

»Modelle für die Natur der Zukunft«

Wie Modelle der Biodiversität funktionieren und wo sie Anwendung finden, erklärt die Makroökologin Katrin Böhning-Gaese.

Das Gespräch führte THOMAS KÖHLER

Katrin Böhning-Gaese (*1964) ist Professorin am Institut für Ökologie, Evolution und Diversität der Universität Frankfurt am Main und Direktorin des Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrums. Sie studiert ökologische und soziale Einflüsse auf die Biodiversität im globalen Wandel. 2021 erhielt sie für ihre Spitzenforschung zur biologischen Vielfalt den Umweltpreis der Deutschen Bundesstiftung Umwelt.

Frau Prof. Böhning-Gaese, in Deutschland leben beinahe 600 Wildbienenarten. Würde auch die Hälfte davon ausreichen, um unser Ökosystem aufrechtzuerhalten?

Das lässt sich wissenschaftlich nur schwer beantworten, weil wir die Rollen und Funktionen der einzelnen Bienenarten in Deutschland nicht im Detail kennen. Es gibt aber Systeme, in denen wir den Ausfall einzelner Arten untersucht haben, etwa im Kakamega-Regenwald in Ostafrika. Dort gibt es über 80 Vogel- und Affenarten, die über ihren Kot Samen ausbreiten. In einem durch illegalen Holzeinschlag gestörten Wald kommen etwa 20 Prozent weniger dieser samenausbreitenden Arten vor als in einem ungestörten Wald. Man könnte meinen, dass trotzdem noch ausreichend Arten vorhanden sind, um durch die Ausbreitung von Samen neue Bäume entstehen zu lassen und damit tote zu ersetzen. Stattdessen haben wir signifikant weniger Samenausbreitung beobachtet. Die Artenvielfalt der Keimlinge wurde kleiner, und das Artenspektrum hat sich verschoben: Statt der bisher am Standort etablierten Arten gedeihen an den neuen Lebensraum anpassungsfähige Pionierpflanzen. Das hat langfristig negative Effekte auf alle Arten, die wie gewohnt große alte Bäume als Brutstätte und Nahrungsgrundlage brauchen, neben Vögeln und Affen auch Schliefer, Käfer und Fledermäuse. Deshalb ist die Vermutung begründet, dass es unserem Ökosystem schaden würde, wenn die Hälfte oder auch nur 20 Prozent weniger Wildbienenarten in Deutschland leben.

Sie berechnen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Natur und sagen mit Ihren Modellen die in den nächsten Jahrzehnten zu erwartenden Veränderungen in Ökosystemen vorher. Wie funktioniert das?

Die statistischen Modelle, die ich in meiner Arbeitsgruppe verwende, sind sogenannte Artverbreitungsmodelle. Ich nehme – basierend auf Beobachtungen – das Vorkommen und idealerweise auch die Häufigkeit von Arten und setze diese in einen statistischen Zusammenhang mit Umweltparametern der Beobachtungsorte, zum Beispiel Lebensraum, Temperatur, Niederschlag und Feuchtigkeit. Das sind dann einzelne Punkte auf einer Karte. Da die Umweltparameter auch in Regionen bekannt sind, in denen noch keine Daten zu einer Art vorliegen, kann ich mit verschieden hoher Wahrscheinlichkeit voraussagen, ob und wie häufig sie dort vorkommt. Das Ergebnis ist eine flächig gefüllte Karte. In einem nächsten Schritt nutze ich den Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Art und Umweltparametern, um anhand prognostizierter Klimadaten Zukunftsprojektionen aufzustellen hinsichtlich der Frage, wie sich das Verbreitungsgebiet einer Art unter dem Klimawandel verändert. Mithilfe statistischer Analysen ist es dann möglich aufzuzeigen, ob unter dem Klimawandel die Wahrscheinlichkeit, dass die Art an einem bestimmten Ort vorkommt, zu- oder abnimmt.

Für welche Arten haben Sie ein solches Modell erstellt?

