



Die Auswirkung künstlicher Beleuchtung bei Nacht auf Fledermäuse

Ein Literaturüberblick mit Handlungsempfehlungen von

Dr. Annette Krop-Benesch
Diplom-Biologin

Nachhaltig Beleuchten

030 80 92 88 77

0178 198 03 74

info@nachhaltig-beleuchten.de

Homepage: www.nachhaltig-beleuchten.de

Blog Nacht - Licht: www.nachhaltig-beleuchten.de/blog

Facebook: [@nachhaltig-beleuchten.de](https://www.facebook.com/nachhaltig-beleuchten.de)

Twitter: [@krop-benesch](https://twitter.com/krop-benesch)

Die Auswirkung künstlicher Beleuchtung bei Nacht auf Fledermäuse

Dr. Annette Krop-Benesch, Nachhaltig Beleuchten, Januar 2018

Geschöpfe der Nacht

Fledermäuse sind die klassischen Bewohner der Nacht mit einer Vielzahl von Anpassungen an ihren zeitlichen Lebensraum. Vor ungefähr 60 Millionen Jahren eroberten die flugfähigen Insektenfresser den Luftraum in der Nacht, eine damals unbesetzte Nische (Lewanzik and Voigt 2013). Damit übernehmen sie die ökologische Rolle der Vögel als Insektenfresser und dienen in tropischen Regionen als Bestäuber für Obstbäume.

Zu den bekanntesten Anpassungen der Fledermäuse an die Nacht gehört ihre Orientierung durch Echolot, mit der sie nicht nur Hindernisse exakt lokalisieren können, sondern auch fliegende Insekten. Andere Anpassungen erschweren den Fledermäusen eine Ausdehnung ihrer Aktivitätszeit in den Tag. Ihre Haut dunkel pigmentiert und absorbiert daher kurzwelliges Sonnenlicht. Fliegen am Tag kann daher zu Überhitzung und übermäßigem Energieverbrauch führen (Voigt and Lewanzik 2011).

Fledermäuse verlassen ihre Quartiere im Normalfall erst in der Dämmerung oder nach Einbruch der Dunkelheit. Dies wird vor allem als Schutz vor tagaktiven Greifvögeln gesehen, die Fledermäuse jagen. Besonders langsam fliegende Arten verlassen ihr Quartier daher erst im Dunkeln (Jones and Rydell 1994).

Fledermäuse haben eine lange Lebensspanne, eine langsame Reproduktion und eine geringe Sterberate (Rydell *et al.* 2017). Daher reagieren Fledermauspopulationen sehr empfindlich auf schädigende Einflüsse. Fledermäuse werden

durch eine Vielzahl von Faktoren bedroht, darunter der Rückgang der Insekten, das Verschwinden geeigneter Quartiere und der Rückgang von Feuchtgebieten. In den letzten Jahren wurde nun immer deutlicher, dass es eine weitere Gefährdung für die kleinen Nachtkobolde gibt: die Lichtverschmutzung.

Lichtverschmutzung Fledermäuse

Unsere Nächte werden heller, nach einer aktuellen Studie im Schnitt um 2,2% pro Jahr weltweit (Kyba 2017). Noch zählt Deutschland zu den verhältnismäßig dunklen Industrieländern, der Trend geht aber zu mehr Licht. Immer mehr Gemeinden rüsten auf moderne LED-Technologie um, da diese als energieeffizienter als die traditionellen Techniken gilt. Doch oft kommt es zu einem Rebound-Effekt. Was eine einzelne LED einspart, wird durch den Einsatz von mehr Licht eingesetzt, um hellere und damit vermeintlich sichere Straßen zu erzeugen. Noch konnte kein genereller Sicherheitsgewinn durch hellere Beleuchtung nachgewiesen werden (Marchant 2017), doch die ökologischen Schäden werden immer offensichtlicher. Fledermäuse gehören dabei zu den Tiergruppen, die nach heutigem Wissen besonders stark betroffen sind.

Wie die Motte zum Licht - oder als Verlierer im Dunklen

Nicht selten sieht man Fledermäuse durch den Lichtkegel einer Straßenlampe fliegen, um Insekten zu jagen. Insekten werden von hellem Licht angezogen, laut einer Studie von Degen

et al. (2016) wirkt eine orangene Natriumdampf-Hochdrucklampe bis zu einer Entfernung von 23 Metern wie ein Staubsauger. Im Lichtkegel sind die Insekten oft geblendet. Unter weißem Licht verlieren viele Motten zudem ihre üblichen Abwehrmechanismen gegen Fledermäuse und werden so zur leichten Beute (Svensson and Rydell 1998). Gute Voraussetzungen also für Fledermäuse, die jedoch nur von einigen Arten genutzt werden.

