

**This is the preprint of the contribution published as:**

Gerling, C., Drechsler, M., Keuler, K., Leins, J., Schulz, B., Sturm, A., Wätzold, F. (2025):  
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]  
*Natur und Landschaft* **100** (1), 2 - 8

**The publisher's version is available at:**

<https://doi.org/10.19217/NuL2025-01-01>

# Effektivität und Kosteneffizienz von Artenschutzmaßnahmen unter Klimawandel

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

### 1. Einleitung<sup>1</sup>

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 bedroht, ergeben sich unter Klimawandel komplexe Auswirkungen auf Arten und Artenschutz, die zu berücksichtigen sind (Wätzold et al. 2020).

Zunächst kann zwischen räumlichen und zeitlichen Auswirkungen des Klimawandels unterschieden werden. So eignen sich aufgrund von Habitatverschiebungen nach Norden bzw. in höhere Höhenlagen bestimmte Flächen zukünftig mehr und andere weniger für bestimmte Arten (Triviño et al. 2018). Aber auch die zeitliche Dimension muss insbesondere in Agrarlandschaften mitberücksichtigt werden. Hier hat die Landnutzung während bestimmter Lebensphasen von Arten (bspw. Wiesenmahd während der Brutphase von Wiesenbrütern) große Auswirkungen, während die Landnutzung außerhalb dieser Phasen geringere Auswirkungen hat (Johst et al. 2015). Unter Klimawandel passen Arten jedoch auch die Zeiten bestimmter Lebensphasen phänologisch an sich ändernde Umweltbedingungen an. Somit können Arten, die bislang kaum von der agrarischen Landnutzung negativ betroffen waren, zukünftig durch diese bedroht 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 Artverhalten und Maßnahme kommen, sodass die Maßnahme nicht mehr wirkt.

Artenschutzprogrammen steht häufig nur ein begrenztes Budget zur Verfügung, sodass das Kriterium der Kosteneffizienz wichtig ist. Kosteneffizienz bedeutet, dass ein möglichst weitgehender Artenschutz für vorhandene Budgets erreicht wird (Gerling & Wätzold 2021). Damit Artenschutz unter Klimawandel kosteneffizient gestaltet werden kann – d.h. ein möglichst hohes Artenschutzziel für ein gegebenes Budget erreicht werden kann – müssen die Auswirkungen des Klimawandels auch 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 sinken. Die zeitliche Dimension bezieht sich auf mögliche Zeitpunkte einer Landnutzung, die eine Naturschutzmaßnahme vorschreibt. Da der phänologische Frühlingsbeginn unter Klimawandel zunehmend früher ist, kann sich der profitmaximierende Zeitpunkt der Landnutzung ändern, zum Beispiel da frühere (und möglicherweise häufigere) Mahdtermine profitabel sind. Ändert sich der profitmaximierende Zeitpunkt, ändern sich auch die Kosten einer Naturschutzmaßnahme mit

42 festgelegtem Mahdtermin. Generell können die Kosten einiger Maßnahmen unter Klimawandel  
43 steigen, während andere Maßnahmen zukünftig geringere Kosten haben werden (Huber et al. 2017).

44 Gerling et al. (2022) haben ein Modellierungsverfahren entwickelt, um diese Aspekte exemplarisch am  
45 Beispiel des Schutzes der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*) in Schleswig-Holstein zu  
46 untersuchen. Wir stellen das Verfahren und die wichtigsten Ergebnisse für die Fallstudie dar und leiten  
47 daraus allgemeine Empfehlungen für den Artenschutz unter Klimawandel ab.

## 48 2. Fallstudie: Modellierung von Klimaauswirkungen auf den Schutz der 49 Sumpfschrecke

### 50 2.1. Die Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*)

51 Die Sumpfschrecke (**Abb. 1**) hat eine moderate Ausbreitungsfähigkeit und ist in Feucht- und  
52 Nasswiesen (**Abb. 2**) Mitteleuropas zu finden (Heydenreich, 1999). In Schleswig-Holstein ist die Art  
53 momentan relativ weit verbreitet, sodass davon ausgegangen werden kann, dass neue Habitatflächen  
54 landesweit von der Art besiedelt werden können. Während ihres einjährigen Lebenszyklus entwickelt  
55 sie sich vom Ei-, über das Larvenstadium im Frühjahr bis hin zum adulten Tier ab Spätfrühling /  
56 Frühsommer. Der Lebenszyklus wird hauptsächlich von Temperatur und Bodenfeuchte beeinflusst,  
57 wobei der hohe Wasserbedarf der im Boden abgelegten Eipakete vor und nach dem Winter die Art an  
58 feuchtes Grünland bindet (Koschuh, 2004). Die für die Art ungünstigen Mahdtermine in der  
59 (konventionellen) Grünlandbewirtschaftung schränken die Habitateignung vieler Flächen ein (Malkus,  
60 1997).



