



Beeinflussen urbane Umweltstressoren den Reproduktionserfolg von *Pseudochorthippus parallelus* (Zetterstedt, 1821)?

Keven Ergin | Jens Schirmel

iES Landau, Institut für Umweltwissenschaften, RPTU Kaiserslautern-Landau, Fortstraße 7, 76829 Landau, Deutschland

Korrespondenz: Keven Ergin; E-Mail: ergi4210@uni-landau.de
eingereicht: 22.09.2023; akzeptiert: 09.11.2023

Abstract

Do urban environmental stressors affect the reproduction success of *Pseudochorthippus parallelus*? Urbanization is increasing worldwide and has strong influences on environmental conditions. Higher temperatures in cities than in the surrounding landscape (urban heat island effect) and artificial light at night are major and often co-occurring characteristics of cities. In addition, noise pollution in urban areas is a typical aspect. These urban stressors can strongly impact organisms, however, the potential influence on the reproduction of grasshoppers is largely unexplored. This study investigates the effect of urban stressors (higher temperatures in combination with artificial light at night, noise pollution) on the number and weight of egg sacks of *Pseudochorthippus parallelus*. Individuals were collected from areas with two degrees of urbanization (urban, rural) and subsequently subjected to oviposition tests in the laboratory. Higher temperatures and artificial light at night and, to a lower extent also noise pollution, decreased the number and the weight of oothecas. The results indicate that urban stressors can have an impact on the reproduction of Orthoptera.

Keywords: light pollution, noise pollution, urbanization, urban heat island effect

Zusammenfassung

Urbanisierung steigt seit vielen Dekaden weltweit an und hat starken Einfluss auf Umweltbedingungen. Zu den besonders charakteristischen, und häufig gemeinsam auftretenden, Merkmalen von Städten zählen erhöhte Temperaturen („urban heat island effect“) und künstliches Licht in der Nacht. Daneben spielt Lärmver-

schmutzung in urbanen Räumen eine große Rolle. Diese urbanen Stressoren können Organismen stark beeinflussen, wobei der Einfluss auf die Reproduktion von Heuschrecken weitgehend unbekannt ist. Diese Studie untersucht die Wirkung von urbanen Stressoren (erhöhte Temperaturen in Kombination mit Licht in der Nacht, Lärmverschmutzung) auf die Anzahl und das Gewicht der Ootheken von *Pseudochorthippus parallelus*. Die Individuen wurden auf Flächen zweier Urbanisierungsgrade (urban, rural) gesammelt und im Anschluss Testungen zur Eiablage im Labor unterzogen. Erhöhte Temperaturen und Licht in der Nacht, und eingeschränkt auch Lärmverschmutzung, führten zu einer Abnahme der Zahl und des Gewichts abgelegter Ootheken. Die Ergebnisse deuten daher darauf hin, dass urbane Stressoren die Reproduktion von Heuschrecken beeinflussen kann.

Schlüsselwörter: Lärmverschmutzung, Lichtverschmutzung, städtischer Wärmeinseleffekt, Urbanisierung

Einleitung

Urbanisierung nimmt seit Jahrzehnten zu und Vorhersagen gehen von einer globalen Verdreifachung städtischer Flächen zwischen 2000 und 2030 aus (Seto et al. 2012). Urbanisierung verändert eine Vielzahl von Umweltbedingungen – von der Atmosphäre über die Hydrosphäre bis zur Pedosphäre – und hat somit starken Einfluss auf Organismen und Ökosysteme (Gaston 2012).

Zu den besonders charakteristischen Merkmalen von Städten zählen erhöhte Temperaturen („urban heat island effect“) und künstliches Licht in der Nacht (Gaston 2012; Heini et al., 2015; Owens & Lewis 2018). Erhöhte Temperaturen können bei Insekten zum Beispiel die Phänologie beeinflussen (Libellen: Villalobos-Jiménez & Hassall 2017, Ameisen: Chick et al. 2019) und Hitzestress die Reproduktionsraten vermindern (Nachtfalter: Zhang et al. 2014). Auch erhöhte Lichtverschmutzung wird mit einer verminderten reproduktiven Fitness in Verbindung gebracht: Firebaugh & Haynes (2016) konnten feststellen, dass künstliches Licht den Paarungserfolg von Glühwürmchen reduziert. Ebenso wirkte die Behandlung mit künstlichem Licht in der Nacht negativ auf das Paarungs- und Eiablageverhalten von *Drosophila melanogaster* (McLay et al. 2018). Unter realen Bedingungen in Städten treten erhöhte Temperaturen und das Vorhandensein von künstlichem Licht allerdings selten isoliert voneinander auf. Vielmehr sind beide urbanen Faktoren stark miteinander verknüpft, da beide maßgeblich durch den Anteil an versiegelter Fläche bestimmt sind (Howlader & Islam 2020).