Zum Beispiel für den Bienenfresser. Das ist eine ursprünglich tropische Vogelart, die sich derzeit als Folge des Klimawandels in Deutschland ausbreitet. Unser Modell sagt voraus, dass vor allem hohe Temperaturen und wenig Regen in der Brutperiode zwischen Juli und August einen positiven Effekt auf den Bruterfolg haben. Wir beobachten dann im nächsten Jahr ein Populationswachstum und die Vergrößerung des Verbreitungsgebiets. Wenn die Monate Juli und August also so warm und regenarm bleiben wie in den vergangenen Sommern, wird sich der Bienenfresser weiter in Deutschland ausbreiten. Die bereits beobachtete Ausbreitung dieses Vogels bestätigten die Annahmen des Modells. Damit ist der Bienenfresser ein sehr guter Indikator für den Klimawandel.

Woher bekommen Sie all die Daten, die Sie für Ihre Artverbreitungsmodelle benötigen?

Die Verbreitungsdaten von Vogelarten in Deutschland stammen in der Regel von ehrenamtlichen Citizen

Scientists, das sind Bürgerwissenschaftler, also engagierte Laien. Sie kartieren ihnen zugewiesene Flächen, notieren also, wie viele Vögel einer Art sie an einem Ort beobachten. Die Daten werden in Datenbanken eingespeist und von Experten gegengeprüft. Solche standardisierten Erfassungen können wir in Deutschland vornehmen, aber beispielsweise nicht im Kongo oder im Sudan, wo ein Ehrenamt für die meisten Menschen aus finanzieller Sicht nicht infrage kommt. Für solche Länder existieren sogenannte Expertenkarten, erstellt von Menschen, die bestimmte Arten, ihren Lebensraum und bevorzugte Umweltbedingungen besonders gut kennen. Basierend auf diesem Wissen zeichnen sie Verbreitungskarten, ohne vor Ort kartiert zu haben. Diese Karten sind erstaunlich genau.

Gibt es außer diesen statistischen Modellen noch andere?

Ja, zum Beispiel prozessbasierte Modelle: Die dafür verwendeten Daten stammen von Messungen und Experimenten. Ein solches Modell bildet etwa den Lebenslauf einer einzelnen Pflanze ab: wie schnell sie wächst, wie effektiv sie Photosynthese betreibt, wie groß der Spross und wie groß die Wurzel ist, oder etwa wie viele Samen sie erzeugt, wie groß diese sind und wie sie sich ausbreiten. Für die Modellierung werden Pflanzen zum einen in sogenannte funktionelle Gruppen zusammengefasst, etwa Laubbäume, Nadelbäume oder Kräuter. Zum anderen sind bei uns in Deutschland auch Daten für einzelne Arten vorhanden, für die Buche zum Beispiel. Im Modell betrachtet man dann diese funktionellen Gruppen oder einzelnen Arten unter den Bedingungen des Klimawandels. Denn viele Prozesse bei der Entwicklung einer Pflanze hängen vom Klima ab. Somit kann ein solches Modell anhand der Prozesse zeigen, wie Pflanzen auf veränderte Klimabedingungen reagieren: Lebt eine Pflanze länger oder kürzer? Produziert sie mehr oder weniger Samen? Kann sie neue Lebensräume besser oder schlechter erobern? Wie gut kann sie sich gegen andere Pflanzen durchsetzen?

Und wie wird sich die Vegetation in Zukunft verändern?

Meine Kollegen haben genaue Parameter für die wichtigsten und häufigsten Baumarten Europas in ein sogenanntes dynamisches Vegetationsmodell eingebaut. Das sagt voraus, dass die größten Veränderungen in der Vegetation bis zum Jahr 2085 in der Arktis und in alpinen Lagen auftreten werden. Dort werden voraussichtlich die Gräser, Moose und Sträucher der Tundra durch Bäume ersetzt. Theoretisch wird damit nur ein Vegetationstyp durch einen anderen ausgetauscht, das erscheint global gesehen erstmal nicht weiter besorgniserregend. Das Problem ist jedoch das Tempo, mit dem dieser Vegetationswandel praktisch stattfinden müsste. Er dauert Hunderte von Jahren – der Klimawandel ist jedoch viel schneller. Das bedeutet, dass die Vegetation dem Klimawandel deutlich hinterherhinkt. Wozu das lokal führen wird, lässt sich bei den besonders großen Veränderungen in mediterranen Wäldern (vorwiegend sogenannte Hartlaubgewächse, etwa Olive, Lorbeer oder Korkeiche) in Südeuropa erahnen: Dort erwarten wir aufgrund der häufigeren Dürren einen Wechsel von Wald zu mediterranem Buschland. Dazu kommt eine Zunahme von Bränden, die ebenfalls Wald vernichten und Buschland fördern. Damit ist zu erwarten, dass wir Arten, die im Mittelmeerraum heimisch und endemisch sind, also auf diese Region beschränkt, in den nächsten Jahrzehnten verlieren werden. Eine solche Art ist die Nebrodi-Tanne, die mit nur noch etwa 30 Bäumen an einem einzigen Fundort auf Sizilien vorkommt und anfällig gegenüber Waldbränden ist.

