



Foto: Oliver Wittig

Lichtsmog

Kunstlicht ist eine bedeutende Errungenschaft des Menschen. Übermäßig und unbedacht eingesetzt stört es allerdings auf vielfältige Weise die Aktivitäten von Organismen, welche sich über Jahrtausende an Sonne, Mond und Sterne als wichtigste Lichtquellen und an deren Zyklen angepasst haben. Weiterhin ist die Betrachtung des Sternenhimmels – seit alters her eines der großartigsten Naturerlebnisse – vielerorts kaum noch möglich.

Durch die zunehmende Effizienz von Leuchtmitteln könnte Geld und Energie für Beleuchtung gespart werden. Stattdessen tendiert der Mensch dazu, einen festen Prozentsatz der zur Verfügung stehenden Mittel in Licht zu investieren [1]. Zum Beispiel hat die Fläche beleuchteter Außenbereiche und auch deren Helligkeit im weltweiten Durchschnitt von 2012 bis 2016 um 2,2% pro Jahr zugenommen [2]. Die Nächte werden also immer heller.

Wie wirkt Kunstlicht auf verschiedene Organismen?

Nachtfalter und andere nachtaktive Insekten

Über 90% der heimischen Schmetterlingsarten sind nachtaktiv und diese werden im Dunkeln von künstlichem Licht angezogen, sprichwörtlich wie die "Motten vom Licht". Die Ursachen dafür sind noch nicht geklärt. Eine gängige Hypothese geht davon aus, dass -sofern vorhanden- die hellste oder höchste Lichtquelle im Sichtfeld als Orientierung für die Flugrichtung oder die Fluglage hergenommen wird. Natürliche Orientierungspunkte wie Himmelskörper oder der Horizont sind weit entfernt. Das Einhalten eines konstanten Winkels zu einer nahen Lichtquelle führt dagegen für 50% der möglichen Flugrichtungen zu spiralförmiger Annäherung. Im Nahbereich kommt der auch im Komplexauge auftretende Effekt der "Mach-Bänder" oder des Simultankontrastes hinzu: Bereiche direkt um die Lampe erscheinen dunkel und werden angefliegen, wenn der Falter dem Licht entkommen will. Das passt zur Beobachtung, dass Falter gern in schattigen Bereichen um die Lampe sitzen bleiben, sobald sie zufällig dort landen.

Warum schadet Licht den Tieren?

Die an der Lampe gefangenen Tiere verlieren wertvolle Zeit und Energie, die für Nahrungs- und Partnersuche, Dispersionsflüge und Eiablage gebraucht würden. Manche Individuen umkreisen die Lampe bis zur Erschöpfung, andere verfangen sich im Gehäuse oder nehmen durch Hitze Schaden. Spinnen, Fledermäuse und Vögel erkennen die Konzentration von Insekten und machen leichte Beute.

Neben der anziehenden Wirkung gibt es weitere Effekte von Licht auf Insekten [5]: Einige meiden es und werden in ihrer Bewegungsfreiheit entsprechend eingeschränkt, Polarisation (bei Reflektionen) verwirrt besonders aquatische Insekten, Streulicht stört die Orientierung am Nachthimmel, Biolumineszenzsignale (z.B. Glühwürmchen) und Aktivitätszyklen werden gestört.