Ein weiteres Merkmal von Ballungsräumen ist ein deutlich erhöhter Lärmpegel, vornehmlich durch Verkehr, Industrie oder Menschenmengen (Warren et al. 2006). Lärmverschmutzung kann sich auf das Verhalten von Organismen auswirken, allen voran die Kommunikation. Neben den bekannten Beispielen der Frequenz- oder Lautstärkeerhöhung von Vogelgesängen mit zunehmenden Umgebungslärm (Slabbekorn & Peet 2003, Brumm 2004), konnte Lampe et al. (2012) eine ähnliche

Verhaltensanpassung bei *Chorthippus biguttulus* feststellen. Neben dem Kommunikationsverhalten, kann Lärmverschmutzung aber auch physiologische Prozesse und biotische Interaktionen beeinflussen (Morley et al 2014). Wie sich Lärmverschmutzung auf Insekten und Reproduktion auswirkt, ist allerdings nahezu vollständig unbekannt (Morley et al. 2014, siehe aber Gurule-Small & Tinghitella 2019).

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Wirkungen von urbanen Umweltstressoren – erhöhte Temperaturen in Kombination mit künstlichem Licht sowie Lärmverschmutzung – auf die Reproduktion von Heuschrecken zu untersuchen. Dafür wurden Individuen des Gemeinen Grashüpfers *Pseudochorthippus parallelus* von verschiedenen Populationen im Freiland (Stadt vs. rural) erfasst und im Labor unter verschiedenen Stressbedingungen zur Eiablage gebracht. Es galt zu klären, wie (i) erhöhte Temperaturen in Kombination mit künstlichem Licht sowie (ii) Lärmverschmutzung den Reproduktionserfolg von *P. parallelus* beeinflussen (Anzahl und Gesamtgewicht abgelegter Ootheken sowie mittleres Einzelgewicht der Ootheken pro Weibchen) und (iii) ob der Einfluss sich zwischen Individuen aus ruralen Populationen von Tieren aus der Stadt unterscheidet.

Material und Methoden

Erfassung von *Pseudochorthippus parallelus* im Freiland

Die Erfassung der Heuschrecken fand auf extensiv bewirtschafteten Fettwiesen in den Nachbarstädten Ludwigshafen am Rhein und Frankenthal (Pfalz) statt. Die Probennahme erfolgte auf vier urbanen und fünf ruralen Wiesen (Größe 3500–7300 m²; Entfernung > 1 km zueinander). Die Einteilung in „urbane“ und „rurale“ Wiesen erfolgte mithilfe des Landschaftsinformationssystems der Naturschutzverwaltung Rheinland-Pfalz (LANIS). Es wurde ein Radius von 500 m um das Zentrum der Wiesen gezogen und der Versiegelungsgrad optisch geschätzt. Die urbanen Wiesen waren durch einen Versiegelungsgrad > 70 % gekennzeichnet, während die ruralen Wiesen einen Versiegelungsgrad < 10 % hatten.

Die Begehung der Flächen fand im Zeitraum vom 20.06.2022 bis 06.07.2022 zwischen 10 und 19 Uhr bei optimalen Wetterbedingungen statt. Mithilfe eines Keschers wurden pro Wiese 13–20 juvenile Individuen (N=64 Weibchen, N=95 Männchen) entnommen. Es wurden Nymphen im letzten oder vorletzten Stadium im Gelände erfasst, um die Möglichkeit bereits befruchteter Weibchen auszuschließen.

Hälterung im Labor

Im Anschluss an die Erfassung folgte der Transport in das Labor der Universität in mit Schaumstoffstopfen verschlossenen Polystyrolbehältern (Volumen: 76,97 ml). Dort fand die Überführung in zuvor präparierte Zuchtbecher mit eingeschweißter Gaze im Deckel (Volumen: 870 ml) statt. Zur Vorbereitung wurde sich an Köhler (2021) orientiert: Jedes Behältnis wurde mit einer 3 cm hohen, trockenen Erde/Sand-Mischung befüllt; 2 Teile fein gesiebte Blumenerde und 1 Teil Spielsand. Danach wurden die Behälter unter standardisierten Bedingungen in Klimaschränken gehalten, mit 25,7°C Tages- (06–22 Uhr) und 13,6°C Nachttemperatur

(22–06 Uhr) (mittlere Höchst- bzw. Tiefstwerte in Ludwigshafen am Rhein im Monat Juli; www.wetterdienst.de). Weiterhin wurde eine Luftfeuchtigkeit von 65% eingestellt. Alle 2–3 Tage erhielten die Heuschrecken Futter in Form diverser Süßgräser und eine Befeuchtung mit 3–5 Hieben Wasser aus einer Drucksprühflasche.

