

Kunstlicht in der Nacht

Positionspapier der Tiroler Umwelthanwaltschaft · TEIL 1 · März 2021 · 12 Seiten

Nächtliche Beleuchtung ist integraler Bestandteil unserer Lebensweise, der verantwortungsvolle Umgang mit künstlichem Licht ist deshalb bedeutend. Ein verträglicher Einsatz von Kunstlicht leistet einen Beitrag für die Gesundheit, Sicherheit und Lebensqualität, verursacht einen geringeren Energie- und Ressourcenverbrauch und trägt zum Erhalt der biologischen Vielfalt bei.

Der zeitgemäße Einsatz von Kunstlicht berücksichtigt während der Betriebsphase die Kernfaktoren:

- ⇒ Standort – **Gewusst WO**,
- ⇒ Zeitraum – **Gewusst WANN** und
- ⇒ Lichtplanung bzw. -technik – **Gewusst WIE**.

Die Positionspapier-Reihe gibt Hinweise und Lösungsvorschläge für folgende Anwendungsbereiche:

TEIL 2: Straßen-, Radweg-, Gehweg- sowie Parkplatzbeleuchtung

TEIL 3: Sportstättenbeleuchtung: Beleuchtung von Naturrodelbahnen, Loipen, Schipisten und Fußballplätzen.

TEIL 4: Effektbeleuchtung: Dekorationsbeleuchtung, Anstrahlung von Objekten, Skybeamer und Lichtwerbung.

Im vorliegenden, generellen Teil der Positionspapiere betreffend Kunstlicht finden sich allgemeine, für alle Beleuchtungsprojekte relevante, Informationen.

Lichtverschmutzung ist die Aufhellung der Nacht

Die natürlichen Lichtverhältnisse in den Dämmerungs- und Nachtstunden werden durch Kunstlicht überlagert und verändert. Die Helligkeit sowie die Ausdehnung beleuchteter Flächen nehmen dabei zu. Lichtverschmutzung steigt seit 2012 global um mindestens 2 Prozent jährlich.¹

Unerwünschtes künstliches Licht im Außenbereich hellt Wohnraum, Umwelt und den Nachthimmel auf oder verursacht Blendung. Negative Folgen hat dies für die menschliche Gesundheit. Auch Tiere, Pflanzen und ökologische Wechselwirkungen werden beeinträchtigt.

Grundsätze für jedes Beleuchtungsprojekt

Bei der Erneuerung und Neuerrichtung von Strukturen ist das Erfordernis der Außenbeleuchtung ein zu hinterfragendes Thema. Künstliche Beleuchtung kann verschiedene Funktionen haben, so werden die Schutzfunktion, Orientierungsfunktion, Signalfunktion, Werbefunktion und künstlerische Darstellung genannt.² Ob eine Beleuchtungsanlage wirklich notwendig ist, dazu hilft u.a. die Betrachtung der Funktionen. **Eine nachvollziehbare Bedarfsprüfung ist die Basis für weitere Entscheidungen.**

Nahezu kein Beleuchtungsvorhaben gleicht dem anderen. **Projektbezogen sind nachteilige Effekte, aber auch Möglichkeiten für verträgliche Lösungen zu prüfen.**

Im Sinne des Vorsorgeprinzips sind Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen in die Beleuchtungsplanung miteinzubeziehen.³

Der Naturhaushalt, die Arten- und Lebensraumvielfalt, der Erholungswert sowie die Schönheit der Landschaft sollen bewahrt, gesichert oder wiederhergestellt werden. **Da Beleuchtungsanlagen zu einer Schädigung der zuvor genannten Interessen des Naturschutzes⁴ führen, sind sie außerhalb geschlossener Ortschaften genehmigungspflichtig. Tiere sind auch innerhalb der Siedlungen zu schützen.⁵**

Um allenfalls notwendige Anpassungen an den Stand der Technik zu ermöglichen, ist **im Zuge der naturschutzrechtlichen Genehmigung eine Befristung für den Betrieb von Beleuchtungsanlagen vorzusehen.⁶**

Bringt Beleuchtung Sicherheit?

Kunstlicht ist praktisch, modern und vergleichsweise kostengünstig. Der Gebrauch ist für uns selbstverständlich. Neben der erweiterten Freizeitgestaltung und wirtschaftlichen Tätigkeit in die Nacht hinein, ist *Sicherheit* ein wichtiger Anreiz für die Installation künstlicher Beleuchtung. Dabei ist Verkehrssicherheit, aber auch die Sicherheit vor Gewalt und Vandalismus ein Treiber für den vermehrten Einsatz von Kunstlicht.