61 **Abb. 1:** Männliches Exemplar der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum*, Linné 1758). Bild: Daniel Konn-Vetterlein  
62



63 **Abb. 2:** Gebiete der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, die sich unter momentanen klimatischen Bedingungen als  
64 Habitat für die Sumpfschrecke eignen. Bilder: Charlotte Gerling  
65

### 66 2.2. Maßnahmen

67 Um die Sumpfschrecke zu schützen, werden 5 mögliche Maßnahmen berücksichtigt, die jeweils  
68 unterschiedliche Mahdtermine beinhalten (**Tabelle 1**). Diese erlauben eine frühe Mahd (M1a und  
69 M1b), eine späte Mahd (M2a und M2b) oder 2 Schnitte (M3). Um mögliche Auswirkungen des  
70 Klimawandels bei der Definition der Maßnahmen zu berücksichtigen, wurden keine kalendarischen  
71 Mahdtermine festgelegt, sondern phänologische Termine (z.B. Mahdtermin 7 Wochen *nach Beginn*  
72 *der Vegetationsperiode*). Der phänologische Frühlingsbeginn wird per Temperatursumme definiert:  
73 pro Tag wird die durchschnittliche Temperatur aufsummiert, bis 200°C erreicht werden. Dabei werden  
74 Temperaturen im Januar zu 50%, im Februar zu 75% und ab März zu 100% berücksichtigt (vgl. LKSH  
75 n.d.).

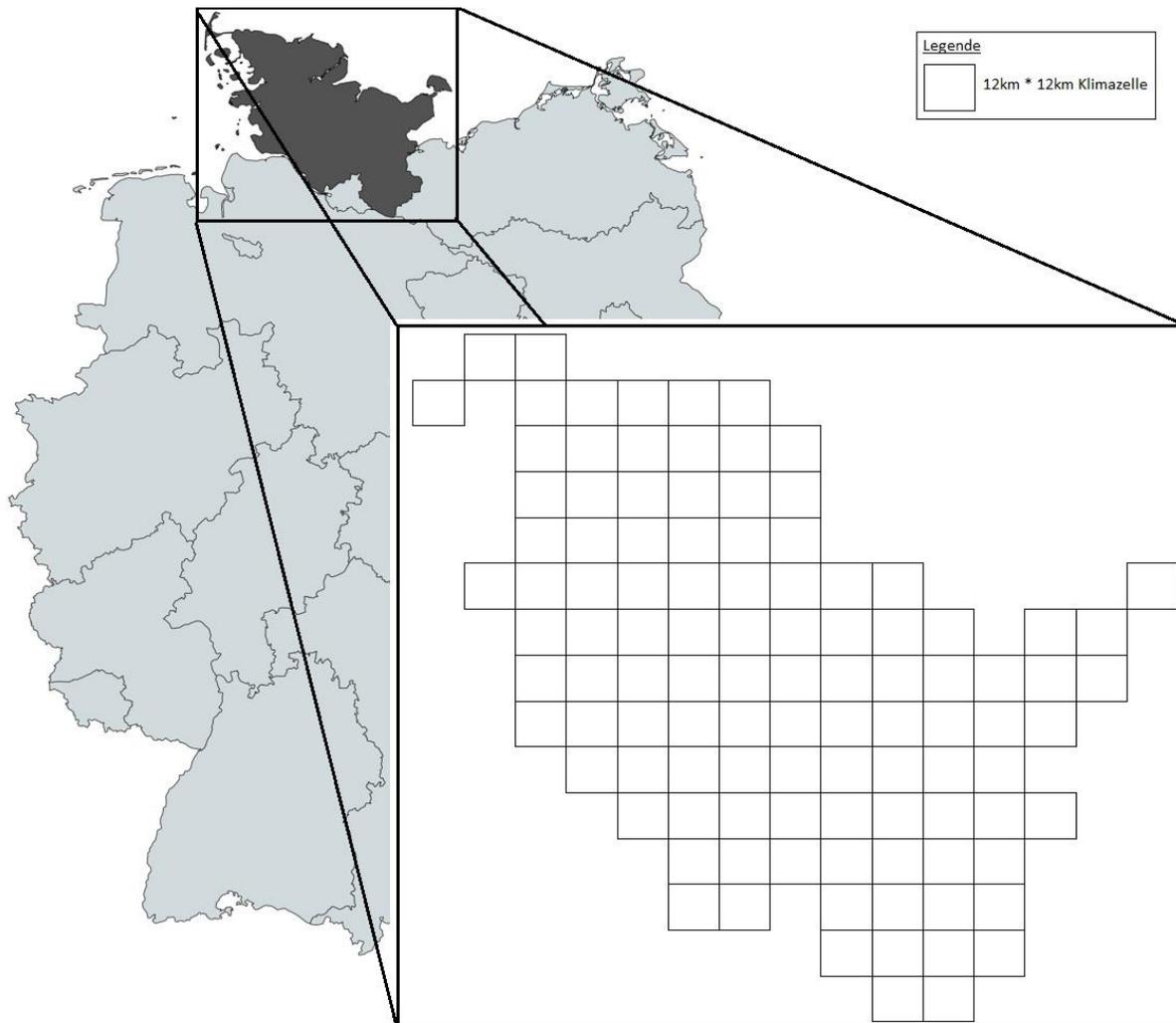
76 **Tabelle 1:** Maßnahmen zum Schutz der Sumpfschrecke

Maßnahmenname	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 nach 23 Wochen nach Beginn der Vegetationsperiode, max. 2 Schnitte

77 2.3. Fallstudiengebiet

78 Fallstudiengebiet sind die ca. 3.200km<sup>2</sup> Dauergrünland Schleswig-Holsteins (Statistisches Amt für  
 79 Hamburg und Schleswig-Holstein 2019), die prinzipiell als Habitat für die Sumpfschrecke in Frage  
 80 kommen. Es wird erwartet, dass der Klimawandel in Schleswig-Holstein einen vergleichsweise  
 81 moderaten Temperaturanstieg verursacht und sich der Niederschlag zunehmend vom Sommer zum  
 82 Winter und Frühling verschiebt (DWD 2017).