Sobald die Tiere die Imaginalhäutung vollzogen hatten, wurden jeweils ein Männchen und ein Weibchen in einen Zuchtbehälter gesetzt (N=58), und unter einer der folgenden Behandlungen gehalten. Es wurde darauf geachtet, dass pro Behandlung in etwa die gleiche Anzahl an Heuschrecken zur Verfügung stand. Für die Behandlungen wurde ein zwei-faktorielles Design mit den Faktoren „Erhöhte Temperaturen + künstliches Licht“ [ja / nein] (im Folgenden „Ganztag“) und „Lärmverschmutzung“ [ja / nein] (im Folgenden „Lärm“) (Tabelle 1) gewählt. Die Bedingungen der Ganztags-Behandlung waren 24h Helligkeit bei 25,7°C, bei der Kontrolle waren es 16h hell und 8h dunkel, bei 25,7°C Tages- und 13,6°C Nachttemperatur. Die Bedingung unter Lärm war eine Beschallung mit Straßenlärm. Dafür wurde ein Lautsprecher mit enthaltener Speicherkarte in dem Klimaschrank platziert. Es herrschte eine Lautstärke von 84,5 dB, die mithilfe des Smartphones gemessen wurde. Die Beschallung fand durchgehend statt, mit Ausnahme von Sonntagen.

In allen Ansätzen herrschte eine Luftfeuchtigkeit von durchgehend 65%. Die Fütterung und Befeuchtung wurden analog zur Hälterung der Nymphen durchgeführt (siehe oben). Überlebende Individuen wurden nach einer maximalen Dauer von 47 Tagen unter den Versuchsbedingungen freigelassen. Abschließend wurden in jedem Zuchtbehälter sämtliche Ootheken gezählt und deren Gewicht (g) gewogen (Feinwaage: KERN ADJ 200-4).

Tabelle 1: Übersicht der verschiedenen Behandlungen von gehälterten *Pseudochorthippus parallelus* mit erhöhten Temperaturen und Licht in der Nacht („Ganztag“) und Lärmbelastung („Lärm“). Die Anzahl Replikate zeigt die Anzahl an Paaren (gesamt sowie von urbanen bzw. ruralen Wiesen).

Table 1: Overview of the treatments for *Pseudochorthippus parallelus* with higher temperatures and light at night („Ganztag“) and noise pollution („Lärm“). Number of replicates indicate the number of pairs (total and of urban / rural meadows).

Ganztag		Lärm		Replikate gesamt (urban/rural)
Nein	16h hell, 25,7°C / 8h dunkel, 13,6°C	Nein	–	n=14 (6/8)
Ja	24h hell, 25,7 °C	Nein	–	n=15 (9/6)
Nein	16h hell, 25,7°C / 8h dunkel, 13,6°C	Ja	Straßenlärm 84,5 dB	n=13 (6/7)
Ja	24h hell, 25,7 °C	Ja	Straßenlärm 84,5 dB	n=16 (7/9)