Gut ausgeführte Verkehrsbeleuchtung hat durchaus positive Einflüsse auf ein rückläufiges Unfallgeschehen, auch wenn Faktoren wie Müdigkeit, Alkohol und Geschwindigkeit tendenziell eine höhere Bedeutung aufweisen.⁷ Blendung und Ablenkung durch Kunstlicht kann wiederum zu Verkehrsrisiken führen.⁸

Ob Kunstlicht tatsächlich zu weniger Gewalt und Vandalismus führt, ist umstritten. Eine Verbrechensreduzierung ist nicht zuverlässig feststellbar, während das subjektive Sicherheitsempfinden verbessert werden kann.⁷ Viele Menschen fühlen sich in öffentlich beleuchteten Räumen wohler und verlassen eher ihren eigenen Wohnbereich. Das Sicherheitsempfinden korreliert nicht mit der Beleuchtungsintensität. Ein gleichmäßiges Beleuchtungsniveau, nicht blendende Beleuchtung, die Erkennung von Farben und Formen sowie warmweißes Licht werden von jungen Frauen in einer Befragung bevorzugt.^{9,10}

Beeinträchtigung des Menschen

Eine zu große Präsenz von nächtlichem Kunstlicht bedeutet für uns Menschen, neben der direkten Störwirkung, einen Einfluss auf den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus durch Veränderung der inneren biologischen Uhr. Bedeutende Schlaf-, Ruhe- und Regenerationseinbußen sind die Folge.¹¹ Darüber hinaus könnte der Faktor Kunstlicht das Risiko von Übergewicht,¹² Herzinfarkt,¹³ Diabetes¹⁴ und Depression¹⁵ erhöhen. Der Zusammenhang zwischen Lichtverschmutzung und Krebs ist umstritten.¹⁶ Oft ist ein Ursachenmix für die o.g. Erkrankungen verantwortlich. Lebenswandel, ungesunde Ernährung, Genussmittelkonsum und Umweltverschmutzung sind vielgenannte Auslöser.

Verlust an Sehschärfe, Netzhautschäden,¹⁷ altersbedingte Makuladegeneration¹⁸ und auch gefährdende, verkehrsrelevante Blendungen⁸ werden mit übermäßigem bzw. falschem Kunstlichtkonsum in Verbindung gebracht.

Welche Helligkeiten verursachen gesundheitliche Störungen?

Die Beleuchtungsstärke (lx) ist der Lichtstrom (lm), der auf ein beleuchtetes Objekt trifft. Dem gegenüber gibt die Leuchtdichte (cd/m²) an, mit welcher Helligkeit das menschliche Auge eine Fläche wahrnimmt.

Ist man nachts hohen Beleuchtungsstärken ausgesetzt, oder fällt Kunstlicht besonders im kurzwelligen Bereich auf die Netzhaut, so wird die Synthese von Melatonin im Körper von Organismen gehemmt. Natürlicherweise wird das Hormon in den Abend- und Nachtstunden gebildet. Während es beim Menschen schlaffördernd wirkt, ist es für nachaktive Tiere aktivierend. Melatonin steuert eine Vielzahl von Körperfunktionen und hat eine anti-oxidative Wirkung.

Beleuchtungsstärken von 0,01-0,03 lx bei Säugetieren und Fischen sowie bis 6 lx bei sensiblen Menschen reichen aus, um die Bildung von Melatonin im Körper zu unterdrücken.

Sogar noch geringere, Wellenlängen-abhängige Lichtintensitäten beeinflussen Organismen.¹⁹ Um die genannten Werte in Relation setzen zu können: Die max. Vollmondhelligkeit beträgt 0,3 lx. Stetige nächtliche Lichtintensitäten von 0,3 lx beeinflussen männliche Amseln derart, dass sie sich langfristig nicht mehr fortpflanzen können.²⁰

Bereits 3 lx reichen vor dem Schlafengehen aus, um den Blutdruck beim Menschen über Nacht zu steigern.¹³ Nach der ÖNORM O 1052²¹ ist dieser Wert, gemessen in der Fensterebene des Wohnbereiches in einer Kleinsiedlung, bis 22:00 Uhr zulässig. In lokalen Einkaufsstraßen und Mischgebieten sind 10 lx bis 20:00 Uhr legitim. Wobei sich die Grenzwerte allein auf Lichtimmissionen verkehrsfremder Zwecke (Effekt- und Sportstättenbeleuchtung) beziehen, Straßenbeleuchtung ist ein informativer Teil der Immissionsschutznorm.

Welche Lichtfarben bzw. Spektralbereiche sind schädlich?

Die Lichtfarbe ist die Farbe des Lichts, wie sie dem menschlichen Auge erscheint. Sie wird durch die Farbtemperatur, gemessen in Kelvin, beschrieben. So hat angenehm empfundene Innenbeleuchtung 2700 Kelvin, Mondlicht weist eine Farbtemperatur von 4000 Kelvin auf. Die Spektralkurve geht ins Detail und zeigt den emittierten Strahlungsanteil eines Leuchtmittels.

Generell reagieren Organismen unterschiedlich auf verschiedene Spektralbereiche. Allerdings gibt es mehr Hinweise auf nachteilige Auswirkungen durch kurzwelliges, sichtbares Licht (bis 490 nm) bzw. neutral- bis kaltweiße Leuchtmittel (über 3000 Kelvin).²² Eigene Untersuchungen der Anlockwirkung unterschiedlicher Leuchtmittel auf Insekten in Völs in Tirol ergab, dass insbesondere LEDs mit geringer Farbtemperatur (max. 3000 Kelvin) weniger Insekten anziehen.²³

Ultraviolett- (UV unter 380 nm) und Infrarot-Strahlung (IR über 780 nm) ist für die visuelle Wahrnehmung des Menschen irrelevant. Leuchtmittel sollen diese Strahlungsanteile nicht emittieren, zumal sie von einigen Organismen sehr wohl wahrgenommen werden und diese beeinträchtigen können.

