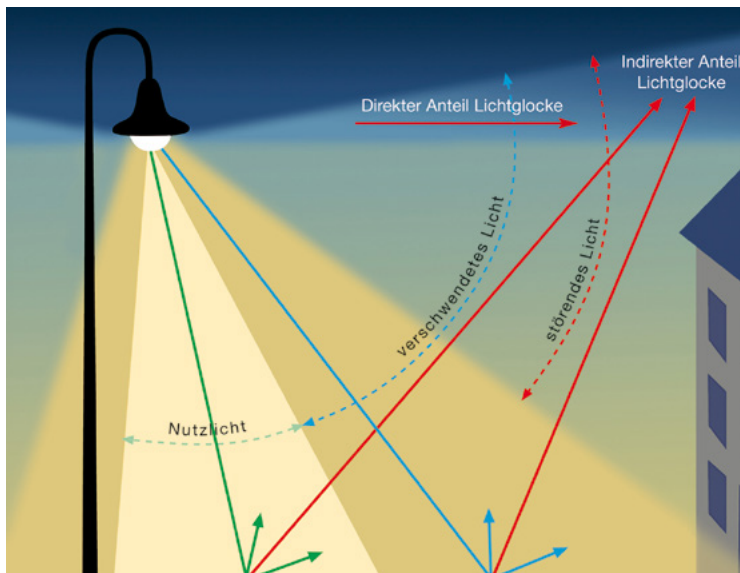


Klima- und Naturschutz: Hand in Hand

Ein Handbuch für Kommunen, Regionen, Klimaschutzbeauftragte,
Energie-, Stadt- und Landschaftsplanungsbüros

Herausgegeben von Stefan Heiland



Heft 4

Straßenbeleuchtung

Energie sparen, Tierwelt schonen

Bernd Demuth

mit einem Beitrag von Jochen Schumacher

Klima- und Naturschutz: Hand in Hand

Ein Handbuch für Kommunen, Regionen, Klimaschutzbeauftragte,
Energie-, Stadt- und Landschaftsplanungsbüros

Herausgegeben von Stefan Heiland

Heft 4

Straßenbeleuchtung

Energie sparen, Tierwelt schonen

Bernd Demuth

mit einem Beitrag von Jochen Schumacher

Titelbild: Nutzlicht, verschwendetes Licht und störendes Licht bei einer herkömmlichen Straßenlaterne
(Grafik: Darja Süßbier)

Adressen der Autoren:

Dr. Bernd Demuth Technische Universität Berlin
Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung
EB 5, Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin
www.landschaft.tu-berlin.de

Jochen Schumacher Institut für Naturschutz und Naturschutzrecht Tübingen
Ursrainer Ring 81, 72076 Tübingen

Illustrationen: Darja Süßbier

Satz und Gestaltung: Katharina Fiedler
Maria Magdalena Meyer

Fachbetreuung im BfN:

Florian Mayer Fachgebiet II 4.1 „Landschaftsplanung, räumliche Planung und Siedlungsbereich“
Jens Schiller

Kathrin Ammermann Fachgebiet II 4.3 „Naturschutz und erneuerbare Energien“
Karl-Liebknecht-Str. 143, 04277 Leipzig
E-Mail: florian.mayer@bfn.de
jens.schiller@bfn.de
kathrin.ammermann@bfn.de

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen des F+E-Vorhabens „Modellhafte Erarbeitung regionaler und örtlicher Energiekonzepte unter den Gesichtspunkten von Naturschutz und Landschaftspflege“ (FKZ: 3515 82 3100).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).
Das Handbuch ist nicht im Buchhandel erhältlich. Eine barrierefreie PDF-Version dieser Ausgabe kann unter
<http://www.bfn.de> heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Herausgeber: Prof. Dr. Stefan Heiland

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des institutionellen Herausgebers unzulässig und strafbar.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: Druck Pruskil GmbH, Gaimersheim

ISBN 978-3-9821029-4-8

Berlin 2019 (Bearbeitungsstand: Juni 2018)

Inhaltsverzeichnis

I Leitfaden	5
1 Grundlagen	5
2 Auswirkungen von Straßenbeleuchtung auf Natur und Landschaft	5
3 Straßenbeleuchtung naturverträglich gestalten	7
4 Aus der Praxis	12
5 Auch zu beachten: rechtliche Anforderungen	13
Checkliste	14
II Weitere Informationen	15
1 Straßenbeleuchtung – im Detail	15
2 Auswirkungen von Straßenbeleuchtung – im Detail	18
Literatur	26

Warum dieses Heft?

Zunehmend rüsten Kommunen ältere Straßenbeleuchtungen auf energiesparende LED-Beleuchtung um. Damit leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Stromeinsparung und damit zum Klimaschutz. Gleichzeitig bietet die Modernisierung der Straßenbeleuchtung die Chance, die nächtliche Aufhellung der Umwelt – auch als Lichtverschmutzung bezeichnet – zu verringern. Da die Umrüstung die Art der Straßenbeleuchtung für viele Jahre festlegt, ist es sinnvoll und wichtig, hierbei auch die Belange des Naturschutzes zu berücksichtigen. Zwar führt bereits die Umstellung auf LED-Lampen zu einer deutlich geringeren Lockwirkung für Insekten und vermindert das massenhafte Verenden der Tiere an Straßenlaternen. Jedoch gibt es eine Reihe weiterer Möglichkeiten, negative Folgen für die Natur im Siedlungsbereich im Rahmen der Beleuchtungsumstellung ohne großen Mehraufwand zu reduzieren.

I Leitfaden

1 Grundlagen

Die Vielzahl an Außenbeleuchtungen führt insbesondere in Städten zur Aufhellung der Nacht. Neben der Beleuchtung von Gebäuden und Lichtreklamen entfällt ein großer Anteil dieser Aufhellung auf Straßenbeleuchtungen. Derzeit investieren immer mehr Städte und Gemeinden in die Erneuerung ihrer Straßenbeleuchtung. Die damit verbundene zunehmende Umrüstung der rund 9 Millionen Straßenlampen in Deutschland basiert auf der Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie der Europäischen Union gemäß einer Durchführungsverordnung (Verordnung EG Nr. 245/2009), in der die Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen geregelt werden. Ziele sind die Reduzierung des Energieverbrauchs und des Quecksilbergehaltes von Lampen sowie die Verringerung der Lichtverschmutzung – d. h. die Reduzierung von Licht, das außerhalb der vorgesehenen Nutzfläche auftritt. Sowohl in der EU-Verordnung als auch in der finanziellen Förderung zur Umstellung auf energieeffiziente Straßenbeleuchtungen durch die Nationale Klimaschutzinitiative spielen Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere sowie ökosystemare Auswirkungen bislang keine Rolle.

2 Auswirkungen von Straßenbeleuchtung auf Natur und Landschaft

Probleme, die durch die nächtliche Aufhellung durch Kunstlicht entstehen können, werden durch das Schlagwort „Lichtverschmutzung“ mittlerweile weithin diskutiert. Da sich die meisten Lebewesen im Laufe der Evolution an den Wechsel von Tag und Nacht angepasst haben (Circadianer Rhythmus), beeinflusst die künstliche Beleuchtung bei Nacht sowohl physiologische Prozesse als auch Verhaltensmuster bei Tieren und Pflanzen. Zwar liegen erste Studien zum Einfluss von nächtlichem Kunstlicht auf Pflanzen vor (siehe Teil II, Kap. 2), jedoch ist noch zu wenig über die Auswirkungen auf Blattaustrieb, Blühzeitpunkt oder Blattfall bekannt. Die folgenden Beispiele beziehen sich daher vornehmlich auf Tierarten.

Auswirkungen auf Fledermäuse

Fledermäuse sind ausschließlich nachtaktive Tiere. Sie orientieren sich mit Hilfe von Ultraschallwellen, mit denen sie bei der Jagd auch ihre Beute orten. Die Anpassung der Tiere an die Dunkelheit schützt sie weitgehend vor Feinden und minimiert die Konkurrenz bei der Nahrungssuche.

Zwar gibt es einige „lichttolerante“ Fledermausarten, die in der Nähe von Straßenlaternen Insekten jagen. Hierbei handelt es sich aber nur um eine kleine Zahl schnell fliegender Arten, wie z. B. Großer Abendsegler und Zwergfledermaus. Für sie ist das Risiko gering, im Licht der Lampen Opfer von Beutegreifern zu werden. Grundsätzlich meiden Fledermäuse jedoch nächtliche Beleuchtung und verlassen ihre Quartiere erst bei Dunkelheit (SWILD 2007: 39; Lewanzik & Voigt 2013: 65–67). Künstliche Beleuchtung führt daher zur Zerschneidung ihres Lebensraumes, wodurch Fledermäuse z. B. weite Umwege zum Erreichen ihrer Jagdgebiete in Kauf nehmen müssen. Dadurch verbrauchen sie zum einen mehr Energie, zum anderen erreichen sie die Jagdgebiete erst später, wodurch Zeit für die Nahrungssuche verloren geht (siehe Teil II, Kap. 2).