Lichtparameter

- **Lichtstärke** ist ein Maß für die Helligkeit und beschreibt die pro Zeit und pro Raumwinkel fließende Strahlungsenergie (Einheit: Candela). Die Stärke der gesamten Lichtquelle wird als **Lichtstrom** (Einheit: Lumen) angegeben. Beide photometrische Größen sind gegenüber den radiometrischen Entsprechungen mit der Empfindlichkeit des menschlichen Auges gewichtet.
- **Lichtfarbe**: Als Teil des Spektrums elektromagnetischer Wellen ist Licht durch Wellenlängen (λ ; Einheit: Nanometer = nm) charakterisiert, die in unserer Wahrnehmung Farben entsprechen. Meist begegnen wir Mischungen, in denen ganze Wellenlängenbereiche in unterschiedlichen Stärken gleichzeitig vorkommen. Bei thermischen Strahlern (z.B. Glühlampe) verschiebt sich die am stärksten abgestrahlte Wellenlänge mit der Temperatur – je heißer desto blauer [3]. Darauf basiert das Konzept der Farbtemperatur (T ; Einheit: Kelvin = K), das auf die Spektren von Gasentladungs- und LED-Lampen aber nur bedingt anwendbar ist.
- **Polarisation**: Lichtwellen schwingen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Je stärker einzelne Schwingungsebenen dominieren, desto höher ist der Polarisationsgrad. In der Natur entsteht polarisiertes Licht durch Reflexion, Brechung oder Streuung.
- **Flimmern** bezeichnet die periodisch schwankende Lichtstärke von mit Wechselstrom betriebenen Lichtquellen. Oft folgen diese Helligkeitsschwankungen der Netzfrequenz (50 Hz), gehen bei Displays und elektronisch angesteuerten Lampen aber bis in den kHz-Bereich. Viele LEDs gehen pro Sekunde tausende Male komplett an und wieder aus. Bei den trägeren Glüh- und Gasentladungslampen gibt es dagegen nur deutlich kleinere Helligkeitsschwankungen.

Wie weit reicht die anziehende Wirkung von Lampen?

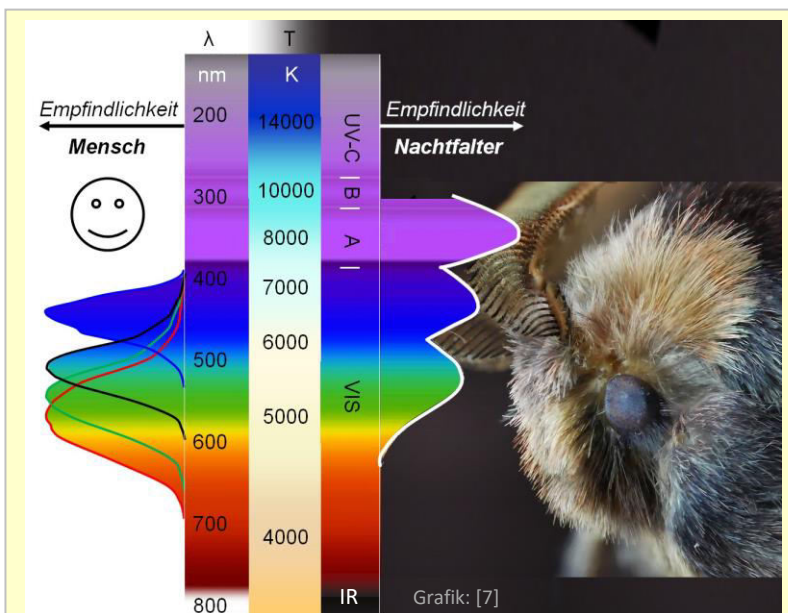
Das hängt von vielen Faktoren ab: Witterung, Umgebungshelligkeit (z.B. Mondlicht), Lampeneigenschaften etc. Es gibt Berichte über Anziehungsradien von hunderten Metern, was aber nur für Langstreckenflüge (z.B. bei migrierenden Arten) plausibel erscheint. Bei Aktivitäten im angestammten Habitat liegen die Flugstrecken im Meter-

Bereich. Für die Orientierung auf dieser Skala ist eine 50 m entfernte Lampe als Orientierungspunkt schon weit genug weg. Eine aktuelle Studie hat für Straßenlaternen einen mittleren Anziehungsradius von 23 m gefunden [4]. In diesem Entfernungsbereich saugt eine Lampe einen Teil der Insekten aber wie ein Staubsauger an und führt zu entsprechenden Verlusten. Effektiv vergrößert sich der Einflussbereich einer regelmäßig leuchtenden Lampe noch dadurch, dass ihr Insekten aus anderen Teilen des Habitats früher oder später nahe kommen. Eine beleuchtete Straße stellt bei gängigen Lampenabständen von 25 bis 45 m eine schwer überwindbare Barriere dar und trägt zur Habitatfragmentierung bei. Noch verheerender können einzelne Lampen sein, die Wanderrouen (z.B. entlang von Flüssen) blockieren.

