

Lichtleitlinie

für den Einsatz künstlicher Beleuchtung
in der Wissenschaftsstadt Darmstadt



Wissenschaftsstadt
Darmstadt



Vorwort

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt steht für Forschung, Kunst, Kultur und Jugendstil. Daneben liegt die „Stadt im Wald“ an der Schnittstelle fünf verschiedener Naturräume. Aus dieser besonderen Lage ergeben sich inmitten des Rhein-Main-Gebiets wertvolle urbane Habitate für etliche Pflanzen- und Tierarten: von großzügigen Grünflächen über denkmalgeschützte Parkanlagen bis zu langgezogenen Alleen. Für den Arten-, Biotop- und Klimaschutz sowie den Erhalt des Erholungswerts resultiert daraus eine große Verantwortung.

Teil dieser Verantwortung ist ein intelligenter Einsatz künstlicher Beleuchtung. Zu viel, nicht bedarfsgerechte und falsch gesteuerte Beleuchtung führt zu einer unnötig starken Aufhellung des Nachthimmels. Die Folge: Menschen, Tiere und Pflanzen werden in ihrem natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus gestört, Lebensräume gefährdet, Verkehrsteilnehmende geblendet oder abgelenkt und viel Energie verbraucht. Demgemäß begreift die Wissenschaftsstadt Darmstadt die Reduzierung der „Lichtverschmutzung“ als eine zentrale Aufgabe zum Wohl von Flora, Fauna und Bevölkerung, die im Einklang mit den Bedarfen öffentlicher Sicherheit, insbesondere in deren Geschlechterperspektive, zu lösen ist.

Diese Lichtleitlinie dient als praktische Anleitung für die Planung städtischer Beleuchtung und bezieht sich auf Natur-, Arten- und Klimaschutz sowie die Gesundheit und Sicherheit der Darmstädterinnen und Darmstädter sowie deren Gäste. Sie liefert spezifische Empfehlungen für eine passende Beleuchtung an verschiedenen Orten im Stadtgebiet und im Außenbereich. Zudem bietet die Leitlinie detaillierte Informationen über die Auswirkungen künstlicher Beleuchtung auf Menschen, Tiere und Pflanzen.

Der Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt verfolgt mit dieser Lichtleitlinie das Ziel, die natürliche Dunkelheit der Nacht zu bewahren. Durch die Zusammenarbeit verschiedener Akteurinnen und Akteure soll sichergestellt werden, dass das Licht nur dann und dort eingesetzt wird, wo es nötig ist, mit der angemessenen Intensität und dem richtigen Spektrum. Dadurch können wir die nächtliche Landschaft wiederbeleben, nachtaktiven Tieren ihren Lebensraum zurückgeben und den Menschen ermöglichen, den Sternenhimmel sowie ihre wohlverdiente Erholung zu genießen.

In diesem Sinne verpflichten wir alle Ämter, Verwaltungseinheiten, Eigenbetriebe und städtischen Unternehmen der Wissenschaftsstadt Darmstadt, im Einklang mit dieser Lichtleitlinie zu handeln.

Mit freundlichen Grüßen



Michael Kolmer, Stadtrat



Paul Georg Wandrey, Stadtrat

Inhalt

	1 Öffentliche Beleuchtung: Eine Bestandsaufnahme	4
	2 Auswirkungen von Außenbeleuchtung	8
	Außenbeleuchtung und Sicherheit	9
	Außenbeleuchtung und der Verlust der nächtlichen Dunkelheit	16
	Außenbeleuchtung und Klimaschutz	26
	3 Gesetzliche und normative Grundlagen	30
	Gesetzliche Grundlagen	31
	Normative Grundlagen	34
	4 Technische Richtwerte für die öffentliche Beleuchtung	36
	Allgemeine Grundsätze	37
	Straßen-, Wege- und Platzbeleuchtung	42
	Städtische Liegenschaften	45
	Sensible Bereiche	50
	Vermeidung von Lichtimmissionen	57
	5 Monitoring und Evaluation	58
	Leuchtenkataster und Umrüstkfahrplan	59
	Auswirkungen der Lichtleitlinie für die öffentliche Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit	60
	Arbeitsgruppe (AG) Lichtleitlinie	62
	Weitere mögliche Maßnahmen	62
	6 Glossar	63
	7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	66
	8 Literaturverzeichnis	67



1 Öffentliche Beleuchtung: Eine Bestandsaufnahme



Foto: Adobe Stock/Michael

Öffentliche Beleuchtung erfüllt wichtige Aufgaben: Sie verbessert die Verkehrssicherheit, indem sie bessere Sichtverhältnisse für alle Verkehrsteilnehmenden in den Dunkelstunden schafft und erhöht das Sicherheitsempfinden im öffentlichen Raum.

Künstliche Beleuchtung wird meist positiv wahrgenommen, als angenehm und modern betrachtet. Sie macht uns unabhängig von Tageslicht und ermöglicht uns, unser Sehvermögen voll auszuschöpfen und soziale wie wirtschaftliche Aktivitäten jederzeit und fast überall durchzuführen (Schroer et al. 2019; Schröter-Schlaack et al. 2020).

Insbesondere durch die fortschreitende Umstellung auf LED-Beleuchtung ist künstliches Licht zu einem allgegenwärtigen und scheinbar unverzichtbaren Teil unseres Lebens im privaten und öffentlichen Raum geworden. Mit der gesteigerten Energieeffizienz der LED-Technologie können wir die Helligkeit im öffentlichen Raum kosteneffizient optimieren und Beleuchtung in zuvor unbeleuchteten Bereichen und zu neuen Zeiten einsetzen. Leider wird bei solchen Umrüstungen häufig lediglich darauf geachtet, maximale Ausleuchtung bei minimalem Energieverbrauch zu erzielen. Nicht zuletzt hat der Einsatz von Licht auch aus ästhetischen und darstellerischen Gründen in den vergangenen Jahren zugenommen (Schroer et al. 2019; BAFU 2021; Krop-Benesch 2023).

Diese Gewöhnung an viel Licht in der Nacht hat dazu beigetragen, dass wir die natürliche Dunkelheit als unverhältnismäßig fremd und beängstigend wahrnehmen, denn das menschliche Auge ist grundsätzlich gut an die Dunkelheit angepasst und kann in ihr sehen.



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Rößberg

Denkmäler wie das hier gezeigte Bismarckdenkmal werden bei der Beleuchtungsplanung mitgedacht

Die Schattenseiten von zu viel Licht

Die zunehmende Aufhellung der Nacht birgt verschiedene Probleme. Ein Übermaß an Licht kann beispielsweise im Straßenraum zu Blendung führen, was das Sicherheitsgefühl beeinträchtigt und eine Gefährdung im Verkehr nach sich ziehen kann (Brewig et al. 2011; Schröter-Schlaack et al. 2020). Zudem können viele helle, unkoordinierte Lichtquellen, insbesondere in der Nähe historischer Gebäude (siehe Foto Bismarckdenkmal), das ästhetische Erscheinungsbild einer Stadt stören (Schröter-Schlaack et al. 2020).

Starke Hell-Dunkel-Kontraste und Schattenwürfe durch intensive Beleuchtung schaffen „dunkle Ecken“. Unerwünschte Lichteinfälle in Wohn- und Schlafräume stören das psychische und physische Wohlempfinden von Menschen und begünstigen Krankheiten (Schroer et al. 2019; Schröter-Schlaack et al. 2020). Gelangt Licht in Bereiche, in denen keine Beleuchtung gewünscht ist, wird dies als unnötige Lichtemission bezeichnet (Brewig et al. 2011; BAFU 2021; Krop-Benesch 2023).

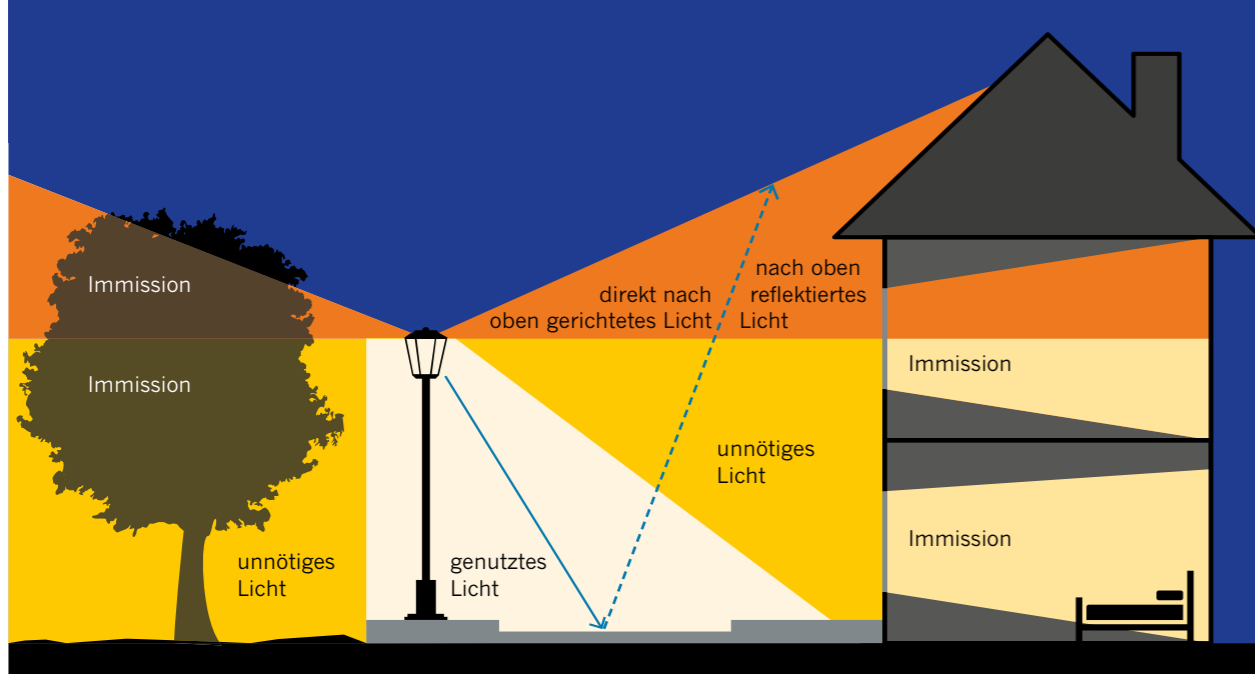


Abb. 01: Darstellung der intendierten und nichtintendierten Lichtemissionen einer Straßenbeleuchtungsanlage (verändert nach BAFU 2021)

Der Sternenhimmel ist als ältestes Weltkulturerbe der UNESCO ein schützenswertes Kulturgut (Seeger 2015). Sein Anblick vereint Ästhetik mit der Neugier auf Naturwissenschaften bei Kindern und Jugendlichen. Künstliches Licht erhellt durch Reflexion den Nachthimmel. Es entsteht über Städten eine regelrechte Lichtkuppel, die häufig aus über 100 Kilometer Entfernung noch zu sehen ist. Gleichzeitig sinkt die Anzahl der sichtbaren Sterne von etwa 5000 unter natürlichen Bedingungen auf ca. 400. In Darmstadt und Umgebung ist deswegen die Milchstraße nur noch schwach sichtbar.

Tieren wird die natürliche Nacht genommen

Neben den Auswirkungen auf den Menschen sind die ökologischen Folgen nächtlicher Beleuchtung von zentraler Bedeutung. Die Dunkelheit in der Nacht ist für viele Organismen lebensnotwendig und somit entscheidend für die Entwicklung und den Erhalt einer intakten Stadtnatur. Künstliches Licht, das als ein Faktor beim Insektensterben gilt, verändert auch die Raumnutzung von Igel und Fledermäusen, verändert auch die Aktivitätszeiten von Singvögeln, wirkt sich auf die Fortpflanzung von Fischen aus und hat Einfluss auf Nahrungsnetze sowie Ökosystemdienstleistungen (Schroer et al. 2019; Krop-Benesch 2023).

Die Effekte des künstlichen Lichts beschränken sich nicht nur auf urbane Gebiete. Lichtemissionen verändern über die Grenzen von Siedlungen hinaus die Helligkeit und beeinträchtigen die

Lebensräume von Tieren und Pflanzen (Kyba und Hölker 2013). Selbst in Gebieten des Darmstädter Umlands, die keine eigene Beleuchtung aufweisen, ist der Nachthimmel deutlich heller als unter natürlichen Bedingungen. Dies trifft ebenfalls auf Schutzgebiete zu.

Die rechtliche Seite

Das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) bezeichnet Licht als eine zu vermeidende schädliche Umwelteinwirkung. Gemäß der Novelle des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) von 2021 sollen Lichtemissionen reduziert werden, um Insekten zu schützen. Das im Jahr 2023 neu gefasste Hessische Naturschutzgesetz (HeNatG) betont den Schutz lichtempfindlicher Tier- und Pflanzenarten sowie Insekten in den § 4 und § 35 und ermächtigt Gemeinden, diesbezüglich Satzungen zu erlassen (§ 35 Abs. 7 HeNatG). Weiterhin sind Gemeinden gemäß § 7 HeNatG bei der Umsetzung der Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege in einer Vorbildfunktion.

Intelligente Lösungen anstreben

Bei der Lichtgestaltung müssen die gesundheitlichen, kulturellen und ökologischen Auswirkungen künstlichen Lichts berücksichtigt werden. Dies impliziert allerdings nicht den Verzicht auf Beleuchtung, sondern eine sorgfältige Abwägung unterschiedlicher Aspekte und eine harmonische Abstimmung der Lichtquellen. Die Lichtleitlinie der Wissenschaftsstadt Darmstadt zielt darauf ab, die abendliche und nächtliche Beleuchtung gemäß aktueller Erkenntnisse und

technischer Möglichkeiten zu optimieren. Das Ziel ist, ein Gleichgewicht zwischen Sicherheit, Ästhetik, Gesundheit, Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit und Artenschutz zu schaffen, um die Lebensqualität in Darmstadt zu verbessern.

Die Lichtleitlinie enthält Maßnahmen zur Reduktion von Lichtimmissionen durch öffentliche Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit und dient als Planungsgrundlage für städtische Verwaltungseinheiten bei neuen Installationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung. Sie gibt Empfehlungen für existierende Beleuchtungssysteme und fungiert als Leitfaden für Betreiber und Betreiberinnen von Beleuchtungsanlagen im Auftrag der Wissenschaftsstadt Darmstadt. Dies umfasst alle öffentlichen Beleuchtungsanlagen der Straßen- und Wegbeleuchtung, Beleuchtungsanlagen städtischer Liegenschaften, Gebäude und Eigenbetriebe sowie Anlagen, die mittels Finanzierung aus Förderprogrammen installiert und betrieben werden. Die Richtlinien finden auch verbindliche Anwendung in zukünftigen Bebauungsplänen, Baugenehmigungsverfahren und Ausschreibungen.



Der Begriff „Lichtverschmutzung“

Lichtverschmutzung beschreibt die störenden Auswirkungen künstlicher Beleuchtung. Hierzu gehört jede Art von Licht, das über den eigentlichen Zweck der Beleuchtung hinausgeht und unbeabsichtigt die Umgebung erhellt, sei es durch seine Dauer, räumliche Ausdehnung, Intensität oder spektrale Zusammensetzung (Schröter-Schlag 2020; Krop-Benesch 2023). Aufgrund der vielfältigen negativen Auswirkungen von Lichtverschmutzung und der Gesetzgebung ist deren Bekämpfung auch eine kommunale Pflichtaufgabe.

Ziele und Nutzen der Lichtleitlinie auf einen Blick

- **Nachhaltige Beleuchtungsgestaltung:** Gestaltung einer umweltfreundlichen, bedarfsorientierten und blendfreien öffentlichen Beleuchtung, die den kommunalen Verantwortlichkeiten entspricht.
- **Energieeinsparung und Umweltschutz:** Fokussierung auf Energieeffizienz und Ressourcenschonung zum Schutz der Natur und zur Erhaltung der Artenvielfalt.
- **Sicherheit und Gesundheitsschutz:** Gewährleistung der Sicherheit im öffentlichen Raum und Schutz der menschlichen Gesundheit durch optimierte Lichtverhältnisse.
- **Ästhetik und Kulturerhalt:** Verbesserung des nächtlichen Landschafts- und Stadtbilds sowie Bewahrung des Sternenhimmels als wertvolles Kulturgut.
- **Bewusstseinsbildung zur Lichtverschmutzung:** Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Problematik der Lichtverschmutzung und deren Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.

Die Lichtleitlinie konkretisiert die bundes- und landesweiten Bestimmungen mit spezifischen Regelungen zur Minimierung störender oder umweltschädigender Lichtemissionen, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Sie berücksichtigt, dass Maßnahmen für spezielle Einzelfälle möglicherweise nicht umfassend behandelt werden können. Die Verantwortung für die detaillierte Beleuchtungsplanung sowie für rechtliche und naturschutzbezogene Angelegenheiten liegt jeweils bei der zuständigen Verwaltungsstelle. Bei Bedarf wird die Expertise weiterer Verwaltungseinheiten, relevanter Beteiligter oder Fachbüros eingeholt.



Auswirkungen von Außenbeleuchtung



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Außenbeleuchtung und Sicherheit

Außenbeleuchtung unterstützt die visuelle Wahrnehmung des Menschen und ermöglicht es, auch nach Einbruch der Dunkelheit ohne oder mit geringer Adaption des Auges sehen zu können. Ihre Wirkung hängt nicht nur von der Helligkeit ab: Verschiedene Lichtfarben beeinflussen menschliche Aktivität und Wohlbefinden, sodass angemessene Außenbeleuchtung eine gute Orientierung, sichere Fortbewegung und angstfreie Teilnahme am öffentlichen Leben in den Dunkelstunden gewährleistet.

Kontrast- und Störeffekte vermeiden

Beim Übergang von sehr hell beleuchteten Bereichen, wie Straßen, Plätze oder Gebäude, in weniger stark beleuchtete Bereiche, etwa Parks, erscheinen diese bis zur Anpassung des Auges zunächst extrem dunkel. Schattenwurf, beispielsweise durch Bäume oder größere Gebäude, kann weitere schlecht einsehbare Bereiche schaffen. Daher sollte bei der Lichtplanung das Umfeld berücksichtigt und das Beleuchtungsniveau zur besseren Dunkeladaption abgesenkt werden.

Neben der objektiv messbaren physiologischen Blendung gibt es auch die psychologische Blendung durch helle Lichtquellen, die als störend oder belästigend bei Ruhe, Entspannung oder Freizeitaktivitäten wahrgenommen wird. Blinkendes Licht wird dabei als störender empfunden als konstantes Licht (Brewig et al. 2011). Häufige Blendungsquellen sind Schaufenster- und Objektbeleuchtungen, Leuchtreklamen, schlecht abgeschirmte Straßenleuchten sowie Lichtquellen von Parkplätzen und Freizeitanlagen. Zur Vermeidung von Blendung sollten solche Lichtquellen an die Umgebungshelligkeit angepasst, adäquat abgeschirmt oder vermieden werden (Schroer et al. 2020).

Öffentliche Sicherheit

Die Beziehung zwischen Helligkeit bzw. Dunkelheit und Kriminalitätsraten im öffentlichen Raum wird in der Forschung kontrovers diskutiert. Die Kausalität zwischen Lichtintensität und registrierten Straftaten konnte bisher nicht eindeutig belegt werden, da die Faktoren, die zu einer Straftat führen oder diese verhindern, komplex sind. In manchen Fällen kann künstliches Licht sogar Straftaten wie Überfälle, Diebstahl oder Einbruch erleichtern (Mosser 2007; Marchant 2010; Krause 2013; Steinbach et al. 2015; Schröter-Schlaack et al. 2020).



Sicherheitsempfinden in Darmstadt

In der KOMPASS-Bürgerumfrage 2022 berichteten Darmstädter*innen, dass sie sich an bestimmten Orten in Darmstadt unsicher fühlen. Neben einzelnen Stadtvierteln, dem Hauptbahnhof, Unterführungen und Parkhäusern sowie dem ÖPNV wurden vor allem bestimmte Straßen und Plätze (52 %) sowie Parks und Grünanlagen (20 %) als unsicher empfunden, besonders in den Abendstunden. Allerdings: Bei der Einschätzung der dringlichsten Probleme in Darmstadt bezogen sich 21,5 % auf Ordnung und Sicherheit, wobei nur 8,4 % bessere Beleuchtung als Lösungsvorschlag nannten.

Im Darmstädter Frauenbarometer Sicherheit 2004 wurden hingegen ausschließlich Frauen befragt. Dort ergibt sich ein anderes, geschlechtsspezifisches Bild, bei dem 56 % der befragten Frauen eine ausreichende und bessere Beleuchtung als wichtigste Maßnahme benennen.



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Durch die hellweiße Beleuchtung entsteht ein Bühneneffekt im Park und die angrenzenden Bereiche des Parks sind durch den starken hell-dunkel Kontrast nicht mehr einsehbar

Während die objektive Sicherheit durch Beleuchtung nicht eindeutig belegt ist, zeigt sich klar, dass Dunkelheit das subjektive Sicherheitsempfinden beeinflusst und zur Wahrnehmung von Angsträumen beiträgt (Afanou und Löw 2004; FGS Berlin 2010; Knight 2010; Krause 2013; Schröter-Schlaack et al. 2020). Als Angsträume werden meist Unterführungen, Grünanlagen, menschenleere Straßen, Plätze, Verbindungswege, Haltestellen und Bahnhöfe wahrgenommen. Neben Dunkelheit beeinflussen auch soziale, soziokulturelle und räumliche Faktoren wie unbelebte, schlecht einsehbare oder ungepflegte Räume das Sicherheitsgefühl.

Kriminalstatistiken zeigen, dass Angsträume keine typischen Tatorte sind. Trotzdem ist das Unsicherheitsgefühl bei Dunkelheit ernst zu nehmen, da es dazu führt, dass vor allem Frauen diese Orte meiden oder nicht mehr zu Fuß begehen. Beleuchtung kann daher ein Baustein zur Verbesserung des individuellen Sicherheitsgefühls und der tatsächlichen Sicherheit im Stadtgebiet sein. Kommunen können

Beleuchtungen zur Steigerung der Sicherheit im öffentlichen Raum einsetzen, sind jedoch nicht dazu verpflichtet (Schroer et al. 2019). Vor der Installation sollte eine umfassende Analyse des Angstraums und aller angstfördernden Faktoren erfolgen, um die tatsächliche Notwendigkeit der Beleuchtung zu prüfen (Schroer et al. 2019). Mit der Berücksichtigung des geschlechtsspezifischen Aspektes kommt die Wissenschaftsstadt Darmstadt ihrer Selbstverpflichtung nach, die sie 2015 mit dem Beitritt zur Europäischen Charta zur Gleichberechtigung von Frauen und Männern auf lokaler Ebene (insb. Artikel 21 „Sicherheit“) eingegangen ist.

Dezentes Licht für eine klare Orientierung

Wird entschieden, dass sicherheitsorientierte Beleuchtung notwendig ist, sollte diese primär der Orientierung dienen. Sie sollte Wegführung, Sichtachsen, Zielpunkte, Anlaufstellen und Fluchtmöglichkeiten gut erkennbar machen. Eine gleichmäßige, dezente Beleuchtung mit guter Farbwiedergabe und wenig Hell-Dunkel-Kontrasten ist dabei dienlich. Sie ermöglicht das frühzeitige Erkennen von Objekten und Personen sowie deren Absichten und erhöht die Chance auf rechtzeitiges Reagieren. Zudem fühlen sich Menschen bei warmen Lichtfarben generell wohler und sicherer (BAFU 2021).

Dunkelzonen und Blendung durch falsch installierte oder zu helle Lichtquellen sind unbedingt zu vermeiden, da eine ständige Irritation der Augen die Wahrnehmung beeinträchtigt. Zu viel Licht kann einen sogenannten Bühnen- oder Tunnelleffekt erzeugen, wodurch Personen auf beleuchteten Wegen gut sichtbar sind, das Umfeld oder angrenzende Wege jedoch im Verborgenen bleiben und schlecht einsehbar sind.

Mehr Licht führt also nicht zwangsläufig zu mehr Sicherheit. Der Einsatz künstlicher Beleuchtung im öffentlichen Raum sollte stets nach einer umfassenden räumlichen Beleuchtungsplanung erfolgen, die auch geschlechterspezifische Aspekte berücksichtigt. Wird dies nicht berücksichtigt, kann eine Erhöhung der Lichtmenge zu einer Verringerung des Sicherheitsgefühls im öffentlichen Raum führen.

