



Bernhard Hoß

Lichtverschmutzung – Schwellenwerte, Wirkdistanzen und Maßnahmen

Lichtverschmutzung wirkt sich auf das Verhalten vieler Tiere aus und erhält immer mehr Aufmerksamkeit, gleichzeitig gibt es nach wie vor viele offene Fragen. Ich stelle einige aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse zu Schwellenwerten, Wirkdistanzen und Maßnahmen für Insekten und Vögel vor. Lampen locken Insekten nur innerhalb weniger 10 m direkt an, allerdings beeinflussen in Studien bereits sehr geringe Lichtmengen die Aktivitätsmuster von Insekten und Vögeln.

Zu den Auswirkungen von künstlichem Licht auf Vögel, Säugetiere inklusive Fledermäuse, Invertebraten (vor allem Insekten), Amphibien, Reptilien, Fische und Pflanzen gibt es eine Reihe von Studien, die mehr oder weniger große Auswirkungen von künstlichem Licht nachweisen. JÄGERBRAND & SPOELSTRA (2023) gehen im Rahmen eines „Special Issue“ in „Science“ zur Lichtverschmutzung darauf ein. Für diesen Beitrag habe ich exemplarisch einige Zahlen rund um Schwellenwerte und auch Wirkdistanzen bei Insekten und Vögeln (mit der Kohlmeise als meist untersuchter Art) aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen der letzten Jahre zusammengetragen. Schwellenwerte sind ein erster Schritt um von Worst case-Annahmen zu gezielten Maßnahmen zu kommen.

Insekten und ihre Schwellenwerte

Beispielsweise liegt für Wachsmotten und parasitoidische Wespen der Schwellenwert, ab dem diese auf Lichtintensität reagieren, auf einem sehr niedrigen Niveau. In einem Laborversuch von JÄGERBRAND et al. (2023) reagierten

die Motten ab einer Beleuchtungsstärke von etwa 0,34 lux (untersuchte Lichtintensitäten: 0,00885 lux–17,7 lux, bei 4.070 Kelvin [K]) verstärkt auf das Licht. Es wurde allerdings kein direkter Anflug auf die Lichtquelle registriert. Das passt zu weiteren Studien, die nahelegen, dass Insekten eine komplexere Trajektorie/ Bahnkurve in der Nähe von Lampen zeigen und diese nicht immer direkt ansteuern (DEGEN et al. 2022). Die eigentlich tagaktive, parasitoidische Wespenart *Venturia canescens* reagierte sowohl bei 0,7 lux als auch bei 20 lux auf künstliches Licht (LED mit 6.000–6.500 K). Während die Wespen in der Kontrollgruppe ohne Beleuchtung keine nächtliche Aktivität zeigten, löste künstliches Licht nächtliche Aktivitäten aus und veränderte auch das Verhalten bei der Nahrungssuche am Tag (GOMES et al. 2021).

Die direkte Auswirkung von Einzellampen auf Insekten scheint auf wenige 10 m beschränkt zu sein (KEHOE et al. 2022). Diese Wirkdistanz für die Anziehung durch Straßenlampen zwischen 10 und 85 m wurde auch für Schwärmer

Abbildung 1:

Lichtdom über Mannheim. Die Sterne am Himmel und sogar ein Komet im rechten Bildteil sind kaum mehr zu erkennen. Diese Menge an Licht beeinflusst auch das Verhalten von Tieren (Foto: Georg Buzin, CC BY-SA 4.0; <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>, via Wikimedia Commons).