Lichttolerante Arten, die an beleuchteten Stellen jagen, sind die Roten Fledermäuse (*Lasiurus spp.*), einige Arten der Breitflügel-fledermäuse (*Eptesicus spp.*), Abendsegler (*Nyctalus spp.*) und Zwergfledermäuse (*Pipistrellus spp.*) (Rydell and Racey 1995; Mathews *et al.* 2015; Stone *et al.* 2015). Alle lichttoleranten Arten verfügen über eine mittlere bis große Spannweite und sind schnelle Flieger.

Andere Fledermausarten hingegen vermeiden das Licht. Dabei sind die Reaktionen auf das Licht unterschiedlich. Die Teichfledermaus *Myotis dasycneme* dreht bei Kontakt mit Licht ab, viele Tiere durchfliegen den Lichtstrahl jedoch bei einem zweiten Versuch (Kuijper *et al.* 2008). Andere Mausohrenarten (*Myotis spp.*), Langohrfledermäuse (*Plecotus spp.*, Untersuchungen vor allem am Braunen Langohr, *Plecotus auritus*), Hufeisennasen (*Rhinolophus spp.*, untersucht wurde zumeist die Kleine Hufeisennase, *Rhinolophus hipposideros*) und Bottas Fledermaus (*Eptesicus bottae*) vermeiden beleuchtete Bereiche vollständig. Diese Arten sind im Allgemeinen langsame Flieger. Als Grund für die Aversion gegen Licht wird angenommen, dass Licht mit tagaktiven Greifvögeln assoziiert wird. Der Druck durch diese Fressfeinde ist bei langsam fliegenden Arten höher als bei schnell fliegenden (Polak *et al.* 2011; Stone *et al.* 2012; Stone *et al.* 2015; Mathews *et al.* 2015).

Die unterschiedliche Lichttoleranz der Fledermausarten kann langfristige Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung und das Nahrungsnetz haben. Lichttolerante Arten scheinen bevorteilt zu sein, da ihnen konzentrierte Nahrung zur Verfügung steht. Dies wird als einer der Gründe angeführt, warum beispielsweise Zwergfledermaus-Populationen wachsen (Lewanzik and Voigt 2013). Lichtscheue Arten hingegen verbleiben in Bereichen, in denen die Insektdichte sinkt. Dadurch steht ihnen weniger Nahrung zur Verfügung (Stone *et al.* 2015).

Veränderungen in der Artenzusammensetzung ist auch bei Insekten zu erwarten, da die verschiedenen Insektengruppen unterschiedlich auf Beleuchtung reagieren (Mathews *et al.* 2015). Für Insekten, die stark auf den Staubsaugereffekt der Lampen reagieren, steigt der Fressdruck. Sie werden vermehrt an Lampen gefressen (oder durch die Lampe direkt getötet) und fehlen an anderen Bereichen des Ökosystems als Nahrungsquelle oder als Bestäuber. Eine Veränderung in der Futterzusammensetzung konnte bereits bei der Weißrandfledermaus, *Pipistrellus kuhlii*, festgestellt werden: hier hat sich als Anpassung auf eine Umstellung von weichen Dipteren zu harten Motten der obere Mundbereich vergrößert (Tomassini *et al.* 2014).

Veränderungen in Flugverhalten und Orientierung

Trotz konzentrierter Nahrungsdichte ist der evolutionäre Vorteil für die lichttoleranten Arten möglicherweise geringer als angenommen. Einige Studien zeigten, dass auch diese Arten Veränderungen im Flugverhalten zeigen. So fliegt die Weißrandfledermaus (*Pipistrellus kuhlii*) im Licht schneller (Polak *et al.* 2011), andere Zwergfledermäuse zeigten keine vermehrte Aktivität in beleuchteten

Gebieten und sogar eine Reduzierung der Aktivität im Labor (Mathews *et al.* 2015).

