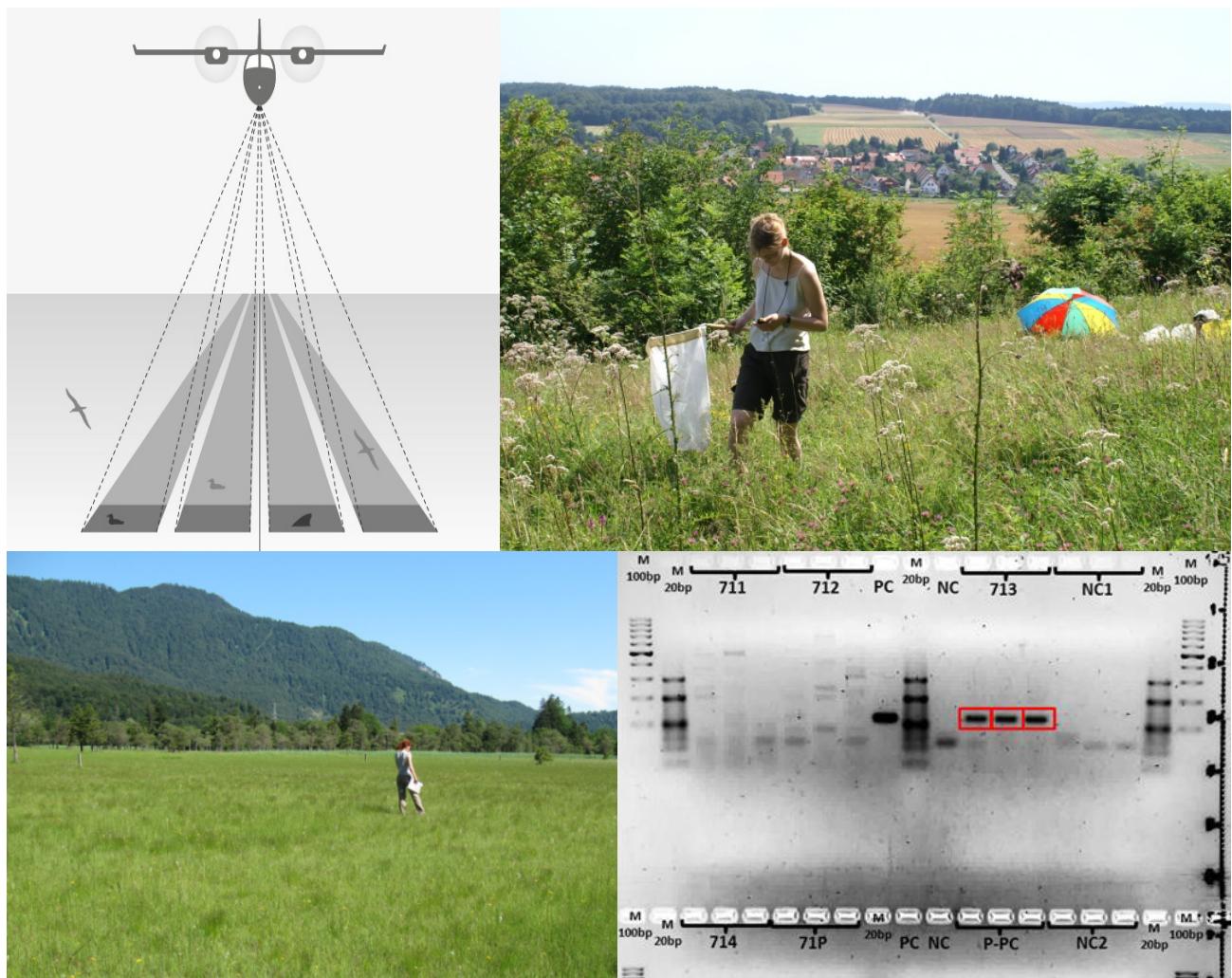


**Wiebke Züghart, Stefanie Stenzel und
Beate Fritsche (Hrsg.)**

Umfassendes bundesweites Biodiversitätsmonitoring



Heuschrecken als Indikatoren für den ökologischen Zustand des Offenlandes in Deutschland

Thomas Fartmann

Zusammenfassung

Durch die Transformation von der traditionellen Kulturlandschaft zur industriellen Agrarlandschaft sind nährstoffarme Habitate großflächig verändert worden. Sowohl die Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung als auch die Nutzungsaufgabe haben zu Verlust, Fragmentierung und Degradierung solcher Lebensräume mit negativen Folgen für Heuschrecken geführt. Aktuell stellt der Klimawandel eine weitere Gefahr dar.

