

## **Schriftlicher Bericht**

für die 66. Amtschefkonferenz und die 95. Umweltministerkonferenz

## **Beschluss zu TOP 46 der 92. UMK**

### **Bericht des Bundes zu Lichtverschmutzungen**

#### **I. Einleitung**

Die 92. UMK hat den Bund unter TOP 46 gebeten, einen Bericht zu den laufenden Untersuchungen und zum aktuellen Kenntnisstand über die Auswirkungen künstlichen Lichts auf die menschliche Gesundheit sowie über die Beeinflussung des Verhaltens von Pflanzen und Tiere zu erstellen, der auch den Forschungsbedarf aufzeigt.

Der Berichtsbitte wird im Folgenden nachgekommen.

Im Rahmen des vorliegenden Berichtes ist der inzwischen veröffentlichte Bericht des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) "Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sowie Handlungsansätze" (Juni 2020), TAB-Bericht Nr. 186 berücksichtigt. Im TAB-Bericht werden der wissenschaftliche Erkenntnisstand im Hinblick auf Umfang und Trends der Lichtverschmutzung sowie ihre wirtschaftlichen und soziokulturellen, humanmedizinischen und ökologischen Wirkungen eingehend und umfänglich betrachtet und zusammengefasst.

#### **II. Auswirkungen künstlichen Lichts auf die menschliche Gesundheit**

Menschen werden künstlichem Licht durch Beleuchtung mit Lampen und Lampensystemen ausgesetzt. Bei der Betrachtung möglicher Risiken stehen die Augen im Vordergrund, vor allem photochemische Wirkungen auf die Netzhaut.

Bei Lampen und Lampensystemen hat der Hersteller zu gewährleisten, dass das Produkt bei bestimmungsgemäßem Gebrauch für die Nutzerinnen und Nutzer ungefährlich ist. Bei der Beurteilung der Sicherheit stützt er sich auf Gesetze wie das Produktsicherheitsgesetz und in der Regel – je nach Art des Produktes - auf einschlägige, möglichst spezifische Normen. So gilt für die photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen die Norm DIN EN 62471, die Lampen und Lampensysteme vier Risikogruppen zuordnet.

Bei Risikogruppe 0 (freie Gruppe) besteht kein Risiko, d.h. es geht keine photobiologische Gefahr von der Lampe aus. Die Risikogruppen 1, 2 und 3 stehen für steigendes Gefährdungspotenzial (geringes, mittleres, hohes Risiko). Die genauen Voraussetzungen für die jeweiligen Gruppenzuordnungen sind in der Norm beschrieben. Beurteilt werden Risiken

aufgrund von UV-Strahlung, Risiken für die photochemische und thermische Netzhautgefährdung sowie für die Gefahr aufgrund von Infrarotstrahlung.

Die meisten für die Allgemeinbeleuchtung eingesetzten Lichtquellen fallen in die freie Gruppe oder in die Risikogruppe 1. Manche lichtemittierenden Dioden (LED) können auch in die Risikogruppe 2 fallen. Längere Blicke aus kurzer Distanz in eine solche Strahlungsquelle sollten vermieden werden. Lampen der Risikogruppe 3 stellen sogar für flüchtige oder kurzzeitige Bestrahlung eine Gefahr dar. Die Risikogruppe 3 ist daher für die Allgemeinbeleuchtung nicht vorgesehen.