Ursache des Insektensterbens? Insekten haben oft eine auf vielen Nachkommen beruhende Vermehrungsstrategie, die hohe Individuenverluste einkalkuliert. Problematisch an Kunstlicht dürfte daher vor allem die de facto Verkleinerung, Zerstückelung und Verschlechterung von Habitaten sein. Lichtsmog ist zwar keine Hauptursache des aktuellen Insektensterbens, trägt neben flächigem Nährstoffüberschuss, intensiver Nutzung, Versiegelung, Pestiziden, invasiven Arten, Klimawandel und weiteren Ursachen aber dazu bei. Es besteht dringender Forschungsbedarf, wie stark unterschiedliche Insektenarten durch Kunstlicht

Pflanzen

Der wichtigste Einfluss von Kunstlicht auf Pflanzen ist indirekt: Viele Pflanzen sind für



Wahrnehmung von Licht

Am Boden ankommendes Sonnenlicht hat im Durchschnitt das Intensitätsmaximum bei einer Wellenlänge von $\lambda \approx 520$ nm (grünlich), was einer Schwarzkörperstrahlung von ca. $T = 5500$ K entspricht. Dem sind die drei Farbrezeptoren des menschlichen Auges angepasst. Die für Dämmerungsehen zuständigen Rezeptoren sind bei 498 nm (grün/blau) besonders empfindlich. Eine dritter Rezeptortyp fungiert als Taktgeber unserer inneren Uhr. Bei Insekten sind die Empfindlichkeiten der Rezeptoren artabhängig, generell aber zu kürzeren Wellenlängen verschoben. Einige Arten haben aber auch Rotrezeptoren. Schmetterlinge sehen besonders gut im UV-A.

Im Gegensatz zum Menschen können manche Tiere (z.B. Insekten) Polarisation gut wahrnehmen. Bei kurzen Wellenlängen ist der Polarisationsgrad von Streulicht besonders hoch, was Insekten zur Orientierung nutzen. Weiterhin haben z.B. Blüten, Früchte und die Tiere selbst spezifische Muster, die nur im UV sichtbar sind [10].

Das zeitliche Auflösungsvermögen des menschlichen Auges (Flimmerverschmelzungsfrequenz) ist mit unter 80 Hz etwa dreimal kleiner als bei Insekten. Unter bestimmten Bedingungen können Menschen aber Flimmern bis über 2 kHz wahrnehmen [11, 12].

gefährdet sind und welche Effekte am wichtigsten sind. In einer Studie wurden 20% der langfristigen Veränderungen in der Nachtfalterhäufigkeit durch Lichtverschmutzung begründet [6].

die Bestäubung auf Insekten angewiesen und deren Bestäubungsleistung wird gestört.

Für die Bestäubung haben sich verschiedenste Strategien entwickelt, von Generalisten bis hin zu hochspezialisierter Co-Evolution. Die möglichst verlustarme Weitergabe von Pollen innerhalb der eigenen Art dürfte eine Triebkraft für die Ausbildung der Vielfalt an Blütenformen und -farben sein. Ein Teil der Pflanzenarten ist auf nachtaktive Insekten spezialisiert und deren Wegbleiben kann nicht durch tagaktive Bestäuber ausgeglichen werden. Beispielsweise fand eine Studie an beleuchteten Standorten eine ver-

Vögel

Tagaktive Vögel werden in der Nähe von Lampen beim Schlaf gestört. Einige Arten migrieren nachts und können die Orientierung verlieren - mit tödlichen Folgen.