Aus gesundheitlichen, ökologischen (und astronomischen) Gründen werden niedrige Farbtemperaturen empfohlen: Amber LEDs (max. 2200 Kelvin) oder warmweiße LEDs (max. 3000 Kelvin). Der emittierte Strahlungsanteil eines Leuchtmittels hängt mit der Farbtemperatur zusammen. Jedoch können warmweiße LEDs in ihrer spektralen Zusammensetzung variieren. Mit der Wahl eines max. 3000 Kelvin Leuchtmittels ist davon auszugehen, dass der Spektralanteil unter 490 nm eher gering und das Potenzial der gesundheitlichen und ökologischen Störung vermindert ist.

Beeinträchtigung von Tieren, Pflanzen und Lebensräumen

Eine weitere Rolle spielt Lichtverschmutzung im Zusammenhang mit dem weltweit voranschreitenden Verlust der biologischen Vielfalt. Hier hat sie das Potential eine zusätzliche Störung auf bereits von verschiedenen Seiten geschwächte Ökosysteme auszuüben.²⁴ Beeinträchtigt Kunstlicht Tiere, Pflanzen, Lebensräume oder gar Ökosystemleistungen (z.B. Bestäubung), so wird schließlich auch die Lebensgrundlage von uns Menschen angegriffen.

Lichtbezogene Rhythmen, wie der Tag-Nacht-Wechsel, die jahreszeitliche Veränderung der Tageslängen sowie die Mondphasen, sind zuverlässige Zeitgeber vieler Organismen. Ihre Lebensfunktionen und -abläufe wurden im Laufe der Erdgeschichte daran angepasst und damit abgestimmt. Neben physiologischen Prozessen verändert Lichtverschmutzung auch das Verhalten von Lebewesen, was sich bspw. in Anlockung, Vertreibung oder Verlust der Orientierung äußert.

Nächtliches Kunstlicht beeinträchtigt bspw. Insekten,²⁵ Vögel,²⁶ Säugetiere,²⁷ Amphibien,²⁸ Fische,²⁹ Gewässer-Kleinstlebewesen³⁰ sowie Pflanzen.³¹ Auch weitreichende ökologische Auswirkungen sind belegt, wie z.B. die Veränderung der Artenzusammensetzung³² oder eine reduzierte Bestäubungsleistung.³³

Nachtaktive Tiere

*Eine hell erleuchtete Nacht ist für ein nachtaktives Tier, als würde man einen Seehund in die Alpen setzen – so wird im Buch *Licht aus!*?³⁴ die Situation eines nachtaktiven Tieres in seinem künstlich aufgehellten Lebensraum treffend beschrieben.*

Natürliche Lichtregime und berechenbare Aktivitätszeiten sind lebensnotwendig. **Nachtaktive Tiere sind auf Dunkelheit und natürliches Licht von Mond und Sternen angewiesen, um sich erfolgreich zu orientieren, fortzubewegen, fortzupflanzen, zu jagen bzw. Futter zu suchen sowie um Räubern und Nahrungskonkurrenten auszuweichen.**

Etwa zwei Drittel der Tierarten weltweit sind nachtaktiv, dazu zählt rund die Hälfte aller Insektenarten.³⁵ Alleine in Tirol wurden bisher ca. 2700 Schmetterlingsarten nachgewiesen, etwa 85 Prozent davon sind ausschließlich oder überwiegend in der Nacht aktiv.³⁶ Eulen, Fledermäuse, Schläfer, Igel, Marder, Iltis, Fuchs, Dachs, Frösche und Kröten sind weitere Tierarten, die mit ihrer Aktivität an die Nacht gebunden sind. Reh- und Rotwild gehören zu den Generalisten, sie sind häufig in der Dämmerung zu sehen.

Beeinträchtigung des Erholungswerts der Nachtlandschaft

Heute, da alles hell ist, wird wirkliche Dunkelheit zum positiven Kontrast, zum Wert. Durch Dunkelheit wächst das Geheimnisvolle, an die Stelle des nicht mehr Sichtbaren tritt Phantasie. Die Betrachtung des Nachthimmels führt zu Fragen nach der Unendlichkeit des Raumes, nach dem Sinn und Ende unseres Seins.³⁷

Für viele Menschen ist die natürliche Nacht etwas Unbekanntes. Der Erlebniswert ergibt sich durch den Blick auf den tiefen, reichen Sternenhimmel und Landschaftsstrukturen in dunklen Schattierungen, die sich davor abheben. Die Sinneswahrnehmung wird geschärft.

Lichtglocken lassen die Sterne verschwinden, Kunstlicht zieht Aufmerksamkeit auf sich und der Blick bleibt im Dunst des Lichtsmogs gefangen. Eine Gewöhnung an Lichtüberflutung findet statt, Umwelt- und Naturbezug schwinden. Der allmähliche Verlust unberührter Nachtlandschaft hinterlässt auf einer kulturellen, identitätsstiftenden und spirituellen Ebene Narben.

