

Lichtverschmutzung und die Folgen für Ökosysteme und Biodiversität

Franz Hölker

1. Einleitung

Die überwiegende Zahl der Organismen – Pflanzen, Tiere und Mensch – hat sich im Laufe der Evolution an den täglichen Wechsel von Hell und Dunkel angepasst. Zeiten der Nahrungssuche, Wanderung oder Ruhe wurden ebenso darauf ausgerichtet wie Zeiten der Partnersuche und Fortpflanzung. Erst vor rund 100 Jahren begann der Mensch seine Umwelt künstlich zu beleuchten. Durch die nächtliche Beleuchtung sind viele Organismen mit Lebensbedingungen konfrontiert, auf die sie sich evolutionsbiologisch noch gar nicht haben einstellen können. Die rasante weltweite Zunahme in den vergangenen Jahrzehnten sowie der weltweite Trend zu weißerem Licht hat viele Nachtlandschaften grundlegend verändert (Hölker et al. 2010a) – und das mit zum Teil gravierenden Folgen für Ökosysteme und Biodiversität.

2. Wirkung nächtlicher Beleuchtung auf die Biodiversität

30 Prozent aller Wirbeltiere und mehr als 60 Prozent aller Wirbellosen sind heute nachtaktiv (Hölker et al. 2010b). Durch Ausbildung hochentwickelter Sinne haben sie sich an die Schwachlichtbedingungen der Nachtnische anpassen können. Ein zu hohes Lichtniveau kann zur Blendung, Desorientierung und Abschreckung führen. Aber auch Faktoren wie Farbspektrum, Zeitpunkt und Dauer der Beleuchtung sowie die Abstrahlungsgeometrie spielen eine Rolle bei der Wirkung nächtlicher Beleuchtung auf die biologische Vielfalt.

Viele Tierarten nehmen Bereiche des Lichtspektrums wahr, die für den Menschen teilweise unsichtbar sind. So reagieren zahlreiche Insekten, Krebse und Fische auf Licht im ultravioletten Bereich. Abgesehen von Natriumdampf-Niederdrucklampen und LEDs senden fast alle gängigen im Außenbereich verwendeten Lampentypen Licht in diesem Spektralbereich aus. Einige Fisch-, Krebs- und Vogelarten sowie einige wenige Insektenarten haben dagegen eine hohe Augenempfindlichkeit im orange-roten Spektralbereich, in dem nahezu alle Leuchtmittel – insbesondere Natriumdampflampen – Licht emittieren. Welcher Lampentyp auch verwendet wird – stets gibt es eine spektrale Überstimmung der Lichtemission mit der Augenempfindlichkeit einiger Tierarten. Die meisten Arten haben innere Uhren entwickelt, die durch die Wahrnehmung des natürlichen Tag-Nacht-Zyklus synchronisiert werden. Sie spielen eine Schlüsselrolle für Stoffwechsel, Wachstum und Verhalten. Zur Wahrnehmung des natürlichen Tag-Nacht-Zyklus gibt es etwa in der Netzhaut von höheren Wirbeltieren Lichtsensoren, die die so genannte „Master Clock“ täglich „stellen“. Diese wiederum synchronisiert die vielen inneren Uhren mit der Umwelt. Der wichtigste Taktgeber dabei ist eine eindeutige Wahrnehmung des täglichen Wechsels von Hell und Dunkel (siehe Beiträge Bromundt, Knab), die bei höheren Wirbeltieren vor allem durch nächtliches Licht im kurzwelligen blauen Spektralbereich gestört wird. Je nach spektraler Zusammensetzung des künstlichen Lichts können so physiologische Reaktionen und Verhaltensantworten hervorgerufen werden, die sich negativ auf Nahrungssuche, Paarungs- und Wanderverhalten sowie Fortpflanzungserfolg und Fitness auswirken (Navara and Nelson 2007). Derzeitig werden zunehmend Gasentladungsröhren mit einem relativ schmalen Spektralband durch weißes Licht ersetzt. Dies lässt befürchten, dass die flächendeckende Erhöhung der spektralen Bandbreite auch eine Erhöhung der Bandbreite möglicher Auswirkungen auf Organismen bewirkt (Gaston et al. 2012).

Die nächtliche Beleuchtung stört ferner die Wahrnehmung wichtiger Signale, mit Hilfe derer sich nachtaktive Tierarten wie beispielsweise einige Käfer, Nachtfalter, Grillen und Spinnen

orientieren. In klaren, mondbeschienenen Nächten erstreckt sich ein für das menschliche Auge unsichtbares Muster polarisierten Lichts wie ein Kompass über den Himmel. Lichtglocken über Großstädten, die durch Streuung und Reflektion des nach oben abgestrahlten Lichts entstehen (Kyba et al. 2011a), können bewirken, dass die Tiere dieses Signal über weite Flächen nicht mehr wahrnehmen und zur Orientierung verwenden können (Kyba et al. 2011b).

