

EUROBATS



Publication Series
No.

8



Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Beleuchtungsprojekten

C.C. Voigt • C. Azam • J. Dekker • J. Ferguson • M. Fritze
S. Gazaryan • F. Hölker • G. Jones • N. Leader • D. Lewanzik
H.J.G.A. Limpens • F. Mathews • J. Rydell • H. Schofield
K. Spoelstra • M. Zagmajster



Voigt, C.C, C. Azam, J. Dekker, J. Ferguson, M. Fritze, S. Gazaryan, F. Hölker, G. Jones, N. Leader, D. Lewanzik, H.J.G.A. Limpens, F. Mathews, J. Rydell, H. Schofield, K. Spoelstra, M. Zagmajster (2019): Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Beleuchtungsprojekten. EUROBATS Publication Series No.8 (deutsche Ausgabe). UNEP/EUROBATS Sekretariat, Bonn, Deutschland, 68 Seiten.

Herausgeber UNEP/EUROBATS
Koordination Suren Gazaryan / EUROBATS Sekretariat
Deutsche Bearbeitung Dr. Detlev Kelm, Tine Meyer-Cords
Design Sandra Menzel

© 2019 Abkommen zur Erhaltung der europäischen Fledermauspopulationen (UNEP/EUROBATS).

Diese Publikation darf im Ganzen oder teilweise für erzieherische oder nicht-kommerzielle Zwecke ohne spezielle Genehmigung des Herausgebers verwendet werden, sofern die Quelle kenntlich gemacht wird. UNEP/EUROBATS würde sich freuen, ein Exemplar jeder Veröffentlichung zu erhalten, in der diese Publikation zitiert wird.

Eine Verwendung der vorliegenden Veröffentlichung zum Weiterverkauf oder zu anderen kommerziellen Zwecken bedarf einer vorherigen schriftlichen Genehmigung durch UNEP/EUROBATS.

Wir bedanken uns beim deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, das die Kosten für diese Publikation übernommen hat.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bezugsadresse:

UNEP / EUROBATS Sekretariat
United Nations Campus
Platz der Vereinten Nationen 1
53113 Bonn, Germany
Tel (+49) 228 815 2421
Fax (+49) 228 815 2445
E-mail eurobats@eurobats.org
Web www.eurobats.org

ISBN 978-92-95058-43-9 (gedruckte Version)
ISBN 978-92-95058-44-6 (elektronische Version)

Titelfoto: *Pipistrellus nathusii* © CHRISTIAN GIESE

Das UN Umweltprogramm wirbt für umweltfreundliche Praktiken sowohl weltweit als auch bei eigenen Aktivitäten. Diese Publikation wurde auf 100 % Recycling-Papier unter Anwendung umweltfreundlicher Drucktechniken gedruckt. Unsere Vertriebsgrundsätze haben zum Ziel, den CO₂-Ausstoß des UN Umweltprogramms zu vermindern.



Inhalt

	Vorwort	6
1	Einleitung	7
2	Reaktionen von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht	14
2.1	Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Insekten	16
2.2	Lichtscheue und opportunistische Fledermausarten	19
2.3	Zwei veranschaulichende Beispiele für die Reaktionen von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht	20
2.4	Auswirkungen von Außenbeleuchtung auf Fledermausquartiere in Gebäuden	22
2.5	Der Einfluss von Innenbeleuchtung auf Fledermausquartiere in Gebäuden	25
2.6	Künstliches Licht in unterirdischen Quartieren	25
2.7	Flugrouten und Jagdgebiete	27
2.8	Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermausgemeinschaften	28
3	Allgemeine Aspekte des Planungsverfahrens	29
4	Durchführung von Studien zur Folgeabschätzung	32
4.1	Allgemeine Aspekte von Monitoring- und Bewertungsverfahren	32
4.2	Wann und wo ist eine Begleituntersuchung (Monitoring) wichtig?	32
4.3	Welche Daten sollten erhoben werden?	33
5	Vermeidungs-, Minderungs- und Ausgleichsmaßnahmen	34
5.1	Vermeidung	34
5.2	Minderungsmaßnahmen	38
5.2.1	Minderung der Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Jagdgebiete und Flugrouten	39
5.2.2	Minderung der Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Fledermausquartiere	44
5.2.3	Die Anpassung von Lichtspektren	46
5.2.4	Minderung indirekter Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf die Beute von Fledermäusen	49
5.5	Ausgleichsmaßnahmen	50
6	Forschungsschwerpunkte	51
6.1	Fitnesskonsequenzen	51
6.2	Auswirkungen auf die Fledermausgemeinschaft	51
6.3	Neue Beleuchtungstechnologien – Spektren	52
6.4	Das Sehvermögen von Fledermäusen	52
6.5	Die Effizienz von Minderungsmaßnahmen	52
6.6	Objektive Messung des Lichts	53
6.7	Migration	53
6.8	Winterschlaf	53
6.9	Entwicklung eines Vorhersagemodells auf Landschaftsebene	53
7	Referenzen / weiterführende Literatur	54
8	Glossar	65
	Affiliation der Autoren	66
	Danksagung	67



Vorwort

Das Leben auf der Erde hat sich über Milliarden von Jahren unter den Zyklen von natürlichem Licht und Dunkelheit entwickelt, welche im Tages- und Jahresgang variieren. Nächtliches Kunstlicht (Engl.: „Artificial Light At Night“, Abk.: ALAN), und manchmal auch künstliches Licht am Tage, kann Abweichungen von diesen natürlichen Dunkelphasen verursachen und dadurch die natürlichen physiologischen und ökologischen Rhythmen beeinträchtigen (LONGCORE & RICH 2004, HÖLKER *et al.* 2010a, GASTON *et al.* 2013, 2015). Bei Säugetieren sind physiologische Prozesse wie Schlaf, Verdauung, Immunantwort und Körpertemperatur an den Tageslichtzyklus angepasst (ARENDRT 1998). Nächtliches Kunstlicht kann diese physiologischen Prozesse stören und sich auch auf die Orientierung und Navigation von Tieren auswirken, was potenziell weitreichende Konsequenzen für das individuelle Verhalten sowie lokale Tierpopulationen und ganze Ökosysteme haben kann (RICH & LONGCORE 2006, Gaston *et al.* 2015).

Innerhalb der Wirbeltiere reagieren die fast ausschließlich nachtaktiven Fledermäuse sehr empfindlich auf nächtliches Kunstlicht (HÖLKER *et al.* 2010a, SPEAKMAN 1995, VOIGT & LEWANZIK 2011, BENNIE *et al.* 2014a). Das stetig zunehmende Wissen über den Einfluss des nächtlichen Kunstlichts auf Fledermäuse ermöglicht es uns nun, Handlungsanweisungen zu formulieren, um die Auswirkungen herkömmlicher und neuartiger Beleuchtungssysteme auf Fledermäuse zu mindern. Die derzeit verfügbaren Informationen zu diesem Thema entstammen wissenschaftlichen Studien, Fallberichten

und der umfangreichen Erfahrung all jener, die sich mit Fledermäusen beschäftigen. Die Zusammenfassung dieser Informationen bildet die Grundlage dieses EUROBATS-Leitfadens. Allerdings ist es wichtig, den Erfolg der in diesem Leitfaden empfohlenen Minderungsmaßnahmen und ihres Einflusses auf Fledermäuse sowohl auf lokaler als auch auf Landschaftsebene zu überprüfen. Darüber hinaus ist es notwendig herauszufinden, wie die hier vorgestellten Maßnahmen weiter verbessert werden könnten. Des Weiteren kann eine quantitative Bewertung der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen, die unerlässlich für die Weiterentwicklung und Verbesserung zukünftiger Schutzmaßnahmen ist, nur durch eine strukturierte Datenerfassung an mehreren Standorten vorgenommen werden.

In diesem Leitfaden haben wir versucht, den Wissensstand über die Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse, welches ein sehr dynamisches Forschungsgebiet ist, zusammenzutragen. Auf der Grundlage dieser Informationen können Lösungsansätze formuliert werden, wie die schädliche Wirkung von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse in ihren verschiedenen funktionalen Lebensräumen, bestehend aus Quartieren (Wochenstuben, Sommer-, Übergangs-, Nacht-, Reproduktions- und Winterquartieren), **Transferflugrouten** und **Migrationskorridoren**, **Jagdgebieten** und **Schwärmquartieren**, vermieden, vermindert oder ausgeglichen werden kann (im Folgenden sind die fett und kursiv gedruckten Begriffe im Glossar aufgeführt).



1 Einleitung

Alle europäischen Fledermausarten sind durch mehrere verbindliche internationale sowie europäische Verträge geschützt (z.B. durch die **Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie**). Das Übereinkommen zur Erhaltung wandernder wild lebender Tierarten (auch bekannt als Bonner Konvention oder Englisch „Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals“, Abkürzung: CMS) zielt darauf ab, aquatische sowie terrestrische Tierarten, einschließlich der Vögel, mit ihrem gesamten Lebensraum zu erhalten. Es handelt sich um einen zwischenstaatlichen Vertrag, der unter der Schirmherrschaft des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) geschlossen wurde. Vom Aussterben bedrohte wandernde Arten sind im Anhang I des Abkommens aufgeführt, während wandernde Arten, deren Schutz einer internationalen Zusammenarbeit bedarf oder welche erheblich von einem solchen profitieren würden, im Anhang II aufgeführt sind. Hierzu zählen alle europäischen Fledermausarten. Das Abkommen zur Erhaltung der europäischen Fledermauspopulationen (EUROBATS) wurde unter dem Dach der Bonner Konvention entwickelt und beschlossen. Es sieht vor, alle europäischen Fledermauspopulationen durch Gesetzgebung, Bildungsmaßnahmen, Schutzmaßnahmen und internationale Zusammenarbeit zu schützen. Gemäß den grundlegenden Verpflichtungen, muss jedes Land, welches das EUROBATS Abkommen unterzeichnet hat, wichtige Quartiere und **Jagdgebiete** von Fledermäusen identifizieren und diese Standorte und Gebiete vor Schäden oder

Störungen wie nächtlichem Kunstlicht schützen.

Die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Abk.: FFH-Richtlinie) verlangt von den EU-Mitgliedsstaaten mehr, als nur den weiteren Rückgang der Populationen der in der Richtlinie aufgeführten Arten zu verhindern. Stattdessen ist es ein Ziel der FFH-Richtlinie, den günstigen Erhaltungszustand aller Fledermausarten zu bewahren oder wieder herzustellen. Daher müssen die zuständigen Behörden aller EU-Mitgliedsstaaten sicherstellen, dass Fledermauspopulationen auch vor den Auswirkungen der Lichtverschmutzung geschützt werden.

Alle Fledermäuse sind nachtaktiv. Tagsüber verstecken sie sich meist in Quartieren, während sie nachts auf **Transferflugrouten** zu **Jagdgebieten** oder Trinkstellen fliegen. Im Jahresverlauf sammeln sich Fledermäuse der gemäßigten Breiten im Spätsommer und Herbst zum **Schwärmen**. Den Winter verbringen sie in Winterquartieren. Viele Fledermausarten wechseln regelmäßig ihre Quartiere und Lebensräume, und einige Arten wandern sogar als Langstreckenzieher über große Distanzen zwischen den in verschiedenen Teilen Europas gelegenen Fortpflanzungs- und Überwinterungsstätten (HUTTERER *et al.* 2005). All diese natürlichen Verhaltensweisen können von nächtlichem Kunstlicht signifikant beeinflusst werden (STONE *et al.* 2015a, ROWSE *et al.* 2016a). Ein hypothetisches Beispiel hierfür ist in Abbildung 1.1 dargestellt. Die teilweise Beleuchtung von **Jagdgebieten** und **Transferflugrouten** führt zu einem potenziellen Konflikt zwischen nächtlichem

Kunstlicht und dem Fledermausschutz. Künstliche Beleuchtung könnte dazu führen, dass *Plecotus auritus* Ausflugöffnungen aus einem Quartier auf der beleuchteten Seite der Kirche nicht mehr nutzen würde, und

es könnte zu Beeinträchtigungen bei der Nutzung von **Flugrouten** und **Jagdgebieten** kommen, wie Baumreihen und Uferlinien (*Pipistrellus pipistrellus* und *P. auritus*) sowie bei Gewässern (*Myotis daubentonii*).

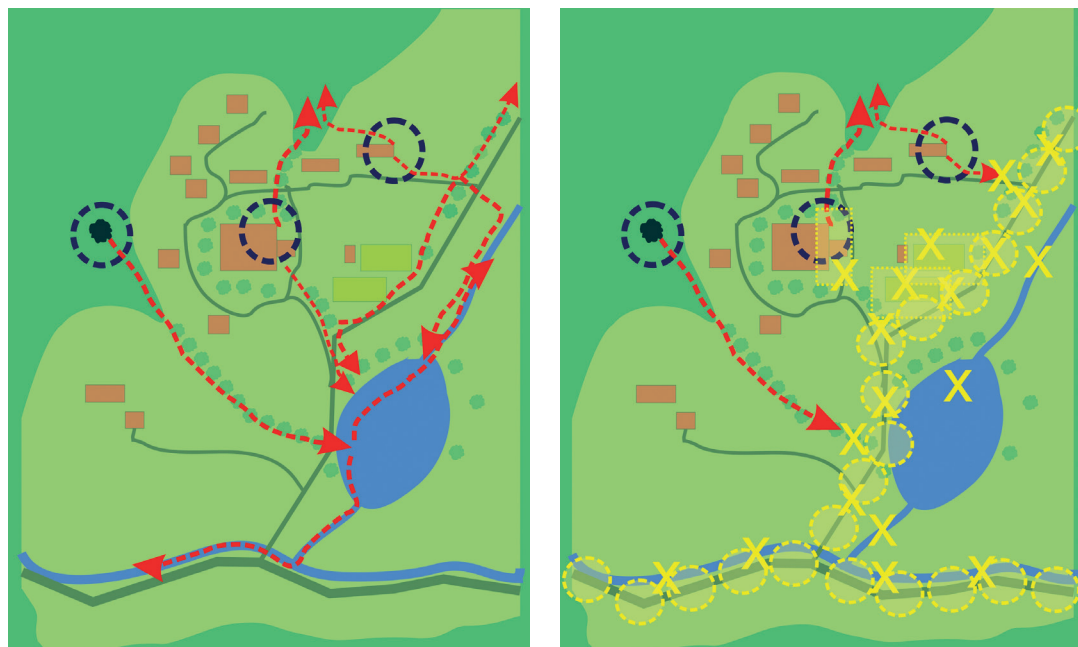


Abbildung 1.1 Schematische Darstellung des Netzwerks aus Quartieren, Flugrouten und Jagdgebieten dreier Fledermausarten, jeweils ohne nächtliches Kunstlicht (Bild links) und mit nächtlichem Kunstlicht (Bild rechts). Rote Rechtecke stellen Gebäude in einem Dorf, umgeben von Wald (dunkelgrün) dar. Grüne Punkte repräsentieren einzelne Bäume, blaue Flächen Gewässer, graue Linien Straßen und grüne Rechtecke Sportstadion. Quartiere sind durch dunkelblau-gestrichelte Kreise gekennzeichnet: Das Quartier von *M. daubentonii* ist in einem Baum im Wald, das Quartier von Langohrfledermäusen ist auf dem Dachboden einer Kirche (großes rotes Rechteck im Dorfzentrum) und das Quartier von *P. pipistrellus* befindet sich in einem Haus. Flugrouten sind als rot-gestrichelte Linien mit Pfeilen dargestellt. Beleuchtete Bereiche sind durch gelb-gestrichelte Kreise dargestellt. Die gelben Kreuze zeigen die Stellen an, an denen durch nächtliches Kunstlicht eine Barriere für Fledermäuse entsteht und ein vormaliger Fledermauslebensraum seine Funktion verliert.

Im natürlichen Lebensraum sind Fledermäuse nur geringen Beleuchtungsintensitäten während der Dämmerung oder durch Mond- und Sternenlicht ausgesetzt (Abb. 1.2). Es gibt seltene Ausnahmen von Flugaktivität bei Tageslicht, wie z.B. bei *Nyctalus*

azoreum, einer Fledermausart auf den Azoren aus der Gattung der Abendsegler (SPEAKMAN 1995), oder bei Fledermäusen der nördlichen Breiten, die in den Monaten der kürzesten Nachtlängen bei Tageslicht auf Nahrungssuche gehen (SPEAKMAN *et al.*



Abbildung 1.2 Zwei *Plecotus auritus* vor aufgehendem Vollmond im Hintergrund (© J. RYDELL).

2000). Im Allgemeinen ist der Sehsinn der Fledermäuse an schwache Lichtintensitäten angepasst (SHEN *et al.* 2010). Es ist bekannt, dass schon geringe Lichtstärken, welche mit ungefähr 0,1 lx vergleichbar mit denen einer typischen Vollmondnacht sind, die Flugaktivität von Fledermäusen beeinflussen. Hierbei ist es wichtig zu beachten, dass die Einheit Lux (Symbol lx) über die spektrale Empfindlichkeit des Menschen definiert ist und somit die Übertragbarkeit dieser Maßeinheit auf Tiere mit abweichender spektraler Empfindlichkeit problematisch ist. Wir werden im Weiteren diese Maßeinheit aber dennoch nutzen, da sie die interdisziplinäre Kommunikation zwischen Biologen, der Beleuchtungsindustrie und Planern erleichtert.

Jegliche künstliche Beleuchtung, die in ihrer Stärke über der des Mondlichts liegt, kann die natürliche periodische Helligkeit des Nachthimmels überdecken und dadurch die zeitlichen Muster der Nahrungssuche und Fortpflanzung über eine Desynchronisation des zirkadianen Systems beeinflussen (Abb. 1.3 und 1.4). Im Labor reichen bereits **Beleuchtungsstärken** von

lediglich 10^{-5} lx aus, um den zirkadianen Rhythmus der Pallas-Samtfledermaus (*Molossus molossus*) zu beeinflussen. Dies ist der niedrigste Schwellenwert, der für künstliches Licht für die Desynchronisation des zirkadianen Rhythmus bei Wirbeltieren nachgewiesen wurde (ERKERT 2004). Folglich kann künstliches Licht mit bereits sehr geringer Intensität Fledermäuse negativ beeinflussen. Einige Fledermausarten werden zum Beispiel bereits durch künstliches Licht mit geringen **Beleuchtungsstärken** von nur 4,5 lx (LEWANZIK & VOIGT 2016), 3,6 lx (STONE *et al.* 2012), 3,2 lx (KUIJPER *et al.* 2008) und 1,9 lx (LACOEUILHE *et al.* 2014) abgeschreckt. Solche **Beleuchtungsstärken** sind niedriger als die, welche man in der Regel zur Beleuchtung von Wohn- und Nebenstraßen einsetzt. Dort liegen die Beleuchtungsintensitäten regelmäßig deutlich höher (GASTON *et al.* 2012, AZAM *et al.* 2015).

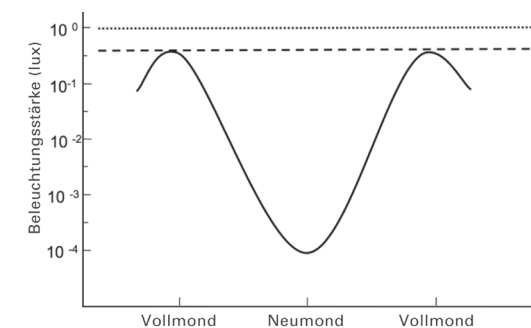


Abbildung 1.3 Nächtliches Himmelsleuchten (Engl.: „skyglow“) kann den natürlichen Helligkeitsrhythmus des Nachthimmels überdecken. Die durchgezogene Linie zeigt die Lichtstärke des Mondlichts in einem Lebensraum der gemäßigten Breiten ohne Lichtverschmutzung. Die gestrichelte und gepunktete Linie zeigen die Lichtverhältnisse bei klarem bzw. bewölktem Himmel im Zentrum der Stadt Berlin. Abbildung aus PERKIN *et al.* (2011).

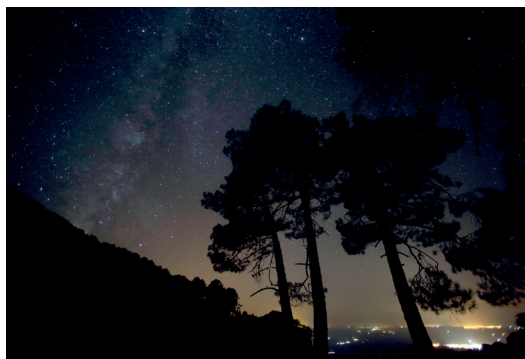


Abbildung 1.4 Von nächtlichem Himmelsleuchten überstrahlte Sterne und Milchstraße nahe der Stadt Cazorla in Spanien (© JENS RYDELL).

Fledermäuse können Farben (MÜLLER & PEICHL 2005) und auch ultraviolettes Licht (UV-Licht) wahrnehmen (WINTER *et al.* 2003, MÜLLER *et al.* 2009, GORRESEN *et al.* 2015). Einige Arten, wie die Hufeisennasen, haben die UV-Empfindlichkeit aber wieder verloren (ZHAO *et al.* 2009). Lichtscheues Verhalten ist bei vielen Fledermäusen offensichtlich. Einige Arten passen ihre Aktivität dem

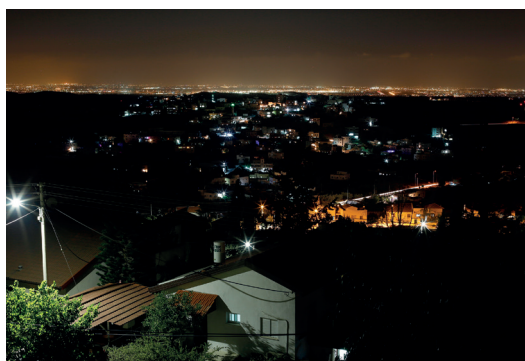


Abbildung 1.5 Nächtliche künstliche Beleuchtung durch Straßenlaternen, erleuchtete Gebäude, Leuchtreklame und Fahrzeugbeleuchtung führt zu einem hellen Himmelsleuchten. Das Bild wurde vom wesentlich geringer beleuchteten Westjordanland in Richtung Israel aufgenommen (© J. RYDELL).

Mondzyklus an (z.B. Lunarphobie). Dies ist besonders für Arten, die in den Tropen über dem Wasser, und solche, die im Kronenbereich des Waldes jagen, ausgeprägt (SALDAÑA-VÁZQUEZ & MUNGUÍA-ROSAS 2013, ROELEKE *et al.* 2018). Das polarisierte Licht während des Sonnenuntergangs scheint für die Orientierung der Tiere wichtig zu sein, wie z.B. für die Kalibrierung des Magnetkompasses einiger Fledermausarten (GREIF *et al.* 2014), obgleich migrierende Arten diesbezüglich eine Ausnahme darstellen könnten (LINDECKE *et al.* 2015). Fledermäuse könnten auch die Beleuchtung von Städten für ihre Navigation nutzen (TSOAR *et al.* 2011). Sie verfügen auch über die notwendige Sehschärfe, um sich an Sternen orientieren zu können (CHILDS & BUCHLER 1981, EKLÖF *et al.* 2014). Das Fehlen visueller Reize reduziert nachweislich die Fähigkeit von Fledermäusen, zu ihrem Quartier zurück zu finden (DAVIS & BARBOUR 1970). Es erscheint daher plausibel, dass künstliches Licht bei Nacht potenziell das Sehvermögen und das Verhalten von Fledermäusen entscheidend beeinträchtigt.

Für die nächtliche Beleuchtung sind unterschiedliche Lichtquellen, wie z.B. Straßen-, Sicherheits-, Wohnraum-, und Gebäudebeleuchtung, Lichtwerbung und Leuchtreklame sowie Fahrzeuglampen, Gasfackeln und die Beleuchtung von Sportstadien verantwortlich (KYBA *et al.* 2015, SCHOEMAN 2015, Abb. 1.5). Eine detaillierte Fernerkundungsstudie in Berlin ergab, dass die Straßenbeleuchtung für fast ein Drittel des emittierten Kunstlichts verantwortlich war, aber erhebliche Lichtmengen auch von Industriegebieten (16 %), öffentlichen Flächen (10 %), Gebäu-

dekomplexen (8 %), der Innenstadt (6 %), von Flugplätzen (4 %) und Ver- und Entsorgungseinrichtungen (4 %) abgestrahlt wurden (KUECHLY *et al.* 2012). Das künstliche

Licht wird durch die physikalischen Eigenschaften der Atmosphäre und des Geländes beeinflusst und kann durch Moleküle oder Aerosole in der Atmosphäre, insbe-

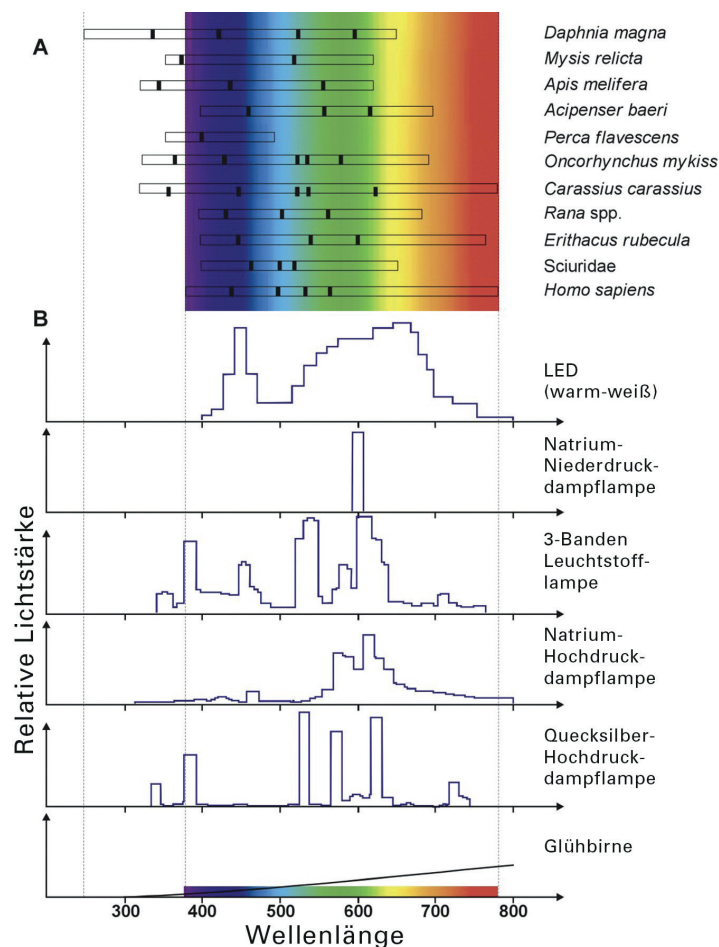


Abbildung 1.6 (A) Die Lichtempfindlichkeit des Sehens verschiedener Tierarten im Spektrum des für den Menschen sichtbaren Lichts. Die gestrichelten vertikalen Linien begrenzen den Wellenlängenbereich, den die aufgeführten Arten wahrnehmen können. Die schwarzen Markierungen in den Balken zeigen den Wellenlängenbereich der höchsten Empfindlichkeit der Sehpigmente der kleinen Krebstiere *Daphnia magna* und *Mysis relicta*, des Insektes *Apis mellifera* (Honigbiene) und der Fische *Acipenser baeri* (Stör), *Perca flavescens* (Barsch), *Onchorhynchus mykiss* (Forelle) und *Carassius carassius* (Karpfen) sowie von Amphibien *Rana spp.* (Frösche), des Vogels *Erithacus rubecula* (Rotkehlchen) und der Säugetiere *Sciuridae* (Eichhörnchen) und *Homo sapiens* (Mensch). **Abbildung (B)** zeigt die Wellenlängen des Lichts, das von einer Reihe künstlicher Lichtquellen emittiert wird. Einige Lampen strahlen Licht im UV-Bereich ab. Die Breite des emittierten Spektrums variiert je nach Lampentyp erheblich © PERKIN *et al.* (2011).



sondere bei Bewölkung, gestreut werden (AUBÉ 2015, KYBA *et al.* 2015). Obwohl das gestreute künstliche Licht (siehe nächtliches **Himmelsleuchten**) im Vergleich zu punktförmigen Lichtquellen, wie Straßenlaternen, relativ schwach und homogen ist, ist es im Vergleich zu natürlichem Licht bei Nacht, wie dem der Sterne, immer noch sehr hell, was zu einer großflächigen Ausdehnung dieses diffusen Lichts führt (KYBA & HÖLKER 2013, FALCHI *et al.* 2016).