Auswirkungen auf Vögel

Aufgrund der Lichtdurchlässigkeit ihrer Schädeldecke nehmen Vögel bereits geringe Helligkeitsunterschiede wahr. Die Veränderung der Tageslänge (Photoperiode) steuert saisonale Aktivitäten wie Fortpflanzung, Brut, Mauser und Zug. Kunstlicht beeinflusst die Reproduktion von Vögeln. Zudem kann die künstliche Beleuchtung des Nachthimmels (z. B. durch Streulicht von Straßenlaternen) auch die Orientierung von Zugvögeln stören, die im Herbst und Frühjahr nachts unterwegs sind (Helm & Partecke 2013: 57–59) (siehe Teil II, Kap. 2).

Auswirkungen auf Insekten

Licht besitzt steuernde Wirkung auf physiologische Prozesse und das Verhalten von Insekten. So beeinflusst die Länge des Tages z. B. den Schlüpf-Rhythmus und den Beginn der Winterruhe. Darüber hinaus orientieren sich abend- und nachtaktive Insekten im Flug an den UV-Strahlen der Abendsonne sowie am Mondlicht. Sie fliegen daher oft bis zur völligen Erschöpfung künstliche Lichtquellen an, da sie diese nicht von

natürlichen Quellen unterscheiden können. Diese Anziehungskraft von Kunstlicht auf Insekten wird auch als „Staubsaugereffekt“ bezeichnet. Insekten werden dadurch aus ihrem natürlichen Lebensraum weggelockt, was sich sowohl negativ auf die Insektenbestände als auch auf ökologische Zusammenhänge und Prozesse auswirkt (Höttinger & Graf 2003: 4–5; Schmid et al. 2012: 51) (siehe Teil II, Kap. 2).

Auswirkungen auf Gewässerlebensräume

Gewässer mit ihren angrenzenden Uferbereichen bieten Lebensraum für eine Vielzahl von Tierarten, die auf unterschiedliche Lichtspektren reagieren. Die Summe der Wechselwirkungen in Folge der Lichtverschmutzung durch Kunstlicht könnte das Artenspektrum an und in Gewässern verändern (Höttinger & Graf 2003: 14–21) (siehe Teil II, Kap. 2).

3 Straßenbeleuchtung naturverträglich gestalten

Die Straßenbeleuchtung auf energiesparende Lampen umzustellen, bietet in vielen Fällen die Chance, diese ohne allzu großen Aufwand zugleich naturverträglicher zu gestalten. Dabei sollten 3 grundlegende Prinzipien beachtet werden (Prietzke & Schneider 2013: 120; Hölker 2013: 76):

- **Licht effizient erzeugen – und nur so viel, wie benötigt wird:** Die Umrüstung der bisher überwiegend verwendeten Quecksilberdampf-hochdrucklampen (HQL) auf LED-Lampen ist ein wichtiger Schritt zur energiesparenden und -effizienten Straßenbeleuchtung. Um unnötige Beleuchtung zu vermeiden, sollte bei einer Umrüstung zuerst der Bedarf kritisch geprüft werden. Dies betrifft sowohl die Zahl der Straßenlaternen als auch deren Lichtstärke. Damit werden von vornherein Energieverbrauch und negative Auswirkungen auf viele Tierarten reduziert. Die Lichtstärke sollte im Rahmen der Lichtplanung auf das für die jeweilige Situation tatsächlich notwendige Maß angepasst werden (kontextspezifische Beleuchtung). Nicht jede Straße und jeder Weg erfordern dauerhafte maximale Helligkeit. ForscherInnen des europäischen Netzwerks „Verlust der Nacht“ empfehlen, sich bei der Planung an den untersten Werten der EU-Norm für Straßenbeleuchtung (EN13201) zu orientieren und fordern darüber hinaus eine Überprüfung und Absenkung der Werte der EU-Empfehlung (IGB 2016).



Abb. 4.1: Bedarfsgerechte Beleuchtung durch integrierte Bewegungsmelder (Foto: Netze BW GmbH)

In Zeiten mit geringer Nutzung kann die Beleuchtung gedimmt oder zeitweise ganz abgeschaltet werden. Bei älteren Gasentladungslampen besteht die Möglichkeit, eine Zeitsteuerung einzubauen, mit der die Helligkeit der Straßenbeleuchtung in einer gewissen Zeitspanne (z. B. von 22–5 Uhr) reduziert werden kann. LED-Lampen können durch Steuerungstechnik auf unterschiedliche Helligkeiten heruntergedimmt werden. Nähern sich VerkehrsteilnehmerInnen zu Fuß, mit dem Fahrrad oder dem Auto, so wird durch einen Bewegungsmelder die Beleuchtung auf das programmierte Helligkeitsniveau hochgefahren. Es bleibt so lange auf dieser Stufe, bis es nach einer programmierten Haltezeit wieder zur Grundhelligkeit zurückkehrt. Dimmen oder zeitweise Abschaltung sollten vor allem in Außenbereichen, Ortsrandlagen, Parks, Schutzgebieten und in der Nähe von Gewässern geprüft und genutzt werden.

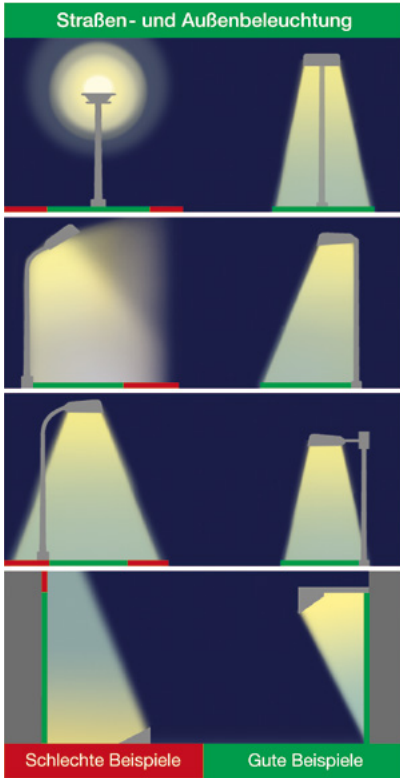


Abb. 4.2: Beispiele für die bauliche Gestaltung von Außenleuchten
 (Zeichnung: Darja Süßbier, verändert nach: Schmid et al. 2012: 53)

Insbesondere während der Zeit der Vogelzüge (März bis Mai, September, Oktober) sollte die nächtliche Beleuchtung soweit irgend möglich reduziert werden (siehe Teil II, Kap.2).

- **Licht dorthin lenken, wo es benötigt wird – Streulicht vermeiden:** Häufig sind Lampengehäuse nicht abgeschirmt, sodass es zu seitlichem und nach oben gerichtetem Streulicht kommt. Dieses Licht wird eigentlich gar nicht benötigt und kann die oben genannten negativen Auswirkungen nach sich ziehen. Gebündeltes, nach unten auf Gehweg oder Straße gerichtetes Licht weist hingegen einen deutlich geringeren Anlockradius für Insekten auf und führt zu geringerer Lichtverschmutzung. Um dies zu erreichen, sollten nur vollständig abgeschirmte Lampengehäuse verwendet werden.

Da der Lichtkegel mit zunehmender Höhe der Lichtquelle auch größere seitliche Bereiche erhellt und dadurch Insekten anlockt, sollte diese

Höhe möglichst gering sein. Grundsätzlich ist es aus naturschutzfachlicher Sicht günstiger, eine größere Zahl niedrig angebrachter Straßenlampen mit energieschwächeren Leuchten aufzustellen, als wenige lichtstarke Lampen auf hohen Masten.

- **Lichtspektrum des Leuchtmittels beachten:** Insekten nehmen andere Wellenlängenbereiche des Lichtes als der Mensch wahr. So wirkt auf Insekten vor allem ultraviolettes, violettes, blaues und grünes Licht anziehend, weniger anziehend hingegen gelbes, orangefarbenes oder rotes Licht. Deshalb sollte nicht nur Streulicht reduziert, sondern ebenso das Lichtspektrum der verwendeten Leuchtmittel beachtet werden. Für die Straßenbeleuchtung sollten neutrale/warm-weiße LED-Lampen verwendet werden, da sie ca. 65% weniger Insekten als kalt-weiße LED-Lampen anziehen.

In Außenbereichen und Ortsrandlagen, in Parks und im Bereich von geschützten Gebieten sowie in der Nähe von Gewässern eignet sich die Verwendung von Natriumdampf-Niederdrucklampen (NA). Diese emittieren ausschließlich Lichtstrahlung im Bereich von 580 nm (Nanometer), die von Insekten kaum wahrgenommen wird. Für innerstäd-

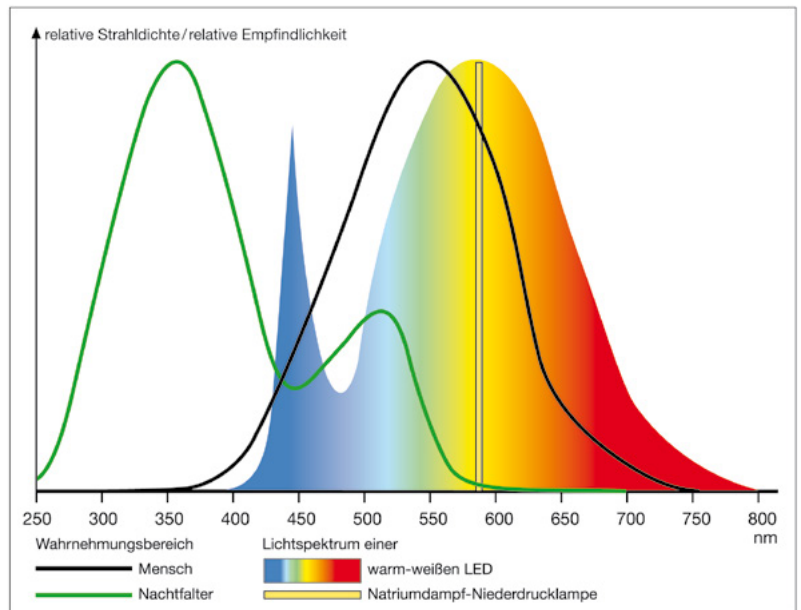


Abb. 4.3: Emissionsspektrum einer warm-weißen LED und einer Natriumdampf-Niederdrucklampe sowie die Wahrnehmungsbereiche von Mensch und Nachtfliegen
 (Zeichnung: Darja Süßbier, verändert nach: Völker et al. 2013: 89; Geiger et al. 2007: 47; Schmid et al. 2012: 51)

tische Bereiche sind NA-Lampen weniger geeignet: Sie verbrauchen mehr Strom als LED-Lampen und Menschen empfinden die Art der Farbwiedergabe der Umgebung als unangenehm (Abb. 4.3).

