



BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Christoph Schröter-Schlaack

unter Mitarbeit von
Nona Schulte-Römer
Christoph Revermann

Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sowie Handlungsansätze

Zusammenfassung

Juni 2020
Arbeitsbericht Nr. 186





Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag
Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0
E-Mail: buero@tab-beim-bundestag.de
Web: www.tab-beim-bundestag.de
Twitter: @TABundestag

2020

Umschlagbild: Craig Mayhew/Robert Simmon, NASA GSFC

Papier: *Circleoffset* Premium White
Druck: Wienands Print + Medien GmbH, Bad Honnef

ISSN-Print: 2364-2599
ISSN-Internet: 2364-2602



Zusammenfassung

Künstliches Licht kann als eine der größten technischen Errungenschaften der Menschheit angesehen werden, die erhebliche Veränderungen bzw. Fortschritte der Arbeits- und Lebensweisen ermöglichen. Mit künstlicher Beleuchtung wird aber auch der natürliche Rhythmus von Tag und Nacht verändert und damit das Gesamtgefüge des Naturhaushaltes und der Nachtlandschaft transformiert. Ein natürlich dunkler Nachthimmel ist in Deutschland selten geworden. Lichtglocken über urbanen Gebieten sind weit weg von ihrem Entstehungsort in unbeleuchteten Gebieten noch sichtbar und lassen Sterne und die Milchstraße unkenntlich werden. Nicht nur das direkte elektrische Licht erleuchtet unsere Umwelt, sondern auch der nach oben abgestrahlte und reflektierte Teil des Lichts. Schichten der Atmosphäre, Staub oder Wassertropfen reflektieren und streuen das Licht. Dieser auch als Skyglow bezeichnete Effekt bewirkt eine zusätzliche Erhellung. Neben dieser künstlich erhöhten Himmelselligkeit kann Licht auch die direkte Umgebung ungewollt aufhellen oder durch Blendung das Sehen einschränken. Licht ist ein wichtiger externer Zeitgeber für die innere Uhr der Lebewesen, an dessen natürlichen Rhythmus sich Menschen, Tiere und Pflanzen über Jahrhunderte angepasst haben. So wird vermutet, dass die permanent und periodisch veränderten Lichtverhältnisse durch zunehmende künstliche Beleuchtung negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben und ebenso zu ökologischen Beeinträchtigungen führen.

All diese nichtintendierten Wirkungen der künstlichen Beleuchtung werden unter dem Sammelbegriff Lichtverschmutzung verstanden. Lichtverschmutzung ist hier definiert als unerwünschte Wirkung künstlicher Beleuchtung im Außenbereich, also das Licht, das räumlich (Richtung und Fläche), zeitlich (Tages- und Jahreszeit, Dauer, Periodizität) oder in der Intensität oder spektralen Zusammensetzung (z. B. Ultraviolett- oder Blauanteil) über den reinen Beleuchtungszweck hinaus nicht beabsichtigte Auswirkungen hat (Kuechly et al. 2018).

Mit dem vorliegenden Bericht werden der wissenschaftliche Erkenntnisstand im Hinblick auf Umfang und Trends der Lichtverschmutzung sowie ihre wirtschaftlichen und soziokulturellen, humanmedizinischen und ökologischen Wirkungen zusammengefasst. Auf Basis dieser Erkenntnisse und aktueller beleuchtungstechnologischer und lichtplanerischer Möglichkeiten werden Handlungsoptionen abgeleitet, die eine Verringerung der Lichtverschmutzung bei gleichzeitiger Berücksichtigung der nutzbringenden Ziele der Beleuchtung unterstützen können.

Methoden zur Erfassung der Lichtverschmutzung

Die verschiedenen Ausprägungen der Lichtverschmutzung können mit unterschiedlichen Methoden gemessen werden, wobei die Auswahl der Methode davon abhängt, was genau beobachtet werden soll und warum.

Direkte Lichtemissionen lassen sich am besten durch die Eigenschaften der Lichtquellen an sich bestimmen. Mit sogenannten Leuchtenkatastern kann die Gesamtbeleuchtung eines Standortes analysiert und modelliert werden. Leider fehlen häufig die notwendigen Informationen oder diese sind nur für die öffentliche (Straßen-)Beleuchtung bekannt. Vertikale Fotografien erlauben die Erfassung einer seitlichen Perspektive der Beleuchtungssituation. Sie sind besonders für die Untersuchung der zeitlichen Variabilität der Lichtemissionen geeignet und lassen bei kalibrierter Kameraeinstellung auch den Vergleich von verschiedenen Untersuchungsstandorten zu.

Die nach oben abgestrahlten Lichtemissionen können mit horizontalen Luft- und Satellitenbildaufnahmen bestimmt werden, wobei die Aussagekraft von der Qualität der räumlichen, zeitlichen und radiometrischen Auflösung der Daten abhängt. Solche Fernerkundungsdaten werden von klimatischen und saisonalen Umweltfaktoren, wie z. B. Belaubung, Wolkenbedeckung und Bodenfeuchte beeinflusst. Luftbilder von Drohnen und Flugzeugen haben die höchste räumliche Auflösung, sind aber sehr kosten- und zeitintensiv und generell nur für kleinere Untersuchungsräume geeignet. Fotografien aus dem All (z. B. von der ISS) liefern multispektrale Informationen bei mittlerer Auflösung zu unterschiedlichen Nachtzeiten, sind aber von sehr stark variierender Qualität und nicht flächendeckend für Deutschland verfügbar. Satellitendaten werden global aufgenommen, haben jedoch nur eine geringe räumliche Auflösung.