## **1. Aktueller Kenntnisstand**

### **1.1. Blaulichtgefährdung**

Bei der Beurteilung der photobiologischen Sicherheit von Lampen und Lampensystemen steht meist die sogenannte Blaulichtgefährdung im Vordergrund. Unter Blaulichtgefährdung versteht man das Risiko einer photochemischen Schädigung der Netzhaut oder des retinalen Pigmentepithels (RPE) durch energiereiches Licht (violette und blaue Wellenlängen). Die Intensitäten herkömmlicher Beleuchtung im Innen- und Außenraum, bestimmungsgemäßer Gebrauch und übliches Verhalten vorausgesetzt, sind hierfür in der Regel nicht ausreichend. Es sind jedoch auf dem Markt Lampen verfügbar, bei denen direkte Gefährdungen für die Augen möglich sind. So wurden beispielsweise im Rahmen des Umweltforschungsplanvorhabens „Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen - Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung“ (Forschungskennzeichen 3617S82441) bei der Untersuchung von LED-Fahrradlampen und LED-Taschenlampen elf von zwölf Produkte der Risikogruppe 2 (mittleres Risiko) zugeordnet. Bei diesen Produkten wurden die Werte der Risikogruppe 1 (geringes Risiko) für Blaulicht sowie für die thermische Netzhautgefährdung überschritten.

### **1.2. Langzeitwirkungen**

Es ist derzeit unklar, ob und wenn ja, inwieweit Licht aus künstlichen Quellen unterhalb der Wirkungsschwellen für akute Effekte langfristig neben der natürlichen Strahlungsquelle Sonne bei der Entstehung von Augenerkrankungen wie der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) eine Rolle spielt. Studien zu diesem Thema betrachten vor allem die lebenslange Sonnenexposition. Während einige große epidemiologische Studien einen Zusammenhang sehen, konnte eine aktuelle Meta-Studie, die die Ergebnisse von 14 Studien zusammenführt, eine Assoziation zwischen Sonnenexposition und AMD-Risiko nicht zeigen (Zhou et al. 2018). Zu diesem Thema besteht weiterer Forschungsbedarf.

### **1.3. Blendwirkungen und Lichtflimmern**

Blendung ist keine Schädigung der Augen, kann jedoch das Risiko für Unfälle erhöhen. Blendwirkungen hängen nicht allein von der Strahlungsquelle, sondern in erheblichem Umfang von Bedingungen wie der Umgebungshelligkeit und individuellen Gegebenheiten wie dem Alter der betroffenen Person ab. Im nächtlichen Außenraum können starke Autoscheinwerfer eine wichtige Blendungsquelle sein. Starke Fahrradlampen sowie starke Taschenlampen, wie sie beispielsweise für den Jagdbedarf angeboten werden, kommen ebenfalls in Betracht. Sowohl bei der Auswahl einer Strahlungsquelle als auch bei deren Anbringung und Handhabung sollten Blendwirkungen vermieden werden.

„Lichtflimmern“ kann beschrieben werden als „Eindruck der Unstetigkeit visueller Empfindungen, hervorgerufen durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichten oder der spektralen Verteilung“ (ZVEI, 2017). Visuell wahrnehmbar ist das Flimmern von Lichtquellen bis höchstens 90-95 Hz. Oberhalb der sogenannten Flimmerverschmelzungsfrequenz wird das Licht als konstant wahrgenommen. Das Risiko für das Auslösen von Anfällen bei Menschen mit photosensitiver Epilepsie scheint bei Frequenzen um 15-25 Hz am höchsten zu sein. Auch oberhalb der Flimmerverschmelzungsfrequenz liegen Berichte über Kopf- und Augenschmerzen oder verminderte visuelle Leistungsfähigkeit vor. Nicht nur bei Innenraumbeleuchtung sondern auch bei Beleuchtung im Außenraum sollte auf Flimmerfreiheit geachtet werden. Bei LED-Leuchtmitteln hängt es insbesondere von der Qualität des Vorschaltgerätes und der Güte der Ansteuerung der Lichtquelle ab, ob Flimmern auftritt. Die Verordnung (EU) 2019/2020 der Kommission vom 1. Oktober 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Lichtquellen und separate Betriebsgeräte enthält Funktionsanforderungen zu Lichtflimmern und Stroboskopeffekten.