Ein Grund für die unterschiedlichen Reaktionen könnte die Struktur des Gebietes sein. Die Zwergfledermaus *Pipistrellus pipistrellus* ist aktiver, wenn Schutz durch Bäume vorhanden ist, möglicherweise weil sie hier besser vor Fressfeinden geschützt ist (Mathews *et al.* 2015). Auffällig ist jedoch, dass im Licht die Kollisionsgefahr erhöht ist. Es wird vermutet, dass Fledermäuse im Licht ihr Echolot abschalten, durch intensives Licht jedoch geblendet werden oder durch die entstehenden Kontraste Probleme haben, Strukturen zu erkennen. Dies würde erklären, warum Fledermäuse mit beleuchteten Hindernissen wie Funkmasten kollidieren (Mathews *et al.* 2015; Voigt *et al.* 2017).

Für die migrierende Rauhautfledermaus *P. nathusii* und die Mückenfledermaus *P. pygmaeus* wurde gezeigt, dass sie bei Flügen über die Ostsee von grünem Licht angezogen werden. Auf diesen Wanderungen fressen Fledermäuse nur wenig, die Wissenschaftler gehen daher nicht von einer Reaktion auf erhöhte Insektdichte, sondern von einer positiven Phototaxis aus (Voigt *et al.* 2017). Der resultierende Umweg und Zeitverlust bedeutet jedoch einen Nachteil für die betroffenen Fledermäuse.

Mathews *et al.* (2015) fanden bei näherer Betrachtung keine Vorteile für lichttolerante Arten. Sie befürchten daher, dass künstliche Beleuchtung bei Nacht keine Vorteile für häufige Fledermausarten bringt, aber Nachteile für seltene, lichtscheue Arten.

Beleuchtung von Quartieren

Ein großes Problem für Fledermauskolonien ist das Fehlen geeigneter Quartiere für die Jungenaufzucht. Oft finden sich solche

Quartiere in Kirchen oder anderen historischen Gebäuden. Da Beleuchtung immer erschwinglicher wird, werden jedoch immer mehr dieser Gebäude beleuchtet.

Tiere fliegen aus beleuchteten Quartieren verspätet aus, wahrscheinlich um dem Druck durch tagaktive Greifvögel zu entgehen. Dies wurde für die Kleine Hufeisennase, *Rhinolophus hipposideros* (Stone *et al.* 2012), die Zwergfledermaus, *Pipistrellus pipistrellus* (Downs *et al.* 2003), die Wimperfledermaus, *Myotis emarginatus* (Boldogh *et al.* 2007), das Kleine Mausohr, *Myotis oxygnathus* (Boldogh *et al.* 2007) und die Große Hufeisennase, *Rhinolophus ferrumequinum* (Boldogh *et al.* 2007) nachgewiesen, also vor allem für langsamfliegende Arten. Auch Bechsteinfledermäuse (*Myotis bechsteinii*) sind zurückhaltend beim Verlassen des Quartiers, wenn die Ausflüge beleuchtet sind (Karl Kugelschaffer, unveröffentlichte Daten in Zeale *et al.* 2016).

Das verspätete Ausfliegen verringert die Zeit für die Nahrungssuche. Dazu kommt, dass die Insektenhäufigkeit am Abend am höchsten ist. Die verspäteten Fledermäuse verpassen also die beste Jagdzeit (Jones and Rydell 1994; Lewanzik and Voigt 2013). Es ist besonders schwerwiegend, dass dieses Verhalten bei tragenden Fledermäusen häufig ist, die einen erhöhten Energiebedarf haben (Rydell *et al.* 1996; Duverge *et al.* 2000; Russo *et al.* 2007). In der Tat konnte Boldogh *et al.* (2007) feststellen, dass bei Mausohren-Jungtieren (*Myotis emarginatus* und *M. oxygenathus*) in beleuchteten Quartieren Größenwachstum (Unterarmlänge) und Körpergewicht geringer waren als in unbeleuchteten.

In manchen Fällen werden Quartiere vollständig aufgegeben. Boldogh *et al.* (2007) berichtet von der Aufgabe der größten bekannten Kolonie von *Myotis emarginatus* in Ungarn mit 1000 bis 1200 Weibchen, nachdem

eine Außenbeleuchtung installiert worden war. In einer Studie zur Auswirkung von Kirchenbeleuchtung zeigte sich, dass die betroffenen Fransenfledermäuse umkehrten, sobald sie beim Ausfliegen vom Licht erfasst wurden. In der darauffolgenden, unbeleuchteten Nacht, flogen sie früher aus, was für energetischen Stress durch die verpasste Jagdphase am Vortrag spricht. In teilweise beleuchteten Kirchen flogen die Fledermäuse verspätet aus, manche Tiere blieben die gesamte Nacht im Quartier (Zeale *et al.* 2016). Problematisch ist bei der Beleuchtung von Quartieren, dass mehrere Aus- und Einflüge benötigt werden, also selbst eine nur teilweise Beleuchtung des Gebäudes die Fledermäuse behindern kann.