Die Himmelselligkeit lässt sich indirekt mithilfe der Erfassung der schwächsten, gerade noch sichtbaren Sterne bestimmen. Darüber hinaus sind auch direkte Messungen mit Messgeräten und Digitalkameras möglich. Für eine automatische Auswertung fehlt jedoch noch eine benutzerfreundliche Software. Schließlich lässt sich Himmelselligkeit unter Rückgriff auf Daten aus Beleuchtungskatastern und der Fernerkundung auch modellieren.

Ausmaß sowie räumliche und zeitliche Variabilität der Lichtemissionen

Im Vergleich zu europäischen Nachbarländern sind in Deutschland das Niveau der Beleuchtung bei Nacht und das insgesamt in den Himmel emittierte Licht geringer. Als Hauptursache wird die gegenüber anderen Staaten eher konservative Beleuchtungskultur in Deutschland vermutet. Für Städte lässt sich knapp die Hälfte der Variabilität der Lichtemissionen – neben regionsspezifischen Besonderheiten – mit dem Bruttoinlandsprodukt, der Stadtfläche, der Straßendichte, der geografischen Breite, der Vegetation und der Schneebedeckung erklären.



Auch die Himmelshelligkeit ist räumlich stark unterschiedlich. So gibt es – insbesondere durch die hohe Siedlungsdichte – kein Gebiet in Deutschland, das unbeeinflusst von künstlicher Beleuchtung und dadurch erhöhter Nachthimmelshelligkeit ist. International existieren hingegen noch größere, oft unbewohnte Regionen mit natürlicher Nachthimmelshelligkeit. Da deutsche Städte jedoch insgesamt weniger stark beleuchtet sind als z.B. US-amerikanische Städte, sind die Auswirkungen dieser künstlich erhöhten Himmelshelligkeit, z.B. auf die Sichtbarkeit von Sternen oder die Nachtanpassung der Augen, in Deutschland zum Teil geringer als anderswo.

Die Erhöhung der Himmelshelligkeit durch künstliche Beleuchtung variiert außerdem in Abhängigkeit von zwei Faktoren: der Entfernung zur Lichtquelle und der Bewölkung. Während für klare Nächte gute Erkenntnisse über die räumlichen Muster der Himmelshelligkeit vorhanden sind, fehlen diese für bewölkte Nächte fast vollständig sowohl theoretisch als auch experimentell. Diese Kenntnislücke erschwert die Abschätzung der Auswirkungen erhöhter Himmelshelligkeit z. B. auf Wildtiere und Pflanzen.

Die Vielzahl der Nutzungsformen künstlicher Beleuchtung spiegelt sich auch in ihrem zeitlichen Auftreten wider. Einige Lichtquellen sind temporär (z. B. Lichtfestivals) oder saisonal (z. B. Beleuchtung touristischer Ziele). Einige Lichtquellen sind die ganze Nacht eingeschaltet, während andere gedimmt oder zu bestimmter Zeit an- und abgeschaltet werden. So wird die öffentliche Beleuchtung in Deutschland häufig bedarfsorientiert betrieben und zu bestimmten Zeiten – beispielsweise zwischen 23:00 und 04:00 Uhr – abgeschaltet oder reduziert. Während für Beleuchtungsquellen der öffentlichen Hand Informationen zu Einsatzzeiten oft verfügbar sind, ist die Situation bei privat betriebenen Lichtquellen unübersichtlich. Gerade diese können aber in Städten einen erheblichen Anteil der künstlichen Beleuchtung ausmachen.

Trends der künstlichen Beleuchtung bei Nacht

In den letzten Jahren ist weltweit genauso wie in Deutschland eine Zunahme der insgesamt beleuchteten Fläche und der Beleuchtungsintensität festzustellen. In vielen sich schnell entwickelnden Ländern Afrikas, Südamerikas und Asiens war die Veränderungsrate an beleuchteter Fläche erheblich größer als im globalen Durchschnitt. Im Gegensatz dazu waren die Veränderungsraten in bereits hell erleuchteten Ländern, wie Deutschland, oft nur moderat oder in einigen Fällen sogar leicht negativ.

Innerhalb Deutschlands weisen die meisten Bundesländer steigende Werte sowohl für die beleuchtete Fläche als auch für die Strahldichte aus. Am stärksten machte sich diese Steigerung in Bayern bemerkbar, wo die beleuchtete Fläche von 2012 bis 2016 um 45 % zunahm, gefolgt von Schleswig-Holstein mit 40 %. Bei der Veränderung der Intensität beleuchteter Flächen zeigte Schleswig-Hol-



stein die größte Zunahme mit 41 %, gefolgt von Bayern mit 35 %. Die Ausnahme unter den Bundesländern ist Thüringen mit einer Abnahme von 18 % an beleuchteter Fläche und einem Rückgang der Intensität der beleuchteten Flächen von 17 %.