Lichtverschmutzung bedroht die Artenvielfalt

Sowohl die Lichtglocken einer Stadt aber auch punktuelle Lichtquellen wie Straßenlampen oder beleuchtete Hochhäuser, Sky-Beamer und illuminierte Brücken können das Verhalten und die Physiologie von Organismen negativ beeinflussen. Beispiele dafür gibt es viele:

- *Zugvögel* werden durch beleuchtete Hochhäuser oder Sky-Beamer irritiert (Beitrag Haupt).
- *Wanderfischarten* wie Lachs oder Aal setzen ihre Wanderung an illuminierten Brücken zeitweise nicht fort. Die Tiere verlieren dadurch wertvolle Zeit und verschwenden Energie, die ihnen eventuell nicht mehr zum Erreichen des Zielorts und für eine erfolgreiche Fortpflanzung zu Verfügung steht (siehe Beitrag Brüning und Hölker).
- Frisch geschlüpfte *Meeresschildkröten* halten die glitzernde Küstenpromenade für die sich im Meer spiegelnden Sterne und den Mond und finden nicht den Weg ins schützende Meer (Rich and Longcore 2006).
- *Bäume* werfen unter nächtlicher Beleuchtung ihre Blätter später ab. Durch die verspätete Vorbereitung auf den Winter können Frostschäden auftreten (Rich and Longcore 2006).
- Milliarden von *Insekten* verlassen ihren eigentlichen Lebensraum und können dort nicht mehr der Nahrungs- und Partnersuche nachgehen. Man spricht von einem „Staubsaugereffekt“ (siehe Beitrag Eisenbeis). Die desorientierten Insekten werden zur leichten Beute anderer Tiere oder sterben bei Kollisionen oder durch Erschöpfung.

Nächtliche Beleuchtung kann so zu einem lokalen Artenverlust führen und die Einwanderung ortsfremder Arten (Neozoen) begünstigen. Die Auswirkungen auf die Artenvielfalt sind bislang jedoch noch nicht quantifizierbar, werden voraussichtlich aber nicht unbeträchtlich sein.

Einfluss auf evolutionäre Prozesse

Künstliches Licht in der Nacht kann wichtige Selektionsfaktoren beeinflussen. Manch städtisches Amsel- oder Meisenmännchen beginnt bei künstlichem Licht früher zu singen (siehe Beitrag Helm und Partecke). Normalerweise haben Frühaufsteher bei der Paarung die besten Chancen, da sie als Partner Qualität versprechen. Wenn aber ein Irrläufer zu einem begehrten Liebhaber wird, gerät die natürliche Selektion durcheinander (Kempenaers et al. 2010). Die Nacht hat zudem bei der Artentwicklung eine große Bedeutung als ökologische Nische (Hölker et al. 2010b). Zu Zeiten der tagaktiven Dinosaurier war beispielsweise das Leben in der Nacht sehr viel sicherer. Dies führte dazu, dass fast alle damaligen Säugetiere auf die Nacht auswichen. Erst nach dem Aussterben der Dinosaurier wurde die Tagesnische gefahrloser, und es entwickelten sich mehr und mehr tagaktive Säugetiere. Durch die zunehmende künstliche Beleuchtung ist jedoch die Nacht als ökologische Nische bedroht. Es ist davon auszugehen, dass die genetische Zusammensetzung von Populationen durch einen lichtinduzierten Selektionsdruck eher lichtunempfindliche Genotypen begünstigt und lichtempfindliche Arten zumindest lokal verloren gehen, insbesondere in stark beleuchteten städtischen Gebieten oder deren Nähe. Einige Arten können sich möglicherweise evolutionär an die neue Lichtsituation anpassen – oder haben es bereits getan.

3. Wirkung nächtlicher Beleuchtung auf Ökosysteme

Nicht nur der Mensch, auch andere tagaktive Tierarten machen sich die hell erleuchtete Nacht zum Tage: Tagaktive Räuber wie Fische erhöhen so den Fraßdruck auf nachtaktive Arten

oder konkurrieren mit ihnen um Nahrung oder Lebensräume. Verschwinden dadurch Arten, fehlt anderen Tieren die Nahrungsgrundlage. Einige Tiere haben gelernt, Nutzen aus der Beleuchtung zu ziehen, denn die hohen Dichten an angelockten und desorientierten Insekten stellen ein reichhaltiges Nahrungsangebot dar. Spinnen bauen ihre Netze direkt vor die Lichtquellen, einige Fledermausarten umschwirren gezielt Laternen (Beitrag Lewanzik und Voigt) und Geckos sitzen zur Jagd auf der Beleuchtung. Durch nächtliche Lichteinwirkung können so Nahrungsnetze verzerrt werden und Ökosysteme geraten aus dem Gleichgewicht (Abb. 1).