83 Für die Modellierung wird das Fallstudiengebiet in 12 km \* 12 km Klimazellen eingeteilt (**Abb. 3**).  
 84 Innerhalb dieser Klimazellen werden Grünlandflächen als 250 m \* 250 m Grünlandzellen dargestellt.  
 85 Für jede Grünlandzelle liegen Klimadaten sowie Grünlandzahlen (welche als Produktivitätsindikator die  
 86 Artenschutzkosten entscheidend beeinflussen) vor.

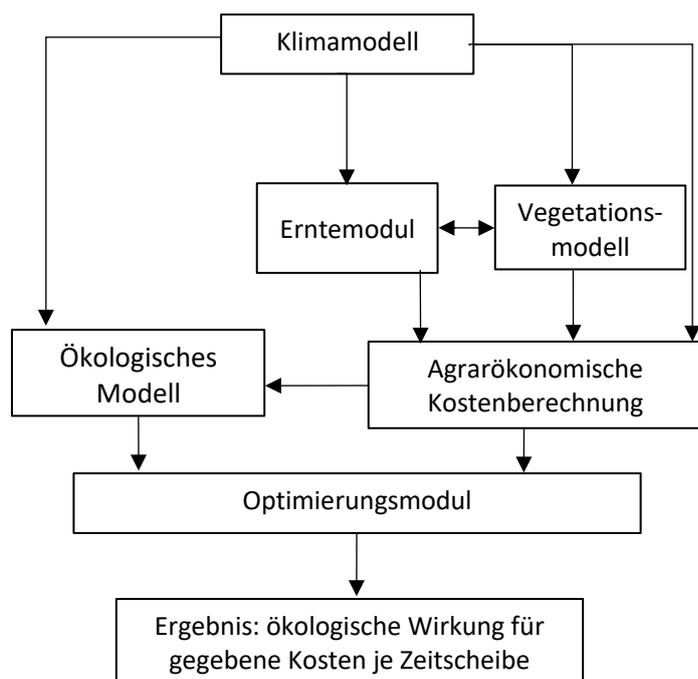


87

88 **Abb. 3:** Aufteilung des Fallstudiengiets Schleswig-Holstein in 12 km \* 12 km Klimazellen.

89 2.4. Modellierungsverfahren

90 Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Schutz der Sumpfschrecke zu modellieren, haben  
 91 Gerling et al. (2022) ein ökologisch-ökonomisches Modell entwickelt (**Abb. 4**), das die kosteneffizienten  
 92 Mahdverfahren und ihre räumliche Verortung für 2 Zeitscheiben bestimmt: 2020-39 und 2060-79.



93

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

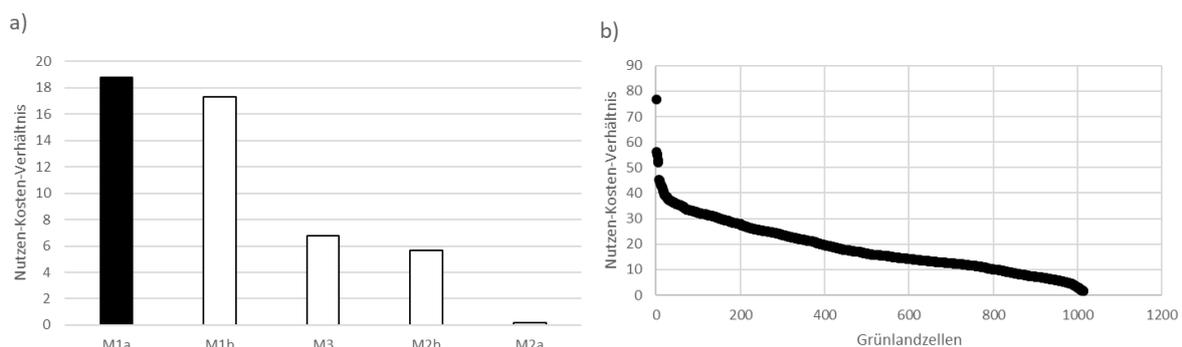
95 Grundlage des Modellierungsverfahrens ist ein Klimamodell, das auf Tagesbasis Temperatur-,  
 96 Niederschlags- und Bodenfeuchtwerte für jede Klimazelle und jedes Jahr für den Zeitraum von 2015  
 97 bis 2080 generiert (Keuler et al. 2016). Diese tagesgenauen Werte fließen dann in ein  
 98 Vegetationsmodell (vereinfacht nach Schippers & Kropff 2001) ein, um das Graswachstum zu  
 99 modellieren. Ergebnis des Vegetationsmodells ist der Aufwuchs jeder Grünlandzelle (unter  
 100 Berücksichtigung der Grünlandzahl) für jedes Jahr von 2015 bis 2080<sup>2</sup>. Informationen aus dem  
 101 Klimamodell und dem Vegetationsmodell fließen in das Erntemodul ein, mit dessen Hilfe die  
 102 Mahdtermine für jede Grünlandzelle und Jahr sowohl für die profitmaximierende Bewirtschaftung als  
 103 auch die Artenschutzmaßnahmen berechnet werden. Die Berechnungen basieren auf dem  
 104 modellierten Wachstum der Grünlandbiomasse unter Berücksichtigung des simulierten Wetters,  
 105 wobei Niederschläge und Überschwemmungen zu Verschiebungen des Mahdtermins führen können.

