

2.7 Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf die Biodiversität

SIBYLLE SCHROER

Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf die Biodiversität: Während Luft-, Lärm- oder Gewässerverschmutzung seit Jahrzehnten als ökologisch und gesundheitlich relevante Themen wissenschaftlich untersucht werden, befindet sich Lichtverschmutzung mit ihren ökologischen Auswirkungen nach wie vor »im Dunkeln«. Lichtverschmutzung ist künstliches Licht in der Nacht, welches übermäßig, oder fehlgeleitet, über den Nutzungsraum hinaus strahlt, sich durch Reflektion an atmosphärischen Teilchen streut und in Lichtglocken über unseren Städten akkumuliert. Seit der Erfindung elektrischer Außenraumbelichtung vor etwas mehr als 100 Jahren hat die Erhellung von Nachlandschaften rasant zugenommen und diese grundlegend verändert. Die Folgen dieser Verschmutzung für ökologische Nischen, in die sich Organismen evolutionär angepasst haben, sind heute noch nicht vollständig untersucht. Eine chronische Veränderung des natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus kann zu saisonalen Verschiebungen, zur Schwächung des Immunsystems oder zum Verschwinden lichtsensibler Arten führen. Mehr und mehr Studien weisen Verhaltensänderungen einzelner Arten durch künstliches Licht in der Nacht nach, welche sich auf die Biodiversität auswirken können.

Impact of Light Pollution on the biodiversity: While issues like air, noise or water pollution are scientifically studied since decades as environmental and health-related matters, remains light pollution and its ecological impact still "in the dark". Light pollution is excessive, misdirected or obtrusive artificial light at night which radiates beyond its area of use, which is scattered by reflection from atmospheric particles and accumulates in skyglow above our cities. Since the invention of electric exterior lighting slightly more than 100 years ago, the illumination of nightscapes has increased rapidly and changed them fundamentally. The effects of the pollution of natural light on ecological niches, in which organisms have evolutionary adapted, are today not yet studied in full. Chronic changes in the natural day-night rhythm can lead to seasonal shifts, damage the immune system or cause the disappearance of light-sensitive species. More and more studies reveal behavioral changes of individual species by artificial light at night, which may affect biodiversity.

Licht ist eines der wichtigsten Signale für das Leben auf unserem Planeten, welches sich evolutionär an den 24-Stunden Tag-Nacht-Rhythmus und den saisonalen Takt der Sonne angepasst hat. Die Jahreszeiten stellen unterschiedliche Anforderungen an Pflanzen und Tiere. Zum Überleben und Vermehren müssen saisonale Veränderungen frühzeitig erkannt und Körperfunktionen sowie Verhalten darauf eingestellt werden. Das Signal Licht ist dabei ein dominanter Faktor, z.B. für die Paarung, um sicherzugehen, dass der Nachwuchs aufwächst, wenn ausreichend Futterangebot vorhanden ist, für den Laubabwurf bei Pflanzen, um das Gewebe vor hereinbrechenden Frösten zu schützen, oder für den Abzug wandernder Arten, bevor das Nahrungsangebot knapp wird. Auch der tägliche Rhythmus wird durch Licht gesteuert und leitet Aktivitäts- und Regenerationsphasen ein. Künstliches Licht kann dieses Signal des Tag-Nacht-Rhythmus verändern und sich damit auf die Biosphäre auswirken. Die Beeinflussung der Landschaften durch künstliches Licht nimmt jährlich um 3-6% zu (HÖLKER et al. 2010b). Eine wachsende Anzahl an Forschungen widmet sich daher dem Thema Lichtverschmutzung, um Schwellenwerte für die Gefährdung einzelner Populationen definieren zu können. In diesem Kapitel werden Verhaltensänderungen einzelner Arten durch künstliches Licht in der Nacht dargestellt, Methoden zur Messung der Himmelselligkeit sowie Empfehlungen für den Einsatz von Beleuchtung im Sinne des Artenschutzes. Denn Lichtverschmutzung ist ein Umweltproblem, das sich durch einfache Mittel und allgemeine Achtsamkeit erheblich reduzieren ließe (SCHROER & HÖLKER 2014).