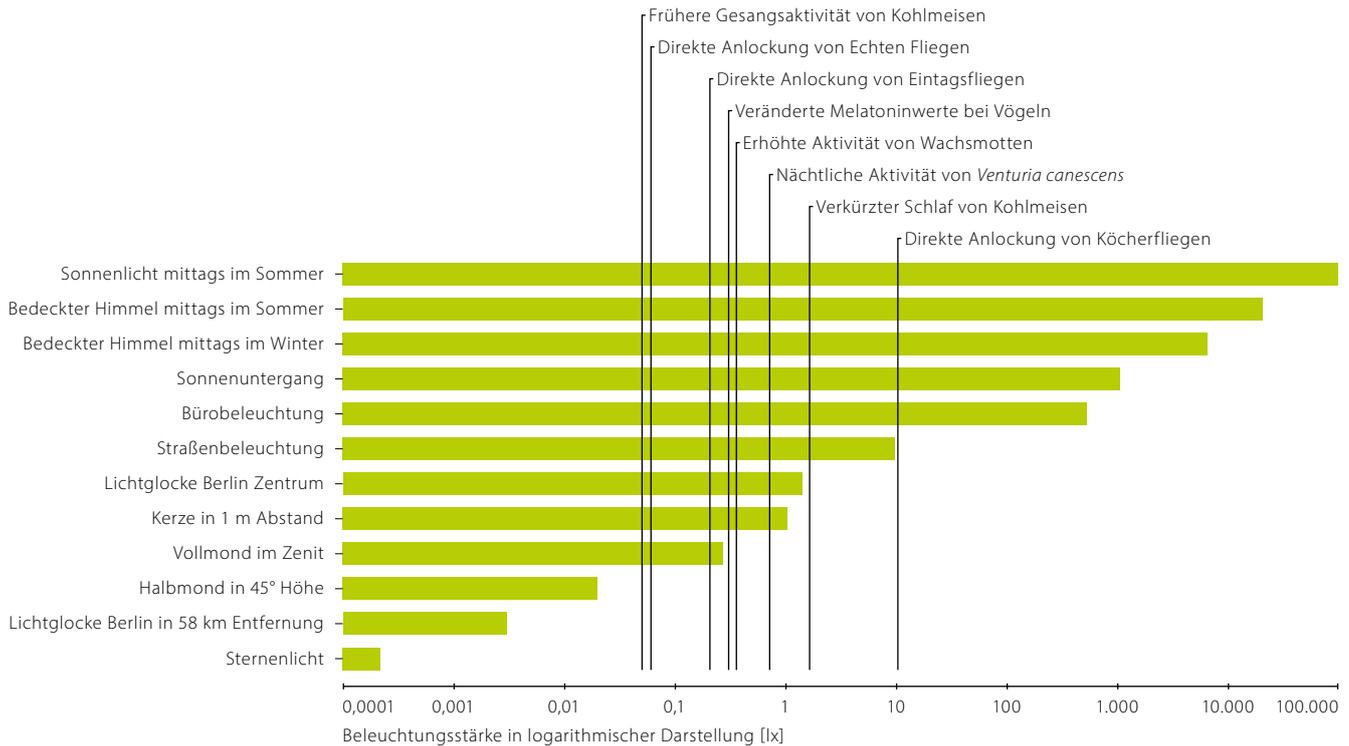


Abbildung 2: Grafische Darstellung der im Text vorgestellten Beispiele. Als schwarze Linien sind Schwellenwerte für Beleuchtungsstärken aufgetragen, ab denen verschiedene Arten Reaktionen auf das Licht zeigen. Als grüne Balken sind zum Vergleich beispielhafte Beleuchtungsstärken durch verschiedene Quellen aufgetragen. Die Beleuchtungsstärke wird in Lux (lx) gemessen und beschreibt den flächenbezogenen Lichtstrom, der auf ein beleuchtetes Objekt trifft. Quelle für die Angaben zur Lichtglocke über Berlin: JECHOW et al. (2020).

und Glucken (beides Nachfalter) so bestätigt. Im Mittelpunkt eines 85 m durchmessenden Kreises aus 6 Straßenlampen (70 W, 2.000 K, 96 lm) freigelassen, flogen nur 4 % der Tiere direkt auf die Lampen zu und kreisten darum. 7 Tiere wurden zur Kontrolle in 10 m Entfernung entlassen, diese flogen alle auf das Licht zu (DEGEN et al. 2022). Neben dem Abstand zu Lampen scheint die unterschiedliche Reaktion von verschiedenen Arten(-gruppen) inklusive ihrer Flughöhe ein wichtiger Parameter für die Barrierewirkung von Lampen zu sein. Für die Schwärmer stellten die Lampen in 85 m Entfernung keine Barriere dar (schnelles Nach-oben-fliegen), sehr wohl aber bei Abwesenheit des Mondes für Glucken (tieferer Flug).