Vor allem lernen Vögel aber schnell, am Morgen gezielt an Lampen nach Insekten zu

Fledermäuse

Unsere einheimischen Arten ernähren sich ausschließlich von Insekten und sind nachtaktiv. Auf Licht reagieren sie unterschiedlich: zum Beispiel Hufeisennasen und Mausohren meiden Licht und ziehen sich aus beleuchteten Gebieten zurück. Zwergfledermäuse dagegen jagen gezielt an Lampen [\[15\]](#). Allerdings wird kurzfristig leichte Beute mit einer langfristigen Verminderung des Nahrungsangebotes erkaufte.

Alle europäischen Fledermausarten meiden Licht beim Trinken, in ihren Tag- sowie Winterquartieren [\[15\]](#). Insbesondere orientieren sie sich an der Umgebungshelligkeit, um artabhängig den optimalen Zeitpunkt für den Beginn ihrer nächtlichen Aktivität abzu-

minderte Artenvielfalt von Nachtfaltern, die auch weniger Pollen und von weniger Pflanzenarten tragen [\[13\]](#). Daher ist es nicht verwunderlich, dass unter Beleuchtung eine deutlich reduzierte Samenbildung beobachtet wird [\[14\]](#). Überraschend ist die Beobachtung, dass auch die Populationen tagaktiver Bestäuber (z.B. Wildbienen, Tagfalter) unter der nächtlichen Beleuchtung leiden. Koppungen zwischen Tag- und Nacht-Bestäubungs-Netzen geben nächtliche Störungen offenbar weiter [\[14\]](#).

suchen. Das kommt einem erhöhten Predationsdruck gleich, wodurch sich Räuber-Beute-Beziehungen verschieben. Die Insektenpopulationen werden insgesamt dezimiert, was auf längere Sicht auch für die Räuber nachteilig ist.

passen. Fliegen sie zu früh los, setzen sie sich Räubern aus oder ihre bevorzugte Beute fliegt noch nicht. Fliegen sie zu spät los, verpassen sie das Aktivitätsmaximum der Beuteinsekten. Über den Einfluß verschiedener Lichtfarben auf Fledermäuse ist wenig bekannt. Es gibt zwar Hinweise darauf, dass rotes Licht noch am wenigsten stört [\[16\]](#). In Fledermausquartiere sollte vorsichtshalber aber möglichst gar kein Kunstlicht eindringen.

Es wird angenommen, dass Kunstlicht nach intensiver Landwirtschaft die zweitstärkste Beeinträchtigung von Fledermauslebensräumen darstellt [\[15\]](#).

Mensch

Die nächtliche Ausschüttung des Schlafhormons Melatonin -und damit der Schlaf- wird durch Licht gestört. Melatonin ist ein starkes Antioxidans. Es hilft bei der nächtlichen Regeneration auf Zellebene und beugt somit z.B. auch vor verschiedenen Krebserkrankungen vor [17]. Lange galt bläuliches Licht als besonders kritisch, weshalb bei Bildschirmen mit Abendmodus Blaufilter eingesetzt werden. Eine neue Studie kommt allerdings zu dem Ergebnis, dass für den schlafstörenden Effekt von Licht weniger die Farbe, sondern eher die Helligkeit entscheidend ist [18].

Wahrnehmbares Flimmern wirkt ermüdend und kann Kopfschmerz verursachen [12], zu den Auswirkungen auf Tiere besteht aber noch Forschungsbedarf. LEDs können einerseits besonders stark flimmern, profitieren andererseits aber oft von hohen Betriebsfrequenzen.

Besonders die Astronomie ist negativ von der Aufhellung des Nachthimmels betroffen [19]. Die Betrachtung des Sternenhimmels - eines der ältesten Kulturgüter der Menschheit- ist vielerorts kaum noch möglich.