106 In der agrarökonomischen Kostenberechnung (Gerling et al. 2020) werden die Kosten aller  
 107 Maßnahmen je Grünlandzelle und Jahr berechnet. Die Kosten einer Maßnahme sind dabei die  
 108 Differenz des Profits, der bei profitmaximierender Bewirtschaftung (ohne Artenschutzmaßnahme)  
 109 generiert wird, und dem (reduzierten) Profit, der bei Umsetzung der Maßnahme erwirtschaftet wird.  
 110 Veränderungen des Profits gibt es durch klimawandelbedingte Änderungen des Aufwuchses (alle  
 111 anderen Größen, die die Kosten bestimmten, werden nicht geändert, da hierzu keine Voraussagen  
 112 möglich sind), die auf Grundlage des Vegetationsmodells für jede Grünlandzelle berechnet werden  
 113 (Gerling et al. 2020). Hierfür wird der ökonomische Wert des Aufwuchses bestimmt, indem zunächst  
 114 der Energiegehalt des Mahdguts abgeschätzt wird. Die Monetarisierung erfolgt unter der Annahme,  
 115 dass dieser Energiegehalt alternativ über Kraftfutter – für das es einen Marktpreis gibt – gedeckt  
 116 werden kann. Des Weiteren werden variable Kosten (bspw. Maschinenkosten, Arbeitskraft)  
 117 berücksichtigt, um den Profit einer Bewirtschaftungsform abzuschätzen.

118 Das ökologische Modell (Leins et al. 2021) ist ein prozessbasiertes Modell und schätzt die erwarteten  
 119 Auswirkungen dieser Mahdtermine und klimatischen Bedingungen auf die Anzahl adulter  
 120 Sumpfschrecken je Grünlandzelle und Jahr. Dafür werden die verschiedenen Lebensstadien der  
 121 Sumpfschrecke und die Übergänge zwischen diesen Stadien quantitativ betrachtet. Auf der Grundlage  
 122 eines umfassenden Studiums experimenteller und empirischer Arbeiten zur Sumpfschrecke (Leins et

123 al. 2021) wurden die Wahrscheinlichkeiten, von einem Stadium in das jeweils nächste zu gelangen,  
 124 abgeschätzt. Diese hängen neben der bisherigen Verweildauer in dem jeweiligen Stadium vor allem  
 125 von äußeren Umwelteinflüssen ab, insbesondere der Temperatursumme, der Bodenfeuchte und  
 126 Verfügbarkeit von Kontaktwasser, und ob während der Verweildauer die Grünlandzelle gemäht wird.  
 127 Im Herbst eines jeden Modelljahres wird die Zahl der Imagines auf der Zelle festgestellt. Sie dient dazu,  
 128 die Auswirkungen der Klima- bzw. Wetterparameter und der Landnutzung auf die Größe und  
 129 Überlebensfähigkeit der Sumpfschreckenpopulation zu bewerten.

130 Im Optimierungsmodul werden die ökologischen und Kosteninformationen kombiniert, um mithilfe  
 131 des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (durchschnittliche Anzahl an Sumpfschrecken je Grünlandzelle /  
 132 Gesamtkosten der Periode) die optimale räumliche Allokation der Maßnahmen zu ermitteln: Zunächst  
 133 wird die Maßnahme mit höchstem Nutzen-Kosten-Verhältnisses je Gitterzelle ausgewählt. In einem  
 134 zweiten Schritt werden die Gitterzellen nach absteigendem Nutzen-Kosten-Verhältnis sortiert und  
 135 Maßnahmen umgesetzt, bis das zur Verfügung stehende Budget erschöpft ist. Beispielhaft zeigen wir  
 136 dies in **Abbildung 5**: Für die Beispielfläche werden die Nutzen-Kosten-Verhältnisse aller Maßnahmen  
 137 berechnet, die Maßnahmen nach sinkendem Nutzen-Kosten-Verhältnis sortiert (hier:  
 138  $M1a > M1b > M3 > M2b > M2a$ ), und Maßnahme M1a als kosteneffiziente Maßnahme identifiziert (**Abb.**  
 139 **5a**). Dies wird für alle Flächen durchgeführt. Im zweiten Schritt (**Abb. 5b**) werden die Flächen nach  
 140 sinkendem Nutzen-Kosten-Verhältnis sortiert – hier beispielhaft für die Periode 2020-2039. Als  
 141 Ergebnis werden die kosteneffizienten Maßnahmen, ihre räumliche Verteilung und die daraus  
 142 resultierende Wirkung auf die Größe der Sumpfschreckenpopulation je Zeitscheibe angegeben.  
 143 Detaillierte Informationen zum Modellierungsverfahren und den Ergebnissen können in Gerling et al.  
 144 (2022) nachgelesen werden.