Circadiane und saisonale Veränderungen

Anhand einer Blumenuhr demonstrierte CAROLUS LINNAEUS bereits 1751 das Öffnen unterschiedlicher Blüten zu einer bestimmten Tageszeit. Das Blühen der Pflanzen ist synchronisiert mit der Aktivitätszeit der Bestäuber und hilft die Konkurrenz um die Blütenbesucher zu mindern. Die Blüthenuhr umfasst 24 Stunden, manche Pflanzen laden speziell Nachtinsekten ein, welche zwar in geringerer Zahl zu Besuch kommen, dafür aber effizienter den Pollen transportieren (MACGREGOR et al. 2015).

Die Eigenschaften solcher endogener Rhythmen wurden an einer Vielzahl von Tieren, Pflanzen und Bakterien im Labor untersucht. Dabei zeigte sich, dass alle untersuchten Organismen Rhythmen unterliegen. Die prominentesten Rhythmen haben eine Periodenlänge von ungefähr 24 Stunden und heißen daher zirkadian (circa = ungefähr, dian = Tag). Zudem gibt es noch die kürzeren ultradianen Rhythmen (z.B. Verdauung oder Schlafzyklen), die längeren infradianen Rhythmen (z.B. Menstruationszyklus) und die zirkannualen oder saisonalen Rhythmen. Licht wirkt für all diese Rhythmen als Zeitgeber, der regelmäßig die innere Uhr stellt und damit alle Rhythmen untereinander und mit der Außenwelt synchronisiert.

Die unterschiedlichen Lichtphasen zu Tag, Nacht, Sonnen Auf- und Untergang bieten Nischen, an die Organismen ihre endogenen Rhythmen evolutionär angepasst haben. Durch künstliche Beleuchtung können diese Nischen verschoben werden (SCHROER & HÖLKER 2016). Es wurde beispielsweise nachgewiesen, dass urban le-

bende Vögel im Innenstadtbereich bis zu fünf Stunden früher aktiv werden als ihre Artgenossen in der städtischen Aue (NORDT & KLENKE 2013). Betroffen sind vor allem die Frühaufsteher unter den Singvögeln wie Rotkehlchen, Amsel und Kohlmeise (DE JONG et al. 2016).

Auch die saisonale Fruchtbarkeit kann sich bei sensiblen Singvogelarten um bis zu einen Monat verfrühen (KEMPENAERS et al. 2010). Eine ähnliche Verschiebung der Reproduktionszeit wurde bei Wallabys beobachtet, das sind kleine Kängurus in Australien. Sie wurden in Arealen untersucht, in denen sie entweder mit künstlicher Beleuchtung während der ganzen Nacht oder ohne Beleuchtung wild leben. Es wurde festgestellt, dass die saisonale Reproduktionszeit der Wallabys, welche unter natürlichen Bedingungen sehr exakten Zeitpannen unterliegt, sich in beleuchteten Lebensräumen verlängert (ROBERT et al. 2015). Auch bei Lachsen wurde durch Beleuchtung eine Verlängerung der Laichzeit festgestellt (RILEY et al. 2015). Solche Verschiebungen der Reproduktionsphase können die Synchronisierung in Ökosystemen stören und sich negativ auf die Populationen auswirken, z.B. wenn das Futterangebot nicht geeignet ist, oder wie bei den Lachsen, wenn der Druck durch Räuber zu hoch wird.

Diese Verschiebungen in circadianen und saisonalen Verhalten werden durch die Unterdrückung des Melatonins erklärt. Das Hormon wird vor allem in Dunkelheit gebildet und kann schon durch geringe Lichtintensitäten unterdrückt werden. Vor allem kurzwelliges Licht, der blaue Anteil des sichtbaren Lichtes, verhindert die körpereigene Bildung des Melatonins und stört damit zusammenhängende Stoffwechselprozesse wie die Immunabwehr, das Wachstum oder die Sexualreife (BONMATTI-CARRION et al. 2014, REITER et al. 2011).

