



Jörg MÜLLER, Torsten HOTHORN, Ye YUAN, Sebastian SEIBOLD, Oliver MITESSER, Julia ROTHACHER, Julia FREUND, Clara WILD, Marina WOLZ und Annette MENZEL

Witterung und Witterungsanomalien erklären den Rückgang und Anstieg der Insektenbiomasse in Deutschland über 34 Jahre

Ein jüngst in der Zeitschrift *Nature* publiziertes Modell ist in der Lage, die bisher unerklärte zeitliche Abnahme der Biomassen bei Insekten durch komplexe und lokal höchst unterschiedliche Witterungsdaten zu erklären (MÜLLER et al. 2023). Noch bedeutsamer ist, dass das Modell in der Lage ist, die Biomasse unabhängiger Daten und die dort festgestellten Zunahmen im Zeitraum von 2016 bis 2022 gut vorherzusagen. Witterung und Witterungsanomalien im Zuge des Klimawandels haben demzufolge einen entscheidenden Einfluss auf die Insektenentwicklung und unterstreichen die Notwendigkeit, die bisherigen Naturschutzbemühungen in Zeiten des Klimawandels noch weiter zu intensivieren.

Weltweite Beobachtungen zum Rückgang von Insekten

Insekten stellen etwa $\frac{3}{4}$ aller Tierarten und übernehmen in Ökosystemen viele zentrale, funktionale Rollen. Daher haben die Erkenntnis, dass die Insektenbiomasse in deutschen Schutzgebieten über 27 Jahre hinweg um mehr als 75 % zurückgegangen ist (HALLMANN et al. 2017), sowie das weltweite Verschwinden zahlreicher Insektenarten viel Aufsehen erregt. Die Öffentlichkeit wurde aufgerüttelt, Entscheidungsträger wurden zu Schutzmaßnahmen veranlasst und zahlreiche Forschungen zu möglichen Ursachen und Mechanismen des Insektenrückgangs angestoßen (PILOTTO et al. 2020; VAN KLINK et al. 2020). Die

Ursachen für den Rückgang sind vielfältig, jedoch im Verhältnis und in den Beziehungen untereinander noch immer nicht ausreichend verstanden und wurden daher als „Death by a thousand cuts“ beschrieben (WAGNER et al. 2021).

Witterungsdaten liefern neue Erklärungen

Hohe Insektenbiomassen im Jahr 2022 haben uns veranlasst, in der jetzt veröffentlichten Studie (MÜLLER et al. 2023) die Beobachtungsdaten von HALLMANN et al. (2017) aus 27 Jahren neu zu analysieren. Dazu haben wir für jede einzelne Probe Informationen über die Witterungsbedingungen zum Zeitpunkt der Probenahme sowie über Witterungsanomalien

Abbildung 1:

Insektenbiomassen aus Malaise-Fallen in Deutschland von 1989 bis 2022. Boxplots zeigen die jährliche Entwicklung der Insektenbiomasse der einzelnen Proben in Gramm pro Tag (grau: Daten aus HALLMANN et al. 2017, mit denen das Modell trainiert wurde). Die Proben der Validierungsdaten (farbig) wurden für den Fallentyp korrigiert. Beachten Sie die logarithmische Skalierung der Y-Achse und die Überlappung von Trainings- (2016t) und Validierungsdaten (2016v) im Jahr 2016. Horizontal gestrichelte Linien zeigen den Median im Jahr 1989 (untere) und den Höchstwert in den Trainingsdaten im Jahr 1994 (obere); Grafik verändert nach MÜLLER et al. 2023.

während des Lebenszyklus der gefangenen Insekten, wie zum Beispiel überdurchschnittlich hohe Wintertemperaturen, zusammengestellt. In der Analyse zeigte sich, dass durch das Hinzufügen dieser komplexen Witterungsdaten die bisher unerklärte zeitliche Abnahme der Insektenbiomassen weitestgehend erklärt werden kann. Anschließend wurde auf Basis der Witterungskomponente des Modells die Biomasse für unabhängige Daten aus dem Zeitraum 2016 bis 2022 vorhergesagt. Dabei zeigte sich eine hohe Übereinstimmung zwischen den Vorhersagen und den tatsächlich beobachteten Biomassen.