In diesem Artikel wird die Reaktion von Heuschrecken auf den Landnutzungs- und Klimawandel behandelt. Abschließend wird die Bedeutung von Heuschrecken als Bioindikatoren für Umweltveränderungen dargestellt. Die wichtigsten Umweltfaktoren, die das Vorkommen von Heuschrecken in fragmentierten Landschaften bestimmen sind erstens die Qualität, zweitens die Größe und drittens die Konnektivität der Habitate. Trotz des großen Verlusts an Habitaten, der zunehmenden Isolation der Habitate und abnehmenden Qualität der verbliebenen Habitate, haben sich 26 der 79 bodenständigen Heuschreckenarten als Folge des Klimawandels in Deutschland ausgebreitet. Das Ausmaß der Arealexpansion variiert stark zwischen den Arten und hängt von ihren Habitatansprüchen und Ausbreitungsfähigkeiten sowie der Landschaftsstruktur am Arealrand ab. Heuschrecken sind empfindliche Indikatoren für Veränderungen auf der Habitat- und Landschaftsebene. Sie reagieren schnell auf Änderungen der Landnutzung und des Klimas. Zudem sind sie wichtige Surrogatarten und Schlüsselorganismen in Graslandökosystemen, da sie zu den wichtigsten Konsumenten und Nahrungsressourcen für Wirbeltiere (z.B. Vögel und Eidechsen) in Graslandökosystemen zählen. Die Kombination aus hoher indikatorischer Bedeutung, leichter Erfassbarkeit und einfacher Standardisierung der Erfassungsmethoden macht Heuschrecken zu einer prädestinierten Insektengruppe für ein Biodiversitätsmonitoring.

Abstract

Due to the transition from traditional land use to modern agriculture throughout Europe, semi-natural habitats have been subject to severe environmental changes. Both agricultural intensification and abandonment have caused loss, fragmentation and degradation of such habitats with adverse effects on Orthoptera. Recently, climate change has become an additional threat.

In this paper, the response of Orthoptera to (i) land-use change and (ii) climate change was addressed. Finally, the importance of Orthoptera as bioindicators of environmental change was highlighted. The most important drivers of Orthoptera species richness in our fragmented landscapes are (i) habitat quality, (ii) patch size and (iii) connectivity. Although land-use change has resulted in a strong habitat loss, an increased isolation and a decrease in habitat quality of the remaining habitat patches, 26 out of the 79 indigenous Orthoptera species in Germany expanded their range due to climate warming. The extent of the range expansion varied greatly among the species and depended on their habitat requirements and dispersal ability as well as the landscape structure at the range margin. Orthoptera are sensitive indicators at the habitat and partly landscape scale. They respond rapidly to land-use and climate change. Moreover, they are important surrogate taxa and key organisms in grassland ecosystems, as they are the main arthropod consumers and food source for vertebrates (e.g. birds or lizards). The combination of (i) a high sensitivity to environmental

change, (ii) the ease with which they can be sampled and (iii) the high standardisation of the sampling techniques makes Orthoptera a prime group of insects for biodiversity monitoring.

1 Einleitung

Seit der Industrialisierung und insbesondere nach dem zweiten Weltkrieg hat der Mensch die Umwelt stark verändert (Rockström et al. 2009). Dies hatte dramatische Auswirkungen auf die Biodiversität. Gegenwärtig sind die Aussterberaten von Pflanzen- und Tierarten tausendmal höher als es natürlicherweise der Fall wäre (De Vos et al. 2014). Entsprechend prognostizieren Forscherinnen und Forscher ein sechstes Massenartensterben, sollte diese Entwicklung wie bisher voranschreiten (Barnosky et al. 2011). Vor allem die anthropogene Änderung der Landnutzung hat erheblich zum Verlust der Artenvielfalt beigetragen (Sala et al. 2000, Foley et al. 2005). Seit Ende des letzten Jahrtausends ist zudem die Bedeutung des ebenfalls menschengemachten Klimawandels für den Rückgang der Artenvielfalt im wissenschaftlichen Fokus (Essl, Rabitsch 2013, Streitberger et al. 2016).