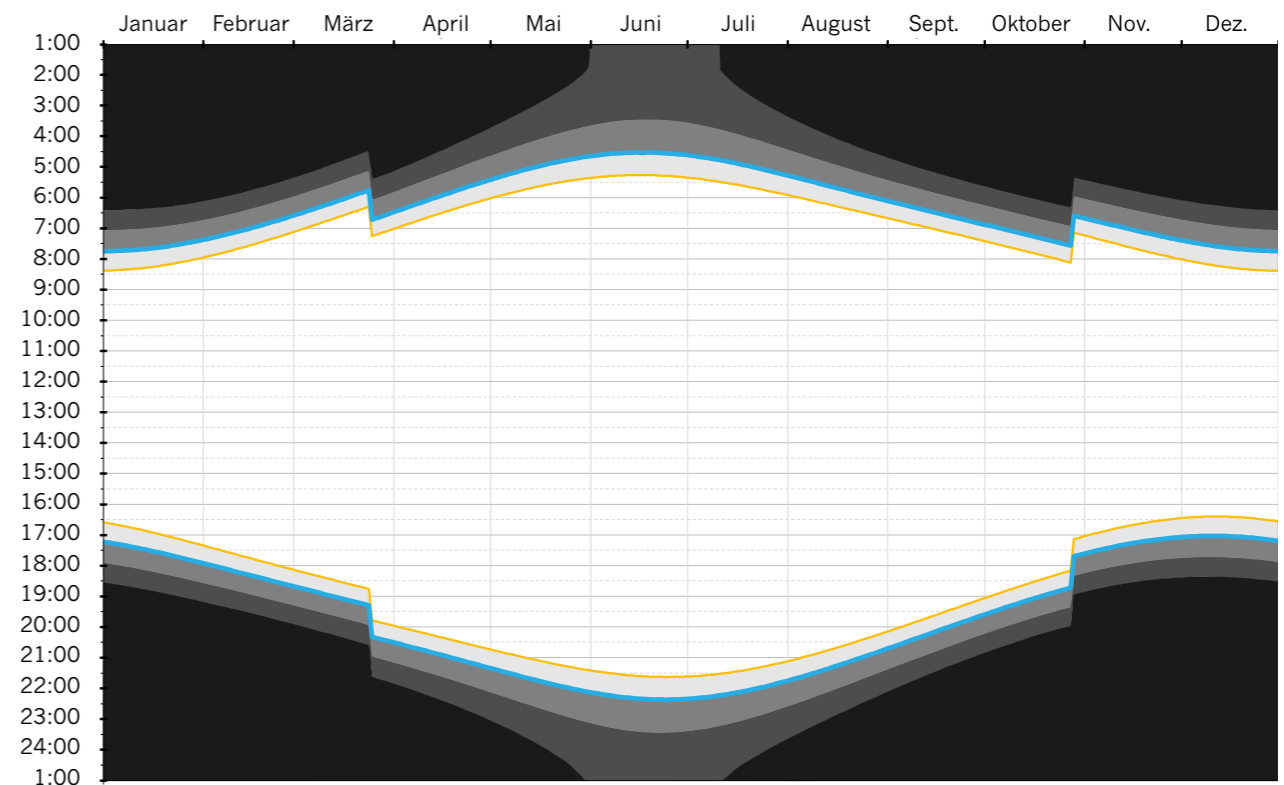


Abb. 02: Tag-, Dämmerungs- und Nachtstunden für Darmstadt

Schwarz = maximale Dunkelheit, weiß = Tag, gelb = Sonnenaufgang bzw. -untergang, dunkelgrau = astronomische Morgen- bzw. Abenddämmerung (bis zur maximalen Dunkelheit), hellgrau = nautische Morgen- bzw. Abenddämmerung (Horizont aber auch einige Sterne noch/schon sichtbar), blau = Beginn/Ende der zivilen Abend- bzw. Morgendämmerung (Lesen ohne zusätzliche Lichtquelle möglich) (Werte für 2022, Darstellung Roßberg 2023)

Sicherheit im Straßenverkehr

Öffentliche Beleuchtung wurde eingeführt, um die Orientierung zu verbessern und das Gefühl der Sicherheit zu erhöhen. Mit der Zunahme des motorisierten Verkehrs ist die Beleuchtung von Straßen, Wegen und Plätzen zu einem wichtigen Faktor der Verkehrssicherheit geworden. Bei Dunkelheit fällt es schwerer, komplexe Verkehrssituationen zu meistern, Geschwindigkeitsunterschiede zu erkennen und auf unerwartete Gefahren zu reagieren (Schröter-Schlaack et al. 2020). Die öffentliche Beleuchtung dient deswegen auch dazu, Objekte und Personen während der Dämmerungs- und Dunkelstunden sichtbar zu machen und damit zur Steigerung der Verkehrssicherheit beizutragen.

Nächtliche Unfälle werden jedoch neben dem verminderten Sehvermögen auch durch Faktoren wie hohe Geschwindigkeiten bei niedrigem Verkehrsaufkommen, Müdigkeit, Alkohol- oder Drogeneinfluss und unerfahrene Kraftfahrerinnen und Kraftfahrer begünstigt (FGS Berlin 2010). Eine Zuordnung der allgemein registrierten Verkehrsunfälle in der Wissenschaftsstadt Darmstadt zu den Kategorien Tages-, Dämmerungs- und Nachtstunden zeigt, dass sich im Jahr 2022 ein Großteil der Unfälle bei Tageslicht ereignete, sowohl in Sommer- als auch in Wintermonaten. Konkret wurden im Jahr 2022 in der Wissenschaftsstadt Darmstadt 78,45 % der Verkehrsunfälle tagsüber, 9,14 % in der Dämmerung und 12,42 % nachts registriert.

Dieses Verhältnis zeigt sich auch bei Unfällen mit Personenschaden. Das Ergebnis spiegelt die Verteilung der bundesweit registrierten Verkehrsunfälle im Tag-/Nachtverlauf wider, wobei dort nur bei 0,03 % der Verkehrsunfälle mit Personenschaden mangelnde Straßenbeleuchtung die Ursache war (DeStatis 2023).

In der Wissenschaftsstadt Darmstadt führten nächtliche Unfälle außerdem anteilig zu weniger Verletzten, insbesondere Schwerverletzten.

Präzise Analyse unabdingbar

Eine Berliner Studie zeigt, dass eine bloße Erhöhung der Beleuchtungsstärke nicht zielführend ist, da kein signifikanter Zusammenhang zwischen Unfällen mit Personenschaden und Beleuchtungsstärke besteht. Stattdessen sollte die Beleuchtungsplanung problemorientiert erfolgen (FGS 2010). Auch eine Studie von Steinbach et al. (2015) aus England und Wales ergab, dass weder die Abschaltung oder das Dimmen von Straßenbeleuchtung noch der Wechsel zu weißerem LED-Licht mit besserem Farbwiedergabeindex einen Einfluss auf die Anzahl von Verkehrsunfällen hatte.

Um das Verhältnis zwischen Sicherheit im Straßenverkehr und der Notwendigkeit von Beleuchtung abschließend für die Wissenschaftsstadt Darmstadt beurteilen zu können, ist eine detaillierte Analyse der Unfallorte erforderlich. Hierbei sollten Faktoren für eine Beleuchtungssituation wie Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, Beleuchtungsstärke, Beleuchtungsdichte und Blendung, sowie das Verkehrsaufkommen während der Dunkelstunden berücksichtigt werden. Auf Basis dieser Analyse lassen sich potenzielle Gefahren- und Konfliktpunkte identifizieren und georeferenzieren. Dies ermöglicht eine gezielte, ortsspezifische und angemessene Planung des Lichteinsatzes.

Für Unfälle in der Dämmerung und Nacht ist nur selten eine fehlende Straßenbeleuchtung der Grund.



Foto: Adobe Stock/Alhnesa

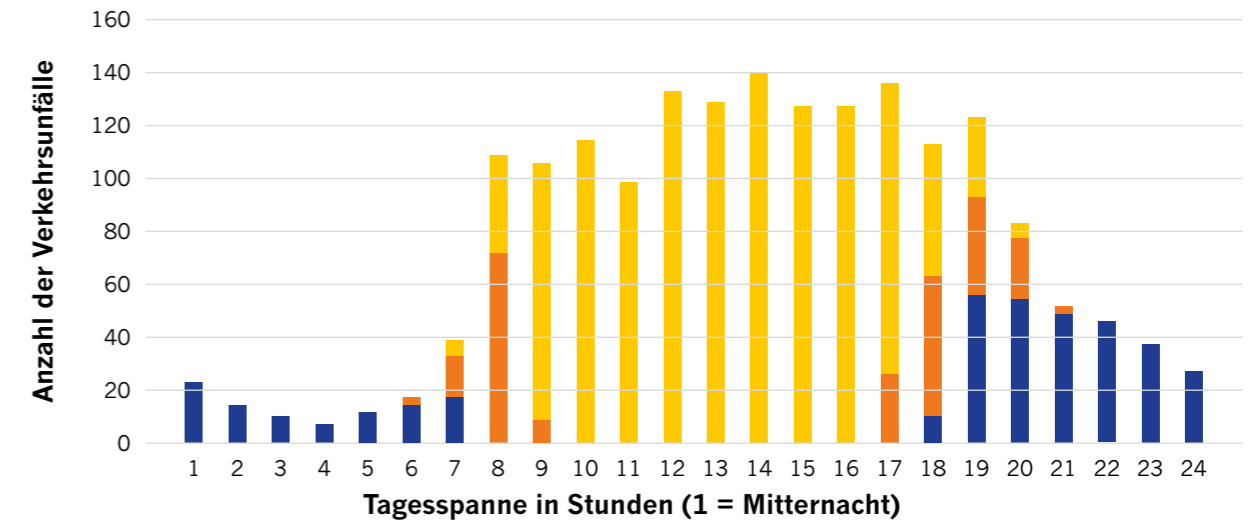


Abb. 03: Anzahl der Verkehrsunfälle im Tagesverlauf in Darmstadt nach Lichtverhältnissen in den Wintermonaten Januar-März und Oktober-Dezember 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

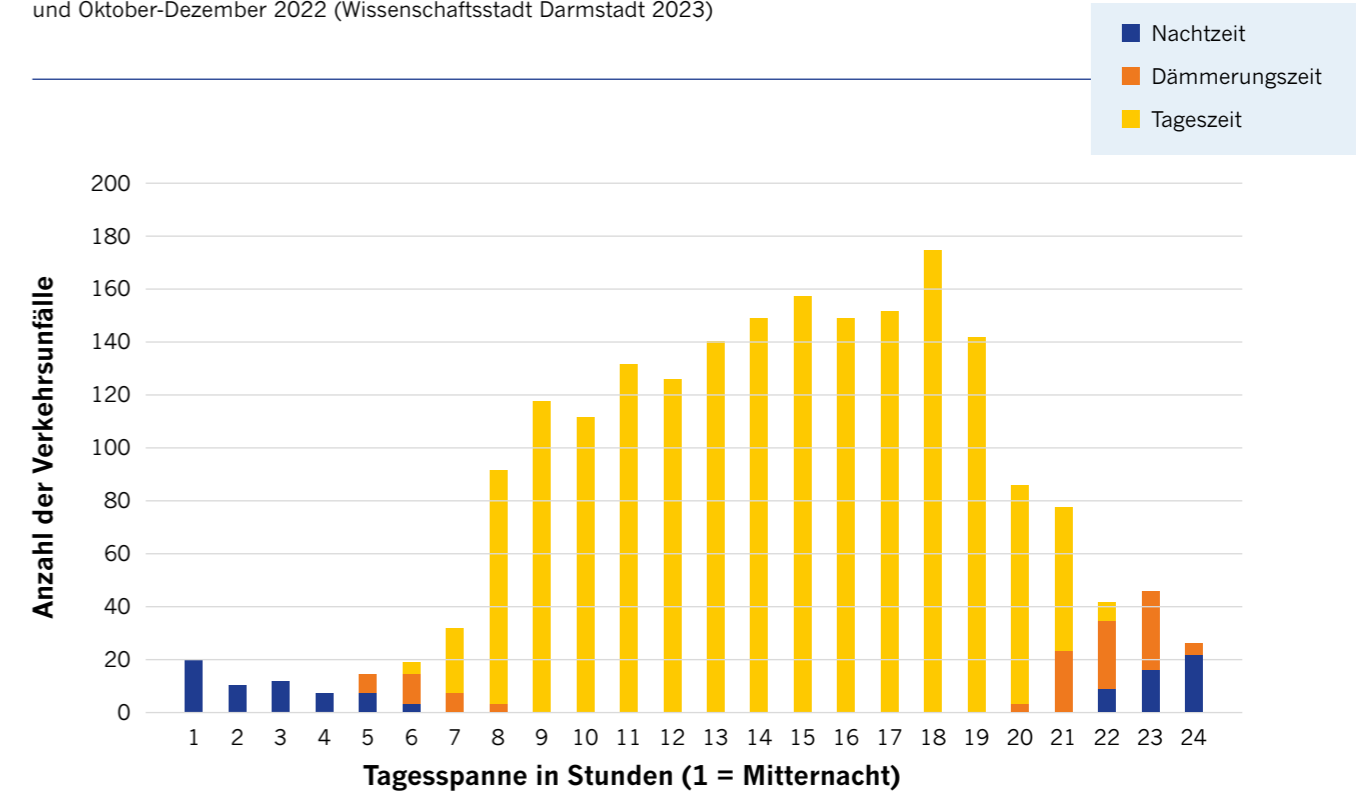


Abb. 04: Anzahl der Verkehrsunfälle im Tagesverlauf in Darmstadt nach Lichtverhältnissen in den Sommermonaten April-September 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)



Außenbeleuchtung und der Verlust der nächtlichen Dunkelheit

Die Erhellung unserer Nächte nimmt zu: An Bord von Erdbeobachtungssatelliten befindet sich das Instrument „Visible Infrared Imaging Radiometer Suite“ (VIIRS). Es erzeugt verschiedene Bilder der Erde. Eines ist das sogenannte Day-Night-Band (Tag-Nacht-Band) über das von 2012 bis 2016 weltweit ein Zuwachs der Helligkeit von durchschnittlich 2,2% pro Jahr gemessen wurde. Die VIIRS-Satelliten erfassen allerdings nur das Licht, das vom Weltraum aus sichtbar ist. Die Messung erfolgt außerdem lediglich in einem Wellenlängenbereich von 500 bis 900 nm. Hierdurch bleibt die Zunahme der Helligkeit im blauen Spektralbereich unberücksichtigt, also insbesondere solche LED-Leuchten, die Licht über 2.700 K erzeugen.

Aber auch beim Blick von der Erde in den Welt- raum zeigt sich eine stärkere Erhellung des Nachthimmels: Zwischen 2011 und 2022 nahm die Sichtbarkeit der Sterne weltweit um durchschnittlich 9,6 % pro Jahr ab (Kyba et al. 2023). Das Licht der Städte wird in der Atmosphäre gestreut und erzeugt über Kilometer hinweg den sogenannten Skyglow, der den Blick auf die Sterne verschleiert. Als Konsequenz können 60 % der in Europa lebenden Menschen die Milch- straße nicht mehr sehen. Sie haben damit keinen Zugang mehr zum ältesten Weltkulturerbe (Falchi et al. 2016). In den Städten haben sich viele Menschen bereits damit abgefunden, nur noch die hellsten Sterne zu sehen. Ein Verzicht auf Dunkelheit in den Städten und ihrer Um- gebung hat jedoch nicht nur kulturelle, sondern auch vielfältige ökologische und gesundheitli- che Folgen, wie die nächsten Kapitel darstellen werden.

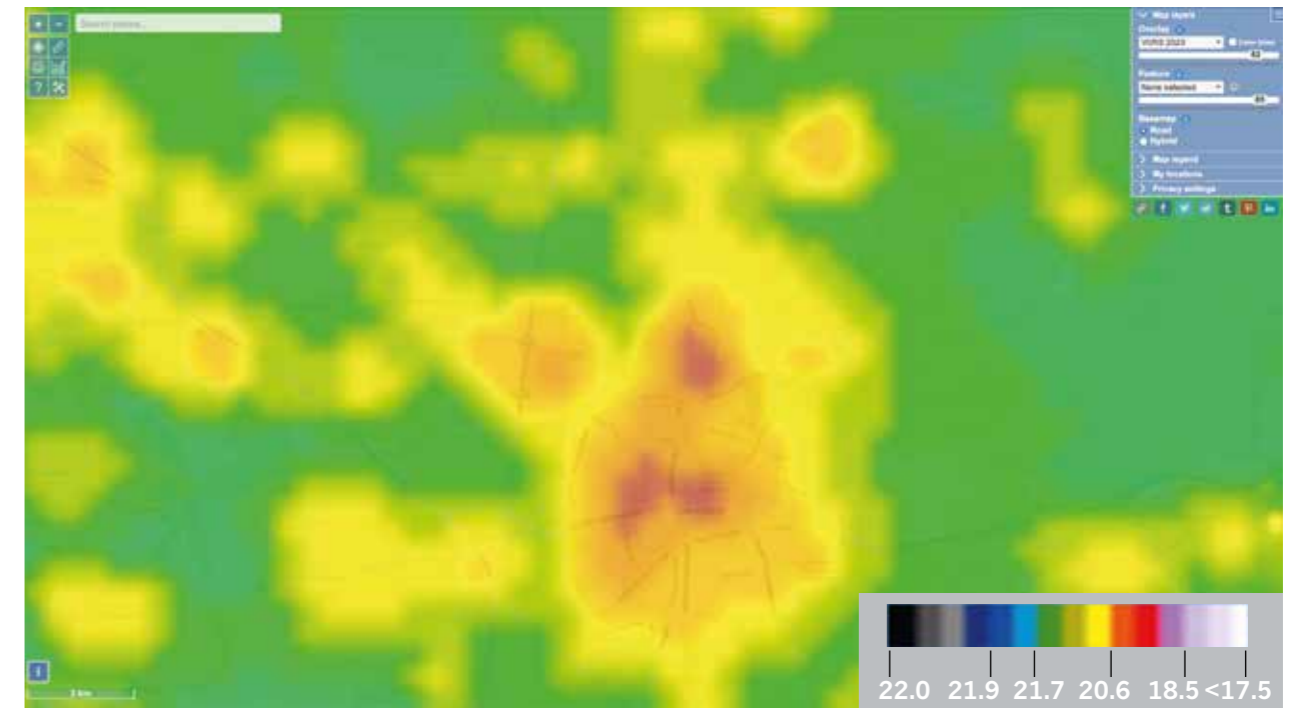


Abb. 05: Himmelshelligkeit über der Stadt Darmstadt und Umgebung in mag/arcsec² (gefilterte Ansicht aus lightpollution-map.info). In rot und orange sind die starken Erhellungen des Himmels über der Innenstadt Merck im Norden und die Fair Baustelle sind deutlich zu erkennen. Weitere Erläuterungen siehe Kasten.

Die Erhellung der Nächte nimmt zu und die Sichtbarkeit von Sternen schwindet vielerorts.

Foto: Adobe Stock/luchschentF

Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Die menschliche Physiologie ist dem rhythmischen Wechsel von Tag und Nacht angepasst und reagiert damit auf das Auftreten und Ausbleiben von Licht. Diese Anpassung ermöglicht erholsame Ruhephasen in der Dunkelheit und trägt zur Aufrechterhaltung von Schlaf, Gesundheit und Leistungsfähigkeit bei (Schröter-Schlaack 2020; Krop-Benesch 2023).

Licht mit einem hohen Blauanteil im Wellenspektrum spielt bei den genetisch bedingten, mit der Außenwelt synchronisierten Rhythmen eine besondere Rolle, da es die Produktion von Melatonin unterdrückt. Das Hormon ist für die Steuerung physiologischer Prozesse verantwortlich und wird nur bei Dunkelheit produziert. Störungen in der Melatoninproduktion können zu verschiedenen Erkrankungen wie psychischen Störungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes sowie Brust- und Prostatakrebs beitragen. Daher stellt sich die Frage, ob Lichtverschmutzung in Städten ebenfalls zu Gesundheitsschäden führen kann.



Die Einheit mag/arcsec²

Die Magnitude pro Quadratbogensekunde ist ein Maß zur Bewertung der Himmelshelligkeit. Je niedriger der Wert, desto stärker die Lichtverschmutzung über der betreffenden Lokalität. Ein natürlich dunkler Nachthimmel liefert den Maximalwert von 22 mag/arcsec².



Lichtverschmutzung forciert mutmaßlich Erkrankungen

Tatsächlich deuten weltweit epidemiologische Studien darauf hin, dass in hell beleuchteten Gebieten vermehrt Schlafstörungen, mentales Unwohlsein und psychische Erkrankungen wie Depressionen auftreten (Koo et al. 2016; Franklin et al. 2020; Paksarian et al. 2020; Gabinet und Portnov 2021). Zudem besteht eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Adipositas (McFadden et al. 2014; Koo et al. 2016; Park et al. 2019; Li-Zi Lin et al. 2022), Diabetes (Zheng et al. 2022) und Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Obayashi et al. 2014; Lane et al. 2017; Sun et al. 2021). Besonders intensiv wird der Zusammenhang zwischen der Helligkeit einer Region und der Häufigkeit von Brust- und Prostatakrebs diskutiert (James et al. 2017; Kim et al. 2017; Rybnikova et al. 2017; Garcia-Saenz et al. 2018; Rybnikova und Portnov 2018; Lamphar et al. 2022).



Lärm als „Vorbild“ für Licht

Chronischer Stress kann das Immunsystem schwächen und erhöht das Risiko für Diabetes (Münzel et al. 2021); ein Zusammenhang, der für Lärm bereits gut erforscht ist, für Licht noch am Anfang steht. Richtwerte für Lichtimmissionen in Wohnräumen existieren jedoch im Rahmen des Immissionsschutzes bereits (LAI 2012).

Es bleibt jedoch unklar, ob Licht direkt ursächlich für diese Erkrankungen ist oder lediglich ein Nebeneffekt des urbanen Lebens darstellt. Grundsätzlich treten alle genannten Krankheiten häufiger bei Menschen mit gestörter Melatoninproduktion auf, vor allem bei Schichtarbeitenden. Laborstudien haben kausale Verbindungen zwischen nächtlichem Licht und einigen der genannten Erkrankungen nachgewiesen, allerdings bei höheren Helligkeiten, als sie in deutschen Schlafzimmern zu erwarten sind. Solange wir uns jedoch im Außenraum befinden, erfahren wir Helligkeiten, die durchaus die Melatoninproduktion reduzieren können (Phillips et al. 2019). Dadurch beginnt die Melatoninproduktion später in der Nacht, wir schlafen später ein und produzieren insgesamt weniger Melatonin. Die Stärke dieses Einflusses ist momentan jedoch kaum einzuschätzen.

In urbanen Räumen dringt nicht nur Straßenbeleuchtung in die Wohnräume ein, sondern auch Lichtemission durch gewerbliche, dekorative und private Beleuchtung. Selbst wenn die Außenbeleuchtung die Melatoninproduktion nicht direkt reduziert, kann sie die Schlafqualität beeinträchtigen und als Eingriff in die Privatsphäre oder Verschlechterung des Wohnumfelds wahrgenommen werden. Durch Außenbeleuchtung empfundener Stress wirkt sich potenziell auf die Gesundheit aus. So kann bei älteren Menschen bereits gedämpfte Beleuchtung im Schlafzimmer einen Blutdruckanstieg auslösen, der das Risiko eines Herzinfarkts langfristig erhöht, ohne dabei die Melatoninproduktion zu beeinflussen (Obayashi et al. 2014).



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Wenn Außenbeleuchtung Wohnräume erhellt, kann dies Stress und negative Auswirkungen für die Gesundheit bewirken

Stress und Ärger können Schlafstörungen auslösen, die bisweilen zu vermehrter Nutzung von Innenbeleuchtung und nächtlicher Nahrungsaufnahme führen (Brown et al. 2022). Langfristig erhöhen Schlafstörungen das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Übergewicht und Diabetes (Atrooz und Salim 2020). Laut Berechnungen des RAND-Instituts verringert Schlafmangel die Lebenserwartung um bis zu 13 % (Hafner et al. 2016). Stressbedingte Schlafstörungen können also bereits einen Teil der erhöhten Gesundheitsrisiken erklären, selbst wenn das Licht nicht hell genug ist, um die Melatoninproduktion zu reduzieren.

Die aktuelle Studienlage deutet nicht darauf hin, dass die Beleuchtung von Innenstädten alleinige Ursache schwerwiegender Gesundheitsprobleme ist. Dennoch kommt ein Gutachten für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag zu dem Schluss, dass es wissenschaftliche Hinweise zur Gesundheitsschädigung durch Lichtverschmutzung gibt (Kantermann 2018).



Umfassenden Lichtschutz garantieren

Im Sinne des Wohlbefindens der Anwohnerinnen und Anwohner sollten in Wohngebieten unnötige Lichtemissionen vermieden werden. Dies kann durch angemessene Beleuchtungsstärken mit Nachtabsenkungen oder Abschaltungen, die Abschirmung von Wohn- und insbesondere Schlafbereichen sowie die Regulierung gewerblicher und dekorativer Beleuchtung erreicht werden.



Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen und Ökosysteme

Bei der Betrachtung von Lebensräumen stehen nicht nur landschaftsökologische Aspekte im Fokus, sondern auch die Funktion zeitlicher Abläufe. Ein besonders variabler abiotischer Faktor ist die Helligkeit, die sich im Tagesverlauf stark verändert. Nur wenige Organismen können die gesamte Bandbreite der Lichtverhältnisse nutzen. Stattdessen ist die Physiologie fast aller Organismen mit dem Tag-Nacht-Wechsel synchronisiert.

