westlichen Gebietsrands hingegen verursachen relativ hohe Kosten. Zunächst sind diese Flächen trotzdem aufgrund ihres hohen ökologischen Werts in der kosteneffizienten Schutzstrategie enthalten. Ihre Bedeutung nimmt im zweiten Zeitraum jedoch zugunsten zentraler Flächen mit geringeren Kosten und verbesserter Habitatqualität ab.

4 Diskussion der Modellannahmen

Wir haben durch die Integration von Erkenntnissen der Klimawissenschaften, Ökologie und Ökonomie an einem Fallbeispiel die raumzeitlichen Klimaauswirkungen auf die Kosteneffizienz des Artenschutzes untersucht und gezeigt, wie Anpassungen mit dem Ziel einer hohen Kosteneffizienz unter Klimawandel aussehen sollten. Die verwendeten Modelle sind wie alle Modelle vereinfachte Abbilder der Realität. Es gibt z. B. bei der Vorhersage des Klimawandels Unsicherheiten in Hinblick auf die Höhe klimarelevanter Emissionen, die nicht berücksichtigt wurden. Unsicherheiten gibt es auch bei den Vorhersagen zu den ökonomischen und ökologischen Modellparametern. Drechsler et al. (2021) haben am Beispiel der Unsicherheiten im Klimamodell prinzipiell gezeigt, wie diese berücksichtigt und eine robuste Strategie für den Schutz der Sumpfschrecke entwickelt werden kann. Eine solche Strategie berücksichtigt verschiedene in der Zukunft mögliche Klimawandelauswirkungen auf potenzielle Naturschutzflächen und präferiert den Schutz der Flächen und die Auswahl der Maßnahmen, die unter möglichst vielen verschiedenen Klimaszenarien die vergleichsweise besten Ergebnisse für den Schutz der Sumpfschrecke liefern.

Bei der Kostenberechnung haben wir angenommen, dass Änderungen in Landpreisen auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Dies beruht auf der grundsätzlichen ökonomischen Annahme, dass Landpreise die erwarteten künftigen Agrarerträge reflektieren – und damit auch potenzielle Ertragsänderungen aufgrund des Klimawandels. Jedoch spielen andere ertragsunabhängige Faktoren, bspw. die Flächenkonkurrenz in der Nähe von Siedlungsräumen oder hohe Pachtpreise für Freiflächensolaranlagen, ebenfalls eine wichtige Rolle in der Entwicklung von Landpreisen. Diese Faktoren haben wir jedoch nicht berücksichtigt, da deren Vorhersage bis 2079 hochspekulativ ist und wir uns mit einem Fokus auf Ertragsänderungen auf den Faktor konzentrieren wollten, der direkt durch den Klimawandel beeinflusst wird und zumindest in einem gewissen Maß prognostiziert werden kann.

Außerdem wurde angenommen, dass die kosteneffizienten Maßnahmen auf allen Flächen beliebig umgesetzt werden können. Dies wäre bspw. der Fall, wenn eine Naturschutzstiftung große Flächen besitzt und die Landnutzung auf den Flächen festlegen kann. Bei anreizorientierten Instrumenten wie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), in denen die richtigen Anreize für Landnutzerinnen und -nutzer gesetzt werden müssen, muss jedoch der freiwillige Charakter solcher Instrumente in der Analyse berücksichtigt werden. Gerling et al. (2023) zeigen am Beispiel der Ausgestaltung von AUKM zum Schutz von Wiesenbrütern im Klimawandel, wie ein solches Vorgehen erfolgen kann.

5 Naturschutzpolitische Empfehlungen

5.1 Allgemeine Überlegungen

Die Fallstudienergebnisse legen nahe, dass Politikinstrumente zum Artenschutz unter Klimawandel eine gewisse Flexibilität ermöglichen sollten. Dies bezieht sich sowohl auf die räumliche Ebene (Wahl der Flächen mit Artenschutzmaßnahmen) als auch auf die zeitliche Ebene (zeitliche Anpassung von Artenschutzmaßnahmen). Einige Politikinstrumente lassen jedoch kurzfristig keine Flexibilität zu. So kann bspw. beim Flächenkauf einer Naturschutzstiftung die Flächenwahl im Nachhinein oft nicht mehr geändert werden, da aufgrund gesetzlicher Regelungen häufig einmal erworbene Flächen nicht verkauft werden dürfen.