Der Landnutzungswandel hat zu gravierenden Veränderungen der mitteleuropäischen Landschaften geführt (Gatter 2000, Fartmann 2006, 2017a, b, Ellenberg, Leuschner 2010, Poschlod 2015, Finck et al. 2017). Die Siedlungs- und Verkehrsfläche hat deutlich zugenommen und extensiv oder kaum genutzte Habitate wie Magerrasen oder Heiden haben massiv abgenommen (Fartmann 2006, 2017a, 2017b). Letztere kommen heute meist nur noch kleinflächig und isoliert in unserer Landschaft vor. Die Qualität der verbliebenen Habitate in diesen fragmentierten Landschaften ist oft durch Nutzungsintensivierung oder -aufgabe sowie atmosphärische Stickstoffeinträge (Stevens et al. 2004) nur noch gering (Veen et al. 2009, Fartmann 2017a, 2017b).



Abb. 1: Kurzflügelige Beißschrecke (*Metrioptera brachyptera*): eine flugunfähige Heuschreckenart, die geschlossene Populationen ausbildet (Foto: T. Fartmann).

Die Jahresmitteltemperaturen sind in Deutschland im letzten Jahrhundert um bis zu 1 °C gestiegen (Jonas et al. 2005, Rapp 2000, UBA 2006). In diesem Jahrhundert wird sogar von einem Anstieg von 2,5 - 3,5 °C ausgegangen (UBA 2006). Der Jahresniederschlag hat im letzten Jahrhundert in Westdeutschland um bis zu 20 % zugenommen (insbesondere im Winter, bei Abnahme im Sommer), während in Ostdeutschland kein klarer Trend erkennbar war (Leuschner, Schipka 2004). Zukünftig könnten sich der Anstieg der Winterniederschläge und der Rückgang der Sommerniederschläge fortsetzen (UBA 2006). Extreme Wetterereignisse wie Hitzewellen (wie im Sommer 2018), Starkniederschläge oder Stürme dürften häufiger auftreten (Jonas et al. 2005). Eine ausführliche Übersicht über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Biozönosen in Mitteleuropa geben Streitberger et al. (2016).

Aktuell kommen 79 Heuschreckenarten bodenständig in Deutschland vor (Fischer et al. 2016). Sie besiedeln hier eine Vielzahl von Offenlandhabitaten, insbesondere extensiv genutzte und nährstoffarme (Detzel 1998, Schlumprecht, Waeber 2003). Die meisten Heuschreckenarten können selbst in isolierten Habitaten über lange Zeit überleben, sofern diese groß genug sind und eine günstige Habitatqualität aufweisen (Fartmann 2017a, b). Ein typisches Beispiel für eine Art, die geschlossene Populationen ausbildet ist die flugunfähige Kurzflügelige Beißschrecke (*Metrioptera brachyptera*) (Poniatowski, Fartmann 2010; Abb. 1). Flugfähige und deutlich mobilere Arten – wie die meisten Tagfalter, aber auch einige Heuschrecken (Abb. 2) – weisen dagegen eher Metapopulationsstrukturen auf. Ihr Vorkommen hängt von der Qualität, Größe und Isolation der Habitate ab (Thomas et al. 2001, Anthes et al. 2003, Wallis De Vries 2004, Eichel, Fartmann 2008, Reich 2006, Stuhldreher, Fartmann 2014, Poniatowski et al. 2018).

Basierend auf den zuvor gemachten Ausführungen können Arten, die geschlossene Populationen aufweisen als Indikatoren für die Habitatqualität herangezogen werden (Fartmann 2017a, b). Metapopulationsarten gelten darüber hinaus als Indikatoren für die Landschaftsstruktur: Sie sind auf ein Netz von Habitaten mit günstiger Qualität und ausreichender Größe in räumlicher Nachbarschaft angewiesen. Die Übergänge zwischen Arten mit geschlossenen Populationen und Metapopulationen sind teilweise fließend.

Da die Bedeutung der Schlüsselfaktoren Flächengröße, Habitatqualität und Isolation für das Vorkommen von Heuschrecken in der stark durch den Menschen modifizierten mittel-europäischen Kulturlandschaft in Fartmann (2017a, b) ausführlich dargestellt wurde, soll der Fokus dieses Artikels erstens auf den Auswirkungen des rezenten Landnutzungs- und Klimawandels auf die Verbreitung der Heuschrecken und zweitens der Bedeutung von Heuschrecken für das ökologische Monitoring liegen.



Abb. 2: Gefleckte Schnarrschrecke (*Bryodemella tuberculata*): eine flugfähige Heuschreckenart, die Metapopulationen ausbildet (Foto: T. Fartmann).