Künstliches Licht - zwischen Anziehung und Abstoßung

Ein Drittel der Wirbeltiere sind nachtaktiv, dazu gehören alle Fledermausarten und fast alle Amphibien. Bei den Wirbellosen sind sogar zwei Drittel der bekannten Arten nachtaktiv (HÖLKER et al. 2010a). Eine mondlose Nacht ist 100 Millionen Mal dunkler, als ein sonniger Mittag. Die Sinnesorgane und Rezeptoren für Licht haben sich auf die individuellen bio- und chronotopischen Bedürfnisse eingestellt und die Kommunikation z.B. zwischen Räuber und Beute, zur Partnerfindung und Eltern-Nachwuchs Beziehungen, haben sich an die Lichtverhältnisse des Habitats evolutionär angepasst.

Durch künstliche Beleuchtung wurde bei unterschiedlichen Organismen eine Veränderung oder Unterbrechung der Kommunikation festgestellt. Weibliche Motten z.B. geben weniger und qualitativ schlechtere Zusammensetzungen ihres Anziehungsduftes für Männchen an die Umgebung ab (VAN GEFFEN et al.

2015). Auch die Balzrufe männlicher Frösche werden schwächer unter künstlicher Beleuchtung (BUCHANAN 2006). Glühwürmchen, welche auf Bio-Lumineszenz für ihre Kommunikation angewiesen sind, verschwinden gänzlich aus beleuchteten Gebieten, auch wenn sie nur schwach beleuchtet werden (HAGEN et al. 2015).

Motten fliegen zum Licht – das weiß jeder. Neuerdings wurde eine Barrierewirkung durch Straßenbeleuchtung auf die Ausbreitung von Motten nachgewiesen (DEGEN et al. 2016). Das heißt, die gewöhnlichen Abstände zwischen den Lampen sind oftmals geringer, als der Radius in dem Motten angezogen werden. Das Netz aus Straßenbeleuchtung zerschneidet auf diese Weise für die Nachtfalter Landschaften und bildet unüberwindbare Grenzen für ihre Aufgabe als nächtliche Bestäuber. Auch bei lichtsensiblen Fledermausarten wurden solche Barrierewirkungen nachgewiesen. Während schnell fliegende Fledermausarten oft die Anziehungskraft künstlicher Lichtquellen für ihren Jagderfolg nutzen, scheuen kleine und langsam fliegende Arten beleuchtete Areale. Je heller und weitläufiger ein erleuchtetes Gebiet ist, umso unwahrscheinlicher ist eine erfolgreiche Überquerung durch eine lichtsensible Fledermausart, z.B. die Zwergfledermaus (HALE et al. 2015).

Bei Flughunden wurde beobachtet, dass die Samen der von ihnen gefressenen Früchte nicht über die Barriere einer Straßenbeleuchtung transportiert wurden, was Auswirkungen auf die Vegetation nach sich ziehen kann (LEWANZIK & VOIGT 2014). Der fehlende Erfolg einer einheimischen Pflanze, sich in einem Gebiet zu vermehren, kann wiederum durch invasive Arten genutzt werden. Diese sogenannten Neophyten genießen oft einen ökologischen Vorteil, weil ihnen Konsumenten fehlen.

Auch Kleinstlebewesen unterliegen tageszeitlichen Rhythmen, welche durch Licht gesteuert werden. Wasserflöhe (Daphnien) beispielsweise suchen den Schutz der Dunkelheit, um ungesehen von Fressfeinden, Algen in höheren Gewässerschichten zu konsumieren. Die tageszeitliche Wanderung des Zooplanktons, kann schon durch geringes, indirektes Licht beeinflusst werden (MOORE et al. 2000). Lichtglocken, welche durch Streulicht über Städten entstehen, können wahrscheinlich noch weit über die Stadtgrenzen hinaus die Ökosystemleistung der Gewässerreinigung von Algen durch Zooplankton beeinträchtigen.