Die Wahrnehmung von Licht und das Verhalten von Tieren sind an unterschiedliche Lichtverhältnisse angepasst, was zu artspezifischen Aktivitätszeiten führt. Der rhythmische Wechsel von Tag und Nacht ist so bedeutend, dass er durch mehrere Gene reguliert wird. Dies trifft auch auf den Jahresrhythmus zu, der primär durch die Änderung der Tageslänge gesteuert wird und bei höheren Organismen Fortpflanzung und Stoffwechselanpassungen beeinflusst.

Eingriff in evolutionäre Prozesse

Verändern wir die nächtlichen Lichtverhältnisse, greifen wir in Vorgänge ein, die sich seit der Entstehung der Erde entwickelt haben. Anders als etwa das Klima, ist der Tag-Nacht-Rhythmus seit Entstehung des Lebens unverändert geblieben, Organismen mussten sich also nie an massive Veränderungen dieses Rhythmus anpassen. Mit der Einführung der künstlichen Beleuchtung änderte sich dies in erheblichem Maße. Die Konsequenzen sind noch nicht abschätzbar, zumal zu erwarten ist, dass sich die Folgen von Lichtimmissionen mit anderen Umweltproblemen wie Klimawandel, Luftverschmutzung oder Wasserverschmutzung wechselseitig verstärken. Der Grund: Jede Belastung schwächt die Widerstandsfähigkeit eines Organismus gegen andere Stressfaktoren (Gaston et al. 2014; Bolton et al. 2017; Walker et al. 2019).

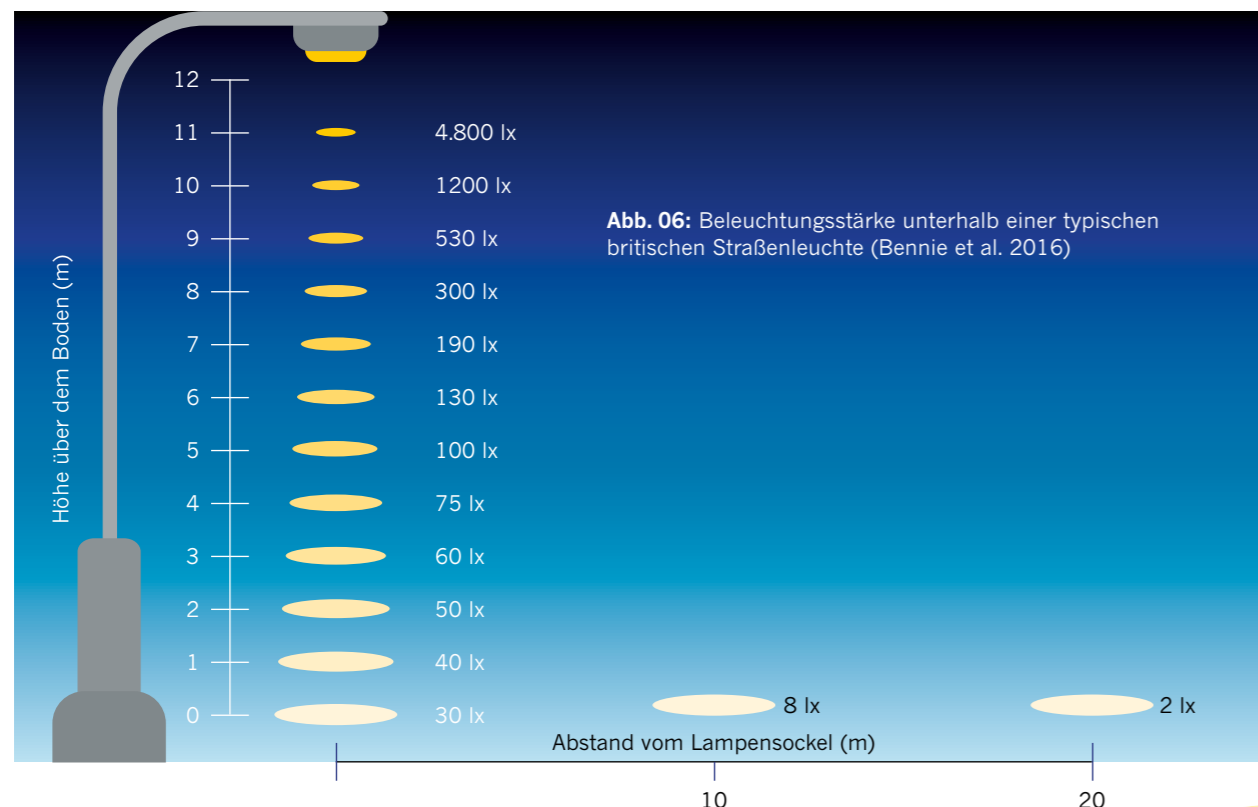


Abb. 06: Beleuchtungsstärke unterhalb einer typischen britischen Straßenleuchte (Bennie et al. 2016)

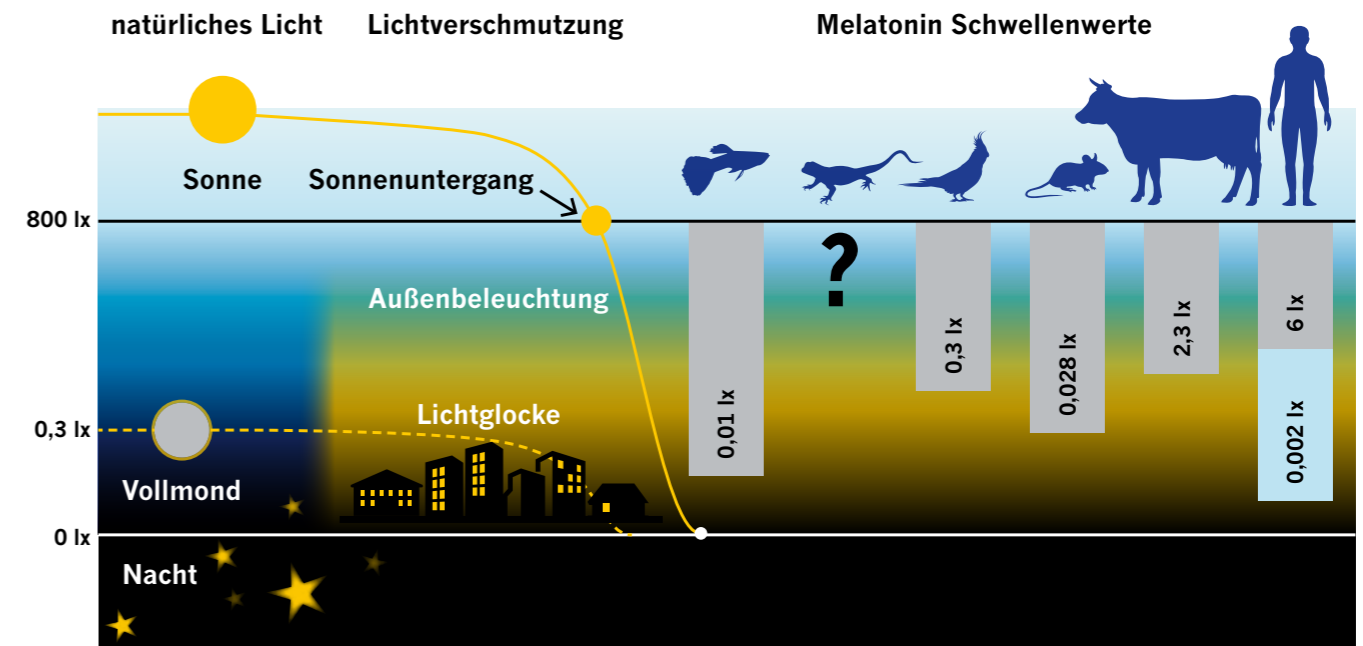


Abb. 07: Empfindlichkeitsschwelle der Melatoninproduktion gegenüber der Beleuchtungsstärke von verschiedenen Organismen (nach Grubisic et al. 2019)

Ökologisch betrachtet muss die Lichtplanung erweitert werden: Je nach Organismus sind nicht die mittleren Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten relevant, die in den Normen angegeben werden, sondern punktuelle Werte. Für Arthropoden wie z.B. Insekten und Spinnen mit kleinem Bewegungsradius sind etwa die Beleuchtungsstärken am Fuß der Straßenleuchte maßgebend – hier sind 30 lx durchaus üblich. In Baumkronen direkt neben einer Straßenleuchte können Beleuchtungsstärken in unterer Tageslichtstärke erreicht werden (vgl. Abb.06).

Natürliche Lichtverhältnisse bei Nacht liegen deutlich unter dem Niveau künstlicher Beleuchtung. Die nächtliche Helligkeit erreicht üblicherweise 0,05 bis 0,1 lx, selbst Vollmondlicht, das in seiner Helligkeit oft als ausreichend zum Lesen wahrgenommen wird, liegt bei 0,3 lx (Kyba et al. 2017). Die Mondphasen beeinflussen Aktivität, Fortpflanzung und Hormonproduktion einiger Organismen, etwa nachtaktiver Vögel, Kleinsäuger und Insekten (Kronfeld-Schor et al. 2013).

Urbanes Licht ist auch im Umfeld einer Stadt wahrnehmbar, da es in der Atmosphäre gestreut wird. Dieser „Skyglow“ lässt den Nachthimmel in bewölkten Nächten bis zu tausend Mal heller erscheinen als unter natürlichen Bedingungen. Dadurch wird die nächtliche Aktivität von beispielsweise Zooplankton unterdrückt (Moore et al. 2000), die Orientierung von zum Beispiel Mistkäfern gestört (Dacke et al. 2013) und die Hormonproduktion unter anderem beim Flussbarsch gesenkt (Kupprat et al. 2020). Die ökologischen Auswirkungen urbaner Beleuchtung betreffen damit nicht nur das Stadtgebiet (Kyba und Hölker 2013).



Durch helle Lichtquellen werden Fledermäuse geblendet

Foto: Adobe Stock/Rozilime

Fledermäuse geblendet von künstlichem Licht

Fledermäuse reagieren je nach Art und Situation unterschiedlich auf künstliche Beleuchtung. Einige Arten jagen vom Kunstlicht angezogene Insekten, andere beschränken ihre Jagdflüge auf unbeleuchtete Bereiche. Die Lichttoleranz kann sich auch innerhalb einer Art zwischen Transferflügen, Trinkverhalten und der Wahl des Sommer- und Winterquartiers unterscheiden (Voigt et al. 2019).

Opportunistische Fledermäuse jagen an Lichtquellen, weil dort eine hohe Insekten-dichte herrscht. So kann eine Natriumdampflampe Insekten aus einer Distanz von bis zu 23 m anziehen (Degen et al. 2016).

Im Darmstädter Stadtgebiet sind ausschließlich Arten der Gattung *Pipistrellus* dauerhaft präsent, nämlich die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und die Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) (Diehl 2022). *Pipistrellus*-Arten sind opportunistische Jäger – sie jagen somit an Lichtquellen. Zudem nutzen sie für ihre Transferflüge auch beleuchtete Bereiche.

Auch in Regionen wie dem Rhein-Main-Gebiet gibt es kaum noch natürliche Dunkelheit und auch die unbesiedelten Gebiete sind hier heller als unter natürlichen Bedingungen. Der Schutz der Dunkelheit ist jedoch ein unverzichtbarer Bestandteil von Habitat- und Artenschutz. Im Folgenden werden weitere Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf Individuen, Arten und Ökosysteme beschrieben.

Die offensichtlichsten Anpassungen an den Lebensraum finden sich im Bereich der Sinnesphysiologie. Nachtaktive Tiere haben entweder lichtempfindlichere Augen oder nutzen andere Sinne, etwa Gehör, Geruch oder Echolokation. Gerade Kleinsäuger und Amphibien schützt die natürliche Dunkelheit vor Fressfeinden. Eulen, Füchse und Marder nutzen zusätzliches Licht für die Jagd, während viele Kleinsäuger unter künstlicher Beleuchtung oder bei Vollmond die Futtersuche auf ein Minimum reduzieren (Kronfeld-Schor et al. 2013; Spoelstra et al. 2015; Hoffmann et al. 2019; Zhang et al. 2020). Auch Rehe und einige andere Hirscharten vermeiden beleuchtete Gebiete (Bliss-Ketchum et al. 2016; Ciach und Fröhlich 2019; Ditmer et al. 2020).



Existenz der Fledermaus mitdenken

Zum Schutz der Fledermauspopulation und für die Ansiedlung lichtscheuer Arten wäre eine Reduktion von Fassadenbeleuchtung, die Schaffung unbeleuchteter Flugkorridore und Jagdorte sowie eine allgemeine Absenkung der Helligkeit mit gut abgeschirmten Lichtquellen hilfreich.

Licht vermeidende Fledermausarten sind im Darmstädter Stadtgebiet selten oder gar nicht anzutreffen, was unter Umständen mit dem enormen Lichteinfluss in der Stadt zusammenhängt. Selbst opportunistische Fledermausarten können allerdings durch helle Lichtquellen geblendet werden. Ihr Risiko, mit Gebäuden, Bäumen oder Masten zu kollidieren, steigt an (McGuire und Fenton 2010; Orbach und Fenton 2010).

Alle in Europa vorkommenden Arten sind beim Anflug ihrer Quartiere lichtscheu. Gebäude mit beleuchteten Fassaden eignen sich daher nicht als Fledermausquartiere und werden nach der Installation einer Außenbeleuchtung häufig in den Folgejahren aufgegeben (Boldogh et al. 2007; Zeale et al. 2016; Rydell et al. 2017).

Insekten lieben Licht – und leiden darunter

Unklar ist, warum Insekten von Lichtquellen angezogen werden. Der Grad der Anziehung ist hierbei abhängig von der Insektenordnung. Betroffen sind insbesondere Nachtfalter, deren Bestand europaweit zurückgeht, nachweislich vor allem in helleren Regionen (Huemer et al. 2010; Eisenbeis und Eick 2011; Soneira 2013; Pawsen und Bader 2014; Longcore et al. 2015; Justice und Justice 2016; de Medeiros et al. 2017; Wakefield et al. 2015, 2016, 2017; Wilson et al. 2018; van Langevelde et al. 2011, 2018; Bolliger et al. 2020; Boyes et al. 2020; van Grunsven et al. 2014, 2020; Brehm et al. 2021; Haller et al. 2021; Martín et al. 2021; Mészáros et al. 2021). Auch in Darmstadt ist der Bestand durch Lichtverschmutzung gefährdet (Sanetra 2022).

Künstliche Beleuchtung verändert auch die Physiologie vieler Insekten, insbesondere Wachstum, Nahrungsaufnahme, Pheromonproduktion, Paarungsverhalten und Überwinterungsverhalten (van Geffen et al. 2014, 2015a; van Geffen et al. 2015b; van Langevelde et al. 2017; Grenis und Murphy 2019; Levy et al. 2021; Westby und Medley 2020; Boyes et al. 2021; Cieraad et al. 2022).

Einige Arten reagieren mit evolutiven Veränderungen beim Anflug von Lichtquellen, teilweise verändert sich das Geschlechterverhältnis einer Population (Altermatt et al. 2009; Altermatt and Ebert 2016), andere Arten zeigen keine Anpassungen (Cieraad et al. 2022).

Einige Spinnenarten sind häufiger an Lichtquellen zu finden, denn sie verbuchen hier einen höheren Jagderfolg, andere Arten vermeiden beleuchtete Bereiche (Willmott et al. 2019; Parkinson et al. 2020). Opportunistische Spinnen wachsen schneller, haben aber auch weniger Nachkommen mit jeweils geringerer Lebenserwartung (Willmott et al. 2019; Parkinson et al. 2020).



Foto: Adobe Stock/Tim's insects

Der gefährdete Ringelspinner ist auf eine dunkle Nacht angewiesen



Vögel verlieren Orientierung und Zeitgefühl

Auch Vögel, insbesondere Zugvögel, werden durch Licht angezogen oder verlieren die Orientierung. So verloren alleine am Post Tower in Bonn in einem Jahr mehr als 1000 Vögel die Orientierung (Haupt 2009). Fassadenbeleuchtung steigert das Kollisionsrisiko von Vögeln mit Hochhäusern (Loss et al. 2019; Lao et al. 2020). Wie viele Vögel durch Fassadenbeleuchtung ums Leben kommen, ist nicht gänzlich geklärt. In den USA und Kanada sterben jährlich schätzungsweise 6,8 Millionen Vögel allein an beleuchteten Funktürmen (Longcore et al. 2012).

Noch gefährlicher sind Himmelscheinwerfer, die über weite Distanzen und aus großen Höhen sichtbar sind (Van Doren et al. 2017). Selbst unverletzte Vögel benötigen oft Stunden, um dem Lichtkegel zu entkommen, was zu längeren Rastzeiten in Stadtnähe führt. Diese Rastgebiete liegen oft in helleren, aber ökologisch inadäquaten Gebieten, was die Überlebenswahrscheinlichkeit beim Vogelzug negativ beeinflussen kann (La Sorte et al. 2017; McLaren et al. 2018).

Künstliches Licht stört den natürlichen Tages- und Jahresrhythmus von Singvögeln wie der Amsel



Foto: Adobe Stock/YK

Foto: Adobe Stock/kichigin19

Gemäß §35 Nr. 3 HeNatG sind Himmelsstrahler und Einrichtungen mit ähnlicher Wirkung unzulässig.

Singvögel werden durch künstliches Licht in ihrer Tages- und Jahresrhythmik gestört. In beleuchteten Gebieten beginnen sie, das zeigen Beobachtungen, ihren Morgengesang früher – Rotkehlchen etwa um bis zu eine Stunde. Auch Amseln, Buchfinken sowie Blau- und Kohlmeisen ordnen sich hier ein (Kempnaers et al. 2010; Dominoni et al. 2013a, 2013b; Nordt und Klenke 2013; Da Silva et al. 2014, 2015). In Laborstudien starteten Kohlmeisen und Amseln unter in Siedlungen üblicher Beleuchtung noch früher ihre Aktivitäten. Dies ging einher mit einer reduzierten Melatoninproduktion, Schlafmangel und zeitlich verändertem Ablesen von Stoffwechselgenen (de Jong et al. 2016; Raap et al. 2016b; Ulgezen et al. 2019; Dominoni et al. 2022). Verschiedene Untersuchungen haben außerdem gezeigt, dass nächtliches Licht das Immunsystem von Vögeln schwächt (Ouyang et al. 2015, 2017; Raap et al. 2016; Grunst et al. 2020; Jiang et al. 2020). Zudem sind Vögel in beleuchteten Regionen häufiger mit Vogelmalária und dem auf Menschen übertragbaren West-Nil-Virus infiziert (Ouyang et al. 2017; Kernbach et al. 2020, 2019).

Die saisonale Längenveränderung der Tage bestimmt den Zeitpunkt, zu dem Vögel mit der Mauser und dem Paarungsverhalten beginnen. Studien zeigen, dass Amseln bei einer Beleuchtungsstärke von 0,3 lx rund 22 Tage früher mit der Mauser beginnen, allerdings nicht ihr komplettes Federkleid ersetzen (Dominoni et al. 2013). Auch die Fortpflanzung von Amseln, Blaumeisen und Spatzen setzt im Durchschnitt etwa 13 Tage früher ein (Kempnaers et al. 2010; Dominoni et al. 2013a, 2013b; Zhang



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Künstliches Licht stört, wie im Darmstädter Großen Woog, die Hormonproduktion und Fortpflanzung von Tieren, die an und in Gewässern leben

et al. 2014). Eine Untersuchung aus den USA bestätigte diese frühere Fortpflanzung auch für andere Vogelarten. Interessant ist, dass nächtliche Beleuchtung bei einigen Arten zu größeren Gelegen führt, während andere Arten mit kleineren Gelegen reagieren, was auf eine mögliche Veränderung in der Artenzusammensetzung hindeutet. Es bleibt jedoch ungewiss, ob bei einer verfrühten Brut ausreichend Nahrung zur Verfügung steht und ob das Wetter stabil genug ist (Senzaki et al. 2020).

Säugetiere werden durch Licht beeinflusst

Über 60 % der Säugetiere sind nachtaktiv und ihr zirkadianes System, das den Tag-Nacht-Rhythmus reguliert, ist sehr lichtempfindlich. Schon geringe Lichtmengen verringern die Melatoninproduktion (Grubisic et al. 2019). Dies führt zu Veränderungen des Stoffwechsels und kann bei einigen Arten den Energiebedarf erhöhen, während gleichzeitig die Aktivität verringert wird, um das zusätzliche Licht zu vermeiden (Le Tallec et al. 2013; Spoelstra et al. 2015; Zhang et al. 2020).

Am und im Wasser wirkt sich Licht aus

Gewässer sind besonders lichtsensible Ökosysteme. Die Melatoninproduktion bei Fischen wird durch die Mondphasen beeinflusst. Schon die Helligkeit eines Vollmonds – etwa 0,3 lx – senkt bei vielen Arten die Melatoninproduktion (Grubisic et al. 2019). Beim Flussbarsch reichen bereits 0,1 lx, was der Helligkeit städtischer Lichtglocken entspricht (Kupprat et al. 2020). Damit wären auch Gewässer im Siedlungsgebiet und Umland von Darmstadt betroffen. Bei Flussbarsch und Rotaugen wurde festgestellt, dass eine Beleuchtungsstärke von 15 lx die Produktion von Geschlechtshormonen stark reduziert (Brüning et al. 2018). Abhängig von der Fischart kann sich die Entwicklung der Eier entweder beschleunigen oder verlangsamen (Brüning et al. 2011).

Deutliche Veränderungen im Fortpflanzungserfolg ergeben sich bei Erdkröten. So kommt es unter Beleuchtung schneller zur Paarbildung. Die Paarungen werden allerdings auch häufiger unterbrochen, mit einer geringeren Befruchtungsrates der Eier (Touzot et al. 2020). Bei anderen Krötenarten zeigen sich Veränderungen in der Entwicklung und im Aktivitätsmuster. Sogar stressbedingte Veränderungen im Blutbild wurden festgestellt (Dananay und Benard 2018; Gastón et al. 2019; Touzot et al. 2019).

Außenbeleuchtung und Klimaschutz

Der Unterschied zwischen kalten und warmen Lichtfarben

In Bezug auf die Wirkung von Licht auf Tiere wird oft von Lichtfarben oder Farbtemperaturen gesprochen. Untersuchungen an Insekten lassen den Schluss zu, dass umso mehr Insekten und Insektengruppen von einer Lichtquelle angezogen werden, je höher der Anteil an kurzwelligem „blauen“ Licht ist. Doch auch langwelliges Licht ist für einige Insektengruppen attraktiv, besonders, wenn es die einzige Lichtquelle ist. Es gibt also kein „insektenfreundliches“ Licht, jedoch eines, das insektenschonend geplant werden kann (Huemer et al. 2010; Eisenbeis und Eick 2011; Somers-Yeates et al. 2013; Longcore et al. 2015; Wakefield et al. 2017).

Wärmere Lichtfarben sind für die meisten Tiergruppen weniger störend. Im Vergleich zu weißem Licht hat orangenes und vor allem rotes Licht einen geringeren Einfluss auf lichtempfindliche Fledermausarten (Spoelstra et al. 2017; Zeale et al. 2018; Voigt et al. 2019), Vogelschlag (Evans et al. 2007; Rebke et al. 2019; Zhao et al. 2020) und Insektenphysiologie (van Geffen et al. 2014; van Langevelde et al. 2017; Grenis und Murphy 2019; Boyes et al. 2021). In Bezug auf Melatonin und Aktivitätsrhythmik bei Vögeln und Säugetieren gilt ebenso, dass langwelliges Licht einen deutlich geringeren Einfluss hat als „blauhaltiges“ (Grubisic et al. 2019).

Auch Pflanzen betroffen

Pflanzen werden ebenfalls durch künstliches Licht beeinflusst. Eine Straßenleuchte kann in Nähe einer Baumkrone Beleuchtungsstärken von über 1000 lx erzeugen, was einem bewölkten Tag gleichkommt (Bennie et al. 2016). Für den Baum wird es also nie Nacht und es tritt keine saisonalen Veränderung der Tageslänge ein. Dies beeinträchtigt wichtige Prozesse wie das Umfärben des Laubes oder die Knospenbildung. In beleuchteten Gebieten verzögert sich der Blattabwurf und die Knospenbildung setzt früher ein, bei Platanen um bis zu drei Wochen (Matzke 1936; French-Constant et al. 2016; Massetti 2018).

Die andauernde Beleuchtung führt zudem zu zusätzlicher Photosynthese, wodurch Blätter vorzeitig absterben (Kwak et al. 2018). Die Fähigkeit der Bäume, UV-Schäden an Blättern zu reparieren, wird beeinträchtigt (Vollnes et al. 2009). Da Bäume sowohl kurzwelliges „blaues“ als auch langwelliges „rotes“ Licht nutzen, gibt es kein für Bäume neutrales Licht.