Im Konfliktfeld zwischen Wirtschafts- und Naturschutzanliegen ist es wichtig, den Wert des Schutzgutes Dunkelheit als ein gemeinsames Anliegen herauszustreichen. Durch den Verzicht auf, oder die konsequente Optimierung von Beleuchtungsanlagen bleiben Anwohner, Gäste, Landschaftsbild, Tiere, Pflanzen und ihre Interaktionen als ein Ganzes ungestört. Dunkelheit ist eine natürliche Ressource, die erkannt, geschätzt und bewahrt werden muss.

Zeitalter der LED

Bereits um die Jahrtausendwende wird festgestellt, dass LED-Leuchtmittel ein zunehmend hohes Entwicklungsmaß erleben und aufgrund ihrer geringeren Energiekosten vermehrt eingesetzt werden.³⁸ LED-Technologie hat viele Vorteile hinsichtlich präziser Lichtlenkung, Dimmung, Modellierung des Spektrums (verschiedene Farbtemperaturen) und Energieeffizienz. **Die Energieeffizienz verleitet jedoch zu einem verschwenderischen und umweltschädlichen Umgang mit Kunstlicht.**³⁹ Der in vielen Fällen vertretbare, bewusste Verzicht auf Beleuchtung ist nicht nur im Sinne der Gesundheit und Umwelt, sondern jedenfalls auch die energie- und ressourceneffizienteste Lösung.

Untersuchungen ergeben eine bessere Ökobilanz der LEDs im Vergleich zu anderen Leuchtmitteln. Diese Ergebnisse sind letztlich auf den geringeren Strombedarf im Betrieb zurückzuführen. Während des Herstellungsprozesses haben LEDs aufgrund des höheren energetischen und chemischen Aufwandes eine schlechtere Ökobilanz als bspw. Hochdruck-Natriumdampf- oder Metallhalogendampflampen.⁴⁰ Um Umweltauswirkungen und Ressourcenverbrauch bei Herstellungs- und Entsorgungsprozessen zu minimieren, ist der Betrieb der Beleuchtungsanlage bis zum Ende der Nutzungsdauer bedeutend.

In der Allgemein-Beleuchtung wird weißes Licht durch die Umwandlung der Strahlung blauer LEDs mit Hilfe einer Konversionsschicht erzeugt. Zusammensetzung und Dicke dieser Schicht sind entscheidend für die spektrale Zusammensetzung. Aufgrund dieser Bauart benötigen neutral- und kaltweiße LEDs (über 3000 Kelvin) bis zu 10 Prozent weniger Energie für dieselbe Lumen-Zahl. Dieser Umstand führt(e) zur Umsetzung zahlreicher 4000 Kelvin Beleuchtungsanlagen, welche für Anrainer, das Ortsbild, die Gesundheit und Umwelt oft störend wirken. **Kostengesichtspunkte und Energieeffizienz allein genügen nicht, um eine fachlich geeignete Beleuchtungsanlage bzw. -technologie zu wählen.**²²

Regulierung von Lichtverschmutzung

Öffentliches Recht: Die künstliche Aufhellung der Umwelt und der Landschaft kann über das Tiroler Naturschutzgesetz (TNSchG) 2005, Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000, Tiroler Raumordnungsgesetz (TROG) 2016 und Tiroler Veranstaltungsgesetz (TVG) 2003 geregelt werden. Der Schutz vor störenden Lichtimmissionen spielt in der Gewerbeordnung 1994, Tiroler Bauordnung (TBO) 2018 und im TVG 2003 eine Rolle. Der Schutz des Ortsbildes findet im Tiroler Stadt- und Ortsbildschutzgesetz 2003, in der TBO 2018, im TVG 2003 sowie TROG 2016 Erwähnung.

Neben dem TNSchG 2005 wird das TROG 2016 als ein wertvolles Instrumentarium zur Eindämmung von Lichtverschmutzung gesehen. Eine nachhaltige räumliche Entwicklung, bodenschonendes Bauen und die Sicherung von Erholungsräumen im Nahbereich der Ortschaften sind erklärte Ziele. Eine frühzeitige Berücksichtigung von bspw. verträglichen Beleuchtungsvorgaben im Zuge der verpflichtenden Erstellung von *Örtlichen Raumordnungskonzepten* in den Tiroler Gemeinden, würde dem sorgsamem Umgang mit Kunstlicht entgegen kommen.

Die weitere rechtliche Verankerung im Sinne der Eindämmung von Lichtverschmutzung wäre wünschenswert. Eine Anpassung der einzelnen Materien-Gesetze erscheint dafür zweckmäßig.⁴¹

Leitfaden, Richtlinien und Normen: Insbesondere im öffentlichen Bereich können Planungs- und Realisierungsprozesse durch das strategische Bereitstellen von Informationen und Ressourcen gesteuert werden. Der Österreichische Leitfaden Außenbeleuchtung⁴² ist eine bundesländerübergreifende Hilfestellung für die Planung umweltfreundlicher Außenbeleuchtung.