Wandernde Arten, z.B. Vögel und Fische, zeigen erstaunliche Orientierungseigenschaften bei ihren globalen Reisen. Noch sind die Mechanismen, welche hinter dem Orientierungssinn vieler wandernder Arten stecken, weitestgehend unerforscht. Bekannt ist, dass künstliches Licht in der Nacht Zugvögel von ihren Routen ablenkt und die Gefahr einer tödlichen Kollision mit Gebäuden ansteigt (LONGCORE et al. 2012).

Die beschriebenen Verhaltensänderungen einzelner Arten können sich kaskadenartig in Ökosystemen ausweiten und betreffen nicht nur nachtaktive Arten (BENNIE et al. 2015). Welchen Einfluss verschiedene Verhaltensänderungen auf die jeweiligen Populationen haben, ist sehr artspezifisch, und die Untersuchung der Auswirkungen auf Ökosysteme ein sehr wichtiger Forschungsbereich, um mögliche Maßnahmen zur Erhaltung der Biodiversität entwickeln zu können.

Messmethoden zur Bestimmung der nächtlichen Helligkeit

Anhand von geowissenschaftlichen Fernerkundungsdaten, mithilfe von Satelliten, werden global Daten über Umweltbedingungen und Klimaveränderungen aufgenommen. Auch die Lichter unserer Städte werden durch Satelliten-Aufnahmen erfasst, und Veränderungen können anhand dieser Bilder analysiert werden (Abb. 2.7-1).

Weiterhin kann die Umgebungshelligkeit anhand der Erkennbarkeit einzelner Sterne eingeschätzt werden. Schon vor 2000 Jahren hat der Grieche Hipparchos von Nicäa die Helligkeit von Sternen in Klassen eingeteilt. Astronomen bemessen die Leuchtdichte des Nachthimmels noch heute angelehnt an diese Methode mit der Einheit $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ (=Magnituden pro Quadrat-Bogensekunde). Diese Flächenhelligkeit ist das Verhältnis von scheinbarer Helligkeit und Fläche. Bezogen auf einen einzigen Stern wird die Helligkeit des Nachthimmels bewertet. Je höher die Werte desto dunkler der Himmel. Ein klarer, natürlicher Nachthimmel liegt bei über $21 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$, ein hell erleuchteter Stadthimmel kann bei $14 \text{ mag}/\text{arcsec}^2$ liegen. Die Einheit wird logarithmisch berechnet, ein Stadthimmel ist also hundertfach heller als ein natürlicher Nachthimmel. Weltweite Messungen der Himmelshelligkeit werden erst seit Mitte der 2000er Jahre durchgeführt, seitdem das »Sky Quality Meter« (SQM = Qualitätsmesser zur Bestimmung der Himmelshelligkeit) entwickelt wurde.

Der »Neue Weltatlas der Himmelshelligkeit« zeigt weltweit, welche Städte und Kontinente besonders von Lichtverschmutzung betroffen sind und in welchen Gegenden noch der natürliche Nachthimmel zu bewundern ist (FALCHI et al. 2016).

Möglichkeiten zum Schutz der Nacht

Anhand von Fernerkundungsdaten haben GASTON et al. (2015) eine künstliche Erhellung von über 30% in Naturschutzgebieten weltweit nachgewiesen. Schuld an dieser Erhellung ist nicht nur die Zunahme der Beleuchtungspunkte innerhalb der Gebiete, sondern auch die zunehmende Beeinflussung durch Beleuchtung von außerhalb. Eine allgemeine Achtsamkeit, um Lichtverschmutzung zu vermeiden, ist deshalb sehr wichtig für den Artenschutz.

Um Lebensräume für nachtaktive Arten zu schützen, sollte Außenraumbelichtung immer nach unten gerichtet sein und keinesfalls in die Horizontale oder gar gen Himmel abstrahlen. Eine geeignete Lichtlenkung minimiert das atmosphärische Streuvermögen des Lichtes und die Entstehung von Lichtglocken, welche über die Grenzen der Städte die Nacht erhellen (Abb. 2.7-2).