Foto: Annette Krop-Benesch

Straßenbaum in Berlin im November mit Quecksilberdampfleuchte. Unter natürlichen Bedingungen wären alle Blätter braun gefärbt

Neben den Auswirkungen auf Mensch und Natur spielt auch das übergeordnete Thema Klimaschutz eine zentrale Rolle bei der angemessenen Beleuchtungsgestaltung. Künstliches Licht sollte demnach nur bei Bedarf, energieeffizient und mit möglichst niedrigem Stromverbrauch eingesetzt werden, im Sinne des Klimas und der Wirtschaftlichkeit.

In Deutschland stammen etwa 38 % der Kohlenstoffdioxidemissionen aus der Stromerzeugung, wobei 16 % des Stroms für künstliche Beleuchtung verwendet werden (HMUKLV o. J.). In Kommunen entfallen derzeit bis zu 40 % des Stromverbrauchs auf die öffentliche Außenbeleuchtung (HMUKLV o. J.). Ein Hauptgrund für diesen hohen Verbrauch ist der weit verbreitete Einsatz älterer Anlagen mit Leuchtstoff-, Halogenmetaldampf-, Quecksilberdampf- und vor allem Natriumdampflampen. Ältere Anlagen verbrauchen im Schnitt und unter Berücksichtigung intelligenter Steuerungsmöglichkeiten bis zu 70% mehr Energie als moderne Beleuchtungsanlagen mit LED. Hinzu kommt die schlechte Lichtausnutzung, bei der das Licht über die benötigte Fläche hinaus in die Umgebung strahlt. Außerdem ist eine bedarfsorientierte Steuerung bei älteren Leuchten nur eingeschränkt möglich und ihre Lichtausbeute (lm/W) fällt deutlich hinter moderne LED-Lampen zurück. Diese Faktoren führen zu unnötig hohem Energieverbrauch und entsprechend hohen Kosten sowie höheren Emissionen durch künstliche Beleuchtung.

LED-Leuchten: Bessere Lichtlenkung und längere Lebensdauer

Um die Energieeffizienz zu verbessern, konzentriert sich die Umstellung der Straßenbeleuchtung vor allem auf den Einsatz von LED-Lampen. Diese bieten nicht nur eine bessere Lichtlenkung und ermöglichen eine bedarfsorientierte Steuerung, sondern haben auch eine längere Lebensdauer. Es kommt zu einer Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und zu Einsparungen bei Wartungs- und Ersatzteilkosten (HMWEVW und LEA Hessen GmbH 2020).

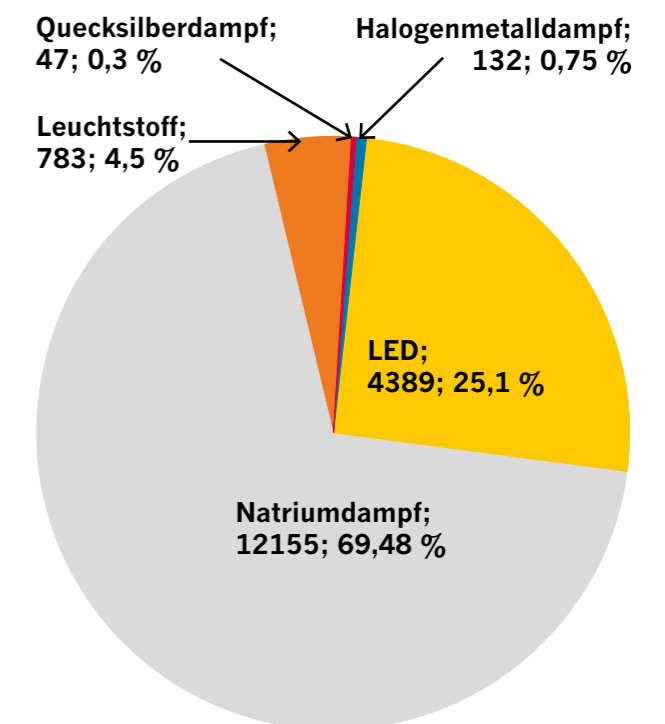


Abb. 08: Differenzierung der Straßenbeleuchtung nach Lampentyp (Anzahl absolut; Anteil in Prozent nach ENT-EGA AG, 2024)

Im Rahmen der Klimaschutzziele der Wissenschaftsstadt Darmstadt wurde die Umstellung der Straßenbeleuchtung auf die energiesparende LED-Technik bereits in mehreren Beschlüssen des Magistrats und der Stadtverordnetenversammlung beschlossen, zuletzt im „Klimaschutzplan 2035“ (Magistratsvorlage 2022/0219).

Die Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED-Technologie erfolgt seit vielen Jahren sukzessive, sodass der Anteil der Anlagen mit LED-Beleuchtung zwischen 2018 und 2022 von 21 % auf 26 % angestiegen ist. Der jährliche Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung sank dabei um insgesamt 1.498.092 kWh/a (Abb. 09). Die Anzahl der jährlich hinzukommenden umgerüsteten Leuchten wird vor allem durch städtebauliche Maßnahmen sowie das verfügbare Budget und Personal bestimmt.

Intelligente Planung erforderlich

Bei der Umrüstung auf LED-Beleuchtung ist der sogenannte Rebound-Effekt zu vermeiden. Dieser Effekt tritt auf, wenn die höhere Energieeffizienz von LED-Lampen und die damit verbundenen Kosteneinsparungen dazu führen, dass entweder die Helligkeit bei gleichem Stromverbrauch erhöht wird oder zusätzliche Beleuchtungsanlagen installiert werden. In solchen Fällen kommt es nicht zu einer Nettoverringerung des Energieverbrauchs. Die Folge: Einsparungen und Optimierungen im Sinne des Klima- und Naturschutzes gehen verloren, die Lichtverschmutzung wird sogar noch verstärkt (HMUKLV o. J.; Schroer et al. 2019). Erfolgsentscheidend sind aufgrund dessen eine durchdachte Lichtplanung, die Auswahl von Leuchten mit geeigneten Eigenschaften und deren korrekte Montage.

Ein weiterer bei der Umstellung zu beachtender Aspekt ist die Verschiebung der spektralen Zusammensetzung des Lichts hin zu einem höheren Blauanteil. Dies kann zwar die Farbwahrnehmung verbessern, führt jedoch auch dazu, dass das Licht heller und greller erscheint, was den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus von Menschen, Tieren und Pflanzen stört und Insekten stärker anlockt (BAFU 2021). Um diese Auswirkungen zu mildern, soll die Beleuchtungsstärke reduziert und der Einsatz von bernsteinfarbenen, max. 2200 K, oder warmweißen, max. 3000 K, LED-Lampen in Betracht gezogen werden.



Lokale Biodiversität im Blick behalten

Als Resultat der weitreichenden potenziellen Konsequenzen für die Tierwelt muss die Energieeffizienz einer Lichtquelle mit den direkten Auswirkungen auf die lokale Biodiversität abgewogen werden.

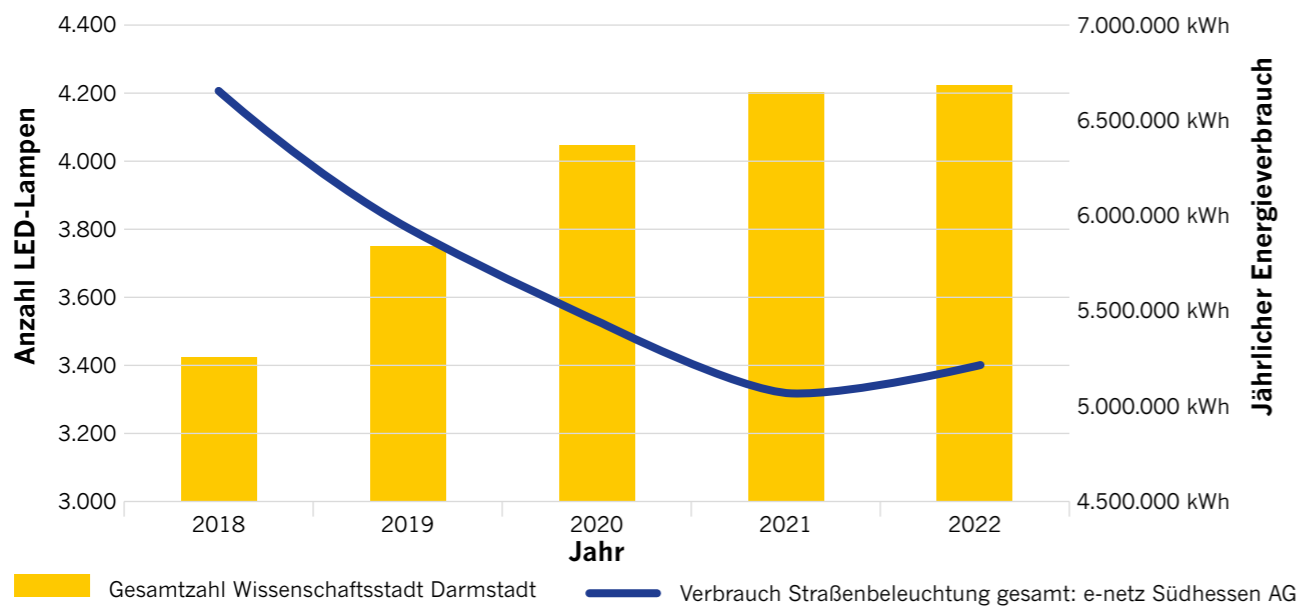


Abb. 09: Jährlicher Zuwachs von LED-Lampen im Vergleich zum Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung zwischen 2018 und 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023) (Gesamtzahl: Wissenschaftsstadt Darmstadt, Verbrauch Straßenbeleuchtung gesamt: e-netz Südhessen AG)

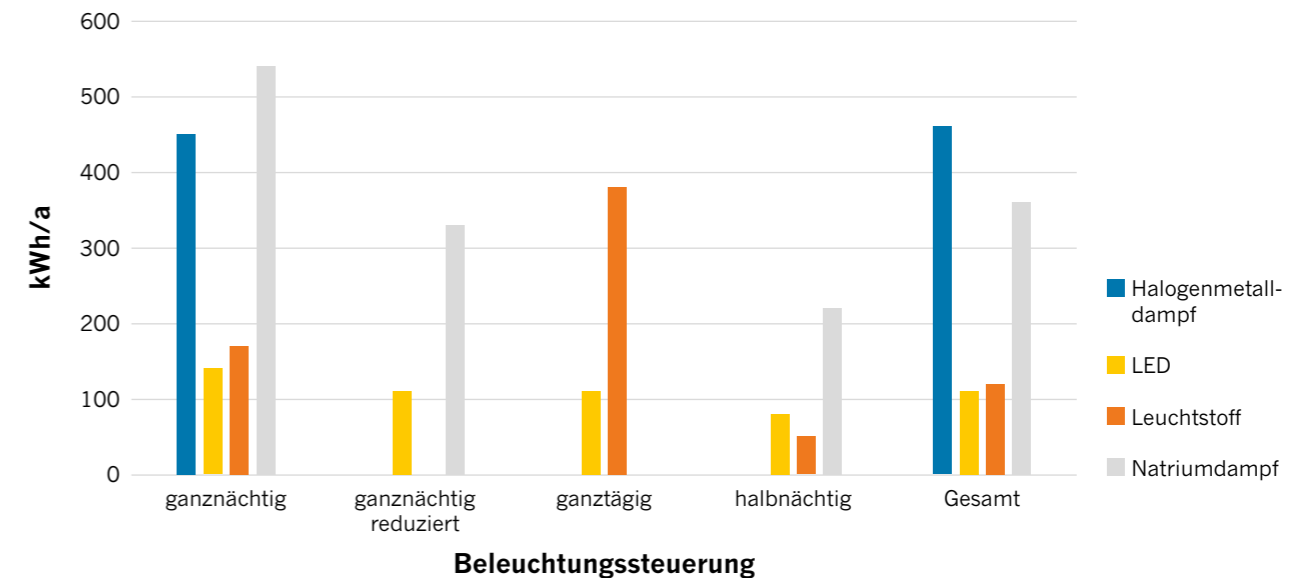


Abb. 10: Durchschnittlicher jährlicher Energieverbrauch von Lampentypen, differenziert nach Beleuchtungssteuerung
 Ganznächtlig = ganznächtlig mit 100 % eingeschaltet,
 ganznächtlig reduziert = ganznächtlig eingeschaltet und je nach einem von 5 Schaltprogrammen auf 50% reduziert zwischen
 a) 22:30 Uhr und 5:00 Uhr; b) 22:30 Uhr und 6:00 Uhr; c) 00:00 und 06:00 Uhr, d) 00:00 und 05:00 Uhr oder
 e) ganznächtlig,
 ganztäglig = 24 h Betriebszeit,
 halbnächtlig = halbnächtlig (22.30 bis 6.30 Uhr) ausgeschaltet
 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Das größte Einsparpotenzial bei der Energieverwendung liegt in der lokalen Beleuchtungsplanung, der Auswahl passender Leuchtentypen unter Berücksichtigung ihrer Lichtverteilungskurven sowie in der bedarfsorientierten Steuerung von Beleuchtungsanlagen. Eine signifikante Reduzierung des Energieverbrauchs lässt sich durch die Herabsetzung der Leistung der Straßenbeleuchtung um 50 % erzielen. Bei LED-Lampen führt das zu einer Energieersparnis von etwa 27 %, während Natriumdampflampen eine Einsparung von 38 % verzeichnen. Eine komplette Abschaltung ermöglicht bei LED-Lampen eine Energieeinsparung von etwa 53 %, bei Natriumdampflampen sind es 59 %.

Ein entscheidender Vorteil moderner LED-Leuchten: Sie lassen sich in mehreren Phasen stufenlos und sensorgesteuert dimmen sowie ein- und ausschalten. Dadurch können Neuinstallationen bei Neu- und Ersatzbauten oder Umrüstungen optimal an den Bedarf im Jahres- und Tagesverlauf angepasst werden. So lässt sich auch der geringfügig höhere Energieverbrauch von Lampen mit niedrigerer Farbtemperatur ausgleichen.

Energiebedarf und CO₂-Emissionen systematisch senken

Die Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf LED ermöglicht eine gezielte Ausrichtung, Abschirmung und Lenkung des Lichts auf die Nutzfläche. Dadurch wird nicht nur die Lichtimmission in die Umgebung reduziert, sondern auch der Energiebedarf und der kommunale Ausstoß von Treibhausgasen verringert.

Weiteres Potenzial zur Einsparung von Energie und der Minderung von Kohlendioxid-Emissionen bietet die Reduzierung und Abschaltung von Effektbeleuchtung. Dies zeigt die Umsetzung der Maßnahmen zur Energieeinsparung im Zuge der Energiekrise 2022. Hierbei konnten durch die Abschaltung der Außenbeleuchtung an 30 öffentlichen Darmstädter Gebäuden und Denkmälern 74.000 Kilowattstunden pro Jahr eingespart werden.



Große Auswahl bei LED-Leuchten

Mittlerweile sind LED-Leuchtmittel in vielen verschiedenen Farbtemperaturen und Leistungstärken verfügbar. Die Lichtausbeute variiert je nach Hersteller und Lichtfarbe im einstelligen Prozentbereich. Grundsätzlich sind LED-Leuchten mit wärmeren Lichtfarben etwas weniger energieeffizient im Vergleich zu kaltweißen und neutralweißen LED-Lampen.



Foto: iStockphoto/Rinat Fatkullin

Allein das Design einer Leuchte sollte bei der Auswahl nicht entscheidend sein, sondern die Ausrichtung und Farbe des Lichts sowie Dämmbarkeit und Steuerung z. B über Bewegungsmelder

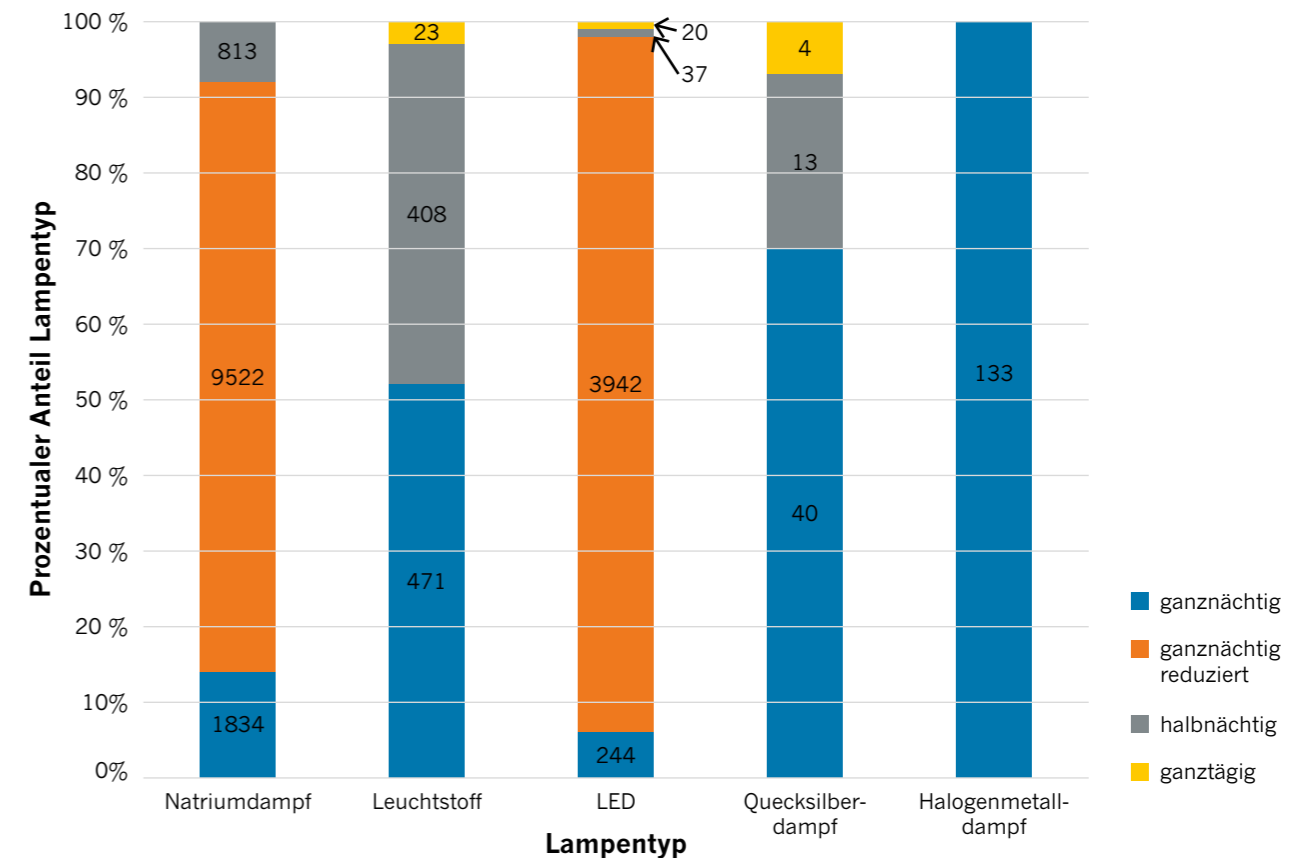


Abb. 11: Anzahl der Lampen nach Lampentyp und Betriebsart 2022
 Ganznächttig = ganznächttig mit 100 % eingeschaltet,
 ganznächttig reduziert = ganznächttig eingeschaltet und je nach einem von 5 Schaltprogrammen auf 50% reduziert zwischen
 a) 22:30 Uhr und 5:00 Uhr; b) 22:30 Uhr und 6:00 Uhr; c) 00:00 und 06:00 Uhr, d) 00:00 und 05:00 Uhr oder
 e) ganznächttig,
 ganztägig = 24 h Betriebszeit,
 halbnächttig = halbnächttig von 22.30 bis 6.30 Uhr ausgeschaltet
 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)



3 Gesetzliche und normative Grundlagen

Foto: Adobe Stock/Robert Kneschke

Gesetzliche Grundlagen

Nach dem Hessischen Straßengesetz (HStrG) ergibt sich keine generelle Beleuchtungspflicht für Kommunen. Die Gemeinde hat eine Verpflichtung, die erforderliche Beleuchtung innergemeindlicher Straßen zu unterhalten (Neumeyer, Das Hessische Straßengesetz, Anhang I.4. zu § 9 HStrG).

Daraus folgt jedoch „nicht die Notwendigkeit einer allgemeinen und durchgehenden Beleuchtung aller Straßen und Gehwege. Dunkelheit als solche birgt demnach noch keine Gefahr. Die Beleuchtungspflicht dient vielmehr – auch zugunsten des Fußgängerverkehrs – der Sicherung konkreter Gefahrenstellen, die ansonsten nicht oder nicht rechtzeitig als solche erkannt werden könnten und auch durch Warnzeichen nicht genügend abgesichert werden können“ (OLG Brandenburg, Beschluss vom 04.10.2022 – 2 U 23/ 221). Für die Kennzeichnung von innerörtlicher Straßenbeleuchtung, die nachts abgeschaltet wird, ist das Zeichen 395 „Laterrenring“ (Anlage 3 zu § 42 Abs. 2 StVO) zu verwenden.

Nach § 17 und § 49a ff. der Straßenverkehrsordnung (StVO) und § 66a, § 67 sowie § 67a der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) besteht hingegen die Pflicht für Verkehrsteilnehmende, das Fahrzeug bzw. Fahrrad zu beleuchten und damit dem Gefahrenpotenzial der Dunkelheit entgegenzuwirken. Lediglich für Fußgängerüberwege ist aufgrund ihrer besonderen Sicherheitsanforderungen eine Beleuchtung vorgeschrieben (§ 26, Rn. VwVStVO). Fußgängerinnen und Fußgänger sind die einzigen Verkehrsteilnehmenden, die kein eigenes Licht mit sich tragen. Deswegen hat die öffentliche Beleuchtung dafür zu sorgen, sie in Konfliktbereichen durch ausreichend Licht zu schützen. Weiterhin besteht die Pflicht zur Sicherung von Gefahrenstellen wie Baustellen, bekannte Unfallschwerpunkte oder schwer wahrnehmbare Hindernisse. Die Gefahrenabwehr kann dabei durch Warntafeln, Warnleuchten oder Beleuchtung erfolgen (Schroer et al. 2019).

Neben zusätzlicher Beleuchtung schlägt der Informationsdienst Umweltrecht e. V. (2021) folgende Alternativen zur Sicherung von Gefahrenstellen vor:

- Betrachtung möglicher Wegalternativen und baulicher Anpassungen
- Gefahrenbeseitigung durch Verkehrsregelungen, etwa Tempobeschränkungen
- Verwendung heller, besser sichtbarer Wege- und Straßenbeläge
- Anbringung von gut sichtbaren Farbmarkierungen, Warntafeln und Reflektoren

Der Umwelt gegenüber verpflichtet

Wie in den vorherigen Kapiteln gezeigt, verursachen Lichtimmissionen negative Auswirkungen für Flora und Fauna und den Menschen. Deswegen können künstliche Lichtimmissionen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) als schädliche Umwelteinwirkungen eingestuft werden, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft herbeizuführen (§ 3 Abs. 1 BImSchG) und damit immissionsschutzrechtliche Pflichten auslösen. § 22 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG verpflichtet den Betreiber nichtgenehmigungsbedürftiger Anlagen, schädliche Umwelteinwirkungen nach dem Stand der Technik zu vermeiden, etwa durch Lichtlenkung, Lichtsteuerung oder die Wahl eines angemessenen Leuchtmittels.



Über die Vermeidungspflicht hinaus enthält § 22 Abs. 1 Nr. 2 eine Minimierungspflicht. Danach sind die schädlichen Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Umwelt, die nicht durch technische Maßnahmen geregelt werden können, auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Nicht technische Minimierungsmaßnahmen betreffen die Standortwahl der Beleuchtungsanlage, die Betriebseinstellungen und die Betriebszeiten. Eine Gefahr für eine schädliche Umwelteinwirkung besteht, wenn die Immission mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Schaden eines Rechtsguts verursacht (Huggins 2020), sie etwa der Natur oder der Gesundheit des Menschen Schaden zufügt.

Im Fall von Lichtimmissionen ist eine Gefahr für Pflanzen, Tieren und Artenvielfalt zu bejahen, wenn die Verletzung der artenschutzrechtlichen Zugriffsverbote des § 44 Abs. 1 BNatSchG oder ein Verstoß gegen § 33 Abs. 1 BNatSchG vorliegt. Bei Menschen liegt eine Gefahr durch Lichtimmissionen bei Eintreten eines Gesundheitsschadens vor, sprich einer funktionellen oder morphologischen Veränderung. Liegt kein Gesundheitsschaden vor, ist eine erhebliche Belästigung oder ein Nachteil zu prüfen (Huggins 2020).