Die direkte Anziehungswirkung von Lichtfallen mit weißen LED (1.500 Lumen an einem 2 m hohen Pfosten in Wassernähe), gemessen als Fänge von aquatischen Insekten, nahmen mit zunehmendem Abstand vom Gewässer signifikant ab. Für Köcherfliegen (*Trichoptera*) gab es einen rapiden Einbruch der Anzahl der gefangenen Tiere ab etwa 10 m Abstand, bei Eintagsfliegen (*Ephemeroptera*) ab etwa 40 m und bei Echten Fliegen (*Muscidae*) ab 60 m (CARANNANTE et al. 2021). Dabei wurden auch die Beleuchtungsstärke am Gewässer in Abhängigkeit von der Distanz der Lichtfalle gemessen: 3 m ~ 90 lx, 10 m ~ 10 lx, 20 m ~ 1 lx, 40 m ~ 0,2 lx, 60 m ~ 0,06 lx, 80 m ~ 0,00 lx (siehe Supplementary 3 in CARANNANTE et al. 2021).

Ob und wenn ja, welche Lichtmengen auch Effekte im Landschaftskontext nach sich ziehen, ist nach wie vor schlecht untersucht. Die Studien von GOMES et al. (2021) und JÄGERBRAND et al. (2023) zeigen aber, dass auch relativ niedrige Hintergrundbeleuchtung, wie sie etwa bei Vollmond (~ 0,2 lx) oder dem Lichteinfall aus dem erleuchteten Himmel über einer Stadt (~ 0,7 lx) auftritt, Auswirkungen auf verschiedene Artengruppen hat.

Kohlmeisen – Schwellenwerte und Aktivitätsmuster

Drei Studien zu Kohlmeisen zeigen, dass auch Vögel bereits auf sehr geringe Beleuchtungsstärken, teilweise auch unter dem Niveau des Vollmondes, reagieren (Schlafdauer, Brutzeitpunkt, Aktivitätsverteilung). In Nistkästen wurde der Schlaf von Kohlmeisen unter 3 lx und unter 1,6 lx beobachtet. Er verkürzte sich im Schnitt um 40 min. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lichtintensitäten. Die Autoren vermuten, dass der Schwellenwert bei noch niedrigeren Lichtintensitäten liegt (RAAP et al. 2017).

Ein Laborexperiment mit Kohlmeisen-Männchen maß deren Aktivität und Melatonin-Spiegel bei verschiedenen Beleuchtungsstärken (0,05 lx, 0,15 lx, 0,5 lx, 1,5 lx, 5 lx mit warmweißen LED; DE JONG et al. 2016). Im Vergleich zu dunklen Nächten war die Aktivität bei allen Lichtstärken in der Nacht erhöht. Mit zunehmender Lichtstärke