Eine wissenschaftlich fundierte Analyse von Ursachen und Wirkungsbeziehungen hinter diesen Beobachtungsdaten liegt noch nicht vor. Es wird jedoch vermutet, dass die allgemeine Zunahme der Lichtemissionen durch Siedlungswachstum und Flächeninanspruchnahme sowie eine zunehmende Verwendung von Außenbeleuchtung im Privatbereich verursacht wird, während die Zunahme der Beleuchtungsintensität in der schrittweisen Umrüstung von Beleuchtungsanlagen auf LED-Technologie begründet liegt.

Technologische Veränderungen und Trends der Nutzung von Licht

Aktuell bewirken die Massenverfügbarkeit lichtemittierender Dioden (LED) und die damit einhergehende Kostendegression eine tiefgehende Änderung in der zur Anwendung kommenden Beleuchtungstechnologie, aber auch veränderte Nutzungsformen künstlicher Beleuchtung. Dabei haben LED mit Blick auf die Vermeidung von Lichtverschmutzung Vor- und Nachteile.

Aufgrund der Fokussierbarkeit und digitalen Steuerbarkeit bietet LED-Beleuchtung einerseits das Potenzial, Licht effektiver einzusetzen und ungewollte Lichtemissionen einzudämmen. Durch die Verschiebung der spektralen Zusammensetzung des erzeugten Lichts hin zu typischerweise höheren Blauanteilen wirkt die LED-Beleuchtung für das menschliche Auge zudem heller als eine Beleuchtung mit weniger Blauanteilen, sodass mit LED eine gewünschte Helligkeit einfacher erreicht werden könnte.

Andererseits stehen besonders die kurzwelligen blauen Lichtbereiche der LED im Verdacht, humanmedizinisch und ökologisch nachteilige Wirkungen zu erzeugen und an der zunehmenden künstlichen Aufhellung des Nachthimmels beteiligt zu sein. Zudem führt die kostengünstige Verfügbarkeit der energieverbrauchsarmen LED zur immer weitergehenden Nutzung von Licht sowohl bei öffentlicher Beleuchtung als auch im dekorativen und privaten Bereich. Und schließlich werden oft nur die Leuchtmittel getauscht und keine Anpassung des gesamten Beleuchtungssystems vorgenommen. Die Möglichkeit einer gezielten Steuerung und Begrenzung der Beleuchtungsintensität und der Beleuchtungszeit sowie die Verwendung optimierter Lampen und Mastabstände bleiben dabei ungenutzt. Im schlimmsten Fall führen neue LED in alten Fassungen zu einer Verschlechterung der Beleuchtungssituation, etwa weil sie Blendung erzeugen. So zeigt sich bislang in der Praxis, dass die theoretischen Potenziale einer Umrüstung auf LED-Beleuchtung für die Reduzierung des Energieverbrauchs und einer Begrenzung der Lichtverschmutzung bei Weitem nicht realisiert werden.

Wirtschaftliche und soziokulturelle Wirkungen von Lichtverschmutzung

Die zentralen Funktionen von künstlicher Außenbeleuchtung (Verkehrs- und Arbeitssicherheit, die Kontrolle nächtlicher Aktivitäten in öffentlichen Räumen, festliche Anlässe und Inszenierungen) haben sich trotz technologischer Innovationen und gesellschaftlicher Umbrüche kaum verändert.

Unbestritten ist, dass die Etablierung elektrischer Lichtquellen zu erheblichen Fortschritten der Arbeits- und Lebensweisen der Menschen geführt hat. Außenbeleuchtung ermöglicht das Sehen in der Nacht und das schnellere Erfassen von Gefahrensituationen, z. B. im Straßenverkehr. Die Kausalität statistischer Zusammenhänge zwischen Beleuchtung und Verkehrssicherheit ist allerdings nicht eindeutig belegt und umstritten. Auch bei der Kriminalitätsprävention weisen Befragungsergebnisse auf die bedeutende Rolle von Beleuchtung für das subjektive Sicherheitsgefühl hin, allerdings lassen sich diese Wahrnehmungen nicht eindeutig durch statistische Daten zur Kriminalität im öffentlichen Raum untersetzen.

Demgegenüber zeigen sich auch immer mehr die negativen Begleiterscheinungen einer sich ausweitenden künstlichen Beleuchtung. Befragungsdaten zeigen, dass sich das Problem der Blendung (direkt durch die Lichtquelle oder indirekt durch Reflexion, z. B. auf einer nassen Fahrbahn oder einer spiegelnden Fassade) durch neue Lichtquellen mit sehr hohen Leuchtdichten (LED-Beleuchtung, Xenonscheinwerfer) vergrößert hat. Lichtsensitive Menschen klagen über Sehprobleme, Kopfschmerzen und andere gesundheitliche Beeinträchtigungen durch sogenanntes Flimmern, das durch Lichtreize mit zeitlicher Schwankung der Leuchtdichten oder der spektralen Verteilung entsteht. Auch blinkendes Licht wird als besonders störend wahrgenommen.

Die zunehmende Aufhellung des Nachthimmels wirkt sich schon seit Langem negativ auf die professionelle Astronomie aus, die mit der Verlagerung von Forschungssternwarten in immer abgelegene Gebiete reagiert hat. Einen viel größeren Einfluss hat die Lichtverschmutzung allerdings auf die zahlreichen Volkssternwarten sowie auf Hobby- und Amateurastronomen, die nur lokal tätig sind. Inzwischen hat sich ein Astrotourismus in Gegenden mit noch dunklem Nachthimmel entwickelt, etwa auf der zu Spanien gehörenden Insel La Palma, in Marokko oder Namibia.