Bislang existieren keine rechtsverbindlichen Konkretisierungen zur Beurteilung, ab wann schädliche Umweltauswirkungen durch Lichtimmissionen drohen. Daher muss jeweils im Einzelfall beurteilt werden, ob Lichtimmissionen zumutbar sind. Als sachverständige Entscheidungshilfe kann dabei auf die Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz mit vorgeschlagenen Grenzwerten zurückgegriffen werden (LAI 2012). Blendende oder auf sonstige objektive Weise ortsunübliche Beleuchtung kann außerdem (§ 1004, § 906 BGB) zivilrechtliche Unterlassungsansprüche auslösen.

Nach § 9 Abs. 1 Nr. 24 des Baugesetzbuchs (BauGB) haben Kommunen das Recht, bauliche oder technische Vorkehrungen zum Schutz, zur Vermeidung oder zur Minderung von schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren im Sinne des BImSchG festzusetzen. Darunter können Vorgaben zur Art und Weise der Ausführung von Beleuchtungsanlagen erlassen werden.

Weitreichende Regelungen des Bundesnaturschutzgesetzes

Mit der Novelle des BNatSchG im Juni 2021 wurden Vorgaben zum Schutz von Tieren und Pflanzen wildlebender Arten vor nachteiligen Auswirkungen durch Lichtimmissionen beschlossen (§ 41a BNatSchG). Die spezifischen Grenzwerte sowie die technischen und konstruktiven Anforderungen für die Neuerrichtung sowie Um- und Nachrüstung von Beleuchtungsanlagen an Straßen, Wegen, baulichen Anlagen und Werbeanlagen werden jedoch erst wirksam, wenn eine Rechtsverordnung zu § 54 Abs. 4d des BNatSchG in Kraft tritt.

Weiterhin umfasst das BNatSchG die Eingriffsregelung zum Schutz vor Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft (§ 13 ff. BNatSchG). Zu beurteilen ist, ob durch den geplanten Eingriff eine Beeinträchtigung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes, der biologischen Vielfalt oder der Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie des Erholungswertes von Natur und Landschaft durch Lichtimmissionen vorliegt und inwieweit diese vermeidbar ist. Sowohl die Beeinträchtigung für Arten und Lebensräume direkt als auch die Bedeutung einer Landschaft als Durchzugsgebiet für wandernde Arten ist zu berücksichtigen.

Das BNatSchG umschließt außerdem den Gebietsschutz, welcher die Neuerrichtung von Beleuchtungsanlagen an Straßen und Wegen sowie von beleuchteten oder lichtemittierenden Werbeanlagen in Naturschutzgebieten im Außenbereich nach § 35 BauGB verbietet (§ 23 Abs. 4 BNatSchG). Ferner müssen Projekte wie die Neuerrichtung einer Beleuchtungsanlage einer Verträglichkeitsprüfung unterzogen werden, wenn sie die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck eines Natura 2000-Gebiets gefährden.

Foto: Adobe Stock/creativature.nl



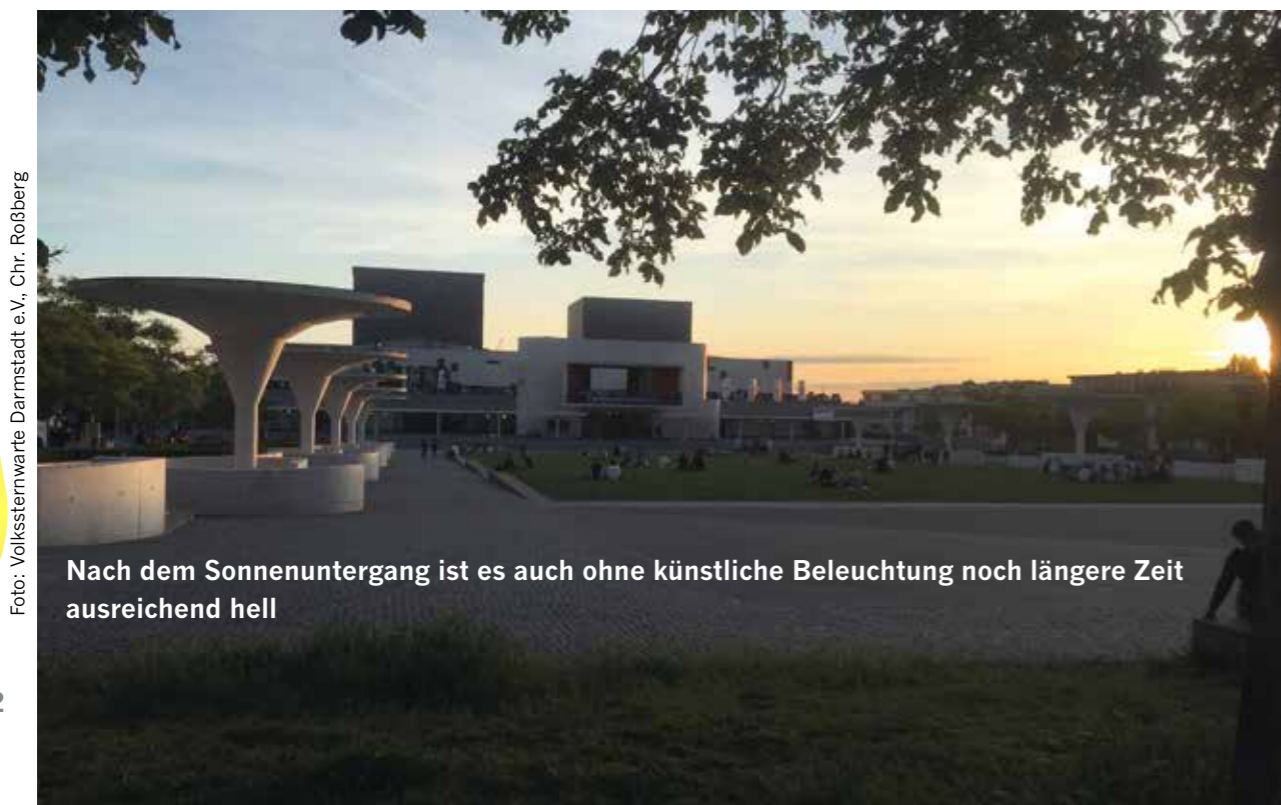
Fledermäuse sollen ihre Wochenstuben nicht verlassen müssen.

Unabhängig von der Umgebung – städtisch, naturnah oder Schutzgebiet – gilt der besondere Artenschutz (§ 44 Abs. 1 BNatSchG). Er bewahrt wildlebende Arten vor Schädigung von Individuen sowie der erheblichen Störung und Beeinträchtigung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten. Der besondere Artenschutz umfasst alle geschützten und streng geschützten Arten (Bundesartenschutzverordnung (BArtSchV) Anlage 1, FFH-Richtlinie Anhang IV, Vogelschutzrichtlinie). Ein Tatbestand gegen § 44 BNatSchG kann zum Beispiel vorliegen, wenn Tiere ihre Wanderrouten aufgrund von störenden Lichtquellen meiden oder Fledermäuse ihre Wochenstuben aufgeben, weil diese angestrahlt werden.



Sie genießen besonderen Artenschutz

Der besondere Artenschutz betrifft etwa alle in Deutschland vorkommenden Fledermausarten, europäische Vogelarten sowie einige Schmetterlings- und Nachfalterarten. Darunter fallen auch die in Darmstadt vorkommenden Nachfalterarten Malveneule (*Acontia lucida*), Gipskraut-Nelkeneule (*Hadena irregularis*) und Ringelspinner (*Malacosoma neustria*). (Sanetra 2022; Schroer et al. 2019).



Nach dem Sonnenuntergang ist es auch ohne künstliche Beleuchtung noch längere Zeit ausreichend hell

Foto: Volksternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg



Vorgaben zur Beleuchtung in Hessen

Das Hessische Naturschutzgesetz (HeNatG, 2023) fordert den Schutz von lichtempfindlichen Tier- und Pflanzenarten sowie Insekten (§ 4 HeNatG) und konkretisiert die Vorgaben für den Betrieb und die Ausstattung von Beleuchtungsanlagen in § 35:

- Verzicht auf vermeidbare Beleuchtung im Außenbereich nach § 35 BauGB, sofern für diese kein erkennbarer Beleuchtungszweck vorhanden ist bzw. die Beleuchtung deutlich über das erforderliche Maß hinausgeht (§ 35 Abs. 1 Nr. 1 HeNatG) oder das Licht aufgrund des Zwecks oder der Beschaffenheit der Lichtanlage außerhalb der Bereiche lenkt, für die es bestimmt ist, insbesondere, wenn es im montierten Zustand über die Nutzfläche und die Höhe des Horizonts strahlt und dadurch eine Fernwirkung und Aufhellung der direkten Umgebung verursacht (§ 35 Abs. 1 Nr. 2 HeNatG).
- Wahl von Lichtfarben mit geringer Anlockwirkung bei grundlegender Erneuerung öffentlicher Beleuchtung, soweit die Anforderungen an die Verkehrssicherheit eingehalten werden, Gründe der öffentlichen Sicherheit nicht entgegenstehen oder durch/aufgrund von Rechtsvorschriften nichts anderes vorgeschrieben ist (§ 35 Abs. 2 HeNatG).
- Verbot der Nutzung von Himmelsstrahlern und Einrichtungen mit ähnlicher Wirkung (§ 35 Abs. 3 HeNatG).
- Verbot der Beleuchtung von Fassaden baulicher Anlagen der öffentlichen Hand von 23.00 Uhr bis 6.00 Uhr, soweit diese nicht aus Gründen der öffentlichen Sicherheit oder aufgrund einer Rechtsvorschrift vorgeschrieben ist oder es sich um kirchliche Bauten oder bauliche Anlagen handelt, die im Denkmalverzeichnis als Kulturdenkmal erfasst sind (§ 35 Abs. 5 HeNatG).

- Abschaltung beleuchteter oder lichtemittierender Werbeanlagen und Wegweiser im Außenbereich von 22.00 Uhr bis 6.00 Uhr nach § 35 BauGB (§ Abs. 4 35 HeNatG).
- Weiterhin ermächtigt § 35 Abs. 7 HeNatG Gemeinden, Umwelteinwirkungen von Licht mittels Satzungen zu regeln.

Normative Grundlagen

Das Deutsche Institut für Normung e. V. hat Industrienormen als technische Handlungsempfehlungen veröffentlicht und damit Anforderungen an Beleuchtung definiert. Diese existieren als Deutsche Industrie Norm (DIN) und Europäische Norm (EN). Ihre Anwendung ist grundsätzlich freiwillig (DIN 2023). Die Entscheidung, ob eine Verkehrsfläche überhaupt beleuchtet werden muss, gehört nicht zum Anwendungsbereich der Norm und wird von der Wissenschaftsstadt Darmstadt selbst entschieden.

Mithilfe der DIN 13201-1 „Straßenbeleuchtung – Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen“ können anhand von Auswahlparametern Beleuchtungsklassen für unterschiedliche Verkehrsflächen wie Autobahnen, Landstraßen, Hauptverkehrsstraßen, Sammelstraßen oder Wege festgelegt werden. Bei der Auslegung der Parameter besteht im Einzelnen Interpretations- und Bewertungsspielraum.

Die deutschsprachigen Fassungen der Schriften DIN EN 13201-2 bis DIN EN 13201-4 (Gütemerkmale) helfen beauftragten Dienstleistenden bei der Auswahl, Planung und Messung von Straßenbeleuchtung. DIN EN 13201-5 beschreibt Energieeffizienzindikatoren.

Weitere Beleuchtungsnormen sind:

- Beleuchtung von Fußgängerüberwegen mit Zusatzbeleuchtung DIN 67523
- Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen DIN 67523
- Beleuchtung von öffentlichen Parkbauten und öffentlichen Parkplätzen DIN 67528
- Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 2: Arbeitsplätze im Freien. DIN EN 12464-2
- Technische Regel für Arbeitsstätten Beleuchtung und Sichtverbindungen, ASR A3.4, Anhang 4
- Sportstättenbeleuchtung DIN EN 12193

Bei der Anwendung der Normen ist zu beachten, dass deren Aktualisierung häufig nicht mit der technischen Entwicklung Schritt hält und zum Zeitpunkt der Beleuchtungsplanung meist bereits fortschrittlichere Leuchtquellen zur Verfügung stehen als zum Zeitpunkt der Veröffentlichung (Schroer et al. 2019). So basieren die aktuell empfohlenen Mindestwerte nicht auf der gegenwärtig eingesetzten LED-Technik und es fehlen Maximalwerte der Beleuchtungsstärke.

Fußgängerüberwege sind nach bestimmten Kriterien zu beleuchten.



Foto: Adobe Stock/M. Perfection



Industrienormen nur ein Teil der Lösung

Aspekte des Umwelt- oder Immissionsschutzes, Lichtfarben, Ästhetik sowie das soziale und räumliche Umfeld der Beleuchtungsanlage bleiben in der technisch-funktionalen Industrienormenreihe unberücksichtigt. Deswegen werden diese Rahmenbedingungen in der vorliegenden Lichtleitlinie für die Wissenschaftsstadt Darmstadt ergänzend festgelegt.

Spielräume bei Parametern: Keine Einladung für übermäßige Helligkeit

Bei der Auswahl der Parameter besteht grundsätzlich ein Interpretations- und Gestaltungsspielraum. Im ungünstigsten Fall führt dieser zu Überbeleuchtung mit entsprechenden Auswirkungen für Umwelt und Energieverbrauch (siehe Ausführungen in Kapitel 2). Wegen der hohen Installations- und Betriebskosten wurden in der Vergangenheit Mindestwerte der Norm teilweise unterschritten und Anforderungen wie Gleichmäßigkeit nicht erfüllt – ohne rechtliche Konsequenzen. Die Umstellung auf energieeffizientere LED-Beleuchtung führte vielerorts zu einem unnötigen Anstieg des Beleuchtungsniveaus mit deutlicher Überschreitung der Mindestwerte der Norm (Kyba et al. 2014, 2017; Schroer et al. 2019).

Daher ist bei der Anwendung der DIN- und EN-Normen möglichst immer zu prüfen, ob die sicherheitsrelevanten Belange auch mit geringerer Beleuchtungsstärke, Beleuchtungsichte und Betriebszeit erfüllt werden. Insbesondere bei Umrüstung oder Erneuerung sollte bei bestehenden öffentlichen Beleuchtungsanlagen zunächst begutachtet und ermittelt (gemessen oder simuliert) werden, ob die bestehende Beleuchtungsqualität ausreicht.



4 Technische Richtwerte für die öffentliche Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit

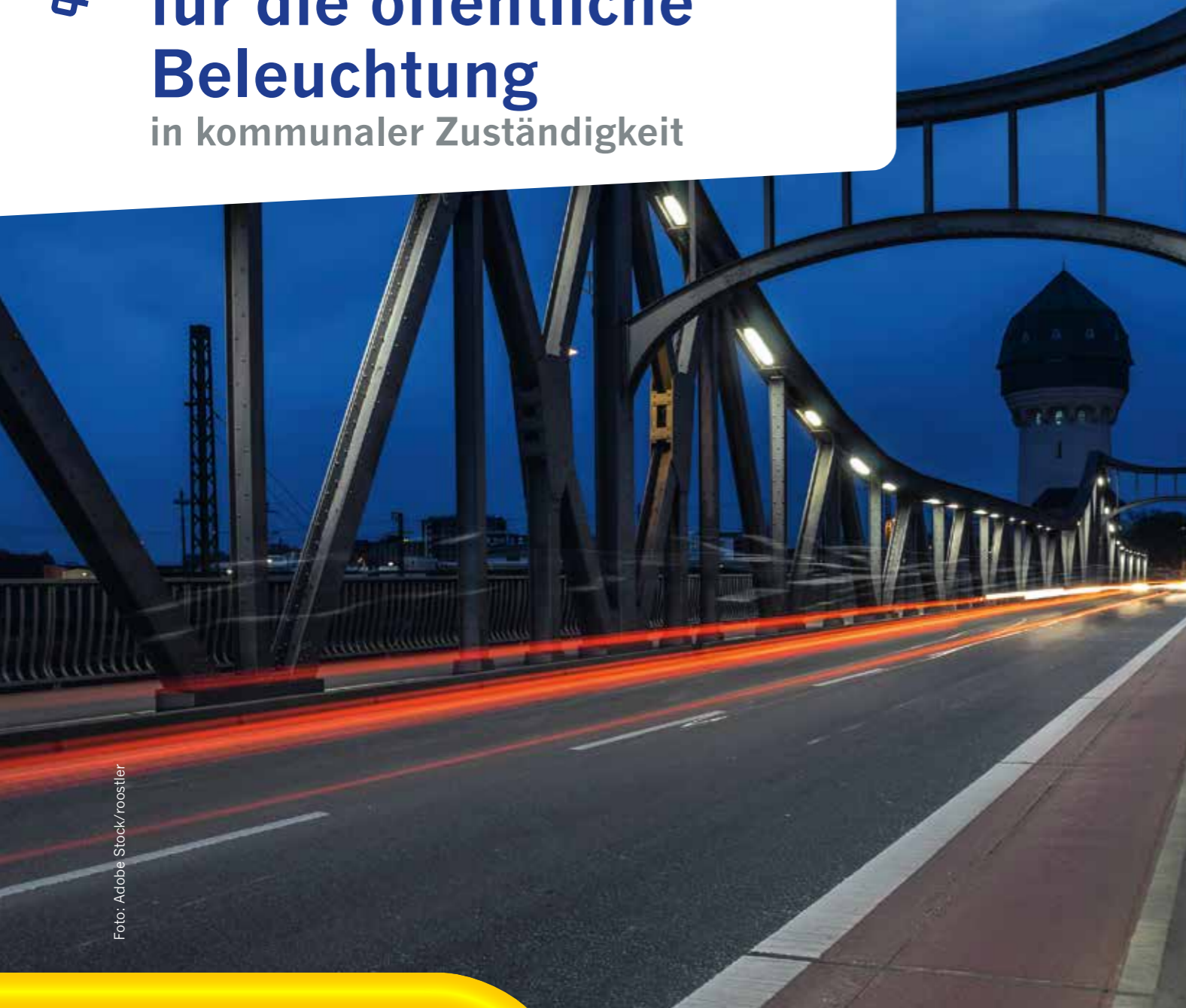


Foto: Adobe Stock/roostler

Allgemeine Grundsätze

Die Umsetzung der Lichtleitlinie für die öffentliche Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit erfordert gemeinsame Anstrengungen auf verschiedenen Ebenen der Stadtverwaltung. Dabei müssen Auswirkungen auf Umwelt, Klimaschutz und Sicherheit bei allen planerischen Entscheidungen bedacht werden. Externe Partner sind für eine effektive Umsetzung unverzichtbar. Die Richtwerte und Maßnahmen in Kapitel 4 werden entsprechend der personellen und finanziellen Möglichkeiten der Wissenschaftsstadt Darmstadt umgesetzt.

Die nachfolgenden Grundsätze der Lichtleitlinie gelten für neue, umzurüstende und zu erneuernde öffentliche Beleuchtungen, die in kommunaler Zuständigkeit sind und von der Wissenschaftsstadt Darmstadt auf der Gemarkungsfläche betrieben werden. Alle Ämter, Dienststellen und Eigenbetriebe müssen diese Leitlinie bei der Planung öffentlicher Außenbeleuchtung und der Erstellung Außenbeleuchtung betreffender Förderprogramme und Miet- und Pachtverträge anwenden. Bestehende Verträge und Richtlinien sollten angepasst werden, um der Lichtleitlinie zu entsprechen, bei Neuabschlüssen sind die Richtwerte zu berücksichtigen.

Zuständigkeiten, Ausnahmeregelungen und Umsetzungshinweise

Das Mobilitäts- und Tiefbauamt ist verantwortlich für die Planung, Umsetzung und Finanzierung der Beleuchtung auf öffentlichen und Verkehrsflächen. Es unterstützt parallel das Grünflächenamt bei der Beleuchtungsplanung in städtischen Grünanlagen und Anlagen, die das Grünflächenamt in Amtshilfe plant wie z. B. für Schulen und setzt diese baulich um, wobei Entscheidung und Planungszuständigkeit beim Grünflächenamt liegen. Für nicht-öffentliche städtische Flächen wie Schulen, Kindergärten oder Sportanlagen sind der Eigenbetrieb Immobilienmanagement (IDA), die Darmstädter

Stadtentwicklungsgesellschaft GmbH & Co. KG (DSE), die Darmstädter Sportstätten GmbH & Co.KG (DSG) und das Sportamt zuständig.

Ausnahmen zu den Richtwerten der Lichtleitlinie können akzeptiert werden, wenn sie die Schutzziele des BNatSchG (insbesondere § 13, § 23 Abs. 4 und § 41a) und des HeNatG (§ 4 und § 35) nicht beeinträchtigen. Für öffentliche Flächen und Verkehrsflächen ist die Abstimmung mit dem Mobilitäts- und Tiefbauamt sowie dem Umweltamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt erforderlich. Bei anderen Flächen und Gebäuden in kommunaler Zuständigkeit, die von der Wissenschaftsstadt Darmstadt beleuchtet werden, erfolgt die Abstimmung mit dem Umweltamt und dem jeweils zuständigen Amt, wobei eine Zustimmung dieser Ämter zum Beleuchtungskonzept notwendig ist.

Sofern die Beleuchtung aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich ist, muss diese bestehen bleiben oder installiert werden. Das gilt ebenso, wenn sie aufgrund einer Rechtsvorschrift generell oder umfangspezifisch vorgeschrieben ist, etwa die Lichtfarbe oder Helligkeit betreffend. Ist die Errichtung von Beleuchtungsanlagen auf öffentlicher Fläche für die öffentliche Sicherheit begründet notwendig, darf künstliche Beleuchtung bestehen bleiben oder installiert werden, sofern sie die nächtliche Landschaft möglichst wenig beeinflusst.



Gemeinden mit Vorbildfunktion: § 7 Abs. 2 HeNatG

Das Land, die Gemeinden und Gemeindeverbände nehmen bei der Verwirklichung der Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege eine Vorbildfunktion ein und unterstützen im Rahmen ihrer Zuständigkeiten die Verwirklichung der Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege in besonderer Weise. Bei Planungen und Maßnahmen, die die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege berühren, unterrichten sie die für Naturschutz und Landschaftspflege zuständigen Behörden rechtzeitig und umfassend vor einer Entscheidung und geben ihnen Gelegenheit zur Stellungnahme, soweit nicht eine weitergehende Beteiligung vorgesehen ist.

Nach Beschluss der Lichtleitlinie sollte der Bestand der öffentlichen Beleuchtung unter Federführung des Mobilitäts- und Tiefbauamts erfasst werden. Eine weitere Aufgabe dieses Amtes besteht darin, Um- und Nachrüstungen für nicht den Leitlinienkriterien entsprechende Leuchten mithilfe eines Umrüstkfahrplans zu realisieren.

Bestehende Beleuchtung, die die Vorgaben der Lichtleitlinie deutlich überschreitet, also die Grenzwerte um mehr als das Dreifache übersteigt oder in Schutzgebiete hineinstrahlt, sollte möglichst sofort umgerüstet, nachgerüstet oder abgeschaltet werden, spätestens aber innerhalb von zwei Jahren nach ihrer Erfassung. Es sollte jeweils geprüft werden, ob bestehende Verträge, soweit möglich, geändert oder ergänzt werden können oder müssen. Angestrebt wird, die öffentliche Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit im Sinne der in dieser Lichtleitlinie formulierten Anforderungen kontinuierlich umzustellen.

Notwendigkeit

Künstliches Licht darf nur verwendet werden, wenn es rechtlich geboten oder begründet notwendig ist und einen bestimmten Zweck erfüllt. Vor Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung müssen Betreiber*innen prüfen, ob das Licht vorhandener Anlagen ausreicht oder ob lichtunabhängige Alternativen wie helle Beläge, Markierungen der Randbereiche oder Reflektoren umsetzbar sind.

Folgender Fragenkatalog ist bei der Beleuchtungsplanung zur Klärung der Notwendigkeit heranzuziehen:

- Warum wird die Lichtinstallation benötigt und welcher Zusatznutzen ist durch die Beleuchtungsanlage erkennbar?
- Ist die Beleuchtung bzw. eine bestimmte Beleuchtung gesetzlich oder auf anderer rechtlicher Grundlage vorgeschrieben?
- Wurde geprüft, ob die Beleuchtung ein naturschutzfachliches Konfliktpotenzial birgt?
- Wurden projektspezifische Kriterien zur Ermittlung des Bedarfs festgelegt, etwa Verkehrsdichte, Gefahrenstellen oder Besucherzahlen auf öffentlichen Plätzen?

Bei der Prüfung der Notwendigkeit sollten auch die Bestandsleuchten der öffentlichen Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit einbezogen und bestehende nicht notwendige Anlagen im Zuge der Umsetzung der Lichtleitlinie abgeschaltet werden.

Es muss jeweils geprüft werden, ob bestehende Verträge, im Rahmen des Möglichen, geändert oder ergänzt werden können.