Gewässer stellen dabei besonders sensible und schützenswerte Systeme dar. Zum einen konzentriert sich künstliches Licht in der Nacht vor allem auf menschliche Siedlungen, die bevorzugt entlang von Gewässern liegen, zum anderen ist die Übergangszone zwischen Wasser und Land ein besonders artenreicher Lebensraum. Unter den dort lebenden Fischen, Amphibien, Vögeln, Fledermäusen und Insekten gibt es eine Vielzahl gefährdeter Arten.

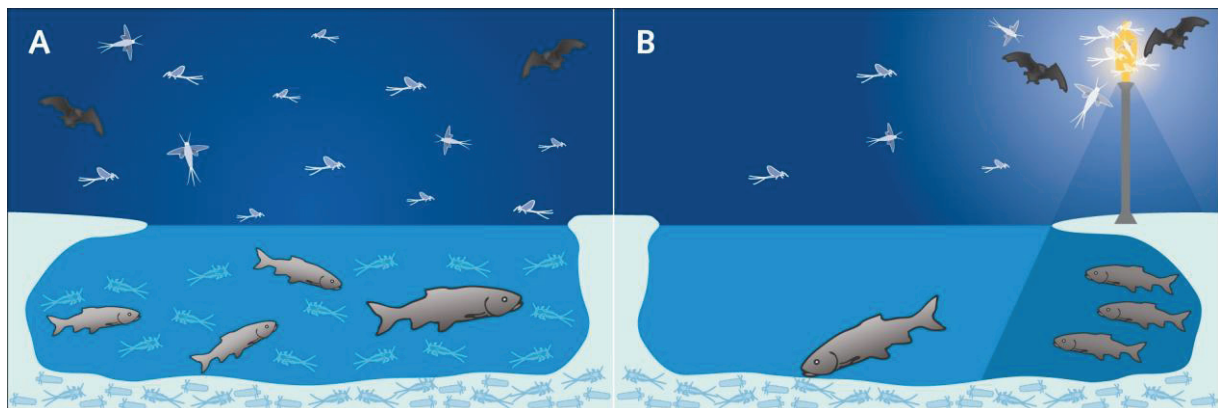


Abbildung 1: Mögliche Auswirkungen von künstlichem Licht an einem Fließgewässer

Natürliche Nacht (A), das gleiche System künstlich beleuchtet (B). Bei nächtlicher Beleuchtung suchen kleine Fische Schutz, große Fische verbleiben im Freiwasser und sind durch Beleuchtung in der Lage, nachts frei driftende kleine Gewässerorganismen wie Insektenlarven oder Bachflohkrebse zu fressen. Als Folge überleben Gewässerorganismen, die weniger driften und sich verstecken. Einige Fledermausarten und Spinnen profitieren von desorientierten Insekten im Bereich der Straßenbeleuchtung. Diese fehlen Fischen und Vögeln als Nahrungsgrundlage.

Quelle: Perkin et al. (2011)

Das Zuviel an künstlichem Licht wirkt sich mehr und mehr auf die Ökosystemleistungen aus (Hölker et al. 2010b) mit vielfältigem Nutzen für die Menschen. Betroffen sind nicht nur bereitstellende Ökosystemleistungen, etwa durch einen Verlust von lichtempfindlichen Arten und Genotypen oder der Beeinträchtigung von Lebensräumen für Pflanzen und Tiere. Es steht zu befürchten, dass selbst regulierende Ökosystemleistungen beeinträchtigt werden, z.B. durch den Rückgang nächtlicher Bestäuber, wie Nachtfalter oder Fledermäuse. Auch kulturelle Ökosystemleistungen werden beeinträchtigt. Hierzu zählt der kulturelle Wert einer dunklen Nacht sowie die Sichtbarkeit von Milchstraße und Sternbilder (siehe Beitrag Hänel).