Das Ausmaß des Biodiversitätsverlusts hängt also davon ab, ob man es lokal oder global betrachtet. Wie gehen Sie damit beim Modellieren um?

Grundsätzlich müssen wir beim Modellieren einen Kompromiss finden zwischen der Auflösung, also wie detailliert wir ein Ökosystem betrachten, und dem Umfang der Studie, also wie viel Fläche wir insgesamt anschauen. Für einen großen Umfang müssen wir eine gröbere Auflösung in Kauf nehmen, was dann oft nicht



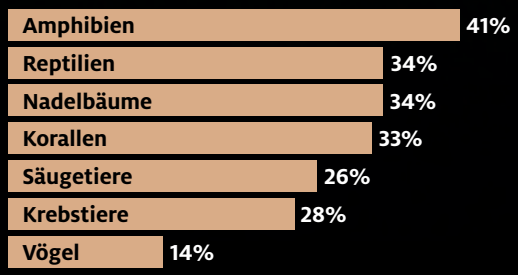
Katrin Böhning-Gaese (Dritte von rechts) mit ihrem Forscherteam am Kilimandscharo in Ostafrika.

Peter Jülich/laif | Foto: privat



Aussterben

28% aller bekannten Arten
sind vom Aussterben bedroht, darunter …



Landnutzung durch den Menschen

75% der nicht mit Eis bedeckten Landmasse wurden bisher vom Menschen verändert, zum Beispiel für die Nutzung von Flächen als Ackerbau- oder Weideland oder durch die Errichtung von Infrastruktur.

Weltweit wurden **80%** der Wälder für die Landwirtschaft abgeholzt.

In Deutschland werden jeden Tag rund **54** Hektar Land (das entspricht 76 Fußballfeldern) als Siedlungs- und Verkehrsflächen neu ausgewiesen. Dazu gehören versiegelte Flächen für Gebäude und Verkehr, aber auch Erholungsgebiete wie Stadtparks.

Hoffnung durch Schutz

Der Natur- und Artenschutz hat seit 1993 das Aussterben von **32 Vogelarten** sowie **16 Säugetierarten** verhindert.

Die Aussterberaten der letzten 27 Jahre wären ohne die Bemühungen von Natur- und Artenschützern 3 bis 4 Mal so hoch gewesen.



Der Bienenfresser breitet sich aufgrund der höheren Temperaturen in Deutschland aus – er ist ein Bote des Klimawandels.

fein genug für eine lokale Naturschutzentscheidung ist. Mit welcher Auflösung und mit welchem Umfang wir arbeiten, hängt stark von der Fragestellung ab.

Was sind Fragestellungen, mit denen Sie dem Naturschutz konkret helfen können?
Es gibt sehr gute Daten über Reproduktionserfolg und Sterberaten bei Vögeln. Das hat sich zum Beispiel bei Zugvögeln als hilfreich erwiesen, die hier bei uns im Norden brüten und in Afrika südlich der Sahara überwintern oder im Frühjahr in Nordamerika sind und über die Wintermonate nach Südamerika ziehen. Wir wissen, dass besonders die Zahl der Langstreckenzieher zurückgeht, viele Arten sind gefährdet oder vom Aussterben bedroht. Die Frage ist: Liegt es an den sich verändernden Brutgebieten (vielleicht die Konkurrenz mit den Standvögeln) oder liegt es an den Überwinterungsgebieten (zum Beispiel die intensiver werdende Landnutzung in den Tropen) oder liegt das Problem doch beim Zug (etwa aufgrund der Wilderei)? Für ausgewählte Arten gibt es dazu so gute Daten, dass meine Kollegen das in Modellen abbilden können und dann Naturschützern raten können, worum sie sich zuvorderst kümmern sollten. Im Fall des amerikanischen Schnäpperwaldsängers etwa hilft für stabile Bestände vor allem der Schutz des Überwinterungsgebiets: feuchte Regenwälder und Mangroven auf den Westindischen Inseln, in Mittel- und im nördlichen Südamerika.