§ Referenz: § 4 HeNatG Schutz von Lebewesen vor Beleuchtung



Foto: Volksternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Mit Abnahme des Verkehrs in den Nachtstunden wird weniger Licht benötigt und es sollte gedimmt oder abgeschaltet werden

Helligkeit

Der Lichtstrom muss auf das begründet notwendige Minimum reduziert und dem Beleuchtungszweck angepasst werden. Bei der Planung von Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung ist die bestehende Umgebungshelligkeit zu berücksichtigen. Der Lichtstrom sollte bedarfsgerecht angepasst und bei sinkendem Bedarf über Nacht mittels mehrstufiger Regelung, Bewegungsmeldern oder Zeitschaltuhren reduziert oder abgeschaltet werden.

Bei der Anwendung von sicherheits- oder arbeitstechnischen Normen oder Vorschriften sind die niedrigsten konformen Beleuchtungskategorien auszuwählen, wobei die Mindestwerte um nicht mehr als 25 % überschritten werden dürfen. Überschreitungen bei der Bestandsbeleuchtung sollten erfasst werden. Weiterhin ist zu prüfen, ob eine Reduzierung der Helligkeit sowie eine Nachtabschaltung umsetzbar ist.

§ Referenz: § 4 HeNatG Schutz von Lebewesen vor Beleuchtung, § 41a Abs. 1 BNatSchG Schutz von Tieren und Pflanzen vor nachteiligen Auswirkungen von Beleuchtungen, § 22 Abs. 1 Nr. 1 BImSchG Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen, LAI (2012)

Lichtfarbe

Bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung dürfen nur Leuchtmittel mit niedrigem Blauanteil verwendet werden. Diese dürfen maximal 15 % ihrer Strahlung unterhalb einer Wellenlänge von 500 nm aufweisen, idealerweise maximal 10 %. Zulässig sind Farbtemperaturen im Bereich von bernsteinfarben, maximal 2.200 K, bis warmweiß, maximal 3.000 K.

Bei Anlagen im Bestand mit neutralweißen LED-Leuchten (4.000 K) sollte geprüft werden, ob die Helligkeit dauerhaft oder stufenweise gesenkt werden kann oder der Einsatz von wärmeren LED-Leuchten (< 3.000 K) oder Farbfilterfolien möglich ist. Aus Gründen der Energieeinsparung ist hierbei eine Absenkung der Helligkeit vorzuziehen.

Bei Fußgängerüberwegen können Leuchten mit einer Lichtfarbe eingesetzt werden, die von den Beleuchtungsanlagen an der durchgehenden Straße abweicht, sofern die Helligkeit an den tatsächlichen Bedarf angepasst wird.

Es muss jeweils geprüft werden, ob bestehende Verträge, im Rahmen des Möglichen, geändert oder ergänzt werden können.

§ Referenz: § 35 Abs. 2 HeNatG Schutz von lichtempfindlichen Tier- und Pflanzenarten sowie Insekten



Auswahl, Platzierung und Lichtlenkung der Leuchten

Bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung gelten für die Auswahl, Platzierung und Lichtlenkung der Leuchten folgende Richtlinien:

- Verwendung ausschließlich voll abgeschirmter Leuchten mit 0 % Upward Light Ratio (ULR) im installierten Zustand. Das Licht sollte möglichst nur auf die Nutzfläche strahlen, insbesondere darf es nicht in sensible Bereiche strahlen (vgl. Seite 50ff). Hierbei ist die Auswahl von Leuchten mit der Lichtstärkeklasse G*4, G*5 oder G*6 anzuraten.
- Auswahl von Leuchten mit einer für den Beleuchtungszweck passenden Abstrahlcharakteristik. Die Lichtpunkthöhen sind dem Bedarf anzupassen und möglichst niedrig zu halten, sodass das Licht nur auf die Nutzfläche fällt.
- Einbeziehung der Gegebenheiten in der direkten Umgebung in die Standort- und Leuchtenwahl, etwa die Präsenz von Bäumen oder bauliche Strukturen.
- Verzicht auf rundum strahlende Leuchten wie Kugelleuchten, Solarkugeln oder freistrahrende Röhren und den Einsatz von Bodenstrahlern oder Leuchten mit direkter Abstrahlung in den Himmel. Der Einsatz von Skybeamern und Einrichtungen mit ähnlicher Wirkung sind unzulässig (§ 35 Abs. 3 HeNatG).

Bei gebäudenah angebrachten Leuchten sind Lichtimmissionen auf Wohnräume und Balkone durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Dazu zählen etwa eine niedrige Anbringungshöhe der Leuchte, ein größerer Anbringungsabstand der Leuchte zur Fassade oder Blenden. Auf gezielte oder flächige Fassadenanstrahlungen wird verzichtet (siehe LAI 2012).

Bei Bestandsbeleuchtungen der öffentlichen Beleuchtung auf öffentlichen Flächen und Verkehrsflächen sollten Abweichungen möglichst im Rahmen der Bestandserfassung dokumentiert und innerhalb von zwei Jahren nach dieser Erfassung korrigiert werden, etwa durch Anpassung der Ausrichtung oder Montage von Blendkappen. Direkt in den Himmel strahlende Bestandsbeleuchtungen sollten sofort nach Verabschiedung der Lichtleitlinie ausgeschaltet werden. Eine spätere Umrüstung für eine Wiederinbetriebnahme kann in begründeten Fällen erfolgen. Für öffentliche Flächen und Verkehrsflächen ist dies mit dem Mobilitäts- und Tiefbauamt sowie dem Umweltamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt abzustimmen.

§ Referenz: § 4 HeNatG Schutz von Lebewesen vor Beleuchtung, § 35 Abs 1 Nr. 2, Abs. 3 HeNatG § 35 Abs. 3 Schutz von lichtempfindlichen Tier- und Pflanzenarten sowie Insekten

Die Innenbeleuchtung sollte so gestaltet sein, dass sie nicht störend in den Außenraum wirkt. Hierbei sollte nach Möglichkeit für alle öffentlichen Gebäude geprüft werden, ob durch Fenster nach außen strahlende Innenbeleuchtung während der Nachtstunden ausgeschaltet oder Jalousien oder ein Blendschutz verwendet werden kann. Aus Gründen der Energieeinsparung ist eine Abschaltung zu präferieren.

Diese Richtwerte der Lichtleitlinie gelten bei Beleuchtung durch Dritte nach laufenden Verträgen in dem Umfang, in dem dies vertraglich möglich oder verhandelbar ist.

§ Referenz: § 3 Abs. 1 und 2 BImSchG Begriffsbestimmung, § 22 BImSchG Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen und LAI (2012)

Steuerung

Die Beleuchtungsdauer ist bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung durch Schalter, Zeitschaltuhren, Steuerungssoftware oder Bewegungsmelder auf die Nutzungszeit zu begrenzen, soweit dies vertraglich durchgesetzt werden kann. Die Helligkeit ist dem Bedarf anzupassen und spätestens in den Nachtstunden, also von 22.00 bis 6.00 Uhr, auf das minimal zulässige Maß zu dimmen oder abzuschalten. Die Zuständigkeit für die Steuerung der einzelnen Beleuchtungsanlagen liegt bei den jeweiligen Betreiberinnen und Betreiber und variiert je nach Beleuchtungskategorie.

Für Beleuchtungsanlagen im Bestand mit ganztägiger und ganznächtlicher Schaltung ist die Notwendigkeit der vorhandenen Schaltung nach Möglichkeit von den Betreiberinnen und Betreibern zu überprüfen. Liegt keine Notwendigkeit vor, sollte die Beleuchtungsdauer nach den technischen Möglichkeiten reduziert und bzw. oder die Steuerung mehrstufig geregelt werden.

§ Referenz: § 3 Abs. 1 und 2 BImSchG Begriffsbestimmung, § 22 BImSchG Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen und LAI (2012).

Starke Lichtverschmutzung durch fehlende Abschirmung der Beleuchtung



Foto: Volksterwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Straßen-, Wege- und Platzbeleuchtung

Vor jeder Neuinstallation, Umrüstung oder Erneuerung der öffentlichen Beleuchtung in Straßen, Wegen und auf Plätzen führt das Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt eine Lichtplanung gemäß den Richtwerten der Lichtleitlinie durch oder lässt diese durchführen.

Falls die genannten Maßnahmen durch bestehende Verträge geregelt sind, wird geprüft, ob die Lichtleitlinien in den Verträgen umsetzbar sind oder ob eine Vertragsänderung möglich ist.

Beleuchtungsniveau

Die mittleren Beleuchtungsstärken (\bar{E}) bzw. Leuchtdichte pro Straßen- und Wegekategorie für Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen von Beleuchtungsanlagen richten sich an den in Tabelle 01 dargestellten

Richtwerten zu den Normalverkehrszeiten (siehe Tabelle 02). Die in der DIN zur Berechnung der Beleuchtungskategorie festgelegten Parameter lassen bei einzelnen Parametern einen Ermessensspielraum offen. Hier sollte zukünftig der Ermessensspielraum genutzt werden, sodass die maximal höchste M-Klasse erreicht wird.

Eine Überschreitung der Beleuchtungsstärke aus Tabelle 01 um das jeweils notwendige Maß ist in begründeten Fällen zulässig, z. B. in Konfliktzonen mit erhöhten Anforderungspflichten oder andere Anforderungen wie bspw. der Aufsichtsbehörde für Straßenbahnen empfohlen wird. Soweit die vorgenannten Maßnahmen nach laufenden Verträgen mit Dritten geregelt sind, ist zu prüfen, ob die Richtwerte aus Tabelle 01 danach umsetzbar sind oder eine Änderung der Verträge herbeigeführt werden kann.

Straßen- und Wegekategorie	Mittlere Beleuchtungsstärke (E)	Mittlere Leuchtdichte	Beleuchtungsklassen zur Lichtplanung nach DIN EN 13201
Hauptverkehrsstraße 50 km/h	10 lx	0,75 cd/m ²	C4, M4
Hauptverkehrsstraße ≤ 30 km/h	7,5 lx	0,5 cd/m ²	C5, M5
Nebenstraße/Sammelstraße 50 km/h	7,5 lx	0,5 cd/m	(P3), C5, M5
Nebenstraße/Sammelstraße 30 km/h	5 lx	0,3 cd/m	P4, M6
Anliegerstraße 50 km/h	5 lx	–	P4
Anliegerstraße 30 km/h	3 lx	–	P5
Radwege	3 lx	–	P5
Verkehrsberuhigte Bereiche, Plätze und Fußweg	2 lx	–	P6

Tabelle 01: Richtwerte zu grundsätzlich zulässigen Beleuchtungsniveaus auf Straßen und Wegen (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023).

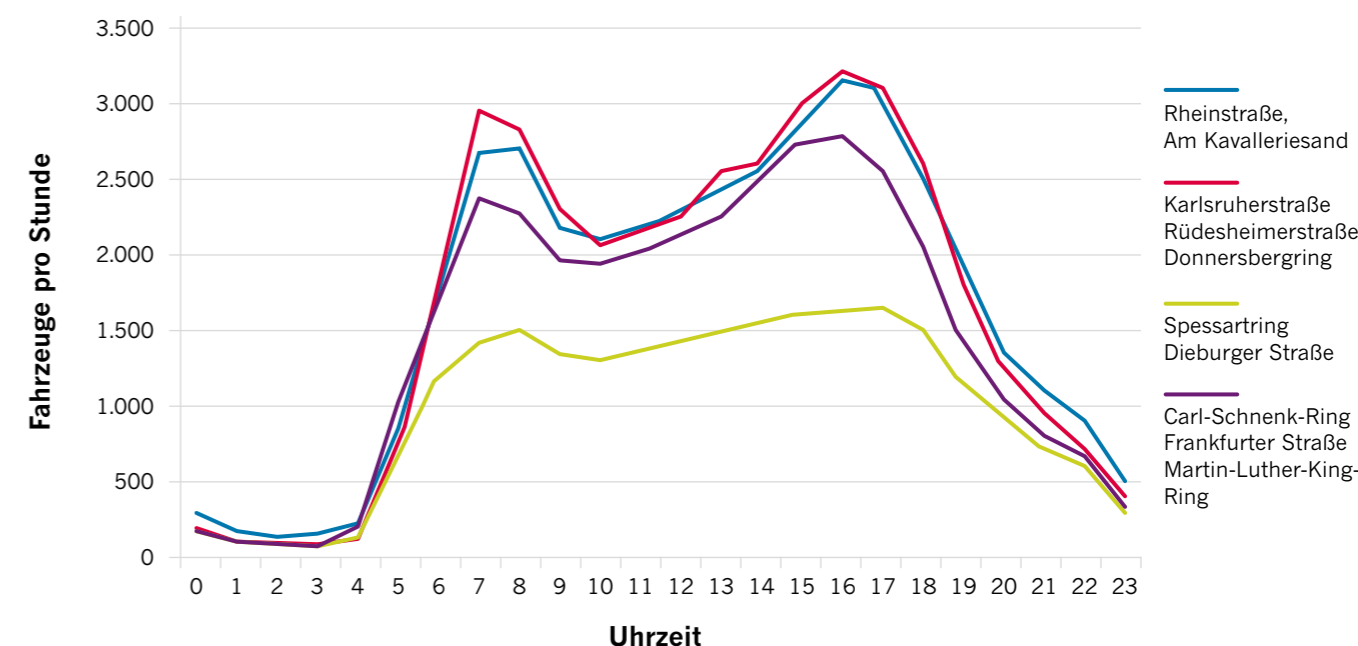


Abb. 12: Durchschnittliches Verkehrsaufkommen auf ausgewählten Hauptverkehrsstraßen in Darmstadt im Tagesverlauf an einem Werktag im Jahr 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Bei der Planung der Beleuchtungsanlagen und der Auswahl des Beleuchtungsniveaus werden bei Bedarf alle notwendigen städtischen Verwaltungseinheiten, insbesondere das Umweltamt, und weitere notwendige Beteiligte vom Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt mit in die Planung und Abwägung einbezogen.

Bedarfsorientierung

Die Straßen- und Wegebeleuchtung wird durch Dämmerungsschalter gesteuert: Sie schaltet sich zum Ende der bürgerlichen Abenddämmerung ein und mit Beginn der zivilen Morgendämmerung wieder aus (siehe Seite 11, Abb. 02).

Bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der Straßen-, Wege- und Platzbeleuchtungen sind die Systeme, soweit vertraglich möglich, zeitlich mehrstufig auszuführen und das Beleuchtungsniveau an den Bedarf des jeweiligen Stadtgebietes oder der Straße anzupassen. Spätestens außerhalb der Normalverkehrszeit und während der Niedrigverkehrszeit werden die mittlere Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte pro Straßen- und Wegekategorie reduziert. Zudem ist für die Nachtverkehrszeit die Möglichkeit einer nächtlichen Abschaltung der Straßen-, Wege- und Platzbeleuchtung in der Beleuchtungsplanung zu prüfen. Bei durchgeführten Abschaltungen wird das Verkehrszeichen 394 der Straßenverkehrsordnung (roter Laternenring) am Mast angebracht.

Verkehrszeit	Aufkommen	Werktags
Normalverkehr	Normal	06.30 – 19.00 Uhr
Niedrigverkehr	Gering	19.00 – 00.00 Uhr 05.00 – 06.30 Uhr
Nachtverkehr	Sehr gering	00.00 – 05.00 Uhr

Tabelle 02: Normalverkehrs-, Niedrigverkehrs- und Nachtverkehrszeiten für die Wissenschaftsstadt Darmstadt, basierend auf dem Verkehrsaufkommen an Hauptverkehrsachsen (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023).



Städtische Liegenschaften

Gebäudeanstrahlungen und gestalterisches Licht

Von der nächtlichen Abschaltung ausgenommen sind:

- Fußgängerüberwege (§ 26 VwV-StVO)
- Hauptverkehrsstraßen
- Mischverkehrsflächen und Fahrbahnen ohne Gehwege aber mit Fußverkehr
- Gleisbereiche der Straßenbahn und Haltestellen des ÖPNV
- Bereiche, die auch während der Nachtverkehrszeiten durch Fußverkehr höher frequentiert werden
- Straßenzüge mit einem hohen Parkplatzanteil
- Adaptationsbereiche

Die nächtliche Abschaltung muss technisch so umsetzbar sein, dass angrenzende Straßenleuchten nicht vom Rundsteuersignal betroffen sind. Eine nächtliche Abschaltung erfolgt nur, wenn sie nicht aus Gründen der Verkehrssicherheit, öffentlichen Sicherheit oder Betriebssicherheit notwendig oder rechtlich vorgeschrieben ist.

Für folgende Bereiche erfolgt bei Neuinstallation, Umrüstung oder Erneuerung von Beleuchtungsanlagen eine Absenkung der Beleuchtung auf mindestens 30 % der Beleuchtungsstärke zu Normalverkehrszeiten während der Nachtverkehrszeit. Mindestwerte für die Bereiche der Fußgängerüberwege, Gleisbereiche der Straßenbahnen und Haltestellen des ÖPNV dürfen hierbei nicht unterschritten werden.

- Hauptverkehrsstraßen
- Mischverkehrsflächen und Fahrbahnen ohne Gehwege aber mit Fußverkehr
- Entlang von Straßenzügen mit hohem Parkplatzanteil
- Bereiche, die auch während der Nachtverkehrszeiten durch Fußverkehr höher frequentiert werden
- Entlang von Straßenzügen mit einem hohen Parkplatzanteil
- Adaptationsbereiche

Diese Vorschriften gelten, soweit die normale Beleuchtungsstärke nicht aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben ist. Mindestwerte für Fußgängerüberwege, Gleisbereiche der Straßenbahnen und Haltestellen des ÖPNV dürfen hierbei nicht unterschritten werden.

Bei bestehenden Beleuchtungsanlagen mit ganznächtiger Reduzierung auf 50 % der vollen Leistung sind nach Möglichkeit die technischen und finanziellen Ressourcen für eine Schaltzeit-anpassung zu prüfen. Ziel ist es, die Leistung während der Niedrig- und Nachtverkehrszeit auf 50 % zu reduzieren.

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen in kommunaler Zuständigkeit auf öffentlichen Flächen und Verkehrsflächen, insbesondere bei der zeitlichen Steuerung der einzelnen Beleuchtungsanlagen, werden bei Bedarf alle erforderlichen städtischen Ämter, insbesondere das Umweltamt und weitere erforderliche Beteiligte vom Amt für Mobilität und Tiefbau der Wissenschaftsstadt Darmstadt in die Planung und Abwägung einbezogen. An ausgewählten Stellen sollen Anpassungen unter Real-Labor-Bedingungen erfolgen, sofern dafür die personellen Ressourcen vorhanden sind. Eine Umrüstung an solchen Stellen ruht, bis eine wissenschaftliche Begleitung umsetzbar ist.

Soweit die vorgenannten Maßnahmen nach laufenden Verträgen geregelt sind, ist zu prüfen, ob die Richtwerte der Lichtleitlinie danach umsetzbar sind oder eine Änderung der Verträge möglich ist.

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt verzichtet zum Schutz von wildlebenden Pflanzen und Tieren im Zeitraum vom 1. April bis zum 30. September ganztägig sowie vom 1. Oktober bis zum 31. März spätestens von 22.00 bis 6.00 Uhr auf die Beleuchtung von Gebäudefassaden und Kulturdenkmälern sowie sonstiges gestalterisches Licht. Ausnahmen stellen lediglich der Hochzeitsturm auf der Mathildenhöhe und das Ludwigsmonument auf dem Luisenplatz dar. Die Beleuchtung bleibt außerdem bestehen, wenn sie aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben ist. Ein entsprechender Nachweis und das Beleuchtungskonzept müssen vorab mit dem Mobilitäts- und Tiefbauamt und dem Umweltamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt abgestimmt werden.

Eine Anpassung der Schaltzeiten für die Bestandsbeleuchtung ist möglichst direkt nach Beschluss der Lichtleitlinie durch das Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt zu beauftragen.

Bei der Errichtung von neuen Beleuchtungsanlagen muss eine klare Funktionszuweisung erfolgen. Effektbeleuchtung darf nicht gleichzeitig

als funktionale Beleuchtung für die öffentliche Beleuchtung fungieren oder an deren Schaltkreis angeschlossen sein.

Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen öffentlicher Anstrahlungen oder anderer gestalterischer Beleuchtungen sind so zu planen, dass kein Licht am zu beleuchtenden Objekt vorbei strahlt, etwa durch Projektionstechnik, Gobotechnik oder Masken. Andernfalls darf eine Anstrahlung nur von oben nach unten und mit 0 % Upward-Light-Ratio im installierten Zustand erfolgen. Himmelsstrahler und blinkende Beleuchtungsanlagen sind grundsätzlich unzulässig (§ 35 Abs. 3 HeNatG).



Der Begriff „Gobotechnik“

Gobotechnik bezieht sich auf die Verwendung von Gobos – Graphical Optical Blackouts – in der Beleuchtungs- und Projektionstechnik. Ein Gobo ist eine physische Vorlage, oft eine Scheibe aus Metall oder Glas, die in einem Projektor oder Scheinwerfer eingesetzt wird. Diese Vorlagen haben Ausschnitte oder Muster, durch die Licht hindurch projiziert wird, um spezifische Muster, Formen, Bilder oder Schatteneffekte zu erzeugen.

Beispiel einer beleuchteten prominenten Gebäudefassade in der Innenstadt





Zuwege-, Zufahrts- und Wegebeleuchtung

Beleuchtungsanlagen im Bestand, die nicht diesen Anforderungen entsprechen und starke Lichtemissionen aufweisen, sollten umgehend nach Beschluss der Lichtleitlinie bis zu einer Um- oder Nachrüstung abgeschaltet werden, insbesondere dann, wenn die Beleuchtung entweder:

- mittels Bodenstrahler oder freistrahlenen Wandleuchten erfolgt.
- über die Nutzfläche und die Höhe des Horizonts strahlt und dadurch eine Fernwirkung und Aufhellung der direkten Umgebung verursacht. (§ 35 Abs. 1 Satz 2 HeNatG)
- Grenzwerte für Lichtimmissionen auf Wohnräume gemäß (LAI 2012) überschreitet.

Dies steht im Einklang mit der Vorbildfunktion von Gemeinden bei der Verwirklichung der Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege gemäß § 7 Abs. 2 HeNatG sowie § 35 Abs. 1. Nr. 1 und 2 HeNatG.

Soweit die vorgenannten Maßnahmen nach laufenden Verträgen geregelt sind, ist zu prüfen, ob die Richtwerte der Lichtleitlinie danach umsetzbar sind oder eine Änderung der Verträge möglich ist.

Ausnahmen bei besonderen Ereignissen

Erlaubt sind ganzjährig vorübergehende Beleuchtungen im Siedlungsbereich bei Kultur- und Sportveranstaltungen und Volksfesten sowie Beleuchtung anlässlich traditioneller und religiöser Feste sofern die allgemeinen Grundsätze zur Beleuchtung (siehe Kap. 4) berücksichtigt werden. Ein entsprechendes Beleuchtungskonzept ist bei der Beantragung einer Genehmigung vorzulegen oder durch das Bürger- und Ordnungsamt nachzufordern und dann mit dem Mobilitäts- und Tiefbauamt sowie dem Umweltamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt abzustimmen.

Zuwege-, Zufahrts- und Wegebeleuchtung außerhalb der öffentlichen Straße, von Park- und Grünanlagen sowie der freien Landschaft wird bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung bedarfsorientiert geschaltet, etwa mittels Bewegungsmelder, Zeitschaltuhr mit Astrofunktion oder Lichtschalter. Spätestens während der Nacht von 22.00 bis 6.00 Uhr erfolgt eine Abschaltung soweit diese nicht aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben ist.

Um Blendung zu verhindern und die Sicht zu verbessern, sollte die Beleuchtung bei Zugängen, Zufahrten und Wegen zu städtischen Einrichtungen wie Parkplätzen und Sportanlagen sowie in Parks, Grünanlagen und freie Landschaft optimiert werden. Bei Neuinstallationen, Umrüstungen oder Erneuerungen wird Orientierungslicht mit einem maximalen Lichtstrom von 500 lm pro Leuchte erzeugt. Die Beleuchtung erfolgt idealerweise in niedriger Höhe oder etwa

Aufgrund der mangelnden Abschirmung der Wegebeleuchtung fällt unnötiges Licht in die angrenzenden Grünanlagen



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

durch Pollerleuchten, die das Licht stringent nach unten auf die Zielfläche lenken. Für Wege und Zuwege ist eine durchschnittliche Beleuchtungsstärke von höchstens 2 lx vorgesehen, die im Anwendungsbereich der ASR A3.4 auf maximal 5 lx erhöht werden kann. Eine Überschreitung dieser Beleuchtungsstärke ist nur in speziellen Ausnahmefällen gestattet. Zudem liegt die korrelierende Farbtemperatur der Lampen auf Zuwegungen, Zufahrten und Wegen bei maximal 1.900 K.

Parkplätze

Die mittleren Beleuchtungsstärken für Parkplätze richten sich nach dem Verkehrsaufkommen und der Art des Parkplatzes. Wichtig ist die Unterscheidung nach öffentlichen und nicht öffentlichen Parkplätzen. Die folgenden Beleuchtungsstärken in Tabelle 03 dürfen nur in begründeten Ausnahmefällen um das notwendige Maß überschritten werden.