#### **1.4. Nicht-visuelle (melanopische) Wirkungen**

Bei den nicht-visuellen (melanopischen) Wirkungen von Licht handelt es sich um eine natürliche „Zeitgeber“-Funktion. Besonders wirksam sind Wellenlängen von ca. 460 nm – 480 nm im blauen Bereich des sichtbaren Spektrums. Über spezielle Rezeptoren in der Netzhaut wird durch Licht unter anderem die Ausschüttung des „Schlafhormons“ Melatonin unterdrückt. Tagsüber sind diese Wirkungen positiv und tragen zu Wachheit und Wohlbefinden bei. Blaues Licht zur Unzeit, d.h. abends und nachts, kann sich jedoch negativ auf zirkadiane Rhythmen wie den Schlaf-Wach-Rhythmus auswirken. Nächtliches Licht wird zudem im Zusammenhang mit erhöhtem Krebsrisiko, beispielsweise erhöhtem Brustkrebsrisiko bei Schichtarbeiterinnen diskutiert. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stuft jedoch bewusst „night shift work“ (und nicht „light at night“) als wahrscheinlich krebserregend ein, weil der Faktor „nächtliches Licht“ von anderen mit der Schichtarbeit einhergehenden gesundheitsrelevanten Faktoren nicht zu trennen ist. Grundsätzlich sind, wenn möglich, Lampen und Lampensysteme mit geringerem Blaulichtanteil für die nächtliche Beleuchtung vorzuziehen. Zur Orientierung über den Blaulichtanteil kann die Farbtemperatur in Kelvin herangezogen werden, denn je geringer die Farbtemperatur ist, also je wärmer das Licht, desto niedriger ist der Blaulichtanteil.

## **2. Forschungsbedarf**

Weiterer Forschungsbedarf wird vor allem im Hinblick auf Langzeitwirkungen von Licht, wiederholte Expositionen unterhalb der Wirkungsschwellen für akute Effekte und die Wirkung auf vulnerable Gruppen wie Kinder gesehen. Im Fokus steht insbesondere der energiereiche blaue Anteil des sichtbaren Spektrums.

Im Hinblick auf die Beeinflussung von zirkadianen Rhythmen durch Licht ist unklar, ab welchem Ausmaß eine Beeinflussung gesundheitlich relevant wird.

Die Ermittlung von Schwellen- oder Referenzwerten für Lichtintensitäten oder für zeitliche Verschiebungsgrade zirkadianer Rhythmen ist erstrebenswert, was sich jedoch angesichts individueller Unterschiede und versuchstechnischen Einschränkungen nur schwer erreichen lassen wird. Eine bessere Datenlage zu diesem Punkt ist zur Beurteilung der Auswirkungen unterschiedlicher Expositionsszenarien dennoch wichtig.

Im Ressortforschungsplan des BfS für 2021 werden die Auswirkungen langfristiger Exposition mit Licht aus künstlichen Strahlungsquellen auf die Retina und das retinale Pigmentepithel im Rahmen einer Literatur- und Machbarkeitsstudie untersucht. Abhängig von deren Ergebnissen wird das Thema im Rahmen des Ressortforschungsplans weiterverfolgt.

### **III. Beeinflussung des Verhaltens von Pflanzen und Tiere durch künstliches Licht**

#### **1. Aktueller Kenntnisstand**

##### *Wirkungen auf Pflanzen und Tiere*

Beeinträchtigungen durch künstliche nächtliche Beleuchtung sind für viele unterschiedliche Lebewesen nachweisbar. Die untersuchten Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf Pflanzen und Tierarten sind komplex und vielfältig. Viele Untersuchungen wurden in Laboren durchgeführt und sind daher nicht direkt auf das Freiland übertragbar, zeigen aber, dass wichtige Funktionen durch künstliche nächtliche Beleuchtung beeinträchtigt werden können.

Bei den bislang untersuchten Tiergruppen Insekten, Amphibien und Säugetiere (hier insbesondere Fledermäuse) sind vor allem nacht- und dämmerungsaktive Arten durch künstliche Beleuchtungen direkt betroffen. Unterschieden werden müssen dabei drei Arten von Auswirkungen.