2 Auswirkungen des Klimawandels auf Heuschrecken

Der großflächige Verlust, die zunehmende Isolation und oft geringere Qualität der verbliebenen Habitate in unserer Landschaft (Kap. 1) hat für das Gros der Heuschreckenarten stark negative Auswirkungen (Fartmann, Mattes 1997, Detzel 1998, Maas et al. 2002, Schlumprecht, Waeber 2003, Poniatowski, Fartmann 2008, Fartmann et al. 2012, Löffler, Fartmann 2017). Trotz dieser negativen Effekte des Landnutzungswandels konnten zahlreiche Heuschreckenarten ihr Areal in Deutschland seit Ende der 1980er-Jahre aufgrund der Klimaerwärmung erweitern (Abb. 3; Poniatowski et al. 2018, Löffler et al. 2019). Insbesondere in den ehemals sommerkühlten Regionen wie den meisten Mittelgebirgen, dem atlantisch geprägten Nordwesten Deutschlands und den küstennahen – durch Nord- und

Ostsee klimatisch gepufferten – Regionen haben sich zahlreiche Arten ausgebretet. Das Spektrum der betroffenen Heuschrecken reicht von Offenbodenspezialisten (z.B. *Oedipoda caerulescens*; Brose, Peschel 1998) über Arten mittlerer Stadien der Offenlandsukzession (z.B. *Roeseliana roeselii*; Poniatowski et al. 2012) bis hin zu typischen Bewohnern hochwüchsiger Brachen (z.B. *Phaneroptera falcata*; Grein 2007). Zudem sind sowohl ausgesprochen xerophile Arten (z.B. *Sphingonotus caeruleans*; Kettermann, Fartmann 2018) als auch hygrophile Arten unter den expandierenden Taxa (z.B. *Stethophyma grossum*; Trautner, Hermann 2008). Gemeinsames Kennzeichen aller 26 Arten, die aktuell vom Klimawandel profitieren (Poniatowski et al. 2018, Löffler et al. 2019) sind zumindest eine gewisse Thermophilie sowie meist eine (obligat oder fakultativ) vorhandene Flugfähigkeit oder effektive passive Ausbreitungsmechanismen (z.B. *Meconema meridionale*, Abb. 3; Maas et al. 2002).

Zu den vom Klimawandel negativ betroffenen Arten gehören nach jetzigem Kenntnisstand vermutlich *Decticus verrucivorus*, *Metrioptera brachyptera*, *Omocestus viridulus*, *Pseudochorthippus montanus* und *Tettigonia cantans* (Poniatowski et al. 2018). Alle fünf Arten weisen relativ austrocknungsempfindliche Eier auf. Die wenigen in Deutschland ausschließlich montan und alpin verbreiteten Arten dürften ebenfalls Verlierer des Klimawandels aufweisen.

Besonders gut erforscht sind die Auswirkungen des Landnutzungs- und Klimawandels auf mögliche Arealveränderungen bei flügeldimorphen Beißschrecken. Sowohl die Kurzflügelige Beißschrecke (*Metrioptera brachyptera*) als auch Roesels Beißschrecke (*Roeseliana roeselii*) sind normalerweise kurzflügelig und flugunfähig (Poniatowski, Fartmann 2009). Bei Dichtestress in der frühen Larvalphase kommt es allerdings bei beiden Arten zur Ausbildung makropterer Formen (Poniatowski, Fartmann 2009, 2011a, 2011b), die flugfähig sind (Poniatowski, Fartmann 2011c). Aufgrund des Klimawandels traten in der jüngsten Vergangenheit gehäuft warme Frühjahre auf, die eine geringe Larvensterblichkeit und höhere Populationsdichten zur Folge hatten (Abb. 4).

Die Dichten des Habitspezialisten *M. brachyptera* sind natürlicherweise im Freiland deutlich geringer als die des Habitatgeneralisten *R. roeselii*. Bei *M. brachyptera* werden daher im Freiland – trotz Klimawandel – so gut wie nie Larvendichten festgestellt, die zur Ausbildung makropterer Tiere führen. Selbst in den wenigen Fällen, in denen dies der Fall ist sind die Chancen auf eine erfolgreiche Ausbreitung gering, da in unserer fragmentierten Landschaft kaum noch geeignete Habitate in erreichbarer Nähe vorhanden sind (Poniatowski, Fartmann 2011b). Deutlich anders ist die Situation beim Habitatgeneralisten *R. roeselii*. Die durchschnittlichen Freilanddichten sind generell deutlich höher als bei *M. brachyptera* und in warmen Frühjahren kommt es inzwischen regelmäßig zur Ausbildung makropterer Tiere; Makropterenanteile von über 20 % innerhalb der Populationen sind inzwischen keine Seltenheit (Poniatowski, Fartmann 2011a und b). Diese makropteren Tiere sind deutlich mobiler als die kurzflügeligen Individuen (Poniatowski, Fartmann 2011c). Da geeignete Habitate für die Art weit verbreitet sind, kann sich *R. roeselii* ausbreiten und dem Klimawandel folgen.