Der GPP (Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and Traffic Signals) Leitfaden⁴³ richtet sich an öffentliche Verwaltungen aller EU Mitgliedstaaten. Ziel ist die umweltverträgliche Beschaffung von Straßenbeleuchtung und Verkehrssignalen. Anleitungen zur Vermeidung von Lichtverschmutzung finden Berücksichtigung.

Um Beeinträchtigungen von Verkehrsteilnehmern durch Kunstlicht zu vermeiden, beschreiben die RVS (Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen) 05.06.11 und 05.06.12⁴⁴ u.a. Grenzwerte und Kriterien.

Normen sind Empfehlungen, welche rechtlich bindend für Beleuchtungseinrichtungen vorgeschrieben werden können. In der ÖNORM O 1052²¹ werden Wege aufgezeigt, um zweckdienliches Licht zu erzeugen. Darin genannte Grenzwerte mindern störende Lichteinwirkungen auf den menschlichen Lebensraum und die Umwelt.

In Normen für die verschiedenen Beleuchtungszwecke (Straßen, Sportstätten⁴⁵ etc.) werden Mindeststandards bzw. Wartungswerte festgelegt, sie basieren auf Erfahrungswerten. Aus ökonomischen und ökologischen Gründen sollen diese Werte nicht überschritten werden.⁴⁶

Förderungen: Die Einhaltung sicherheitstechnischer Mindeststandards sowie Energieeffizienz sind oftmals die einzige Voraussetzung für die Auszahlung von Förderbeträgen für diverse Beleuchtungsanlagen. Maßnahmen zur Eindämmung von Lichtverschmutzung spielten bislang eine sehr untergeordnete Rolle. Hier wird Handlungsbedarf gesehen.

Fördergeber haben die Möglichkeit die o.g. Werke (Leitfäden, Normen und Richtlinien) aber auch die vorliegende Positionspapier-Reihe heranzuziehen und gleichwertige Förderkriterien, wie bspw. bedarfsorientierte Beleuchtung nach Verkehrsaufkommen sowie Verringerung der Lichtimmissionen in Wohnraum und Umwelt, zu entwickeln.²²

Weitere Informationen www.hellenot.org.

¹ Kyba CCM, Kuester T, de Miguel AS, Baugh K, Jechow A et al. (2017) Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances* 3(11) e1701528.

² Burkert FH (1995) Licht als Last. *Licht und Raum* 5:28-30.

³ Vgl. Böttcher M (2001) Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. Analyse, Inhalte, Defizite und Lösungsmöglichkeiten. BfN 67. Bundesamt für Naturschutz Bonn (Hrsg).

⁴ Gemäß § 1 Abs. 1 Tiroler Naturschutzgesetz 2005.

⁵ Nach § 24 Abs. 2 Tiroler Naturschutzgesetz 2005 dürfen alle in Tirol vorkommenden Fledermausarten nicht absichtlich gestört werden, insbesondere während Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten.

Gemäß § 26 Tiroler Naturschutzgesetz 2005 dürfen wild lebende, nicht jagbare Tiere (viele Vögel, Insekten etc.) in ihren Entwicklungsformen nicht absichtlich und grundlos beunruhigt, verfolgt oder vernichtet werden.

Nach § 5 Tiroler Naturschutzverordnung 2006 dürfen wild lebende, nicht jagbare Tiere der Anlage 6 (Igel, Schläfer, Eichhörnchen, Frösche, Kröten etc.) in ihren Entwicklungsformen nicht absichtlich und grundlos beunruhigt, verfolgt oder vernichtet werden und der Lebensraum nicht so behandelt werden, dass ihr weiterer Bestand unmöglich wird.

Nach § 42 Abs. 2 Tiroler Jagdgesetz 2004 darf auch jagbares Wild (Marder, Iltis, Dachs, Fuchs, Reh- und Rotwild etc.) nicht vorsätzlich beunruhigt werden. Die Eulen Uhu, Wald-, Raufuß- und Steinkauz gelten als jagbare Tiere, sind jedoch ganzjährig zu schonen und dürfen ebenfalls nicht beunruhigt werden.

⁶ Gemäß § 29 Abs. 5 Tiroler Naturschutzgesetz 2005.

⁷ Hänsch R, Könecke B, Pottharst M, Wukovitsch F (2013) Kosten und externe Effekte des künstlichen Lichts sowie Ansätze der ökonomischen Bewertung. Universitätsverlag der TU Berlin, BMBF-Verbundforschungsprojekt Verlust der Nacht (Hrsg.)

⁸ Heilig P (2018) Im Rampenlicht. *Concept Ophthalmologie* 2:29-30.

⁹ <https://research.arup.io/story/cities-for-girls> und <https://theconversation.com/more-lighting-alone-does-not-create-safer-cities-look-at-what-research-with-young-women-tells-us-113359>, abgerufen am 31. Jänner 2021.

¹⁰ Dass Kunstlicht nicht immer zu einem verbesserten Wohlbefinden führt, soll folgendes Beispiel zeigen: Auf einem einsamen, beleuchteten Weg am Rande der Ortschaft lässt es sich einfach fortbewegen. Als Benutzer des Weges ist man jedoch visuell im Lichtkegel gefangen. Während man selbst sehr gut gesehen wird, bleiben etwaige Beobachter im Dunkelbereich unsichtbar.