Kein Europäer lebt heute unter einem natürlich dunklen Nachthimmel und rund die Hälfte der Bevölkerung kann die Milchstraße nicht mehr erkennen. Diesen Verlust bewerten nicht nur Astronomen als problematisch. Auch eine steigende Zahl an Forschenden aus kultur- und sozialwissenschaftlichen Disziplinen verweist auf die kulturgeschichtlich zentrale Rolle der Sternbeobachtung als Bezugs- und Orientierungspunkt und die gesellschaftliche sowie auch individuelle Bedeutung von in Dunkelheit verbrachten Zeiträumen.

Humanmedizinische Wirkungen von Lichtverschmutzung

Humanmedizinisch relevante Wirkungen von Licht in der Nacht ergeben sich einerseits akut durch die Beeinflussung der eher subjektiv empfundenen Wachheit und der objektiv messbaren Unterdrückung der Ausschüttung des Hormons Melatonin und andererseits aus der damit verbundenen Störung des zirkadianen (d.h. auf den Tag-Nacht-Wechsel im 24-Stunden-Takt geprägten) Rhythmus körpereigener Stoffwechselprozesse.

Die akute Wirkung auf Wachheit verlagert den Schlafanfang auf einen späteren Zeitpunkt und kann so zu einer Verkürzung und Verschlechterung des Nachtschlafs bis hin zu Schlafmangel führen. Chronischer Schlafmangel stellt bereits für sich genommen ein Gesundheitsrisiko dar. Zudem erhöht sich die Tagesmüdigkeit und damit die Wahrscheinlichkeit für Unfälle und Verletzungen. Gleichzeitig unterdrückt insbesondere blauhaltiges Licht die Ausschüttung des Hormons Melatonin durch die Zirbeldrüse im Gehirn. Melatonin ist maßgeblich an der Regulation des Schlafs und der zeitlichen Koordination vieler Körpervorgänge beteiligt. So wird während der melatonininduzierten Tiefschlafphase das Wachstumshormon Somatotropin freigesetzt, dessen Mangel zu erhöhter Körperfettmasse, reduzierter Muskelmasse und einer verringerten Knochenmineraldichte führen kann. Ein weiterer Melatonineffekt liegt in seiner krebshemmenden Wirkung. Die akuten Lichtwirkungen stellen sich innerhalb von Minuten ein und verringern sich innerhalb von Minuten oder wenigen Stunden, sobald keine Beleuchtung mehr vorhanden ist.

Im Gegensatz dazu betrifft die Wirkung von Licht auf das zirkadiane System die Synchronisation der körpereigenen Rhythmen mit dem natürlichen Wechsel von Tag (hell) und Nacht (dunkel). Zahlreiche physiologische Abläufe, wie z. B. die Regulation der Körpertemperatur, Stoffwechselfvorgänge oder der Schlafwach-Wechsel sind natürlicherweise zeitlich aufeinander abgestimmt oder bauen aufeinander auf. Eine stabile Synchronisation der inneren Uhr, d.h. keine oder nur geringe Variationen der biologischen Rhythmen des Körpers von Tag zu Tag, ist wichtig für die Aufrechterhaltung von erholsamem Schlaf, Gesundheit und Leistungsfähigkeit.

Studien im Schlaflabor konnten zeigen, dass sowohl Schlafmangel als auch gestörte zirkadiane Rhythmen zu physiologischen Zuständen führen können, die einem klinischen Erscheinungsbild von z. B. Diabetes oder Herz-Kreislauf-Störungen ähneln. Dies bedeutet nicht, dass die Probanden in diesen Studien diese Krankheiten auch entwickelten, sondern lediglich, dass beispielsweise ihre Blutwerte ähnlich der Blutwerte waren, die gewöhnlich bei bestimmten Krankheiten vorzufinden sind. Unklar ist, ab welchem Ausmaß der Verschiebung von zirkadianen Rhythmen eine Gefährdung für die Gesundheit vorliegt. Schwellen- oder Referenzwerte gibt es weder für Lichtintensitäten noch für zeitliche Verschiebungsgrade zirkadianer Rhythmen. Dies liegt daran, dass eine künstlich im Labor induzierte Desynchronisation nicht so lange aufrechterhalten werden



kann bzw. darf, bis eine tatsächliche Gesundheitsgefährdung eintritt. Zudem ist die langfristige Adaptationsfähigkeit des zirkadianen Systems noch nicht hinreichend untersucht und verstanden.