Und welche Rolle spielt der Klimawandel beim Artenrückgang der Zugvögel?
Eine wesentliche Rolle. Etwa beim Trauerschnäpper: Durch die Temperaturerhöhung verschiebt sich bei uns im Norden der Blattaustrieb und damit das höchste Angebot an Raupen immer mehr ins zeitige Frühjahr. Der Trauerschnäpper ist ein Langstreckenzieher, der in Afrika südlich der Sahara überwintert. Aufgrund seines genetisch verankerten Zugverhaltens hat er Schwierigkeiten, sich an diese Verschiebung anzupassen. Er

kommt zwar früher aus Afrika zurück, aber nicht früh genug, um das maximale Futterangebot für die Jungen abzugreifen. Das Ergebnis sind schlechter Bruterfolg und Bestandsrückgänge.

Gibt es beim Modellieren auch Fehlerquellen?
Besondere Vorsicht ist vor systematischen Fehlern geboten, ein „bias“ etwa, eine Verzerrung. Wenn ich beispielsweise die Artverbreitungsmodelle für Europa nutze, dann breiten sich die Arten mit zunehmendem Klimawandel im Allgemeinen nach Norden oder in den Alpen in die höheren Lagen aus. Mein Modell würde mir hier vorhersagen, dass die Artenvielfalt abnimmt. Aber was ich in meinem Modell nicht berücksichtigt habe, ist, dass womöglich aus Nordafrika neue Arten einwandern. Bevor man ein Modell aufstellt, muss man also ganz genau prüfen, welche Parameter existieren und relevant sind.

Kann es passieren, dass ein für das Modell wichtiger Parameter übersehen wird?
Das ist zum Beispiel in der ersten Generation der Artverbreitungsmodelle für Vögel in Europa aus dem Jahr 2006 geschehen. Die Basis dafür waren ausschließlich Klimaparameter. Das hat dazu geführt, dass sich laut den Modellen der Neuntöter in Großbritannien flächendeckend ausbreiten sollte – tatsächlich ist er aber fast ausgestorben (siehe Kasten rechts). Die Wissenschaftler haben damals die Art der Lebensräume nicht in ihre Modelle integriert. Aber biotische Faktoren, also dass sich etwa die Heckenlandschaft und das Nahrungsangebot in Großbritannien verändert haben, beeinflussten die Entwicklung der Vögel offensichtlich viel mehr als das Klima. Grundsätzlich ist es enorm wichtig, aber auch schwierig, den Lebensraum und Lebensraumveränderungen von Tieren in den Modellen zu berücksichtigen. Nehmen wir als Beispiel die Waldgrenzen in den Alpen: Die Modelle sagen voraus, dass sich die Verbreitung der Vögel mit steigender Temperatur in höhere Lagen verschiebt. Denn diese sind kühler und ähneln somit den tiefer gelegenen Lebensräumen aus der Zeit vor dem Klimawandel. Sie sind also ein Zufluchtsort für Tier- und Pflanzenarten, die sich nicht schnell genug an den Klimawandel anpassen können. Aber der Wald muss sich ebenfalls in höhere Lagen ausbreiten, sonst verschiebt sich der Lebensraum der Waldvögel nicht. Denn diese Arten brauchen den Wald als Lebensraum, der ihnen Schutz und Nahrung bietet.

Wie verbessern Sie fehlerhafte Modelle?
Zum Beispiel mit dem sogenannten Hindcasting. Dabei bauen Forschende ein Modell auf Basis von heutigen Daten und wenden es auf alte Klimabedingungen an, die zum Teil Tausende bis Millionen von Jahren zurückliegen. Mithilfe des Modells treffen sie eine Vorhersage, etwa für die Vegetation in einer bestimmten Periode der Vergangenheit. Das heißt, zuerst wird geschaut, wo beispielsweise im Pleistozän laut dem Modell Nadelwald vorkommen sollte. Anschließend werden die von Paläobotanikern gefundenen Pollenproben von Nadelbäumen aus dem Pleistozän analysiert. Da der Fundort dieser Pollen bekannt ist, lässt sich das modellierte Verbreitungsgebiet mit dem tatsächlichen Verbreitungsgebiet vergleichen. Dadurch sehen die Wissenschaftler, wie gut das Modell funktioniert. Daraufhin können sie das Modell anpassen und verbessern. So ist mehr Sicherheit bei einer Anwendung des Modells für Zukunftsprognosen gewährleistet.