Das Lichtspektrum hängt von der jeweiligen Lichtquelle ab (Abb. 1.6, Tabelle 1.1), und viele Tiere (einschließlich Fledermäuse und Insekten) sind in der Lage, Wellenlängen außerhalb des vom Menschen sichtbaren Lichtspektrums wahrzunehmen. Quecksilber-Hochdruckdampflampen (HQL-Lampen), welche ein Licht abstrahlen, das für den Mensch als blau-weiß wahrgenommen wird, erzeugen Licht mit hohem UV-Anteil. Natrium-Niederdruckdampflampen (LPS) erzeugen ein monochromatisches, orangefarbenes Licht, während Natrium-Hochdruckdampflampen (HPS) ein breiteres Lichtspektrum mit hauptsächlich orange-gelben Wellenlängen abstrahlen. Zu neueren Technologien gehören Leuchtdioden (LEDs) und Halogen-Metalldampflampen. LEDs sind in den Licht-Varianten „Warmweiß“ und „Kaltweiß“ erhältlich und emittieren in der Regel kein UV-Licht. Halogen-Metalldampflampen emittieren UV-Strahlung, ähnlich wie HQL-Lampen. Die Beleuchtung von Gebäuden umfasste traditionell oftmals Wolfram-Glühlampen, welche unter Wärmeerzeugung beim Glühen des Glühfadens sichtbares Licht abstrahlen. Diese Lampen werden derzeit sukzessive durch kompakte Leuchtstofflampen, die etwas UV-Licht abstrahlen, aber insbe-

sondere durch LEDs ersetzt. Besonders die UV-Komponente des Lichtes legt fest, wie attraktiv Lampen für Insekten sind. Es hat sich gezeigt, dass Lampen die UV-Licht abstrahlen, mehr Insekten anlocken (EISENBEIS & EICK 2011, WAKEFIELD *et al.* 2016, 2018), wobei Lampen, die Licht blauer Wellenlänge abstrahlen, deutlich mehr Nachtfalter anziehen als solche, die Licht längerer Wellenlänge erzeugen (VEROVNIK *et al.* 2015). Große Ansammlungen von Insekten um diese Lichtquellen scheinen wiederum bestimmte Fledermausarten anzulocken, die dort Jagd auf Insekten machen (z.B. RYDELL 1991).

Das Bevölkerungswachstum und die damit einhergehenden Prozesse der Urbanisierung haben zu einem Anstieg von nächtlichem Kunstlicht um etwa 2–6 % pro Jahr geführt, so dass nächtliches Kunstlicht heute als eine ernste Bedrohung für die Biodiversität angesehen wird (HÖLKER *et al.* 2010a, KYBA *et al.* 2017). Darüber hinaus hat die Umstellung auf kostengünstigere LED-Beleuchtung zu einem so genannten Rückschlageffekt (Engl.: „Rebound-Effekt“) geführt. Dies bedeutet, dass der zunehmende Einsatz kostengünstiger LED-Außenbeleuchtung die Zunahme nächtlichen Kunstlichts weltweit weiter beschleunigt (KYBA *et al.* 2017).

Achtzig Prozent der Weltbevölkerung leben heute unter einem lichtverschmutzten Himmel, und die Milchstraße ist für mehr als ein Drittel der Menschheit nicht mehr sichtbar (FALCHI *et al.* 2016). Die Zunahme von nächtlichem Kunstlicht ist rasanter als das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum (HÖLKER *et al.* 2010b). Obwohl europäische Richtlinien dazu führten, dass HQL-Lampen sukzessive abgeschafft werden, wird nächtliches Kunstlicht in weiten Teilen



Spektrum	Lampentyp	% Verkäufe	Farbe	UV	CCT	LE	CRI
Schmal	Natrium-Niederdruckdampflampe	37	Orange	0	1807	80-150	NA
Weit	Natrium-Hochdruckdampflampe		Orange-gelb	+	2005-2108	45-110	22-80
Weit	Quecksilber-Hoch- / Niederdruckdampflampe	27	Weiß	++	2766-5193	25-52	22-43
Weit	Halogen-Metalldampflampen	36	Weiß	++	2874-4160	45-150	65-95
Weit	LED	NA	Weiß	0	1739-8357	160	>90

Tabelle 1.1 Der prozentuale Anteil der gebräuchlichsten Lampen, die in der EU von 2004 bis 2007 verkauft wurden (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2011) sowie ihre physikalischen Eigenschaften (nach GASTON *et al.* (2012) und eigene Daten von Georges Zissis). CCT (Engl.: „Correlated Colour Temperature“) ist die Farbtemperatur (Kelvin); LE (Engl.: „Luminous Efficacy“) die Lichtausbeute (Lumen/W); CRI (Engl.: „Colour Rendering Index“) ist der Farbwiedergabeindex (Ra); NA – Daten sind nicht verfügbar.

der EU nicht reguliert, weder im Allgemeinen noch speziell in Bezug auf den Fledermausschutz.

Mit der Zeit hat nicht nur die Lichtverschmutzung zugenommen, sondern es verändert sich auch deren spektrale Zusammensetzung. Um Kosten und CO₂-Emissionen zu reduzieren, dürfen seit 2015 keine HQL-Lampen mehr bei der Installation neuer Beleuchtungsanlagen verwendet werden. Abgesehen davon wird das Licht der Straßenbeleuchtung immer weißer, da viele Natriumlampen durch LEDs und teilweise durch Halogen-Metalldampflampen ersetzt werden. Deren Farbwiedergabe wird vom Menschen als vorteilhaft empfunden. Allerdings erzeugen diese Lampen Lichtspektren (UV-Licht, blaues Licht) mit negativen Auswirkungen für Insekten, welche die wichtigste Nahrungsquelle von Fledermäusen darstellen. Die Umstellung auf neue Technologien bei der Straßenbeleuchtung hat potenziell auch Vorteile,

da viele der neuartigen Lampen von einer zentralen Leitstelle aus programmiert werden können, so dass Lichtintensität und Betriebszeit schnell und großräumig geändert werden könnten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich durch die Zunahme von Kunstlicht, aber auch durch die Entwicklung und den Einsatz neuer Beleuchtungstechnologien mit ihren unterschiedlichen Lichtspektren, die Nachtlandschaft verändert. Bisher können wir nur bedingt abschätzen, wie sich nächtliches Kunstlicht allgemein, aber auch die Auswirkungen von spezifischen Beleuchtungssystemen, insbesondere auf die biologische Vielfalt einschließlich der Fledermäuse, auswirken. Alle Fachleute sind sich aber darin einig, dass die nachtaktiven Fledermäuse von nächtlichem Kunstlicht besonders betroffen sind. Im folgenden Kapitel fassen wir den Wissensstand darüber zusammen, wie Fledermäuse auf nächtliches Kunstlicht reagieren.

2 Reaktionen von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht

Alte Beobachtungen von Fledermäusen, die Nachtfalter an Straßenlaternen (damals mit Glühlampen) jagten (GRIFFIN 1958, RÖDER 1967) legen den Schluss nahe, dass Fledermäuse vermutlich bereits seit der ersten Installierung von Straßenlaternen in den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts, Insekten an künstlichem Licht jagten. Eine erste quantitative Studie über die Auswirkung von (natürlichem) Licht auf Fledermäuse wurde von NYHOLM (1965) durchgeführt. Er stellte fest, dass *Myotis daubentonii* und *M. mystacinus/M. brandtii* ihre bevorzugten Lebensräume, d.h. Seen und Waldlichtungen, während der hellen nordischen Mittsommernächte konsequent mieden. Seine Beobachtungen umfassten allerdings nicht die damals noch wenigen Bereiche, die durch Kunstlicht beleuchtet wurden, sondern belegten lediglich den Einfluss von natürlichem Licht mit hoher Intensität auf die allgemeine Aktivität und Lebensraumnutzung von Fledermäusen. Anschließend beobachteten Naturforscher und Fledermauskundler artspezifische Verhaltensunterschiede von Fledermäusen in Bezug auf nächtliches Kunstlicht. Die beobachteten Verhaltensunterschiede waren zumeist auf artspezifische Flugstile zurückzuführen. So erwiesen sich schnell fliegende Arten als opportunistischer gegenüber nächtlichem Kunstlicht als langsam fliegende und schwirrfliegende Arten. Man erklärte diese

Unterschiede durch die jeweilige Fähigkeit der Arten, visuell orientierten Fressfeinden wie Greifvögeln auszuweichen (RYDELL *et al.* 1996). Man stellte auch fest, dass einige Fledermausarten durch nächtliches Kunstlicht angelockt werden, da sie sich von Insekten ernähren, die wiederum von der künstlichen Lichtquelle angelockt werden (RYDELL 1991). Aufgrund dieser Verhaltensunterschiede wurden die Fledermausarten in zwei Klassen eingeteilt, nämlich in „lichtscheue“ und „lichttolerante“ oder sogar „vom Licht angelockte“ Arten. ROWSE *et al.* (2016a) schlugen jedoch kürzlich vor, diese vereinfachte Kategorisierung zu überdenken. Für eine korrekte Bewertung der Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse in bestimmten Situationen müssen weitere Faktoren berücksichtigt werden.

Fledermäuse haben sich im Laufe von Millionen Jahren an das Leben in der Nacht und somit an Dunkelheit oder schwaches Licht angepasst (RYDELL & SPEAKMAN 1995, VOIGT & LEWANZIK 2011). Für Fledermäuse ist die Dunkelheit in den meisten Situationen der wichtigste Schutz vor Fressfeinden. MIKULA *et al.* (2016) veröffentlichten kürzlich einen umfassenden Überblick über die Fressfeinde von Fledermäusen an Quartieren als auch im Allgemeinen. Verschiedene Beutegreifer machen unter unterschiedlichen Bedingungen Jagd auf Fledermäuse, sowohl in deren Quartieren als auch im

offenen Luftraum. Die Aktivitätsmuster der Fledermäuse und letztendlich ihre Überlebens- und Reproduktionsrate werden oft durch Fressfeinde beeinflusst (SPEAKMAN 1991). Der Ausflug aus dem Quartier sowie das Nahrungssuchverhalten einzelner Fledermäuse werden höchstwahrscheinlich durch einfache Optimierungsregeln bestimmt, wie z.B. der Abwägung („trade-off“) zwischen den zu erwartenden Kosten, wie dem Energieaufwand für die Fortbewegung und dem Risiko gefressen zu werden, und dem wahrscheinlichen Nutzen der Nahrungssuche, also dem Energiegewinn. Diese Zusammenhänge sind in der Regel jedoch weitaus komplexer, da sie von vielen weiteren Faktoren beeinflusst werden. Zunächst hängt die Reaktion einer Fledermaus auf nächtliches Kunstlicht von ihrem Ernährungszustand ab, der wiederum zum Beispiel vom Reproduktionszustand, dem Geschlecht und dem Alter beeinflusst wird. Laut einer Studie über die Quartierausflugszeiten von drei europäischen Arten, verlassen Fledermäuse, wenn sie trächtig sind oder aber aufgrund anhaltend niedriger Umgebungstemperaturen unter Nahrungsmangel leiden oder sie allgemein geringe Energiereserven haben, relativ früh ihr Quartier und gehen somit ein höheres Risiko ein als unter normalen Umständen (DUVERGÉ *et al.* 2000). Des Weiteren hängt die Reaktion von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht auch vom jeweiligen Ort und der Motivation der Fledermäuse im jeweiligen Habitat ab, d.h. der Qualität und funktionalen Bedeutung des jeweiligen Lebensraums für die Fledermäuse. Außerdem

kann natürliches oder künstliches Licht an jedem Ort sowohl das Vorkommen von Insekten als auch das Auftreten von Konkurrenten und Fressfeinden beeinflussen, und diese Faktoren wiederum beeinflussen das Vorkommen von Fledermäusen (RYDELL *et al.* 1996). Zudem können auch die Wellenlänge, die Lichtintensität und Richtcharakteristik des Lichts von Bedeutung sein (MATHEWS *et al.* 2015). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Wirkung von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse sowohl von der Fledermausart als auch vom jeweiligen Kontext abhängt (Abb. 2.1).

Während nächtliches Kunstlicht Standorte für die eine Art unattraktiv macht, erhöht es möglicherweise deren Attraktivität für eine andere Art. Dies könnte zu einem konkurrenzbedingten Ausschluss einiger lichtscheuer Arten führen (ARLETTAZ *et al.* 2000). In größeren Raumskalen betrachtet bedeutet dies, dass großflächig angelegte künstliche Beleuchtung, wie sie zum Beispiel in Folge von Urbanisierungsprozessen vorkommt, die Fledermausfauna weiträumig und dramatisch verändern kann. Demzufolge könnten relativ artenreiche Fledermausgemeinschaften in unbeleuchteten Gebieten durch artenarme Gemeinschaften bestehend aus opportunistischen Arten ersetzt werden, deren Häufigkeit dann mit dem Voranschreiten künstlicher Beleuchtung weiter zunimmt. Dies könnte lokal oder regional zur Verarmung der Fledermausartengemeinschaft führen (z.B. GAISLER *et al.* 1998, SCHOEMAN 2015, RUSSO & ANCILOTTO 2015, LEWANZIK & VOIGT 2016).

2.1 Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Insekten

Europäische Fledermäuse ernähren sich im Allgemeinen von Insekten. Um also die Reaktion von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht bewerten zu können, ist es wichtig zu verstehen, wie nachtaktive Insekten auf nächtliches Kunstlicht reagieren. Die meisten nachtaktiven Insekten zeigen eine positive Phototaxis, die in der Regel dazu führt, dass sie von Kunstlicht stark angezogen werden und einzelne Tiere an künstlichen Lichtquellen gefangen werden (ALTERMATT *et al.* 2009, PERKIN *et al.* 2014, VAN GRUNSVEN *et al.* 2014, VEROVNIK

et al. 2015). Da die meisten nachtaktiven Insekten die höchste visuelle Empfindlichkeit im UV-, Grün- und Blauanteil des Wellenlängenspektrums aufweisen, lässt kurzwelliges Licht im blauen (<490 nm) und UV-Spektralbereich (<380 nm) Insekten zum Licht fliegen (VAN LANGEVELDE *et al.* 2011, SOMERS-YEATES *et al.* 2013, PAWSON & BADER 2014). Daher locken UV-emittierende Lampen wie HQL-Lampen, Halogen-Metallampfen und Kompaktleuchtstofflampen deutlich mehr Insekten an als LED- und HPS-Lampen, die weniger UV-Licht emittieren (SOMERS-YEATES *et al.* 2013, VAN GRUNSVEN *et al.* 2014, WAKEFIELD *et al.* 2016, 2018). AI-

erdings haben LED- und HPS-Lampen ein breites Lichtspektrum, welches auch Wellenlängen im blauen Bereich einschließt. Licht aus dem blauen Bereich des Spektrums lockt deutlich mehr Insekten an als solches aus dem gelben Bereich des Spektrums (VEROVNIK *et al.* 2015). Weitere Studien zeigten, dass sowohl „kalte“ als auch „warmweiße“ LEDs deutlich mehr Insekten anlocken als HPS-Lampen (PAWSON & BADER 2014). EISENBEIS (2013) hingegen stellte fest, dass LEDs weniger Insekten anlockten als HPS, während eine weitere Studie keinen Unterschied zwischen der Attraktivität von LED- und HPS-Lampen auf fliegende Insekten zeigen konnte, auch wenn von LEDs eine größere taxonomische Vielfalt von Insekten angelockt wurde (WAKEFIELD *et al.* 2018).

Es konnte zudem gezeigt werden, dass Straßenlaternen mit HPS-Lampen in einer Entfernung von bis zu 23 m auf Nachtfalter und bis zu einer Entfernung von 40 m auf Wasserinsekten anziehend wirken (PERKIN *et al.* 2014, DEGEN *et al.* 2016). Da der Abstand zwischen Straßenlaternen in der EU meist zwischen 20 und 45 m liegt, ist es wahrscheinlich, dass Nachtfalter, die eine Straße in einer Stadt überqueren, zwangsläufig im Bereich der Straßenbeleuchtung gefangen werden. Dies könnte die Vernetzung von Lebensräumen beeinträchtigen und so zu einer weiteren Fragmentierung des nächtlichen Lebensraums führen (DEGEN *et al.* 2016). Nächtliches Kunstlicht scheint zu einer Anhäufung von Insektenbiomasse in beleuchteten Bereichen zu führen, was wiederum zur Dezimierung der Insekten in den dunklen Bereichen abseits der Straßenlaternen oder anderer Außenbeleuchtung führt. Man spricht von der

sogenannten „Licht-Anlockwirkung“ der künstlichen Beleuchtung (EISENBEIS 2006, VEROVNIK *et al.* 2015). Diese von nächtlichem Kunstlicht induzierte Verschiebung in der räumlichen Verteilung von Insekten wirkt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf die Fressfeinde der Insekten, einschließlich der Fledermäuse, aus, da zum einen qualitativ hochwertige Jagdgebiete für opportunistische Arten entstehen, während die Größe und Qualität dunkler Gebiete als Nahrungshabitat für lichtscheue Arten abnehmen (z.B. MANFRIN *et al.* 2018).

Die Anziehungskraft von nächtlichem Kunstlicht auf Insekten führt wahrscheinlich zu einer hohen Sterblichkeit der Tiere. Einerseits könnten Insekten direkt durch die Hitze der Lampen getötet werden, andererseits könnten sie die Lampen bis zur Erschöpfung, oder bis sie von Fressfeinden gefangen werden, umkreisen (EISENBEIS 2006). Insbesondere vermindert natürliches als auch künstliches Licht die Fähigkeit von Nachtfaltern mit Tympanalorgan, den sie jagenden Fledermäusen besser auszuweichen. Dies wiederum führt zu einem höheren Fangerfolg der Fledermäuse z.B. an Straßenlaternen (SVENSSON & RYDELL 1998, SVENSSON *et al.* 2003, WAKEFIELD *et al.* 2015).

Darüber hinaus wird wahrscheinlich der Reproduktionserfolg in Insektenpopulationen, die unter dem Einfluss von nächtlichem Kunstlicht stehen, beeinflusst. Künstliches Licht verringert nachweislich die Produktion von Sexualpheromonen bei Nachtfaltern und beeinträchtigt somit deren Paarungsverhalten (VAN GEFFEN *et al.* 2015a, 2015b). Dieser nachteilige Effekt von Kunstlicht auf die Reproduktion von Nacht-



Abbildung 2.1 Ein hypothetisches Beispiel zur Veranschaulichung der kontextabhängigen Reaktion opportunistischer und lichtscheuer Fledermäuse auf Licht. Es ist zu beachten, dass eine Art auf jede der geschilderten Weisen reagieren kann, und dass die Reaktion in Abhängigkeit von der Jahreszeit oder aufgrund weiterer Einflussfaktoren, wie Fortpflanzung, Migration oder Winterschlaf variieren kann (© J. RYDELL).



faltern ist unabhängig vom Lichtspektrum, was auf einen generell störenden Einfluss von Beleuchtung auf Nachtfalterpopulationen hinweist (VAN GEFFEN *et al.* 2015b). Auch scheint die Bestrahlung von Nachtfalterraupen mit grünem und weißem Licht die individuelle Fitness der Tiere zu verringern, da die Raupen und Puppen in Folge der Bestrahlung eine geringere Körpermasse und verspätete Verpuppung im Vergleich zu Artgenossen, welche unter Rotlicht oder in Dunkelheit aufwachsen, aufwiesen (VAN GEFFEN *et al.* 2014).

Zudem nutzen viele Arthropoden den Mond, die Sterne oder den Horizont als Orientierungshilfen (DACE *et al.* 2013, SCHULTHEISS *et al.* 2016). Nächtliches Kunstlicht und das nächtliche **Himmelsleuchten** über Städten könnte sich deshalb negativ auf die Ausbreitung von Insekten auswirken, wenn die natürlichen Lichtreize in der Nacht überstrahlt werden. Dies wiederum hat einen negativen Effekt auf die Dynamik von Metapopulationen sowie den Genfluss (BAGUETTE *et al.* 2013, KYBA & HÖLKER 2013). Nächtliches Kunstlicht kann auch die Fitness, Mortalität und Fortpflanzung von Insekten beeinflussen, was letztlich zu einem langfristigen Populationsrückgang in beleuchteten Gebieten führen kann. Vormals häufige Großschmetterlingsarten haben in Großbritannien in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen (CONRAD *et al.* 2006). Es wurde angenommen, dass der **Lichtdom** über urbanen Gebieten und seine anziehende Wirkung auf Insekten als eine Senke wirken könnte, die zu einer Verarmung der Nachtfalterfauna in den umliegenden Landschaften führt (BATES *et al.* 2014). Eine großflächige künstliche Beleuchtung kann

also zu einer landschaftsweiten Abnahme der Insektenbiomasse, und somit auch der Nahrungsressourcen für Fledermäuse führen, und sich daher negativ auf deren Populationsentwicklung auswirken (AZAM *et al.* 2016).

Künstliches Licht kann auch die Flugaktivität von Nachtfaltern und anderen Insekten vollständig unterbinden, da die Bedingungen in der Nähe der Lichtquelle denen von Tageslicht oder hellem Mondlicht entsprechen. Derartige äußere Umstände lassen Nachtfalter inaktiv werden (WILLIAMS 1936). Wird ein Gebiet also kontinuierlich beleuchtet, ist zu erwarten, dass alleine schon aus diesem Grund die nächtliche Aktivität von Insekten zurückgeht. Zudem jagen Fledermäuse Nachtfalter, die inaktiv an beleuchteten Wänden von Gebäuden sitzen (VEROVNIK *et al.* 2015).

Die langfristigen Auswirkungen der nächtlichen Beleuchtung auf Insektenpopulationen sind zwar noch weitgehend unbekannt, aber die jüngsten Studien deuten auf dramatische Bestandsrückgänge der Nachtfalter und anderer Insekten in Westeuropa und den möglichen Einfluss von Kunstlicht auf Insekten hin (CONRAD *et al.* 2006, HALLMANN *et al.* 2017). Ein Teil des beobachteten Bestandsrückgangs kann sicherlich mit der Zunahme von nächtlichem Kunstlicht erklärt werden, da größere Nachtfalter und andere phototaktische Insektenarten stärker als andere, z.B. tagaktive oder nicht phototaktische Arten, betroffen sind (VAN LANGEVELDE *et al.* 2018). Ökosystemleistungen wie die Bestäubung durch nachtaktive Insekten, sind in beleuchteten Gebieten, aber nicht in nahegelegenen unbeleuchteten Kont-



rollgebieten ernsthaft gestört (MACGREGOR *et al.* 2016), was sogar Konsequenzen für Bestäubungsinteraktionen bei Tage haben kann (KNOP *et al.* 2017). Langfristig wird der allgemeine Rückgang der Insektenpopulationen in jedem Fall negative Auswirkungen auf Fledermäuse sowie viele andere Tiere und vielleicht auf ganze Ökosysteme haben.

2.2 Lichtscheue und opportunistische Fledermausarten

Europäische Fledermäuse sind allgemein an nächtliche Bedingungen angepasst und benötigen den Schutz der Dunkelheit.

Daher ist zu erwarten, dass nächtliches Kunstlicht Fledermäuse grundsätzlich beeinflusst (RYDELL & SPEAKMAN 1995).