Vorteile einer naturverträglichen Gestaltung der Straßenbeleuchtung

- Die Umrüstung auf sparsame LED-Beleuchtung senkt Energiekosten. Darüber hinaus zieht das veränderte Lichtspektrum (insbesondere von warm-weißen LEDs) weniger Insekten an.
- Durch zeitweise Abschaltung oder Dimmung der Straßenbeleuchtung kann zusätzlich Strom eingespart werden, zudem werden lichtempfindliche nachtaktive Tierarten weniger beeinträchtigt.
- Die Verringerung der nächtlichen Beleuchtung ist ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der Lichtglocken über unseren Städten – dadurch wird der nächtliche Sternenhimmel für die Menschen wieder erlebbarer.

4 Aus der Praxis

Beleuchtung eines Fahrradschnellweges in Osnabrück

Der Rat der Stadt Osnabrück fasste in den letzten Jahren mehrere Beschlüsse zur Verringerung der „Lichtverschmutzung“, die auch bei der Planung und Umsetzung von Wegeverbindungen zu beachten sind. So soll die vorhandene Beleuchtung schrittweise auf LED-Leuchtmittel umgerüstet, und zusätzliche Beleuchtung im Außenbereich möglichst vermieden bzw. auf das notwendige Maß beschränkt werden. Dies betrifft auch die Planung und Realisierung des 6,9 km langen Radschnellweges zwischen Osnabrück und Belm (siehe Heft 5, Teil I, Kap. 4).

Im Masterplan 100 % Klimaschutz aus dem Jahr 2014 wurde bei der Beschreibung der Maßnahme nicht explizit auf Naturschutzbelange eingegangen. In der Machbarkeitsstudie „Radschnellwege“ wurde jedoch das mögliche Konfliktpotenzial zwischen der Wegeverbindung und den Belangen des Naturschutzes thematisiert: Es wurden rechtlich erforderliche Maßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen beschrieben, schutzbedürftige Flächen bei der Trassenwahl berücksichtigt und Hinweise zur Beachtung von Naturschutzbelangen in der Ausführungsplanung gegeben.

Für die Beleuchtung des im April 2018 fertiggestellten ersten Abschnitts wurden Lampen mit Bewegungssensoren gewählt, die den Weg nur beleuchten, wenn RadfahrerInnen passieren. Zum Einsatz kommen LED-Lampen mit 4.000 Kelvin bei 11 Watt – durch die Dimmung wird die Beleuchtung auf 20 % bzw. 1–2 Watt reduziert. Wenn RadfahrerInnen die Leuchte erreichen, regelt die Steuerung auf 100 % der Beleuchtung hoch. Dies wird derzeit auch an einem weiteren Weg im Stadtteil Hellern erprobt.

Durch den Einsatz von LED-Leuchtmitteln können gegenüber herkömmlichen Leuchtmitteln erhebliche Energie- und CO₂-Einsparungen erreicht und gleichzeitig die Lockwirkungen auf Insekten und andere Tiere verringert werden. Die Ausstattung der Leuchten mit Bewegungsmeldern steigert diese positiven Wirkungen zusätzlich.



Abb. 4.4: Radschnellweg Osnabrück–Belm, die Steuerung der Dimmung erfolgt über Bewegungsmelder
(Fotos: Simon Dierken, Stadt Osnabrück)

5 Auch zu beachten: rechtliche Anforderungen

(Beitrag J. Schumacher)

Aus naturschutzrechtlicher Sicht sind bei Straßenbeleuchtungen insbesondere die Anforderungen an den Schutz von Natura-2000-Gebieten (§ 33 BNatSchG) und des besonderen Artenschutzes (§ 44 BNatSchG) zu beachten (siehe Heft 10, Kap. 5.5 und 6.3).

Licht zählt zu den Immissionen und Emissionen i. S. des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BlmSchG). Lichtimmissionen stellen „schädliche Umwelteinwirkungen“ dar, wenn sie „nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft herbeizuführen“ (§ 3 Abs. 1 BlmSchG). Daher dürfen von Licht emittierenden Anlagen i. S. des § 3 Abs. 5 BlmSchG keine schädlichen Umwelteinwirkungen ausgehen. Zu den Licht emittierenden Anlagen zählen künstliche Lichtquellen aller Art wie z. B. Scheinwerfer zur Beleuchtung von Sportstätten, von Verladeplätzen und für Anstrahlungen sowie Lichtreklamen, aber auch hell beleuchtete Flächen wie z. B. angestrahlte Fassaden, nicht jedoch Anlagen zur Beleuchtung des öffentlichen Straßenraumes; für Straßenbeleuchtungen ist das BlmSchG daher nicht anwendbar (LAI 2012).

Im Rahmen der Bauleitplanung sind die von Beleuchtungen ausgehenden zu erwartenden erheblichen Umweltauswirkungen im Umweltbericht darzustellen und bei der Abwägung zu berücksichtigen. In Bebauungsplänen können z. B. Festsetzungen von „Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft“ nach § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB zum Schutz von Lebensräumen für bestimmte Tier und Pflanzenarten gem. § 44 Abs. 1 BNatSchG erforderlich sein. Hierdurch kann z. B. die Beleuchtung einzelner sensibler Bereiche (z. B. bekannte Wochenstuben von Fledermäusen oder Amphibien-Laichgewässer) reglementiert werden.

Aus artenschutzrechtlicher Sicht kann Beleuchtung zu Konflikten mit den Verbotstatbeständen des § 44 Abs. 1 BNatSchG führen. Das Verbot des § 44 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG, Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören, kann bereits erfüllt sein, wenn diese Stätten aufgrund der Beleuchtung in ihrer Funktion beeinträchtigt sind. Bei besonders geschützten Arten, die sensibel auf Beleuchtung reagieren, ist daher die Beleuchtung ihrer Schlaf- und Brutplätze zu vermeiden. Kommt es durch die Beleuchtung zur Aufgabe

der Brut, so stellt dies auch einen Verstoß gegen das Tötungsverbot des § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG dar.

Des Weiteren darf Beleuchtung Natura-2000-Gebiete nicht beeinträchtigen, da gemäß § 33 Abs. 1 BNatSchG alle Veränderungen und Störungen, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung eines Natura-2000-Gebiets in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen führen können, unzulässig sind. Bei Fledermäusen können Straßenbeleuchtungen z. B. das Abschneiden von Jagdgebieten, eine Zerschneidung des Lebensraums und eine Reduzierung des Nahrungsangebots bedingen. Dies darf nicht zu einer Verschlechterung des Erhaltungszustands der Fledermauspopulation im Natura-2000-Gebiet führen. Pläne und Projekte – auch wenn sie außerhalb eines Natura-2000-Gebiets durchgeführt werden, aber Auswirkungen auf das Gebiet haben können – sind vor ihrer Realisierung auf Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen zu prüfen. Für Straßenbeleuchtungen ist dies z. B. relevant, wenn sie im Zuge des Neu- oder Ausbaus von Straßen installiert werden oder zuvor wenig/nicht beleuchtete Straßen eine Beleuchtung erhalten sollen.

Checkliste

- ✓ Prüfung des Beleuchtungsbedarfs: Wie viele Laternen und welche Helligkeit werden benötigt?
- ✓ Vermeidung von Streulicht mit Hilfe voll abgeschirmter Lampen
- ✓ Installation von Lichtquellen in geringstmöglicher Höhe
- ✓ Vermeidung von Laternenstandorten in der Nähe von Fledermausquartieren, Gewässern und insektenreichen Lebensräumen
- ✓ Verwendung insektenfreundlicher Leuchtmittel mit gelbem und rotem Lichtanteil ultraviolettes, violett, blaues und grünes Licht (bzw. Lichtspektrum bis 550 nm) nach Möglichkeit vermeiden
- ✓ Prüfung und Nutzung von Dimm- und Abschaltmöglichkeiten
- ✓ Naturschutzrechtliche Anforderungen beachten (Natura-2000-Gebiete, Artenschutz)

II Weitere Informationen

1 Straßenbeleuchtung – im Detail

Die Umrüstung der Straßenbeleuchtung betrifft in Deutschland rund 9 Millionen Straßenlampen, die durch die Kommunen im Rahmen der Daseinsvorsorge betrieben werden. Sie verbrauchen jährlich etwa 4 Terawattstunden (tWh) Strom, was einem Anteil von rund 36 % des kommunalen Stromverbrauchs bzw. 0,8 % des Gesamtstromverbrauchs in Deutschland entspricht (Energieagentur Rheinland-Pfalz 2015: 4).