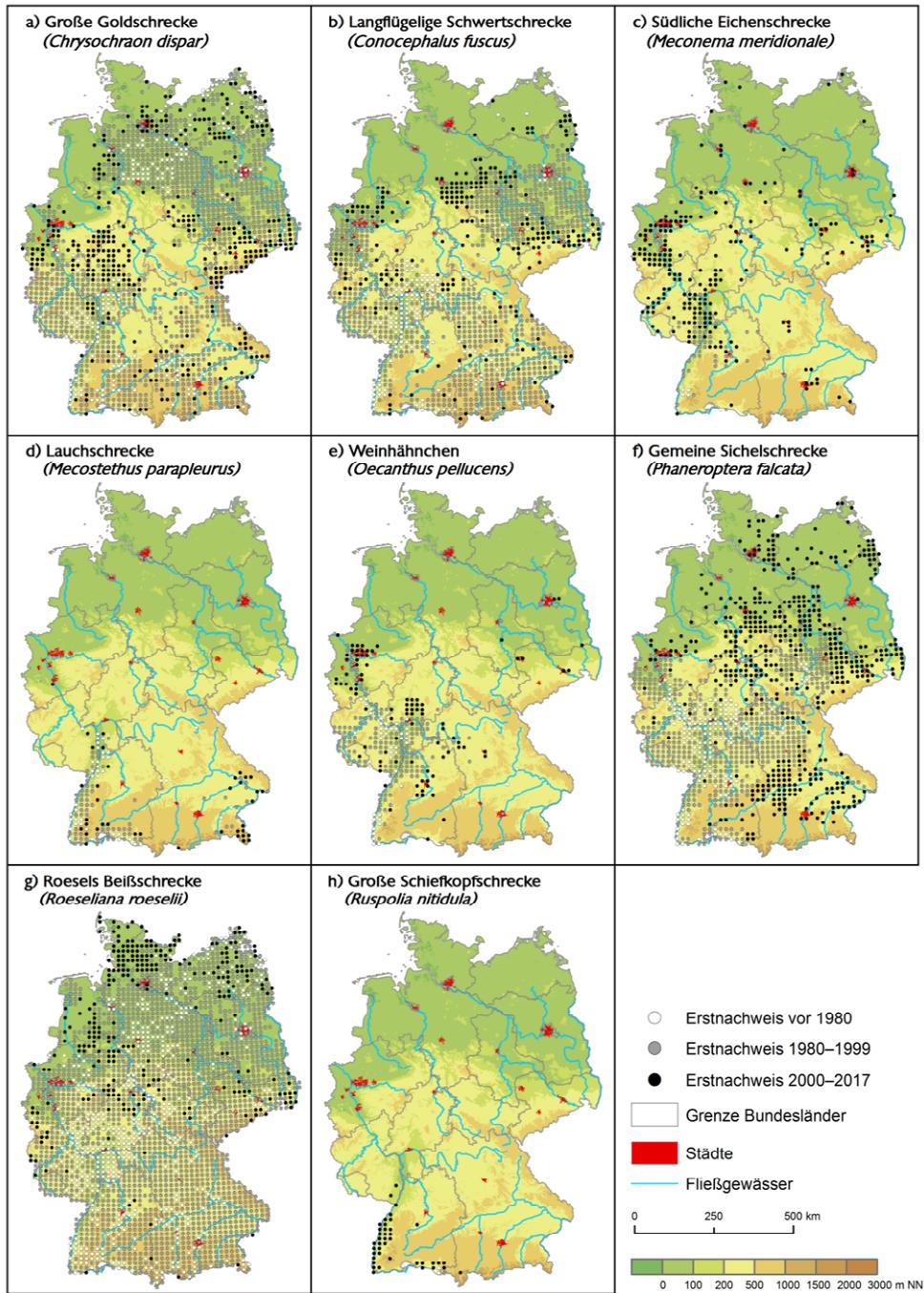


Abb. 3: Verbreitung von a) *Chrysochraon dispar*, b) *Conocephalus fuscus*, c) *Meconema meridionale*, d) *Mecostethus parapleurus*, e) *Oecanthus pellucens*, f) *Phaneroptera falcata*, g) *Roeseliana roeselii* und h) *Ruspolia nitidula* in Deutschland. Die Verbreitungslücken von *C. fuscus* und *P. falcata* in Brandenburg sind auf fehlende Daten zurückzuführen (Poniatowski et al. 2018).