Auf Gattungsebene lassen sich europäische Fledermäuse grob nach ihrer Reaktion auf nächtliches Kunstlicht einteilen (Tabelle 2.1). Diese taxonomische Vereinfachung erscheint sinnvoll, da Arten derselben Gattung anscheinend auf gleiche Weise auf nächtliches Kunstlicht reagieren, was wahrscheinlich durch eine ähnliche Flügelmorphologie sowie durch vergleichbare Lebensraumsprüche und biologische Eigenschaften begründet ist. Man kann hierbei zwischen lichtscheuen,

Gattung	Tagesquartier	Transferflug	Jagd	Trinken	Winterquartier
<i>Rousettus</i>	Lichtscheu	Neutral	Neutral	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Rhinolophus</i>	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Barbastella</i>	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Eptesicus</i>	Lichtscheu	Lichtscheu	Opportunistisch	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Pipistrellus</i> und <i>Hypsugo</i>	Lichtscheu	Neutral/opportunistisch	Opportunistisch	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Myotis</i>	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Plecotus</i>	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Vespertilio</i>	Lichtscheu	DD	NA / opportunistisch	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Nyctalus</i>	Lichtscheu	DD	NA / opportunistisch	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Miniopterus</i>	Lichtscheu	DD	NA / opportunistisch	Lichtscheu	Lichtscheu
<i>Tadarida</i>	Lichtscheu	DD	NA / opportunistisch	Lichtscheu	Lichtscheu

Tabelle 2.1 Die erwartete taxonspezifische Reaktion von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht in bestimmten Situationen. Die Tabelle basiert auf Literaturangaben sowie auf den persönlichen Beobachtungen der Autoren. Es ist anzumerken, dass sowohl *Nyctalus azoreum* als auch *Eptesicus nilssonii* im hohen Norden bei Tageslicht fliegen können. NA = nicht zutreffend, DD = ungenügende Datengrundlage. „Lichtscheu“, „neutral“ und „opportunistisch“ sind im Text definiert.

neutralen und opportunistischen Reaktionen unterscheiden. Eine lichtscheue Reaktion bedeutet, dass eine Fledermaus nächtliches Kunstlicht unter normalen Umständen meidet. Eine neutrale Reaktion bedeutet, dass nächtliches Kunstlicht die Raumnutzung und Aktivität einer Fledermausart nicht beeinflusst. Bei einer opportunistischen Reaktion wiederum sucht eine Fledermaus unter bestimmten Bedingungen, z.B. bei der Nahrungssuche, Standorte mit Kunstlicht auf, da der mögliche Vorteil eines höheren Insektenvorkommens in der Nähe von Kunstlicht das potenziell erhöhte Risiko, gefressen zu werden, überwiegen kann. Solche Arten können an beleuchteten Orten besonders häufig vorkommen. Die Beschreibung von Fledermausarten als „lichttolerant“ oder „das Licht ausnutzend“ wird in diesem Zusammenhang vermieden, da diese Wortwahl vernachlässigt, dass selbst innerhalb einer Art, die Reaktion auf Kunstlicht sehr unterschiedlich und von verschiedenen Faktoren abhängig sein kann. Scheinbar „lichttolerante“ Arten, die mitunter Insekten im Licht von Straßenlaternen jagen, können sehr wohl beleuchtete Bereiche eventuell während des Transferflugs (HALE *et al.* 2015) oder an ihren Quartieren meiden (DOWNS *et al.* 2003).

Die Fledermäuse einiger Gattungen (*Nyctalus*, *Vespertilio*, *Miniopterus* und *Tadarida* spp.) jagen und fliegen typischerweise im offenen Luftraum, über Vegetation oder Gebäuden und manchmal auch unter oder in der Nähe von Straßenlaternen oder Flutlicht. Auf diese Fledermausarten trifft die obige Klassifizierung nicht zu, obgleich sie durchaus

über beleuchteten urbanen Gebieten oder Infrastrukturelementen, wie von Flutlicht beleuchteten Flughäfen, Bahnhöfen oder Sportstadien Insekten jagen, die durch das Kunstlicht angelockt wurden (z.B. KRONWITTER 1988, RYDELL 1992, RUSSO & PAPADATOU 2014). Diese Arten könnten daher als „opportunistisch“ beschrieben werden, wie z.B. Arten der Gattung *Pipistrellus* und *Eptesicus*, obwohl ihr Verhalten vom Boden aus beobachtet weniger auffällig ist, da sie in der Regel über dem direkt beleuchteten Bereich, aber noch innerhalb der durch das **Himmelsleuchten** beeinflussten Zone fliegen. Über die Reaktion von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht während des Langstreckenzugs sind nur von wenigen Arten der Gattung *Pipistrellus* Informationen verfügbar (VOIGT *et al.* 2017), weshalb Migrationsverhalten nicht in Tabelle 2.1 angeführt wird. In der Tabelle werden als Quartiere Wochenstuben, Paarungs- und **Schwärmquartiere** zusammengefasst, nicht aber temporäre Schlafplätze, die von einzelnen oder wenigen Individuen genutzt werden, da es keine quantitativen Studien über den Einfluss nächtlichen Kunstlichts auf solche Nachtquartiere gibt.

2.3 Zwei veranschaulichende Beispiele für die Reaktionen von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht

Die komplexe Reaktion von Fledermäusen auf nächtliches Kunstlicht kann durch das gut untersuchte Verhalten zweier Arten veranschaulicht werden, nämlich das der Wimpernfledermaus *Myotis emarginatus* und das der Nordfledermaus *Eptesicus nilssonii*.



Abbildung 2.2 Cluster von Wimpernfledermäusen *Myotis emarginatus* in einer Wochenstube in den Niederlanden, 2016 (© J. DEKKER).



Abbildung 2.3 Eine Nordfledermaus *Eptesicus nilssonii* taucht in den Lichtkegel einer Quecksilber-Straßenlaterne in Schweden ein (© J. RYDELL).

Obwohl *M. emarginatus* zur Gruppe der lichtscheuen Fledermäuse gehört, finden sich Wochenstubenkolonien gelegentlich in Scheunen und auf Dachböden, die teilweise hell erleuchtet sind (Abb. 2.2). Wenn jedoch die Eingänge zu solchen Wochenstubenquartieren beleuchtet werden, kann sich der abendliche Ausflug von Wimpernfledermäusen verzögern (MOERMANS 2000), wodurch sich die verfügbare Zeit für die nächtliche Nahrungssuche reduziert. Dies wiederum kann zu einem langsameren Wachstum der Jungtiere führen (BOLDGOGH *et al.* 2007). In einer Studie in den Niederlanden flogen mit Radiotelemetrieesendern versehene *M. emarginatus* während des Transferfluges zwischen oder über den Baumkronen und vermieden so beleuchtete Bereiche. Allerdings wurden sie während der Jagd sowohl in beleuchteten wie unbeleuchteten Ställen beobachtet (DEKKER *et al.* 2013). Vermutlich beruht dieser Dualismus der Reaktion auf Kunstlicht auf einem Kompromiss zwischen dem Jagderfolg und dem realen

oder vermeintlichen Prädationsrisiko in den unterschiedlichen Habitaten. Für *M. emarginatus* ist das vermeintliche Prädationsrisiko in Ställen anscheinend geringer als außerhalb.

Die als relativ opportunistisch gegenüber Kunstlicht geltende Fledermausart *E. nilssonii* patrouilliert oft entlang von Straßenlaternen, wo einzelne Individuen manchmal Jagdreviere etablieren und verteidigen (Abb. 2.3). Allerdings fliegen sie nur gelegentlich direkt in den Lichtkegel der Laternen, um dort ein Insekt zu fangen. Solche Sturzflüge in das Licht sind nur von kurzer Dauer (weniger als eine Sekunde) und scheinen für den menschlichen Beobachter erratisch. Während der Patrouillenflüge fliegen Nordfledermäuse normalerweise nicht im Licht und sind daher nur schwer zu sehen und vor Fressfeinden verborgen. Somit scheint auch diese vermeintlich dem Licht gegenüber opportunistische Art einen unnötigen Aufenthalt in hell ausgeleuchteten Bereichen zu vermeiden (RYDELL 1986, 1991).



Abbildung 2.4 Die Beleuchtung historischer Gebäude verhindert Fledermausquartiere in großen Dachstühlen. Historisches Zentrum Breslau, Polen 2017 (© J. RYDELL).

2.4 Auswirkungen von Außenbeleuchtung auf Fledermausquartiere in Gebäuden

In den letzten 25 Jahren hat in Europa die Beleuchtung von Gebäuden aus ästhetischen Gründen dramatisch zugenommen. Dies gilt insbesondere für Kirchen, Klöster, Burgen, aber auch für alte Brücken, Festungen, Türme und Denkmäler (Abb. 2.4). In letzter Zeit ist aber auch die Beleuchtung von Privathäusern, Fabriken und anderen Gebäuden zu einer weit verbreiteten Praxis geworden. Das Bedürfnis, solche Gebäude zu beleuchten, führt in Zukunft voraussichtlich zunehmend zu Konflikten mit dem Fledermausschutz.

Zahlreiche Studien haben negative Auswirkungen der Beleuchtung auf den Bestand von Fledermausquartieren, die Ausflugzeit der Fledermäuse aus dem Quartier, ihr Verhalten, die Jagdaktivität sowie die Wachstumsraten von Jungtieren festgestellt (BOLDOGH *et al.* 2007, FUSZARA & FUSZARA 2011, ZAGMAJSTER 2014, KOSOR 2016, KOTNIK 2016, ZEALE *et al.* 2016).

Unabhängig von der Fledermausart ist die Erhaltung dunkler Bereiche besonders um die Einflüge zu Wochenstuben wichtig, da diese durchgehend von vielen Individuen während der kritischen Zeit der Trächtigkeit, Geburt und Laktationszeit genutzt werden. Wochenstuben sind auch Orte, wo Jungtiere fliegen lernen und an denen Ansitzjäger wie Eulen oder Katzen eine ernsthafte Bedrohung für Fledermäuse darstellen können (DOWNS *et al.* 2003). Daher sollte die Beleuchtung von Gebäuden mit Wochenstuben unter besonderer Rücksichtnahme auf Fledermäuse erfolgen.

Kurzfristige Auswirkungen. Der Einfluss der Beleuchtung auf Fledermausquartiere in Kirchen wurde in mehreren Ländern, von Slowenien bis Schweden und von Großbritannien bis Ungarn, untersucht. Obwohl vergleichbare Studien für andere Gebäudetypen fehlen, kann man ähnliche Effekte für kirchenähnliche Bauwerke erwarten.

Die Beleuchtung von Gebäuden mit Quartieren erhöht das Prädationsrisiko für Fledermäuse, was wiederum ihren Ausflug aus dem Quartier verzögert und dadurch die Zeit für die Nahrungssuche verringert. Dies gilt insbesondere für lichtscheue Arten wie *Rhinolophus* spp. und *Myotis* spp. (BOLDOGH *et al.* 2007, ZAGMAJSTER 2014, KOSOR 2016, KOTNIK 2016, ZEALE *et al.* 2016), aber auch für Fledermäuse der Gattung *Pipistrellus* und *Eptesicus*, die oft opportunistisch an Lampen jagen (DOWNS *et al.* 2003, FUSZARA & FUSZARA 2011). Allerdings wird die Auswirkung des nächtlichen Kunstlichts auf das Ausflugsverhalten und die Aktivitätsmuster der Fledermäuse zusätzlich auch noch durch Bäume,

die Schutz bieten, sowie die Intensität, Beschattung, Richtung und Farbe der Beleuchtung in der Nähe des Quartiers beeinflusst (DOWNS *et al.* 2003, ZAGMAJSTER 2014, KOSOR 2016). Wenn einer Fledermauskolonie mehrere Ausgänge aus dem Quartier zur Verfügung stehen, kann sich die Beleuchtung unterschiedlich auf die Tiere auswirken. Allgemein kann man sagen, dass weitere, unbeleuchtete Ausflüge aus einem Quartier die negativen Auswirkungen der Beleuchtung abmildern können (ZAGMAJSTER 2014).

Eine helle Beleuchtung von Quartieren kann zu einem plötzlichen Rückgang ausfliegender Fledermäuse führen, wie es in einer Kolonie von Wimpernfledermäusen in Ungarn beobachtet wurde (BOLDOGH *et al.* 2007). Ein solcher Rückgang könnte darauf hindeuten, dass Fledermäuse das Quartier entweder aufgegeben haben oder im Quartier gefangen sind und somit letztendlich verhungern (ZEALE *et al.* 2016). In der Tat führte künstliche Beleuchtung in mehreren Fällen dazu, dass Quartiere von Fledermauskolonien endgültig aufgegeben wurden (BOLDOGH *et al.* 2007).

Langfristige Auswirkungen. Obwohl langfristige Auswirkungen der Beleuchtung auf Fledermauskolonien in Gebäuden zu erwarten sind, gibt es nur eine einzige Studie, die sich mit diesem Thema befasst. In dieser Studie wurde das Vorkommen von Fledermauskolonien in Kirchen über einen Zeitraum von 25 Jahren verfolgt. In den 1980er Jahren untersuchte RYDELL (1987) 61 Landkirchen in Südschweden auf das Vorkommen von *P. auritus*, bevor in dieser Gegend Flutlichtbeleuchtungen installiert

wurden. Dieselben Kirchen wurden dann im Sommer 2016 nochmals untersucht, nachdem etwa die Hälfte der Kirchen zumindest teilweise beleuchtet wurde (RYDELL *et al.* 2017, Abb. 2.5). Der Anteil der Kirchen mit Fledermauskolonien war 2016 um 38 % gesunken, und alle von Fledermäusen verlassenen Kirchen waren in der Zeit zwischen den Erhebungen mit Fassadenbeleuchtungen (Flutlicht) versehen worden. Dieses Ergebnis zeigt eindeutig, dass die Beleuchtung für das Verschwinden der Fledermäuse verantwortlich war. Alternative Erklärungen wie Renovierungen oder gezielte Versuche, Fledermäuse aus ihren Quartieren zu vertreiben, konnten als Ursache für das Verschwinden der Kolonien ausgeschlossen werden.

Die Auswirkungen der Beleuchtung auf Fledermäuse unterschieden sich zwischen Kirchen, die vollständig oder nur in Teilen angestrahlt wurden. So wurde beispielsweise *P. auritus* seltener in Kirchen beobachtet, die von allen Richtungen angestrahlt wurden, als in solchen Kirchen, die nur zum Teil beleuchtet wurden (RYDELL *et al.* 2017). Die umfassende Beleuchtung von Gebäuden aus allen Richtungen ist besonders nachteilig, da Fledermäuse keinerlei Möglichkeit haben, im Schutz der Dunkelheit aus ihrem Quartier auszufliegen. In Kirchen die unbeleuchtet blieben, waren die Fledermauskolonien auch nach 25 Jahren weiterhin anzutreffen. Die Fledermäuse bewiesen eine hohe Ortstreue. Diese Studie zeigt deutlich, dass ein auf ein Gebäude gerichtetes Flutlicht, auf lange Sicht, verheerende Auswirkungen auf die Fledermäuse, die in dem beleuchteten Gebäude leben, haben kann. Ein geringerer Rückgang der Koloniegroße wurde festgestellt, wenn

zumindest ein Teil des Gebäudes unbeleuchtet blieb, so dass die Fledermäuse im Dunkeln in ihr Quartier ein- und ausfliegen konnten. In



A



B



C

einer dreijährigen Studie über das Ausflugsverhalten von *R. hipposideros* in Quartieren in Kirchen beobachteten Forscher, dass der Anteil der ausfliegenden Fledermäuse im Verhältnis zur Intensität der Beleuchtung der Quartiereingänge stand (ZAGMAJSTER 2014). Ein deutlich größerer Teil der Fledermäuse verließ das Quartier durch eine Öffnung am Glockenturm nahe am Waldrand, wenn diese im Schatten lag. Wenn aber diese Öffnung hell beleuchtet wurde, nutzte der Großteil der Fledermäuse eine dunklere Ausflugsöffnung, die in einer dem Wald abgewandten Richtung lag (ZAGMAJSTER 2014).

Das Verschwinden von Fledermäusen aus beleuchteten Gebäuden ist über kurze Zeiträume vielleicht nicht offensichtlich, da günstige Quartiere von Fledermauskolonien ungern schnell aufgegeben werden. Tatsächlich können *R. hipposideros* und *P. auritus*, aufgrund der außergewöhnlichen Standorttreue dieser Fledermäuse, trotz der negativen Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht noch eine gewisse Zeit in beleuchteten Gebäuden verbleiben (ZAGMAJSTER 2014, RYDELL *et al.* 2017). Die Beobachtung, dass einige Langohrfledermäuse immer wieder in teilbeleuchtete Kirchen zurückkehrten, könnte auf eine begrenzte Anzahl von hochwertigen Quartieren für diese Art zurückgeführt werden (RYDELL *et al.* 2017). Die Standorttreue von *R. hipposideros* in beleuchteten Quartieren kann

Abbildung 2.5 Drei Beispiele von Kirchen in Schweden, die in die Untersuchung von RYDELL *et al.* (2017) im Jahr 2016 aufgenommen wurden. In allen Kirchen befanden sich in den 1980er-Jahren Wochenstuben von *Plecotus auritus*. **(A)** Fledermäuse nutzten weiterhin einige der teilweise beleuchteten Kirchen, wenn sie in ihr Quartier ein- und ausfliegen konnten, ohne den Lichtkegel passieren zu müssen. **(B)** Fledermäuse verschwanden aus Kirchen, die von allen Seiten so beleuchtet wurden, dass es keine dunkle Flugroute mehr aus dem Quartier heraus gab. In diesem Fall wurden auch im Kircheninneren dort Lampen installiert, wo sich vormals die Fledermauskolonie befand. **(C)** Kirchen, die nicht mit Flutlicht beleuchtet wurden, waren durchgehend von Fledermäusen bewohnt (© J. RYDELL).

durch eine Abwägung der Fledermäuse zwischen dem Nachteil eines erhöhten Prädatationsrisikos durch die Beleuchtung und dem Vorteil der örtlichen Nähe von hochqualitativen Nahrungshabitaten, die nicht durch nächtliches Kunstlicht beeinflusst wurden, erklärt werden (ZAGMAJSTER 2014).

2.5 Der Einfluss von Innenbeleuchtung auf Fledermausquartiere in Gebäuden

Wird in von Fledermäusen bewohnten Dachstühlen oder Kirchtürmen eine Beleuchtung installiert, so kann sich dies nachteilig auf die Fledermauskolonien auswirken, selbst wenn es sich nur um schwache Lampen handelt. In England verließ eine Kolonie von *Myotis nattereri* ihr Quartier in einer Kirche für mehrere Tage nicht, als dieses im Rahmen eines Experiments beleuchtet wurde. Das Experiment musste gestoppt werden, um ein Verhungern der Fledermäuse und den möglichen Zusammenbruch der Kolonie zu vermeiden (ZEALE *et al.* 2016). In Schweden verschwanden mehrere Kolonien von *P. auritus* von Dachböden und aus Kirchtürmen, nachdem dort Glühbirnen installiert worden waren (RYDELL *et al.* 2017). In Slowenien zeigte die Überwachung einer Wochenstube von *R. hipposideros* auf dem Dachboden einer Kirche, dass die Fledermäuse eben jenen Teil des Dachbodens mieden, der tagsüber von der Sonne und nachts durch nächtliches Kunstlicht, welches durch ein Dachfenster einfiel, beleuchtet wurde (KOTNIK 2016).

2.6 Künstliches Licht in unterirdischen Quartieren

Unterirdische Standorte, wie Höhlen, Minen, Entwässerungsrohre und ähnliche

unterirdische Strukturen, sind für europäische Fledermäuse von entscheidender Bedeutung (MITCHELL-JONES *et al.* 2007). Einige unterirdische Strukturen, wie Höhlen und Minen, sind oft für die Öffentlichkeit, insbesondere für Touristen, zugänglich und werden daher häufig beleuchtet. Allerdings gibt es nur wenige empirische Studien über Fledermäuse, die beleuchtete unterirdische Quartiere nutzen. *Myotis bechsteinii* verließ eine Mine nicht mehr, nachdem am Eingang der Mine eine Beleuchtung installiert worden war (KUGELSCHAFTER pers. Komm. in ZEALE *et al.* 2016). Man kann allgemein beobachten, dass Fledermäuse sich selten, wenn überhaupt, an künstliches Licht in unterirdischen Standorten gewöhnen und wahrscheinlich die beleuchteten Teile von Schauhöhlen verlassen. So führte beispielsweise die kommerzielle Nutzung der „Fourth Chute Cave“ in Quebec, Kanada, zur Aufgabe des größten damals bekannten Winterquartiers des Östlichen Kleinfuß-Mausohrs, *Myotis leibii*, im östlichen Nordamerika (MOHR 1972). MANN *et al.* (2002) zeigten, dass hohe Lichtintensitäten den stärksten Einfluss auf die Aktivität von Fledermäusen haben, als sie das Verhalten in einer Wochenstube von 1.000 Höhlenmausohren (*Myotis velifer*) an einem unterirdischen Standort untersuchten, indem sie experimentell die Kolonie einem Höhlentourismus aussetzten. Allerdings ist es in der Regel nicht möglich, die Auswirkungen von künstlichem Licht in Schauhöhlen von Begleitfaktoren wie Lärm sowie Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen zu trennen.

Ein Sonderfall könnten Erdkeller darstellen, die in Nordeuropa traditionell zur Lagerung von Kartoffeln und anderem



Abb. 2.6 Ein Erdkeller in Lettland, der regelmäßig von Braunen Langohrfledermäusen als Winterquartier genutzt wird, 2014 (© J. RYDELL).

deuten darauf hin, dass die Aktivität von *R. hipposideros* in der Nähe von Lichtquellen (HPS-Lampen) abnahm und sich der Beginn des Transferflugverhaltens verzögerte (STONE *et al.* 2009). Die Anzahl der Fledermäuse im Transferflug nahm auch auf der dunklen Seite einer Hecke ab, was darauf hinweist, dass selbst schwache Beleuchtung (durchschnittlich 4,2 lx in 1,75 m Höhe) den Transferflug dieser Art behindert (STONE *et al.* 2009). LED-Lampen reduzierten die Flugaktivität von *R. hipposideros* sogar noch, wenn das Licht auf 3,6 lx in 1,7 m Höhe abgeschwächt wurde (STONE *et al.* 2012).

Die Installation von nächtlichem Kunstlicht hatte einen erheblichen Einfluss auf das Transferflugverhalten der Kleinen Braunen Fledermaus (*M. lucifugus*) im offenen Luftraum. Anscheinend verhinderte das nächtliche Kunstlicht, dass Fledermäuse in den beleuchteten Bereich flogen, was die Flugsituation dadurch komplexer machte und zu einem dramatischen Orientierungsverlust führte (MCGUIRE & FENTON 2010). Neueste Studien ergaben, dass selbst *P. pipistrellus*, die häufigste Fledermausart in Städten in Europa, während des Transferfluges hell beleuchtete Gebiete meidet, obwohl diese Art nächtliches Kunstlicht bei der Nahrungssuche an Straßenlaternen toleriert (ALDER 1993, LIMPENS *et al.* 1997, VERBOOM & SPOELSTRA 1999, HALE *et al.* 2015).

Straßenlaternen können zwei grundsätzliche Effekte auf die Nahrungssuche von Fledermäusen haben. Der erste direkte Effekt ist, dass nächtliches Kunstlicht lichtscheue Fledermäuse von beleuchteten Gebieten fernhält und ihre **Flugrouten** und **Jagdgebiete** einschränkt. Tatsächlich können Reihen von Laternen wie Barrieren

Wurzelgemüse über den Winter hinweg genutzt werden. Diese Keller dienen auch Fledermäusen wie dem Braunen Langohr und der Nordfledermaus als Winterquartier (VINTULIS & PETERSONS 2014). Eine vorübergehende Beleuchtung des Innenraums solcher Keller mit Glühbirnen wird von Fledermäusen toleriert, vermutlich weil das Licht jeweils nur für wenige Minuten eingeschaltet wird (Abb. 2.6). Langzeit- oder Vergleichsstudien zu diesem Thema wurden jedoch noch nicht durchgeführt.

2.7 Flugrouten und Jagdgebiete

Nächtliches Kunstlicht kann sich auch auf die **Flugrouten** von Fledermäusen auswirken. Der Einfluss von Licht auf den **Transferflug** wurde bei *M. dasycneme* experimentell untersucht, indem eine starke Lampe (1 kW) an einer Transferflugroute platziert wurde (KUIJPER *et al.* 2008). Das künstliche Licht reduzierte die Nahrungssuche vor Ort um mehr als 60 %, obwohl die Abundanz der Insekten tendenziell zunahm. Experimente an Hecken an acht Standorten im südlichen Großbritannien

wirken, die die Landschaft zerstückeln und **Flugrouten** begrenzen und damit auch die Nutzung von Quartieren und **Jagdgebieten** (STONE *et al.* 2009, 2015, MATHEWS *et al.* 2015, ROWSE *et al.* 2016a, HALE *et al.* 2015). Straßenlaternen können auch eine tödliche Falle darstellen, da sie die Fledermaussterblichkeit durch häufigere Kollisionen mit Fahrzeugen erhöhen könnten – allerdings muss dieser Aspekt noch genauer untersucht werden (STONE *et al.* 2015a, FENSOME & MATHEWS 2016). Der zweite Effekt ist indirekter Natur, da Straßenlaternen Insekten anlocken können und somit die Verfügbarkeit und Abundanz der Beutetiere beeinflussen (siehe Kapitel 2.1).

Allgemein kann nächtliches Kunstlicht von Fledermäusen je nach Art auf unterschiedliche Weise genutzt werden, wie in Abb. 2.7 dargestellt. Die kleineren und wendigeren Arten fliegen generell tiefer und näher an der Lichtquelle, während die größeren und schnelleren Arten normalerweise höher fliegen und größere Gebiete abdecken. Wie die größten und schnellsten Fledermäuse, z.B. *Tadarida* spp., sich im Luftraum von Städten verhalten, ist weitestgehend unklar, obwohl es über den Stadtzentren eine beträchtliche Fledermausaktivität geben kann.

Stadien, Bahnhöfe, Häfen und Flughäfen werden oft von sehr starken Scheinwerfern beleuchtet. Es gibt ältere Beobachtungen von im Flutlicht von Flughäfen jagenden Fledermäusen (GOULD 1978), die später auch für mit Flutlicht beleuchtete Stadien bestätigt wurden (SCHOEMAN 2015). Die Jagd auf Insekten bei so hellen Lichtverhältnissen kann bei Bulldoggfledermäusen (*Molossidae*) und Glattnasen-Freischwanz Fledermäusen (*Emballonuridae*), insbe-

sondere in den Tropen beobachtet werden. Ein ähnliches Verhalten findet sich auch bei anderen schnell fliegende Arten, wie z.B. *V. murinus*, *N. noctula* und *N. leisleri*.