Bei solchen langfristigen Festlegungen empfehlen wir einen „Klimawandelcheck", der die Auswirkungen erwarteter wesentlicher Klimaänderungen in der Region auf Arten und Kosten prüfen soll. Dies kann aufgrund finanzieller Restriktionen in der Regel nicht mithilfe eines komplexen Modells wie in Abschnitt 2, S. 3 ff. vorgestellt erfolgen. Allerdings stehen viele relevante Informationen bereits heute zur Verfügung. Es gibt bspw. Informationen über mögliche zukünftige Entwicklungen des Klimas (UBA 2023a), zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Arten (UBA 2023b) und auf die Landwirtschaft (und damit auf Artenschutzkosten in Agrarlandschaften) (Deutscher Bundestag 2019). Diese Informationen geben Hinweise darauf, inwieweit heutige Festlegungen bei der Flächenwahl und der Maßnahmen auch zukünftig einen adäquaten Artenschutz gewährleisten können.

Darüber hinaus bieten sich zwei weitere Lösungsansätze an, die die nötige Flexibilität sichern könnten. Zum einen können Zeitpunkte für die Durchführung von Maßnahmen statt mit festen kalendarischen Terminen phänologisch definiert werden, also bspw. als „Mahd neun Wochen nach dem phänologischen Frühlingsbeginn". Unsere Ergebnisse zeigen, dass Maßnahmen mit phänologisch definierten Durchführungsterminen auch unter Klimawandel kosteneffizient bleiben können. Zum anderen spielt die ergebnisorientierte Honorierung unter Klimawandel eine größere Rolle. Hierbei erhalten Landwirtinnen und Landwirte die Zahlung nicht für die Durchführung einer festgelegten Maßnahme, sondern können die Maßnahme

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart

frei wählen. Die Gelder werden ausgezahlt, wenn die Zielart auf den Flächen nachgewiesen wird. Unter der Voraussetzung, dass Landwirtinnen und Landwirte die lokalen Gegebenheiten bzgl. Kosten und Wirkungen der Maßnahmen kennen oder entsprechende Beratungsangebote nutzen, bietet die erfolgsorientierte Förderung im Klimawandel Anreize, die aktuell kosteneffizienteste Maßnahme auszuwählen und diese mit der Zeit an sich ändernde klimatische Bedingungen anzupassen (Gerling, Wätzold 2021).

Darüber hinaus ist bei der Bewertung naturschutzpolitischer Instrumente zu berücksichtigen, dass in der Ökologie insbesondere zwei Strategien diskutiert werden, die beim Artenschutz unter Klimawandel eine große Rolle spielen können (Vos et al. 2008). Zum einen kann die räumliche Konnektivität zwischen bestehenden und künftigen Habitatflächen erhöht werden. Werden also im „Klimawandelcheck" bspw. Gebiete im Norden als künftig kosteneffizient identifiziert, sollte die Konnektivität der momentanen Habitate in Richtung der zukünftigen Habitate verbessert werden, sodass die Art Letztere aus eigener Kraft erreichen kann. Wird erwartet, dass bestimmte Gebiete aufgrund des Klimawandels künftig weniger kosteneffizient werden, bieten Verträge mit Landwirtinnen und Landwirten – etwa im Kontext von Vertragsnaturschutz – die Chance, gezielt Flächen für den Artenschutz auszuwählen und diese nur zu schützen, solange sie noch kosteneffizient sind.

Eine weitere Strategie ist die Schaffung geeigneter Habitate in Klimarefugien (z. B. bestimmte Flusstäler), in denen der Klimawandel geringere Auswirkungen hat als in der umliegenden Landschaft. Werden solche Gebiete als kosteneffizient identifiziert, sollten sie langfristig geschützt werden, um das Überleben der Art auf den Flächen zu sichern. Hierfür kann sich insbesondere der Landkauf durch Stiftungen oder Naturschutzorganisationen eignen, da hierdurch die langfristige Verfügbarkeit der Fläche für den Artenschutz sichergestellt werden kann und ggf. nötige Anpassungen in der Landnutzung einfach vorgenommen werden können. Unabhängig von den hier dargestellten Überlegungen sind bei der Entscheidung, ob für den Naturschutz Landkauf oder andere Instrumente wie bspw. Vertragsnaturschutz gewählt werden, weitere Vor- und Nachteile der Instrumente zu bedenken.