Durch die Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf energieeffiziente Lampen werden erhebliche Energieeinsparungen erreicht. Im Vergleich zu Quecksilberdampfhochdrucklampen reduziert sich der Energiebedarf bei LED-Lampen um ca. 50%. Bei LED-Lösungen mit intelligentem Dimmbetrieb können sogar bis zu 80 % des vorher erforderlichen Stroms eingespart werden (Energieagentur Rheinland-Pfalz 2015: 8; DENA 2015: 5; Lang 2013: 94; BMUB 2016: 4). Der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie schätzt, dass jährlich bundesweit durch effiziente Straßenbeleuchtung bis zu 2,2 Milliarden Kilowattstunden (kWh) Strom bzw. 1,4 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen eingespart werden können (BMUB 2016: 7; ZVEI 2014: 10, 35).

Das Bundesumweltministerium unterstützt Kommunen daher bei der Umrüstung der Außenbeleuchtung auf LED-Technik: Zwischen 2008 und 2016 förderte es im Rahmen der Kommunalrichtlinie (KRL) der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) 2.816 Sanierungsvorhaben mit einer Summe von rund 117 Millionen Euro (BMUB 2016: 14). Die Deutsche Energie-Agentur stellt mit dem internetbasierten „Lotsen energieeffiziente Straßenbeleuchtung“ eine Entscheidungshilfe für die Auswahl der jeweils passenden Straßenbeleuchtung zur Verfügung (DENA 2016).

Förderprogramme und Entscheidungshilfen, wie die eben genannten, berücksichtigen bislang keine Naturschutzaspekte als Entscheidungskriterien. Für eine nachhaltige energetische Sanierung von Straßenbeleuchtungen sollten diese jedoch zukünftig von vorneherein mitgedacht werden (zu entsprechenden Möglichkeiten: siehe Teil I, Kap. 3).

Notwendigkeit der Reduzierung nächtlicher Aufhellung

Im Jahr 1882 wurde in Berlin die erste elektrische Straßenbeleuchtung in Betrieb genommen. Dies war in Deutschland der Beginn der elektrisch betriebenen Außenbeleuchtung. Anfang des letzten Jahrhunderts war die Anzahl der Außenbeleuchtungen noch so gering, dass keine Auswirkungen auf Natur und Umwelt entstanden. Heute stellt sich die Situation gänzlich anders dar. Die zunehmende Beleuchtung von Außenräumen hat in weiten Teilen Deutschlands (und Europas) zum Verschwinden der natürlichen Dunkelheit geführt. Der Sternenhimmel ist in vielen Regionen nicht mehr zu sehen (Energie-Museum Berlin o. J.; Kobler 2003: 1; Kyba et al. 2011), was auch mit einem Verlust an menschlicher Lebensqualität und „Naturerfahrung“ einhergeht.

Die künstliche Aufhellung des Nachthimmels ist auch aus dem All zu beobachten. Prognosen aus dem Jahr 2002 gehen davon aus, dass die Beleuchtung des Nachthimmels durch Kunstlicht in Europa bis zum Jahr 2025 weiterhin stark zunehmen wird – ein Trend, den aktuelle Studien bestätigen (Cinzano 2002: 97; Kyba et al. 2017).



Abb. 4.5: Ein Satellitenfoto aus dem Jahr 2012 zeigt den Blick auf das nächtliche Europa (Foto: NASA)

Außenleuchten strahlen Licht aus, das grob in 2 Gruppen unterteilt werden kann: in Nutzlicht, welches auf die vorgesehene Zielfläche trifft, und in verschwendetes Licht, das außerhalb der vorgesehenen Zielfläche auftrifft und störende Wirkung haben kann (Abb. 4.6). Licht, das in einem Winkel von 70–90° von der Lichtquelle abstrahlt, hat nur noch einen geringen Anteil am Nutzlicht. Der überwiegende Teil ist verschwendetes Licht, das erhebliche Fernwirkung haben kann. Ab einem Strahlungswinkel von 90° wird kein Beitrag mehr zum Nutzlicht erzielt. Die Lichtstrahlen werden jedoch noch in vielen Kilometern Entfernung wahrgenommen. Horizontnahe Lichtstrahlen in einem Strahlungswinkel von 90–95° werden in der Atmosphäre, z. B. durch Staubpartikel oder feine Wassertröpfchen, häufig gebrochen und wieder zur Erde zurückgestreut (Streuungseffekt). Deshalb besitzen sie eine größere Fernwirkung als senkrechtes Licht. Durch die vielfache Brechung des Lichtes entstehen sogenannte Lichtglocken (engl. Skyglow), die den Nachthimmel weiträumig erhellen und zu erheblichen Störwirkungen auf die Umwelt führen. (Posch 2013: 85–86; Lang 2013: 91; Kyba et al. 2011)

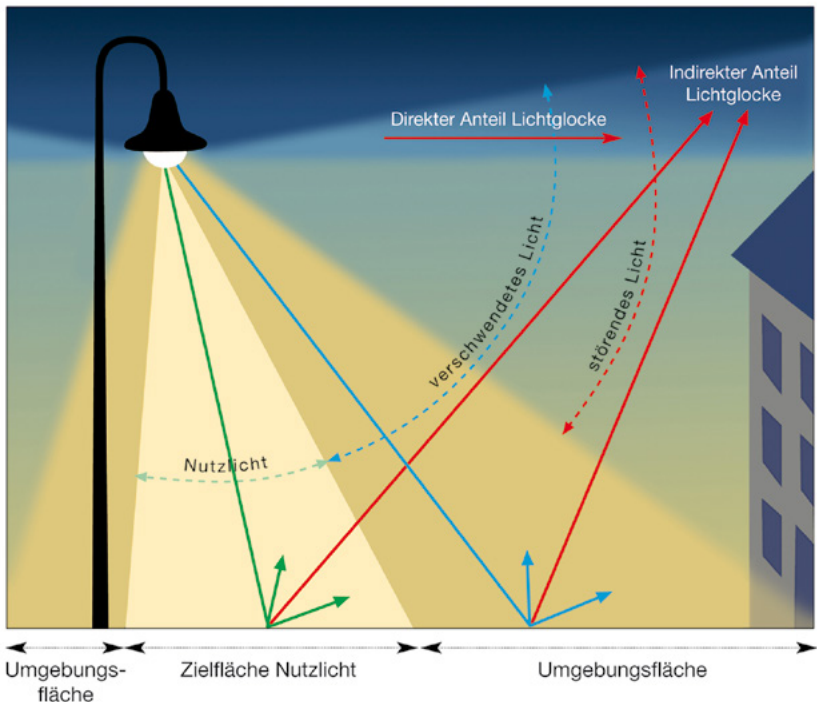


Abb. 4.6: Licht, das außerhalb der eigentlichen Zielfläche auftrifft, ist als verschwendetes Licht mit störender Wirkung auf die Umwelt zu bewerten
(Zeichnung: Darja Süßbier, verändert nach LightingEurope, o. J.)



Abb. 4.7: Lichtglocke über städtischem Gebiet (Foto: Ralf Steikert)

2 Auswirkungen von Straßenbeleuchtung – im Detail

Verschiedene Tierarten nehmen verschiedene Bereiche des Lichtspektrums wahr – entsprechend führt Kunstlicht je nach Art zu unterschiedlichen Auswirkungen: Nachtaktive Insekten werden von Lichtquellen angezogen (tödlicher Staubsauger-Effekt); auf lichtscheue Arten (z. B. Fledermäuse) wirkt Kunstlicht als Barriere; bei Vögeln beeinflusst es den Reproduktionszeitraum (Perkin et al. 2011: 6; SWILD 2008: 14 f.; BAFU 2012: 12 f.; Künzel 2010: 8 f.; Hölker 2013: 73).

Zwar liegen bereits Forschungsergebnisse zu spezifischen Auswirkungen von Kunstlicht auf einzelne Arten vor, seine Auswirkungen auf ökosystemare Zusammenhänge sind hingegen kaum erforscht. Es ist aber anzunehmen, dass die Aufhellung der nächtlichen Dunkelheit auch weitere Tier- und Pflanzenarten beeinflusst, die z. B. durch Nahrungsketten, Bestäubung oder Samenverbreitung zu unmittelbar betroffenen Arten in Beziehung stehen (Benni et al. 2015). In der Summe der Auswirkungen ist letztlich von einer ernst zu nehmenden Gefährdung der Biodiversität auszugehen, deren Tragweite wir gerade erst zu verstehen beginnen. Im Folgenden werden Erkenntnisse zu einzelnen Artengruppen und Lebensräumen vorgestellt.