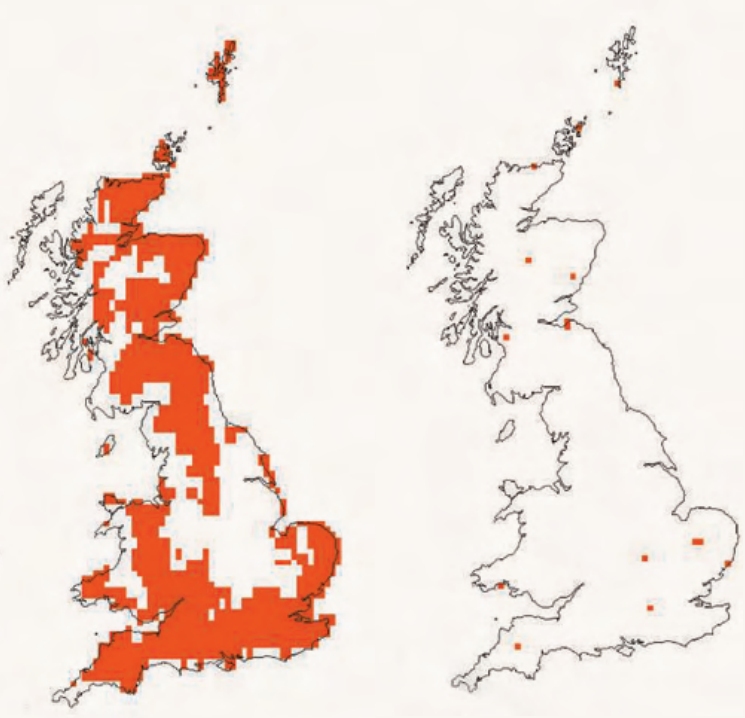
Inwieweit tragen Ihre Modelle auch zu gesellschaftlich-politischen Entscheidungen rund um das Thema Klimawandel bei?
Wir können mit den Modellen auch großskalige Zukunftsszenarien aufspannen. Wenn man zum Beispiel das 1,5-Grad-Ziel einhalten möchte, indem man Energiepflanzen in den Tropen anbaut, also zum Beispiel Ölpalmen zur Herstellung von Biodiesel, verliert man



Senckenberg/Sven Tränkner | Volodymyr Kucherenko/stock.adobe.com | Miguel B. Araújo and Carsten Rahbek: How Does Climate Change Affect Biodiversity, Science, 8 September 2006, Vol. 313 (5792), S. 1397

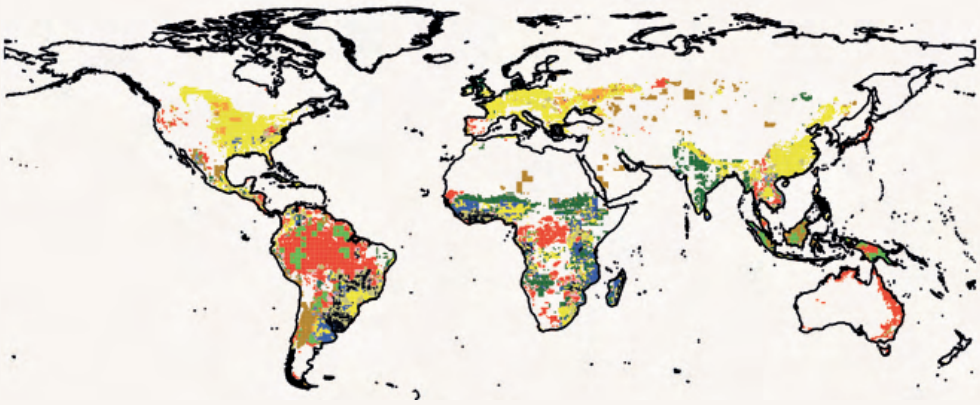
Misslungenes Modell

Die Modellierung der Verbreitung des Neuntöters (oben) in Großbritannien aus einer Studie von 2006 hat nicht funktioniert: links die prognostizierte Verbreitung, rechts die tatsächlich beobachtete. Das Problem dieses Modells ist, dass es sich ausschließlich auf Klimaparameter stützt. Andere Faktoren, etwa die Veränderung von Lebensraum und Nahrungsangebot, müssen offensichtlich ebenfalls berücksichtigt werden.