5.2 Relevanz für die Naturschutzpraxis am Beispiel der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein

Die öffentlich-rechtliche Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein ist Eigentümerin von rund 38.000 ha Flächen (Stand: 2023). Ihr Auftrag ist es, insbesondere innerhalb der Biotopverbund- und Schutzgebietskulisse die Naturschutzziele von Land, Bund und EU umzusetzen. Ihre rund 20.000 ha Grünlandflächen haben landesweit eine besondere Bedeutung für den Schutz von z. B. Wiesenvögeln, pflegebedürftigen Offenlandlebensraumtypen oder deren Entomofauna wie der Sumpfschrecke. Der weitaus überwiegende Teil des Stiftungsgrünlands wird an örtliche Landwirtinnen und Landwirte verpachtet; im Jahr 2023 waren das über 1.400 Landwirtinnen und Landwirte, mit denen Verträge geschlossen wurden. Ein Großteil der für die Sumpfschrecke relevanten Feuchtgrünländer wird als Weidefläche genutzt, der Rest als Mahdfläche, zum Teil mit Nachweide.

Bisher wurde der früheste Mahdzeitpunkt auf den 21. Juni eines Jahres festgesetzt. Aus landwirtschaftlicher Sicht wird vielfach ein früherer Mahdtermin gewünscht, aus ornithologischer Sicht ein späterer, aus floristischer Sicht könnte man je nach Zielstellung und vorhandener Vegetation bzw. vorhandenen Zielarten einen früheren oder späteren Termin präferieren. Insektenkundlerinnen und -kundler fordern darüber hinaus je nach Zielart sehr spezifische, ergänzende Pflegemethoden, wie z. B. Altgrasstreifen. Der 21. Juni ist demnach ein Zeitpunkt, der sich v. a. durch eine langjährige Verwaltungspraxis ergeben hat. Der 21. Juni ist nicht definiert als das Ergebnis einer umfassenden Untersuchung, die das Vorkommen von Arten, deren Wechselbeziehungen miteinander, deren artspezifische Schutzbedürftigkeit oder deren Schutzstatus in der Fauna-Flora-Habitat(FFH)- oder Vogelschutzrichtlinie mit den Bewirtschaftungsinteressen der Nutzerinnen und Nutzer, der Witterung und Phänologie sowie den Bodeneigenschaften usw. miteinander verschnitten hätte. Dies wäre wünschenswert, ist bisher aber allenfalls durch vereinfachende Modellierungen leistbar.

In der Naturschutzpraxis sind Entscheidungshilfen, wie das in diesem Beitrag vorgestellte Modell, ein wertvolles Instrument, um nicht nur effektiveren Artenschutz umzusetzen, sondern auch um die oft fragilen Beziehungen zwischen Akteuren des Naturschutzes in der Stiftung und der lokalen Landwirtschaft aufrecht zu erhalten. Die Umsetzung notwendiger Pflegemaßnahmen im Grünland durch Landwirtinnen und Landwirte ist aus Kostengründen ein unverzichtbarer Teil der Stiftungsarbeit. Je weniger diese Maßnahmen die Profite einschränken, desto höher ist die Zahlungsbereitschaft (= Möglichkeit eine hohe Pacht zu erzielen) und desto kostensparender ist die Naturschutzarbeit der Stiftung (= einmalige Beschaffungskosten + jährliche Grundlasten + Kosten für Flächenbetreuung + Kosten der Verwaltung – jährliche Pachteinnahmen).