Wasserstraßen wie Kanäle, Bäche und Flüsse sind wichtige **Flugrouten** und Nahrungshabitate für eine Vielzahl von Fledermausarten. Insbesondere die „trawling bats“, also die über der Wasseroberfläche jagenden Arten unter den Mausohren wie *M. daubentonii*, *M. dasycneme* und *M. capaccinii* gehören zu den lichtscheuesten Fledermausarten (JONES & RYDELL 1994,

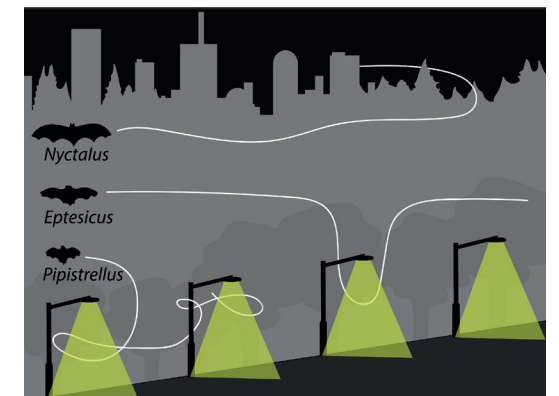


Abbildung 2.7 Schematische Darstellung des Zusammenhangs von Körpergröße und Flügelform und der typischen Nutzung des Luftraumes um eine Reihe von Straßenlaternen durch Fledermäuse verschiedener Gattungen. Die kleinsten Fledermäuse, wie z.B. *P. pipistrellus*, fliegen normalerweise nur um jeweils eine oder wenige Laternen und halten sich auch eine bestimmte Zeit im jeweiligen Lichtkegel auf. Fledermäuse der Gattung *Eptesicus* patrouillieren in der Regel entlang der gesamten Laternenreihe und unternehmen kurze Sturzflüge in den Lichtkegel, um Insekten, normalerweise Nachtfalter, zu jagen. Fledermäuse der Gattungen *Nyctalus* und *Vespertilio* sind selten im Lichtkegel kleiner Straßenlaternen, aber gelegentlich in solchen größerer Lichtquellen wie Flutlichtern zu sehen (© J. EKLÖF).



KUIJPER *et al.* 2008). Die Beleuchtung von Wasserstraßen und zugehörigen Bauwerken, wie Brücken und Schleusen aus ästhetischen Gründen, kann daher weitreichende negative Folgen für diese Arten haben (KUIJPER *et al.* 2008).

Trinkstellen sind wichtig für eine Vielzahl von Fledermausarten, insbesondere in mediterranen, semi-ariden und trockenen Gebieten und wahrscheinlich für die meisten oder alle weiblichen Fledermäuse während der Laktation. Die Beleuchtung von Trinkstellen hat weitreichende und meist unabhängig von der Art negative Auswirkungen auf Fledermäuse. Russo *et al.* (2017) beleuchteten Teiche in Italien mit starkem Flutlicht und fanden einen negativen Einfluss auf die Trinkaktivität aller lokalen Fledermausarten, sogar auf die opportunistischen Arten wie *P. kuhlii*. Wahrscheinlich haben schon deutlich geringere Lichtintensitäten an Trinkstellen einen nachteiligen Einfluss auf Fledermäuse. Dies gilt nicht nur für Teiche in Trockengebieten, sondern auch für kleine Gewässer in Wäldern. Die weit verbreitete künstliche Beleuchtung entlang von Flüssen, Kanälen oder Seeufern kann daher

weitreichende Folgen für Fledermäuse haben, was bei der Planung und Installation einer Beleuchtung an Gewässern berücksichtigt werden sollte.

2.8 Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermausgemeinschaften

Fledermäuse reagieren artspezifisch auf nächtliches Kunstlicht (RYDELL 1992, STONE *et al.* 2009, LEWANZIK & VOIGT 2017), was zur Verdrängung von Arten führen kann (POLAK *et al.* 2011, STONE *et al.* 2015b). Eine Konkurrenzsituation zwischen zwei Fledermausarten, die unterschiedlich auf nächtliches Kunstlicht reagieren, könnte zum Beispiel Veränderungen in den lokalen Fledermauspopulationen bewirken (HAFFNER & STUTZ 1984/85, ARLETTAZ *et al.* 2000). Die lichtscheuen Fledermausarten könnten aus großflächig beleuchteten Gebieten verschwinden, während die Abundanz der opportunistischen Arten aufgrund der geringeren Konkurrenz gleichzeitig zunimmt. Dieser Zusammenhang kann langfristig zu einer Veränderung der lokalen Fledermausgesellschaft führen (ANCILOTTO *et al.* 2015, SCHOEMAN 2015).



3 Allgemeine Aspekte des Planungsverfahrens

Die Zunahme des nächtlichen Kunstlichts beeinflusst Fledermäuse und Ökosysteme auf verschiedenen Ebenen, die von lokalen Effekten bis hin zu regionalen oder sogar globalen Effekten reichen kann. Daher sollten Schutzmaßnahmen für Fledermäuse auf all diesen räumlichen Skalen in Planungen berücksichtigt sowie in die politische Entscheidungsfindung mit einbezogen werden. Insbesondere in nationale Planungsvorhaben sollte die Berücksichtigung der negativen Auswirkungen nächtlichen Kunstlichts auf Fledermäuse (und andere geschützte Arten) für alle funktionalen Lebensräume Einzug finden. Die Einzelheiten der Maßnahmen sollten den Grundsätzen der dreistufigen Minderungshierarchie folgen – beginnend mit der Vermeidung, dann der Minderung und schließlich dem Ausgleich (Kapitel 5). Um dies zu erreichen, sollten die Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf nationaler Ebene in die **strategische Umweltprüfung (SUP)** des Landes einbezogen werden, um Konflikte zwischen Plänen und Programmen und der Umwelt zu identifizieren. Die nationale Umsetzung der SUP sollte dann in regionale und lokale Pläne und Strategien übernommen werden.

Die Planungspolitik befasst sich auf regionaler und lokaler Ebene mit einem breiten Spektrum von Themen, wie der wirtschaftlichen Entwicklung, Verkehr, Wohnungsbau, Umwelt und Energie. Folglich können Pläne und Strategi-

en auf dieser Verwaltungsebene den Erhaltungszustand geschützter Arten beeinträchtigen. Die Leitlinien, die für Planungsbehörden auf diesem Verwaltungslevel ausgearbeitet werden, müssen sich mit dem Konflikt zwischen nächtlichem Kunstlicht, welches für den Menschen nützlich ist, und dem Schutz unseres Naturerbes befassen. Durch die frühzeitige Berücksichtigung möglicher Naturschutzprobleme im Planungsprozess, können Konflikte zwischen Betroffenen vermieden oder abgeschwächt werden. Auf regionaler oder lokaler Ebene könnte dies durch eine **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)** erreicht werden. GIS-basierte Ansätze (Abb. 3.1), z.B. die unter „<https://www.lightpollutionmap.info>“ verfügbare Online-Anwendung (Abb. 3.2), könnten helfen, Gebiete mit großem Konfliktpotenzial zu identifizieren. Leitlinien zur Durchführung von UVPs im Zusammenhang mit dem Bau von Infrastruktur oder anderen Baumaßnahmen sollten die Bedeutung standardisierter Fledermausuntersuchungen hervorheben, die die möglichen Auswirkungen von Beleuchtungskonzepten mit methodischer Herangehensweise bewerten und die Entwickler verpflichten, die Minderungshierarchie umzusetzen (BATTERSBY *et al.* 2010). Wenn neue Beleuchtungsanlagen unvermeidlich sind, sollte die Entwicklung eines Beleuch-

tungsplans verbindlich vorgeschrieben sein, der die Bedürfnisse von Fledermäusen und anderer Wildtiere berücksichtigt und so die möglicherweise negativen Auswirkungen der Beleuchtung verhindert. Alternativ sollten geeignete

Maßnahmen zur Minderung und eine begleitende Untersuchung von ungelösten Konflikten nach der Umsetzung der Beleuchtungsplanung durchgeführt werden (Kapitel 5).

Wirkbereich künstlicher Beleuchtung	Räumliche Skala	Planungsinstrumente für die Entwicklung von Beleuchtungskonzepten
Zugrouten (Herbst/Frühjahr, Lang- und Kurzstrecke)	National und regional	<ul style="list-style-type: none"> Nationale Umweltprogramme / -vorschriften; Vorschriften / (Schutz-) Ziele von Nationalparks, Biosphärenreservaten, Naturparks, Natura 2000-Gebieten Vorschriften für nationale Infrastrukturprojekte Regionale Naturschutzplanung / Landschaftsplanung
Landschaft	National und regional	
Transferflugroute	Regional und lokal	<ul style="list-style-type: none"> Regionale Naturschutzplanung / Landschaftsplanung
Jagdgebiet	Lokal	<ul style="list-style-type: none"> Managementpläne für Schutzgebiete (z.B. Natura 2000)
Quartier (z.B. Wochenstube, Winter-, Schwärm- und Balzquartier)	Lokal	<ul style="list-style-type: none"> Richtlinien für Umweltprüfungen und Gutachten Richtlinien für Neubauten/ Bauprojekte / Sanierungen Kommunale Bestimmungen für <ul style="list-style-type: none"> Historische Gebäude Straßen Privatgrundstücke Sportanlagen Werbung Landwirtschaft (z.B. Gewächshäuser) Lokale Schutzgebiete Managementpläne für Höhlen, Parks, Grünflächen, Seen, etc.

Table 3.1 Zusammenfassung von Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen und planerische Überlegungen.

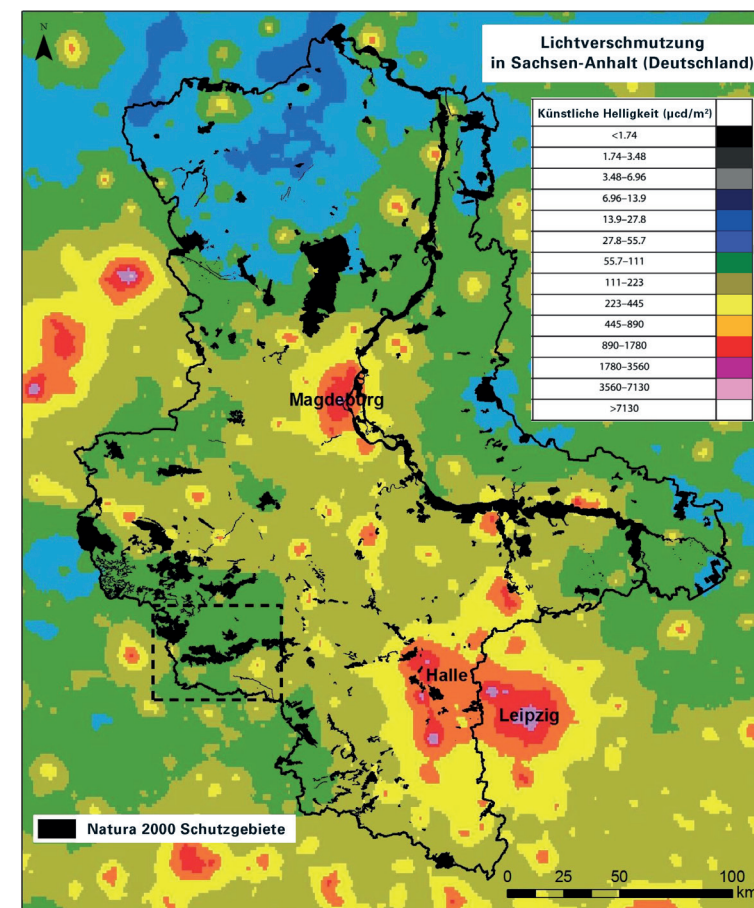


Abbildung 3.1 Karte von Sachsen-Anhalt in Deutschland mit Natura 2000 Gebieten und nächtlichem Kunstlicht zur Lokalisierung potenzieller Konflikte zwischen Lichtverschmutzung und geschützten Fledermauslebensräumen. Die gestrichelte Linie zeigt den Bereich von Abbildung 3.2
(© K. KUHRING & M. FRITZE, Quelle GIS-Layer: F. FALCHI).

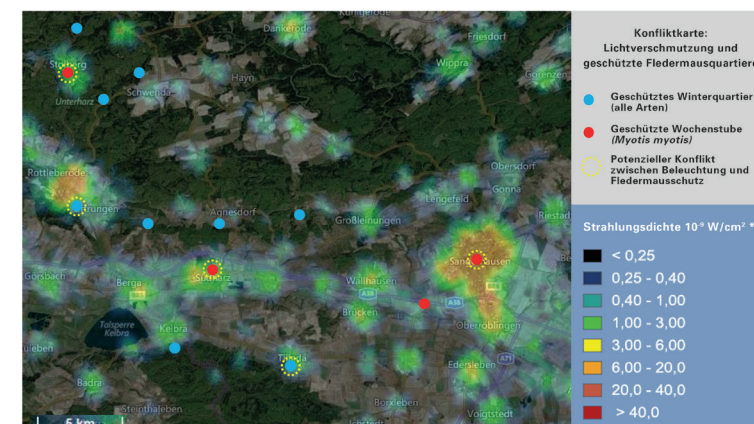


Abbildung 3.2 Karte des Südharzes in Sachsen-Anhalt (lokaler Maßstab) mit geschützten Winterquartieren und Wochenstuben von *Myotis myotis* und nächtlichem Kunstlicht. Kartendarstellungen können bei der Erkennung potenzieller Naturschutzkonflikte helfen (© K. KUHRING & M. FRITZE, Quelle ALAN-Karten: <https://www.lightpollutionmap.info>).



4 Durchführung von Studien zur Folgeabschätzung

4.1 Allgemeine Aspekte von Monitoring- und Bewertungsverfahren

Die wichtigste Voraussetzung für Monitoring-Programme, unabhängig von Taxa und Kontext, ist eine fundierte wissenschaftlich ökologische Fragestellung, die mit einer standardisierten Untersuchungsmethode getestet wird. Dabei sollten alle externen Faktoren bis auf den zu untersuchenden Faktor, in diesem Fall also das nächtliche Kunstlicht, soweit wie möglich konstant gehalten werden. Für die Beurteilung der Auswirkungen einer Änderung der Beleuchtung nutzt man in der Regel einen Vorher-Nachher Vergleich, wie z.B. die Zählung der aus einem Quartier ausfliegenden Fledermäuse, jeweils vor und nach der Installation der Beleuchtung. Eine sogenannte „Before-After-Control-Impact“-Strategie (abgekürzt BACI) kann auch Kovariablen berücksichtigen, wie Jahreszeit oder Jahr, wenn sich multiple Faktoren gleichzeitig mit der Beleuchtung ändern (z.B. ROWSE *et al.* 2016b, 2018, LEWANZIK & VOIGT 2017). Eine standardisierte Datenerhebung stellt sicher, dass andere für die Interpretation der Ergebnisse notwendige Informationen, wie Umgebungsbedingungen, also z.B. Mondzyklus, Umgebungstemperatur oder Niederschlag, routinemäßig erfasst werden. Weitere allgemeine Aspekte zum Monitoring von Fledermäusen finden sich in den entsprechenden EUROBATS-Richtlinien (BATTERSBY *et al.* 2010). Im Folgenden liegt der Schwerpunkt auf spezifischen Gesichtspunkten im Zusammenhang mit dem

Monitoring der Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse.

4.2 Wann und wo ist eine Begleituntersuchung (Monitoring) wichtig?

Eine Begleituntersuchung ist immer dann erforderlich, wenn Fledermäuse von einer Neuinstallation oder Veränderung einer vorhandenen künstlichen Beleuchtung betroffen sein könnten. In einigen Fällen kann das Vorkommen von Fledermäusen bereits bekannt sein, was besonders bei großen Quartieren in Gebäuden der Fall sein sollte. Dennoch sind die **Flugrouten** solcher Kolonien meist unbekannt. Meistens ist eine Voruntersuchung bezüglich der geplanten Veränderungen der Beleuchtung notwendig. Solche Veränderungen können **Minderungsmaßnahmen**, die Neuinstallation von Beleuchtung, Änderungen des Lampentyps oder eine Veränderung des Beleuchtungsplans (z.B. die Änderung der Betriebsdauer oder eine saisonale Änderung der Beleuchtungszeiten) umfassen.

In zwei Situationen ist die Erhebung von Daten bezüglich der Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse besonders wichtig: 1. Veränderungen von nächtlichem Kunstlicht in bestimmten funktionalen Fledermauslebensräumen, wie Quartieren, **Flugrouten** oder **Jagdgebieten** und 2. Veränderungen von nächtlichem Kunstlicht auf Landschaftsniveau, die den Zugang von Fledermäusen zu ihren **Jagdgebieten** und/oder alternativen Quartieren beeinträchtigen könnten. Ein Bei-



spiel für den zweiten Fall ist die Beleuchtung von Flussufern und Straßen.

4.3 Welche Daten sollten erhoben werden?

Die folgende Liste enthält allgemeine Richtlinien bezüglich der Datenerhebung, die an jedem Standort durchgeführt werden sollte.

Allgemeine Richtlinien

- Überprüfung der korrekten Umsetzung von **Minderungsmaßnahmen**.
- Verwendung des gleichen Messaufbaus und, sofern möglich, derselben Gerätschaften, vor und nach der Veränderung der Beleuchtung.
- Beachtung und Erfassung zusätzlicher Veränderungen in der Umgebung des jeweiligen Standorts. Hierunter fallen zum Beispiel Veränderungen des Lebensraumes, welche die Fledermausaktivität unabhängig von der Auswirkung der Beleuchtung beeinflussen könnten.
- Es muss sichergestellt sein, dass ausreichend Daten gesammelt werden, um zeitliche Schwankungen der Fledermausaktivität, z.B. zwischen verschiedenen Tagen oder über die Jahreszeiten hinweg, zu berücksichtigen. Bei Erfassungen auf Landschaftsniveau sollten automatisierte, festinstallierte Fledermausdetektoren eingesetzt werden, da diese eine effiziente Datenerfassung über mehrere Nächte ermöglichen.
- Erfassungen vor und nach Änderungen des Beleuchtungskonzepts sollten zur gleichen Jahreszeit und bei vergleichbarem Wetter durchgeführt werden.
- Bei Quartierkontrollen sollte sichergestellt sein, dass alle Ausflüge überwacht werden.

- Bei Untersuchungen auf Landschaftsniveau abseits von Quartieren sollten diese in einem Abstand von mindestens 100 Metern durchgeführt werden und auch Bereiche umfassen, in denen sich die Beleuchtung verändert. Der Untersuchungsumfang sollte immer auch Kontrollstandorte ohne Veränderung der Beleuchtungssituation einschließen, was besonders immer dann notwendig ist, wenn kein Vorher-Nachher-Vergleich durchgeführt werden kann. Eine detaillierte Beschreibung von Methoden der Quartierkontrolle findet sich in Abschnitt 3.3 in den entsprechenden EUROBATS-Richtlinien (BATTERSBY *et al.* 2010).
- Die gesammelten Daten sollten von Sachverständigen auf Nutzungsmuster hin ausgewertet werden. Besonders hohe Aktivitäten während der Morgen- und Abenddämmerung könnten z.B. auf die Nähe zu einem Quartier hinweisen.
- Unterschiede in der Beleuchtung sollten gemessen und mit den ursprünglichen Beleuchtungsplänen verglichen werden.
- Lichtmessgeräte sind nützlich, müssen aber richtig kalibriert werden. Auch sollte für Messungen vor und nach der Beleuchtungsänderung dasselbe Gerät verwendet werden.
- Eine weitere Möglichkeit zur Quantifizierung der Beleuchtung besteht in der Verwendung einer digitalen Spiegelreflexkamera (DSLR) auf einem Stativ. Dieselbe Stelle sollte vor und nach der Änderung der Beleuchtung mit derselben Kamera, demselben Objektiv und mit den gleichen Einstellungen für ISO, Bildformat, Blende, Verschlusszeit und Weißabgleich fotografiert werden (z.B. LAMPHAR *et al.* 2014).

5 Vermeidungs-, Minderungs- und Ausgleichsmaßnahmen

Wie zuvor beschrieben, beeinflusst nächtliches Kunstlicht Fledermäuse direkt während ihrer nächtlichen Aktivität. Hierbei muss bedacht werden, dass nächtliches Kunstlicht auch die Insekten beeinflusst, von denen sich die Fledermäuse ernähren. Daher sollte jede Untersuchung von Beleuchtungskonzepten sowohl direkte als auch indirekte Effekte berücksichtigen, d.h. auch trophische Wechselwirkungen.

5.1 Vermeidung

Grundsätzlich sollte nächtliches Kunstlicht streng vermieden werden, und künstliche Beleuchtung sollte nur wenn es unbedingt notwendig ist installiert werden, d.h. wenn Kunstlicht aus Sicherheitsgründen oder zur Einhaltung gesetzlicher Vorgaben benötigt wird. Durch sorgfältige Überlegungen vor dem Bau neuer Infrastruktur ist es oft möglich, die Beleuchtung von Fledermauslebensräumen zu vermeiden, ohne die menschliche Sicherheit zu gefährden. Der Schutz dunkler Rückzugsräume für Fledermäuse ist insbesondere in Städten unerlässlich. Raumplaner und Behörden sollten auf den Erhalt von Dunkelkorridoren zwischen Quartieren und größeren unbeleuchteten Grünflächen, wie Stadtparks und Gärten, die als Jagdgebiete dienen können, achten. Ein Netzwerk von Dunkelkorridoren kann es Fledermäusen ermöglichen, in einer Landschaft, die ansonsten durch nächtliches Kunstlicht zerstückelt ist, zwischen Quartieren und **Jagdgebieten** zu

pendeln, ohne einer direkten Beleuchtung ausgesetzt zu sein (Abb. 5.1). Insbesondere in Städten, in denen es wenig Vegetation gibt und ein Großteil des Bodens versiegelt ist, sollte parallel zur Planung eines Netzwerks von Grünanlagen, eine Raumplanung der Außenbeleuchtung zur Schaffung eines Netzwerks von Dunkelkorridoren stattfinden. Solche Korridore sollten den Fledermäusen zudem auch eine schützen-

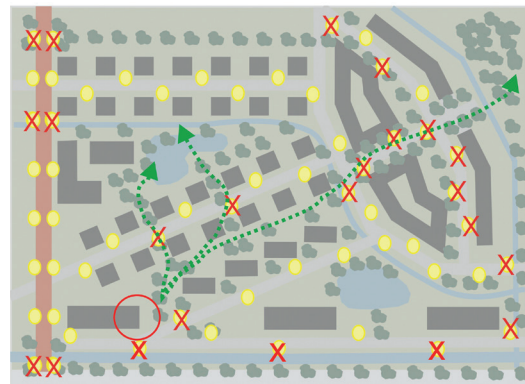


Abbildung 5.1 Schematische Karte eines Dorfes (dunkelgrau: Gebäude, hellgrau: eine kleine Straße, hellblau: Gewässer, braun: eine große Straße, grüngraue Baumsilhouetten: Standorte von Bäumen). Fledermäuse verlassen ein großes Gebäude in der linken unteren Ecke (roter Kreis) und fliegen entlang von Alleen (gestrichelte grüne Linien) zu ihren Jagdgebieten an einem Teich und im Wald. In den gekennzeichneten Bereichen (rote Kreuze) entlang von Baumreihen, Gewässern/Kanälen und solchen Stellen, an denen Baumreihen und Kanäle die Straße kreuzen, sollte Beleuchtung vermieden oder Lichtquellen abgeschirmt werden (© H. LIMPENS).

de Vegetation bieten, im besten Fall ein geschlossenes Kronendach, das den Tieren als Leitstruktur während des Transferflugs dient und welches auch das nächtliche **Himmelsleuchten** abschirmt. Ein heller Straßenbelag der das Mondlicht reflektiert, hilft dabei, nächtliches Kunstlicht zu reduzieren, da Straßen und Wege in der Dämmerung für den Menschen besser sichtbar sind. Auch werden neue, solarbetriebene, leuchtende Materialien getestet, welche die künstliche Beleuchtung an Radwegen ersetzen könnten (Abb. 5.2). Allerdings müssen die Auswirkungen solcher „Leuchtwege“ auf die Tierwelt vorerst bewertet und mit denen konventioneller Beleuchtung verglichen werden.

Wenn nächtliches Kunstlicht aus Sicherheitsgründen notwendig ist, sollten dynamische Beleuchtungssysteme, die nur bei Bedarf eingeschaltet werden, in Betracht gezogen werden. Dynamische Beleuchtungssysteme werden in der Regel über Bewegungssensoren von einem Fußgänger, Radfahrer oder Auto eingeschaltet.

Der Einsatz einer minimalen Anzahl von Lampen und Leuchten relativ nahe am Boden kann die Abstrahlung von Licht in umliegende Fledermaushabitate oder in den Himmel verringern (Abb. 5.3).

Es sollten gerichtete Lampen verwendet werden, z.B. LEDs oder abgeschirmte Leuchten, die den Lichtstrahl auf die notwendigen Bereiche begrenzen und die Beleuchtung angrenzender Fledermauslebensräume verhindern (Abb. 5.4 und 5.5).

Mauern, Hecken oder Bäume können eine **störende Lichtausbreitung** (Engl.: „light trespass“), z.B. von beleuchteten Straßen, in die umliegenden Fledermaus-

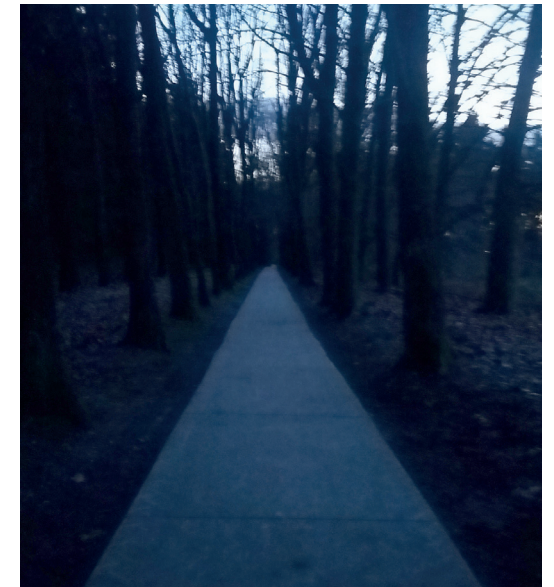


Abbildung 5.2 Beispiel eines Fahrradweges mit einem hellen Belag, der die Benutzung auch am späten Abend ohne Straßenbeleuchtung erlaubt (© H. LIMPENS).