Eine Untersuchung von Quartieren in Kirchen in Schweden zeigte, dass es seit 1980 einen 35-prozentigen Rückgang der Quartiere des Braunen Langohrs, *Plecotus auritus* gab. Alle aufgegeben Quartiere waren in Kirchen, die seitdem mit einer Außenbeleuchtung ausgestattet worden waren. Wo noch Quartiere vorhanden waren, verließen die Fledermäuse die Kirchen an den dunkelsten Stellen und flogen auf kürzestem Weg in den Schutz der Bäume (Rydell *et al.* 2017).

Fatal kann es enden, wenn direkt in den Quartieren beleuchtet wird. Karl Kugelschaffer berichtet vom Tod mehrerer tausend Großer Mausohren (*Myotis myotis*), nachdem das Licht innerhalb der Kirche angelassen worden war (Zeale *et al.* 2016).

Lichtfarbe und -intensität

Licht ist nicht gleich Licht und die Wahl des Leuchtmittels kann von Bedeutung sein. Die höchste Aktivität lichttoleranter Fledermäuse wurde in mehreren Studien unter weißem Licht beobachtet (Stone *et al.* 2012). Dies wird

meist mit der hohen Attraktivität diesen Lichts für Insekten, insbesondere Motten begründet. Weißes und blaues Licht scheint aber auch die stärkste abschreckende Wirkung auf lichtscheue Arten zu haben (Downs *et al.* 2003; Lewanzik and Voigt 2013). Rotes Licht hat einen geringeren Einfluss auf eine Vielzahl von Fledermausarten, selbst bei hoher Intensität (Downs *et al.* 2003; Spoelstra *et al.* 2017).

Doch auch die Lichtintensität ist von Bedeutung. Mausohren vermeiden helles Licht, da sie dort von schnell fliegenden Arten gejagt werden (Hecht 2016). (Downs *et al.* 2003) fanden, dass der Einfluss der künstlichen Beleuchtung auf Zwergfledermäuse mit der Lichtintensität stieg, und zwar für alle getesteten Farben.

Berücksichtigt man die Attraktivität von Licht für Insekten, ergibt sich kein wirklich klares Bild. Generell lässt sich sagen, dass die Attraktivität einer Lichtquelle mit ihrer Farbtemperatur steigt. Weißes, grünes, blaues und UV-haltiges Licht sind deutlich attraktiver als orangenes oder rotes Licht. Die Studienlage ist aber nicht eindeutig.

Die oft zitierte Studie von Eisenbeis (Eisenbeis and Eick 2011) ergab eine geringere Attraktivität von LEDs gegenüber Quecksilberdampf- und Natriumdampflampen, doch die Autoren rieten zur Vorsicht bei der Verallgemeinerung, da sie einen starken Einfluss der Lampengehäuse und der lokalen Situation vermuteten. Andere Studien fanden, dass LEDs weniger interessant für die meisten Insekten waren als Quecksilberdampflampen, aber interessanter als Natriumdampflampen (Pawson and Bader 2014; Longcore *et al.* 2015; Wakefield *et al.* 2017).

Zu beachten ist auch, dass es deutliche Unterschiede bei LEDs gibt, die sich nicht nur durch die Lichttemperatur charakterisieren lassen. Stattdessen ist das Spektrum wichtig.

Longcore *et al.* (2015) fand spektrale Unterschiede in zwei Leuchten mit 2700 Kelvin, die sich auch in der Attraktivität auf Insekten zeigten. Auch im Vergleich zu einer 3500 K LED zeigte die Studie, dass mit sinkendem Anteil an kurzwelligem Licht die Attraktivität für Insekten sinkt.

Handlungsempfehlungen

Alle 22 in Deutschland vorkommenden Fledermausarten stehen auf der „Roten Liste der vom Aussterben bedrohten Tierarten“. Fledermäuse spielen eine wichtige Rolle bei der Kontrolle der Insektenpopulationen und sind daher wichtig für die Landwirtschaft. Die Berücksichtigung von Fledermäusen bei der Planung neuer Beleuchtungsanlagen ist daher unumgänglich. Hier folgen einige Empfehlungen, wie dies geschehen kann. Eine Beachtung dieser Empfehlungen ist auch zum Vorteil anderen Tiergruppen und nicht zuletzt der menschlichen Gesundheit.