Die komplexen Auswirkungen von Witterung auf Insektenpopulationen

Wir sehen unsere Erkenntnisse als einen wichtigen und bisher übersehenen Baustein im komplexen Zusammenspiel von Habitat-Verfügbarkeit, Klima und Insektenpopulationen, der einige vermeintliche Widersprüche in bisherigen Befunden auflöst. Unsere Auswertungen bestätigen den Befund eines drastischen Rückgangs der Insektenbiomassen durch HALLMANN et al. (2017) und schlüsseln nun zusätzlich die unerklärte Varianz in der Zeit auf. Bisher war offen, welche Treiber für den Rückgang der Insektenbiomasse maßgeblich verantwortlich waren. Geeignete Variablen wurden nicht gefunden, da sie beim komplexen Lebenszyklus von Insekten auch in Kombination immer nur einen Teil des Trends erklären konnten. Die nun gefundene Erklärung liegt in verschiedenen Negativ-Kombinationen von Witterung und Witterungsanomalien über ein Jahrzehnt. In manchen Jahren war es der zu warme, trockene Winter, der die Überwinterungsstadien der Insekten traf. In anderen Jahren waren es ungünstige Frühjahrsbedingungen, die den Schlupf beeinträchtigen. Oder es waren

widrige Witterungsbedingungen während der Flugzeit, wie in einem nassen und kalten Sommer. Die zunehmende Häufung ungünstiger Witterungsbedingungen und Witterungsanomalien zwischen 1989 und 2016 haben zu der von HALLMANN et al. (2017) festgestellten deutlichen Abnahme der Insektenbiomasse geführt. Auch wenn durch die Kürze der Zeitreihe ein ursächlicher Zusammenhang mit dem Klimawandel und der Häufung an Witterungsanomalien nur unterstellt werden kann, ist ein solcher sehr wahrscheinlich. Obwohl in den letzten Jahren höhere Insektenbiomassen zu verzeichnen waren, ist das kein Grund für Entwarnung. Prognosen sind immer unsicher, dennoch ist es wahrscheinlich, dass klimawandelbedingte Schwankungen der Witterung und insbesondere Häufungen von negativen Witterungsanomalien Insektenpopulationen weiterhin stark unter Druck setzen werden.

Folgen von Landnutzung und Witterung

Bisher wurde vor allem die Landnutzung als Hauptursache für den Insektenrückgang diskutiert. Artenzahlen und Biomasse von Insekten unterscheiden sich auch deutlich zwischen Flächen unterschiedlicher Nutzungen (UHLER et al. 2021). Wie von HALLMANN et al. (2017) festgestellt wurde, schwanken Biomassen jedoch auch sehr synchron über verschiedene Lebensräume hinweg. Dies hatte bereits die Frage nach der oder den Ursachen aufgeworfen, die in allen Lebensräumen gleichermaßen parallel auftreten könnten. Die Ergebnisse in MÜLLER et al. (2023) weisen nun darauf hin, dass der übergeordnete Trend in der Biomasse (nicht der Artenzahlen!) von Witterung und Witterungsanomalien im Zuge des Klimawandels dominiert wird. Dies erklärt auch, warum in einer breit angelegten Studie 2019 in Bayern ähnlich hohe Insektenbiomassen in intensiv genutzten Agrarflächen wie in Wiesen und Wäldern gefunden wurden, jedoch bei gleichzeitig deutlich geringerer Artenzahl in der Agrarlandschaft (UHLER et al. 2021). Mit dem Hinweis auf die Witterungsbedingungen, insbesondere die Abweichungen der lokalen Witterung von der in Referenzzeiträumen (Anomalie), als Treiber der Biomassenschwankungen schließen die neuen Ergebnisse aus MÜLLER et al. (2023) nun diese Lücke. Sie unterstreichen ebenso, dass Insektenbiomasse kein geeignetes Maß für Insektenartenzahlen oder Artengemeinschaften darstellt (REDLICH et al. 2021). Denn die Biomasse lässt keine Rückschlüsse darauf zu, welche Arten in welchem Maße von den witterungsbedingten Schwankungen betroffen sind.