Folgen für die Artenvielfalt

Biodiversitätsforschende haben dieses Modell erstellt, um zu veranschaulichen, wo der Anbau von Energiepflanzen (gelb), der Klimawandel (rot) oder eine Kombination dieser Faktoren (helles ocker) und anderer die Artenvielfalt von Säugetieren bedroht. Diese Modellierung für das Jahr 2080 erfolgte unter der Bedingung, dass das 1,5-Grad-Ziel eingehalten wird.



dort erheblich an Artenvielfalt – und das ist in den Tropen dramatisch, da sie ein Biodiversitäts-Hotspot sind. Wenn man keine Energiepflanzen in den Tropen anbaut und das 1,5-Grad-Ziel nicht einhält, dann hat man zwar einen Temperaturanstieg und Artenverlust, davon aber weniger in den Tropen, sondern eher in den nördlichen Breiten, wo die Artenvielfalt grundsätzlich geringer ist. Als Wissenschaftler modellieren wir verschiedene Zukunftsszenarien, und als Gesellschaft müssen wir dann überlegen, welche Zukunft wir wollen. Die Klima-Community hat uns das vorgemacht: Sie hat bis hin zu einem Urteil des Bundesverfassungsgerichts rechtskräftig Klimamodelle genutzt, um die Zukunft und die Rechte der nächsten Generationen in Abwägung mit der Freiheit heutiger Generationen zu diskutieren. Das wünsche ich mir auch für den Biodiversitätsbereich.

Was muss sich Ihrer Meinung nach in den nächsten Jahren am dringendsten ändern, um dem sechsten Massenaussterben entgegenzuwirken?

Die kleinen Lösungen, nach denen wir bisher gesucht haben, reichen nicht aus. Wir brauchen eine fundamentale Umgestaltung unserer ganzen Gesellschaftssysteme, von der Wirtschaft über die Wissenschaft bis zur Zivilgesellschaft und Politik. Nehmen wir den Rückgang der Arten in der Agrarlandschaft als Beispiel: Die Landwirtschaft wird sich nur dann verändern können, wenn die über sechs Milliarden Euro an Agrar-Subventionen aus Brüssel nicht mehr nach der Maßgabe von Flächen vergeben werden, sondern noch enger an umweltfreundliche und nachhaltige Bewirtschaftungsarten gekoppelt sind. Zum Beispiel müssten Landwirte viel mehr Gelder bekommen, wenn sie Biodiversität fördern, indem sie etwa Blühflächen anlegen, Streuobstwiesen und Dauergrünland erhalten, Bodenbearbeitung reduzieren oder auf Pflanzenschutzmittel und Kunstdünger verzichten. Beim Bioanbau muss neben der Politik auch die Gesellschaft mitwirken, denn er ist im Schnitt weniger ertragreich. Wer es sich leisten kann, sollte den höheren Preis akzeptieren. Und: Wir sollten weg vom hohen Fleischkonsum kommen, wenn wir unseren ökologischen Fußabdruck im globalen Süden nicht noch weiter vergrößern wollen. Es ist zum Beispiel nicht tragbar, dass im Amazonasgebiet Pflanzen und Tiere des Regenwaldes dem Feuer weichen müssen, damit dort Kraftfutter für unser Vieh angebaut werden kann, weil hier in Deutschland keine Flächen mehr dafür frei sind. Es wird sich also sehr viel ändern müssen, wenn wir zu einer nachhaltigen Beziehung zwischen Menschen und Natur gelangen wollen.



Raps soweit das Auge reicht: Der großflächige Anbau von Energiepflanzen lässt die Vielfalt an Pflanzen und Tieren schwinden.



THOMAS KÖHLER ist Biologe und studiert Landschaftsökologie im Master. Oft beobachtet er Vögel und bestimmt Pflanzen. Bei bild der wissenschaft hat er ein Praktikum absolviert.

Christian Hof et al.: Bioenergy cropland expansion may offset positive effects of climate change mitigation for global vertebrate diversity, Proceedings of the National Academy of Sciences, 26. Dezember 2018, Vol. 115, S. 52 | doris oberfrank list/stock.adobe.com