- Bauwerke mit Fledermauskolonien sollten während der Vegetationsperiode nur gering oder gar nicht beleuchtet werden. Dies trägt auch zur allgemeinen Reduktion der Lichtverschmutzung und des Energieverbrauchs bei.
- Straßen- und Sicherheitsbeleuchtung sollte in ihrer Intensität der Situation angepasst werden. Mehr Licht bedeutet nicht automatisch mehr Sicherheit, wichtiger ist ein ausgeglichenes, blendfreies Licht, das keine künstlichen Kontraste erzeugt.
- Licht sollte immer nur dorthin strahlen, wo es benötigt wird. Daher sollten Straßenlampen grundsätzlich nach oben und seitlich abgeschirmt sein. Dies verringert die Blendung der Verkehrsteilnehmer und reduziert das Ausbreiten des Lichts und damit den Skyglow.
- Einzelne, helle Lichtquellen können im Säugetierauge zu einer Überstimulierung und einer Blendung von bis zu 10 Minuten führen. Wo immer möglich sollte eine weitgehend homogene oder zumindest nicht zu kontrastreiche Lichtintensität angestrebt werden. Dies reduziert auch die Blendung von Verkehrsteilnehmern.
- Es sollte nur langwelliges Licht verwendet werden. LEDs mit hohem Blauanteil sind attraktiver für Insekten und daher auch für lichttolerante Fledermäuse, haben eine größere Blendwirkung und beeinflussen den biologischen Rhythmus von Mensch und Tier negativ. Amber LEDs mit 2200 K haben zwar einen geringfügig höheren Stromverbrauch, sind aber angenehmer für das Auge und haben einen geringeren negativen Einfluss auf die meisten bisher untersuchten Tierarten.
- Straßen- und Sicherheitsbeleuchtung sollten bedarfsgerecht gesteuert werden. Dimmen oder Abschalten in Abwesenheit von Personen ist für viele Beleuchtungssysteme erhaltlich und sehr energieeffizient.
- Insbesondere am Waldrand, an Gewässern und in der Nähe von Fledermausquartieren sollte Beleuchtung sparsam eingesetzt werden. Hier muss besonderer Wert auf langwelliges Licht und gute Abschirmung gelegt werden, auch um eine großflächige Abschreckung von Fledermäusen zu vermeiden.

Quellen

- Boldogh, S., Dobrosi, D., and Samu, P. (2007). The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica* **9**, 527–534. doi:10.3161/1733-5329(2007)9[527:TEOTIO]2.0.CO;2
- Degen, T., Mitesser, O., Perkin, E. K., Weiß, N. S., Oehlert, M., Mattig, E., and Hölker, F. (2016). Street lighting: sex-independent impacts on moth movement. *Journal of Animal Ecology* **85**, 1352–1360. doi:10.1111/1365-2656.12540
- Downs, N. C., Beaton, V., Guest, J., Polanski, J., Robinson, S. L., and Racey, P. A. (2003). The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. *Biological Conservation* **111**, 247–252. doi:10.1016/S0006-3207(02)00298-7
- Duverge, P. L., Jones, G., Rydell, J., and Ransome, R. D. (2000). Functional significance of emergence timing in bats. *Ecography* **23**, 32–40. doi:10.1034/j.1600-0587.2000.230104.x
- Eisenbeis, G., and Eick, K. (2011). Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. *Natur und Landschaft* **86. Jahrga**, 298–306.
- Hecht, J. (2016). LED Streetlights Are Giving Neighborhoods the Blues. *IEEE Spectrum*. Available at: <http://spectrum.ieee.org/green-tech/conservation/led-streetlights-are-giving-neighborhoods-the-blues>
- Jones, G., and Rydell, J. (1994). Foraging Strategy and Predation Risk as Factors Influencing Emergence Time in Echolocating Bats. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **346**, 445–455. doi:10.1098/rstb.1994.0161
- Kuijper, D. P. J., Schut, J., Dulleman, D. Van, Toorman, H., Goossens, N., Ouwehand, J., and Limpens, J. G. A. (2008). Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Lutra* **51**, 37–49. doi:2
- Kyba, C. C. M. et al. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 1–9.
- Lewanzik, D., and Voigt, C. C. (2013). Lichtverschmutzung und die Folgen für Fledermäuse. In 'Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft'. (Eds M. Held, F. Hölker, and B. Jessel.) pp. 65–68. (Bundesamt für Naturschutz.)
- Longcore, T., Aldern, H. L., Eggers, J. F., Flores, S., Franco, L., Hirshfield-yamanishi, E., Petrinc, L. N., Yan, W. A., Yamanishi, E., Ln, P., Wa, Y., Am, B., and Longcore, T. (2015). Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* **370**, 20140125.
- Marchant, P. (2017). Why Lighting Claims Might Well Be Wrong. **19**, 69–74.
- Mathews, F., Roche, N., Aughney, T., Jones, N., Day, J., Baker, J., Langton, S., and Mathews, F. (2015). Barriers and benefits: implications of artificial night-lighting for the distribution of common bats in Britain and Ireland.
- Pawson, S. M., and Bader, M. K. F. (2014). LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. *Ecological Applications* **24**, 1561–1568. doi:10.1890/14-0468.1
- Polak, T., Korine, C., Yair, S., and Holderied, M. W. (2011). Differential effects of artificial lighting on flight and foraging behaviour of two sympatric bat species in a desert. *Journal of Zoology* **285**, 21–27.