6 Fazit

Um Arten auch unter Klimawandel bestmöglich bei begrenzten finanziellen Ressourcen zu schützen, müssen die Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und die Kosten von Artenschutzmaßnahmen berücksichtigt werden. Dabei muss die Auswahl von Flächen und Maßnahmen an sich ändernde Bedingungen angepasst werden. Aufgrund der großen Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Kosten empfehlen wir, dass für langfristige Festlegungen etwa beim Flächenkauf oder bei Verträgen im Rahmen der Eingriffsregelung ein „Klimawandelcheck" durchgeführt wird. Hierbei soll geprüft werden, ob aktuelle naturschutzpolitische Entscheidungen auch unter den Bedingungen des Klimawandels weiterhin kosteneffizient sind oder ob sie anzupassen sind. Für die Ausgestaltung von Politikinstrumenten bedeutet Anpassung an den Klimawandel, eine gewisse Flexibilität zuzulassen. Diese Anforderung wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen. So wird bspw. die Ermittlung des bestmöglichen Mahd-Zeitpunkts zunehmend schwieriger, da bisheriges Wissen klimawandelbedingt immer weniger anwendbar ist. Das vorgestellte modellbasierte Verfahren kann hier wichtige Hinweise liefern. Artenschutz muss von Anfang an dynamisch gedacht werden, um auch unter Klimawandel kosteneffizient zu bleiben.

7 Literatur

Dasgupta P. (2021): The economics of biodiversity: The Dasgupta Review. HM Treasury. London: 604 S.

Deutscher Bundestag (2019): Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft in Deutschland. Aktenzeichen: WD 5 – 3000 – 052/19. Deutscher Bundestag. Berlin: 16 S.

Drechsler M., Gerling C. et al. (2021): A quantitative approach for the design of robust and cost-effective conservation policies under uncertain climate change: The case of grasshopper conservation in Schleswig-Holstein. Journal of Environmental Management 296: e113201. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113201

DWD, LLUR/Deutscher Wetterdienst, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (2017): Klimareport Schleswig-Holstein. Fakten bis zur Gegenwart – Erwartungen für die Zukunft. DWD. Hamburg, Flintbek: 40 S.

Gerling C., Drechsler M. et al. (2022): Climate – ecological – economic modelling for the cost-effective spatiotemporal allocation of conservation measures in cultural landscapes facing climate change. QOpen2(1): qoac004. DOI: 10.1093/qopen/qoac004

Gerling C., Drechsler M. et al. (2023): Time to consider the timing of conservation measures: Designing cost-effective agri-environment schemes under climate change. Agricultural and Resource Economics Review 52(2): 231 – 249. DOI: 10.1017/age.2023.4

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart

Gerling C., Sturm A., Wätzold F. (2020): The impact of climate change on the profit-maximising timing of grassland use and conservation costs. MPRA – Munich Personal RePEc Archive: e105597.

Gerling C., Wätzold F. (2021): An economic evaluation framework for land-use-based conservation policy instruments in a changing climate. Conservation Biology 35(3): 824 – 833. DOI: 10.1111/cobi.13631

Heydenreich M. (1999): Die Bedeutung der Heuschreckenart *Stethophyma grossum* L., 1758 (Caelifera: Acrididae) als Bestandteil eines Zielartensystems für das Management von Niedermooren. Doktorarbeit. Technische Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig. Braunschweig: 129 S.

Huber R., Snell R. et al. (2017): Interaction effects of targeted agri-environmental payments on non-marketed goods and services under climate change in a mountain region. Land Use Policy 66: 49 – 60. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.04.029

Johst K., Drechsler M. et al. (2015): A novel modeling approach to evaluate the ecological effects of timing and location of grassland conservation measures. Biology Conservation 182: 44 – 52. DOI: 10.1016/j.biocon.2014.11.033

Keuler K., Radtke K. et al. (2016): Regional climate change over Europe in COSMO-CLM: Influence of emission scenario and driving global model. Meteorologische Zeitschrift 25(2): 121 – 136. DOI: 10.1127/metz/2016/0662

Koschuh A. (2004): Verbreitung, Lebensräume und Gefährdung der Sumpfschrecke *Stethophyma grossum* (L., 1758) (Saltatoria) in der Steiermark. Joannea Zoologie 6: 223 – 246.

Landis D.A. (2017): Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. Basic and Applied Ecology 18: 1 – 12. DOI: 10.1016/j.baae.2016.07.005

Leins J.A., Banitz T. et al. (2021): High-resolution PVA along large environmental gradients to model the combined effects of climate change and land use timing: Lessons from the large marsh grasshopper. Ecological Modelling 440(1): e109355. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.109355

LKSH/Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (2024): Web-App für die Grünlanddünung im Frühjahr: Wann wächst das Gras. https://bit.ly/Web-App_Wann-waechst-das-Gras (aufgerufen am 11.10.2024).