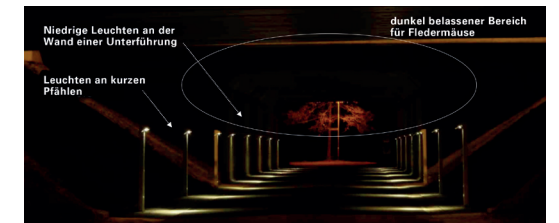


Abbildung 5.3 Installation von Leuchten an kurzen Pfählen zur Minderung der Auswirkung von nächtlichem Kunstlicht auf eine Flugroute durch eine Unterführung in den Niederlanden (der gleiche Ort bei Tageslicht und in der Nacht). Diese Maßnahme hat sich für *P. pipistrellus* als wirksam erwiesen, nicht aber für die tief fliegende Art *M. daubentonii* (© F. BREKELMANS).

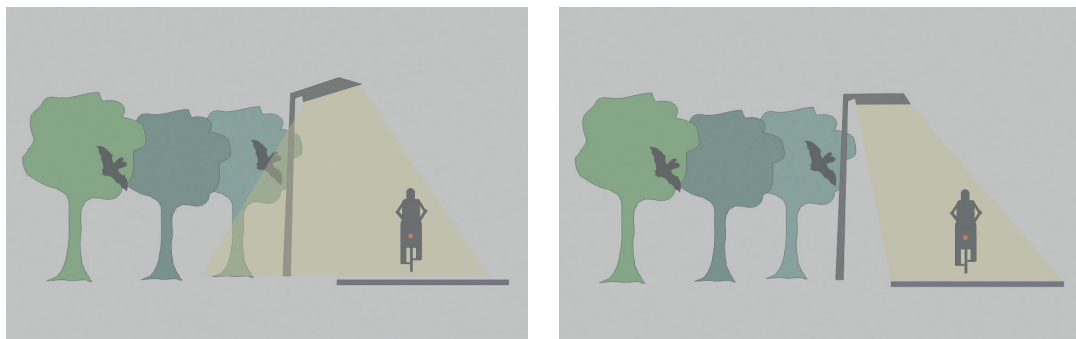


Abbildung 5.4 Vermeidung unnötiger Lichtverschmutzung durch die Installation abgeschirmter Leuchten. Links - konventionelle Leuchte mit Abstrahlung in den angrenzenden Waldlebensraum, rechts - abgeschirmte Leuchte, die den Lichtkegel nur dorthin fokussiert, wo er benötigt wird (© H. LIMPENS).

lebensräume verhindern. Auch Lichtschutzwände können die negativen Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse in gewissem Umfang reduzieren (MATHEWS *et al.* 2015, Abb. 5.6, 5.7).

Die Eingänge von Fledermausquartieren inklusive einer Pufferzone sollten vor direkter und indirekter Beleuchtung geschützt werden, um den natürlichen zirkadianen Rhythmus der Fledermäuse zu erhalten. Da eine Beleuchtung aus rein ästhetischen Beweggründen nicht für die Sicherheit erforderlich ist, sollte der Einsatz solcher Beleuchtung mit dem Schutz der Natur und nachaktiver Organismen in Einklang gebracht werden, und eine bestehende künstliche Beleuchtung sollte entsprechend verbessert werden.

Bei der Planung der Außenbeleuchtung sollte die folgende Priorisierung von Schutzgebieten angewendet werden:

P1: Schutzgebiete (Parks, Naturdenkmäler) einschließlich FFH-Gebiete

- In Kernzonen von Schutzgebieten sollte jegliche künstliche Außenbeleuchtung vermieden werden, die nicht aus Sicher-

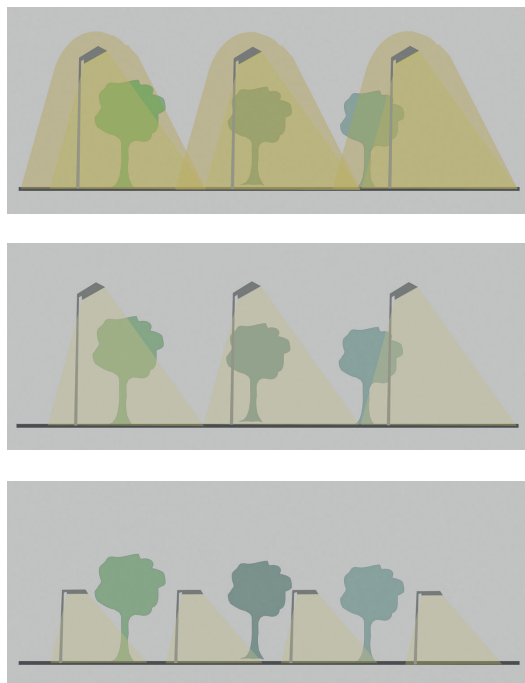


Abbildung 5.5 Kombinierte Wirkung von abgeschirmten Leuchten und kurzen Masten zur Begrenzung der störenden Lichtausbreitung in angrenzende Räume (Engl.: „light trespass“). Erstes Bild – nicht abgeschirmte Leuchten, zweites Bild – abgeschirmte Leuchten. Das dritte Bild zeigt abgeschirmte Leuchten auf kurzen Masten, die die ungewollte Lichtausbreitung verhindern und somit benachbarte Bereiche dunkel halten (© H. LIMPENS).

heitsgründen oder auf Grund gesetzlicher Vorgaben notwendig ist. **Minderungsmaßnahmen** (Kapitel 5.2) müssen nach Möglichkeit berücksichtigt und angewendet werden.

- In Pufferzonen um Schutzgebiete sollten nur langwellige Leuchten zugelassen werden, die nicht wesentlich zum **Himmelsleuchten** beitragen. Außerdem ist in Pufferzonen die Lichtverschmutzung zu minimieren und die Zunahme der Beleuchtung sollte begrenzt werden (GASTON *et al.* 2015). Für eine unvermeidbare Beleuchtung müssen nach Möglichkeit Minderungsmaßnahmen ergriffen werden. Jedes Kunstlicht in der Pufferzone muss so weit vom Schutzgebiet entfernt sein, dass seine **Beleuchtungsstärke** an der Grenze des Schutzgebiets weniger als 0,1 lx beträgt, was ungefähr der Helligkeit des Vollmonds entspricht.

P2: Unterirdische und oberirdische Quartiere

- Strikte Vermeidung von direktem Kunstlicht im Inneren eines Quartiers und an dessen Ein- und Ausflugsöffnungen. Die Beleuchtung, welche von entfernten Lichtquellen ausgeht, sollte an den Ein- und Ausflugsöffnungen sowie an den Ausflugrouten nicht mehr als 0,1 lx erreichen (gemessen mittels eines Luxmeters in vertikaler Position in 1,5 m Höhe über dem Boden, senkrecht zum Himmel, oder neben den Quartierein- und -ausflugsöffnungen).
- Eine Flugroute von den Ein- und Ausflugsöffnungen eines Quartiers zu nahegelegenen unbeleuchteten Hecken, Baumreihen oder anderen Strukturen, die von Fledermäusen während des



Abbildung 5.6 In den Niederlanden wurden Mauern entworfen, die das Abstrahlen des Lichts von einer Autobahn auf eine Grünbrücke mit einer Flugroute vermeiden sollen (© H. LIMPENS).



Abbildung 5.7 Kombinierte Schall- und Lichtschutzwände, welche beim Bau einer neuen Autobahn in den Niederlanden installiert wurden, um eine störende Lichtausbreitung in eine Ausgleichsfläche mit Fledermauslebensräumen zu vermeiden (© V. LOEHR).

Transferflugs genutzt werden, muss unbeleuchtet bleiben, bzw. darf nur mit **Beleuchtungsstärken** unter 0,1 lx beleuchtet werden. Wenn möglich, sollte im Vorfeld die von den ausfliegenden Fledermäusen bevorzugte Flugrichtung festgestellt und ein unbeleuchteter Flugkorridor entsprechend eingerichtet werden.

P3: Habitate wie Gewässer (z.B. Flussufer, Teiche, Kanäle) und Wälder, die ein wichtiges Jagdgebiet für lichtscheue Fledermausarten darstellen

- Strikte Vermeidung von direktem nächtlichen Kunstlicht. Die **Beleuchtungsstärke** nahegelegener Beleuchtung muss unter 0,1 lx liegen.

P4: Lebensräume wie städtische Parks und Gärten, Waldränder, Hecken und Baumreihen, die häufig von Fledermäusen zur Jagd oder während des Transferflugs genutzt werden

- Nächtliches Kunstlicht sollte soweit wie möglich vermieden werden. Alternativ kann eine partielle oder gedimmte Beleuchtung eingesetzt werden, um negative Auswirkungen auf jagende Fledermäuse oder auf Tiere im Transferflug zu reduzieren.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass nächtliches Kunstlicht nach Möglichkeit vermieden werden sollte. Für jede unvermeidliche künstliche Beleuchtung bei Nacht sollten geeignete **Minderungsmaßnahmen** (siehe unten) in Betracht gezogen und wenn möglich umgesetzt werden.

5.2 Minderungsmaßnahmen

Im Vorfeld jeglicher Installation von Außenbeleuchtung sollte eine sorgfältige Bewertung der potenziellen Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf Fledermäuse stattfinden. Wenn künstliches Licht aus sozialen oder sicherheitstechnischen Gründen notwendig ist, ist es von größter Bedeutung, eine „bedarfsgerechte“ Außenbeleuchtungsplanung umzusetzen,

um nur zu der tatsächlich erforderlichen Zeit und nur dort wo es tatsächlich nötig ist, zu beleuchten (KYBA *et al.* 2014). In diesem Zusammenhang ist die Begrenzung des zeitlichen und räumlichen Ausmaßes des nächtlichen Kunstlichts ein zentrales Element, um die negativen Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf die Biodiversität (einschließlich der Fledermäuse) zu mindern.

Die Planung der Außenbeleuchtung erfordert das Management von nächtlichem Kunstlicht auf fünf integrierten Handlungsebenen, nämlich **1.** eine räumliche Anordnung künstlicher Lichtquellen in der Landschaft, die die Vernetzung dunkler Rückzugsgebiete zur Nahrungssuche und für Nachtquartiere verbessert (siehe 5.1 Vermeidung) und **2.** die Beschränkung der Beleuchtungsdauer auf die Zeit, in der die Beleuchtung für den Menschen notwendig ist (KYBA *et al.* 2014). Sobald die zu beleuchtenden Bereiche als auch die Beleuchtungszeiträume definiert sind, sollte sich die Planung der Außenbeleuchtung auf **3.** die Reduzierung von **störender Lichtausbreitung** in die umliegende Vegetation durch eine präzise Ausrichtung des Lichtkegels, **4.** die Reduzierung der **Beleuchtungsstärke** der Lichtquellen und **5.** die Anpassung der spektralen Zusammensetzung des Lichtes an den ökologischen Kontext, konzentrieren (Gaston *et al.* 2012, SCHROER & HÖLKER 2016). Empfehlungen für die Planung von Außenbeleuchtung zur Minderung der Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf **Jagdgebiete** und **Flugrouten** sind in Tabelle 5.1 aufgeführt.

5.2.1 Minderung der Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Jagdgebiete und Flugrouten

Teilnacht-Beleuchtung/Teilnachtschaltung: Die öffentliche Außenbeleuchtung ist für einen wesentlichen Teil des Energieverbrauchs und der Stromrechnungen der örtlichen Verwaltung verantwortlich. Nach der Wirtschaftskrise von 2008 haben viele ländliche Verwaltungen in ganz Europa daher Beleuchtungssysteme mit Teilnachtschaltung eingerichtet, wobei die öffentliche Außenbeleuchtung von Mitternacht (\pm 1 Stunde) bis in den frühen Morgen (05–06 Uhr) ausgeschaltet wird. Obwohl diese Systeme hauptsächlich zur Senkung der lokalen Stromkosten eingerichtet wurden, können sie die negativen Auswirkungen des nächtlichen Kunstlichts auf Fledermäuse wirksam mindern, da sie für mehrere Stun-

den der Nacht die Wiederherstellung der Dunkelheit auf Landschaftsniveau ermöglichen. Diese Maßnahme kann lichtscheuen Arten Zugang zu zusätzlichen Jagdgebieten eröffnen und die Vernetzung der Lebensräume in der Landschaft zumindest für einen Teil der Nacht wiederherstellen. Allerdings sind Nachttiere besonders kurz nach Sonnenuntergang aktiv. Die größte Biomasse an Insekten ist in der Abenddämmerung verfügbar und der Aktivitätshöhepunkt von *Microlepidoptera* liegt in den ersten zwei Stunden nach Sonnenuntergang (KNIGHT *et al.* 1994, JETZ *et al.* 2003). Daher folgen nachtaktive Insektenfresser, einschließlich der Fledermäuse, dem gleichen zeitlichen Muster (JONES & RYDELL 1994, JETZ *et al.* 2003). Allerdings scheinen die derzeitigen Beleuchtungssysteme mit Teilnachtschaltung, die Aktivitätszeit der

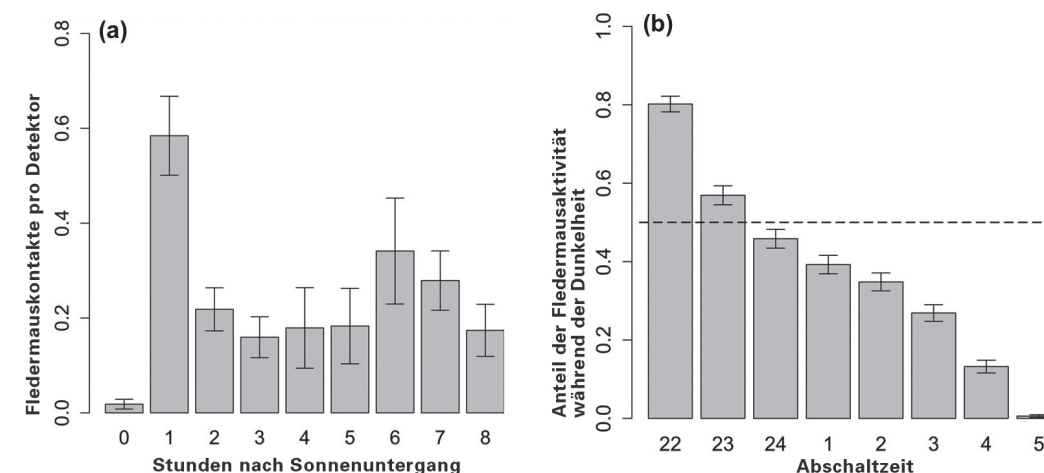


Abbildung 5.8 Ergebnisse einer Studie aus Großbritannien über den Aktivitätsrhythmus der Großen Hufeisennase (*Rhinolophus ferrumequinum*): (a) Mittelwert der Anzahl von Fledermauskontakten an Fledermausdetektoren pro Stunde (\pm SF, Standardfehler) über verschiedenen Detektor-Standorten, (b) Anteil der Aktivitätszeit, welcher unter Teilnacht-Beleuchtungsszenarien auf die Zeit der Dunkelheit entfällt. An der gestrichelten Linie entfallen 50 % der Fledermausaktivität auf den dunklen Teil der Nacht (DAY *et al.* 2015).



meisten Fledermausarten nicht zu berücksichtigen (AZAM *et al.* 2015, DAY *et al.* 2015). Daher müsste die Dunkelphase eines Beleuchtungssystems innerhalb der ersten 2 Stunden nach Sonnenuntergang beginnen, um mehr als 50 % der nächtlichen Fledermausaktivität einzuschließen (Abb. 5.8, DAY *et al.* 2015), was besonders während der Fortpflanzungszeit und der Migration für die Fledermäuse von entscheidender Bedeutung wäre. Die Umsetzung eines solchen Beleuchtungsplans auf dem Gesamtgebiet einer Stadt oder eines Dorfes würde aber wahrscheinlich auf den Widerstand der lokalen Bevölkerung stoßen (GASTON *et al.* 2012). Allerdings könnten neue und verbesserte Beleuchtungstechnologien weitere Möglichkeiten zur Umsetzung spezifischer Teilnacht-Beleuchtungssysteme in eben den Landschaftsbereichen eröffnen, die Fledermäuse als **Flugrouten** oder **Jagdgebiete** nutzen.

Dimmen der Beleuchtungsstärke und Begrenzung der Lichtausbreitung in benachbarte Räume:

Aus Sicherheitsgründen empfiehlt die europäische Norm EN 13201 die Beleuchtung von Fußgängerwegen und verkehrsarmen Straßen mit mindestens 7,5 bis 10 lx sowie von Gewerbegebieten und Zufahrtsstraßen mit mindestens 15 bis 20 lx. Diese Richtlinien stehen im Widerspruch zum Fledermausschutz, da lichtscheue Fledermäuse schon bei viel geringeren **Beleuchtungsstärken** beleuchtete Bereiche meiden (KUIJPER *et al.* 2008, STONE *et al.* 2012, LACOEUILHE *et al.* 2014, LEWANZIK & VOIGT 2017). Darüber hinaus zeigen viele Fledermausarten eine sogenannte Lunarphobie und schränken die Jagdaktivität und Trans-

ferflüge in Vollmondnächten ein (SALDAÑA-VÁZQUEZ & MUNGUÍA-ROSAS 2013). In diesem Zusammenhang ist es wichtig, noch einmal darauf hinzuweisen, dass **Beleuchtungsstärken** vergleichbar mit der des Vollmonds (d.h. 0,1 lx) bereits negative Auswirkungen auf Fledermäuse haben können. Daher ist es wahrscheinlich unmöglich, einen Grenzwert für die **Beleuchtungsstärke** zu definieren, der sowohl den Sicherheitsstandards als auch den Ansprüchen des Naturschutzes genügt. Die nächtliche Lichtverschmutzung wird jedoch oft durch schlechte Beleuchtungskonzepte verstärkt, bei welchen sowohl nach oben als auch horizontal abgestrahlt wird, was zu ungewollter, **störender Lichtausbreitung** in benachbarte Gebiete beiträgt (GASTON *et al.* 2012). Diese **störende Lichtausbreitung** kann einen erheblichen Anteil natürlicher und halbnatürlicher Vegetationsflächen beeinträchtigen (MARCANTONIO *et al.* 2015). Daher kann die Verringerung solcher **störender Lichtausbreitung** die Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf die Biodiversität wirksam begrenzen und gleichzeitig den Stromverbrauch senken.

FALCHI *et al.* (2011) geben praktische Empfehlungen zur Begrenzung der Lichtverschmutzung bei Außenbeleuchtung:

1. Das Licht sollte entsprechend des tatsächlichen menschlichen Bedarfs in einem bestimmten Bereich gedimmt werden, um eine übermäßige Beleuchtung zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für Gewerbe- und Industriegebiete, die oft hell beleuchtet sind (HALE *et al.* 2013).
2. Es sollten vollständig abgeschirmte Leuchten verwendet werden, die kein Licht oberhalb der Horizontalen abstrahlen.



3. Nach unten gerichtete Beleuchtung sollte nur den notwendigen Bereich ausleuchten. Die Korrektur der Höhe einer Leuchte kann helfen, das Licht zu fokussieren und Lichtverschmutzung zu vermeiden.

Diese Empfehlungen sollten dazu beitragen, die vertikale Beleuchtung wichtiger **Flugrouten** und **Jagdgebiete** von Fledermäusen, wie Waldränder und Hecken, zu vermeiden. Darüber hinaus könnte eine angepasste Höhe der Lampen die Wiederherstellung der Dunkelheit in den oberen Baumkronen erlauben.

Zudem muss man auch bedenken, dass von beleuchteten Oberflächen reflektiertes Licht ebenfalls erhebliche, nach oben gerichtete Lichtemissionen und damit Lichtverschmutzung verursachen kann. In der Lombardei, Italien, werden zwar 75 % der künstlichen Himmelhelligkeit durch direkte Beleuchtung von Lampen erzeugt, aber 25 % werden durch die Reflexion an beleuchteten Oberflächen verursacht (FALCHI *et al.* 2011). Daher könnte der Ersatz lichtreflektierender durch lichtabsorbierende Oberflächen ein wirksames Mittel zur Reduzierung **unnötiger Lichtausbreitung in angrenzende Räume** sein (GASTON *et al.* 2012).

Begrenzung des kurzwelligen (UV- und Blau-) Anteils des Lichtspektrums:

In der EU sind Natriumlampen (HPS und LPS), MH- und HPMV-Lampen mit 37, 36 bzw. 27 % Umsatzanteil im Zeitraum 2004–2007 (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2011) die häufigsten verwendeten Lichtquellen für Straßenlaternen. Seit Inkrafttreten der europäischen Ökodesign-Verordnung (245/2009), wer-

den HPMV-Lampen jedoch aufgrund ihres niedrigen energetischen Wirkungsgrades schrittweise abgeschafft (Tabelle 5.1). Diese Umstellung geht mit der gestiegenen Kosteneffizienz energieeffizienter LEDs einher, welche bisher einen Marktanteil von rund 7 % haben (ZISSIS & BERTOLDI 2014). HPMV-, MH- und Standard-LED-Lampen emittieren oft Licht über ein breites Spektrum, mit einem signifikanten Energiemaximum im blauen Bereich und korrelierten Farbtemperaturen (Engl.: CCT = „Correlated Color Temperature“) > 3000 K.

Kurzwellige Emissionen im blauen und UV-Bereich sind für das sogenannte „flight-to-light“-Verhalten von Milliarden von Insekten verantwortlich, also die anlockende Wirkung von Licht auf Insekten (VAN LANGEVELDE *et al.* 2011) (siehe Kapitel 2.1). Daher werden schnell fliegende Fledermausarten, wie *Pipistrellus* spp., bei der Jagd auf Insekten mehr von MH und HPMV als von Natriumlampen und weißen LEDs angezogen (STONE *et al.* 2015a, LEWANZIK & VOIGT 2016). Obwohl Lichtemissionen im blauen und UV Spektrum für einige Fledermausarten von Vorteil sein können, sind sie jedoch in Bezug auf ihren Einfluss auf die Umwelt bedenklich, da sie bei Säugetieren die Sekretion von Melatonin steuern (FALCHI *et al.* 2011, SCHROER & HÖLKER 2016) und wahrscheinlich einen langfristigen Populationsrückgang von Insektengesellschaften verursachen (CONRAD *et al.* 2006). Darüber hinaus können blaue und UV-Licht emittierende Lichtquellen Insekten aus benachbarten dunklen Lebensräumen anziehen und so die Qualität dieser angrenzenden Lebensräume für Fledermäuse verringern (EISENBEIS 2006, Kapitel 3). Daher sollte der Einsatz von solchen

Straßenlaternen vermieden werden, die „kaltweißes“ Licht mit Wellenlängen unter 540 nm und mit einer korrelierten Farbtemperatur (CCT) > 2700 K emittieren. Hierbei sollte man bedenken, dass die Abstrahlung von UV-Licht von Straßenlaternen sinnlos ist, da es vom Menschen nicht wahrgenommen wird. Somit könnten Wellenlängen im UV-Bereich ohne Absenkung der **Beleuchtungsstärke** gefiltert werden. Im Gegensatz zum Menschen können viele Fledermäuse UV-Licht wahrnehmen (ZHAO *et al.* 2009, FUJUN *et al.* 2012, GORRESEN *et al.* 2015). Für sie erscheinen Lichtquellen, die solch überflüssiges UV-Licht emittieren, vermutlich heller als Lichtquellen mit einem ins langwelligere verschobenen Spektrum. Daher sind UV-Licht emittierende Lampen für lichtscheue Fledermäuse besonders störend und die Filterung des UV-Anteils des Spektrums könnte die Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse mindern.

Langsam fliegende, lichtscheue Arten, wie *Myotis* spp. und *Rhinolophus* spp., meiden beleuchtete Bereiche, unabhängig vom Lichtspektrum konventioneller Lampen. Negative Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf die Aktivität von Fledermäusen wurden sowohl für HPMV- (LEWANZIK & VOIGT 2016) als auch HPS-Lampen (STONE *et al.* 2009, AZAM *et al.* 2015b) und weiße LEDs (STONE *et al.* 2012) festgestellt. Diese Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass es keine „fledermausfreundlichen“ konventionellen Lampentypen gibt. Speziell entwickelte Lichtquellen können jedoch eine Alternative darstellen. So kann beispielsweise die Abschreckung langsam fliegender Fledermäuse (*Myotis* spp. und *Plecotus* spp.) und die künstliche Anlockung schnell

fliegender Arten (z.B. *Pipistrellus*) durch die Insekten, die wiederum vom Licht angezogen werden, vermieden werden, indem man den Anteil des blauen Lichts im Spektrum reduziert und den Anteil des roten Lichts erhöht (SPOELSTRA *et al.* 2017).

Da es nahezu unmöglich ist, unerwünschte Effekte von Licht, unabhängig von Lampentypus und Lichtspektrum, gänzlich auszuschließen, wird deutlich, dass Dunkelheit immer einer Beleuchtung vorzuziehen ist. Allerdings erhöhen Straßenlaternen mit ausgeprägtem Blauanteil, wie „kaltweiße“ LEDs oder MH, die Lichtverschmutzung auf Landschaftsniveau deutlich, da blaues Licht leichter in der Atmosphäre streut als grünes und rotes Licht (FALCHI *et al.* 2011). Die Simulation des Wechsels von HPS-Außenbeleuchtung zu weißen LEDs (4.000 K) in ganz Europa ergab eine 2,5-fache Erhöhung der Helligkeit des Nachthimmels, wie sie von einem menschlichen dunkel adaptierten Auge wahrgenommen wird (z.B. FALCHI *et al.* 2016). So dürften Lampen mit einem breiten Lichtspektrum, die einen erheblichen Teil ihrer Energie im kurzwelligen Bereich abgeben, die Fragmentierung der nächtlichen Landschaft weiter erhöhen und zu einem landschaftsweiten Verlust dunkler Rückzugsräume für Fledermäuse führen.