145 **Abb. 5:** Illustration der zwei Schritte des Optimierungsverfahrens: Auswahl der kosteneffizienten Maßnahme am Beispiel von  
 146 einer Fläche mit Grünlandzahl 31 in Klimazelle 38 (einer Fläche im Zentrum des Fallstudiengebiets) (**Abb. 5a**) und Sortierung  
 147 der Flächen (**Abb. 5b**) anhand des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (durchschnittliche Anzahl an Sumpfschrecken je  
 148 Grünlandzelle / Gesamtkosten der Periode) für die Periode 2020-2039.

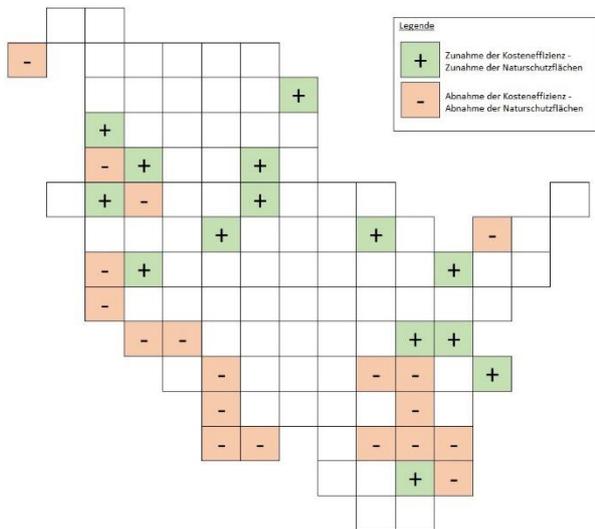
#### 150 2.4.1. Auswahl kosteneffizienter Maßnahmen

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

#### 157 2.4.2. Auswahl kosteneffizienter Flächen

158 In Bezug auf die Flächenauswahl zeigt sich, dass es zu einer Verschiebung der kosteneffizienten Flächen  
 159 in Richtung des Zentrums des Fallstudiengebiets kommt (**Abb. 6**). Diese Verschiebung erklärt sich  
 160 damit, dass diese Gebiete zunächst nur eine geringe potenzielle Habitatqualität erreichen, unter  
 161 Klimawandel jedoch zunehmend für die Sumpfschrecke geeignet sind. Flächen entlang des westlichen

162 Gebietsrandes hingegen verursachen relativ hohe Kosten. Zunächst sind diese Flächen trotzdem  
 163 aufgrund ihres hohen ökologischen Werts in der kosteneffizienten Schutzstrategie enthalten. Ihre  
 164 Bedeutung nimmt in der 2. Periode jedoch zugunsten zentraler Flächen mit geringeren Kosten und  
 165 verbesserter Habitatqualität ab.



166  
 167 **Abb. 6:** Klimazellen, in denen die für den kosteneffizienten Schutz der Sumpfschrecke gewählten Flächen von der 1.  
 168 Zeitscheibe (2020-39) zur 2. Zeitscheibe (2060-79) zunehmen (in grün) und abnehmen (in rot). Angepasst von Gerling et al.  
 169 (2022).

170 2.4.3. Diskussion der Modellannahmen

171 Wir haben durch die Integration von Erkenntnissen der Klimawissenschaften, Ökologie und Ökonomie  
 172 die raumzeitlichen Klimaauswirkungen auf die Kosteneffizienz des Artenschutzes untersucht und  
 173 gezeigt, wie die nötigen Anpassungen unter Klimawandel aussehen sollten. Natürlich unterliegen dem  
 174 Modell Vereinfachungen. Zum Beispiel gibt es bei der Vorhersage des Klimawandels Unsicherheiten  
 175 etwa durch unsichere Klimaemissionen in der Zukunft, die nicht berücksichtigt wurden. Unsicherheiten  
 176 gibt es selbstverständlich auch bei den Vorhersagen zu den ökonomischen und ökologischen  
 177 Modellparametern. Drechsler et al. (2021) haben am Beispiel der Klimaunsicherheiten prinzipiell  
 178 gezeigt, wie diese Unsicherheiten berücksichtigt und eine robuste Strategie für den Schutz der  
 179 Sumpfschrecke entwickelt werden kann. Eine solche Strategie berücksichtigt verschiedene mögliche,  
 180 zukünftige Klimawandelauswirkungen auf potenzielle Naturschutzflächen und präferiert dann den  
 181 Schutz der Flächen und die Auswahl der Maßnahmen, die unter möglichst vielen verschiedenen  
 182 Klimaszenarien möglichst akzeptable Ergebnisse für den Schutz der Sumpfschrecke liefern.

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

192 Außerdem wurde angenommen, dass die kosteneffizienten Maßnahmen auf allen Flächen beliebig  
 193 umgesetzt werden können. Dies wäre beispielsweise der Fall, wenn eine Naturschutzstiftung große  
 194 Flächen besitzt und die Landnutzung auf den Flächen festlegen kann. Bei anreizorientierten

195 Instrumenten wie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), in denen die richtigen Anreize für  
196 Landnutzer\*innen gesetzt werden müssen, muss jedoch der freiwillige Charakter solcher Instrumente  
197 in der Analyse berücksichtigt werden. Gerling et al. (2023) zeigen am Beispiel der Ausgestaltung von  
198 AUKM zum Schutz von Wiesenbrütern im Klimawandel, wie ein solches Vorgehen erfolgen kann.