Auf Grundlage der für Licht in der Nacht vermuteten humanmedizinischen Folgen wurde in einigen wissenschaftlichen Studien mithilfe von Satellitendaten zur Lichtverschmutzung und statistischen Daten über das Auftreten verschiedener Krankheiten (z. B. Brustkrebs) untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen beiden Größen besteht. Zwar wurde in den meisten Studien ein statistischer Zusammenhang zwischen Lichtverschmutzung und Erkrankungsrisiko gefunden, allerdings ist die Datenlage für einen Nachweis eines kausalen Zusammenhangs nicht ausreichend. Zu ungenau ist vor allem die Erfassung der individuellen Lichtexposition der Betroffenen und des Anteils von Lichtverschmutzung. Zudem fehlen systematische Erhebungen von Parametern der zirkadianen Rhythmik sowie der Ausschüttung von Melatonin. Darüber hinaus fehlen Angaben zu mit Lichtverschmutzung assoziierten Verhaltensweisen (z. B. ein spät orientierter und/oder unrythmischer Lebensstil, Schichtarbeit, ggf. in Kombination mit erhöhtem Alkohol- und/oder Tabakkonsum) bzw. Einflüsse weiterer nichtphotischer Umweltvariablen (z. B. Lärm), die allesamt das Erkrankungsrisiko beeinflussen können. Aus diesen Gründen sind wissenschaftlich gesicherte Aussagen zur Kausalität zwischen Lichtverschmutzung und beobachteten gesundheitlichen Problemen gegenwärtig nicht möglich.

Ökologische Wirkungen von Lichtverschmutzung

Tiere und Pflanzen sind auf deutliche regelmäßige Unterschiede in ihrer Lichtumgebung angewiesen, um ihr saisonales und tagesrhythmische Verhalten und die damit verbundenen physiologischen Prozesse mit der Außenwelt synchronisieren zu können. Die unterschiedlichen Lichtphasen zu Tag, Nacht, Sonnenauf- und -untergang bieten temporale Nischen, an die sich Organismen evolutionär angepasst haben. Ein Drittel aller Wirbeltierarten ist nachtaktiv, dazu gehören alle Fledermausarten und fast alle Amphibien. Bei den Wirbellosen sind sogar zwei Drittel der bekannten Arten nachtaktiv.

Die Erhellung von Nachtlandschaften kann insbesondere Organismen beeinträchtigen, die sich in den Nischen der Dämmerung und der Nacht entwickelten und sich deren Wahrnehmung auf die dann herrschenden Lichtverhältnisse einstellte. Lichtinduzierte Veränderungen des Verhaltens und in der Artzusammensetzung könnten dabei kaskadenartige Auswirkungen auf Ökosysteme haben und verändern daher nicht nur die Bedingungen für nachtaktive, lichtsensible Arten, sondern auch indirekt die Bedingungen für tagaktive Arten und das Funktionieren ganzer Ökosysteme. Weiterhin können die durch Lichtverschmutzung induzierten Verhaltens- und Aktivitätsänderungen durch eine ge-



steigerte Umgebungstemperatur im Zuge der Klimaerwärmung noch verstärkt werden.

Es lassen sich verschiedene Wirkungen von Lichtverschmutzung auf Pflanzen und Tiere kennzeichnen, die artspezifisch unterschiedlich deutlich ausgeprägt sind. So kann künstliche Beleuchtung Verhaltensänderungen hervorrufen, z. B. eine zeitliche Verschiebung von Aktivitätsrhythmen wie Jagd-, Ruhe- oder Reproduktionsphasen. Dabei lassen sich ähnlich wie beim Menschen akute und zirkadiane Rhythmusstörungen unterscheiden. Auch der lokale Aktionsradius von Individuen kann verändert werden, wenn künstliche Lichtquellen als Attraktor wirken, z. B. für Insekten, oder beleuchtete Gebiete von Tieren gemieden werden und z. B. Straßenbeleuchtung als Barriere für die Migration von Individuen wirkt. Wenn einzelne Arten ihren Lebensraum durch Beleuchtung nicht nutzen oder in ihrer Reproduktion behindert werden, können Eintrittspforten für invasive Arten entstehen, welche aufgrund ihrer Herkunft oder genetischen Prädisposition besser an den Faktor Beleuchtung angepasst sind. Hingegen können räuberische Arten auch von der Ansammlung von Beutetieren an beleuchteten Standorten profitieren.

Die spektralen Empfindlichkeiten unterscheiden sich stark zwischen Arten und sind auch von der Beleuchtungsstärke abhängig. Bei hohen Beleuchtungsstärken und bei einzelnen Lichtquellen hat die spektrale Zusammensetzung weniger Einfluss als die Intensität des Lichts. Sehr schwaches Licht in einer spektralen Zusammensetzung, auf die ein Organismus empfindlich reagiert, kann vergleichsweise stark wirken, genauso wie sehr intensives Licht mit spektralen Zusammensetzungen außerhalb des Empfindlichkeitsbereiches des Organismus. Trotz aller Unterschiede nehmen die Anzahl der betroffenen Arten und das Ausmaß der Auswirkungen zu, je kurzwelliger das Licht ist, also einen hohen Anteil im blauen und ultravioletten Spektralbereich aufweist.

Zwar sind einzelne Wirkungen künstlicher Beleuchtung auf Pflanzen und Tiere gut untersucht, die Auswirkungen sind jedoch hochkomplex, artabhängig und insgesamt noch wenig verstanden. Bisherige Studien fokussieren überwiegend auf einzelne Wirkungen und einzelne ausgewählte Tierarten. Daher ist es derzeit nicht möglich, wissenschaftlich gesicherte Aussagen zu den Auswirkungen der voranschreitenden Ausbreitung künstlichen Lichts auf der Ebene von Populationen, Lebensgemeinschaften oder Ökosystemen zu treffen oder konkrete Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu definieren, auf deren Grundlage einzuhaltende Grenzwerte empfohlen werden könnten. Unklar ist oftmals, wie anpassungsfähig Arten langfristig sind, d. h., ob bestimmte Folgen reversibel sind bzw. welche Folgen aus dieser Anpassung im ökosystemaren Zusammenspiel resultieren. Auch ist unklar, welche Bedeutung die Lichtverschmutzung als Risikofaktor neben anderen Belastungen und Entwicklungen (Urbanisierung, Landschaftszerschneidung, Nährstoff- und Biozideinträge, Klimawandel, Veränderungen in der Artenzusammensetzung etc.) hat.