stieg auch die Nachtaktivität. So wurden die Tiere bei 0,05 lx etwa eine halbe Stunde vor dem Tageslicht aktiv (Wintertag-Simulation, 8:15–15:45), bei 5 lx war bereits 5 Stunden früher Aktivität zu beobachten. Auch die Aktivität am Abend wurde etwas länger, wenn auch in deutlich geringerem Ausmaß und viel variabler zwischen den Individuen. Über 24 Stunden gesehen blieben die Aktivitäts-Level allerdings gleich: die nachtaktiven Tiere waren dafür am Tag weniger aktiv. Auch die Melatonin-Level veränderten sich: um Mitternacht waren sie unter Licht niedriger als in dunkler Nacht, mit steigender Lichtintensität sank der Spiegel. Am Morgen und Mittag gab es keine Änderung des Melatonin-Spiegels. In der Studie wurde kein Schwellenwert festgestellt, sondern eine graduelle Reaktion auf Licht. Die Ergebnisse decken sich auch mit einem Review von 2019, in dem Studien ausgewertet wurden, die den Einfluss unterschiedlicher Lichtintensitäten auf die Melatoninproduktion untersuchten (GRUBISIC et al. 2019): Die minimalen Beleuchtungsstärken, bei denen reduziertes Melatonin gemessen wurde, waren für Fische und Nagetiere 0,01–0,03 lx und für Menschen 6 lx, bei Vögeln wurden bereits bei 0,3 lux veränderte Melatonin-Werte gemessen (GRUBISIC et al. 2019).

DOMINONI et al. (2020) testeten, wie sich der Zeitpunkt der Eiablage von Kohlmeisen mit künstlichem Licht verändert. Dabei wurden Straßenlampen unterschiedlicher Farbe in 4 m Höhe in mehreren Waldtransekten mit Nistkästen aufgestellt. Direkt unter den Lampen wurden 7,6 lx gemessen. Die Kohlmeisen legten vor allem bei weißem oder grünem Licht früher Eier, unter rötlichem Licht zeigte sich nur ein Trend. Spannend war dabei auch, dass sich der Effekt unabhängig von der Entfernung von den Lichtquellen (0–100 m) und damit von der Beleuchtungsstärke an den Nistkästen zeigte (zwischen 10 und etwa 0,001 lx). Vermutlich reicht es daher aus, wenn die Umgebung des Nistplatzes der Meisen beleuchtet ist, um sie zu einer früheren Eiablage anzuregen. Die Lichtmenge am Nistplatz selbst ist wohl nicht alleinig ausschlaggebend oder es reichen bereits sehr geringe Lichtmengen aus, um das Eiablageverhalten zu verändern.

Der Weg voran

JÄGERBRAND & SPOELSTRA (2023) schlagen auf Basis ihres Reviews zu verschiedenen Artengruppen folgende Maßnahmen vor:

- In Schutzgebieten sollte das Ziel sein, künstliches Licht auf das Niveau der natürlichen Lichtbedingungen zu reduzieren.
- Abgeschirmte Lampen, aber auch natürliche Barrieren wie dichte Hecken/Vegetation, sollten die Ausbreitung von Licht eindämmen.
- Der ökologische Effekt von Zeitbeschränkungen bei der Beleuchtung ist zumindest fragwürdig, weil Menschen meist in der Phase der Nacht Licht brauchen, die auch für nachtaktive Arten am wichtigsten ist: kurz nach oder vor der Dämmerung.
- Die Lichtintensität zu reduzieren ist essenziell. Leider ist wenig bekannt über die Schwellenwerte vieler Arten, die noch dazu variieren können in Abhängigkeit der Beleuchtungsdauer, Lebensstadien oder Habitat-Strukturen.
- Daher sollten dimmbare LED eingebaut werden, die nach der Installation per Fernsteuerung in ihrer Intensität angepasst werden können.
- Außerdem sollte das Ziel sein, das Licht-Level unterhalb der Intensität des Mondlichtes (0,05–0,2 lux) zu halten.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich weiterer Schwellenwerte, besonders den Auswirkungen von reflektiertem Licht sollte noch mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. HÖLKER et al. (2021) identifizieren 11 wichtige Fragen mit Blick auf den aktuellen Forschungsstand, unter anderem: Welche Rolle spielen verschiedene Artmerkmale für die Empfindlichkeit gegenüber Licht? Gibt es Interaktionen des künstlichen Lichts mit weiteren Faktoren wie etwa der Habitatstruktur oder Temperatur? Gibt es im Rahmen von Mikroevolution bereits Anpassungen an das künstliche Licht? Inwieweit hat künstliches Licht Folgen für Lebensgemeinschaften und Ökosysteme oder auch für tagaktive Arten, etwa durch kaskadierende Effekte über trophische Ebenen hinweg? Ab welchen Schwellenwerten reagieren unterschiedliche Arten auf Licht und wie fallen die Reaktionen bei verschiedenen Wellenlängen aus (HÖLKER et al. 2021)? Bis weitere Untersuchungen diese offenen Fragen beantwortet haben, gilt es das Vorsorgeprinzip so gut wie möglich umzusetzen (HÖLKER et al. 2021).