Weiterhin ist im Außenraum auf einen möglichst geringen Blaulichtanteil zu achten. Denn das zirkadiane System höherer Wirbeltiere wird vor allem durch diesen kurzwelligen Bereich des Lichtspektrums stimuliert. Die Menge an Blaulicht, welche von verschiedenen Leuchtmitteln an die Umgebung abgegeben wird variiert erheblich (Abb. 2.7-3). Die wegen ihrer Energieeffizienz hoch gelobte LED hat den Nachteil eines sehr deutlichen Blaulichtanteils. In qualitativ hochwertigen LEDs kann dieser Bereich gefiltert und wärmere Lichttemperaturen erzielt werden. Für Gebiete, welche wichtig für Wildtiere sind, werden gelb leuchtende Natriumdampflampen empfohlen, welche kein kurzwelliges Licht emittieren und dabei auch sehr ener-



Abb. 2.7-1: Satellitenaufnahme aus der Internationalen Raumstation (ISS) der Iberischen Halbinsel bei Nacht am 26.07.2014. Fotodarstellung mit freundlicher Genehmigung der Geowissenschaft- und Fernerkundungseinheit, NASA Johnson Space Center (ISS040-E-081320, <http://eol.jsc.nasa.gov>).



Abb. 2.7-2: Die Streuung des Lichtes im Außenraum nach KYBA & HÖLKER (2013) (Copyright C.C.M. Kyba 2010).

gieffizient sind. Ihr einziger Nachteil ist die schlechte Farbwiedergabe.

Eine Reduzierung der Außenlichtbeleuchtung auf ein Mindestmaß an Helligkeit, welche für die jeweilige Nutzung nötig ist, würde die negativen Auswirkungen erheblich minimieren. Eine zusätzlich zeitliche Abschaltung, oder das Dimmen der Straßenbeleuchtung nach Bedarf, spart Energie und verhilft nachtaktiven Arten zu natürlicheren Lichtverhältnissen. Für den Zugvogelschutz eignet sich beispielsweise schon eine Absenkung der Helligkeit nach Mitternacht, wenn sich die Vögel im Sinkflug befinden, und würde schon allein für die Monate März und Oktober während ihrer Wanderaktivität ausreichen.

Vor allem gewässernahe Gebiete und Grünflächen können sehr artenreich sein und zeichnen sich durch offene Flächen aus, über welche künstliches Licht weit strahlen kann. Diese Gebiete sind gleichzeitig auch begehrte Siedlungsgebiete. Hier ist vor allem der Schutz sensibler Nachttiere durch Beleuchtungsregelungen geboten. In den durch die »Internationale Dark Sky Assoziation« (IDA) zertifizierten Sterneparks wird ein solcher Schutz heute schon praktiziert. Innerhalb der deutschen Sterneparks, beispielsweise im Westhaveland, der Rhön und der Eifel werden Bestimmungen für den Erhalt der natürlichen Nachtlandschaft von allen Gemeinden unterstützt, moderne, abgeschirmte Beleuchtung installiert und die Straßenbeleuchtung, bzw. die der Denkmäler zeitlich begrenzt.

Zusammenfassung

Eine steigende Anzahl wissenschaftlicher Studien befasst sich mit den Auswirkungen künstlichen Lichtes

auf einzelne Arten, ihre Ökosysteme und das menschliche Wohlbefinden. Verhaltensänderungen einzelner Populationen können sich auf ganze Ökosysteme und Habitate auswirken mit Konsequenzen, welche nicht nur nachtaktive Organismen betreffen. In welchem Umfang verschiedenen Arten durch künstliches Licht direkt oder durch Verschiebungen in Ökosystemen beeinträchtigt werden, ist heute noch nicht gänzlich erforscht. Weil aber die Zunahme der globalen Helligkeit in der Nacht auch Naturschutzgebiete betrifft, ist ein bewussterer Umgang mit der Technologie Licht essentiell für den Artenschutz. Eine Anpassung der Lichtintensität an den erforderlichen Nutzen, eine Abschirmung der Strahlung und Lichtlenkung in den Nutzungsraum von oben nach unten gerichtet, sowie eine Reduzierung des Blaulichtanteils helfen nachtaktive Arten und ihre Lebensräume zu schützen und damit die Biodiversität zu fördern. Maßnahmen zur Reduzierung der Lichtverschmutzung sind in *Abb. 2.7-4* dargestellt.