Neue Beleuchtungstechnologien – Chancen und Risiken: Wir erleben derzeit eine wichtige Entwicklung im Bereich des Außenlichtmanagements, da die meisten bestehenden Beleuchtungsinfrastrukturen in Europa das Ende ihrer Betriebsdauer erreicht haben. Die erhöhte Wirtschaftlichkeit von LEDs mit hoher Energieeffizienz und guter Lichtausbeute wird im kommen-

den Jahrzehnt voraussichtlich zu einem exponentiellen Anstieg dieser Technologie in der Außenbeleuchtung führen (ZISSIS & BERTOLDI 2014). Wie bei vielen technologischen Innovationen bieten LEDs nicht nur die Möglichkeit, die Lichtverschmutzung

	Maßnahme	Empfehlung
Vermeidung	<i>Erhalt von dunklen Bereichen</i>	Bereiche hoher Priorität, die dunkel bleiben sollten: <ul style="list-style-type: none"> • Schutzgebiete, einschließlich Quartiere und unterirdische Winterquartiere • Jagdgebiete (naturbelassene Gebiete, Grünflächen) • Flugrouten (Waldränder, Hecken, Flüsse, Baumreihen)
Nur wenn Beleuchtung erforderlich ist und nach einer Untersuchung und Bewertung des Vorkommens und der Aktivitätsmuster von Fledermäusen in funktionalen Lebensräumen auf Landschaftsniveau:		
Minderung	<i>Teilnacht-Beleuchtung</i>	Die öffentliche Außenbeleuchtung sollte innerhalb von 2 Stunden nach Sonnenuntergang ausgeschaltet werden (bürgerliche Dämmerung): <ul style="list-style-type: none"> • Insbesondere während der Fortpflanzungs- und Migrationszeit der Fledermäuse • Insbesondere im Aktionsraum von Wochenstuben
	<i>Dimmung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung der Dimmung an menschliche Aktivitäten • Die Beleuchtungsstärke sollte so niedrig wie möglich sein, also nicht über die nach EU-Standards erforderliche Mindestbeleuchtungsstärke hinaus gehen
	<i>Vermeidung unnötiger Lichtausbreitung</i>	Störende Lichtausbreitung in angrenzende Räume von mehr als 0,1 lx auf umliegende Flächen sollte vermieden werden: <ul style="list-style-type: none"> • Es sollten voll abgeschirmte Leuchten verwendet werden • Lampen sollten nicht in oder über der Horizontalen abstrahlen • Die Höhe der Straßenbeleuchtung sollte insbesondere entlang von Gehwegen und Baumreihen angepasst werden • In Bodennähe sollten Leuchten vermieden werden, die vertikal abstrahlen • Die Gesamtwirkung sowohl von direktem Licht durch Lampen als auch die Reflexion von Strukturen, wie Straßen und Mauern, sollte berücksichtigt werden
	<i>Anpassung des Lampenspektrums</i>	Lampen mit Wellenlängen unter 540 nm (Blau- und UV-Bereich) und mit einer korrelierten Farbtemperatur > 2700 K sollten nicht eingesetzt werden
Ausgleich	<i>Herstellung von Dunkelbereichen</i>	Ein Netto-Verlust von dunklen Gebieten ist zu vermeiden: <ul style="list-style-type: none"> • Es sollten Dunkelbereiche im selben Ausmaß wieder hergestellt werden, wie sie durch Beleuchtung verloren gehen • Durch Schaffung alternativer Dunkelkorridore zur Vernetzung von Jagdgebieten und Quartieren

Tabelle 5.1 Zusammenfassung der Empfehlungen für die Außenbeleuchtungsplanung zur Begrenzung der Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf die Jagdgebiete und Flugrouten von Fledermäusen.



zu begrenzen, sondern auch zu einer Erhöhung derselben beizutragen (STANLEY *et al.* 2015). Einerseits ermöglichen LEDs es, Licht mit beispielloser Präzision auszurichten und über zentrale Managementsysteme bedarfsgerecht an den menschlichen Aktivitätsrhythmus nachts anzupassen (KYBA *et al.* 2014). Das Potenzial, das Spektrum der LEDs anzupassen, sollte daher weiter untersucht werden, um die Auswirkungen auf natürliche Systeme zu reduzieren und die Beleuchtung für verschiedene soziale Kontexte zu optimieren. Dementsprechend bietet diese Technologie vielversprechende Möglichkeiten Außenbeleuchtungskonzepte zu entwerfen, die das Ausmaß des nächtlichen Kunstlichts sowohl räumlich als auch zeitlich begrenzen und die natürliche Dunkelheit in vom Menschen bewohnten Landschaften wiederherstellen. Andererseits kann der massive Einsatz von LEDs in der öffentlichen Infrastruktur zu einem Rückschlageffekt führen, der sich sowohl durch 1. die Installation neuer künstlicher Lichtquellen in bisher unbeleuchteten Bereichen, als auch durch 2. den Einsatz hellerer und oft „kaltweißer“ Straßenleuchten auszeichnet (KYBA *et al.* 2014, 2017). Daher wird in den kommenden Jahrzehnten die ökologische Expertise bei der Konzipierung von Außenbeleuchtungsprojekten einen besonderen Stellenwert erlangen, damit sichergestellt wird, dass diese technologische Innovation die Lichtverschmutzung (Emissionen) nicht erhöht. Weitere Informationen zu Empfehlungen für die Außenbeleuchtung finden sich auf der Internetseite COST „Loss of the Night Network“ (<http://www.cost-lonne.eu/recommendations/>).

5.2.2 Minderung der Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Fledermausquartiere

Es ist besonders wichtig, künstliche Beleuchtung an und in Fledermausquartieren vollständig zu vermeiden. **Minderungsmaßnahmen** sollten nur ergriffen werden, wenn Beleuchtung unbedingt notwendig ist, da es keine absolut „fledermausfreundliche“ Beleuchtung gibt (MOHAR *et al.* 2014). Die vorgeschlagenen Minderungsmaßnahmen sollten nicht als gleichwertige Alternativen zur Vermeidung betrachtet werden, sondern nur als Maßnahmen von unterschiedlicher Wirksamkeit für den Fledermausschutz. Kunstlicht, welches Fledermausquartiere beeinträchtigt, kann sowohl von Lichtquellen im Quartier (z.B. in Höhlen oder Kirchenräumen) oder von solchen außerhalb des Quartiers (z.B. Außenbeleuchtung historischer Gebäude oder von Felsmauern) stammen.

Künstliches Licht außerhalb von Fledermausquartieren (siehe Kapitel 2.4): Nächtliches Kunstlicht vor einem Quartier kann sich auf den abendlichen Ausflug aus dem Quartier sowie den Transferflug auswirken (BOLDOGH *et al.* 2007, STONE *et al.* 2009, 2012). Die negativen Auswirkungen können durch Schirme oder Blenden reduziert werden, welche den Quartiereingang beschatten und eine **störende Lichtausbreitung** in die Umgebung reduzieren oder vermeiden (MOHAR *et al.* 2014). Ebenso können Lichtquellen, die den Eingang eines Baumquartiers beleuchten, so mit einer Blende versehen werden, dass eine direkte Beleuchtung des Eingangs und der dazugehörigen **Flugrouten** verhindert wird.



Überall dort, wo Quartiereingänge bereits indirekt beleuchtet werden, sollte die **störende Lichtausbreitung in angrenzende Räume** vermieden werden. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen wurde in einem Projekt in Slowenien an einigen Quartieren von *R. hipposideros* untersucht (MOHAR *et al.* 2014). Diese zeigten, dass die meisten Fledermäuse das Quartier in einer Kirche durch die dunkelsten Ausflugsöffnungen verließen, wenn einige der Ausflugsöffnungen mit extrem hoher Lichtintensität angestrahlt wurden (ZAGMAJSTER 2014). Nach der Installation von Blenden, die die Beleuchtung der Ausflugsöffnungen verhinderten, nutzten die Fledermäuse auch diese beschatteten Öffnungen.

Bei saisonaler Teilzeitbeleuchtung wird die Beleuchtung entsprechend der Jahreszeit und der Nutzung des Quartiers durch Fledermäuse angepasst. Einige Kirchen in Slowenien werden nur während der wichtigsten religiösen Festlichkeiten, wie Weihnachten und Ostern, von außen beleuchtet, während die Beleuchtung im restlichen Jahr ausgeschaltet bleibt. Da Fledermäuse solche Kirchen nur während der Wochenstubezeit nutzen, können diese Quartiere in Bezug auf den Fledermausschutz als unbeleuchtet gelten (ZAGMAJSTER & HERCOG, eingereicht).

Saisonale anthropogene Auswirkungen auf Fledermausquartiere kann man häufiger an solchen Orten feststellen, die von Touristen während bestimmter Jahreszeiten besucht werden. So wird beispielsweise die Predjama-Höhle in Slowenien, eines der wichtigsten Winterquartiere von Fledermäusen in Slowenien (PRESETNIK *et al.* 2009), im Winter nicht von Touristen

besucht. Im Falle der Ajdovska Höhle im Südosten Sloweniens, sind touristische Besichtigungen und die Beleuchtung des Höhleninneren aufgrund des Vorkommens einer Wochenstube der Mittelmeer-Hufeisennase (*Rhinolophus euryale*) im Sommer verboten (PRESETNIK 2004).

Die Zeiten der Außenbeleuchtung können auch täglich neu angepasst werden. So empfehlen die slowenischen Richtlinien beispielsweise, die Beleuchtung nach 23:00 Uhr auszuschalten (MOHAR *et al.* 2014). Diese Empfehlung soll Nachtfaltern ermöglichen, ihre Ruheplätze in der Nähe der Beleuchtung zu verlassen und ihren Aktivitätszyklus fortzusetzen. Allerdings wurden mögliche Auswirkungen dieser Maßnahme auf Fledermäuse nicht speziell untersucht. Zumindest im Fall von *R. hipposideros*, *Plecotus macbullaris* und *Eptesicus serotinus*, verließen die Fledermäuse ihr Quartier auch während der Beleuchtung, jedoch verzögerte sich die Ausflugszeit (ZAGMAJSTER 2014, ZAGMAJSTER, unveröffentlichte Daten). Des Weiteren kann auch das Einschalten der Beleuchtung später in der Nacht eine weitere Lichtbarriere für Fledermäuse während der Rückkehr ins Quartier darstellen; insbesondere für weibliche Tiere, die ihre Jungen zum Säugen aufsuchen. Allerdings gibt es keinen empirischen Befund dafür, dass eine Teilzeitbeleuchtung für Fledermäuse weniger störend ist als eine kontinuierliche Beleuchtung. Daher sollte völlige Dunkelheit einer Teilzeitbeleuchtung vorgezogen werden (BOLDOGH *et al.* 2007), oder die Auswirkungen auf Fledermäuse sollten vor einem Einsatz in größerem Umfang untersucht werden.

Künstliches Licht in Fledermausquartieren (siehe Kapitel 2.5, 2.6): Innenbeleuchtung von Quartieren gibt es in Bauwerken (sowohl ober- als unterirdischen) als auch in natürlichen unterirdischen Quartieren (z.B. Höhlen). Lampen, die nahe von Fledermaushangplätzen installiert werden, z.B. auf dem Dachboden einer Kirche, werden oft nur für Besuche des Wartungspersonals eingeschaltet. Wenn in solchen Fällen Beleuchtung unvermeidlich ist, sollten nur schwache und vorteilhaft ausgerichtete Lichtquellen in Gebäuden oder anderen Strukturen mit Quartieren eingesetzt werden. Diese Beleuchtung sollte gerade genug Licht für einen kurzen Zutritt abgeben, aber **störende Lichtausbreitung** in die von Fledermäusen genutzten Teile des Dachbodens und die Quartiereingänge sollte vermieden werden (siehe auch BOLDOGH *et al.* 2007). Wenn diese Beleuchtung versehentlich eingeschaltet bleibt, so kann es dazu führen, dass Fledermäuse im Quartier gefangen werden (z.B. KUGELSCHAFTER unveröffentlicht, bezogen auf ZEALE *et al.* 2016).

Jegliche Innenbeleuchtung (einschließlich der durch Taschenlampen und Scheinwerfer) sowie andere Störungen durch Besuche sollten in unterirdischen Standorten mit Wochenstuben oder Winterquartieren vermieden werden. Da Schauhöhlen manchmal groß und komplex sind, sollten Wege die Besucher in einiger Entfernung an sensiblen Bereichen der Höhle, die von Fledermäusen genutzt werden, vorbeiführen. Diese Höhlenabschnitte dürfen unter keinen Umständen beleuchtet werden. In Schauhöhlen sollte ein „intelligentes“ Beleuchtungskonzept umgesetzt werden, z.B. indem nur bestimmte Höhlenformationen angestrahlt werden. Um

die **störende Lichtausbreitung in angrenzende Räume** bei der Beleuchtung der Gehwege zu vermeiden, sollten nur gerichtete Strahler oder eine Wegbeleuchtung nahe am Boden installiert werden. Es gibt einige Beispiele in denen größere unterirdische Standorte in beleuchtete Bereiche für Besucher und dunkle Bereiche für die Fledermäuse unterteilt wurden. Diese Fälle belegen, wie wirtschaftliche Interessen und dem entgegenstehende Naturschutzvorgaben in Einklang gebracht werden können. So wurden beispielsweise die Befestigungen in Nietoperek (Polen) und die verlassenen Kalkminen in Mønsted und Daugbjerg (Dänemark) in dunkle und beleuchtete Bereiche unterteilt, wobei letztere für Besucher geöffnet wurden. Auch die Teilzeitbeleuchtung von Höhlen könnte eine effektive Methode darstellen, um die Auswirkungen der Innenbeleuchtung auf Fledermäuse abzumildern, d.h. die Beleuchtung wird nur während der Anwesenheit von Besuchern eingeschaltet. Allerdings fehlen Belege dafür, inwieweit dieses Konzept hilft, eine Störung von Fledermäusen in Höhlen auszuschließen. Darüber hinaus kann künstliches Licht in Höhlen auch auf niedrige Intensitäten reguliert werden, da sich das menschliche Auge mit der Zeit an eine schwache Beleuchtung anpasst (MOHAR *et al.* 2014).

5.2.3 Die Anpassung von Lichtspektren

Über die wellenlängenspezifische Reaktion der Lichtrezeptoren europäischer Fledermäuse ist wenig bekannt und noch weniger über die Lichtspektren, die das Verhalten von Fledermäusen am stärksten beeinflussen.

Allerdings können unterschiedliche Lichtspektren unterschiedliche Auswirkungen

auf das Ausflugsverhalten von Fledermäusen haben (DOWNS *et al.* 2003, Abb. 5.9). Es hat sich gezeigt, dass rotes Licht im Vergleich zur Dunkelheit den geringsten Einfluss auf die Anzahl der aus zwei Quartieren ausfliegenden *P. pygmaeus* hatte, wohingegen die Anzahl der Tiere deutlich zurückging, wenn die Quartiereingänge mit blauem und weißem Licht beleuchtet wurden (DOWNS *et al.* 2003). Daher wurde Rotlicht auch für Quartierkontrollen vorgeschlagen, da es scheinbar den geringsten Einfluss auf Fledermäuse hat (DOWNS *et al.* 2003). Eine aktuelle Studie (SPOELSTRA *et al.* 2017, siehe Abb. 5.10) bewies, dass die Reduzierung des blauen und die Erhöhung des roten Teils des Spektrums einer Lichtquelle, deren Auswirkungen auf langsam fliegende *Myotis*- und *Plecotus*-Arten in ihrem Jagdgebiet signifikant vermindert. Andererseits verringerte das Fehlen von blauem Licht die Anziehungskraft des Lichts auf Insekten und damit auch die Anlockung von agilen, opportunistischen Arten wie *Pipistrellus* spp.

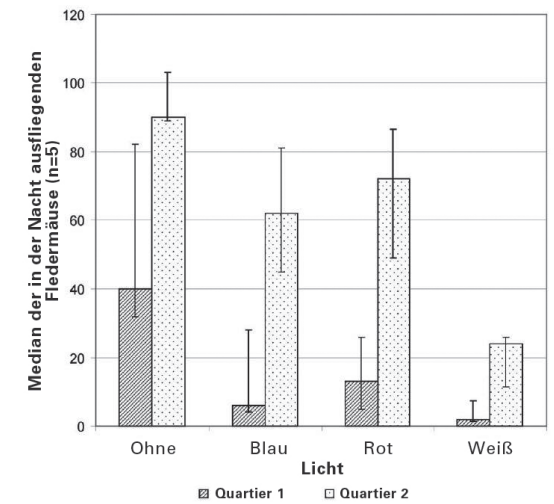


Abbildung 5.9 Die mediane Anzahl der ausfliegenden *P. pygmaeus* während unterschiedlicher Beleuchtung an zwei Quartieren (mit Interquartilsabstand) (Downs *et al.* 2003: Der Unterschied zwischen den Beobachtungen mit Rotlicht und ohne Beleuchtung war nicht signifikant).

VOIGT *et al.* (2018) beobachteten eine Zunahme der Flugaktivität migrierender *Pipistrellus pygmaeus* und einen Trend hin zu einer höheren Aktivität von *Pipist-*

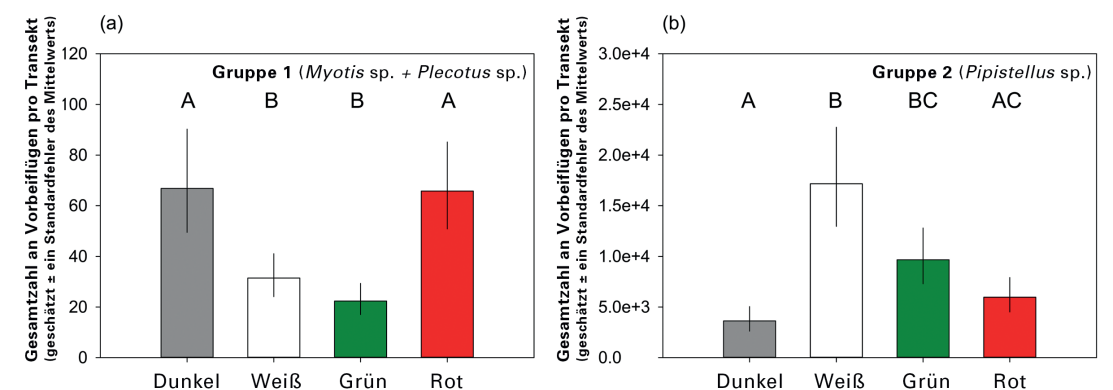


Abbildung 5.10 Fledermausaktivität unter vier (permanenten) Beleuchtungsbedingungen (Dunkelheit, weißes, grünes und rotes Licht), gemessen über einen Zeitraum von fünf Jahren in einem Waldrandhabitat (Modellschätzungen). Gruppe 1 umfasst langsam fliegende lichtscheue Arten (*Myotis* und *Plecotus* spp.); Gruppe 2 umfasst opportunistische agile *Pipistrellus*-Arten. Die Großbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bei Post-Hoc-Tests an (Abbildung aus SPOELSTRA *et al.* 2017).

Quartier			
		Außenbeleuchtung von Gebäudefassaden	Innenbeleuchtung von Höhlen und anderen Quartieren
Vermeidung	<i>Erhalt von dunklen Bereichen</i>	Fledermausquartiere sollten nicht beleuchtet werden.	Unterirdische Quartiere (natürlich oder anthropogen) mit Fledermäusen im Winterschlaf und Wochenstuben sollten dunkel belassen werden. Der Besuch durch Touristen sollte in solchen Bereichen verboten werden.
Wenn eine Beleuchtung als notwendig erachtet wird und nach einer Untersuchung und Bewertung des Fledermausvorkommens und des Ausflughaltens:			
Minderung	<i>Gerichtetes Licht, Vermeidung störender Lichtausbreitung</i>	Intelligente Beleuchtung nur von bestimmten architektonischen Elementen: <ul style="list-style-type: none"> • Flächen und Fassaden mit Ausflughöffnungen dürfen nicht beleuchtet werden • Leuchten mit Abschirmungen zur Vermeidung störender Lichtausbreitung auf Quartiereingänge • gerichtete (kontrollierte) Beleuchtung – keine störende Lichtausbreitung über der Horizontalen 	Nur intelligente Beleuchtungskonzepte: <ul style="list-style-type: none"> • Niedrige Wegbeleuchtung • nur Beleuchtung ausgesuchter Objekte wie Tropfsteine oder Sinterflächen (sogenannte Speläothemen)
	<i>Teilzeitbeleuchtung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Saisonale Beleuchtung, nur in Zeiten in denen das Quartier nicht besetzt ist • Verzögerte Abendbeleuchtung oder Abschaltung der Beleuchtung nach einem bestimmten Zeitraum (in dem die Beleuchtung für die Sicherheit von Menschen erforderlich ist) 	<ul style="list-style-type: none"> • Temporäre Beleuchtung, nur bei Besucherbetrieb (z.B. beleuchtete Notausgangsschilder) • Beleuchtung von Teilbereichen des Innenraums, Abschaltung der Beleuchtung bei Abwesenheit von Touristen
	<i>Dimmung</i>	Niedrige Beleuchtungsstärke (unter 0.1 lx)	Niedrige Beleuchtungsstärke
	<i>Anpassung des Lampenspektrums</i>	> 500 nm	> 500 nm
Ausgleich	<i>Wiederherstellung dunkler Bereiche</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Quartiere von besonderer Wichtigkeit sollten streng geschützt und nicht beleuchtet werden • Bereitstellung alternativer Quartiere in der Nähe 	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung dunkler Kammern und Flugtunnel

Tabelle 5.3 Zusammenfassung der Empfehlungen zur Beleuchtungsplanung zur Begrenzung der Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Fledermäuse in Quartieren.

rellus nathusii an roten LED-Leuchten, was durch eine positive Phototaxis erklärt werden konnte, da diese Trends nicht mit einer Jagd nach Insekten an den Lichtquellen in Zusammenhang standen. Die Reaktion von Fledermäusen auf Veränderungen des Lichtspektrums kann sich demnach während der Migrationszeit verändern und ebenso standort- und artspezifisch sein.

5.2.4 Minderung indirekter Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf die Beute von Fledermäusen

Um die Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Insekten zu mindern, sollten die Emissionen von blauem und UV-Licht im Spektrum der Außenbeleuchtung begrenzt werden und Lampen mit warmen Farbtemperaturen (wie Natrium-Niederdruckdampflampen oder gelbe LEDs) bevorzugt werden. Allerdings muss angemerkt werden, dass lange Wellenlängen für Spanner-Schmetterlinge (*Geometridae*) genauso attraktiv sind wie kurze (SOMERS-YEATES *et al.* 2013), und dass ein negativer Einfluss von nächtlichem Kunstlicht, unabhängig vom Farbspektrum der Beleuchtung, auf die Fortpflanzung von Nachtfaltern nachweisbar ist (VAN GEFFEN *et al.* 2015b). Daher scheint die Erweiterung von Dunkelkorridoren und dunklen Bereichen in vom Menschen bewohnten Landschaften die beste Möglichkeit zu sein, um negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt, einschließlich der Insekten, wirksam zu begrenzen (GASTON *et al.* 2012). Die Außenbeleuchtung sollte mindestens 25 m von Vegetationsflächen und mindestens 40 m von Flussufern entfernt sein, um den Einfluss auf Insekten zu limitieren (PERKIN *et*

al. 2014, DEGEN *et al.* 2016). Der Anziehungsradius von Straßenlaternen für Nachtfalter deutet auch darauf hin, dass die üblichen Abstände zwischen Straßenlaternen (ca. 20 – 45 m), ohne eine gleichzeitige Erhöhung der Beleuchtungsintensität, erweitert werden sollten, um Individuen die Querung zu ermöglichen und die Landschaftsvernetzung zu erhöhen (DEGEN *et al.* 2016). Darüber hinaus sollte besonders das Dimmen und Ausrichten von Straßenlaternen zur Vermeidung **störender Lichtausbreitung in angrenzende Räume** in Betracht gezogen werden.

Zwar ist die Aktivität der meisten Zweiflügler und Kleinschmetterlinge in den ersten Stunden nach Sonnenuntergang am höchsten (KNIGHT *et al.* 1994, JETZ *et al.* 2003), aber einige Taxa der Großschmetterlinge sind auch noch wesentlich später während der Nacht aktiv, d.h. die Hauptaktivitätszeit kann zum Beispiel um Mitternacht liegen (RYDELL *et al.* 1996). Aufgrund ihrer großen Augen scheinen große Nachtfalter von nächtlichem Kunstlicht stärker angezogen zu werden als Kleinschmetterlinge, was zu einer größenabhängigen Mortalität von Nachtfaltern an Straßenlaternen führen kann (VAN LANGEVELDE *et al.* 2011). Daher könnte die Wiederherstellung der Dunkelheit in vom Menschen besiedelten Landschaften durch das Abschalten der Straßenbeleuchtung während eines Teils der Nacht, von etwa Mitternacht bis in die Morgenstunden, wenn Verkehr und menschliche Aktivitäten wieder beginnen (d.h. eine Teilnacht-Beleuchtung), die negativen Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf große Nachtfalterarten wirksam begrenzen. Dies wiederum könn-



te sich auch positiv auf die Fledermäuse auswirken, die sich von nachtaktiven Faltern ernähren (wie *Plecotus* spp., AZAM *et al.* 2015).

5.5 Ausgleichsmaßnahmen

Ausgleichsmaßnahmen für die Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Jagdgebiete und Flugrouten: Bei der Planung neuer Außenbeleuchtungsprojekte sollte ein Nettoverlust von dunklen Bereichen vermieden werden. Neben dieser Vorgabe sollten Lichtemissionen durch bestehende beleuchtete Bereiche verringert werden, um den jährlichen Anstieg der nächtlichen Himmelhelligkeit über Europa aufzuhalten (FALCHI *et al.* 2011, BENNIE *et al.* 2014b). Die Flächen der **Jagdgebiete** und **Flugrouten**, die von nächtlichem Kunstlicht betroffen sind, sollten quantifiziert werden, um die gleiche Fläche an dunklen Rückzugsgebieten und Dunkelkorridoren in anderen Gegenden wiederherzustellen. Diese Ge-

genden sollten aber in der Nähe der Außenbeleuchtungsprojekte liegen, damit die betroffene Fledermauspopulation von den Ausgleichsmaßnahmen profitieren kann.

Ausgleichsmaßnahmen für die Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermausquartiere: Fledermäuse nutzen Jahr für Jahr dieselben Quartiere. Mitunter nehmen einige Arten neue, alternative Quartiere nicht bereitwillig an (z.B. ZEALE *et al.* 2016). Aus diesem Grund ist es schwierig, Ausgleichsmaßnahmen für den durch nächtliches Kunstlicht verursachten Verlust von Quartieren festzulegen. Daher sollten die bekannten, wichtigen Quartiere in Gebäuden nicht beleuchtet oder aber **Minderungsmaßnahmen** ergriffen werden. Das Gleiche gilt für Höhlen und andere natürliche Quartiere. Alternative dunkle Quartiere können bereitgestellt werden, aber die Wirksamkeit dieser Maßnahme sollte kontrolliert werden.