### 199 3. Naturschutzpolitische Empfehlungen

#### 200 3.1. Allgemeine Überlegungen

201 Die Fallstudienresultate legen nahe, dass Politikinstrumente zum Artenschutz unter Klimawandel  
202 eine gewisse Flexibilität ermöglichen sollen. Dies bezieht sich sowohl auf die räumliche Ebene (Wahl  
203 der Flächen mit Artenschutzmaßnahmen), als auch auf die zeitliche Ebene (zeitliche Anpassung von  
204 Artenschutzmaßnahmen). Einige Politikinstrumente lassen jedoch kurzfristig keine Flexibilität zu.  
205 Beispielsweise kann beim Flächenkauf einer Naturschutzstiftung die Flächenwahl im Nachhinein oft  
206 nicht mehr geändert werden, da auf Grund gesetzlicher Regelungen häufig einmal gekaufte Flächen  
207 nicht verkauft werden dürfen.

208 Bei solchen langfristigen Festlegungen empfehlen wir einen „Klimawandelcheck“, der die  
209 Auswirkungen von erwarteten Klimaänderungen in der Region von Interesse auf Arten und Kosten  
210 prüfen soll. Dies kann auf Grund von finanziellen Restriktionen in der Regel nicht mit Hilfe eines solch  
211 komplexen Modells erfolgen, wie in Kap. 2 vorgestellt. Allerdings stehen viele relevante Informationen  
212 bereits heute zur Verfügung. Beispielsweise gibt es Informationen zum Klimawandel  
213 (Umweltbundesamt 2019), zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Arten (Umweltbundesamt  
214 2020) und auf die Landwirtschaft (und damit auf Artenschutzkosten in Agrarlandschaften) (Deutscher  
215 Bundestag 2019). Diese Informationen sind oft ein guter Anhaltspunkt, die Hinweise darauf geben,  
216 inwieweit heutige Festlegungen bei der Flächenwahl und der Maßnahme auch zukünftig adäquaten  
217 Artenschutz leisten können.

218 Darüber hinaus bieten sich zwei weitere Lösungsansätze an, die die nötige Flexibilität sichern könnten.  
219 Zum einen können Maßnahmen statt mit festen, kalendarischen Terminen phänologisch definiert  
220 werden, also beispielsweise als „Mahd 9 Wochen *nach dem phänologischen Frühlingsbeginn*“. Unsere  
221 Ergebnisse zeigen, dass phänologische Maßnahmen auch unter Klimawandel kosteneffizient bleiben  
222 können. Zum anderen spielt die ergebnisorientierte Honorierung unter Klimawandel eine größere  
223 Rolle. Hierbei erhalten Landwirt\*innen die Zahlung nicht für das Durchführen einer festgelegten  
224 Maßnahme, sondern können die Maßnahme frei wählen. Die Zahlung erhalten sie, wenn die Zielart  
225 auf den Flächen nachgewiesen wird. Somit bietet die erfolgsorientierte Förderung im Klimawandel  
226 automatisch Anreize, die aktuell kosteneffiziente Maßnahme auszuwählen und diese mit der Zeit an  
227 sich ändernde klimatische Bedingungen anzupassen (Gerling & Wätzold 2021).

228 Darüber hinaus ist bei der Bewertung von naturschutzpolitischen Instrumenten zu berücksichtigen,  
229 dass in der Ökologie insbesondere zwei Strategien diskutiert werden, die beim Artenschutz unter  
230 Klimawandel eine große Rolle spielen können (Vos et al. 2008). Zum einen kann die räumliche  
231 Konnektivität zu zukünftigen Habitatflächen erhöht werden. Werden also im „Klimawandelcheck“  
232 Gebiete im Norden als künftig kosteneffizient identifiziert, sollte die Konnektivität von den  
233 momentanen Habitaten in Richtung der zukünftigen Habitate verbessert werden, sodass die Art  
234 zukünftige Habitate erreichen kann. Wird erwartet, dass bestimmte Gebiete aufgrund des  
235 Klimawandels künftig weniger kosteneffizient werden, bieten Verträge mit Landwirt\*innen, etwa im  
236 Kontext von Vertragsnaturschutz, die Chance, gezielt Flächen für den Artenschutz auszuwählen und  
237 diese nur zu schützen, solange sie kosteneffizient sind.

238 Eine weitere Strategie ist die Schaffung von geeigneten Habitaten in Klimarefugien (z.B. bestimmte  
239 Flusstäler), in denen der Klimawandel geringere Auswirkungen hat als in der umliegenden Landschaft.  
240 Werden solche Gebiete als kosteneffizient identifiziert, sollten sie langfristig geschützt werden, um das

241 Überleben der Art auf den Flächen zu sichern. Hierfür kann sich insbesondere der Landkauf durch  
242 Stiftungen oder Naturschutzorganisationen eignen, da hierdurch die langfristige Verfügbarkeit der  
243 Fläche für den Artenschutz sichergestellt werden kann und ggf. nötige Anpassungen in der  
244 Landnutzung einfach vorgenommen werden können. Unabhängig von den hier dargestellten  
245 Überlegungen sind bei der Entscheidung, ob für den Naturschutz Landkauf oder andere Instrumente  
246 wie beispielsweise Vertragsnaturschutz gewählt wird, weitere Vor- und Nachteile der Instrumente zu  
247 bedenken.