Abbildung 2:

Eine Malaise-Falle zum Fang flugfähiger Insekten auf einer der Untersuchungsflächen der Studie. Die Insekten fliegen gegen das Netz, steigen im Netz nach oben auf und werden dort in einem Behälter gefangen. (Foto: Julia Rothacher)



Diese neuen Ergebnisse, die auf die Witterung und den Klimawandel als wichtige Ursache hinweisen, stehen nicht in Widerspruch zu früheren Untersuchungsergebnissen zur Rolle von Landnutzung bei Artenverlusten. Die großräumigen, durch Witterung beeinflussten Schwankungen von Insektenpopulationen führen zu synchronen Schwankungen auf überregionaler Ebene. Eine solche Dynamik unterscheidet sich grundsätzlich von der klassischen Metapopulationstheorie. Diese besagt, dass Populationen unabhängig voneinander schwanken, was zum Verschwinden von Teilpopulationen führen kann, aber auch in gleichem Maß zu Wiederbesiedlungen von Lebensräumen (HANSKI 2004). Ein witterungsbedingter Rückgang der Populationen wie im letzten Jahrzehnt bei HALLMANN et al. (2017) betrifft jedoch alle Teilpopulationen in einer größeren Region gleichermaßen. Dies macht das Verschwinden insbesondere kleiner Teilpopulationen in dieser Region wahrscheinlicher, weil keine Populationen für eine Wiederbesiedlung zur Verfügung stehen. Bei kleinen und deshalb besonders gefährdeten Teilpopulationen kann es sich einerseits um seltene Arten handeln, die nur in wenigen, kleinen Schutzgebieten vorkommen, andererseits aber auch um Arten der Agrarlandschaft, die dort aufgrund mangelnden Lebensraums nur kleine Populationen bilden. Je intensiver unsere Landschaft genutzt ist, desto kleiner und anfälliger sind diese Restpopulationen. Dies spiegelt sich auch in dem Befund wider, dass der Rückgang von Insektenartenzahlen in Grünland, das von einem hohen Anteil Acker umgeben war, stärker ausfiel (SEIBOLD et al. 2019).

Bedeutung für den Naturschutz

Die Konsequenzen dieser Erkenntnis sind weitreichend. Viele in der Nahrungskette weiter oben stehende Arten hängen von der ausreichenden Verfügbarkeit von Insekten als Nahrungsquelle ab. So füttern zum Beispiel die meisten Vogelarten ihren Nachwuchs mit Insekten. Wenn die Insektenbiomasse um mehr als 75 % zurückgeht, sollte sich dies auch bei den Vögeln widerspiegeln. Tatsächlich sind die nichtlinearen Verläufe bei den Insektenbiomassen (Abbildung 1) und den Populationen von Vögeln im Untersuchungszeitraum auffällig synchron (BOWLER et al. 2019).

Die neuen Ergebnisse verdeutlichen die hohe Bedeutung der Witterung für Insektenpopulationen und führen vor Augen, dass Klimawandel und Biodiversitätsverlust eng verzahnte Prozesse sind. Um negativen, klimabedingten

Entwicklungen entgegenzuwirken, ist demnach ein verstärkter Klimaschutz notwendig. Den Klimawandel einzudämmen ist eine globale Aufgabe und eine Erwärmung um mehr als 2°C im globalen Mittel scheint kaum mehr vermeidbar.

Wenn wir daher seltene Arten in unserer mitteleuropäischen, intensiv genutzten und hochgradig fragmentierten Landschaft schützen wollen und gleichzeitig die hier vorgelegten Ergebnisse akzeptieren, dass Witterung und Häufungen von Witterungsanomalien im Klimawandel Insektenpopulationen drastisch reduzieren können, müssen neben den generellen Anstrengungen für Klimaschutz, unbedingt Maßnahmen zur Stärkung lokaler Insektenpopulationen unternommen werden. Nur wenn mehr und höherwertige Habitate für Insekten zur Verfügung stehen, können sich größere Populationen entwickeln (Habitat-Amount Hypothese; FAHRIG 2013). Diese sind notwendig, damit Teilpopulationen während Phasen mit großräumig ungünstiger Witterung nicht aussterben, sondern fortbestehen und sich wieder erholen können.

Ausblick

Auch wenn diese Erkenntnisse unser Bild von den Auswirkungen von Landnutzung und Klimawandel auf Insektenbiomasse verändern, sind alle Maßnahmen, die zu einer Landschaft mit mehr hochwertigen Lebensräumen führen, wichtiger denn je und zentraler Bestandteil der Strategien zum Insektenschutz. Global gesehen wurde immer wieder angenommen, dass insbesondere die Insektenpopulationen der Tropen und der borealen Gebiete unter dem Klimawandel leiden (DEUTSCH et al. 2008; OUTHWAITE et al. 2022). Unsere Analysen deuten darauf hin, dass die Klimaveränderungen mit mehr und stärkeren Witterungsanomalien auch in gemäßigten Breiten und damit in Deutschland eine entscheidende Rolle spielen – bereits heute. Für die Forschung bedeutet dies, dass physiologische und phänologische Mechanismen der Insekten, die von den jährlichen Wetterbedingungen und -anomalien beeinflusst werden, stärker untersucht werden müssen. Daneben sollten Studien zu Landnutzung und Biodiversität den Faktor Witterung in ihren Analysen berücksichtigen. Gleichzeitig darf bei Erfolgskontrollen von Naturschutzmaßnahmen der Blick auf großräumige, witterungsbedingte Dynamiken von Insektenpopulationen nicht außer Acht gelassen werden.