6 Forschungsschwerpunkte

Es steht bereits umfangreiches Wissen über die unterschiedlichen schädlichen Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse zur Verfügung, doch die Effekte sind vielfältig und können langfristig sein. Daher ist weitere Forschung notwendig. So ist es wichtig, Berichte und einzelne Fallstudien weiter zu sammeln und zu analysieren, um allgemeine Schlussfolgerungen über die Auswirkung von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermäuse zu ermöglichen. Im Folgenden werden einige Vorschläge für zukünftige Forschungsthemen vorgestellt.

6.1 Fitnesskonsequenzen

Da Fledermäuse eine geringe Fortpflanzungsrate haben, ist es besonders wichtig, übergeordnete Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf Fledermausarten zu verstehen. Neben einer aktuellen Studie aus Schweden über den Rückgang von *P. auritus* – Kolonien (RYDELL *et al.* 2017), gibt es keine weiteren Langzeitstudien, die mehrere Jahrzehnte umfassen, und die sich mit den Auswirkungen der Verhaltensänderungen als Reaktion auf nächtliches Kunstlicht auf die Fitness von Fledermäusen beschäftigen. Obwohl der mögliche Einfluss verschiedener Beleuchtungssysteme auf das Wachstum von Jungtieren von *R. hipposideros* an drei Quartieren in Slowenien untersucht wurde, konnten die beobachteten Unterschiede nicht eindeutig mit den verschiedenen Beleuchtungssystemen in Verbindung

gebracht werden (KOTNIK 2016). BOLDOGH *et al.* (2007) beschrieben die Wachstumsraten juveniler Fledermäuse in beleuchteten und dunklen Quartieren und interpretierten die gefundenen Unterschiede als einen Effekt der Beleuchtung. Allerdings stellten KOTNIK *et al.* (2017) klar, dass multiple Faktoren den Fortpflanzungserfolg auf komplexe Weise beeinflussen können und man darauf achten sollte, den Einfluss der Beleuchtung von anderen Faktoren, die das Wachstum von Jungtieren ebenfalls beeinflussen können, zu trennen. Letztendlich ist es notwendig zu verstehen, wie nächtliches Kunstlicht kritische Populationsparameter wie das Geschlechterverhältnis, die Geburtenrate, Ausbreitung und die Überlebensrate beeinflusst, um die Auswirkungen auf Populationsniveau zu verstehen und vorhersagen zu können.

6.2 Auswirkungen auf die Fledermausgemeinschaft

Aus der aktuellen Literatur geht hervor, dass Fledermäuse artspezifische Reaktionen auf nächtliches Kunstlicht zeigen, welche die Konkurrenzsituation zwischen Fledermausarten verändern könnten. So wurde beispielsweise der Rückgang von *R. hipposideros* in der Schweiz mit einem Populationswachstum von *P. pipistrellus* in Verbindung gebracht. Es wurde vermutet, dass eine aufgrund der verbesserten Nahrungsverfügbarkeit durch neu installierte Straßenlaternen wachsende Popu-



lation von *P. pipistrellus*, *R. hipposideros* durch Konkurrenzüberlegenheit verdrängt (ARLETTAZ *et al.* 2000). Es sind aber weitere Studien erforderlich, um die Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Fledermausgemeinschaften besser zu verstehen (DAVIES *et al.* 2013).

6.3 Neue Beleuchtungstechnologien – Spektren

Angesichts des rasanten technologischen Fortschritts bei der Außenbeleuchtung, bedarf es dringend weiterer Studien, um festzustellen, wie neuartige Lichtquellen die Fledermausaktivität und -reproduktion beeinflussen. Solche Studien sollten ausreichende Messwiederholungen und einen kontrollierten Versuchsansatz beinhalten, um aussagekräftige Daten zu erhalten. Ein Beispiel hierfür ist das „Lichtopnatuur“-Projekt in den Niederlanden, bei dem die Auswirkung weißer, roter und grüner LED-Beleuchtung auf verschiedene Taxa im großen Maßstab untersucht wird (SPOELSTRA *et al.* 2017, siehe <http://www.lichtopnatuur.org>).

6.4 Das Sehvermögen von Fledermäusen

Um die Möglichkeiten zur Vorhersage der Reaktionen von Fledermäusen zu verbessern, ist es wichtig, die spektrale Empfindlichkeit des Sehapparates der Fledermäuse besser zu verstehen. Die Bestimmung von Schwellenwerten für die spektrale Empfindlichkeit verschiedener Arten würde helfen, **Minderungsmaßnahmen** und Schutzstrategien zu verbessern (GASTON *et al.* 2013).

6.5 Die Effizienz von Minderungsmaßnahmen

Teilnacht-Beleuchtung: Es wurden schon erste Forschungsarbeiten zu diesem Thema durchgeführt (siehe Kapitel 5.2). Allerdings fehlen ergänzende Studien über einen breiteren geografischen Raum, die mehr Arten einbeziehen.

Bewegungserkennung: Dynamische Beleuchtungssysteme, die z.B. mit Bewegungserkennung funktionieren und so ökologische Vorteile bieten könnten, wurden schon in Portugal, den Niederlanden und in Frankreich eingesetzt. Hierbei bleibt die Beleuchtung bis auf Zeiten des Bedarfs ausgeschaltet, was unter dem Aspekt der öffentlichen Sicherheit ideal scheint (ROYAL COMMISSION ON ENVIRONMENTAL POLLUTION 2009). Allerdings könnten sich die Schwankungen des Beleuchtungsniveaus ebenfalls schädlich auf Fledermäuse auswirken. Dies bedarf aber noch weiterer Forschung.

Störende Lichtausbreitung in angrenzende Räume (light trespass): Derzeit ist weitgehend unbekannt, wie Fledermäuse auf Maßnahmen zur Einschränkung von störender Lichtausbreitung reagieren.

Dimmen: Es sind weitere Studien nötig, um optimale Lichtintensitäten zu definieren, die sowohl der menschlichen Sicherheit als auch dem Naturschutz genügen.

Dunkelzonen: Die Wirksamkeit von Dunkelzonen und Dunkelkorridoren für Fledermäuse sollte genauer untersucht werden.

Anpassung von Lichtspektren: Weitere Untersuchungen über die Auswirkungen veränderter Lichtspektren, z.B. auf verschiedene Quartiertypen, **Flugrouten** und Fledermausarten sind notwendig.



6.6 Objektive Messung des Lichts

Die Beleuchtung wird in **Lux** gemessen, was über die Helligkeit des Lichts gemäß der menschlichen spektralen Empfindlichkeit definiert ist. Allerdings unterscheidet sich die spektrale Empfindlichkeit anderer Taxa oft sehr stark von der des Menschen. Da diese Einheit aber häufig von Lichttechnikern, Designern und Umweltaufsichtsbehörden verwendet wird, könnte ihr Ersatz durch eine andere Einheit die interdisziplinäre Kommunikation beeinträchtigen (LONGCORE & RICH 2004). Da Außenbeleuchtung in der Regel für den Menschen installiert wird, ist die Messung von Licht in **Lux** ein logischer Ansatz. Allerdings können durch diese Einheit wichtige biologische Effekte teilweise nicht eindeutig beschrieben werden.

6.7 Migration

Migrierende Tiere sind besonders empfindlich gegenüber anthropogenen Veränderungen, da sie auf ein Netz intakter Lebensräume angewiesen sind. Von einigen Zugvögeln weiß man, dass sie von nächtlichem Kunstlicht, insbesondere im roten Wellenlängenbereich, abgelenkt werden. So zeigt auch eine aktuelle Studie, dass ziehende Raufhautfledermäuse die Orientierung verlieren, sobald sie künstlichem grünen oder roten Licht ausgesetzt werden (VOIGT *et al.* 2017, 2018). Allerdings sind die zugrunde liegenden Ursachen und eine mögliche Beeinflussung des Navigationssystems von Fledermäusen durch nächtliches Kunstlicht noch unklar und bedürfen weiterer Forschung.

6.8 Winterschlaf

Die Auswirkungen der Beleuchtung auf Fledermäuse im Winterschlaf sind bisher noch nicht bekannt und Freilandbeobachtungen sind widersprüchlich und anekdotisch. Angesichts der Bedeutung des Winterschlafs für das Überleben vieler Arten der gemäßigten Breiten, ist dies ein Forschungsthema, welches dringend Aufmerksamkeit erfordert. Kernfragen umfassen die Auswirkungen der Beleuchtung auf das Aufwachen aus dem Winterschlaf sowie die Überlebensrate im Winterschlaf.

6.9 Entwicklung eines Vorhersagemodells auf Landschaftsebene

Eine Vorhersage, in welchen Gebieten Fledermäuse am stärksten durch Lichtverschmutzung gefährdet sein könnten, ermöglicht die Planung sowie Vermeidungs- und **Minderungsmaßnahmen** in größerem Maßstab. Die Entwicklung von Methoden und Techniken für solche Vorhersagen ist entscheidend für die Durchführung von strategischen Umweltprüfungen und Umweltverträglichkeitsprüfungen.



7 Referenzen / weiterführende Literatur

- ACHARYA, L. & M.B. FENTON (1999): Bat attacks and moth defensive behaviour around street-lights. *Canadian Journal of Zoology* 77: 27-33.
- ANCILOTTO, L., A. TOMASSINI & D. RUSSO (2015): The fancy city life: Kuhl's pipistrelle, *Pipistrellus kuhlii*, benefits from urbanisation. *Wildlife Research* 42: 598-606. doi: 10.1071/WR15003.
- ARLETTAZ, R., S. GODAT & H. MEYER (2000): Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (*Pipistrellus pipistrellus*) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*). *Biol Conserv* 93: 55-60.
- ALDER, H. (1993): Licht-Hindernis auf Flugstraßen. *Fledermaus-Gruppe Rheinflall Info* 1993/1: 5-7.
- ALTERMATT, F., A. BAUMEYER & D. EBERT (2009): Experimental evidence for male biased flight-to-light behaviour in two moth species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 130: 259-265. Blackwell Publishing Ltd. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1570-7458.2008.00817.x> (accessed June 9, 2016).
- ARENDRT, J. (1998): Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Rev. Reprod.* 3: 13-22.
- AUBÉ, M. (2015): Physical behaviour of anthropogenic light propagation into the nocturnal environment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond* 370: 20140117.
- AZAM, C., C. KERBIRIOU, A. VERNET, J.-F. JULIEN, Y. BAS, L. PLICHARD, J. MARATRAT & I. LE VIOL (2015): Is part-night lighting an effective measure to limit the impacts of artificial lighting on bats? *Global Change Biology* 21.
- AZAM, C., I. LE VIOL, J.-F. JULIEN, Y. BAS & C. KERBIRIOU (2016): Disentangling the relative effect of light pollution, impervious surfaces and intensive agriculture on bat activity with a national-scale monitoring program. *Landscape Ecology*: 1-13. Springer Netherlands. Available from <http://link.springer.com/10.1007/s10980-016-0417-3> (accessed July 11, 2016).
- BAGUETTE, M., S. BLANCHET, D. LEGRAND, V.M. STEVENS & C. TURLURE (2013): Individual dispersal, landscape connectivity and ecological networks. *Biological Reviews* 88: 310-326. Blackwell Publishing Ltd. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/brv.12000> (accessed October 19, 2016).
- BARAK, Y. & Y. YOM-TOV (1989): The advantage of group hunting in Kuhl's bat *Pipistrellus kuhlii* (*Microchiroptera*). *Journal of Zoology London* 219: 670-675.
- BATES, A. J., J.P. SADLER, D. GRUNDY, N. LOWE, G. DAVIS, D. BAKER, M. BRIDGE, R. FREESTONE, D. GARDNER, C. GIBSON, R. HEMMING, S. HOWARTH, S. ORRIDGE, M. SHAW, T. TAMS & H. YOUNG (2014): Garden and Landscape-Scale Correlates of Moths of Differing Conservation Status: Significant Effects of Urbanisation and Habitat Diversity. *PLoS ONE* 9: e86925. Public Library of Science. Available from <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0086925> (accessed July 4, 2016).
- BATTERSBY, J. (COMP.) (2010): Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats. EUROBATS Publication Series No. 5. UNEP / EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 95 pp.
- BENNIE, J.J., J.P. DUFFY, R. INGER & K.J. GASTON (2014a): Biogeography of time partitioning in mammals. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 111: 13727-13732.
- BENNIE, J.J., T.W. DAVIES, J.P. DUFFY, R. INGER & K.J. GASTON (2014b): Contrasting trends in light pollution across Europe based on satellite observed night time lights. *Scientific Reports* 4: 1-6.
- BLAKE, D., A.M. HUTSON, P.A. RACEY, J. RYDELL & J.R. SPEAKMAN (1994): Use of lamp lit roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology* 234: 453-462.
- BOLDOGH, S., D. DOBROSI & P. SAMU (2007): The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica* 9: 527-534.
- BUCHLER, E.R. & S.B. CHILDS (1982): Use of post-sunset glow as an orientation cue by big brown bats (*Eptesicus fuscus*). *J. Mammal.* 63: 243-247.
- CHILDS, S.B. & E.R. BUCHLER (1981): Perception of simulated stars by *Eptesicus fuscus* (*Vespertilionidae*): A potential navigational mechanism. *Anim. Behav.* 29: 1028-1035.
- CONRAD, K.F., M.S. WARREN, R. FOX, M.S. PARSONS & I.P. WOIWOD (2006): Rapid declines of common, widespread British moths provide evidence of an insect biodiversity crisis. *Biological Conservation* 132: 279-291.
- DACKE, M., E. BAIRD, M. BYRNE, C.H. SCHOLTZ & E.J. WARRANT (2013): Dung beetles use the Milky Way for orientation. *Current biology* : CB 23: 298-300. Available from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982212015072> (accessed October 31, 2016).
- DAVIES, T.W., J. BENNIE & R. INGER (2013): Artificial light pollution: are shifting spectral signatures changing the balance of species interactions? *Glob Change Biol* 19: 1417-1423
- DAVIES, T.W., J. BENNIE, R. INGER & K.J. GASTON (2013): Artificial light alters natural regimes of night-time sky brightness. *Scientific Reports* 3. Nature Publishing Group.
- Davis, W.H. & R.W. Barbour (1970): Homing in blinded bats (*Myotis sodalis*). *J. Mammal.* 51: 182-184.
- DAY, J., J. BAKER, H. SCHOFIELD, F. MATHEWS & K.J. GASTON (2015): Part-night lighting: implications for bat conservation. *Animal Conservation* 18 (6): 512-516.
- DEGEN, T., O. MITESSER, E.K. PERKIN, N.-S. WEISS, M. OEHLERT, E. MATTIG & F. HÖLKER (2016): Street lighting: sex-independent impacts on moth movement. *Journal of Animal Ecology* 85: 1352-1360.
- DEKKER, J.J.A., J. R. REGELINK, E.A. JANSEN, R. BRINKMANN & H.J.G.A. LIMPENS (2013): Habitat use by female Geoffroy's bats (*Myotis emarginatus*) at its two maturity roosts and implications for their conservation. *Lutra* 56: 111-120.



- DOWNES, N.C., V. BEATON, J. GUEST, J. POLANSKI, S.L. ROBINSON & P.A. RACEY (2003): The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. *Biological Conservation* 11: 247-252.
- DUVERGÉ, P. L., G. JONES, J. RYDELL & R.D. RANSOME (2000): The functional significance of emergence timing in bats. *Ecography* 23: 32-40.
- EISENBEIS, G. (2006): Artificial night lighting and insects: attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany. In: Rich, C., u. Longcore, T. (eds). *Ecological consequences of artificial night lighting*, 2: 191-198.
- EISENBEIS, G. & K. EICK (2011): Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einziehung von LEDs. *Nat. Landsch.* 86: 298-306.
- EISENBEIS, G. (2013): Lichtverschmutzung und die Folgen für nachtaktive Insekten. *BfN-Skripten*, 336: 73-76.
- EKLÖF, J., J. ŠUBA, G. PETERSONS & J. RYDELL (2014): Visual acuity and eye size in five European bat species in relation to foraging and migration strategies. *Env. Exp. Biol.* 12: 1-6.
- ERKERT, H.G. (2004): Extremely low threshold for photic entrainment of circadian activity rhythms in molossid bats (*Molossus molossus*; *Chiroptera – Molossidae*). *Mammalian Biology – Zeitschrift für Säugetierkunde* 69: 361-374.
- EUROPEAN COMMISSION (2011). *Green Public Procurement. Street Lighting and Traffic Lights Technical Background Report*, Brussels, 65 pp.
- FALCHI, F, P. CINZANO, D. DURISCOE, C.C.M. KYBA, C.D. ELVIDGE, K. BAUGH, B.A. PORTNOV, N.A. RYBNIKOVA & R. FURGONI (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*: 1-26.
- FALCHI, F., P. CINZANO, C.D. ELVIDGE, D.M. KEITH & A. HAIM (2011): Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management* 92: 2714-2722.
- FALCHI, F. (2011): Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera. *Mon Not R Astron Soc* 412: 33-48.
- FENSOME, A.G. & F. MATHEWS (2016): Roads and bats: a meta-analysis and review of the evidence on vehicle collisions and barrier effects. *Mammal Review* 46(4): 311-323.
- FUJUN, X., H. KAILIANG, Z. TENGTENG, R. PAUL, W. XUZHONG & S. YI (2012): Behavioural evidence for cone-based ultraviolet vision in divergent bat species and implications for its evolution. *Zoologia*, 29: 109-114.
- FULLARD, J.H. (2001): Auditory sensitivity of Hawaiian moths (*Lepidoptera: Noctuidae*) and selective predation by the Hawaiian hoary bat (*Chiroptera: Lasiurus cinereus semotus*). *Proceedings of the Royal Society of London B* 268: 1375-1380.
- FUSZARA, M. & E. FUSZARA (2011): Response of emerging serotines to the illumination of their roost entrance. In *XII European Bat Research Symposium*, Vilnius, Lithuania (eds AM Hutson, PHC Lina), Lithuanian Society for Bat Conservation, Vilnius: 62.
- GAISLER, J., J. ZUKAL, Z. REHAK & M. HOMOLKA (1998): Habitat preference and flight activity of bats in a city. *Journal of Zoology London* 244: 439-445.
- GASTON, K.J., M.E. VISSER, & F. HÖLKER (2015): The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 370: 20140133.
- GASTON, K.J., J. BENNIE, T.W. DAVIES & J. HOPKINS (2013): The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. *Biol Rev* 88: 912-927.
- GASTON, K.J., T.W. DAVIES, J. BENNIE, J. HOPKINS (2012): Rowse. *Journal of Applied Ecology* 49: 1256-1266.
- GASTON, K.J., J.P. DUFFY, J. BENNIE (2015): Quantifying the erosion of natural darkness in the global protected area system. *Conservation Biology*, 29: 1132-1141.
- GORRESEN, M. P., P.M. CRYAN, D.C. DALTON, S. WOLF, & F.J. BONACCORSO (2015): Ultraviolet vision may be widespread in bats. *Acta Chiropterologica*, 17: 193-198.
- GOULD, E. (1978): Opportunistic feeding by tropical bats. *Biotropica* 10: 75-76.
- GREIF, S., I. BORISSOV, Y. YOVEL, & R.A. HOLLAND (2014): A functional role of the sky's polarization pattern for orientation in the greater mouse-eared bat. *Nat. Commun.* 5: 4488.
- GRIFFIN, D.R. (1958): *Listening in the dark*. Yale Univ. Press, New Haven, USA.
- HAEUSSLER U. & H. ERKERT (1978): Different direct effects of light intensity on the entrained activity rhythm in neotropical bats (*Chiroptera, Phyllostomidae*). *Behavioural Processes* 3: 223-239.
- HAFFNER, M. & H.P. STUTZ (1984/85): Abundance of *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus kuhlii* foraging at streetlamps. *Myotis* 23-24: 167-172.
- HALE, J.D., G. DAVIES, A.J. FAIRBRASS, T.J. MATTHEWS, C.D.F. ROGERS, J.P. SADLER (2013): Mapping Lightscares: Spatial Patterning of Artificial Lighting in an Urban Landscape. *PLoS ONE* 8: e61460.
- HALE, J.D., A.J. FAIRBRASS, T.J. MATTHEWS, G. DAVIES & J.P. SADLER (2015): The ecological impact of city lighting scenarios: exploring gap crossing thresholds for urban bats. *Global Change Biology* 21: 2467-2478.
- HALLMANN, C.A., M. SORG, E. JONGEJANS, H. SIEPEL, N. HOFLAND, H. SCHWAN, W. STENMANS, A. MÜLLER, H. SUMSER, T. HÖRREN, D. GOULSON & DE KRON, H. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12(10): e0185809.
- HERCOG, K. & M. ZAGMAJSTER (2013): Lesser horseshoe bats *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein 1800) prefer non-illuminated buildings with suitable flight openings, which are not surrounded by urbanised or arable land: results of the study from central Slovenia. In: *Bats in the Anthropocene* (Abstract book). Berlin: Leibniz Institute for Zoo and Wildlife Research (IZW): 70.
- HÖLKER, F., C. WOLTER, E.K. PERKIN & K. TOCKNER (2010a): Light pollution as a biodiversity threat. *Trends Ecol. Evol.* 25: 681-682.
- HÖLKER, F.T. MOSS, B. GRIEFAN, W. KLOAS, C.C. VOIGT, A. HÄNEL, P.M. KAPPELER, S. VÖLKER, A. SCHWOPE, S. FRANKE, D. UHRLANDT, J. FISCHER, R. KLENKE, C. WOLTER, & K. TOCKNER (2010b): The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecology and Society* 15(4): 13.



- HUTTERER, R., T. IVANOVA, C. MEYER-CORDS & L. RODRIGUES (2005): Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Naturschutz und Biologische Vielvalt*, Bonn 28: 162 pp.
- JETZ, W., J. STEFFEN & K.E. LINSENMAIR (2003): Effects of light and prey availability on nocturnal, lunar and seasonal activity of tropical nightjars. *Oikos* 103: 627-639.
- JONES, G. & J. RYDELL (1994): Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 346: 445-455.
- KNIGHT, A.L., M. WEISS & T. WEISSLING (1994): Diurnal patterns of adult activity of four orchard pests (*Lepidoptera: Tortricidae*) measured by timing trap and actograph. *J. Agric. Entomology* 11 (2): 125-136.
- KNOP, E., L. ZOLLER, R. RYSER, C. GERPE, M. HÖRLER & C. FONTAINE (2017): Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature* 548: 206-209.
- KOSOR, N. (2016): Evening emergence of lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros*) from selected illuminated and non-illuminated churches. MSc thesis, Department of Biology, University of Ljubljana (English abstract), 72 pp.
- KOTNIK, J. (2016): Seasonal dynamics and post-natal juveniles growth of Lesser horseshoe bats at three churches in the surroundings of Vrhnika. MSc thesis, Department of Biology, University of Ljubljana (English abstract), 90 pp.
- KOTNIK, J., K. KOSELJ & M. ZAGMAJSTER (2017): Reproduction and post-natal growth of *Rhinolophus hipposideros* roosting in illuminated buildings. In: Abstract book, 14th European Bat Research Symposium: 125.
- KRONWITTER, F. (1988): Population structure, habitat use and activity patterns of the noctule bat *Nyctalus noctula* Schreb. 1774 (*Chiroptera: Vespertilionidae*) revealed by radio-tracking. *Myotis* 26: 23-85.
- KUECHLY, H.U., C.C.M. KYBA, T. RUHTZ, L. LINDEMANN, C. WOLTER, J. FISCHER, & F. HÖLKER (2012): Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany. *Remote Sens. Env.* 26: 39-50.
- KUIJPER, D.P.J., J. SCHUT, D. VAN DULLEMEN, H. TOORMAN, N. GOOSSENS, J. OUWEHAND & H.J.G.A. LIMPENS (2008): Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Lutra* 51: 37-49.
- KYBA, C.C.M. & F. HÖLKER (2013): Do artificially illuminated skies affect biodiversity in nocturnal landscapes? *Landscape Ecol.* 28: 1637.
- KYBA, C.C.M., A. HÄNEL & F. HÖLKER (2014): Redefining efficiency for outdoor lighting. *Energy & Environmental Science* 7: 1806.
- KYBA, C.C.M., S. GARZ, H. KUECHLY, A. SÁNCHEZ DE MIGUEL, J. ZAMORANO, J. FISCHER, & F. HÖLKER (2015): High-resolution imagery of Earth at night: new sources, opportunities and challenges. *Remote Sens.* 7: 1-23.
- KYBA, C.C.M., T. KUESTER, A. SÁNCHEZ DE MIGUEL, K. BAUGH, A. JECHOW, F. HÖLKER, J. BENNIE, C.D. ELVIDGE, K.J. GASTON & L. GUANTER (2017): Artificially lit surface of earth at