### 248 3.2. Relevanz für die Naturschutzpraxis am Beispiel der Stiftung Naturschutz Schleswig- 249 Holstein

250 Die öffentlich-rechtliche Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein ist Eigentümerin von (Stand 2023) rd.  
251 38.000 ha. Ihr Auftrag ist es, insbesondere innerhalb der Biotopverbund- und Schutzgebietskulisse die  
252 Naturschutzziele von Land, Bund, EU und anderen umzusetzen. Ihre rund 20.000 ha Grünlandflächen  
253 spielen eine landesweit besondere Bedeutung beim Schutz von z. B. Wiesenvögeln, pflegebedürftigen  
254 Offenlandlebensraumtypen oder deren Entomofauna wie der Sumpfschrecke. Der weitaus  
255 überwiegende Teil des Stiftungsgrünlands wird an örtliche Landwirt\*innen verpachtet, im Jahr 2023  
256 waren das über 1.400 Landwirt\*innen, mit denen Verträge geschlossen wurden. Ein Großteil der für  
257 die Sumpfschrecke relevanten Feuchtgrünländer wird als Weidefläche genutzt, der Rest als  
258 Mahdfläche, zum Teil mit Nachweide.

259 Bisher wurde der früheste Mahdzeitpunkt auf den 21. Juni eines Jahres festgesetzt. Aus  
260 landwirtschaftlicher Sicht wird vielfach ein früherer Mahdtermin gewünscht, aus ornithologischer Sicht  
261 ein späterer, aus floristischer Sicht könnte man je nach Zielstellung und vorhandener Vegetation einen  
262 früheren oder späteren Termin präferieren. Insektenkundler fordern darüber hinaus je nach Zielart  
263 sehr spezifische, ergänzende Pflegemethoden, wie zum Beispiel Altgrasstreifen. Der 21. Juni stellt  
264 demnach einen Zeitpunkt dar, der sich vor allem durch eine langjährige Verwaltungspraxis manifestiert  
265 hat. Der 21. Juni ist nicht definiert als das Ergebnis einer multivariaten Statistik, die das Vorkommen  
266 von Arten, deren Wechselbeziehungen miteinander, deren artspezifische Schutzbedürftigkeit oder  
267 Verortung in FFH- oder Vogelschutzrichtlinie mit dem Bewirtschaftungsinteresse des Nutzers, der  
268 Witterung und Phänologie sowie Boden usw. verschnitten hätte. Dieses wäre wünschenswert, ist  
269 bisher allenfalls modellhaft leistbar.

270 In der Naturschutzpraxis sind Entscheidungshilfen wie das in diesem Beitrag vorgestellte Modell, ein  
271 wertvolles Instrument um nicht nur effektiveren Artenschutz umzusetzen, sondern auch die oft  
272 fragilen Beziehungen zur lokalen Landwirtschaft aufrecht zu erhalten. Die Umsetzung von  
273 Pflegenotwendigkeiten im Grünland durch Landwirt\*innen ist aus Kostengründen ein unverzichtbarer  
274 Teil der Stiftungsarbeit, und je weniger diese ihre Profite einschränken, desto höher ist ihre  
275 Zahlungsbereitschaft (= Pacht) und desto kostensparender ist die Naturschutzarbeit der Stiftung (=  
276 einmalige Beschaffungskosten + jährliche Grundlasten + Flächenbetreuung + Verwaltung – jährliche  
277 Pachteinnahmen).

278 Die Ermittlung des bestmöglichen Mahd-Zeitpunkts wird stetig schwieriger und gleichzeitig immer  
279 wichtiger, da bisheriges Wissen klimawandelbedingt immer weniger anwendbar wird. Das vorgestellte  
280 Verfahren kann hier wichtige Hinweise liefern.

### 281 4. Schlussfolgerung

282 Um Arten auch unter Klimawandel bestmöglich bei begrenzten finanziellen Ressourcen zu schützen,  
283 müssen die Klimaauswirkungen auf Arten und die Kosten von Artenschutzmaßnahmen berücksichtigt  
284 werden, um die Flächen- und Maßnahmenauswahl an sich ändernde Bedingungen anzupassen.  
285 Aufgrund der großen Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Kosten empfehlen wir, dass für  
286 langfristige Festlegungen etwa beim Flächenkauf oder bei langfristigen Verträgen im Rahmen der

287 Eingriffsregelung ein „Klimawandelcheck“ durchgeführt wird. Hierbei soll geprüft werden, ob aktuelle  
288 naturschutzpolitische Entscheidungen auch unter den Bedingungen des Klimawandels weiterhin  
289 kosteneffizient sind, oder anzupassen sind. Für die Ausgestaltung von Politikinstrumenten bedeutet  
290 Anpassung an den Klimawandel, dass ihre Fähigkeit, eine gewisse Flexibilität zuzulassen, zunehmend  
291 bedeutender wird. Artenschutz muss von Anfang an dynamisch gedacht werden, um auch unter  
292 Klimawandel kosteneffizient zu bleiben.