4. Was muss geschehen?

Zum Schutz von Ökosystemen und Biodiversität ist ein nachhaltiges Beleuchtungsmanagement erforderlich. Dazu ist es wichtig, sowohl den räumlichen Zusammenhang (Grünfläche, Uferzone, Innenstadt, Wohngebiet) als auch den zeitlichen Kontext (Jahreszeiten, Beleuchtungsbedarf im Nachtgang) zu berücksichtigen (siehe Beitrag Held und Hölker). So könnte beispielsweise während der Wanderzeiten von lichtsensitiven Vögeln und Fischen auf eine störende Gebäude- und Brückenanstrahlung weitestgehend verzichtet werden. Wichtige Ansatzpunkte für eine nachhaltigere Beleuchtung sind:

- *Kontextspezifische Beleuchtung*: In naturnahen Räumen müssen andere Kriterien zum Schutz von lichtempfindlichen Arten und Ökosystemen zugrunde gelegt werden als in zentralen urbanen Bereichen oder Wohnsiedlungen, in denen es gilt, vorrangig den Schlaf des Menschen zu schützen.
- *Lichtstärke*: Es müssen dringend Schwellenwerte festgelegt werden. Erst wenn man weiß, wie viel Licht notwendig und zumutbar ist, kann eine optimale Beleuchtung für unterschiedliche raumzeitliche Kontexte entwickelt werden. Bei der bisher üblichen Lichtplanung, wird meist nur von Untergrenzen ausgegangen, wie beispielsweise in der Straßenbeleuchtung gemäß DIN 13201. Obergrenzen werden kaum berücksichtigt.
- *Farbspektrum*: Es gilt, Lampen mit maßgeschneiderten Spektren zu entwickeln. Grundlage dafür sind Informationen über spektrale Empfindlichkeiten und maßgebliche Dosen der Lichteinwirkung für die zu schützenden Organismen. Nach bisherigem Wissensstand ist kalt-weißes Licht mit einem hohen UV- und Blauanteil in naturnahen Räumen nicht zu empfehlen (Gaston et al. 2012, siehe Beitrag Eisenbeis). Auch eine Variation der spektralen Verteilung künstlichen Lichts während des Nachtgangs scheint zweckmäßig zu sein.
- *Zeitpunkt und Dauer der Lichteinwirkung*: Nachhaltige Beleuchtung benötigt eine zeitliche Steuerung. In lichtökologisch sensiblen Gebieten wie in Stadtparks, an Uferwegen, straßenunabhängigen Wegen oder außerhalb von Ortschaften sollte in Phasen mit geringem Fußgänger- und Verkehrsaufkommen (zum Beispiel nach Mitternacht) keine oder eine nur geringe Beleuchtung (z.B. Orientierungsleuchten) eingesetzt werden.
- *Abstrahlungsgeometrie*: Das Ziel sollte sein, nur das zu beleuchten, was beleuchtet werden soll. Der Anteil des von den Leuchten in den oberen Halbraum abgestrahlten Lichts (*Upward Light Ratio*, ULR) sollte null Prozent betragen (siehe Beiträge Posch, Lang).

Der Verlust der Nacht hat wahrscheinlich deutliche, wenn auch bisher von Wissenschaft und Gesellschaft fast vollständig übersehene Folgen für Ökosysteme und Biodiversität. Damit neue Richtlinien und Schwellenwerte akzeptiert und umgesetzt werden können, muss das Wissen um die vielfältigen Schattenseiten künstlicher Beleuchtung ins Bewusstsein der Öffentlichkeit gelangen. Es ist daher dringend erforderlich, Politikentwicklung und strategische Planung zu informieren, Forschung zu priorisieren und nachhaltige Beleuchtungskonzepte zu entwickeln. Dabei sollten in Zukunft neben den Sicherheits- und Gestaltungsanforderungen an die Beleuchtung auch die ökologischen Schutzgüter berücksichtigt werden.

Literatur

- Gaston KJ et al. (2012): Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *J Appl Ecol* 49: 1256-1266.
- Hölker F et al. (2010a): The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecol Soc* 15(4): 13. <http://www.ecolgyandsociety.org/vol15/iss4/art13/>
- Hölker F et al. (2010a): Light pollution as a biodiversity threat. *Trends Ecol Evol* 25: 681-682.
- Kempnaers B et al. (2010): Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Cur Biol* 20: 1735-1739.
- Kyba CCM et al. (2011a): Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE*, 6(3): e17307, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0017307>.
- Kyba CCM et al. (2011b): Lunar skylight polarization signal polluted by urban lighting. *J Geophys Res* 116: D24106.
- Navara KJ, Nelson RJ (2007): The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research* 43: 215-224.
- Perkin EK et al. (2011): The influence of artificial light on freshwater and riparian ecosystems: Questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere* 2(11): 122. <http://dx.doi.org/10.1890/ES11-00241.1>
- Rich C and Longcore T (Hg.) (2006): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Covelo, California.