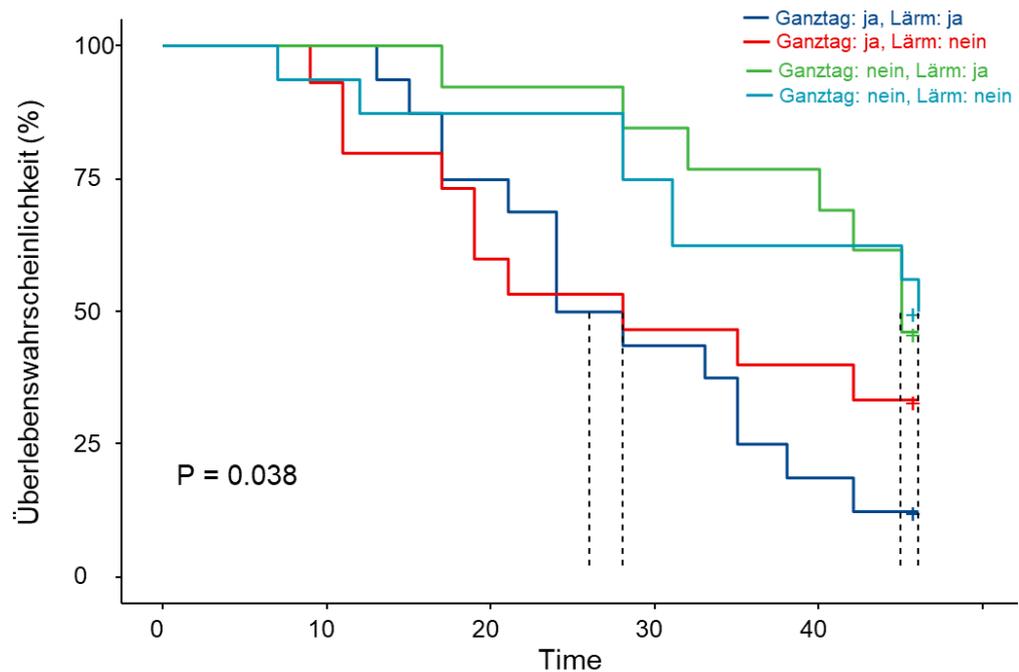
Statistische Analyse

Zur Auswertung der Daten wurden statistische Analyseverfahren durch das Programm R 4.2.2 (R Core Team, 2023) genutzt. Mittels des Befehls „lmer“ aus dem Paket „lme4“ (Bates et al. 2015) wurden lineare gemischte Modelle erstellt. Dabei waren Anzahl, das Gesamtgewicht der Ootheken sowie das mittlere Einzelgewicht der Ootheken pro Weibchen die Zielvariablen, und „Ganztag“ (ja/nein), „Lärm“ (ja/nein) sowie „Wiesentyp“ (urban/rural) die erklärenden Variablen. Um zu testen, ob der Einfluss der Ganztags- und Lärmbehandlung vom Wiesentyp abhängig war, wurde diese Interaktionen ebenfalls in die Modelle integriert. Um zu beachten, dass jeweils mehrere Individuen von der gleichen Wiese stammen, wurde als Zufalls-term die Probestellen ID in die Modelle eingefügt. Die Signifikanz der erklärenden Variablen wurde anschließend mit dem „Anova“-Befehl aus dem Paket „car“ berechnet (Fox & Weisberg, 2019). Um zu auszuschließen, dass sich potentiell unterschiedliche Paarungsraten auf das Gewicht der Ootheken ausgewirkt haben, wurden in diesen Modellen nur Weibchen mit Eiablage integriert. Um zu testen, ob die verschiedenen Bedingungen einen Einfluss auf die Mortalität der Weibchen hatten (und damit potentiell die Anzahl gelegter Ootheken sowie das Gesamtgewicht beeinflussten) wurden Kurven zur Überlebenswahrscheinlichkeiten erstellt und statistisch verglichen („survival curves, Paket „survfit“). Im Text sind Mittelwerte \pm Standardfehler angeben.

Ergebnisse

Von den 58 Weibchen haben 51 Ootheken abgelegt (88%). Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Weibchen unterschied sich signifikant zwischen den Behandlungen (Abb. 1): So war die Mortalität deutlich höher in den Ganztags-Behandlungen, in denen 50% der Weibchen bis zum 26. Tag überlebten (mit Lärm) bzw. bis zum 28. Tag (ohne Lärm). Im Gegensatz dazu war die Mortalität deutlich geringer bei den Behandlungen ohne Ganztags-Behandlung. Hier überlebten 50 % der Weibchen bis zu Tag 45 (mit Lärm) bzw. Tag 46 (ohne Lärm).

Die Zahl der Ootheken hing signifikant von der Ganztags-Behandlung ab (Tabelle 2). Individuen, die ganztags bei höheren Temperaturen belichtet wurden, produzierten im Schnitt zwei Ootheken und somit eine weniger als Tiere ohne diese Behandlung (Abb. 2a). Sowohl der Wiesentyp, als auch die Interaktion mit der Ganztags-Behandlung, übten einen signifikanten Effekt auf die Anzahl der Ootheken aus (Tabelle 2). Im Gegensatz dazu war der Einfluss von Lärm auf die Anzahl der Ootheken lediglich als Trend erkennbar (Tabelle 2, Abb. 2b). Keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der abgelegten Ootheken hatte dabei der Wiesentyp sowie dessen Interaktion mit Lärm (Tabelle 2).



	Lebende Weibchen: n (%)			
	10	20	30	40
Ganztag: ja, Lärm: ja	16 (100)	12 (75)	7 (44)	3 (19)
Ganztag: ja, Lärm: nein	14 (93)	9 (60)	7 (47)	6 (40)
Ganztag: nein, Lärm: ja	13 (100)	12 (92)	11 (85)	10 (77)
Ganztag: nein, Lärm: nein	15 (94)	14 (88)	12 (75)	10 (62)

Tage nach Start des Experiments

Abb. 1: Unterschiede in den Überlebenswahrscheinlichkeiten von Weibchen von *Pseudochorthippus parallelus* zwischen den verschiedenen Behandlungen (siehe Tabelle 1).

Fig. 1: Differences in the survival probabilities of female *Pseudochorthippus parallelus* among the four treatments (see Table 1).

Die Ganztags-Behandlung hatte ebenfalls einen signifikant negativen Einfluss auf das Gesamtgewicht der Ootheken (Tabelle 2). Diese wogen bei Weibchen unter Ganztags-Bedingungen im Durchschnitt mit $0,15 \pm 0,02$ g deutlich weniger als bei Individuen ohne Ganztags-Behandlung ($0,24 \pm 0,02$ g). Der Effekt war dabei unabhängig vom Wiesentyp (Tabelle 2, Abb. 3a). Das Gesamtgewicht der Ootheken war zudem signifikant vom Lärm beeinflusst: Bei Weibchen, die Lärmbelastung ausgesetzt waren, betrug es durchschnittlich $0,17 \pm 0,02$ g, während es bei Weibchen ohne Lärm $0,22 \pm 0,03$ g waren. Dabei gab es eine signifikante Interaktion von Lärm und Wiesentyp: Während sich das Gesamtgewicht der Ootheken bei Weibchen von ruralen Wiesen nicht zwischen Lärmbelastung und Kontrolle unterschied, war es bei Weibchen aus urbanen Wiesen deutlich geringer unter Lärmbelastung (Abb. 3b).