Fledermäuse

Grundsätzlich meiden Fledermäuse nächtliche Beleuchtung. Bei den „lichttoleranten“ Fledermäusen handelt es sich um schnell fliegende Arten, wie z. B. Großer Abendsegler und Zwergfledermaus. Für sie ist das Risiko gering, im Lichtstrahl der Lampen Opfer von Beutegreifern zu werden. Der überwiegende Teil der Fledermäuse ist jedoch sehr lichtscheu, da sie aufgrund ihres langsamen Fluges in erleuchteten Bereichen eine leichte Beute für Jäger wären. Hierzu gehören u. a. Mausohrfledermause, Langohrfledermause und Hufeisennasen (BAFU 2012: 14; Lewanzik 2013: 65–67; Rowse 2016: 3; SWILD 2007: 39; Stone 2009). Folgende Auswirkungen nächtlicher Lichtquellen sind für Fledermäuse besonders problematisch (Lewanzik 2013: 66–67).

- **Abschneiden von Jagdgebieten:** Wenn Fledermäuse beleuchtete Bereiche umfliegen müssen, entstehen für sie weitere Wege zu ihren Jagdgebieten. Durch diese Umwege verbrauchen sie mehr Energie, was sich unter anderem negativ auf ihre Reproduktionsleistung auswirken kann.
- **Zerschneiden von Lebensräumen:** Insbesondere lineare Beleuchtungen, wie entlang von Straßen, können eine nur schwer zu umfliegende Barriere bilden und tragen zur Zerschneidung von Lebensräumen bei.
- **Reduzierung des Nahrungsangebotes:** Da Insekten durch Beleuchtung angezogen werden, sinkt in angrenzenden dunklen Gebieten das Nahrungsangebot für lichtsensible Fledermausarten. Diese Nahrungsknappeheit kann den Bestand einzelner Fledermauspopulationen gefährden. Zu einer weiteren Verknappung des Nahrungsangebotes kann es durch die Beleuchtung des Nestausgangs kommen, da alle Fledermausarten das Nest erst nach Abschaltung der Beleuchtung verlassen. Durch das verspätete Ausfliegen verpassen die Tiere jedoch die frühen Abendstunden, in denen der Insektenflug am stärksten und damit das Nahrungsangebot am höchsten ist.
- **Geringere Überlebenschancen im Winter:** Die zeitliche Verkürzung der nächtlichen Nahrungssuche kann sich negativ auf die Fütterung der Jungtiere und damit auf deren Entwicklung auswirken. Können sie ihr geringeres Gewicht bis zum Winterschlaf nicht ausgleichen, so haben sie aufgrund geringerer Energiereserven im Winter unter Umständen geringere Überlebenschancen.

Die Umrüstung von Straßenlaternen kann einen Beitrag zur Verringerung dieser Beeinträchtigungen von Fledermäusen durch Kunstlicht leis-

ten. So gehen die Aktivitäten von lichttoleranten Fledermäusen an LED-Lampen im Vergleich zu Quecksilber-Hochdrucklampen deutlich um bis zu 45 % zurück. Der Grund hierfür ist die verringerte Anziehungskraft von LED-Lampen für Insekten. Da lichtscheue Fledermausarten in der Folge vom verbesserten Nahrungsangebot an Insekten in ihren dunkleren Jagdrevieren profitieren, kann durch Umrüstung auf LED-Lampen die Verzerrung des Nahrungswettbewerbs zwischen Fledermausarten verringert werden. Insbesondere die Verwendung von neutralen/warm-weißen LED-Lampen führt zu positiven Effekten: In Versuchen wurde eine um ca. 65 % geringere Anflugaktivität von Insekten als bei kalt-weißen LED-Lampen festgestellt.

Werden Straßenbeleuchtungen auf LED-Leuchtmittel umgerüstet, senkt dies Energiekosten. Die positiven Effekte für Fledermäuse treten jedoch nur dann auf, wenn die Einsparungen nicht in zusätzliche Außenbeleuchtungen investiert werden. (Lewanzik et al. 2016: 6–7; Huemer et al. 2010; Eisenbeis 2011: 302–304)

Vögel

Bei Blaumeisen führt der Einfluss von Kunstlicht zu einer früheren Paarung und Eiablage. Die Jungenaufzucht wird zeitlich nach vorne verschoben. Bei natürlicher Tageslänge liegen Paarung und Aufzucht der Jungen so, dass die Versorgung mit Nahrung (Insekten) gesichert ist. Die Verschiebung kann dazu führen, dass es zu Nahrungsengpässen bei der Jungenaufzucht kommt.

Weitere Untersuchungen weisen auf einen Zusammenhang zwischen Kunstlicht und dem früheren Beginn des Morgengesangs von Rotkehlchen (bis zu 37 min), Amseln, Kohl- und Blaumeisen hin. Der frühe Morgengesang ist für weibliche Vögel ein Anzeichen für die Fitness der Vogel Männchen und führt zur Bevorzugung dieser Männchen bei der Paarung. Fällt dieser natürliche Selektionsfaktor weg, da nun alle Männchen früher singen, könnte dies die „genetische Fitness“ von Vogel-Populationen schwächen.

Die künstliche Beleuchtung des Nachthimmels kann die Orientierung von Zugvögeln stören, die im Herbst und Frühjahr nachts unterwegs sind. Zwar besitzen Zugvögel einen Magnetsinn, dennoch bevorzugen sie eine optische Orientierung. Während bei klaren Sichtverhältnissen die Orientierung nach den Sternen oder nach Landmarken erfolgt, werden Vögel bei schlechter Sicht offenbar von Licht angezogen. Insbe-

sondere bei niedriger Wolkendecke sowie Dunst und Nebel entstehen durch Reflektion von künstlichem Licht an Aerosolen oder Wassertröpfchen Lichtglocken. Beobachtungen zeigen, dass Vögel diese Lichtglocken gezielt an- und in ihnen orientierungslos umherfliegen. Aufgrund bisheriger Untersuchungen wird vermutet, dass der Magnetsinn, der über Fotorezeptoren im Vogelauge gesteuert wird, nachts auf niedrige (natürliche) Lichtintensitäten eingestellt ist und durch helles Kunstlicht irritiert wird. Desorientiert verlieren die Zugvögel wichtige Energiereserven für ihre lange Reise und sterben mitunter an Erschöpfung. (Helm & Partecke 2013: 59; SWILD 2007: 10, 29; BAFU 2012: 13; Haupt 2013: 63)

Aus den genannten Gründen ist es wichtig, die nächtliche Beleuchtung während der Vogelzüge zu reduzieren, insbesondere im Herbst (September–Oktober) und im Frühjahr (März–Mai). Die Beleuchtung von Gebäuden kann ab 22 Uhr zum Schutz der Zugvögel zumindest während der Zeit der Vogelzüge eingeschränkt werden. Bei niedriger Wolkendecke oder Nebel sollte jede entbehrliche Beleuchtung standardmäßig abgeschaltet werden, um die Entstehung von Lichtglocken zu begrenzen. Die Reduzierung der Lichtverschmutzung stellt einen wichtigen Beitrag zum Schutz der heimischen Vogelwelt dar (SWILD 2007: 62; Hallmann et al. 2014).

Insekten

In Deutschland leben rund 33.000 Insektenarten, aber nur weniger als 500 Vogel- und Säugetierarten. Insekten nehmen im Ökosystem also eine überaus wichtige Schlüsselposition ein, da sie in der natürlichen Nahrungskette die Nahrungsgrundlage für viele andere Tierarten bilden. In Ökosystemen übernehmen Insekten die wichtige Aufgabe des Bestäubens, die u. a. für die Landwirtschaft notwendig ist. Angesichts dieser Bedeutung von Insekten ist ihr in Deutschland festgestellter Artenrückgang sehr alarmierend (Deutscher Bundestag 2016; Schwägerl 2016; Sorg 2013: 5; Hallmann et al. 2017; Schwägerl 2018).

Bei Untersuchungen verschiedener Straßenlampen wurden bei LED-Lampen im Mittel pro Nacht zwischen 45 und 74 Individuen gezählt. Die Zahl bei anderen Leuchtmitteln lag zwischen 162 und maximal 372 Insekten (Huemer et al. 2010: 30). Expertenschätzungen gehen davon aus, dass allein an Straßenlaternen in Deutschland pro Jahr rund 150 Billionen (= 150.000.000.000.000) Insekten umkommen – darunter auch solche bedrohter Arten (Schmid et al. 2012: 51).

- Die Tiere sterben in großer Zahl durch Verbrennungen an den heißen Lampen sowie durch Erschöpfung. Darüber hinaus werden die orientierungslosen Insekten im Schein der Lampen eine leichte Beute für ihre Jäger (z. B. lichttolerante Fledermäuse). Folglich fehlt eine große Zahl an Individuen für die Fortpflanzung.
- Die Blütenbestäubung wird durch den Massentod der Insekten deutlich reduziert. So verweist eine Studie aus England darauf, dass knapp ein Viertel der im Lichtschein der Straßenlaternen gefangenen Motten Pollen von 28 Pflanzenarten transportierten (Macgregor et al. 2016).

Je nach Lichtquelle und Einfluss der unterschiedlichen Faktoren, wie z. B. Witterung und Standort, kann die Anlockwirkung auf Insekten bis zu mehrere hundert Meter weit reichen (Höttinger & Graf 2003: 14–21; Scheibe 2000: 109; Perkins 2014: 372; SWILD 2007: 16).