¹¹ Min J, Min K (2018) Outdoor Artificial Nighttime Light and Use of Hypnotic Medications in Older Adults: A Population-Based Cohort Study. *J Clin Sleep Med* 14(11):1903-1910.

Für eine ausreichende und regenerierende Nachtruhe ab 22:00 Uhr ist die Lichtexposition bestenfalls bis max. 20:00 Uhr zu begrenzen. Die Beeinflussung des menschlichen Körpers durch Kunstlicht in Raumlichtstärke reicht rund 90 Minuten über die letzte Lichtexposition hinaus.

Quelle: Gooley JJ, Chamberlain K, Smith KA, Khalsa SBS, Rajaratnam SMW et al. (2011) Exposure to Room Light before Bedtime Suppresses Melatonin Onset and Shortens Melatonin Duration in Humans. *J Clin Endocrinol Metab* 96:E463-E472.

¹² McFadden E, Jones ME, Schoemaker MJ, Ashworth A, Swerdlow AJ (2014) The Relationship Between Obesity and Exposure to Light at Night: Cross-Sectional Analyses of Over 100,000 Women in the Breakthrough Generations Study. *Am J Epidemiol* 180(3):245-250.

- ¹³ Obayashi K, Saeki K, Iwamoto J, Ikada Y, Kurumatani N (2014) Association between light exposure at night and nighttime blood pressure in the elderly independent of nocturnal urinary melatonin excretion. *Chronobiol Int* 31(6):779-786.
- ¹⁴ Spiegel K, Knutson K, Leproult R, Tasali E, van Cauter E (2005) Sleep loss: A novel risk factor for insulin resistance and Type 2 diabetes. *J Appl Physiol* 99(5):2008-19.
- ¹⁵ Obayashi K, Saeki K, Kurumatani N (2017) Bedroom Light Exposure at Night and the Incidence of Depressive Symptoms: A Longitudinal Study of the HEIJO-KYO Cohort. *Am J Epidemiol* 187(3):427-434.
- ¹⁶ Kloog I, Stevens RG, Haim A, Portnoy BA (2010) Nighttime light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide. *Cancer Causes Control* 21:2059-2068.
- Rybnikova NA, Haim A, Portnov BA (2017) Is prostate cancer incidence worldwide linked to artificial light at night exposures? Review of earlier findings and analysis of current trends. *Arch Environ Occup Heal* 72(2):111-122.
- Johns LE, Jones ME, Schoemaker MJ, McFadden E, Ashworth A et al. (2018) Domestic light at night and breast cancer risk: a prospective analysis of 105 000 UK women in the Generations Study. *Br J Cancer* 118(4):600-606.
- ¹⁷ Wu J, Seregard S, Alverve PV (2006) Photochemical damage of the retina. *Surv Ophthalmol* 51(5):461-481.
- ¹⁸ Ratnayake K, Payton JL, Lakmal OH, Karunaratne A (2018) Blue light excited retinal intercepts cellular signaling. *Sci Rep* 8(1):1-16.
- ¹⁹ Grubisic M, Haim A, Bhusal P, Dominoni DM, Gabriel KMA et al. (2019) Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates. *Sustainability* 11, 6400.
- ²⁰ Dominoni DM, Quetting M, Partecke J (2013) Long-term effects of chronic light pollution on seasonal functions of European blackbird (*Turdus merula*). *PLoS One* 8(12):1-9.
- ²¹ ÖNORM O 1052 Lichtimmissionen – Messung und Beurteilung (2016-06-01).
- ²² Vgl. Schroer S, Huggins B, Böttcher M, Hölker F (2019) Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen – Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung. BfN-Skripten 543. Bundesamt für Naturschutz Bonn (Hrsg).
- ²³ Huemer P, Kühtreiber H, Tarmann G (2011) Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten: Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol (Österreich). *Wiss Jb der TLM Innsbruck* 110-135. Studie im Auftrag der Tiroler Umwelthanwaltschaft.
- Huemer P, Kühtreiber H, Tarmann G (2011) Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten: Feldstudie 2011. Tiroler Landesmuseen Innsbruck. Studie im Auftrag der Tiroler Umwelthanwaltschaft.
- ²⁴ Longcore T, Rich C (2004) Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(4):191-198.
- ²⁵ Kunstlicht zieht Nachtinsekten aus ihren natürlichen Lebensräumen (*Staubsaugereffekt*). Die stärkste Anlockwirkung haben Emissionen im ultravioletten und kurzwelligen, sichtbaren Strahlungsbereich. Im Lichtkegel angekommen, werden die Tiere entweder inaktiv oder schwirren so lange herum, bis sie aus Erschöpfung umkommen oder zumindest erhebliche Energieverluste erleiden. Auch besteht die Gefahr, als leichte Beute zu enden.
- Verkürzt sich die Tageslänge im Winter, treten einige Insekten in die Diapause (Ruhezustand während der Entwicklung). Bereits geringe nächtliche Kunstlichtintensitäten verhindern den Übergang in die Diapause, die Überlebenschancen für den Winter sinken. Auch das Meiden beleuchteter Bereiche durch Nachtfalter sowie deren stark eingeschränktes Paarungsverhalten wurde beobachtet.
- Quellen: Briscoe AD, Chittka L (2001) The evolution of color vision in insects. *Ann Rev of Entomol* 46(1):471-510.
- Eisenbeis G (2006) Artificial Night Lighting and Insects: Attraction of Insects to Streetlamps in a Rural Setting in Germany. In: Rich C, Longcore T (Hrsg) *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press 281-304.