Regulierungsansätze zur Vermeidung von Lichtverschmutzung

Nach dem Vorsorgeprinzip – ein wesentliches Element der EU-Politik und des deutschen Umweltrechts – ist mit Licht schonend umzugehen, frühzeitig und vorausschauend und im Interesse künftiger Generationen zu handeln, auch wenn Ursache-Wirkungs-Beziehungen noch nicht vollständig verstanden sind. Es existiert zwar derzeit in Deutschland keine singuläre Regelung, die mögliche Beeinträchtigungen oder Belästigungen für Mensch, Flora und Fauna durch künstliche Beleuchtung umfassend benennt. Dies ist zwar nicht zwingend erforderlich, denn für eine Begrenzung der Lichtverschmutzung stehen verschiedene Handlungsinstrumente zur Verfügung, z. B. im Immissionsschutz-, Naturschutz- oder Baurecht.

Im Bundes-Immissionsschutzgesetz wird künstliches Licht zu den schädlichen Umweltwirkungen gezählt und könnte daher grundsätzlich auch Gegenstand entsprechender Prüfungen und Auflagen zur Vermeidung und Minderung werden. Allerdings unterliegen in der derzeitigen Ausgestaltung des Gesetzes nur wenige Beleuchtungsanlagen einer Genehmigungspflicht. Die Beurteilung von Lichtimmissionen ist zudem von vielen subjektiven Variablen abhängig, sodass derzeit aus dem Immissionsschutz nur wenig konkrete Eingriffsmöglichkeiten für die Reduzierung oder Vermeidung von Lichtverschmutzung abgeleitet werden (können).

Die Naturschutzgesetzgebung eröffnet gute Anknüpfungsmöglichkeiten, um negative Auswirkungen öffentlicher und privater künstlicher Beleuchtung auf den Naturhaushalt zu reduzieren. Allerdings fallen nur ausgewählte Gebiete unter den Naturschutz und es fehlen gegenwärtig vollzugstaugliche Abschätzungen zu den durch künstliche Beleuchtung verursachten Beeinträchtigungen für den Naturhaushalt, die für eine Vermeidung und Begrenzung von Beleuchtung notwendig wären.

Die Bauleitplanung bietet in besonderer Weise Möglichkeiten, Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft durch Lichtimmissionen zu vermeiden. Diese Möglichkeiten müssen jedoch durch die zuständigen kommunalen Entscheidungsträger erkannt, ergriffen und wirksam ausgestaltet werden; ihre Umsetzung bedarf auch der öffentlichen Akzeptanz. Unterstützend kann dabei die Entwicklung lokaler oder regionaler Lichtmasterpläne wirken, die zwar keine rechtliche Bindung entfalten, aber als Orientierung bei der Gestaltung öffentlicher und privater Beleuchtung und der Bewusstseinsbildung dienen können. Einige Regionen haben sich gezielt zur Vermeidung von Lichtverschmutzung bekannt und verdeutlichen dies durch eine freiwillige Zertifizierung als Lichtschutzgebiet oder Sternenstadt.

Für den Aufbau und den Betrieb von Straßenbeleuchtung werden derzeit aus Ermangelung einer gesetzlichen Regelung meist Industrienormen als Orientierung herangezogen. Diese sind zwar formaljuristisch unverbindlich, faktisch aber höchst einflussreich. Die Normensetzung würde daher wirksame Anknüp-



fungspunkte bieten, um auf eine Reduzierung der Lichtverschmutzung hinzuwirken. Allerdings werden derzeit nichtintendierte Nebenwirkungen der Straßenbeleuchtung auf die menschliche Gesundheit, Ökologie, Klimaschutz oder das Stadtbild bei der Normbildung kaum oder gar nicht berücksichtigt.

Auch durch Förderprogramme können Entwicklungen im Bereich der künstlichen Beleuchtung beeinflusst werden. In Deutschland werden auf verschiedenen Wegen Modernisierung und Umrüstungen öffentlicher Beleuchtungsanlagen gefördert. Der Fokus liegt dabei vornehmlich auf der Steigerung der Energieeffizienz und dem Klimaschutz, sodass derzeit eher eine Zunahme der Beleuchtungsintensität durch die Umrüstung auf energieeffizientere (und zumeist beleuchtungsintensivere) Leuchtmittel und Beleuchtungsanlagen befördert wird.

Regulierungen auf europäischer Ebene nehmen über die Definition von Effizienzkriterien und die Beschränkung ineffizienter Leuchtmittel Einfluss auf nationale Beleuchtungspraktiken. Die Erwähnung von Licht als eine relevante Größe bei der Umweltverträglichkeitsprüfung von Eingriffen in den Naturhaushalt eröffnet zudem den Mitgliedstaaten Möglichkeiten, im Rahmen nationaler Prüfverfahren stärker auf die Reduzierung von Lichtverschmutzung hinzuwirken.