Die Abschätzung der Auswirkungen von Kunstlicht auf einzelne Insektenarten ist schwierig. Jedoch spricht einiges dafür, dass insbesondere folgende Artengruppen durch Kunstlicht gefährdet werden können:

- Standorttreue Arten, die auf bestimmte Lebensräume spezialisiert sind und geringe Populationsdichten sowie eine niedrige Vermehrungsrate aufweisen
- Arten, die in der Natur selten vorkommen oder die durch den Einfluss des Menschen bereits weitgehend dezimiert wurden, da diese weitere Verluste kaum noch kompensieren können
- Arten, die nur eine kurze Zeit als erwachsene geschlechtsreife Tiere (Imago) leben, da bei diesen die Fortpflanzung einer Insekten-Generation stark eingeschränkt wird, was zu massiven Populationseinbrüchen führen kann

Negative Auswirkungen auf eine Art bleiben nicht auf diese beschränkt. Nahrungsketten, Konkurrenzbeziehungen, Symbiosen u. a. knüpfen zwischen den Arten vielfältige Beziehungen, die immer Wechselwirkungen verursachen. Letztendlich kann sich Kunstlicht deshalb negativ auf ganze Populationen, Lebensräume und Ökosysteme auswirken (Höttinger & Graf 2003: 7–8; Geiger 2007: 46).

Neuere Untersuchungen liefern erste Hinweise auf die Auswirkungen von Kunstlicht auf ökosystemare Zusammenhänge. Beispielsweise führte die nächtliche Beleuchtung von Sumpf-Hornklee (*Lotus pedunculatus*), einer mit Erbsen und Bohnen nah verwandten Wildpflanze, zu einem Rückgang der Blüten. In der Folge ging auch die Population der

Erbsenblattlaus im Monat August zurück, da diese auf die Pflanze und ihre Blütentriebe angewiesen ist (Bennie et al. 2015: 5–6; Bennie et al. 2016: 617).

Die Einwirkung von Kunstlicht kann jedoch auch völlig andere Entwicklungen auslösen – mit gravierenden Auswirkungen sowohl für die Tiere selbst als vermutlich auch für ökosystemare Zusammenhänge. Eine Schweizer Studie zeigt, dass Motten aus städtischen Populationen, die bereits seit mehreren Generationen nächtlicher Beleuchtung ausgesetzt waren, diese nur noch in einem geringeren Umfang anfliegen. Obwohl die Forschungen hierzu noch am Anfang stehen, halten die Verfasser der Studie unterschiedliche Ursachen und Entwicklungen für möglich. So könnten die ursprünglich an die Dunkelheit der Nacht angepassten Tiere in Folge der Beleuchtung kleinere oder weniger lichtempfindliche Augen entwickelt haben. Ebenso könnte der Lichteinfluss zu einer verringerten Gesamtmobilität der Tiere geführt haben. Eine verringerte Flugaktivität würde für die Mottenpopulationen jedoch zu Nachteilen bei der Futtersuche und der Erschließung neuer Lebensräume führen. Weiterhin ist es möglich, dass die Motten weniger Blütenpflanzen bestäuben. Auch das Nahrungsangebot für nächtliche Insektenjäger wie Fledermäuse oder bestimmte Spinnenarten könnte sich in der Folge verringern (Altermatt 2016, Universität Basel 2016). Die Schweizer Studie macht deutlich, zu welcher tiefgreifenden und weitreichenden Auswirkungen auf Arten und Lebensgemeinschaften die auf den ersten Blick geringfügig erscheinende Veränderung im Verhalten städtischer Motten führen kann.

In naturnahen Gebieten sollte die Beleuchtung in der Zeit von April bis September zum Schutz insbesondere von Insekten weitestgehend unterbleiben oder durch den steuernden Einsatz von Bewegungsmeldern so weit wie möglich reduziert werden. Beleuchtungen zu Werbe- und Dekorationszwecken sollten zum Schutz der Insekten auf die frühen Abendstunden beschränkt bleiben und nachts abgeschaltet werden (SWILD 2007: 63).

Gewässerlebensräume

Gewässer mit ihren angrenzenden Uferbereichen bieten Lebensraum für eine Vielzahl von Pflanzen und Tieren, die auf unterschiedliche Lichtspektren reagieren. Während zahlreiche Insekten, Krebse und Fische auf ultraviolettes Licht reagieren, weisen einige Fisch-, Krebs- und Vogel-

arten eine Empfindlichkeit im orange-roten Spektralbereich auf (Hölker 2013: 73). Die Auswirkungen des Kunstlichts werden durch die Nähe der Lichtquelle zum Gewässer, durch Art und Typ der Lichtquelle sowie durch abiotische Faktoren und Standortfaktoren maßgeblich beeinflusst.

Einige Beispiele zeigen die Auswirkung von Kunstlicht auf Lebensgemeinschaften in Gewässern (Höttinger & Graf 2003: 14–21) deutlich:

- Bei Versuchen an ufernah vorkommenden Spinnenpopulationen (Dickkieferspinnen/Tetragnathidae) wurde festgestellt, dass die Populationsdichte unter dem Einfluss von Beleuchtung um rund 44 % abnahm (Meyer et al. 2013: 1322).
- Köcherfliegen (Trichoptera) und Zuckmücken (Chironomidae) reagieren sehr stark auf Licht. So zeigen Studien, dass an einer Lichtfalle pro Nacht jeweils so viele Tiere gefangen wurden, wie auf einer Bachuferlänge von 180 m innerhalb von 24 Stunden ausschlüpfen (Scheibe 2003: 265).
- Auch bei Wasserflöhen (Zooplankton) sind die Auswirkungen künstlicher Beleuchtung gravierend. Die Tiere steigen normalerweise nachts zur Wasseroberfläche auf, um Algen zu fressen. Unter Lichteinfluss ist dies erheblich seltener der Fall. Dies führt dazu, dass weniger Algen gefressen werden, was in der Folge zu einer schlechteren Gewässerqualität führen kann (Brüning & Hölker 2013: 69; Moore et al. 2000: 1–3).
- Viele Fischarten werden vom Licht angelockt, da auch viele ihrer Beutetiere durch Licht angezogen werden. Jungfische und Fischlarven, die nachts regelmäßig in höhere Gewässerschichten aufsteigen, um dort zu fressen, meiden hingegen beleuchtete Wasseroberflächen. Dies liegt zum einen daran, dass das Zooplankton, von dem sie sich ernähren, bei Kunstlicht nachts nur noch in geringem Maß zur Gewässeroberfläche aufsteigt. Zum anderen wären sie im Licht eine leichte Beute für größere Fische. Die Beleuchtung von Gewässern kann also dazu führen, dass das tagesperiodisch gesteuerte Aufstiegsverhalten von Zooplankton und von Jungfischen gestört wird, während tagaktive Fische unter Lichteinfluss ihre Jagdaktivität auch in die Nacht ausdehnen. Darüber hinaus könnte die im Herbst stattfindende nächtliche Laichwanderung von Fischen, wie dem Europäischen Aal, durch Kunstlicht gestört werden, da die Tiere auf Licht empfindlich reagieren.
- Das Hormon Melatonin wird bei Fischen fast nur nachts gebildet und ist (neben einer Vielzahl von Stoffwechselforgängen) auch für die Reifung der Geschlechtsorgane von Fischen verantwortlich. Künstliche

Beleuchtung kann daher zu einer verringerten Bildung dieses Hormons und damit zur Störung der Geschlechtsreifung führen (Brüning & Hölker 2013: 70).

Bereits die genannten Beispiele zeigen, wie sensibel und unterschiedlich Arten an und in Gewässern auf künstliche Beleuchtung reagieren; um auch die Folgen für Lebensgemeinschaften zu erfassen, sind weitere Untersuchungen notwendig (Perkin et al. 2014: 2235). Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Gewässerlebensräume vielfältig und tiefgreifend sind. Deshalb kann nur empfohlen werden, auf deren Beleuchtung weitgehend zu verzichten (Scheibe 2003: 266).

Pflanzen

Licht wird von Pflanzen über Fotorezeptoren wahrgenommen und steuert eine Reihe wichtiger Prozesse. Samenkeimung und Stängelwachstum, der Übergang vom vegetativen in den Blühstatus der Pflanze und die Blütenentwicklung werden vom Licht gesteuert.

Erste Untersuchungen weisen darauf hin, dass die von Kunstlicht ausgelösten Veränderungen bei Pflanzen (z. B. die Anzahl von Pflanzenblüten) zu komplexen ökosystemaren Auswirkungen führen können (Bennie et al. 2015: 5–6; Bennie et al. 2016: 617). So werden Kohldisteln im Licht einer Straßenlaterne seltener von Bestäubern aufgesucht und bilden ca. 20 % weniger Samen als Vergleichspflanzen auf dunklen Flächen (Uni Bern 2016).

Bislang existieren jedoch erst wenige Studien zu den Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Pflanzen. Insbesondere fehlen solche, welche die Wirkung von Kunstlicht auf einzelne Aspekte wie den Blattaustrieb, den Blühzeitpunkt oder den Laubfall untersuchen und dies von anderen Einflüssen trennen können. Aus den genannten Gründen sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine weitergehenden Aussagen zu den Auswirkungen künstlicher Beleuchtung durch Straßenbeleuchtung auf Pflanzen möglich.