- (1) Zum einen führt nächtliche Beleuchtung zu Beeinträchtigungen wie z. B. zu Barrierewirkungen, die direkt von den untersuchten Arten(-gruppen), wie Insekten oder Fische mit Verhaltensänderungen beantwortet werden und die sich möglicherweise auf Populationsebene auswirken können.
- (2) Des Weiteren kommt es zu Veränderungen von Funktionen im Organismus selbst. Dauerbeleuchtung bei Nacht führt zu einer Abnahme des zirkadianen Zeitgebers und saisonaler Signale sowie hormoneller Veränderungen und Schwächung der Immunabwehr. Z. B. können Zeitpunkte von Paarung und Reproduktion oder Blühzeitpunkte verändert werden. Dies kann wiederum saisonal abgestimmte Zyklen von Nahrungsangebot und -nachfrage beeinträchtigen und sich damit unmittelbar z. B. auf reproduzierende Populationen auswirken. Bei Pflanzen kann es durch nächtliche Beleuchtung zu einem verspäteten Laubabwurf kommen. Dies birgt die Gefahr, dass es bei Frost infolge des verspäteten Laubabwurfs zu Schäden im Pflanzengewebe kommt.
- (3) Durch die Verminderung oder das Fehlen von Artengruppen, die wichtige Funktionen im Ökosystem haben (z. B. fehlende nächtliche Bestäuber), können sich weitere indirekte, nicht unmittelbar ersichtliche Wirkungen ergeben.

Zudem reagieren nicht alle Arten einer Gruppe gleich auf identische Lichtmissionen. Die Abschätzung der Auswirkungen kann nicht pauschal für bestimmte Artengruppen angenommen werden, da es große Unterschiede bei der Reaktion einzelner Arten der gleichen Gruppe geben kann. Ein relativ gut untersuchtes Beispiel hierfür sind Fledermäuse.

##### *Wirkung im ökosystemaren Zusammenhang*

Die Veränderungen, die sich durch Verhaltensänderungen (z. B. Räuber-Beute Beziehungen), durch Wirkungen im Organismus (z. B. Schwächung der Immunabwehr) oder durch die Verminderung oder das Fehlen von Arten ergeben (fehlende nächtliche Bestäubung), können u.U. kaskadenartig Veränderungen in Ökosystemen bewirken, die wiederum die Biodiversität insgesamt beeinträchtigen. Dies kann zu bislang nicht abschätzbaren Wirkungen auf lebenswichtige Ökosystemfunktionen führen und damit letztlich zu einem weiteren Verlust an Arten.

#### *Wirksamkeit von Lichtverschmutzung als Ursache für den Artenrückgang*

Quantitative Schätzungen, welche einzelne Quelle der Lichtverschmutzung wie bedeutsam ist und wie viele Arten alleine durch die Auswirkungen künstlichen Lichts verschwunden sind, liegen noch nicht in hinreichendem Umfang vor. Modellrechnungen an Fledermäusen zeigen, dass die Auswirkungen auf die Artenvielfalt, diejenigen, die durch Flächenversiegelung entstehen, überlagern und auf der betroffenen Fläche denen mit intensiver Landwirtschaft vergleichbar sind.

#### *Schwellenwerte, ab denen verändertes Verhalten und Funktionsänderungen im Einzelorganismus ausgelöst werden*

Der Überblick der in der Studie aufgelisteten wirksamen Schwellenwerte lässt vermuten, dass für viele Organismen die Intensität einer Vollmondnacht von 0,3 lx einen Schwellenwert für verändertes Verhalten und Hormonausschüttung darstellen könnte. Es konnten sogar bei noch geringeren Beleuchtungsstärken Reaktionen der Organismen nachgewiesen werden. Allerdings liegen noch keine uns bekannten Studien zur Bedeutung des natürlichen Mondlichts für Organismen vor.