Regelungen zur Reduzierung der Lichtverschmutzung in anderen europäischen Ländern können interessante Anknüpfungspunkte für die Ausbildung einer Beleuchtungsregulierung in Deutschland bieten. Die Bandbreite der Ansätze ist groß: Besonders progressiv sind Frankreich, das Lichtverschmutzung zentral in seiner Umweltschutzgesetzgebung benennt, und Slowenien, das in einer landesweit gültigen Verordnung Grenzwerte für Lichtverschmutzung festgesetzt hat. In Italien und Spanien existiert zwar keine nationale Gesetzgebung gegen Lichtverschmutzung, jedoch haben einige Regionen bindende Regelungen zur Steuerung der Beleuchtungspraxis erlassen. Relevant ist dabei jedoch nicht nur die Existenz derartiger Regulierungen, sondern auch ihre Durchsetzung und Wirksamkeit. Hierbei treten größere Unterschiede zwischen den einzelnen betrachteten Ländern auf.

Technische und technologische Optimierungspotenziale von Beleuchtung

Neben der Regulierung von Außenbeleuchtung bestehen vielfältige technische und technologische Optimierungspotenziale, um unerwünschte Nebenwirkungen künstlicher Beleuchtung zu reduzieren. Dabei eröffnen die Innovationen im Bereich der Beleuchtungs- und Steuerungstechnik einerseits wachsende Gestaltungsspielräume, z. B. über energieeffiziente, bedarfsorientierte Beleuchtung. Andererseits ergeben sich z. B. aus der Änderung der spektralen Zusammensetzung des emittierten Lichts beim Übergang von herkömmlicher



hin zu LED-Beleuchtung neue Herausforderungen für die Reduzierung der Lichtverschmutzung.

In einem ersten Schritt ist die Notwendigkeit einer (öffentlichen) Außenbeleuchtung bzw. deren Ausmaß zu hinterfragen. Aktuelle oder geplante Beleuchtungssituationen können mithilfe von lichttechnischen Modellierungen evaluiert werden. Allerdings fehlt es an verbindlichen oder zumindest flächendeckend akzeptierten Kriterien (wie z. B. die Industrienormen für die Straßenbeleuchtung), die für bestimmte Funktionen (z. B. Sicherheits- oder Werbebeleuchtung), Orte (z. B. Innenstadt, ländlicher Raum oder Naturschutzgebiet) sowie die Zeit der Beleuchtung (z. B. mehr oder weniger intensive Nutzungszeiten) Orientierung geben. Darüber kann der angestrebte Beleuchtungszweck über eine Anpassung der Beleuchtungsintensität, eine zeitliche Abschaltung sowie die ideale Positionierung und Dimensionierung einer Beleuchtungsanlage mit möglichst geringen unerwünschten Nebenfolgen realisiert werden. Auch eine möglichst situationsangepasste Abschirmung des Leuchtmittels und eine optimierte Abstrahlungsgeometrie tragen zu einer Reduzierung der Lichtverschmutzung bei.

Auch die spektrale Zusammensetzung der Beleuchtung beeinflusst das Ausmaß ihrer ungewollten Auswirkungen, insbesondere im Hinblick auf Flora und Fauna. Dazu sollte Licht im blauen Spektralbereich während des Abends und der Nacht vermieden werden, da dadurch viele relevante Wirkungen auf Insekten, Amphibien und andere Tierarten hervorgerufen werden. Allerdings reagieren verschiedene Taxa sehr unterschiedlich auf verschiedene Spektren, sodass die Wahl des Leuchtmittels nur im Zusammenspiel mit den zuvor genannten Maßnahmen wirksame Beiträge zur Reduzierung der ökologischen Wirkungen von Lichtverschmutzung leisten kann.

Handlungsoptionen

Handlungsoptionen bestehen mit Blick auf den hier zusammengetragenen Wissensstand zur Lichtverschmutzung in drei Bereichen: Neben einer weiteren Erforschung der Folgen zunehmender künstlicher Beleuchtung im Außenbereich sind die verstandenen Wirkungen, aber auch bestehende Anpassungs- und Vermeidungsoptionen in der Beleuchtungspraxis bekannt zu machen und die existierenden Regelungsansätze für eine Vermeidung von Lichtverschmutzung zu ertüchtigen.

Die Ursachen der gängigen Praxis der Lichtnutzung und ihre unterschiedlichen nationalen und regionalen Ausprägungen und zeitlichen Veränderungen sind noch wenig untersucht, ebenso ist kaum abzusehen, welche Veränderungen die aktuelle Umrüstung und neue Technologien mit sich bringen. Um die nächtliche Dunkelheit zu schützen, kommt es darauf an, künstliches Licht auf ein nötiges Minimum zu reduzieren. Das heißt, es gilt zu klären, was angemess-



sene Beleuchtung ist, um entsprechende Grenzwerte definieren zu können. Dazu ist es notwendig, zwischen den gesellschaftlichen und ökologischen Kosten einerseits und den vielfältigen Vorteilen der Beleuchtung andererseits abzuwägen. Um dies zu erreichen, ist nicht nur weitere Grundlagenforschung notwendig, sondern auch die kritische Überprüfung der heute gängigen Beleuchtungspraxis und ihrer Bestimmungsfaktoren: Woher kommt das Wissen, auf Grundlage dessen künstliche Beleuchtung geplant wird, und ist es heute noch ausreichend?