Literatur

- Altermatt, F. & Ebert, D. (2016): Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution. In: *Biology letters* 12 (4). DOI: 10.1098/rsbl.2016.0111.
- Bat Conservation Trust (Hrsg.) (2012): *Bats and Buildings. Bats and the Built Environment series Guidance*. Abgerufen am 08.11.2017 von http://www.bats.org.uk/data/files/BatsandBuildings_2012.pdf
- Bennie, J.; Davies, T. W.; Cruse, D.; Gaston, K. J. (2016): Ecological effects of artificial light at night on wild plants. In: *Journal of Ecology*, (104), S. 611–620. Abgerufen am 20.06.2016 von <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2745.12551/pdf>
- Bennie, J.; Davies, T. W.; Cruse, D.; Inger, R.; Gaston, K. J. (2015): Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem. In: *Philosophical Transactions B Royal Society* 370: 20140131. Abgerufen am 15.06.2016 von https://www.researchgate.net/profile/Jonathan_Bennie/publication/273700606_Cascading_effects_of_artificial_light_at_night_Resource-mediated_control_of_herbivores_in_a_grassland_ecosystem/links/550afa4e0cf285564096c6d0.pdf?inViewer=0&pdfJsDownload=0&origin=publication_detail
- Brüning, A. & Hölker, F. (2013): Lichtverschmutzung und die Folgen für Fische. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“*, (BfN-Skripten, 336), S. 69–72.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt) (Hrsg.) (2012): *Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Moser 09.3285. Referenz/Aktenzeichen: L423-1739, Nicht amtlich publizierte Fassung, 29. November 2012*. Schweizerische Eidgenossenschaft, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Abgerufen am 23.11.2016 von http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/13893/15176/16063/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCHdHt7e2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (Hrsg.) (2005): *Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen*. Abgerufen am 23.11.2016 von http://www.hellenot.org/fileadmin/user_upload/PDF/WeiterInfos/05_Broschuere_VermeidungLichtemissionen.pdf
- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2007): *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007*. Abgerufen am 03.08.2016 von http://www.biologisheviefalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_viefalt_strategie_bf.pdf

- BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2016): Klimaschutz in neuem Licht. Abgerufen am 16.02.2017 von http://www.licht.de/fileadmin/bildarchiv/Webbilder/portale/07_LED-Leitmarktinitiative/PDFs/161201_BMUB_Broschuere_Klimaschutz.pdf
- Cinzano, P. (2002): Light pollution and the situation of the sky in Europe, in Italy and in Veneto. In: Cinzano, P. (Hrsg.): Light pollution and the protection of the night environment. Proceedings of the IDA Regional Meeting „Venice: Let’s save the night“ Thiene. Abgerufen am 24.11.2016 von http://www.inquinamentoluminoso.it/download/cinzano_nightsskyeurope.pdf
- Da Silva, A.; Valcu, M.; Kempenaers, B. (2016): Behavioural plasticity in the onset of dawn song under intermittent experimental night lighting. In: *Animal Behaviour* 117 (2016), S. 155–165. Abgerufen am 25.07.2016 von <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000334721630046X>
- DENA (Deutsche Energie-Agentur GmbH) (2015): Energieeffiziente Straßenbeleuchtung. Abgerufen am 17.06.2016 von http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Stromnutzung/Dokumente/1430_Broschuere_Energieeffiziente-Strassenbeleuchtung.pdf
- DENA (Deutsche Energie-Agentur GmbH) (2016): Lotse energieeffiziente Straßenbeleuchtung. Abgerufen am 16.02.2017 von <http://industrie-energieeffizienz.de/energiekosten-senken/energieeffiziente-technologien/beleuchtung/quickcheck/lotse-strassenbeleuchtung-startseite/>
- Deutscher Bundestag (2016): Wortprotokoll der 73. Sitzung. Öffentliches Fachgespräch zu dem Thema „Ursachen und Auswirkungen des Biodiversitätsverlustes bei Insekten.“ Ausschuss für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin (Protokoll-Nr, 18/73). Abgerufen am 09.12.2016 von <https://www.bundestag.de/blob/416200/27ef1e1f3f6a34d1a9374f8702249dbf/protokoll-18-73-data.pdf>
- Eisenbeis, G. (2013): Lichtverschmutzung und die Folgen für nachtaktive Insekten. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“, (BfN-Skripten, 336), S. 53–56.
- Eisenbeis, G. & Eick, K. (2011): Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. In: *Natur und Landschaft* 86 (2011): 07. S. 298–306.
- Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH (Hrsg.) (2015): Energieeffiziente Strassenbeleuchtung. Ein Leitfaden für Kommunen. Abgerufen am 22.11.2016 von https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/verwaltung/uploads/brochure/download/130/Energieeffiziente_Strassenbeleuchtung_-_Ein_Leitfaden_fuer_Kommunen_2015.pdf
- Energie-Museum Berlin (Hrsg.) (o. J.): Öffentliche Beleuchtung. Die Entwicklung der öffentlichen Beleuchtung. Abgerufen am 25.11.2016 von http://www.energie-museum.de/fileadmin/downloads/oeffentliche_Beleuchtung.pdf

- Geiger, A.; Kiel, E.-F.; Woike, M. (2007): Künstliche Lichtquellen – Naturschutzfachliche Empfehlungen (Natur in NRW, 4/07). Abgerufen am 25.07.2016 von http://www.hochtaunuskreis.de/htkmedia/Benutzerordner/60_00+Umwelt/PDF_Texte/Beleuchtung+und+Insekten.pdf
- Hallmann, C. A.; Foppen, R. P. B.; van Turnhout, C. A. M.; de Kroon, H.; Eelke, J. (2014): Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. In: *Nature* (Vol. 511), S. 341–352. Abgerufen am 11.10.2016 von <http://www.nature.com/nature/journal/v511/n7509/pdf/nature13531.pdf>
- Hallmann, C. A.; Sorg, M.; Jongejans E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H. Stenmans, W.; Müller, A.; Sumser, H.; Hörrn, T.; Goulson, D.; Kroon, H. de (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12 (10): e0185809. Abgerufen am 13.06.2018 von <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Haupt, H. (2013): Lichtverschmutzung und die Folgen für Zugvögel. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“*, (BfN-Skripten, 336), S. 61–64.
- Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“*, BfN-Skripten, 336. Abgerufen am 11.05.2016 von https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_336.pdf
- Helm, B.; Partecke, J. (2013): Lichtverschmutzung und die Folgen für Singvögel. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. BfN-Skripten 336*, S. 57–59.
- Hölker, F. (2013): Lichtverschmutzung und die Folgen für Ökosysteme und Biodiversität. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“*, (BfN-Skripten, 336), S. 72–76.
- Höttinger, H.; Graf, W. (2003): Zur Anlockwirkung öffentlicher Beleuchtungseinrichtungen auf nachtaktive Insekten. Hinweise für Freilandversuche im Wiener Stadtgebiet zur Minimierung negativer Auswirkungen. Abgerufen am 22.02.2016 von <https://www.nabu.de/stadtbeleuchtung/cd-rom/Inhalte/PDF/H3-4.pdf>
- Huemer, P.; Kühtreiber, H.; Tarmann, G. (2010): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten. Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol. Abgerufen am 10.05.2016 von http://www.hellenot.org/fileadmin/user_upload/PDF/WeiterInfos/10_AnlockwirkungInsektenFeldstudie_TLMFundLUA.pdf

- IGB (Leibnitz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei) 2016: Die Nacht schützen. Forscher veröffentlichen Empfehlungen für Außenbeleuchtung. Pressemitteilung vom 16.12.2016. Abgerufen am 30.01.2018 von <https://www.igb-berlin.de/news/die-nacht-schuetzen>
- Jaeggi, P. (2004): Der helle Wahn. In: *Natürlich leben* (6-2004), S. 6–14. Abgerufen am 09.12.2016 von http://www.natuerlich-online.ch/fileadmin/Natuerlich/Archiv/2004/06-04/06-14_Lichtverschmutzung.pdf
- Kempenaers, B.; Borgström, P.; Loes, P.; Schlicht, E.; Valcu, M. (2010): Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds. In: *Current Biology* (20), S. 1735–1739. Abgerufen am 30.11.2016 von <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982210010183>
- Kobler, R. L. (2003): Lichtverschmutzung in der Schweiz. Mögliche Auswirkungen und praktische Lösungsansätze. Diplomarbeit. Muttenz. Abgerufen am 25.11.2016 von http://www.starpointing.com/downloads/rlkobler_dipl.pdf
- Künzel, D. (2010): Auswirkungen von Lichtemissionen in Ballungsgebieten auf Flora und Fauna und die Wirksamkeit von Methoden zur Verminderung der Belastung. Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades eines B.Sc. Geographie. Ruhr Universität Bochum. Abgerufen am 28.11.2016 von https://www.researchgate.net/publication/266611827_Auswirkungen_von_Lichtemissionen_in_Ballungsgebieten_auf_Flora_und_Fauna_und_die_Wirksamkeit_von_Methoden_zur_Verminderung_der_Belastung
- Kyba, C. M.; Ruhtz, T.; Fischer, J.; Hölker, F. (2011): Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. In: *PLoS ONE* 6(3) 2011. Abgerufen am 15.06.2016 von <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0017307>
- Kyba, C. M.; Kuester, T.; Sánchez de Miguel, A.; Baugh, K.; Jechow, A.; Hölker, F. et al. (2017): Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. In: *Science Advances* (Vol. 3, no. 11, e1701528). Abgerufen am 24.11.2017 von <http://advances.sciencemag.org/content/3/11/e1701528.full>
- Lang, D. (2013): Neue Systemlösungen und Beleuchtungsstrategien im Außenraum. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis*. BfN-Skripten 336, S. 91–94.
- LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) (2012): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen. Beschluss der LAI vom 13.9.2012.
- Lewanzik, D.; Voigt, C. C. (2013): Lichtverschmutzung und die Folgen für Fledermäuse. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis*. BfN-Skripten 336, S. 65–68.