Die Parkplatzbeleuchtung ist bedarfsorientiert zu steuern, etwa über Bewegungsmelder oder Zeitschaltuhren. Außerhalb der Nutzungszeiten und spätestens während der Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr, entsprechend 16. BImSchV) ist die



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg
Ein Parkplatz mit schlecht abgeschirmter Beleuchtung und hoher Beleuchtungsstärke

Beleuchtung abzuschalten. Für Zeiten geringer Nutzung ist eine Teilabschaltung oder Dimmung vorzusehen.

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen in kommunaler Zuständigkeit, speziell der zeitlichen Steuerung der einzelnen Anlagen, werden bei Bedarf alle notwendigen städtischen Verwaltungseinheiten, insbesondere das Umweltamt, und weitere notwendige Beteiligte des jeweils zuständigen Amtes bzw. Organisation in die Planung und Abwägung einbezogen. Soweit die vorgenannten Maßnahmen nach laufenden Verträgen geregelt sind, ist zu prüfen, ob die Richtwerte der Lichtleitlinie danach umsetzbar sind oder eine Änderung der Verträge möglich ist.

Verkehrsaufkommen	Arbeitsstätte (ASR 3.4)	Öffentlicher Parkplatz (EN13201)	Nicht öffentlicher Parkplatz (z. B. beschränkte, kostenpflichtige Stellflächen) (DIN EN 12464)
Hoch	10 lx	10 lx (P2)	20 lx
Normal	10 lx	7,5 lx (P3)	10 lx
Gering	10 lx	5 lx (P4)	5 lx

Tabelle 03: Grundsätzlich zulässiges Beleuchtungsniveau auf Parkplätzen, soweit aufgrund der Verkehrssicherungspflicht nicht abweichende Werte nach DIN empfohlen sind (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)



Sportstätten und Sportanlagen

Sportstätten und Sportanlagen liegen häufig in naturnahen Außenbereichen gemäß § 35 BauGB oder in unmittelbarer Nähe zu Wohngebäuden. Durch die Art der Installation von Flutlichtanlagen und deren hohe Beleuchtungsstärken können sie beträchtliche Lichtemissionen erzeugen, die sich auf die Natur und die Wohnräume von Anwohnerinnen und Anwohner auswirken.

Die folgenden Regelungen gelten für Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen von Beleuchtungsanlagen auf Sportstätten und Sportanlagen, die durch die Wissenschaftsstadt Darmstadt betrieben werden. Sie dienen daher auch der Vermeidung von Um- und Nachrüstpflichten aufgrund des § 3 Abs. 1 und Abs. 2 sowie § 22 BImSchG in Verbindung mit LAI 2012 und § 41a und § 54 BNatSchG und § 4, § 35 HeNatG. Die derzeit gültigen Förderrichtlinien des Bundes werden berücksichtigt (Technischer Annex der Kommunalrichtlinie im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative 2021).

Die zulässige korrelierte Farbtemperatur liegt bei maximal 3.000 K. In begründeten Ausnahmefällen wie bei Sportarten mit sehr hoher Ballgeschwindigkeit, etwa Hockey, oder bei Fernsehübertragungen darf sie auf 4.000 K erhöht werden.

Die Beleuchtungsstärken der DIN 12193 „Sportstättenbeleuchtung“ variieren je nach Sportart und dürfen nicht überschritten werden. So sieht etwa Klasse III für den einfachen Trainingsbetrieb 75 lx vor und Klasse II für den Wettkampfbetrieb 200 lx. Eine Überschreitung dieser Werte um mehr als 25 % ist nur bei verkehrssicherheitsrelevanten oder anderen rechtlichen Gründen erlaubt.

Die Beleuchtungsanlagen sollten steuerbar oder dimmbar sein, um den Bedarf anzupassen. Dies ermöglicht Teilabschaltungen, beispielsweise bei Training auf halbem Platz, oder die Anpassung des Beleuchtungsniveaus zwischen Trainings- und Wettkampfbetrieb.

Intelligente Flutlichtatmosphäre

Flutlichter sind so auszuwählen und zu installieren, dass sie kein Licht über die Horizontale hinaus abgeben (0 % ULR). Die Lichtemission nach hinten und über die Sportanlage hinaus ist minimal zu halten, beispielsweise durch den Einsatz von Blenden. Die Beleuchtungsstärke soll 10 Meter außerhalb der Sportanlage maximal 2 lx betragen. Bei der Planung und Abnahme sind die Immissionsschutzgrenzwerte laut (LAI 2012) (siehe Seite 57, Tabelle 04) zu beachten.

Neue Beleuchtungsanlagen oder deren Umrüstung bzw. Erneuerung auf Sportstätten oder Sportanlagen im Außenbereich gemäß § 35 BauGB sind durch die zuständigen Ämter der Wissenschaftsstadt Darmstadt zu prüfen und zu genehmigen. Dies sind für Vereinsspielflächen der Eigenbetrieb Immobilienmanagement als Verpächterin der Sportstätten und für städtische Anlagen entweder das Sportamt oder die Darmstädter Sportstätten GmbH (DSG). Wie bei anderen Vorhaben ist das Umweltamt bei der Planung der Beleuchtungsanlagen in kommunaler Zuständigkeit in die Planung und Abwägung einzubeziehen. Als Beleg für die Einhaltung der festgelegten Richtwerte ist den Ämtern ein Abnahmeprotokoll mit photometrischer Messung vorzulegen.

Soweit die vorgenannten Maßnahmen nach laufenden Verträgen geregelt sind, ist zu prüfen, ob die Richtwerte der Lichtleitlinie danach umsetzbar sind oder eine Änderung der Verträge möglich ist.

Werbeanlagen

Bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen von öffentlichen, beleuchteten Werbeanlagen, die entweder freistehend oder an Gebäuden angebracht sind und in kommunaler Zuständigkeit liegen, müssen folgende Richtlinien beachtet werden:

- Die Oberkante der Werbeanlagen darf nicht höher als die Gebäudeoberkante sein.
- Bei der Beleuchtung der Werbeanlagen darf das Licht nicht über die angestrahlten Flächen hinausgelenkt werden.
- Zur Vermeidung von unerwünschter Lichtstreuung sind Scheinwerfer mit gezielter Abstrahlung einzusetzen. Dazu zählen unter anderem asymmetrische Flächenstrahler, Blenden oder Projektionstechniken.
- Anstrahlungen sollten nur von oben nach unten erfolgen, um Streulicht in den Himmel und in die Umgebung zu vermeiden.
- Der Einsatz von Himmelsstrahlern ist nicht erlaubt.
- Werbe- und Beleuchtungsanlagen, die bewegtes, wechselndes oder blinkendes Licht mit einer Frequenz unter vier Sekunden erzeugen, sind unzulässig und dürfen nicht mehr installiert werden.

Für Anstrahlungen bzw. selbststrahlende Werbeanlagen, die größer als 10 m² sind, ist die Leuchtdichte bei neuen Installationen, Umrüstungen und Erneuerungen nach Sonnenuntergang auf maximal 5 cd/m² zu begrenzen (2 cd/m² in sensiblen Bereichen). Bei kleineren Flächen (unter 10 m²) darf die Leuchtdichte nicht mehr als 100 cd/m² betragen (50 cd/m² in sensiblen Bereichen). Die Hintergründe selbstleuchtender Anlagen sollten dunkel oder in warmen Farben gehalten werden. In sensible Bereiche einwirkende Werbung ist nicht erlaubt.

Beleuchtete oder selbstleuchtende Werbeanlagen bleiben gemäß der 16. BImSchV möglichst in der Nacht von 22.00 bis 6.00 Uhr abgeschaltet.

Öffentliche Schaufensterbeleuchtungen dürfen nicht störend in den Außenraum wirken. Die horizontale Beleuchtungsstärke am Boden mehr als ein Meter vor dem Schaufenster darf die öffentliche Beleuchtung maximal um das Doppelte überschreiten, höchstens jedoch 40 lx betragen. Nach 22.00 Uhr oder nach Geschäftschluss sollte diese Beleuchtung deutlich reduziert oder abgeschaltet werden.

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen in kommunaler Zuständigkeit, speziell der zeitlichen Steuerung der einzelnen Anlagen, werden bei Bedarf alle notwendigen städtischen Verwaltungseinheiten, insbesondere das Umweltamt, und weitere notwendige Beteiligte von dem jeweils zuständigen Amtes bzw. Organisation in die Planung und Abwägung einbezogen.

Soweit die vorgenannten Maßnahmen nach laufenden Verträgen geregelt sind, ist zu prüfen, ob die Richtwerte der Lichtleitlinie danach umsetzbar sind oder eine Änderung der Verträge möglich ist.



Gemäß §35 HeNatG Nr. 4 sind im Außenbereich nach § 35 des Baugesetzbuchs beleuchtete oder lichtemittierende Werbeanlagen und Wegweiser in der Zeit von 22 Uhr bis 6 Uhr abzuschalten.

Sensible Bereiche

Schutzgebiete, Außenbereich nach § 35 BauGB und angrenzende Bereiche

Der Außenbereich nach § 35 BauGB der Wissenschaftsstadt Darmstadt setzt sich aus Wäldern, Offenland, Streuobstwiesen sowie Still- und Fließgewässern mit angrenzenden Auen und Agrarlandschaften (Feldfluren) zusammen. Teile dieser Flächen sind als Schutzgebiete ausgewiesen.

Falls vorhandene Verträge mit Dritten die Maßnahmen gemäß Seite 37 bis 41 betreffen, muss geprüft werden, ob die Richtwerte der Lichtleitlinie umsetzbar sind oder ob eine Vertragsänderung möglich ist. Die Maßnahmen sind nicht

anzuwenden, wenn aus Gründen der Verkehrssicherheit eine bestimmte Beleuchtung erforderlich ist, etwa an Gefahrenstellen.

Auf die Installation vermeidbarer künstlicher Außenbeleuchtung wird in den sensiblen Bereichen nach § 35 Abs.1 Nr. 1 HeNatG verzichtet, soweit diese nicht aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben ist. In Naturschutzgebieten im Außenbereich nach § 35 BauGB ist es zudem gemäß § 23 Abs. 4 BNatSchG verboten, neue Beleuchtungsanlagen oder lichtemittierende Werbeanlagen zu errichten.

Bestmöglicher Schutz von Landschaft und Natur

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt verzichtet zusätzlich auf neue Beleuchtungsanlagen in FFH-Gebieten (Fauna-Flora-Habitat), Vogelschutzgebieten, Landschaftsschutzgebieten, Naturdenkmälern und flächenhaften Naturdenkmälern sowie in land- und forstwirtschaftlich genutzten Bereichen, es sei denn, sie sind aus Gründen der Verkehrssicherheit, der Betriebssicherheit oder der öffentlichen Sicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben. Vor Installationen muss ein Nachweis und das Beleuchtungskonzept mit dem Mobilitäts- und Tiefbauamt sowie dem Umweltamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt abgestimmt werden.

Die abgestimmte Neuinstallation, Umrüstung oder Erneuerung der öffentlichen Beleuchtung erfolgt als Orientierungslicht und zeitlich mehrstufig geregelt mit maximal 3 lx mittlerer Beleuchtungsstärke und einer Farbtemperatur von 1.900 K. Im installierten Zustand müssen 0% ULR eingehalten und die Störwirkung in angrenzende Bereiche vermieden werden. Empfohlen werden Leuchten der Klassen G*4, G*5 oder G*6.

Das Beleuchtungsniveau wird in Schutzgebieten, im Außenbereich nach § 35 BauGB und in angrenzenden Bereichen während der Niedrigverkehrszeit (siehe Seite 43, Tab 02) abgesenkt. Mindestwerte für die Bereiche der Fußgängerüberwege, Gleisbereiche der Straßenbahnen und Haltestellenbereiche des ÖPNV dürfen hierbei nicht unterschritten werden.

Die Beleuchtung ist nach den Betriebs- bzw. Nutzungszeiten abzuschalten, spätestens aber zu den Nachtverkehrszeiten (siehe Seite 43, Tabelle 02), soweit diese nicht aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben ist. Falls eine nächtliche Abschaltung nicht umsetzbar ist (siehe Seite 44), sollten die Beleuchtungsanlagen auf mindestens 30 % der Beleuchtungsstärke zu Normalverkehrszeiten reduziert werden, sofern dies mit der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit und der Betriebssicherheit vereinbar ist und die Mindestwerte für die Bereiche der Fußgängerüberwege, Gleisbereiche der Straßenbahnen und Haltestellenbereiche des ÖPNV nicht unterschritten werden.

Bestehende Beleuchtungsanlagen, die diesen Anforderungen nicht entsprechen, sollen innerhalb von zwei Jahren nach der Bestandsaufnahme umgerüstet oder abgeschaltet werden.

Neuinstallationen öffentlicher Fuß- und Radwegbeleuchtung, insbesondere von Schulwegen, im Außenbereich nach § 35 BauGB können zugelassen werden, sofern diese ebenfalls als Orientierungslicht umgesetzt werden und die Beleuchtung den oben genannten Richtwerten und der zeitlichen Steuerung für Schutzgebiete und den Außenbereich nach § 35 BauGB entspricht.

Eine Neuinstallation von Beleuchtungsanlagen für Sportstätten oder Sportanlagen im Außenbereich nach § 35 BauGB kann unter Berücksichtigung der Richtwerte (siehe Seite 57) ebenfalls zugelassen werden.

Prüfung einer Pufferzone sinnvoll

Bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung in Siedlungsbereichen, die an den Außenbereich gemäß § 35 BauGB, an Schutzgebiete, die Agrarlandschaft oder den Forst angrenzen, ist darauf zu achten, dass keine direkte Lichteinstrahlung in die sensiblen Bereiche erfolgt. Um dies zu gewährleisten, sollte bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung im Siedlungsbereich die Möglichkeit zur Errichtung einer Pufferzone mit angepasster Beleuchtung geprüft und in die Planung miteinbezogen werden (siehe Abb. 13). Dabei umfasst die Pufferzone den Bereich vom Siedlungsrand bis 150 m nach innen und bildet somit eine Übergangszone zu den sensiblen Bereichen.

Beleuchtungsanlagen innerhalb dieser Pufferzone dürfen im installierten Zustand kein Licht oberhalb der Horizontalen abgeben (0% ULR) und sollten minimal störend für angrenzende Bereiche sein. Dabei empfiehlt sich der Einsatz von Leuchten der Lichtstärkeklasse G*4, G*5 oder G*6. Die korrelierende Farbtemperatur sollte maximal 2.200 K betragen. Von der Pufferzone darf kein Licht in die sensiblen Bereiche strahlen. Die zeitliche Steuerung der Beleuchtungsanlagen in den Pufferzonen erfolgt nach den Richtwerten für Schutzgebiete und den Außenbereich nach § 35 BauGB (siehe oben).



Die im Naturschutzgebiet gelegene „Grube Prinz von Hessen“ wird nachts nicht beleuchtet

Foto: Volksternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Es wird angestrebt, sofern vorhandene Verträge mit Dritten die Maßnahmen gemäß der Seiten 37 bis 41 betreffen, zu prüfen, ob die Richtwerte der Lichtleitlinie umsetzbar sind oder ob eine Vertragsänderung möglich ist.

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen in kommunaler Zuständigkeit, speziell der zeitlichen Steuerung der einzelnen Anlagen, werden bei Bedarf alle notwendigen städtischen Verwaltungseinheiten, insbesondere das Umweltamt, und weitere notwendig Beteiligte durch das Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt in die Planung und Abwägung einbezogen.

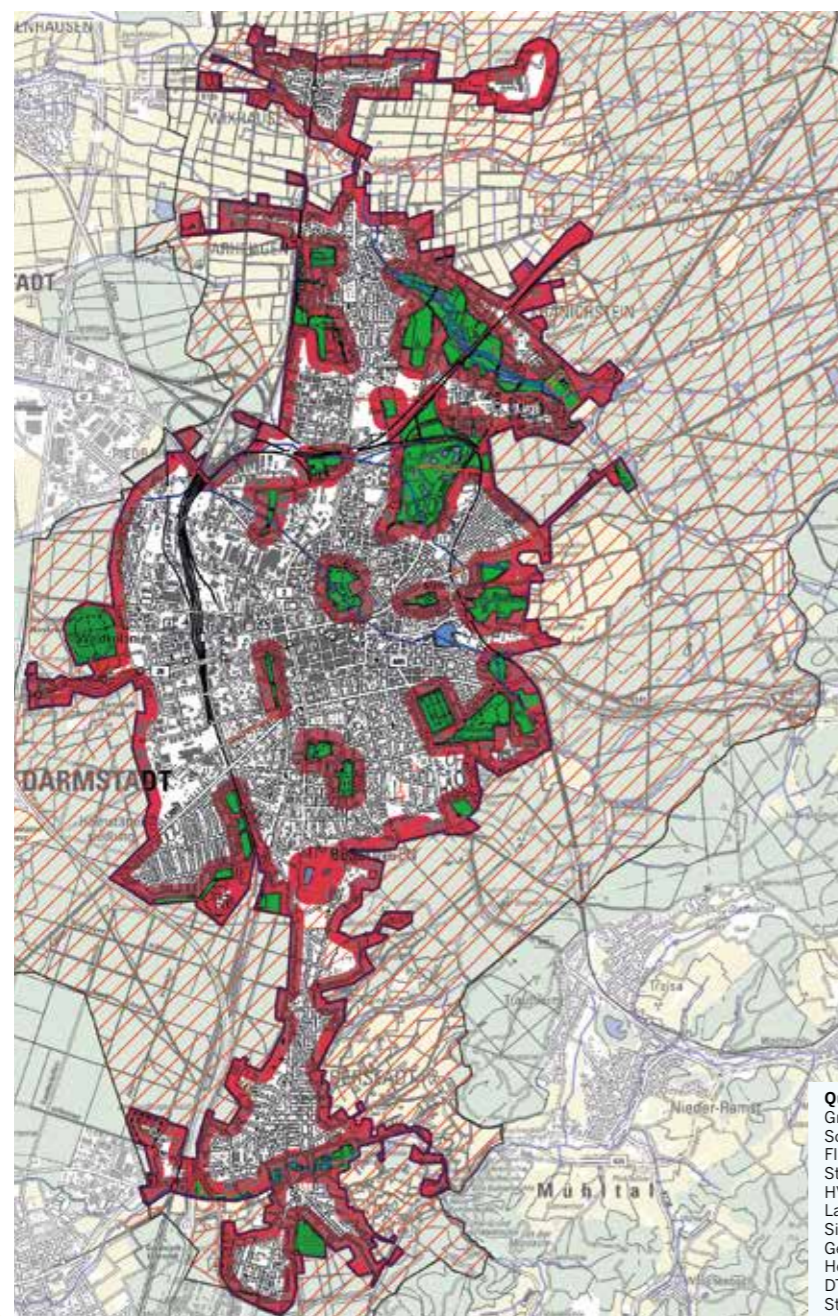











Abb. 13:
Schematische Darstellung der sensiblen Bereiche und deren Pufferzonen von 150 m

Die Darstellung erfolgt hier nur exemplarisch. Die Karte steht den Planenden über das städtische Geodaten-Portal in digitaler Form zur Verfügung.

- Sensible Bereiche**
-  NSG, LSG, Natura 2000, flächenhafte Naturdenkmale
 -  Grünanlagen/-bereiche
 -  Landwirtschaft
 -  Forstwirtschaft
 -  Stillgewässer
 -  Gewässernetz
- Pufferzone**
-  Bereich von 150 m
- Weiteres**
-  Siedlungsbereich
 -  Gemarkung Darmstadt

Quellen
 Grünanlagen: Grünflächenamt Darmstadt, 07.12.23
 Schutzgebiete: Regierungspräsidien Hessen, 27.03.23
 Fließgewässer: HLNUG, Gewässernetz, 15.01.22, CC-BY-3.0
 Stillgewässer, Landnutzung außerhalb Gemarkung: HVBG, ATKIS, 04.04.23, dl-de/zero-2-0
 Landnutzung innerhalb Gemarkung: HVBG, ALKIS, 01.09.23
 Siedlungsbereich: Vermessungsamt Darmstadt 28.07.23
 Gemarkungsgrenze: HVBG, Digitale Verwaltungsgrenzen Hessen, 04.04.23, dl-de/zero-2-0
 DTK50: HVBG, 22.11.23, dl-de/zero-2-0
 Stand 12.12.2023, Grünflächenamt Darmstadt, 67-120

Städtische Grünanlagen, Kleingartenanlagen, Friedhöfe, naturnahe Freiflächen und angrenzende Bereiche

Urbane Grünstrukturen innerhalb des Stadtgebiets dienen der Erholung und Gesunderhaltung der Stadtbevölkerung. Daneben sind sie wichtige Lebensräume für wildlebende Arten im innerstädtischen Bereich. Tiere, Pflanzen und der Mensch sind an den rhythmischen Tag-Nacht-Wechsel angepasst und auf erholsame Ruheperioden in der dunklen Nacht angewiesen.

In städtischen Grünanlagen, Kleingartenanlagen, Friedhöfen und naturnahen Freiflächen sowie in deren angrenzenden Bereichen wird auf Außenbeleuchtung verzichtet. Dies gilt, sofern keine zwingende Notwendigkeit vorliegt und beleuchtete Alternativwege entlang angrenzender Straßen oder am Randbereich bestehen und diese zu Fuß oder mit dem Rad nutzbar sind, ohne dass sich die Wegstrecke mehr als verdoppelt. Eine Einrichtung von Beleuchtung in den oben genannten Gebieten bleibt möglich, falls sie aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben ist.

In diesem Fall erfolgen die Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung entlang der Hauptwegeachsen, entlang von Nebenwegen zu zentralen Einrichtungen in Grünanlagen, etwa Spielplätze, zentrale Aufenthaltsbereiche oder Sportflächen, und entlang von ausgewiesenen Radwegen und Radrouten. Umgesetzt wird die Beleuchtung als Orientierungslicht sowie zeitlich mehrstufig geregelt mit einer maximalen mittleren Beleuchtungsstärke von 3 lx und einer korrelierenden Farbtemperatur von 1.900 K. Sicherzustellen sind eine ULR von 0 % im installierten Zustand und eine möglichst geringe Störwirkung in angrenzende Bereiche. Es empfehlen sich Leuchten mit der Lichtstärkeklasse G*4, G*5 oder G*6.

Die Beleuchtung ist in diesen Bereichen mehrstufig zu regeln und spätestens außerhalb der Normalverkehrszeiten (siehe S. 43, Tabelle 02) sowie während der Niedrigverkehrszeit abzusenken. Spätestens für die Nachtverkehrszeiten (siehe S. 43, Tabelle 02) ist die Möglichkeit einer nächtlichen Abschaltung der Straßen-, Wege und Platzbeleuchtung zu prüfen. Ist eine

Gute Sichtbarkeit von Fußgängern durch Beleuchtung an Fußgängerüberwegen



Foto: Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg



nächtliche Abschaltung nicht möglich (siehe Seite 44), sollten die Beleuchtungsanlagen auf mindestens 30 % der Beleuchtungsstärke zu Normalverkehrszeiten abgesenkt werden, sofern dies aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit zulässig ist. Mindestwerte für die Bereiche der Fußgängerüberwege, Gleisbereiche der Straßenbahnen und Haltestellen des ÖPNV dürfen hierbei nicht unterschritten werden.

Vorhandene Beleuchtungsanlagen im Bestand, die diesen Anforderungen nicht entsprechen, sollten auf die begründete Notwendigkeit geprüft werden. Besteht diese nicht, sollten die Anlagen nach Möglichkeit abgeschaltet und zurückgebaut werden. Bei begründeter Notwendigkeit sind die Beleuchtungsanlagen im Rahmen von Umrüstung auf LED oder Erneuerungen zu priorisieren (siehe Seite 59). Änderungen werden vorab durch das Mobilitäts- und Tiefbauamt mit dem Umweltamt und mit dem Grünflächenamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt abgestimmt.

Das Beleuchtungsniveau in der Umgebung von öffentlichen Grünanlagen ist niedrig zu halten, um eine bessere Adaption der Augen zu ermöglichen. Grelle Anstrahlungen oder Blendung sind zu vermeiden.

Anstrahlungen von öffentlichen Gebäuden oder Kulturdenkmälern sind in städtischen Grünanlagen, naturnahen Freiflächen, Friedhöfen und angrenzenden Bereichen in begründeten Ausnahmefällen mit einer maximalen Leuchtdichte von 2 cd/m^2 erlaubt. Bei bestehenden Anstrahlungen, die nicht diesen Anforderungen entsprechen, wird nach Möglichkeit umgehend nach

Beschluss der Lichtleitlinie eine Abschaltung durch das Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt beauftragt, sofern diese nicht aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit erforderlich oder rechtlich vorgeschrieben sind oder nicht gleichzeitig die Funktion der Straßen- oder Wegebeleuchtung übernehmen. Bei der Errichtung von neuen Beleuchtungsanlagen muss eine klare Funktionszuweisung erfolgen. Effektbeleuchtung darf nicht gleichzeitig als funktionale Beleuchtung für die öffentliche Beleuchtung fungieren (siehe Seite 45).