#### *Auswirkungen durch spektrale Veränderungen des Lichts*

Die Beleuchtungsstärke kann nicht losgelöst von der spektralen Empfindlichkeit betrachtet werden, wobei sich die spektralen Empfindlichkeiten zwischen den Arten stark unterscheiden. Z. B. kann ein spektraler Bereich, auf den ein Organismus nur schwach reagiert, bei hoher Intensität beeinträchtigend wirken. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich ein breites Lichtspektrum mit höherer Wahrscheinlichkeit auf die Verhaltens- und Stoffwechselaktivitäten von Organismen und auf ein breiteres Spektrum von Arten auswirkt. Nach heutigen Erkenntnissen zeigen kaltweiße Leuchtmittel mehr Beeinträchtigungen auf Organismen als wärmere Leuchtmittel und Natriumdampf-Niederdruckleuchten mit ihren monochromatischen, rötlichen Spektren die geringsten Auswirkungen auf Organismen, gefolgt von schmalbandigen und phosphor-konvertierten bernsteinfarbenen (pc amber) LED.

## **2. Zusammenfassung**

Der TAB-Bericht des Bundes gibt im Wesentlichen zu dem Themenfeld Beeinflussung des Verhaltens von Pflanzen und Tieren die Ergebnisse der Untersuchungen und der Literaturstudie wieder, die bereits in dem vom BfN veröffentlichten Forschungsvorhaben zu den Auswirkungen von künstlichem Licht auf die biologische Vielfalt (s. Schroer, S. et al. (2019), Analyse

der Auswirkungen künstlichen Lichts auf die Biodiversität, Naturschutz und Biologische Vielfalt 168) erarbeitet wurden

Die Beeinträchtigungen durch künstliche nächtliche Beleuchtung sind für viele unterschiedliche Taxa und Arten nachweisbar. Die Wirkungen betreffen sowohl Verhaltensänderungen von Arten, ihre physiologische Anpassung an die sie umgebende Lebensumwelt (Veränderungen im Stoffwechsel des einzelnen Organismus) als auch ökosystemare Prozesse. Z. B. kann sich fehlende nächtliche Bestäubung auch auf tagaktive Arten auswirken, indem bestimmte Nahrungsgrundlagen nicht mehr oder nicht ausreichend zur Verfügung stehen.

Allerdings sind wegen fehlender Untersuchungen derzeit keine wissenschaftlich gesicherten Aussagen zu Auswirkungen auf Populationsebene, für Lebensgemeinschaften oder Ökosysteme möglich. Auch eine Ableitung von konkreten Dosis-Wirkungsbeziehungen ist derzeit insbesondere aufgrund der Bandbreite der möglichen Reaktionsmuster der Arten nur eingeschränkt möglich, können aber mit zunehmender Forschung weiter ausdifferenziert werden.

Dennoch besteht wegen der umfassenden Auswirkungen Handlungsbedarf.

Mit den bereits vorliegenden Erkenntnissen ist es bereits möglich, eine weitergehende Beeinträchtigung der biologischen Vielfalt mit Maßnahmen wie sie z. B. in dem Leitfaden des BfN (Schroer et al. (2019), Leitfaden zur Neubeleuchtung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen – Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung, BfN-Skripten 543) dargelegt sind, zu vermeiden.

### **3. Forschungsbedarf**

Aus der Zusammenschau der Ergebnisse des TAB-Berichtes, des BfN-Leitfadens und des dem Leitfaden zugrundeliegenden Forschungsberichtes ergibt sich ein Forschungsbedarf, der sowohl die Grundlagenforschung auf organismischer Ebene, die ökologische Grundlagenforschung (insbesondere erforderliche Langzeitstudien), die angewandte Forschung (als Voraussetzung und zur Entwicklung von Maßnahmen) als auch die technische Forschung (u. a. zur Weiterentwicklung von Beleuchtungsanlagen) umfasst. Folgende Themenfelder kommen prinzipiell in Frage, bedürfen aber noch einer genaueren fachlichen Abstimmung:

#### *Grundlagenforschung zur Veränderung von Stoffwechselaktivitäten:*

- Auswirkungen auf zirkadiane Rhythmen (Pflanzen, Tiere), z. B. auf die saisonale Taktung bei Pflanzen oder den Eintritt der Diapause von Insektenarten.
- Auswirkungen auf die Reproduktion empfindlicher Arten, z. B. hormonelle Veränderungen und deren Auslöser sowie darauf aufbauende Veränderungen im saisonalen Verhalten.
- Auswirkungen, die unter Freilandbedingungen bei der Immunabwehr besonders empfindlicher Arten im Vergleich zu den bislang unter Laborbedingungen erzielten Ergebnissen auftreten und deren Bewertung im Hinblick auf die Überlebenswahrscheinlichkeit der betroffenen Arten.
- Auswirkungen nächtlicher Beleuchtung auf die Fitness von häufigen und empfindlichen Arten.