Malkus J. (1997): Habitatpräferenzen und Mobilität der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum* L. 1758) unter besonderer Berücksichtigung der Mahd. Articulata 12(1): 1 – 18.

Ray D.K., West P.C. et al. (2019): Climate change has likely already affected global food production. PLOS ONE 14(5): e0217148. DOI: 10.1371/journal.pone.0217148

Santangeli A., Lehikoinen A. et al. (2018): Stronger response of farmland birds than farmers to climate change leads to the emergence of an ecological trap. Biological Conservation 217(6): 166 – 172. DOI: 10.1016/j.biocon.2017.11.002

Schippers P., Kropff M.J. (2001): Competition for light and nitrogen among grassland species: A simulation analysis. Functional Ecology 15(2): 155 – 164. DOI: 10.1046/j.1365-2435.2001.00509.x

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2019): Landwirtschaftliche Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2019. Weitgehende Normalisierung der Anbauverhältnisse. Statistik informiert … Nr. 101/2019. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein. Hamburg: 2 S.

Triviño M., Kujala H. et al. (2018): Planning for the future: Identifying conservation priority areas for Iberian birds under climate change. Landscape Ecology 33(4): 659 – 673. DOI: 10.1007/s10980-018-0626-z

UBA/Umweltbundesamt (2023a): Einführung in Klimaprojektionen. https://bit.ly/UBA_Klimaprojektionen (aufgerufen am 9.10.2024).

UBA/Umweltbundesamt (2023b): Klimafolgen: Handlungsfeld Biologische Vielfalt. https://bit.ly/UBA_Klima_Biodiv (aufgerufen am 9.10.2024).

Vos C.C., Berry P. et al. (2008): Adapting landscapes to climate change: Examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. Journal of Applied Ecology 45(6): 1.722 – 1.731. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2008.01569.x

Wätzold F., Feindt P.H. et al. (2020): Wie die Politik auf die Bedrohung der Biodiversität in Agrarlandschaften durch den Klimawandel reagieren kann. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft – Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. Sonderheft 232. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Bonn: 30 S. DOI: 10.12767/buel.vi232.330

Förderung

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Förderkennzeichen 01LA1803A) unterstützt.

Dr. Charlotte Gerling
Korrespondierende Autorin
Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg
Lehrstuhl VWL, insbesondere Umweltökonomie
Erich-Weinert-Straße 1
03046 Cottbus
E-Mail: charlotte.gerling@b-tu.de

Nach ihrem Studium der Umweltwissenschaften an der Victoria University in Wellington und einem Master in Umwelt- und Ressourcenmanagement an der Brandenburgischen Technischen Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg promovierte die Autorin an der BTU am Lehrstuhl VWL, insbesondere Umweltökonomie in einem interdisziplinären Forschungsprojekt zum Thema „Ökonomie der Klimaanpassung zum Schutz der biologischen Vielfalt“. Ihre aktuellen Forschungsschwerpunkte sind die Bewertung von Politikinstrumenten, integrierte Modellierung und Klimawandelanpassung von Landwirtschaft und Artenschutz.

Prof. Dr. Dr. Martin Drechsler
Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Department Ecological Modelling
Permoserstraße 15
04318 Leipzig
E-Mail: martin.drechsler@ufz.de

Dr. Klaus Keuler
Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg
Fachgebiet Atmosphärische Prozesse
Burger Chaussee 2
03044 Cottbus
E-Mail: klaus.keuler@b-tu.de

Dr. Johannes Leins
Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Department Ecological Modelling
Permoserstraße 15
04318 Leipzig
E-Mail: johannes.leins@ufz.de

Dr. Björn Schulz
Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein
Eschenbrook 4
24113 Molfsee
E-Mail: bjoern.schulz@stiftungsland.de

Dr. Astrid Sturm
Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg
Lehrstuhl VWL, insbesondere Umweltökonomie
Erich-Weinert-Straße 1
03046 Cottbus
E-Mail: sturm@b-tu.de

Prof. Dr. Frank Wätzold
Brandenburgische Technische Universität (BTU) Cottbus-Senftenberg
Lehrstuhl VWL, insbesondere Umweltökonomie
Erich-Weinert-Straße 1
03046 Cottbus
E-Mail: waetzold@b-tu.de

© 2024 W. Kohlhammer, Stuttgart