Abb. 4: Schematische Darstellung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Habitat-spezialisten Kurzflügelige Beißschrecke (*Metrioptera brachyptera*) und den Habitatgenera-listen Roesels Beißschrecke (*Roeseliana roeselii*) (Poniatowski, Fartmann 2011a und b).

3 Ökologisches Monitoring mit Heuschrecken

Heuschrecken sind sensible Bioindikatoren auf der Habitat- und teilweise Landschaftsebene (Kap. 1, Fartmann 2017a, b). Sie reagieren gleichermaßen empfindlich auf Veränderungen der Landnutzung als auch des Klimas (Kap. 1 und 2). Darüber hinaus sind sie eine wichtige Surrogat-Artengruppe. So zeigen Heuschrecken nach Sauberer et al. (2004) sehr ähnliche Reaktionsmuster auf Umweltveränderungen in Agrarlandschaften wie Moose, Gefäßpflanzen, Schnecken, Spinnen, Laufkäfer, Ameisen und Vögel. Allan et al. (2014) konnten zudem nachweisen, dass Heuschrecken ähnlich stark negativ auf eine Intensivierung der Graslandnutzung reagieren wie Höhere Pflanzen, Flechten, Spinnen und Schmetterlin-ge. Im Vergleich zu vielen anderen indikatorisch bedeutsamen Taxa, inklusive der zuvor genannten Gruppen, lassen sie sich aber auch anhand lebender Tiere leicht bestimmen (Fischer et al. 2018) und mit relativ geringem Zeitaufwand standardisiert erfassen (z.B. Poniatowski, Fartmann 2008, Fartmann et al. 2012, Helbing et al. 2014, Löffler, Fartmann 2017). Darüber hinaus sind Heuschrecken Schlüsselorganismen (key species) in Gras-landökosystemen (Curry 1994), da sie bei hoher Abundanz eine wichtige Nahrungsquelle für Wirbeltiere (insbesondere eine Reihe von Vogelarten und Eidechsen) darstellen (Abb. 5) (Belovsky, Slade 1993).

Wie aus den zuvor gemachten Ausführungen hervorgeht, zählen Heuschrecken zu den prädestinierten Insektengruppen für ein Biodiversitätsmonitoring in Offenlandhabitaten. Die Kombination aus hoher indikatorischer Bedeutung, leichter Erfassbarkeit und guter Standardisierung der Erfassung wird von keiner anderen Insektengruppe erreicht.



Abb. 5: Der Weißstorch (*Ciconia ciconia*) zählt zu den Vogelarten, die von hohen Heuschreckendichten profitiert (Foto: T. Fartmann).

Literaturverzeichnis

- Allan, E., Bossdorf, O., Fischer, M. et al. (2014): Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity. PNAS 111 (1): 308-313.
- Anthes, N., Fartmann, T., Hermann, G., Kaule, G. (2003): Combining larval habitat quality and metapopulation structure – The key for successful management of pre-alpine *Euphydryas aurinia* colonies. Journal of Insect Conservation 7: 175-185.
- Barnosky, A., Matzke, N., Ferrer, E. et al. (2011): Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? Nature 471: 51-57.
- Belovsky, G., Slade, J. (1993): The role of vertebrate and invertebrate predators in a grasshopper community. Oikos 68: 193-201.
- Brose, U., Peschel, R. (1998): Neue Nachweise von *Conocephalus discolor* Thunberg, 1815, *Chrysochraon dispar* (Germar, 1831), *Oedipoda caerulescens* (Linnaeus, 1758) und *Platycleis albopunctata* (Goeze, 1778) an der nördlichen Verbreitungsgrenze. Articulata 13 (2): 39-46.
- Curry, J. (1994): Grassland Invertebrates – Ecology, Influence on Soil Fertility and Effects on Plant Growth. London (Chapman and Hall), 438 S.
- Detzel, P. (1998): Die Heuschrecken Baden-Württembergs. Stuttgart (Ulmer), 580 S.
- De Vos, J., Joppa, L., Gittleman, J., Stephens, P., Pimm, S. (2014): Estimating the normal background rate of species extinction. Conservation Biology 29: 452-462.
- Eichel, S., Fartmann, T. (2008): Management of calcareous grasslands for Nickerl's fritillary (*Melitaea aurelia*) has to consider habitat requirements of the immature stages, isolation, and patch area. Journal of Insect Conservation 12: 677-688.
- Essl, F., Rabitsch, W. (Hrsg.) (2013): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. Berlin, Heidelberg (Springer), 458 S.
- Ellenberg, H., Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Stuttgart (Ulmer), 1334 S.
- Fartmann, T. (2006): Welche Rolle spielen Störungen für Tagfalter und Widderchen? In: Fartmann, T., Hermann, G. (Hrsg.): Larvalökologie von Tagfaltern und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen des Westfälischen Museums für Naturkunde 68 (3/4): 259-270.