van Geffen KG, van Grunsven RHA, van Ruijven J, van Berendse F, Veenendaal EM (2014) Artificial light at night causes diapause inhibition and sex-specific life history changes in a moth. *Ecol Evol* 4(11):2082–2089.

van Geffen KG, van Eck E, de Boer RA, van Grunsven RHA, Salis L et al. (2015) Artificial light at night inhibits mating in a geometrid moth. *Insect Conserv and Div* 8(3):282–287.

²⁶ Rotkehlchen, Amseln, Kohl- und Blaumeisen beginnen in beleuchteten Lebensräumen früher im Jahr mit dem Morgengesang. Die Folge ist eine frühere Brut, Nahrungssuche und Entwicklung, was wiederum Fitness und Lebenserwartung der Tiere beeinträchtigen kann.

Kunstlicht beeinträchtigt Vögel während des Zuges. Die Anlockwirkung und Desorientierung führt zu erheblichen Energieverlusten und tödlichen Kollisionen.

Quellen: Da Silva A, Valcu M, Kempenaers B (2015) Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Phil Trans R Soc B Biol Sci* 370(1667):1-9.

Haupt H, Schillemeit U (2011) Lichtenanlagen bringen Zugvögel vom Kurs ab. *Natur und Landschaft* 43(6):165-170.

²⁷ Die Fledermausart Kleine Hufeisennase meidet künstlich beleuchtete Flugschneisen, welche ohne Beleuchtung zuvor genutzt wurden. Ein höherer Energieaufwand für längere Flüge zu den Jagdhabitaten wird befürchtet.

Beleuchtung bewirkt bei einer Wühlmaus-Art eine erhöhte Ausschüttung von Stresshormonen. Weder vermehrt sie sich bei Kunstlicht, noch stellt sie auf den Winterstoffwechsel um und erfriert in Folge.

Urbane Igel meiden beleuchtete Bereiche. Straßenbeleuchtung wird toleriert, wenn lineare Straßenstrukturen Orientierung für die Fortbewegung bieten.

Quellen: Stone EL, Jones G, Harris S (2009) Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Curr Biol* 19, 1123-1127.

Zubidat AE, Ben-Shlomo R, Haim A (2007) Thermoregulatory and endocrine responses to light pulses in short-day acclimated social voles (*Microtus socialis*). *Chronobiol Int* 24(2):269-288.

Schroer S, Weiß NS, Grubisic M, Manfrin A, von Grunsven RHA et al. (2019) Analyse der Auswirkungen künstlichen Lichts auf die Biodiversität. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 168. Bundesamt für Naturschutz Bonn (Hrsg).

²⁸ Erdkröten bevorzugen auf ihrer Wanderung zu Laichplätzen dunkle Passagen, Beleuchtung wirkt wie eine Barriere.

Quelle: van Grunsven RHA, Creemers R, Joosten K, Donners M, Veenendaal EM (2017) Behaviour of migrating toads under artificial lights differs from other phases of their life cycle. *Amph-Rept* 38(1):49-55.

²⁹ Junge Lachse werden von rotem Licht mit Lichtstärken von unter 1 lx angelockt. Für tagaktive Graureiher und Raubfische sind die Jungtiere einfache Beute.

Quelle: <https://www.knkx.org/post/light-pollution-identified-potential-issue-threatened-puget-sound-chinook-salmon>, abgerufen am 1. Februar 2021.

³⁰ Im Schutz der Nacht schwimmen tierische Kleinstlebewesen in Richtung Wasseroberfläche und ernähren sich dort von Algen. Tagsüber ist das Zooplankton in tieferen Gewässerschichten zu finden. Bereits Helligkeiten, die von Lichtglocken der Städte verursacht werden, unterdrücken den nächtlichen Aufstieg. Dies kann die Nahrungskette in Gewässern stören und zu häufiger Algenblüte führen.

Quelle: Moore M, Pierce SM, Walsh HM, Kvalvik SK, Lim JD (2000) Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *Verh Internat Verein Limnol* 27(1-4):779-782.

³¹ Nächtliches Kunstlicht unterdrückt die Blütenbildung und auch das Fotosynthesevermögen kann erlahmen, wahrscheinlich da den Zellen die Zeit zur Regeneration fehlt.

In künstlich beleuchteten Bereichen gehen Knospen von Bäumen um mehr als eine Woche früher auf, als in Gebieten, welche durch eine natürliche Himmelselligkeit geprägt sind. Der Effekt von städtischen Wärmeinseln wurde dabei herausgerechnet. Der frühe Austrieb kann zu Frostschäden und einer allgemeinen Schwächung der Pflanzen führen.