Das mittlere Gewicht der Einzelootheken hing ebenfalls signifikant von der Ganztags-Behandlung ab (Tabelle 2) und war geringer bei Weibchen die ganztags bei höheren Temperaturen belichtet wurden (Abb. 4a). Im Gegensatz dazu hatte Lärm keinen signifikanten Einfluss auf das mittlere Einzelgewicht (Abb. 4b). Wiesentyp, sowie die Interaktionen damit, wirkten sich nicht signifikant aus (Tabelle 2).

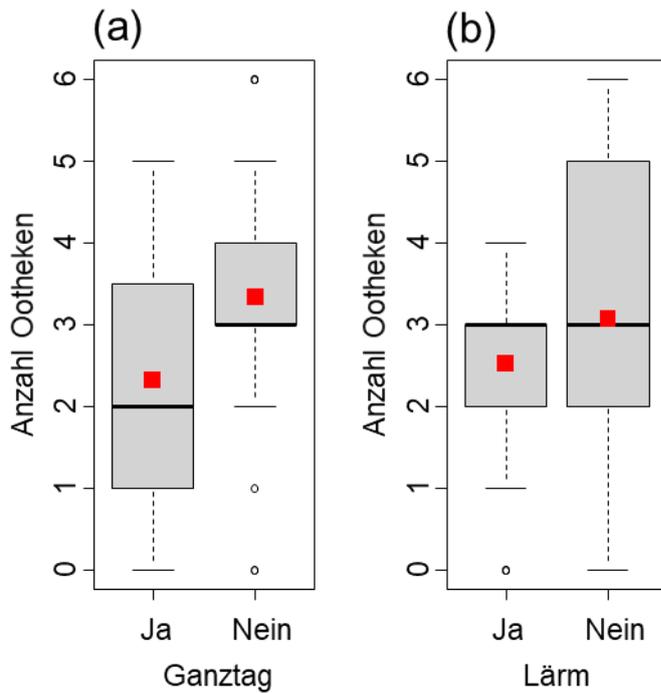


Abb. 2: Einfluss der Behandlungen mit a) Ganztag und b) Lärm auf die Anzahl der von Weibchen von *Pseudochorthippus parallelus* abgelegten Ootheken. Dargestellt sind Boxplots, rote Quadrate zeigen zusätzlich Mittelwerte.

Fig. 2: Effect of the treatments with a) Ganztag (“all day”) and b) Lärm (“noise”) on the number of laid oothecae of female *Pseudochorthippus parallelus* in dependence of the origin of the meadows (rural or urban). Shown are boxplots, red quadrats show means.

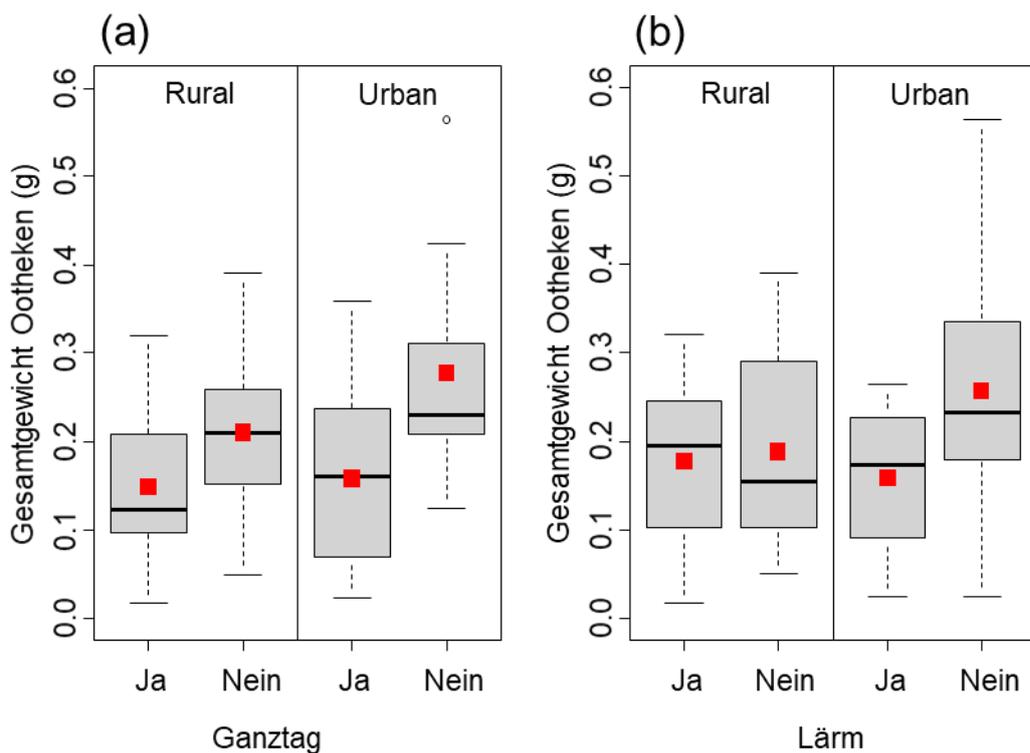


Abb. 3: Einfluss der Behandlungen mit a) Ganztag und b) Lärm auf das Gesamtgewicht der abgelegten Ootheken von Weibchen von *Pseudochorthippus parallelus* in Abhängigkeit des Wiesentyps (rural oder urban). Dargestellt sind Boxplots, rote Quadrate zeigen zusätzlich Mittelwerte.