Literatur:

- BENNIE, J., T. W. DAVIES, D. CRUSE, R. INGER, K. J. GASTON (2015): Cascading effects of artificial light at night : resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem. *Philos. Trans. R. Soc. London B*, 370 , p.20140131.
- BONMATI-CARRION, M. A., R. ARGUELLES-PRIETO, M. J. MARTINEZ-MADRID, R. REITER Et Al. (2014): Protecting the melatonin rhythm through circadian healthy light exposure. *Int. J. Mol. Sci.*, 15, 23448-500.
- BUCHANAN, B. W. (2006): Observed and potential effects of artificial night lighting on anuran amphibians. In C. Rich & T. Longcore, eds. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington: Island Press, pp. 192-220.
- DEGEN, T., O. MITESSER, E. K. PERKIN, N.-S. WEISS et al. (2016): Street lighting: sex-independent impacts on moth movement. *J. Animal. Ecol.*, 85, 1352-1360.
- FALCHI, F., P. CINZANO, D. DURISCOE, C. C. M. KYBA et al. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. *Sci. Adv.* 2, e1600377.

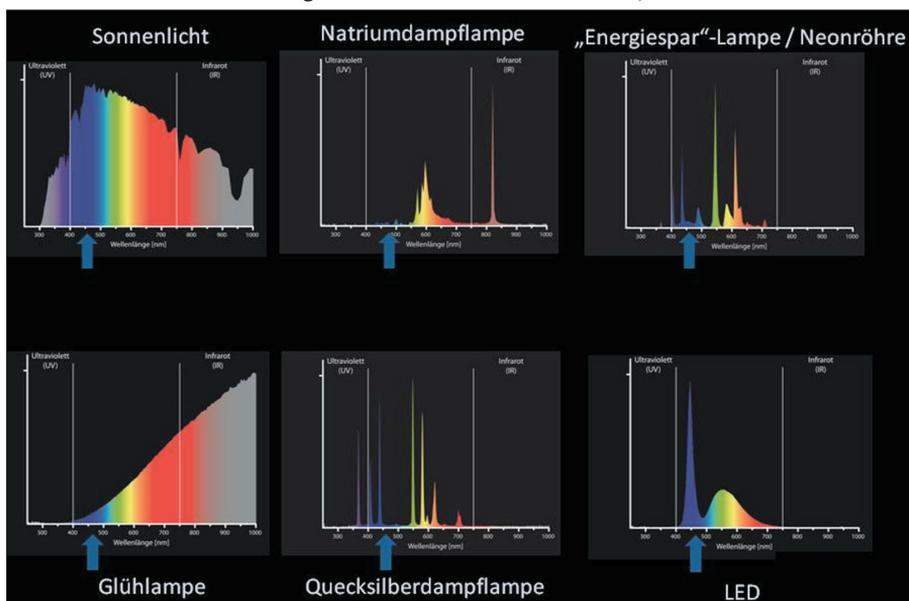


Abb. 2.7-3: Spektrum verschiedener Leuchtmittel im Vergleich zu Sonnenlicht. Der blaue Pfeil zeigt auf den Spektralbereich des Lichtes, auf welches das circadiane System höherer Wirbeltiere am empfindlichsten reagiert (Copyright IGB, 2012).



Abb. 2.7-4: Geeignete und ungeeignete Beleuchtung im Außenraum. Die Illustration wurde mit freundlicher Genehmigung des Projekts Sternenpark Schwäbische Alb bereitgestellt. www.sternenpark-schwaebische-alb.de.

GASTON, K. J., J. P. DUFFY & J. BENNIE (2015): Quantifying the erosion of natural darkness in the global protected area system. *Conserv. Biol.*, 29, 1132-1141.