Den negativen Aspekten steht der Gewinn an Sicherheit durch Beleuchtung entgegen. Dabei wird überwiegend nur das Gefühl von Sicherheit erhöht, was Angsträume reduziert und nächtliche Aktivitäten im öffentlichen Raum attraktiver macht. Bei der Frage,

ob es tatsächlich einen Zusammenhang zwischen Außenbeleuchtung und Straftaten gibt, ist die Studienlage hingegen uneindeutig [20, 21, 22]. Entscheidend dürfte die Wahrnehmbarkeit der Umgebung sein und die ist bei künstlicher Beleuchtung mit starken Hell-Dunkel-Kontrasten schlechter als bei schwächerer, aber gleichmäßiger Ausleuchtung (z.B. mit Mondlicht). Ein positiver Effekt von Straßenbeleuchtung auf die Verkehrssicherheit ist auch nicht nachgewiesen [21]. Möglicherweise wird die bessere Einsehbarkeit der Straße durch riskantere Fahrweise und Blendung aufgewogen.

Lampenformen



Günstige und weniger günstige Lampenformen (Grafik ©Lucía García - *Cities at Night*). Selbst die am besten abgeschirmte Lampe stört aber immer noch die Organismen im Leuchtkegel. Deshalb sollten Lampen nur dort installiert werden und nur dann leuchten, wenn es unbedingt nötig ist. Außerdem gilt: Je tiefer die Lampe angebracht ist, desto besser.

Es gilt, einen guten Kompromiss zu finden – sowohl bei der Menge an Beleuchtung als auch deren Art. Rötliche Lichtfarben haben nicht nur geringere Auswirkungen auf die Umwelt, sondern erlauben auch eine bessere Dunkeladaption des Auges und verringern somit Blendeffekte.

Empfehlungen für umweltfreundliche Beleuchtung

1. Licht nur dort, wo es unbedingt nötig ist

- Außenbeleuchtung wo möglich vermeiden
- gezielte Lichtlenkung durch Reflektoren und abgeschirmte Leuchtentypen
- seitlichen Lichtaustritt vermeiden
- Streulicht vermeiden, keine Gebäudewände anstrahlen
- bewusst dunkle Bereiche schaffen, bevorzugt in von Insekten bevorzugten Habitaten und an Übergängen zur freien Landschaft

2. Licht nur dann, wenn es unbedingt nötig ist

- Beleuchtungsdauer begrenzen: Halbnacht- oder Reduzierschaltung
- Lampen mit Bewegungsmeldern schalten

3. Nur so viel Licht, wie unbedingt nötig ist

- Lichtstärke auf das absolut nötige Minimum reduzieren

4. Warmes Licht

- UV-, kaltweißes und neutralweißes Licht vermeiden
- Wellenlängen unter 540 nm und Farbtemperaturen über 2700 K sind tabu
- LED-Lampen in "amber" oder "warmweiß" sind am umweltverträglichsten
- Vorsicht! Die auf Leuchten angegebene Lichtfarbe ist nur bedingt aussagekräftig, da oft in einem breiten Spektralbereich emittiert wird. Letztlich hilft nur ein Blick auf's Spektrum, sofern dieses angegeben ist.

5. Lampenkonstruktion

- nur nach unten leuchten, nie nach oben
- Lampen so tief wie möglich anbringen
- Insekten sollten sich nicht in der Lampe verfangen können
- geringe Oberflächentemperatur