Fig. 3: Effect of the treatments with a) Ganztag (“all day”) and b) Lärm (“noise”) on the total weight of laid oothecae of female *Pseudochorthippus parallelus* in dependence of the type of the meadows (rural or urban). Shown are boxplots, red quadrats show means.

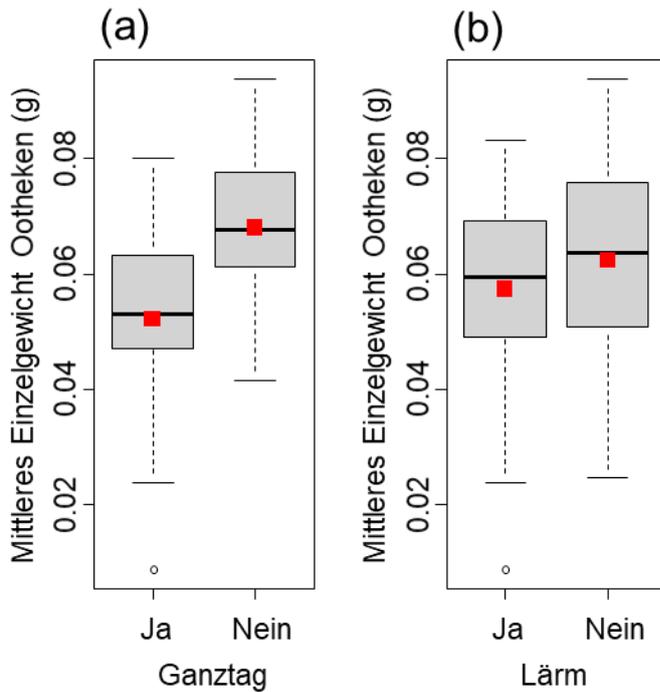


Abb. 4: Einfluss der Behandlungen mit a) Ganztag und b) Lärm auf das mittlere Einzelgewicht der abgelegten Ootheken von Weibchen von *Pseudochorthippus parallelus* in Abhängigkeit des Wiesentyps (rural oder urban). Dargestellt sind Boxplots, rote Quadrate zeigen zusätzlich Mittelwerte.

Fig. 4: Effect of the treatments with a) Ganztag (“all day”) and b) Lärm (“noise”) on the mean individual weight of laid oothecae of female *Pseudochorthippus parallelus* in dependence of the type of the meadows (rural or urban). Shown are boxplots, red quadrats show means.

Tabelle 2: Anzahl und Gewicht (Gesamt und mittleres Einzelgewicht) der Ootheken von *Pseudochorthippus parallelus* in Abhängigkeit der Behandlungen „Ganztag“, „Lärm“, „Wiesentyp“ und deren Interaktionen. Tests erfolgten mit linearen gemischten Modellen. Dargestellt sind Chi²- und P-Werte (fett = P<0,05, kursiv = P<0,1).

Table 2: Number and weight (total and mean individual weight) of oothecae of *Pseudochorthippus parallelus* depending on the treatments „Ganztag“ (“all day”), „Lärm“ (“noise”), „Wiesentyp“ (“type of the meadows”) and their interactions. Tests were conducted with linear mixed models. Shown are Chi²- and P-values (bold = P<0,05, italics = P<0,1).

Zielvariable	Erklärende Variable	Chi ²	P
Anzahl Ootheken	Ganztag	9,16	0,002
	Lärm	2,97	0,085
	Wiesentyp	0,75	0,386
	Ganztag : Wiesentyp	0,94	0,333
	Lärm : Wiesentyp	2,63	0,105
Gesamtgewicht Ootheken pro Weibchen	Ganztag	16,33	< 0,001
	Lärm	6,08	0,014
	Wiesentyp	0,70	0,402
	Ganztag : Wiesentyp	2,34	0,127
	Lärm : Wiesentyp	4,14	0,042
Mittleres Einzelgewicht Ootheken pro Weibchen	Ganztag	14,89	< 0,001
	Lärm	0,85	0,358
	Wiesentyp	0,13	0,718
	Ganztag : Wiesentyp	0,02	0,893
	Lärm : Wiesentyp	0,00	0,978