- Fartmann, T. (2017a): Überleben in fragmentierten Landschaften – Grundlagen für den Schutz der Biodiversität Mitteleuropas in Zeiten des globalen Wandels. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 49 (9): 277-282.
- Fartmann, T. (2017b): Überleben in fragmentierten Landschaften – der Schutz der Insektenfauna mitteleuropäischer Agrarlandschaften in Zeiten des globalen Wandels. In: Vischer-Leopold, M., Ellwanger, G., Balzer, S., Ssymank, A., Brandt, K., Meyer-Rath, A. (Hrsg.): *Natura 2000 und Artenschutz in der Agrarlandschaft*. Naturschutz und Biologische Vielfalt 164, 83-99.
- Fartmann, T., Krämer, B., Stelzner, F., Poniatowski, D. (2012): Orthoptera as ecological indicators for succession in steppe grassland. *Ecological Indicators* 20: 337-344.
- Fartmann, T., Mattes, H. (1997): Heuschreckenfauna und Grünland – Bewirtschaftungsmaßnahmen und Biotopmanagement. *Arbeiten aus dem Institut für Landschaftsökologie* 3: 179-188.
- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U., Ssymank, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Dritte fortgeschriebene Fassung 2017. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 156, 637 S.
- Fischer, J., Steinlechner, D., Stettmer, C. et al. (2016): Die Heuschrecken Deutschlands und Nordtirols: Bestimmen, Beobachten, Schützen. Wiebelsheim (Quelle & Meyer), 367 S.
- Foley, J., DeFries, R., Snyder, P. et al. (2005): Global consequences of land use. *Science* 309: 570-574.
- Gatter, W. (2000): Vogelzug und Vogelbestände in Mitteleuropa. Wiebelsheim (AULA-Verlag), 670 S.
- Grein, G. (2007): Zur Ausbreitung von *Phaneroptera falcata* (Poda, 1761) und *Conocephalus fuscus* (Fabricius, 1793) in Niedersachsen. *Articulata* 22 (1): 91-98.
- Helbing, F., Blaeser, T., Löffler, F., Fartmann, T. (2014): Response of Orthoptera communities to succession in alluvial pine woodlands. *Journal of Insect Conservation* 18: 215-224.
- Jonas, M., Staeger, T., Schönwiese, C. (2005): Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 201 41 254, 248 S.
- Kettermann, M., Fartmann, T. (2018): Auswirkungen des globalen Wandels auf Heuschrecken. Besiedelung von Steinbrüchen der Westfälischen Bucht (NW-Deutschland) durch die Blauflügelige Sandschrecke. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 50 (1): 23-29.
- Leuschner, C., Schipka, F. (2004): Vorstudie Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. BfN-Skripten 115: 35 S.
- Löffler, F., Fartmann, T. (2017): Effects of landscape and habitat quality on Orthoptera assemblages of pre-alpine calcareous grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 248: 71-81.
- Löffler, F., Poniatowski, D., Fartmann, T. (2019): Orthoptera community shifts in response to land-use and climate change – Lessons from a long-term study across different grassland habitats. *Biological Conservation* 236: 315-323.
- Maas, S., Detzel, P., Staudt, A. (2002): Gefährdungsanalyse der Heuschrecken Deutschlands. *Verbreitungsatlas, Gefährdungseinstufung und Schutzkonzepte*. Bundesamt für Naturschutz. Münster (Landwirtschaftsverlag): 401 S.