Text: Klaus Gottschaldt

Quellen

- [1] Kyba et al. (2017): Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. – *Science Advances*, 3(11), e1701528, doi: 10.1126/sciadv.1701528, <https://advances.sciencemaq.org/content/3/11/e1701528>
- [2] Voith & Hoiß (2019): Lichtverschmutzung – Ursache des Insektenrückgangs? – *ANLiegen Natur* 41(1): 57–60, Laufen, www.anl.bayern.de/publikationen
- [3] https://de.wikipedia.org/wiki/Wienschens_Verschiebungsgesetz - abgerufen am 06.09.2020
- [4] Degen et al. (2016): Street lighting: sex-independent impacts on moth movement. – *Journal of Animal Ecology*, 85(5), 1352-1360, <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12540>.
- [5] Owens et al. (2020): Light pollution is a driver of insect declines. – *Biological Conservation*, 241, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>
- [6] Wilson et al. (2018): A role for artificial night-time lighting in long-term changes in populations of 100 widespread macro-moths in UK and Ireland: a citizen-science study. – *Journal of Insect Conservation*, 22,189-196, <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0052-1>.
- [7] Die Empfindlichkeitskurven für die Rezeptoren eines Nachtfalterauges orientieren sich an [8], die des menschlichen Auges an [23]. Einige Insektenarten haben zusätzlich Rezeptoren für rotes Licht [9]. Beim Mensch sind insbesondere die Blau-Rezeptoren nicht gleichmäßig im Auge verteilt und die Kurven wurden daher einzeln auf das jeweilige Maximum normiert. Foto: Klaus Gottschaldt
- [8] Brehm (2017): A new LED lamp for the collection of nocturnal Lepidoptera and a spectral comparison of light-trapping lamps. – *Nota Lepidopterologica* 40(1): 87-108. <https://doi.org/10.3897/nl.40.11887>
- [9] Briscoe & Chittka (2001): The evolution of color vision in insects. – *Annu. Rev. Entomol.*, 46, 471-510.
- [10] <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/ultraviolettsehen/68403> – abgerufen am 06.09.2020
- [11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Flimmerverschmelzungsfrequenz> – abgerufen 06.09.2020
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Flicker_fusion_threshold – abgerufen 06.09.2020
- [13] MacGregor et al. (2015): Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. – *Ecological Entomology*, 40(3), 187-198, <https://doi.org/10.1111/een.12174>.
- [14] Knop, E., Zoller, L., Ryser, R. et al. Artificial light at night as a new threat to pollination. – *Nature* 548, 206–209 (2017). <https://doi.org/10.1038/nature23288>
- [15] Schroer et al. (2019): Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen. – *BfN-Skripten* 543, <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript543.pdf>
- [16] Straka et al. (2020): The effect of cave illumination on bats. – *Global Ecology and Conservation*, 21, e00808, <https://doi.org/10.1016/i.gecco.2019.e00808>
- [17] Mohar et al. (2014): Nature-friendlier lighting of objects of cultural heritage (churches). – *Brochure, issued by Dark-Sky Slovenia*, http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LifeatNight_Recommendations_EN.pdf – abgerufen am 07.09.2020
- [18] Mouland et al. (2019): Cones support alignment to an inconsistent world by suppressing mouse circadian responses to the blue colors associated with twilight. – *Current Biology*, 29(24), 4260-4267, <https://doi.org/10.1016/i.cub.2019.10.028>
- [19] <http://www.lichtverschmutzung.de/> – abgerufen am 07.09.2020
- [20] Atkins et al. (1991): The influence of street lighting on crime and fear of crime. – *Crime Prevention Unit paper no. 28, London: Home Office, ISBN 0 86252 668 X*, <https://www.celfosc.org/biblio/seguridad/atkins.pdf>
- [21] Steinbach et al. (2015): The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. – *J Epidemiol Community Health*, 69, 1118-1124, doi:10.1136/jech-2015-206012.
- [22] Chalfin et al. (2019): Reducing crime through environmental design: Evidence from a randomized experiment of street lighting in New York City. – *National Bureau of Economic Research (NBER) working paper no. 25798*, doi: 10.3386/w25798, <http://www.nber.org/papers/w25798>
- [23] https://en.wikipedia.org/wiki/Cone_cell & https://en.wikipedia.org/wiki/Rod_cell – abgerufen am 06.09.2020
- [24] Grafik: Regine Lüdiger, Klaus Gottschaldt, Alex Fu (pexels)

Weitere Informationen

- [\[15\] Leitfaden des Bundesamtes für Naturschutz zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen](#): Detailliertes (knapp 100 Seiten) Dokument mit fundierten Informationen zu den Auswirkungen künstlichen Lichtes, Rechtlichem und Handlungsempfehlungen.
- [Patent der Nacht](#) - Ein Projekt zur Eindämmung der Lichtverschmutzung: Hier kann man selbst aktiv werden. Die Webseite ist eine Fundgrube für detaillierte Informationen zu verschiedensten Aspekten des Themas. (www.paten-der-nacht.de)