Diskussion

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus erhöhten Temperaturen und künstlichem Licht in der Nacht einen negativen Einfluss auf die Anzahl, das Gesamtgewicht sowie das mittlere Einzelgewicht abgelegter Ootheken von *Pseudochorthippus parallelus* hat. Für das Gesamtgewicht der Ootheken zeigte sich dieser Effekt ebenso für Lärmbelastung bei Tieren aus städtischen Wiesen. Dabei kann der Einfluss auf die Anzahl und das Gesamtgewicht der Ootheken mit der erhöhten Mortalität unter der Behandlung mit erhöhter Temperatur und Licht zusammenhängen. Hier starben die Tiere deutlich früher und hatten demnach weniger Zeit für Eiablagen. Der Effekt auf das mittlere Einzelgewicht der Ootheken ist von erhöhter Mortalität jedoch nicht betroffen.

In der Literatur existieren Erkenntnisse zu den Auswirkungen urbaner Stressfaktoren auf Merkmale der Eiablage von Heuschrecken, allerdings wurden die Tiere zumeist lediglich einer Stressquelle ausgesetzt. Viele Ergebnisse beschreiben, dass längere Fotoperioden und höhere Temperaturen einen positiven oder neutralen Effekt auf die Eiablage haben. Bereits Helfert (1980) konnte zeigen, dass *Phaneroptera nana* und *Platypleis grisea* mehr Eier bei langen als bei kurzen Tagen ablegten. Die Behandlung mit längeren Lichtsequenzen führte auch zu einem Anstieg der Zahl an gelegten Eiern pro Tag bei der ostasiatisch verbreiteten Langfühlerschrecke *Eobiana engelhardti* (Higaki & Ando, 2003). Demgegenüber wurde bei einer Erweiterung der Fotoperiode kein Einfluss auf die Reproduktion bei der australischen Grille *Teleogryllus commodus* (Durrant et al., 2018) sowie bei der nordamerikanisch verbreiteten Kurzfühlerschrecke *Romalea microptera* (Luker et al. 2002) festgestellt. Es ist jedoch anzumerken, dass einzig in der Studie von Durrant et al. (2018) eine ganztägige Belichtung vorgenommen wurde. Da in der aktuellen Untersuchung an *P. parallelus* eine Fotoperiode von 24 hell : 0 dunkel angewandt wurde, sind die Erkenntnisse aus der Literatur daher nur bedingt mit den hier gezeigten Ergebnissen vergleichbar. Künstliches Licht in der Nacht in Städten ist aber in der Regel dauerhaft und kann eine temporale Desorientierung von Organismen hervorrufen, den Biorhythmus stören und so auf die Reproduktion einwirken (Owens 2018). Willott & Hassall (1998) testeten bei vier Arten der Gomphocerinae den Zusammenhang zwischen Änderungen der Umgebungstemperatur und Merkmalen der Reproduktion. Drei Arten (*Myrmeleotettix maculatus*, *Omocestus viridulus* und *Stenobothrus lineatus*) zeigten dabei keine temperaturbedingten Änderungen der Eiablage. Das Gewicht der Eier, die Anzahl der Ootheken pro Weibchen sowie die Anzahl der Eier pro Oothek blieben bei drei verschiedenen Temperaturen auf einem vergleichbaren Niveau. Lediglich Weibchen von *Chorthippus brunneus* legten bei der Maximaltemperatur von 35 °C mehr Ootheken und eine höhere Zahl an Eiern pro Oothek als bei minimaler Wärme von 25 °C. Der Einfluss von Temperatur auf die Reproduktion (Anzahl und Gewicht der Ootheken/Eier) scheint demnach artspezifisch zu sein.

In dieser Studie wurde das Gesamtgewicht der abgelegten Ootheken (und als Trend die Anzahl) negativ durch Umgebungslärm beeinflusst. Dieser Effekt trat allerdings vornehmlich bei Tieren auf, die von urbanen Wiesen gefangen wurden.

Aufgrund einer möglichen Anpassung an Umgebungslärm, hätte eher ein gegenteiliges Muster erwartet werden können und die Gründe für die stärkere Beeinträchtigung durch Lärm bei städtischen Tieren bleiben vorerst ungeklärt. Generell ist extrem wenig über potentielle Effekte von Lärmverschmutzung auf Insekten und im Speziellen auf Reproduktion bekannt (Morley et al. 2014). Eine Ausnahme ist die Studie von Gurule-Small & Tinghitella (2019), in der die Auswirkung von Lärm auf den Lebenszyklus der ozeanischen Grille *Teleogryllus oceanicus* untersucht wurde. Im Gegensatz zu dieser Studie war die Anzahl abgelegter Eier zwar nicht durch Lärm beeinflusst, jedoch zeigte sich bei den Grillen eine verzögerte Entwicklung und verkürzte Lebensdauer der adulten Tiere. Dies zeigt, dass Lärmverschmutzung verschiedene Aspekte während der Entwicklung von Heuschrecken beeinflussen kann.