Quellen: Bennie J, Davies TW, Cruse D, Inger R, Gaston KJ (2015) Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem. *Phil Trans R Soc B* 370:20140131.

Kwak MJ, Je SM, Cheng HC, Seo SM, Park JH et al. (2018) Night Light-Adaptation Strategies for Photosynthetic Apparatus in Yellow-Poplar (*Liriodendron tulipifera*) Exposed to Artificial Night Lighting. *Forests* 9(2):74.

ffrench-Constant RH, Somers-Yeates R, Bennie J, Economou T, Hodgson D et al. (2016) Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. *Proc R Soc B* 283:20160813.

³² In einem durch Straßenleuchten aufgehellten Lebensraum werden auch tagsüber mehr räuberische und aasfressende Wirbellose gezählt als auf dunklen Vergleichsstandorten.

Quelle: Davies TW, Bennie J, Gaston KJ (2012) Street lighting changes the composition of invertebrate communities. *Biol Lett* 8(5):764-7.

³³ Beleuchtung reduziert nächtliche Bestäuber, in der Folge wurden weniger Früchte pro Pflanze gezählt.

Quelle: Knop E, Zoller L, Ryser R, Gerpe C, Hörler M et al. (2017) Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature* 548:206-209.

³⁴ Krop-Benesch A. (2019): Licht aus!? Lichtverschmutzung. Die unterschätzte Gefahr. Rowohlt Verlag, Hamburg.

³⁵ Hölker F, Moss T, Griefahn B et al. (2010) The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light. *Ecol Soc* 15(4):13.

³⁶ Huemer P (2009) Potentielle Auswirkungen der Beleuchtung des Nachtschibetriebes in Söll-Hochsöll auf nachtaktive Insekten. Studie der Tiroler Umweltschutzgesellschaft und der Berg- und Skilift Hochsöll.

³⁷ Wöbse HH (2001) Licht – ein Thema des Landschaftsbildes. In: Böttcher M (2001) Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. Analyse, Inhalte, Defizite und Lösungsmöglichkeiten. BfN 67. Bundesamt für Naturschutz Bonn-Bad Godesberg (Hrsg).

³⁸ Spillmann T (2002) LED – die neue Lichtquelle: Nahezu wartungsfreie Beleuchtung: Lichterzeugung im Rekombinationsprozess. *Technik am Bau* 4:83-86.

³⁹ Posch T (2010) Licht im Wandel der Zeiten. In: Posch T, Freyhoff A, Uhlmann T (Hrsg) Das Ende der Nacht. Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Wiley-Vch Verlag.

⁴⁰ Hartley D, Jurgens C, Zlatoff E (2009) Life Cycle Assessment of Streetlight Technologies. Mascaro Center for Sustainable Innovation, University of Pittsburgh.

Abdul Hadi S., Al Kaabi MR, Al Ali MO, Arafat HA (2013) Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of streetlight technologies for minor roads in United Arab Emirates. *Energy for Sustainable Development* 17(5):438-450.

⁴¹ Wagner E, Kerschner F, Donat M (2015) Lichtverschmutzung – Rechtliche Grundlagen und Vorschläge für eine Neuregelung. Schriftenreihe Umweltrecht und Umwelttechnikrecht 6, Trauner Verlag, JKU Linz. Studie im Auftrag der Oberösterreichischen Umweltschutzgesellschaft.

⁴² Bierbaum H, Donat M, Doppler W, Juhasz P, Heilig P et al. (2018) Österreichischer Leitfaden Außenbeleuchtung – Licht, das mehr nützt als stört. Ämter der Österreichischen Bundesländer und Magistrat der Stadt Wien (Hrsg).

⁴³ Donatello S, Quintero RR, Caldas MG, Wolf O, van Tichelen P et al. (2019) Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals. Publications Office of the European Union Luxembourg, EUR 29631 EN.

⁴⁴ RVS 05.06.11 Visuelle Störwirkungen – Kriterien zu Standorten von Informationsträgern (Dezember 2011).

RVS 05.06.12 Visuelle Informationsträger für verkehrsfremde Zwecke (Dezember 2019).

⁴⁵ ÖNORM EN 13201 Teil 2-5 (Teil 2 Gütemerkmale, Teil 3 Berechnung der Gütemerkmale, Teil 4 Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen, Teil 5 Energieeffizienzindikatoren).

ÖNORM EN 12193 Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung (2019-06-15).

⁴⁶ Betriebsgeräte für LED-Leuchtmittel mit CLO (Constant Lumen Output) dienen dazu, dem alterungsbedingten Lichtstromabfall des Systems entgegen zu wirken sowie die in der Norm festgehaltenen Wartungswerte nicht zu über- oder unterschreiten. Formel: $\text{Wartungswert} = \text{Neuwert} \cdot \text{CLO} \cdot \text{Nutzbrenndauer}$. Da der erforderliche Lichtstrom der Leuchte über die Lebensdauer konstant gehalten werden kann, tragen CLO-Betriebsgeräte wesentlich zur Verringerung der Lichtverschmutzung bei und reduzieren den Energieverbrauch. Aus diesen Gründen sind Betriebsgeräte mit CLO-Steuerung wichtige Bestandteile des Beleuchtungssystems.