Im Hinblick auf die humanmedizinischen Folgen ist mithilfe geeigneter Untersuchungsdesigns zu klären, ob und inwieweit tatsächlich eine Kausalität zwischen Lichtverschmutzung und erhöhtem Krankheitsrisiko vorliegt. Die wissenschaftliche Evidenz für einen solchen unmittelbaren (kausalen) Zusammenhang ist derzeit gering, was vor allem im mangelhaften Untersuchungsdesign der vorliegenden Studien begründet liegt. Es werden daher Studien benötigt, in denen die individuelle Lichtexposition (insbesondere durch künstliches Licht im Außenbereich und davon gesondert der Teil der Lichtverschmutzung) und weitere individuelle Risikofaktoren erfasst und dann mit dem Krankheitsrisiko verglichen werden.

Bei der weiteren Erforschung ökologischer Wirkungen der zunehmenden nächtlichen Beleuchtung sollten Folgen für das ökosystemare Zusammenspiel verschiedener Arten in Biotopen, Nahrungsnetzen oder Landschaften und im Hinblick auf Leistungen des Naturhaushalts für den Menschen im Vordergrund stehen. Denn unklar ist, wie anpassungsfähig Arten langfristig sind, d. h., ob bestimmte Folgen reversibel sind bzw. welche Folgen aus dieser Anpassung im ökosystemaren Zusammenspiel resultieren. Zudem ist unklar, welche Bedeutung die Lichtverschmutzung als Risikofaktor neben anderen Belastungen (Urbanisierung, Landschaftszerschneidung, Nährstoff- und Biozideinträge, Klimawandel, Veränderungen in der Artenzusammensetzung etc.) hat. Solche Fragen sind nur mit langfristigen Forschungen und in aufwendig einzurichtenden Experimentalstrukturen zu benennen. Im Aufbau und Betrieb solcher Experimentalstrukturen könnte ein Schwerpunkt zukünftiger Forschungsförderung liegen.

Auch auf Grundlage des gegenwärtigen Wissensstands sollten Ausmaß und Wirkungen zunehmender nächtlicher Beleuchtung publik gemacht werden, um die Ausprägung eines gesellschaftlichen Problembewusstseins zu befördern. Dabei ist zu vermitteln, dass eine Minimierung der Lichtverschmutzung nicht das Ziel hat, auf künstliche Beleuchtung zu verzichten, sondern sie sinnvoll(er) einzusetzen. Die Erarbeitung kommunaler Lichtkonzepte unter Beteiligung der Öffentlichkeit bietet einen guten Startpunkt, um Bewusstseinsbildung im Umgang mit künstlicher Beleuchtung voranzutreiben und technische und technologische Anpassungsoptionen bekannt zu machen. Auf diesem Wege kann sowohl die öffentliche als auch die private Beleuchtungspraxis beeinflusst werden.



Unterstützt werden kann dies durch die Errichtung von Beleuchtungsmusterstrecken, die einen Eindruck verschiedener Beleuchtungslösungen vermitteln.

Zur möglichen Ertüchtigung von Regulierungsansätzen für die Reduzierung von Lichtverschmutzung sollte nicht auf die aufwendige Erforschung populationsrelevanter Parameter und Schwellenwerte gewartet werden. Lichtemissionen sollten vielmehr vorsorgeorientiert beurteilt werden, um denkbare Belastungen bzw. Schäden für die Umwelt bzw. die menschliche Gesundheit im Voraus (trotz unvollständiger Wissensbasis) zu vermeiden bzw. zu verringern. Auf diesem Grundsatz aufbauend, können schon mit dem heutigen Wissen und Stand der Technik Handlungsleitlinien konkretisiert werden. Dabei kann auch von den Erfahrungen anderer europäischer Länder profitiert werden. So könnten Mess- und Monitoringsysteme zur Überwachung der Entwicklung künstlicher Beleuchtung etabliert werden, z. B. über die verbindliche Führung eines Leuchtenkatasters. Länder und Kommunen würden von der Bereitstellung von Orientierungshilfen zur Beseitigung planerischer und rechtlicher Unsicherheiten, z. B. im Hinblick auf die Bedeutung der Industrienormen für die Straßenbeleuchtung, profitieren. Für bundeseigene Gebäude und Anlagen könnten Beleuchtungsrichtlinien zur Minimierung der Lichtverschmutzung entwickelt und umgesetzt werden. Über Förderprogramme, Auszeichnungen und Wettbewerbe für nachhaltige Beleuchtung kann die Entwicklung integrierter lokaler und regionaler Lichtkonzepte befördert werden. Schließlich könnten Grenz- und Richtwerte als Bemessungsgrundlage etabliert werden, um den Lichtemissionsschutz in bereits existierenden formellen Planungs- und Steuerungsinstrumenten bewerten zu können. Auch bietet es sich an, die Möglichkeit einer eigenständigen Regelung zur Begrenzung der Lichtverschmutzung zu prüfen.



**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG**

Karlsruher Institut für Technologie

Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Telefon: +49 30 28491-0
E-Mail: buero@tab-beim-bundestag.de
Web: www.tab-beim-bundestag.de
Twitter: @TABundestag