293 <sup>1</sup> Der vorliegende Beitrag basiert auf den Ergebnissen von Gerling et al. (2022) ergänzt durch  
294 naturschutzpraktische Überlegungen.

295 <sup>2</sup> Wir berücksichtigen hierbei lediglich die Auswirkungen der Bewirtschaftung innerhalb eines Jahres  
296 und keine langfristigen Auswirkungen der Bewirtschaftungsform auf Bodenqualität und Erträge.

## 297 5. Literaturverzeichnis

298 Dasgupta P. (2021): The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. London: HM Treasury.

299 Deutscher Bundestag (2019): Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft in Deutschland.  
300 Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 052/19.

301 DWD (2017): Klimareport Schleswig-Holstein. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main,  
302 Deutschland.

303 Drechsler M., Gerling C., et al. (2021): A quantitative approach for the design of robust and cost-  
304 effective conservation policies under uncertain climate change: the case of grasshopper conservation  
305 in Schleswig-Holstein, J Environ Manage 296.

306 Gerling C., Drechsler M., et al. (2022): Combining ecological-economic modelling and climate science  
307 for the cost-effective spatio-temporal allocation of conservation measures in the face of climate  
308 change. QOpen2(1):qoac004.

309 Gerling C., Drechsler M., et al. (2023): Time to consider the timing of conservation measures:  
310 designing cost-effective agri-environment schemes under climate change. Agricultural and Resource  
311 Economics Review. doi:10.1017/age.2023.4(first view).

312 Gerling C., Wätzold F. (2021): An economic evaluation framework for land-use-based conservation  
313 policy instruments in a changing climate. Conserv. Biol. 35(3):824-833.

314 Gerling C., Sturm A., Wätzold F. (2020): The impact of climate change on the profit-maximising timing  
315 of grassland use and conservation costs. MPRA. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/105597/>.

316 Heydenreich, M. (1999): Die Bedeutung der Heuschreckenart *Stethophyma grossum* L., 1758  
317 (Caelifera: Acrididae) als Bestandteil eines Zielartensystems für das Management von Niedermooren.  
318 PhD thesis.

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

321 Keuler K., Radtke K., et al. (2016): Regional climate change over Europe in COSMO-CLM: Influence of  
322 emission scenario and driving global model. Meteorol Z 25(2):121-136.

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

325 Johst K., Drechsler M., et al. (2015): A novel modeling approach to evaluate the ecological effects of  
326 timing and location of grassland conservation measures, Biol Conserv , 182:44–52.

327 Landis D.A. (2017): Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services, Basic  
328 and Applied Ecology , 18:1–12

329 Leins J.A., Banitz T., et al. (2021): High-resolution PVA along large environmental gradients to model  
330 the combined effects of climate change and land use timing: lessons from the large marsh  
331 grasshopper. Ecol Modell 440:109355.

332 LKSH (n.d): Web-App „Wann wächst das Gras?“.   
333 <https://www.lksh.de/landwirtschaft/gruenland/web-app-wann-waechst-das-gras/> [15.05.2020].

334 Malkus, J. (1997): Habitatpräferenzen und Mobilität der Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum* L.  
335 1758) unter besonderer Berücksichtigung der Mahd. *Articulata* 12(1):1–18.

336 Ray D.K., West P. C., et al. (2019): Climate change has likely already affected global food production,  
337 *Plos One* , 14:e0217148.

338 Santangeli A., Lehikoinen A., et al. (2018): Stronger response of farmland birds than farmers to  
339 climate change leads to the emergence of an ecological trap. *Biol Conserv* 217:166-172.

340 Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2019): Statistik informiert... Nr. 101/2019.  
341 [https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Presseinformationen/SI19\\_101.pdf](https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Presseinformationen/SI19_101.pdf).

342 Triviño M., Kujala H., et al. (2018): Planning for the future: identifying conservation priority areas for  
343 Iberian birds under climate change, *Landscape Ecology*, 33:659–73.

344 Umweltbundesamt (2019): Einführung in Klimaprojektionen.  
345 [https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-](https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimamodelle-szenarien-neu/einfuehrung-in-klimaprojektionen)  
346 [klimawandels/klimamodelle-szenarien-neu/einfuehrung-in-klimaprojektionen](https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimamodelle-szenarien-neu/einfuehrung-in-klimaprojektionen).

347 Umweltbundesamt (2020): Klimafolgen: Handlungsfeld Biologische Vielfalt.  
348 [https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-](https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-biologische-vielfalt#auswirkungen-des-klimawandels-auf-pflanzen-und-tiere)  
349 [klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-biologische-](https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-biologische-vielfalt#auswirkungen-des-klimawandels-auf-pflanzen-und-tiere)  
350 [vielfalt#auswirkungen-des-klimawandels-auf-pflanzen-und-tiere](https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-biologische-vielfalt#auswirkungen-des-klimawandels-auf-pflanzen-und-tiere).

351 Vos, C.C., Berry, P., et al. (2008): Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof  
352 ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology* 45:1722-1731

353 Wätzold F, Feindt P.H., et al. (2020): Wie die Politik auf die Bedrohung der Biodiversität in  
354 Agrarlandschaften durch den Klimawandel reagieren kann: Stellungnahme des Wissenschaftlichen  
355 Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung und  
356 Landwirtschaft. *Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*.

357 Förderung

358 Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen  
359 01LA1803A) unterstützt.