- night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3: e1701528.
- LACOEUILHE, A., N. MACHON, J.-F. JULIEN, A. LE BOCC & C. KERBIRIOU (2014): The Influence of Low Intensities of Light Pollution on Bat Communities in a Semi-Natural Context. *PLoS ONE* 9.
- LAMPHAR, H.S. & F. KUNDRACIK (2014): A microcontroller-based system for automated and continuous sky glow measurements with the use of digital single-lens reflex cameras. *Lighting Research & Technology* 46: 20-30.
- LEWANZIK, D., & C.C. VOIGT (2016): Transition from conventional to light-emitting diode street lighting changes activity of urban bats. *J. Appl. Ecol.* 54: 264-271.
- LIMA, S.L. & J.M. O'KEEFE (2013): Do predators influence the behaviour of bats? *Biological Reviews* 88: 626-644.
- LIMPENS, H.J.G.A., K. MOSTERT & W. BONGERS (1997): Atlas van de Nederlandse vleermuizen; onderzoek naar verspreiding en ecologie. KNNV Uitgeverij, 260 pp.
- LINDECKE, O., C.C. VOIGT, G. PETERSONS & R.A. HOLLAND (2015): Polarized skylight does not calibrate the compass system of a migratory bat. *Biol. Lett.* 11: 20150525.
- LONGCORE, T., H.L. ALDERN, J.F. EGGERS, S. FLORES, L. FRANCO, E. HIRSHFIELD-YAMANISHI, L.N. PETRINEC, W.A. YAN & A.M. BARROSO (2015): Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 370: 20140125.
- LONGCORE, T. & C. RICH (2004): Ecological light pollution. *Front Ecol Environ* 2:191-198
- MACGREGOR, C.J., EVANS, D.M., FOX, R., & POCOCK, M.J. (2016); The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global change biology*, 23(2): 697-707.
- MANFRIN A., D. LEHMANN, R.H.A. VAN GRUNSVEN, S. LARSEN, J. SYVÄRANTA, G. WHARTON, C.C. VOIGT, M.T. MONAGHAN & F. HÖLKER (2018): Dietary changes in predators and scavengers in a nocturnally illuminated riparian ecosystem. *Oikos* 127 (7): 960-969.
- MANN S.L., R.J. STEIDL & V.M. DALTON (2002): Effects of cave tours on breeding *Myotis velifer*. *Journal of Wildlife Management* 66(3): 618-624.
- MARCANTONIO, M., S. PAREETH, D. ROCCHINI, M. METZ, C.X. GARZON-LOPEZ & M. NETELLER (2015): The integration of Artificial Night-Time Lights in landscape ecology: A remote sensing approach. *Ecological Complexity* 22: 109-120.
- MATHEWS, F., N. ROCHE, T. AUGHNEY, N. JONES, J. DAY, J. BAKER & S. LANGTON (2015): Barriers and benefits: implications of artificial night-lighting for the distribution of common bats in Britain and Ireland. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 370.
- MCGUIRE, L.P. & M.B. FENTON (2010): Hitting the wall: light affects the obstacle avoidance ability of free-flying Little Brown bats (*Myotis lucifugus*). *Acta Chiropterologica*, 12(1): 247-250.
- MIKULA, P., F. MORELLI, R.K. LUCAN, D.N. JONES & P. TRYJANOWSKI (2016): Bats as prey of diurnal birds: a global perspective. *Mammal Review* 46: 160-174.
- MITCHELL-JONES, A.J., Z. BIHARI, M. MASING & L. RODRIGUES (2007): Protecting and managing underground sites for bats. EUROBATS Publication Series No. 2



- (English version). UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 38 pp.
- MOERMANS, T. (2000): Kolonieplaatsselectie en dieet van de Ingekorven vleermuis, *Myotis emarginatus* in Vlaanderen. MSc. thesis. University of Antwerp, Belgium.
- MOHR, C.E. (1972): The status of threatened species of cave-dwelling bats. *Bull Nat Speleol Soc* 34: 33-47.
- MOHAR, A., M. ZAGMAJSTER, R. VEROVNIK & B. BOLTA SKABERNE (2014): Nature-friendlier lighting of objects of cultural heritage (churches) – Recommendations. *Dark-Sky Slovenia*, 28 pp.
- MÜLLER, B., & L. PEICHL (2005): Retinal cone photoreceptors in microchiropteran bats. *Invest. Ophthalmol. Vision Sci.* 46: E-abstract 2259.
- MÜLLER, B., M. GLOSMANN, L. PEICHL, G.C. KNOP, C. HAGEMANN, & J. AMMERMULLER (2009): Bat eyes have ultraviolet-sensitive cone photoreceptors. *PLoS ONE* 4: e6390.
- NYHOLM, E.S. (1965): Zur Ökologie von *Myotis mystacinus* (Leisl.) und *M. daubentonii* (Leisl.) (*Chiroptera*). *Annales Zoologica Fennica* 2: 77-123.
- PAWSON, S.M. & M.K.F. BADER (2014): LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. *Ecological Applications* 24: 1561-1568.
- PERKIN, E.K., F. HÖLKER & K. TOCKNER (2014): The effects of artificial lighting on adult aquatic and terrestrial insects. *Freshwater Biology* 59: 368-377.
- PERKIN, E.K., F. HÖLKER, J.S. RICHARDSON, J.P. SADLER, C. WOLTER & K. TOCKNER (2011): The influence of artificial light on stream and riparian ecosystems: questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere* 2: 1-16.
- PETERS, L. (2011): Lighting market report predicts strong growth for LED lighting. In: *LEDs Magazine*. Penwell Corporation Ltd., Nashua, USA.
- POLAK, T., C. KORINE, S. YAIR & M.W. HOLDEREID (2011): Differential effects of artificial lighting on flight and foraging behaviour of two sympatric bat species. *Journal of Zoology London* 285: 21-27.
- POPA-LISSEANU, A.G., A. DELGADO-HUERTAS, M.G. FORERO, A. RODRÍGUEZ, R. ARLETTAZ, & C. IBÁÑEZ (2007): Bats' conquest of a formidable foraging niche: the myriads of nocturnally migrating songbirds. *PLoS ONE*, 2(2): e205.
- PRESETNIK, P. (2004): Monitoring of bat populations in Ajdovska jama cave, Report. [in Slovenian]. Centre for Cartography of Fauna and Flora, 30 pp.
- PRESETNIK, P., K. KOSELJ & M. ZAGMAJSTER (eds.) (2009): Atlas of bats (Chiroptera) of Slovenia. Miklavž na Dravskem polju, Center za kartografijo favne in flore, 152 pp.
- RICH, C. & T. LONGCORE EDS. (2006): Ecological consequences of artificial night lighting. Island Press, New York.
- ROEDER, K. (1967): Nerve cells and insect behaviour. Revised ed. Harvard Univ Press, Cambridge, USA.
- ROELEKE, M., T. TEIGE, U. HOFFMEISTER, F. KLINGLER & C.C. VOIGT (2018): Aerial-hawking bats adjust their use of space to the lunar cycle. *Movement Ecology* 6: 11. doi: 10.1186/s40462-018-0131-7
- ROWSE, E.G., D. LEWANZIK, E.L. STONE, S. HARRIS & G. JONES (2016a): Dark Matters: The Effects of Artificial Lighting on Bats. In: *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. C. VOIGT AND T. KINGSTON, Eds.): 187-213.
- ROWSE, E.G., S. HARRIS, & G. JONES (2016b): The switch from low-pressure sodium to light emitting diodes does not affect bat activity at street lights. *PLoS ONE*, 11: e0150884.
- ROWSE, E.G., S. HARRIS, & G. JONES (2018): Effects of dimming light-emitting diode street lights on light-opportunistic and light-averse bats in suburban habitats. *Royal Society open science*: doi:10.1098/rsos.180205
- ROYAL COMMISSION ON ENVIRONMENTAL POLLUTION (2009): Artificial light in the environment. Stationery Office, London.
- RUSO, D. & L. ANCILOTTO (2015): Sensitivity of bats to urbanisation: a review. *Mammalian Biology*, 80(3): 205-212.
- RUSO, D. & E. PAPADATOU (2014): Acoustic identification of free-flying Schreiber's bat *Miniopterus schreibersii* by social calls. *Hystrix* 25: 119-120.
- RUSO, D., L. CISTRONE, N. LIBRALATO, C. KORINE, G. JONES & L. ANCILOTTO (2017): Adverse effects of artificial illumination on bat drinking activity. *Animal Conservation* 20: 492-501.
- RYDELL, J. (1986): Feeding territoriality in female northern bats *Eptesicus nilssonii*. *Ethology* 72: 329-337.
- RYDELL, J. (1987): Fladder mössen behöver kyrkorna. *Fauna flora Stockholm* 82: 88-90.
- RYDELL, J. (1991): Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssonii*. *Holarct Ecol* 14: 203-207.
- RYDELL, J. (1992): Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Funct Ecol* 6: 744-750.
- RYDELL, J. & J.R. SPEAKMAN (1995): Evolution of nocturnality in bats: potential competitors and predators during their early history. *Biological Journal of the Linnean Society* 54: 183-191.
- RYDELL, J., A. ENTWISTLE & P.A. RACEY (1996): Timing of Foraging Flights of Three Species of Bats in Relation to Insect Activity and Predation Risk. *Oikos* 76: 243.
- RYDELL, J., J. EKLÖF & S. SÁNCHEZ-NAVARRO (2017): Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches. *Royal Society open science* 4: 161077. doi: 10.1098/rsos.161077.
- SALDAÑA-VÁZQUEZ, R.A. & M.A. MUNGUÍA-ROSAS (2013): Lunar phobia in bats and its ecological correlates: A meta-analysis. *Mammalian Biology – Zeitschrift für Säugetierkunde* 78(3): 216-219.
- SCHROER, S. & F. HÖLKER (2016): Impact of lighting on flora and fauna. In: KARLICEK, R., SUN, C.C., ZISSIS, G., MA, R. (eds) *Handbook of advanced lighting technology*. Springer International Publishing, Switzerland: 957-989.
- SCHULTHEISS, P., A. WYSTRACH, S. SCHWARZ, A. TACK, J. DELOR, S.S. NOOTEN, A.-L. BIBOST, C.A. FREAS & K. CHENG (2016): Crucial role of ultraviolet light for desert ants in determining direction from the terrestrial panorama. *Animal Behaviour* 115: 19-28.
- SCHOEMAN, M.C. (2015): Light pollution at stadiums favors urban exploited bats. *Animal Conservation* 19: 120-130.



- SHEN, Y.-Y., J. LIU, D.M. IRWIN & Y-P. ZHANG (2010): Parallel and convergent evolution of the Dim-Light Vision Gene RH1 in bats (Order: *Chiroptera*). PLoS ONE 5: e8838.
- SOMERS-YEATES, R., D. HODGSON, P.K. MCGREGOR, A. SPALDING & R.H. FRENCH-CONSTANT (2013): Shedding light on moths: shorter wavelengths attract noctuids more than geometrids. Biology letters 9: 1-4.
- SPEAKMAN, J.R. (1991): Why do insectivorous bats in Britain not fly in daylight more frequently? Functional Ecology 5: 518-524.
- SPEAKMAN, J.R. (1995): Chiropteran nocturnality. In Symposia of the zoological society of London 67: 187-201.
- SPEAKMAN, J.R., J. RYDELL, P.I. WEBB, J.P. HAYES, G.C. HAYS, I.A.R. HULBERT & R.M. McDEVITT (2000): Activity patterns of insectivorous bats and birds in northern Scandinavia (69 N), during continuous midsummer daylight. Oikos, 88(1): 75-86.
- SPOELSTRA, K., R.H.A. VAN GRUNSVEN, M. DONNERS, P. GIENAPP, M.E. HUIGENS, R. SLATERUS, F. BERENDSE, M.E. VISSERT & E. VEENENDAAL (2015): Experimental illumination of natural habitat – an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 370: doi: 10.1098/rstb.2014.0129
- SPOELSTRA, K., R.H.A. VAN GRUNSVEN, J.J.C. RAMAKERS, K.B. FERGUSON, T. RAAP, M. DONNERS, E.M. VEENENDAAL & M.E. VISSER (2017): Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. Proc. R. Soc. B 284 (1855): doi: 10.1098/rspb.2017.0075.
- STANLEY, M.C., J.R. BEGGS, I.E. BASSETT, B.R. BURNS, K.N. DIRKS, D. JONES & S.A. TROWSDALE (2015): Emerging threats in urban ecosystems: A horizon scanning exercise. Frontiers in Ecology and the Environment, 13(10): 553-560.
- STONE, E.L., G. JONES & S. HARRIS (2009): Street Lighting Disturbs Commuting Bats. Current Biology 19: 1123-1127.
- STONE, E.L., G. JONES & S. HARRIS (2012): Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. Global Change Biology 18: 2458-2465.
- STONE, E.L., A. WAKEFIELD, S. HARRIS & G. JONES (2015a): The impacts of new street light technologies: experimentally testing the effects on bats of changing from low-pressure sodium to white metal halide. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 370. doi: 10.1098/rstb.2014.0127
- STONE, E.L., S. HARRIS & G. JONES (2015b): Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. Mammalian Biology 80: 213-219.
- SVENSSON, A.M. & J. RYDELL (1998): Mercury vapour lamps interfere with the bat defence of tympanate moths (*Operophtera* spp.; Geometridae). Animal Behaviour 55: 223-226.
- SVENSSON, A.M., J. EKLÖF, N. SKALS & J. RYDELL (2003): Light dependent shift in the anti-predator response of a pyralid moth. Oikos 101: 239-246.
- TSOAR, A., R. NATHAN, Y. BARTAN, A. VYSSOTSKY, G. DELL-OMO, & N. ULANOVSKY (2011): Large-scale navigational map in a mammal. Proc Natl Acad Sci USA 108: 718-724.
- VAN GEFFEN, K.G., A.T. GROOT, R.H.A. VAN GRUNSVEN, M. DONNERS, F. BERENDSE & E.M. VEENENDALL (2015a): Artificial night lighting disrupts sex pheromone in a noctuid moth. Ecological Entomology 40: 401-408.
- VAN GEFFEN, K.G., E. VAN ECK, R.A. DE BOER, R.H.A. VAN GRUNSVEN, L. SALIS, F. BERENDSE & E.M. VEENENDAAL (2015b) Artificial light at night inhibits mating in a geometrid moth. Insect conservation and diversity 8(3): 282-287.
- VAN GEFFEN, K.G., R.H.A. VAN GRUNSVEN, J. VAN RUIJVEN, F. BERENDSE & E.M. VEENENDAAL (2014): Artificial light at night causes diapause inhibition and sex-specific life history changes in a moth. Ecology and Evolution 4: 2082-2089.
- VAN GRUNSVEN, R.H.A., M. DONNERS, K. BOEKEE, I. TICHELAAR, K.G. VAN GEFFEN, D. GROENENDIJK, F. BERENDSE & E.M. VEENENDAAL (2014): Spectral composition of light sources and insect phototaxis, with an evaluation of existing spectral response models. Journal of Insect Conservation 18: 225-231.
- VAN LANGEVELDE, F., J.A. ETTEMA, M. DONNERS, M.F. WALLISDEVRIES & D. GROENENDIJK (2011): Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths. Biological Conservation 144: 2274-2281.
- VAN LANGEVELDE, F., M. BRAAMBURG ANNEGARN, M.E. HUIGENS, R. GROENDIJK, O. POITEVIN, J.R. VAN DEIJK, W.N. ELLIS, R.H.A. VAN GRUNSVEN, R. DEVOS, R.A. VOS, M. FRANZEN & M.F. WALLISDEVRIES (2018): Declines in moth populations stress the need for conserving dark nights. Global change biology, 24(3): 925-932.
- VERBOOM, B. & K. SPOELSTRA (1999): Effects of food abundance and wind on the use of tree lines by an insectivorous bat, *Pipistrellus pipistrellus*. Canadian Journal of Zoology 77: 1393-1401.
- VEROVNIK, R., Ž. FIŠER & V. ZAKŠEK (2015): How to reduce the impact of artificial lighting on moths: A case study on cultural heritage sites in Slovenia. Journal for Nature Conservation 28: 105-111.
- VINTULIS, V. & G. PETERSONS (2014): Root cellars are important winter roosts for brown long-eared bats (*Plecotus auritus*) and northern bats (*Eptesicus nilssonii*) in Latvia. Mammalia 78: 85-91.
- VOIGT, C.C. & D. LEWANZIK (2011): Trapped in the darkness of the night: thermal and energetic constraints of daylight flight in bats. Proceedings of the Royal Society of London B, 278 (1716): 2311-7
- VOIGT, C.C., M. ROELEKE, L. MARGGRAF & G. PETERSONS (2017): Migratory bats respond to artificial green light with positive phototaxis. PLoS ONE 12: e0177748.
- VOIGT, C.C., K. REHNIG, O. LINDECKE & G. PETERSONS (2018): Migratory bats are attracted by red but not by warm-white light: Implications for the protection of nocturnal migrants. Ecology and Evolution: <https://doi.org/10.1002/ece3.4400>
- WAKEFIELD, A., M. BROYLES, E.L. STONE, G. JONES & S. HARRIS (2016): Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: Do LEDs attract fewer insects than conventional light types? Ecology and Evolution 6(22): 8028-8036.



- WAKEFIELD, A., E.L. STONE, G. JONES & S. HARRIS (2015): Light-emitting diode street lights reduce last-ditch evasive manoeuvres by moths to bat echolocation calls. *Royal Society Open Science*: 150291.
- WAKEFIELD, A., M. BROYLES, E.L. STONE, S. HARRIS, G. JONES (2018): Quantifying the attractiveness of broad-spectrum street lights to aerial nocturnal insects. *J Appl Ecol*. 55: 714-722.
- WILLIAMS, C.B. (1936): The influence of moonlight on the activity of certain nocturnal insects, particularly of the family Noctuidae as indicated by a light trap. *Phil Trans R Soc B* 226: 357-389.
- WINTER, Y., J. LÓPEZ, & O. VON HELVERSEN (2003): Ultraviolet vision in a bat. *Nature* 425: 612-614.
- ZAGMAJSTER, M. & K. HERCOG (submitted): Nursery roosts selection in churches by Lesser horseshoe bats *Rhinolophus hipposideros*: from site to landscape level.
- ZAGMAJSTER, M. (2014): The influence of external lighting on bats. In: MOHAR A., M. ZAGMAJSTER, R. VEROVNIK, B. BOLTA SKABERNE (2014:) Nature-friendlier lighting of objects of cultural heritage (churches) – Recommendations. *Dark-Sky Slovenia*: 15-19.
- ZEALE, M.R.K., E. BENNITT, S. NEWSON, C. PACKMAN, W.J. BROWNE, S. HARRIS, G. JONES & E.L. STONE (2016): Mitigating the impact of bats in historic churches: the response of Natterer's bats *Myotis nattereri* to artificial roosts and deterrence. *PLoS ONE* 11: e0146782.
- ZHAO, H., S.J. ROSSITER, E.C. TEELING, C. LI, J.A. COTTON & S. ZHANG (2009): The evolution of color vision in nocturnal mammals. *PNAS*, 106: 8980-8985.
- ZISSIS, G., & BERTOLDI, P. (2014): Status report on organic light emitting diodes (OLED). *European Commission Joint Research Centre*.



8 Glossar

- Beleuchtungsstärke:** Der Gesamtlichtstrom pro Flächeneinheit; vormals Helligkeit genannt.
- Fauna-Flora-Habitatrichtlinie (FFH-Richtlinie):** Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.
- Feeding buzz (Engl.):** Stereotype Sequenzen von Echoortungsrufen, die auf eine Insektenjagd hinweisen.
- (Transfer-) Flugrouten:** Flugwege, die Fledermäuse regelmäßig benutzen, um von einem Quartier zu einem Jagdgebiet (und zurück) zu fliegen oder um zwischen Jagdgebieten oder Quartieren zu wechseln.
- Jagdgebiete:** Teillebensräume, in denen Fledermäuse auf einer begrenzten Fläche nach Insekten jagen.
- Leuchte:** Eine Beleuchtungseinheit.
- Lichtdom:** siehe Nächtliches Himmelleuchten.
- Lux:** Ein Maß für die vom Menschen wahrgenommene Beleuchtungsstärke (Lumen pro Quadratmeter), abgeleitet aus dem Internationalen Einheitensystem (SI).
- Migration:** Regelmäßige, meist saisonale Wanderung der gesamten Tierpopulation oder eines Teils derselben in ein bestimmtes Gebiet.
- Minderungsmaßnahmen:** Maßnahmen zur Minderung, Verringerung oder Minimierung negativer Umweltauswirkungen wie Lebensraumverlust, Tiersterblichkeit oder Verletzungen, wenn es nicht möglich ist, solche Auswirkungen zu vermeiden.
- Nächtliches Himmelleuchten (Engl.: „skyglow“):** Helligkeit des Himmels, die durch nächtliches Kunstlicht verursacht wird.
- Photische Synchronisation (Engl.: „photic entrainment“):** Anpassung zirkadianer Rhythmen durch Licht.
- Störende Lichtausbreitung in angrenzende Räume (Engl.: „light trespass“):** Künstliches Licht in Bereichen, in denen es nicht erwünscht oder notwendig ist.
- Strategische Umweltprüfung (SUP):** Verfahren zur Einbeziehung von Umweltbelangen in die Vorbereitung und Umsetzung von Plänen und Programmen zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung (siehe z.B. Richtlinie 2001/42/EG).
- Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP):** ein nationales Verfahren zur Bewertung der voraussichtlichen Umweltauswirkungen von öffentlichen und privaten Projekten, die erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben können (siehe z.B. Richtlinie 85/337/EWG des Rates).
- Schwärmen:** Als Schwärmen bezeichnet man das Verhalten einiger Fledermausarten der gemäßigten Breiten (insbesondere *Myotis*, *Plecotus*, *Eptesicus* spp. und *B. barbastellus*) im Spätsommer bis Herbst. Bei *Pl. auritus* kommt auch Schwärmen im Frühling vor. Fledermäuse können viele Kilometer zu unterirdischen „Schwärmquartieren“ fliegen, um mehrere Stunden nach der



Dämmerung dort anzukommen. Sie fliegen dann in diesem Gebiet herum und verlassen es vor Tagesanbruch wieder. Das Schwärmen ist ein wichtiger Bestandteil der sozialen Interaktion, einschließlich der Balz. Einige Schwärmquartiere werden später im Jahr auch als Winterquartiere genutzt.

Schwärmen (Engl.: „dawn swarming“) beschreibt auch den kreisenden Flug einiger Fledermausarten während der Morgendämmerung vor dem Eingang zu einem Quartier (insbesondere von Wochenstuben), bevor die Fledermäuse in das Quartier einfliegen.

Affiliation der Autoren

CHRISTIAN C. VOIGT: Abteilung für Evolutionsökologie, Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, Alfred-Kowalke-Str. 17, 10315 Berlin, Deutschland; Institut für Biologie, Freie Universität, Takustr. 6, 14195 Berlin, Deutschland

CLÉMENTINE AZAM: Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation, Muséum National d'Histoire Naturelle, 55 rue Buffon, 75005 Paris, Frankreich

JASJA DEKKER: Batlife Europe, 250 Kennington Ln, Kennington, London SE11 5RD, Großbritannien

Jo FERGUSON: Bat Conservation Trust, Quadrant House, 250 Kennington Lane, London, SE11 5RD, Großbritannien

MARCUS FRITZE: Abteilung für Evolutionsökologie, Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, Alfred-Kowalke-Str. 17, 10315 Berlin, Deutschland

SUREN GAZARYAN: UNEP/EUROBATS, United Nations Campus, Platz der Vereinten Nationen 1, 53113 Bonn, Deutschland

FRANZ HÖLKER: Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin, Deutschland

GARETH JONES: Universität Bristol, 24 Tyndall Avenue, Bristol BS8 1TQ, Großbritannien

NOAM LEADER: Ökologieabteilung, Wissenschaftsabteilung, Israel Nature & Parks Authority, Israel

DANIEL LEWANZIK: Forschungsgruppe Akustische und Funktionelle Ökologie, Max-Planck-Institut für Ornithologie, 82319 Seewiesen, Deutschland

HERMAN J.G.A. LIMPENS: Niederländische Säugetiergesellschaft, Thoernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen, Niederlande

FIONA MATHEWS: University of Sussex, Sussex House, Falmer, Brighton, BN1 9RH, Großbritannien

JENS RYDELL: Biologisches Institut, Universität Lund, 22362 Lund, Schweden

HENRY SCHOFIELD: The Vincent Wildlife Trust, Railsgate Barn, Kinnerton, Presteigne, OWYS LD8 2PD

KAMIEL SPOELSTRA: Niederländisches Institut für Ökologie, Postfach 50, 6700 AB Wageningen, Niederlande

MAJA ZAGMAJSTER: Biologisches Institut, Biotechnische Fakultät, Universität Ljubljana, Jamnikarjeva 101, SI1000 Ljubljana, Slowenien



Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) für die finanzielle Unterstützung (NI3-70122-5/7.5) eines Arbeitstreffens über die Auswirkungen nächtlichen Kunstlichts, das vom Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung in Berlin veranstaltet wurde. Ferner danken die Autoren Oliver Schall, Meike Matthews, Dr. Roy van Grunsven und Dr. Luisa Rodrigues für Kommentare zu früheren Versionen des Manuskripts, die Überarbeitung dieses Dokuments und hilfreiche Anmerkungen, Fabio Falchi für die Weitergabe der Lichtverschmutzung GIS-Layer, Johan Eklöf für die Bereitstellung von Abb. 2.7 und Dr. Detlev Kelm für die Übersetzung der Englischen Fassung ins Deutsche.

EUROBATS

Achtzig Prozent der Weltbevölkerung leben derzeit unter einem lichtverschmutzten Himmel, und die Milchstraße ist für mehr als ein Drittel der Menschheit nicht mehr sichtbar. Das Tempo, in dem die Lichtverschmutzung zunimmt, ist schneller als das globale Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung. Während sich die Umweltbedingungen in der Nacht dramatisch und schnell verändern, werden zirkadiane Rhythmen, Verhalten und Ökologie von Pflanzen und Tieren unmittelbar beeinflusst. Gleichzeitig sind die Auswirkungen von künstlichem Licht, verschiedenen Beleuchtungssystemen und Spektren auf die Biodiversität, einschließlich der Fledermäuse, derzeit nur unzureichend verstanden, während Entscheidungsträger und andere an Beleuchtungsprojekten beteiligte Parteien nur eine vage Vorstellung von den erforderlichen Minderungs- und Ausgleichsmaßnahmen haben. Obwohl Fledermäuse fast ausschließlich nachtaktiv sind und extrem empfindlich auf die vielfältigen Auswirkungen der Lichtverschmutzung reagieren, werden diese negativen Effekte auf Fledermäuse sowie die notwendigen Maßnahmen zur Erhaltung zusammenhängender Nachtlandschaften für diese Tiere bei der Folgeabschätzung, Planung und Umsetzung oft außer Acht gelassen.

In diesem Band werden die zur Verfügung stehenden Erkenntnisse über die Auswirkungen von nächtlichem Kunstlicht auf europäische Fledermäuse zusammengefasst. Aufbauend auf dem derzeitigen Wissensstand werden Lösungsvorschläge zur Vermeidung, Minderung und dem Ausgleich der schädlichen Auswirkungen von Beleuchtungsprojekten auf Fledermäuse und ihre funktionalen Lebensräume vorgestellt. Außerdem werden zukünftige Forschungsschwerpunkte formuliert, die für ein besseres Verständnis des Problems und die Bewertung der Effizienz der vorgeschlagenen Minderungsmaßnahmen notwendig sind.

Diese Leitlinien wurden vom Beratenden Ausschuss des EUROBATS Abkommens in Zusammenarbeit mit externen Experten gemäß der Resolution 7.13 zur Umsetzung des Schutz- und Managementplanes entwickelt.

ISBN 978-92-95058-43-9
(gedruckte Version)

ISBN 978-92-95058-44-6
(elektronische Version)