- doi:10.1111/j.1469-7998.2011.00808.x
- Russo, D., Cistrone, L., and Jones, G. (2007). Emergence time in forest bats: the influence of canopy closure. *Acta Oecologica* **31**, 119–126. doi:10.1016/j.actao.2006.11.001
- Rydell, J., Eklöf, J., and Sánchez-Navarro, S. (2017). Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches. *Royal Society Open Science* **4**, 161077. doi:10.1098/rsos.161077
- Rydell, J., Entwistle, A., and Racey, P. A. (1996). Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. *Oikos* **76**, 243–252.
- Rydell, J., and Racey, P. A. (1995). Streetlamps and the feeding ecology of insectivorous bats. *Symp. Zool. Soc. Lond.* **67**, 291–307.
- Spoelstra, K., van Grunsven, R. H. A., Ramakers, J. J. C., Ferguson, K. B., Raap, T., Donners, M., Veenendaal, E. M., and Visser, M. E. (2017). Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **284**, 11–15. doi:10.1098/rspb.2017.0075
- Stone, E. L., Jones, G., and Harris, S. (2012). Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. *Global Change Biology* **18**, 2458–2465. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02705.x
- Stone, E. L., Wakefield, A., Harris, S., Jones, G., and Stone, E. L. (2015). The impacts of new street light technologies: experimentally testing the effects on bats of changing from low-pressure sodium to white metal halide. *Philosophical Transactions Royal Society B* **370**, 20140127. doi:10.1098/rstb.2014.0127
- Svensson, A. M., and Rydell, J. (1998). Mercury vapour lamps interfere with the bat defence of tympanate moths (Operophtera spp.; Geometridae). *Animal Behaviour* **55**, 223–226. doi:10.1006/anbe.1997.0590
- Tomassini, A., Colangelo, P., Agnelli, P., Jones, G., and Russo, D. (2014). Cranial size has increased over 133 years in a common bat, *Pipistrellus kuhlii*: A response to changing climate or urbanization? *Journal of Biogeography* **41**, 944–953. doi:10.1111/jbi.12248
- Voigt, C. C., and Lewanzik, D. (2011). Trapped in the darkness of the night: thermal and energetic constraints of daylight flight in bats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **278**, 2311–2317. doi:10.1098/rspb.2010.2290
- Voigt, C. C., Roeleke, M., Marggraf, L., Petersons, G., and Voigt-Heucke, S. L. (2017). Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. *PLoS ONE* **12**, 1–11. doi:10.1371/journal.pone.0177748
- Wakefield, A., Broyles, M., Stone, E. L., Harris, S., and Jones, G. (2017). Quantifying the attractiveness of broad-spectrum street lights to aerial nocturnal insects. *Journal of Applied Ecology*, 1–9. doi:10.1111/1365-2664.13004
- Zeale, M. R. K., Bennitt, E., Newson, S. E., Packman, C., Browne, W. J., Harris, S., Jones, G., and Stone, E. (2016). Mitigating the impact of Bats in historic churches: The response of Natterer's Bats *Myotis nattereri* to artificial roosts and deterrence. *PLoS ONE* **11**, 1–23. doi:10.1371/journal.pone.0146782