- Poniatowski, D., Fartmann, T. (2008): The classification of insect communities: Lessons from Orthoptera assemblages of semi-dry calcareous grasslands in central Germany. European Journal of Entomology 105: 659-671.
- Poniatowski, D., Fartmann, T. (2009): Experimental evidence for density-determined wing dimorphism in two bush-crickets. European Journal of Entomology 106: 599-605.
- Poniatowski, D., Fartmann, T. (2010): What determines the distribution of a flightless bush-cricket (*Metrioptera brachyptera*) in a fragmented landscape? Journal of Insect Conservation 14: 637-645.
- Poniatowski, D., Fartmann, T. (2011a): Weather-driven changes in population density determine wing dimorphism in a bush-cricket species. Agriculture, Ecosystems and Environment 145: 5-9.
- Poniatowski, D., Fartmann, T. (2011b): Dispersal capability in a habitat specialist bush-cricket: the role of population density and habitat moisture. Ecological Entomology 36: 717-723.
- Poniatowski, D., Fartmann, T. (2011c): Does wing dimorphism affect mobility in *Metrioptera roeselii* (Orthoptera: Tettigonidae)? European Journal of Entomology 108: 409-415.
- Poniatowski, D., Heinze, S., Fartmann, T. (2012): The role of macropters during range expansion of a wing-dimorphic insect species. Evolutionary Ecology 26: 759-770.
- Poniatowski, D., Münsch, T., Helbing, F., Fartmann, T. (2018a): Arealveränderungen mitteleuropäischer Heuschrecken als Folge des Klimawandels. Natur und Landschaft 93 (12): 553-561.
- Poniatowski, D., Stuhldreher, G., Löffler, F., Fartmann, T. (2018b): Patch occupancy of grassland specialists: Habitat quality matters more than habitat connectivity. Biological Conservation 225: 237-244.
- Poschlod, P. (2015): Geschichte der Kulturlandschaft. – Stuttgart (Ulmer), 320 S.
- Rapp, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. Offenbach (Deutscher Wetterdienst), Bericht Nr. 212, 145 S.
- Reich, M. (2006): Linking metapopulation structures and landscape dynamics: Grasshoppers (Saltatoria) in alluvial floodplains. Articulata Beiheft 11: 1-154.
- Rockström, J., Steffen, W., Foley, J.A. et al. (2009): A safe operating space for humanity. Nature 461 (7263): 472-475.
- Sala, O., Chapin, F., Wall, D. et al. (2000): Biodiversity – global biodiversity scenarios for the year 2100. Science 287: 1770-1774.
- Sauberer, N., Zulka, K., Grabherr, G. et al. (2004): Surrogate taxa for biodiversity in agricultural landscapes of eastern Austria. Biological Conservation 117: 181-190.
- Schlumprecht, H., Waeber, G (2003): Heuschrecken in Bayern. Stuttgart (Ulmer), 515 S.
- Stevens, C., Dise, N., Mountford, J., Gowing, D. (2004): Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. Science 303: 1876-1879.
- Streitberger, M., Ackermann, W., Nehring, S. et al. (2016): Strategien und Handlungskonzept für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel. Naturschutz und Biologische Vielfalt 147, 367 S.
- Stuhldreher, G., Fartmann, T. (2014): When habitat management can be a bad thing – Effects of habitat quality, isolation and climate on a declining grassland butterfly. Journal of Insect Conservation 18: 965-979.

- Thomas, J., Bourn, N., Goodger, B. et al. (2001): The quality and isolation of habitat patches both determine where butterflies persist in fragmented landscapes. Proceedings of the Royal Society London, Series B: Biological Science 268: 1791-1796.
- Trautner, J., Hermann, G. (2008): Die Sumpfschrecke (*Stethophyma grossum* L., 1758) im Aufwind – Erkenntnisse aus dem zentralen Baden-Württemberg. Articulata 23 (2): 37-52.
- UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Dessau (Umweltbundesamt), Hamburg (Max Planck Institut für Meteorologie), 7 S.
- Veen, P., Jefferson, R., de Smidt, J., van Straaten, J. (2009): Grasslands in Europe of high nature value. Zeist (KNNV Publishing), 319 S.
- Wallis De Vries, M. (2004): A quantitative conservation approach for the endangered butterfly *Maculinea alcon*. Conservation Biology 18: 489-499.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. Thomas Fartmann*
Universität Osnabrück
Abteilung für Biodiversität und Landschaftsökologie
Barbarastraße 11, 49076 Osnabrück
E-Mail: *t.fartmann@uos.de