Autorinnen und Autoren**Prof. Dr. Jörg Müller**

Ökologische Station Fabrikschleichach,
Universität Würzburg,
Nationalpark Bayerischer Wald

joerg.mueller@npv-bw.bayern.de

Prof. Dr. Torsten Hothorn

Universität Zürich

Torsten.Hothorn@uzh.ch

Dr. Ye Yuan

Technische Universität München

stanley.yuan@tum.de

Prof. Dr. Sebastian Seibold

Technische Universität Dresden

sebastian.seibold@tu-dresden.de

Dr. Oliver Mitesser

Ökologische Station Fabrikschleichach,
Universität Würzburg

oliver.mitesser@uni-wuerzburg.de

Julia Rothacher

Ökologische Station Fabrikschleichach,
Universität Würzburg

julia.rothacher@uni-wuerzburg.de

Dr. Julia Freund

Ökologische Station Fabrikschleichach,
Universität Würzburg

julia.freund@uni-wuerzburg.de

Clara Wild

Universität Würzburg

clara.wild@uni-wuerzburg.de

Dr. Marina Wolz

Universität Würzburg

marina.wolz@uni-wuerzburg.de

Prof. Dr. Annette Menzel

Technische Universität München

annette.menzel@tum.de

Literatur

- BOWLER, D. E., HELDBJERG, H., FOX, A. D. et al. (2019): Long-term declines of European insectivorous bird populations and potential causes. – *Conserv. Biol.* 33: 1120–1130; doi: 10.1111/cobi.13307.
- DEUTSCH, C. A., TEWKSBURY, J. J., HUEY, R. B. et al. (2008): Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. – *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105: 6668–6672; doi: 10.1073/pnas.0709472105.
- FAHRIG, L. (2013): Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. – *Journal of Biogeography* 40: 1649–1663; doi: 10.1111/jbi.12130.
- HALLMANN, C. A., SORG, M., JONGEJANS, E. et al. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. – *Plos One* 12: e0185809; doi: 10.1371/journal.pone.0185809.
- HANSKI, I. (2004): Metapopulation theory, its use and misuse. – *Basic and Applied Ecology* 5: 225–229.
- MÜLLER, J., HOTHORN, T., YUAN, Y. et al. (2023): Weather explains the decline and rise of insect biomass over 34 years. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06402-z>; DOI: 10.1038/s41586-023-06402-z.
- OUTHWAITE, C. L., MC CANN, P. & NEWBOLD, T. (2022): Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. – *Nature* 605: 97–102; doi: 10.1038/s41586-022-04644-x.
- PILOTTO, F., KUEHN, I., ADRIAN, R. et al. (2020): Meta-analysis of multidecadal biodiversity trends in Europe. – *Nature Communications* 11; doi: 10.1038/s41467-020-17171-y.
- REDLICH, S., STEFFAN-DEWENTER, I., UHLER, J. et al. (2021): Hoverflies – an incomplete indicator of biodiversity. – *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 118: e2112619118.
- UHLER, J., REDLICH, S., ZHANG, J. et al. (2021): Relationship of insect biomass and richness with land use along a climate gradient. – *Nature Communications* 12: 5946. doi: 10.1038/s41467-021-26181-3.
- VAN KLINK, R., BOWLER, D. E., GONGALSKY, K. B. et al. (2020): Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. – *Science* 368: 417–420; doi: 10.1126/science.aax9931.
- WAGNER, D. L., GRAMES, E. M., FORISTER, M. L. et al. (2021): Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. – *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 118: doi: 10.1073/pnas.2023989118.

Zitiervorschlag

MÜLLER, J., HOTHORN, T., YUAN, Y., SEIBOLD, S., MITESSER, O., ROTHACHER, J., FREUND, J., WILD, C., WOLZ, M. & MENZEL, A.: Witterung und Witterungsanomalien erklären den Rückgang und Anstieg der Insektenbiomasse in Deutschland über 34 Jahre – *ANLIEGEN NATUR* 46(1): online preview, 4 p., Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.