- Lewanzik, D.; Voigt, C. (2016): Transition from conventional to light-emitting diode street lighting changes activity of urban bats. S. 1–8. Abgerufen am 11.10.2016 von <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.12758/e.pdf>
- Longcore, T. (2010): Sensory Ecology: Night Lights Alter Reproductive Behavior of Blue Tits. *Current Biology*, Volume 20, Issue 20, R893 - R895. Abgerufen am 30.11.2016 von [http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(10\)01092-4.pdf](http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(10)01092-4.pdf)
- Macgregor, C. J.; Evans, D. M.; Fox, R.; Pocock, M. J. O. (2016): The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. In: *Global Change Biology* 2016 (6). Abgerufen am 22.07.2016 von <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.13371/e.pdf>
- Meyer, L. A.; Mazeika, S.; Sullivan, P. (2013): Bright lights, big city: influences of ecological light pollution on reciprocal stream–riparian invertebrate fluxes. In: *Ecological Applications* 2013 (23(6)), S. 1322–1330. Abgerufen am 13.12.2016 von <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/12-2007.1/e.pdf>
- Moore, M. V.; Pierce, S. M.; Walsh, H. M.; Kvalvik, S. K.; Lim, J. D. (2000): Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. In: *Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied* (27), S. 1–4. Abgerufen am 13.12.2016 von http://academics.wellesley.edu/Biology/Faculty/Mmoore/Content/Moore_2000.pdf
- Perkin, E. K.; Hölker, F.; Richardson, J. S.; Sadler, J. P.; Wolter, C.; Tockner, K. (2011): The influence of artificial light on stream and riparian ecosystems: questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere* 2(11):122. Abgerufen am 13.12.2016 von <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/ES11-00241.1/e.pdf>
- Perkin, E. K.; Hölker, F.; Tockner, K.; Richardson, J. S. (2014): Artificial light as a disturbance to light-naïve streams. In: *Freshwater Biology* 2014 (59), S. 2235–2244. Abgerufen am 13.12.2016 von <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/fwb.12426/e.pdf>
- Posch, T. (2013): Besser beleuchten – richtige Wahl der Strahlengeometrie. In: Held, M.; Hölker, F.; Jessel, B. (Hrsg.) (2013): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. BfN-Skripten* 336, S. 83–86.
- Prietze, O.; Schneider, K. (2013): Effiziente Beleuchtung spart Kosten und fördert Klima- und Ressourcenschutz. In: Martin Held, Franz Hölker und Beate Jessel (Hg.): *Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft. Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“ BfN-Skripten*, 336, S. 117–120.
- Rowse, E. G.; Harris, S.; Jones, G. (2016): The Switch from Low-Pressure Sodium to Light Emitting Diodes Does Not Affect Bat Activity at Street Lights. In: *PLoS ONE* 11(3): e0150884. Abgerufen am 05.12.2016 von

<http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0150884&type=printable>

- Scheibe, A. M. (2000): Quantitative Aspekte der Anziehungskraft von Straßenbeleuchtungen auf die Emergenz aus nahegelegenen Gewässern (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae, Chironomidae, Empididae) unter Berücksichtigung der spektralen Emission verschiedener Lichtquellen. Dissertation, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz. 156 S. und Anhang. Abgerufen am 12.12.2016 von http://www.ephemeroptera-galactica.com/pubs/pub_s/pubscheibem2000p1.pdf
- Scheibe, M. A. (2003): Über den Einfluss von Straßenbeleuchtung auf aquatische Insekten. (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae, Chironomidae, Empididae). In: *Natur und Landschaft* 78. Jahrgang (2003) (6), S. 264–267. Abgerufen am 26.07.2016 von <https://www.nabu.de/stadtbeleuchtung/cd-rom/Inhalte/PDF/H3-4.pdf>
- Schmid, H.; Doppler, W.; Heynen, D.; Rössler, M. (2012): Licht als Vogel- und Insektenfalle; Angezogen wie die Motten vom Licht ...; in: *Vogelfreundliches Bauen mit Glas und Licht*; S. 50–53; 2. überarbeitete Auflage; Schweizerische Vogelwarte Sempach; ISBN-Nr.: 978-3-9523864-0-8; Abgerufen am 11.05.2016 von http://www.vogelsicherheit-an-glas.de/fileadmin/bundgruppen/bcmsvogelsicherheit/Literatur/Vogelfreundliches_Bauen_mit_Glas_und_Licht_2012.pdf
- Schwägerl, C. (2016): Der Trend geht zur sauberen Frontscheibe. Die Zahl der Insektenarten ist in Deutschland drastisch gesunken. *FAZ* 17.04.2016. Abgerufen am 18.06.2016 von http://www.faz.net/aktuell/wissen/leben-gene/immer-weniger-insekten-in-deutschland-14173292.html?printPagedArticle=true#pageIndex_2
- Schwägerl, C. (2018): Was wir über das Insektensterben wissen und was nicht. *Spektrum.de*. Abgerufen am 13.06.2018 von <https://www.spektrum.de/wissen/es-gibt-wenig-daten-aber-das-insektensterben-ist-eindeutig-besorgnis-erregend/1548199>
- Sorg, M.; Schwan, H.; Stenmans, W.; A. Müller (2013): Ermittlung der Biomassen flugaktiver Insekten im Naturschutzgebiet Orbroicher Bruch mit Malaise Fallen in den Jahren 1989 und 2013. *Mitteilungen aus dem Entomologischen Verein Krefeld* (1), S. 1–5. Abgerufen am 05.08.2016 von http://www.naturgarten.org/fileadmin/Daten%20alte%20Website/dokumente/regionalgruppen/loehne_15_sorg_et al2013.pdf
- Stone, E. L.; Jones, G.; Harris, S. (2009): Street Lighting Disturbs Commuting Bats. In: *Current Biology* 19, S. 1123–1127. Abgerufen am 03.12.2016 von [http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822\(09\)01193-2.pdf](http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(09)01193-2.pdf)
- SWILD – Stadtökologie, Wildtierforschung, Kommunikation (2007): Grundlagenbericht. Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung. SWILD – Stadtökologie, Wildtierforschung, Kommunikation. Hg. v. Stadt Zürich. Abgerufen am 20.06.2016 von http://www.karlsruhe.de/b3/natur_und_umwelt/naturschutz/artenschutz/himmelsstrahler/HF_sections/content/ZZINEqP2HgAxfr/ZZINEvGfRoqJap/AuswirkungenNachtlicht_SWILD_2007.pdf

- Uni Bern (05.09.2016): Künstliches Licht stört die Bestäubung. Abgerufen am 16.08.2017 von http://www.unibe.ch/aktuell/medien/media_relations/medienmitteilungen/2016/medienmitteilungen_2016/kuenstliches_licht_stoert_die_bestaeubung/index_ger.html
- Universität Basel (2016): Basler Motten meiden das Licht. Abgerufen am 10.05.2016 von <https://www.unibas.ch/de/Aktuell/News/Uni-Research/Basler-Motten-meiden-das-Licht.html>
- ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) (Hg.) (2014): Licht für mehr Nachhaltigkeit. In: Nachhaltige Beleuchtung, licht.wissen 20. Abgerufen am 16.02.2017 von www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/1506_lw20_Nachhaltigkeit_web.pdf

Gesetzestexte

- Baugesetzbuch (BauGB) i. d. F. d. Bek. v. 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634)
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), i. d. F. der Bek. v. 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771).
- Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. September 2017 (BGBl. I S. 3434).
- Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) Beschluss der LAI vom 13.09.2012
- Verordnung (EG) Nr. 245/2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät, Hochdruckentladungslampen sowie Vorschaltgeräte und Leuchten zu ihrem Betrieb und zur Aufhebung der Richtlinie 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. Abgerufen am 14.10.2016 von <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:076:0017:0044:DE:PDF>

Heft 1

Einleitung

Energie- und Klimaschutzkonzepte

Naturschutz von Beginn an berücksichtigen

Heft 2

Fassadendämmung

Klima- und Naturschutz am Gebäude

Heft 3

Photovoltaik-Dachanlagen

Klima- und Naturschutz: auch auf dem Dach

Heft 4

Straßenbeleuchtung

Energie sparen, Tierwelt schonen

Heft 5

Grüne Mobilitätsnetze

Potenziale für Mensch, Natur und Landschaft

Heft 6

Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Planung und Installation mit Mehrwert für den Naturschutz

Heft 7

Kurzumtriebsplantagen

Planung, Anlage und Bewirtschaftung

Heft 8

Landschaftspflegeholz

Hecken nutzen – Lebensräume erhalten – Landschaften gestalten

Heft 9

Landschaftspflegegras

Energetische Verwertung und Artenschutz

Heft 10

Naturschutzrechtliche Grundlagen

ISBN 978-3-9821029-4-8