GEFFEN, VAN K. G., E. ECK VAN, R. A. BOER DE, R. H. A. GRUNSVEN VAN et al. (2015): Artificial light at night inhibits mating in a Geometrid moth A. *Insect Conserv. Divers.*, doi: 10.1111/icad.12116

HAGEN, O., R. M. SANTOS, M. N. SCHLINDWEIN & V. R. VIVIANI (2015): Artificial Night Lighting Reduces Firefly (Coleoptera: Lampyridae) Occurrence in Sorocaba , Brazil. *Adv. Entomol.*, (1), 24-32.

HALE, J. D., A. J. FAIRBRASS, T. J. MATTHEWS, G. DAVIES et al. (2015): The ecological impact of city lighting scenarios: exploring gap crossing thresholds for urban bats. *Global Change Biol.* 21, doi: 10.1111/gcb.12884.

HÖLKER, F., C. WOLTER, E. K. PERKIN & K. TOCKNER (2010a): Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecol. . Evol.*, 12, 681-682.

HÖLKER, F., T. MOSS, B. GRIEFAHN, W. KLOAS, C. C. VOIGT et al. (2010b): The Dark Side of Light : A Transdisciplinary Research Agenda for Light. *Ecol. Soc.* 15, 13.

JONG DE, M., L. JENINGA, J. Q. OUYANG, K. OERS VAN et al. (2016): Dose-dependent responses of avian daily rhythms to artificial light at night. *Physiol. Behav.*, 155, 172-179.

KEMPENAERS, B., P. BORGSTRÖM, P. LOËS, E. SCHLICHT et al. (2010): Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Curr. Biol.*, 20, 1735-1739.

KYBA, C. C. M. & F. HÖLKER (2013): Do artificially illuminated skies affect biodiversity in nocturnal landscapes? *Landsc. Ecol.*, 28 , 1637-1640.

LEWANZIK, D. & C. C. VOIGT (2014): Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *J. Appl. Entomol.*, 51, 388-394.

LONGCORE, T., C. RICH, P. MINEAU, B. MACDONALD et al. (2012): An estimate of avian mortality at communication towers in the United States and Canada. *PLoS ONE*, 7, e34025.

MACGREGOR, C. J., M. J. O. POCOCCO, R. FOX & D. M. EVANS (2015): Pollination by nocturnal Lepidoptera, and the effects of light pollution: a review. *Ecol. Entomol.*, 40, 187-198.

MOORE, M., S. M. PIERCE, H. M. WALSH, S. K. KVALVIK & J. D. LIM (2000): Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *Verh. Internat Verein. Theor. Angew. Limnol.* 27, 779-782.

NORDT, A. & R. KLENKE (2013): Sleepless in Town – Drivers of the temporal shift in dawn song in urban European Blackbirds. *Environ. Res.*, 8, e714716.

REITER, R. J., E. SANCHEZ-BARCELO, M. MEDIAVILLA, E. GITTO et al. (2011): Circadian mechanisms in the regulation of melatonin synthesis: disruption with light at night and the pathophysiological consequences. *J. Exp. Integr. Med.*, 1, 13-22.

RILEY, W. D., P. I. DAVISON, D. L. MAXWELL, R. C. NEWMAN et al. (2015): A laboratory experiment to determine the dispersal response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fry to street light intensity. *Freshwater Biol.* 60, 1016-1028.

ROBERT, K. A., J. A. LESKU, J. PARTECKE & B. CHAMBERS (2015): Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal. *Proc. R. Soc. B* 282, 20151745.

SCHROER, S. & F. HÖLKER (2016): Impact of Lighting on Flora and Fauna. In: KARLICEK, R. et al. (eds.). *Handbook of Advanced Lighting Technology*. Springer International Publishing, pp. 1-33.

SCHROER, S. & F. HÖLKER (2014): Light Pollution Reduction. In: KARLICEK, R. et al. (eds.). *Handbook of Advanced Lighting Technology*. Springer International Publishing, pp. 1-17.

Kontakt:
 Dr. Sibylle Schroer
 Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
 Berlin
schroer@igb-berlin.de

Schroer, S. (2016): Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf die Biodiversität. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Racher (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 102-106. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.16.