### *Ökologische Grundlagenforschung:*

- Wirkungen von künstlicher Beleuchtung auf wildlebende Pflanzen(-arten) und deren Bedeutung für die Organismengemeinschaften an ausgewählten Standorten.
- Wirkungen von Lichtimmissionen auf ausgewählte Räuber-Beute-Verhältnisse verschiedener Taxa (z. B. Säugetiere (Fledermäuse) und Insekten, Vögel (z. B. Ziegenmelker) und Insekten (Gruppe der Nachtfalter)).
- Räuber-Beute-Interaktionen in und an Gewässern und deren Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung.
- Auswirkungen zu veränderten Raumnutzungen durch Säuger und deren Folgewirkungen auf die Artengemeinschaften und den Lebensraum.
- Bedeutung des natürlichen Mondlichts für mondlichtsensitive Arten.
- Besiedlung von nicht genutzten beleuchteten Lebensräumen durch invasive Arten.

### *Angewandte Forschung auf Basis bereits vorliegender Ergebnisse:*

- Vermeidung der Barrierewirkung durch Lichtimmissionen durch die Straßenbeleuchtung.
- Vermeidung der Barrierewirkung durch Lichtimmissionen durch Brückenbeleuchtung.
- Auswirkungen von Scheinwerferlicht auf nachtaktive Insekten.
- Zusammenwirken und Gewichtung der Beeinträchtigungsschwere nächtlicher Beleuchtung, Versiegelung, Habitatzerschneidung und intensiver Landnutzung und Ableitung der unter den jeweiligen Standortbedingungen zu planenden und zu gestaltenden Verminderungs- und Vermeidungsmaßnahmen.

### *Technische Forschung/Weiterentwicklung:*

- Entwicklung eines kostengünstigen und einheitlichen Messsystems zur Bestimmung von Skyglow für die Kommune für die Lichtplanung.
- Entwicklung eines Leitfadens zur Eignung des jeweils günstigsten Beleuchtungstyps für unterschiedliche Anwendungen.
- Weiterentwicklung von technischen, konstruktiven und planungsmethodischen Maßnahmen zur Verminderung und Vermeidung von Lichtimmissionen und Lichtemissionen.

## **IV. Literatur**

Pepler, W. et al. (2019), Ressortforschungsbericht zum Strahlenschutz „Messung und Bewertung für die Allgemeinbevölkerung relevanter optischer Strahlenquellen - Abschätzung von Risiken für das Auge, insbesondere Blaulichtgefahr und Blendung - Vorhaben 3617S82441“

Schroer, S. et al. (2019), Leitfaden zur Neubeleuchtung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen – Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung, BfN-Skripten 543

Schroer, S. et al. (2019), Analyse der Auswirkungen künstlichen Lichts auf die Biodiversität, Naturschutz und Biologische Vielfalt 168, Landwirtschaftsverlag, 199 S.

Schröter-Schlaak, C. et al. (2020), Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen und Handlungsansätze, Endbericht zum TA-Projekt und Zusammenfassung, Arbeitsbericht Nr. 186

TAB-Fokus Nr. 25 zum Arbeitsbericht Nr. 186, Juni 2020

Zhou, H. et al. (2018), Association between sunlight exposure and risk of age-related macular degeneration: a meta-analysis, BMC Ophthalmol. 2018; 18: 331

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (2017), Temporal Light Artefacts – TLA, Herausgeber: Fachverband Licht