Die Studie zeigt, dass urbane Umweltstressoren, allen voran erhöhte Temperaturen in Kombination mit künstlichem Licht in der Nacht sowie z.T. Lärmverschmutzung, sich unter Extrembedingungen nachteilig auf die reproduktive Fitness von Heuschrecken auswirken können. Einschränkend ist darauf hinzuweisen, dass die Heuschrecken hier Extrembedingungen ausgesetzt waren. In wie weit geringere Änderungen in Temperaturen, Lichtbedingungen und Lärm auf den Reproduktionserfolg wirken bleibt somit unklar und müsste in folgenden Studien gezeigt werden. Zukünftige Arbeiten werden auch angehalten, die Auswirkungen von Verstärkerprozessen auf weitere Heuschreckenarten zu untersuchen.

Literatur

- Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1): 1-48
- Brumm H (2004) The Impact of Environmental Noise on Song Amplitude in a Territorial Bird. *Journal of Animal Ecology* 73: 434-440.
- Chick LD, Strickler SA, Perez A, Martin RA, Diamond SE (2019) Urban heat islands advance the timing of reproduction in a social insect. *Journal of Thermal Biology* 80: 119-125
- Durrant J, Botha LM, Green MP, Jones TM (2018) Artificial light at night prolongs juvenile development time in the black field cricket, *Teleogryllus commodus*. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution* 330(4): 225-233.
- Firebaugh A, Haynes KJ (2016) Experimental tests of light-pollution impacts on nocturnal insect courtship and dispersal. *Oecologia* 182(4): 1203-1211.
- Fox J, Weisberg S (2019) *An R Companion to Applied Regression (Third Edition)*. Sage.
- Gaston KJ (2012) *Urban Ecology*. Cambridge University Press, 318 S.
- Gurule-Small GA, Tinghitella RM (2019) Life history consequences of developing in anthropogenic noise. *Global Change Biology* 25(6): 1957-1966.

- Heinl M, Hammerle A, Tappeiner U, Leitinger G (2015) Determinants of urban–rural land surface temperature differences – A landscape scale perspective. *Landscape and Urban Planning* 134: 33-42.
- Helfert B (1980) Die regulative Wirkung von Photoperiode und Temperatur auf den Lebenszyklus ökologisch unterschiedlicher Tettigoniiden-Arten (Orthoptera, Saltatoria) 1. Teil: Larvalentwicklung, Reproduktion und Lebensdauer der Parentalgeneration. *Zoologische Jahrbücher* 107: 159-182.
- Higaki M, Ando Y (2003) Effects of crowding and photoperiod on wing morph and egg production in *Eobiana engelhardti* (Orthoptera: Tettigoniidae). *Applied Entomology and Zoology* 38(3): 321-325.
- Howlader AS, Islam KS (2020) Nexus between Light Pollution and Air Temperature: A Study of Bangladesh. *Journal of Bangladesh Institute of Planners* 11: 1-9.
- Köhler G (2021) Erfahrungen zur Haltung und Zucht von Gomphocerinae (Acrididae) für ökophysiologische Experimente. *Articulata* 36: 113-148.
- Lampe U, Schmoll T, Franzke A, Reinhold K (2012) Staying tuned: grasshoppers from noisy roadside habitats produce courtship signals with elevated frequency components. *Functional Ecology* 26: 1348-1354
- Luker LA, Hatle JD, Juliano SA (2002) Reproductive Responses to Photoperiod by a South Florida Population of the Grasshopper *Romalea microptera* (Orthoptera: Romaleidae). *Environmental Entomology* 31(4): 702-707.
- McLay LK, Nagarajan-Radha V, Green MP, Jones TM (2018) Dim artificial light at night affects mating, reproductive output, and reactive oxygen species in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology* 329(8-9): 419-428
- Morley EL, Jones G, Radford AN (2014) The importance of invertebrates when considering the impacts of anthropogenic noise. *Proceedings of the Royal Society B* 281: 20132683.
- Owens ACS, Lewis SM (2018) The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and Evolution* 8(22): 11337-11358.
- R Core Team (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Seto KC, Güneralp B, Hutyra LR (2012) Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(40): 16083-16088.
- Slabbekoorn H, Peet M (2003) Birds sing at higher pitch in urban noise. *Nature* 426: 267-267
- Villalobos-Jiménez G, Hassall C (2017) Effects of the urban heat island on the phenology of Odonata in London, UK. *International Journal of Biometeorology* 61: 1337-1346.
- Warren PS, Katti M, Ermann M, Brazel A (2006) Urban bioacoustics: it's not just noise. *Animal Behaviour* 71(3): 491-502.

- Willott SJ, Hassall M (1998) Life-history responses of British grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) to temperature change. *Functional Ecology* 12(2): 232-241.
- Zhang W, Chang X-Q, Hoffmann AA, Zhang S, Ma C-S (2014) Impact of hot events at different developmental stages of a moth: the closer to adult stage, the less reproductive output. *Scientific Reports* 5: 10436