Literatur

- CARANNANTE, D., BLUMENSTEIN, C. S., HALE, J. D. et al. (2021): LED lighting threatens adult aquatic insects: Impact magnitude and distance thresholds. – *Ecological Solutions and Evidence* 2(2): e12053.
- DEGEN, J., STORMS, M., LEE, C. B. et al. (2022): Streetlights affect moth orientation beyond flight-to-light behaviour. – *bioRxiv*.
- DOMINONI, D. M., KJELLBERG JENSEN, J., DE JONG, M. et al. (2020): Artificial light at night, in interaction with spring temperature, modulates timing of reproduction in a passerine bird. – *Ecological Applications* 30(3): e02062.
- GOMES, E., REY, B., DÉBIAS, F. et al. (2021): Dealing with host and food searching in a diurnal parasitoid: consequences of light at night at intra- and trans-generational levels. – *Insect Conservation and Diversity* 14(2): 235–246.
- GRUBISIC, M., HAIM, A., BHUSAL, P. et al. (2019): Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates. – *Sustainability* 11(22): 6400.
- HÖLKER, F., BOLLIGER, J., DAVIES, T. W. et al. (2021): 11 Pressing Research Questions on How Light Pollution Affects Biodiversity. – *Frontiers in Ecology and Evolution* 9: 767177.
- JÄGERBRAND, A., ANDERSSON, P. & NILSSON TENGELIN, M. (2023): Dose-effects in behavioural responses of moths to light in a controlled lab experiment. – *Scientific Reports* 13(1): 10339 (Nature Publishing Group).
- JÄGERBRAND, A. K. & SPOELSTRA, K. (2023): Effects of anthropogenic light on species and ecosystems. – *Science* 380(6650): 1125–1130 (American Association for the Advancement of Science).
- JECHOW, A., KYBA, C. C. M. & HÖLKER, F. (2020): Mapping the brightness and color of urban to rural skyglow with all-sky photometry. – *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 250: 106988.
- DE JONG, M., JENINGA, L., OUYANG, J. Q. et al. (2016): Dose-dependent responses of avian daily rhythms to artificial light at night. – *Physiology & Behavior* 155: 172–179.
- KEHOE, R., SANDERS, D. & VAN VEEN, F. J. (2022): Towards a mechanistic understanding of the effects of artificial light at night on insect populations and communities. – *Current Opinion in Insect Science* 53: 100950.
- RAAP, T., SUN, J., PINXTEN, R. et al. (2017): Disruptive effects of light pollution on sleep in free-living birds: Season and/or light intensity-dependent? – *Behavioural Processes* 144: 13–19.

Autor



Dr. Bernhard Hoiß

Jahrgang 1981

Studium der Biologie in Regensburg. Nach kurzer Zeit in einem Planungsbüro Promotion und wissenschaftlicher Mitarbeiter an den Universitäten Bayreuth und Würzburg zu Pflanzen-Bestäuber-Interaktionen. Anschließend Biodiversitätsbeauftragter an der Regierung von Schwaben. Seit 2016 an der ANL mit den Schwerpunkten Artenkenntnis und Redaktion.

Bayerische Akademie für Naturschutz
und Landschaftspflege (ANL)
+49 8682 8963-53
bernhard.hoiss@anl.bayern.de

Zitiervorschlag

HOIß, B., (2024): Lichtverschmutzung – Schwellenwerte, Wirkdistanzen und Maßnahmen. – *Anliegen Natur* 46(1): 79–82, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.