Prüfung einer Pufferzone auch im Siedlungsbereich sinnvoll

Um die Anziehung und Störung von Tieren durch Beleuchtung zu minimieren, wird empfohlen, bei neuen Installationen, Umrüstungen und Erneuerungen von öffentlicher Beleuchtung in Siedlungsgebieten die Möglichkeit einer Pufferzone zu prüfen und bei der Planung zu berücksichtigen. Diese sollte eine Breite von 150 m haben (siehe Abb. 13) und an städtische Grünanlagen, Kleingartenanlagen, Friedhöfe und naturnahe Freiflächen ab einer Größe von 30.000 m^2 angrenzen.

Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung dürfen in den Pufferzonen im installierten Zustand kein Licht oberhalb der Horizontalen abgeben (URL 0%) und sollten eine möglichst geringe Störwirkung auf angrenzende Bereiche aufweisen. Hierbei empfehlen sich Leuchten mit einer Lichtstärkeklasse von G*4, G*5 oder G*6. Die korrelierende Farbtemperatur ist auf maximal 2.200 K zu begrenzen. Von der Pufferzone darf kein Licht auf die sensiblen Bereiche strahlen.



Foto: Volksternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg

Neu gestalteter Grünzug am Ritula-Fränk-Weg im Edelsteinviertel mit vorbildlicher Beleuchtungstechnik

Die zeitliche Steuerung der Beleuchtungsanlagen in den Pufferzonen erfolgt nach den Richtwerten für städtische Grünanlagen, Kleingartenanlagen, Friedhöfe, naturnahe Freiflächen und angrenzende Bereiche (siehe oben).

Sofern städtische Grünanlagen, Kleingartenanlagen, Friedhöfe und naturnahe Freiflächen innerhalb des Außenbereichs nach § 35 BauGB liegen, gelten dort die genannten Richtwerte für den Außenbereich nach § 35 BauGB und die Pufferzone entfällt.

Die Beleuchtung auf Friedhöfen wird mit Ausnahme von öffentlichen Durchwegungen nach Ende der Öffnungszeiten ausgeschaltet.

Das Mobilitäts- und Tiefbauamt unterstützt das Grünflächenamt bei der Planung und zeitlichen Steuerung der Beleuchtung in Grünanlagen, Kleingartenanlagen im Auftrag von IDA, Friedhöfen und naturnahen Bereichen in kommunaler Zuständigkeit und setzt diese baulich um. Entscheidung und Planungszuständigkeit liegen beim Grünflächenamt. Bei Bedarf werden alle notwendigen städtischen Verwaltungseinheiten, insbesondere das Umweltamt, und weitere notwendige Beteiligte mit in die Planung und Abwägung einbezogen.



Vermeidung von Lichtimmissionen

Um eine Belästigung der Bürger*innen durch Lichtimmissionen in Wohnräume zu vermeiden, sollten die Richtwerte der Richtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionschutz (LAI 2012) auch bei Neuinstallationen, Umrüstungen und Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung angewandt werden (siehe Tabelle 04).

Beeinträchtigungen durch in Gebäude fallende Lichtemissionen werden etwa durch die Wahl eines geeigneten optischen Systems oder Zubehörs oder durch die Verringerung des Lichtstroms erreicht.

Um Blendungen von Verkehrsteilnehmern, störende Lichtemissionen auf Wohngebäude und ungewollte Einstrahlungen in sensible Bereiche zu vermeiden, ist es sinnvoll, vollabgeschirmte Leuchten mit entsprechenden Lichtstärkeklassen (z. B. G*4, G*5 und G*6) zu planen und zu verwenden (DIN EN 13201-2 2015, siehe Seite 67).

Immissionsort (Einwirkungsort)	mittlere, vertikale Beleuchtungsstärke \bar{E} in lx	
	06.00 bis 22.00 Uhr	22.00 bis 06.00 Uhr
1 Kurgelände, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	1 lx	1 lx
2 reine Wohngebiete (§ 3 BauNOV) allgemeine Wohngebiete (§ 4 BauNOV) besondere Wohngebiete (§ 4 a BauNOV) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2 BauNOV) Erholungsgebiete (§ 10 BauNOV)	3 lx	1 lx
3 Mischgebiete (§ 6 BauNOV) Urbane Gebiete (§6a BauNOV)	5 lx	1 lx
4 Kerngebiete (§ 7 BauNOV) Gewerbegebiete (§ 8 BauNOV) Industriegebiete (§ 9 BauNOV)	15 lx	5 lx

Tabelle 04: Immissionsrichtwerte der mittleren Beleuchtungsstärke in der Fensterebene von Wohnungen bzw. bei Balkonen oder Terrassen (Auszug Tabelle 1 nach LAI 2012) soweit aufgrund der Verkehrssicherungspflicht nicht abweichende Werte nach DIN empfohlen sind



Im Wasser lebende Tiere reagieren bereits bei einer geringen künstlichen Beleuchtung sensibel

Gewässer und angrenzende Bereiche

Aquatische Tiere, die in und um Gewässer leben, sind bereits gegenüber geringen Mengen künstlicher Beleuchtung sehr empfindlich. Daher verzichtet die Wissenschaftsstadt Darmstadt auf neue Beleuchtungsinstallationen entlang von Gewässern wie Bächen, Teichen und Seen sowie in den angrenzenden Uferbereichen. Ausnahmen gelten nur, wenn Beleuchtung aus Verkehrssicherheitsgründen, öffentlicher Sicherheit oder Betriebssicherheit notwendig oder rechtlich vorgeschrieben ist. Vor der Umsetzung müssen ein entsprechender Nachweis und das Beleuchtungskonzept mit dem Mobilitäts- und Tiefbauamt sowie dem Umweltamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt abgestimmt werden.

Beleuchtung im Umfeld des Gewässers muss dann so beschaffen sein, dass kein Licht auf das Wasser oder das angrenzende Ufergebiet fällt. Neuinstallationen, Umrüstungen oder Erneuerungen der öffentlichen Beleuchtung im Umfeld von Gewässern dürfen im installierten Zustand kein Licht oberhalb der Horizontalen abgeben (URL 0%) und sollten eine möglichst geringe Störwirkung auf angrenzende Flächen aufweisen. Es empfehlen sich Leuchten mit einer Lichtstärkeklasse von G*4, G*5 oder G*6. Die korrelierende Farbtemperatur ist auf maximal 1.900 K zu begrenzen. Über zeitlich mehrstufig geregelte Beleuchtungsanlagen ist das Beleuchtungsniveau möglichst niedrig zu halten und dem tatsächlichen Bedarf anzupassen.

Spätestens außerhalb der Normalverkehrszeiten und während der Niedrigverkehrszeit (siehe Tabelle 02) ist das Beleuchtungsniveau bedarfsorientiert abzusenken. Spätestens für die Nachtverkehrszeiten (siehe Tabelle 02) ist die Möglichkeit einer Abschaltung der Straßen-, Wege- und Platzbeleuchtung zu prüfen. Ist eine nächtliche Abschaltung nicht möglich (siehe Seite 43), sollten die Beleuchtungsanlagen auf mindestens 30 % der Beleuchtungsstärke zu Normalverkehrszeiten abgesenkt werden, sofern dies aus Gründen der Verkehrssicherheit, der öffentlichen Sicherheit oder der Betriebssicherheit zulässig ist. Mindestwerte für die Bereiche der Fußgängerüberwege, Gleisbereiche der Straßenbahnen und Haltestellen des ÖPNV dürfen hierbei nicht unterschritten werden.

Vorhandene Beleuchtungsanlagen im Bestand, die diesen Anforderungen nicht entsprechen, sollten auf die begründete Notwendigkeit geprüft werden. Besteht diese nicht, sollten die Anlagen nach Möglichkeit abgeschaltet und zurückgebaut werden. Bei begründeter Notwendigkeit sind die Beleuchtungsanlagen im Rahmen von Umrüstung auf LED oder Erneuerungen zu priorisieren (siehe Seite 59).

Bei der Planung von Beleuchtungsanlagen in kommunaler Zuständigkeit, speziell der zeitlichen Steuerung der einzelnen Anlagen, werden bei Bedarf alle notwendigen städtischen Verwaltungseinheiten, insbesondere das Umweltamt, und weitere notwendige Beteiligte vom Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt in die Planung und Abwägung einbezogen.



5 Monitoring und Evaluation

Foto: Adobe Stock/Ururong



Die Lichtpunktdatenbank der Wissenschaftsstadt Darmstadt

Eine Lichtpunktdatenbank ist ein spezialisiertes Informationssystem zur Verwaltung und Erfassung von Daten über Beleuchtungseinrichtungen im öffentlichen Raum. In Darmstadt beinhaltet diese Datenbank detaillierte Informationen über jede Beleuchtungsanlage in kommunaler Verantwortung. Sie erfasst und organisiert eine Vielzahl von Daten in tabellarischer Form, darunter Standorte, Mastentypen, Anzahl und Typen der Leuchten und Lampen, Baujahr, Betriebsmodi, jährliche Betriebsstunden, Energieverbrauch pro Jahr und den Ort der Stromzuführung.

Leuchtenkataster und Umrüsthfahrplan

Das Monitoring und die Evaluierung aller Maßnahmen sind essenziell für die effektive Umsetzung der Lichtleitlinie für die öffentliche Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit in der Wissenschaftsstadt Darmstadt. Idealerweise wird ein System aufgebaut und angewandt, das zu jedem Zeitpunkt einen detaillierten Überblick über die umgesetzten Maßnahmen, den aktuellen Stand der Lichtimmissionen sowie die finanziellen Aspekte der öffentlichen Beleuchtung ermöglicht.

Direkte Lichtemissionen lassen sich am besten durch die Eigenschaften der Lichtquellen selbst bestimmen. Hierbei ist ein Leuchtenkataster von großem Nutzen, da es sämtliche Informationen einer Beleuchtungsanlage zusammenfasst. Diese Datengrundlage ermöglicht eine detaillierte Bestandserhebung und unterstützt die Betreiber*innen bei einer effektiven Betriebsführung sowie der Planung von Umrüstungen, Reparaturen oder Maßnahmen zur Reduzierung der Lichtverschmutzung. Die Ausrichtung erfolgt dabei unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, energieeffizienter und ökologischer Aspekte.

Potenziale der Lichtpunktdatenbank nutzen

Basierend auf der Lichtpunktdatenbank der Wissenschaftsstadt Darmstadt wurde ein georeferenziertes Leuchtenkataster erstellt. Für das effektive Monitoring und die Evaluierung der Lichtleitlinie sollte dieses im Rahmen einer Fortschreibung nur um geringfügige Erweiterungen ergänzt und dann stets aktualisiert werden.

Folgende Parameter sind dem Leuchtenkataster zusätzlich hinzuzufügen:

- Leuchtentyp, zum Beispiel Kugelleuchte, Pilzleuchte, Kofferleuchte oder indirekte Leuchte
- Farbtemperatur
- Beleuchtungsstärke, zu Bestimmung der Lichtverteilung
- Um- oder Nachrüstung, etwa Farbfilterfolien oder Lichtlenkung betreffend
- Priorität oder Zeitpunkt einer geplanten Um- oder Nachrüstung, inklusive Umsetzungsvermerk

Das Leuchtenkataster sollte in enger Zusammenarbeit zwischen dem Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt, der e-netz Südhessen AG und dem Vermessungsamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt entstehen und nach Beschluss der Lichtleitlinie erstellt werden.

Das Leuchtenkataster dient zusätzlich als Basis für die Entwicklung des Umrüsthfahrplans für die öffentliche Beleuchtung unter kommunaler Zuständigkeit. Bei dessen Erarbeitung sollen zunächst die ältesten und energieintensivsten Leuchten für eine Umrüstung berücksichtigt werden. Anschließend sind Leuchten zu priorisieren, die nicht den Vorgaben der Lichtleitlinie entsprechen oder nicht vollständig abgeschirmt sind, wie beispielsweise Koffer- oder Theaterleuchten. Danach folgen Leuchten in sensiblen Bereichen oder solche, die in diese hineinstrahlen.

Der Umrüsthfahrplan wird federführend vom Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt erstellt. Dies geschieht parallel zur Bestandserhebung und Fortschreibung des Leuchtenkatasters und abgestimmt mit der AG Lichtleitlinie. Die Ergebnisse des Umrüsthfahrplans werden ebenfalls im Leuchtenkataster dargestellt.

Die Durchführung der in Kapitel 5 aufgeführten Maßnahmen erfolgt jeweils im Rahmen der personellen und finanziellen Kapazitäten der Wissenschaftsstadt Darmstadt.

Auswirkungen der Lichtleitlinie für die öffentliche Beleuchtung in kommunaler Zuständigkeit

Auswirkungen auf die Sicherheit

In Kooperation zwischen dem ersten, dem zweiten und dem dritten Polizeirevier Darmstadt der Polizei Hessen, dem Mobilitäts- und Tiefbauamt sowie dem Amt für Wirtschaft und Stadtentwicklung der Wissenschaftsstadt Darmstadt, speziell der Abteilung Statistik und Stadtforschung, werden die Kriminalitäts- und Verkehrsunfallzahlen kontinuierlich erhoben und analysiert. Dies geschieht unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsaufkommens und der Beleuchtungssituation, inklusive deren zeitlicher Steuerung. Maßgaben der Europäischen Charta zur Gleichstellung von Frauen und Männern auf lokaler Ebene, insbesondere Artikel 21, Abs. 3, finden dabei Berücksichtigung. Die Daten werden statistisch ausgewertet, graphisch aufbereitet und mit den Zahlen der Vorjahre ab 2022 verglichen. Die Auswertung erfolgt zunächst über fünf Jahre immer im Januar für das vergangene Jahr nach Beschluss der Lichtleitlinie. Die Ergebnisse werden im Rahmen der AG Lichtleitlinie vorgestellt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse ist eine Evaluation und bei Bedarf eine Anpassung sowie Fortschreibung der Lichtleitlinie möglich.

Die Sicherheit der Bevölkerung hat oberste Priorität



Foto: Adobe Stock/Andrii

Auswirkungen auf die Himmelselligkeit und Lichtverschmutzung

Unter Federführung des Umweltamts der Wissenschaftsstadt Darmstadt soll die Möglichkeit geprüft werden, die Himmelselligkeit von verschiedenen Standorten innerhalb der Stadt – in der Innenstadt, am Stadtrand sowie im Außenbereich – mittels Photometern zu messen. Solche Messungen erfolgen in Magnituden pro Quadratbogensekunden im Zenitbereich. Dabei gilt: Je höher der Messwert, desto dunkler ist der Himmel, was einer geringeren künstlichen Aufhellung des natürlichen Nachthimmels entspricht. Die erhobenen Messergebnisse sollen in Übereinstimmung mit der Open-Data-Strategie der Wissenschaftsstadt Darmstadt digital veröffentlicht werden.

Die Volkssternwarte Darmstadt e. V. hat zur Pilotierung ein TESS-W Photometer auf dem Dach des Observatoriums auf der Ludwigshöhe montiert und sich dem Forschungsnetzwerk stars4all angeschlossen. Wie sich die mit dem Photometer gemessene Himmelselligkeit graphisch darstellt, ist der Abb. 14 zu entnehmen. Im Rahmen dieses internationalen Forschungsprojekts stars4all werden die Messwerte an die Universität Madrid übermittelt und können dort öffentlich abgerufen und verwendet werden (stars1045 – Grafana (stars4all.eu)). Um das Photometer der Volkssternwarte Darmstadt e. V. auch für das Monitoring der Wissenschaftsstadt Darmstadt zu nutzen und einen Vergleich der Ergebnisse aus Darmstadt mit denen anderer Kommunen auf Landes-, Bundes- und internationaler Ebene zu ermöglichen, wird die Prüfung einer Teilnahme am Projekt stars4all vorgeschlagen.

www.vsda.de

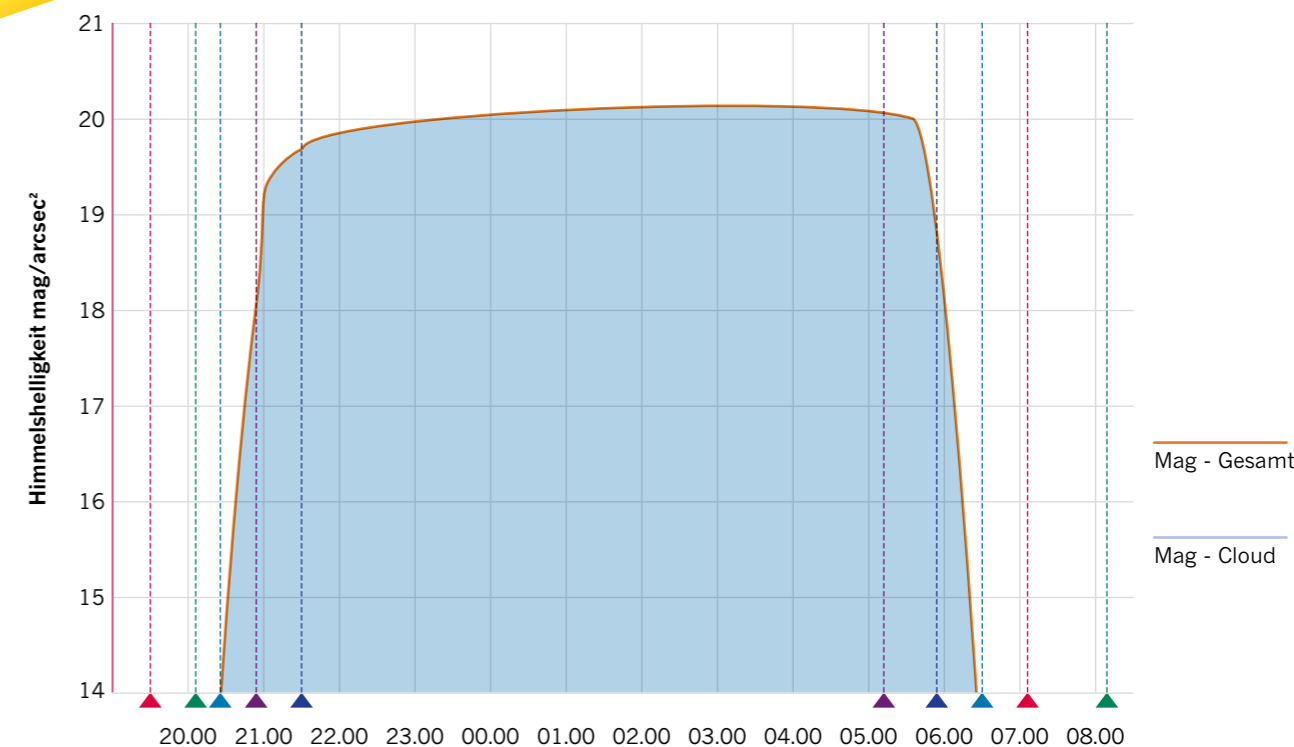


Abb. 14: Himmelselligkeit während der Earth-Night am 15.09.2023 über der Volkssternwarte Darmstadt e.V.. Gemessen mit einem TESS W-Photometer. Sonnenuntergang war um 19:42 Uhr und der Mond ging um 20:02 Uhr unter. Mit Beginn der nautischen (=bürgerliche) Dämmerung um 20:15 Uhr betrug die Himmelselligkeit ca. 14 mag/arcsec² und es wurden die ersten hellen Sterne sichtbar. Um 21:34 Uhr war das Ende der astronomischen Dämmerung und die Sonne 18° unter dem Horizont. Die Himmelselligkeit betrug 19,74 mag/arcsec². Ab 22:00 Uhr wird der Himmel dunkler (19,83 mag/arcsec²) mit einem sichtbaren Sprung um 22:30 Uhr (19,88 mag/arcsec²). Genau zu dieser Zeit wird in Darmstadt die Helligkeit von Teilen der Straßenbeleuchtung abgesenkt. Ab 1:30 Uhr war der Himmel in dieser Nacht am dunkelsten mit 20,17 mag/arcsec². Ab 5:00 Uhr nimmt die Himmelselligkeit wieder zu, bis um 05:11 Uhr die astronomische Morgendämmerung beginnt (Monitoring der Himmelselligkeit mit einem TESS-W Photometer – Volkssternwarte Darmstadt e.V. (vsda.de))

Präzise Luftbilder zur Analyse der Lichtverschmutzung

Das Umweltamt prüft in Kooperation mit dem Vermessungsamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt die Verwendung von hochauflösenden nächtlichen Luftbildern. Mit ihrer Hilfe könnten flächendeckend und punktgenau Lichtquellen sowie deren Lichtimmissionen identifiziert, räumlich zugeordnet und bewertet werden. Durch den Jahresvergleich dieser Luftbilder ließen sich quantitative und qualitative Aussagen über das Ausmaß und die Veränderungen von Lichtimmissionen und Lichtverschmutzung ableiten. Zusätzlich bieten diese georeferenzierten Luftbilddaten die Möglichkeit, durch die

Kombination mit anderen Geodaten, wie Landnutzung, Biotoptypenkartierung und dem Vorkommen von wildlebenden Tier- und Pflanzenarten, Lichtbarrieren für die lokale Fauna und Flora zu identifizieren. Diese Erkenntnisse könnten in die Lichtplanung einfließen.

Bei Machbarkeit würden die Ergebnisse der Himmelselligkeitsmessungen und die Auswertungen der Luftbilddaten im Rahmen der AG Lichtleitlinie präsentiert. Auf dieser Basis könnte die Lichtleitlinie evaluiert und bei Bedarf angepasst sowie weiterentwickelt werden.

6 Glossar

Auswirkungen auf Wirtschaftlichkeit

Das Mobilitäts- und Tiefbauamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt erhebt in Kooperation mit dem Amt für Wirtschaft und Stadtentwicklung der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Abteilung Statistik und Stadtforschung, sowie der e-netz Süd Hessen AG den Energieverbrauch (in kWh pro Jahr) der öffentlichen Beleuchtung. Dies umfasst eine statistische Auswertung und graphische Darstellung im Kontext der Anzahl von Neuinstallationen, Umrüstungen, Erneuerungen sowie der Beleuchtungssteuerung und nächtlichen Abschaltungen. Zusätzlich wird eine Gegenüberstellung der aktuellen Verbrauchswerte mit denen der Vorjahre seit 2022 vorgenommen. Die Auswertung erfolgt jährlich im Januar für das vorherige Jahr, über einen Zeitraum von fünf Jahren, beginnend nach dem Beschluss der Lichtleitlinie. Die Ergebnisse werden im Rahmen der AG Lichtleitlinie präsentiert, woraufhin die Lichtleitlinie evaluiert und bei Bedarf zeitnah angepasst sowie weiterentwickelt werden kann. Aufgrund der Schwankungen in den Energiepreisen wird auf eine Darstellung der tatsächlichen Kosten verzichtet.

Der Arbeitsgruppe angehören soll jeweils mindestens eine Vertretungsperson:

- des Umweltamts
- des Amtes für Klimaschutz- und Klimaanpassung
- des Stadtplanungsamts
- der Unteren Denkmalschutzbehörde
- des Mobilitäts- und Tiefbauamts
- des Grünflächenamts
- des Bürger- und Ordnungsamts
- des Sportamts
- des Amtes für Wirtschaft und Stadtentwicklung, Abteilung Statistik und Stadtforschung
- der Polizei
- des Eigenbetriebs Immobilienmanagement
- der Darmstädter Stadtentwicklungsgesellschaft (DSE) mbH
- der ENTEGA AG und e-netz Süd Hessen AG
- der Volkssternwarte Darmstadt e.V (VSD) als Vertreter des Hessischen Netzwerkes gegen Lichtverschmutzung und – des BUND Darmstadt e.V.
- des Naturschutzbeirats
- der Bauverein AG
- Amt für Soziales und Prävention, Frauenbüro
- Heag Mobilo GmbH

Weitere Verwaltungseinheiten sowie externe Beratung können anlassbezogen eingebunden werden.

Arbeitsgruppe (AG) Lichtleitlinie

Zur Gewährleistung der Umsetzung der Lichtleitlinie tagt die AG Lichtleitlinie in einem regelmäßig Turnus. Die Koordination der Arbeitsgruppe übernimmt das Umweltamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt. Neben den auf Seite 60 bis 61 genannten Punkten sollen folgende Aspekte thematisiert werden:

- Gesetzliche Neuerungen und aktuelle Arbeits-hilfen
- Aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse
- Technische Neuerungen zur Beleuchtung
- Evaluierung der Lichtleitlinie
- Bedarf einer Fortschreibung der Lichtleitlinie

Weitere mögliche Maßnahmen

- Öffentliche und stadtinterne Veranstaltungen zur Sensibilisierung, etwa Vorträge, Seminare oder Aktionen (z. B. Teilnahme an der Earth-Night)
- Begehungen der öffentlichen Beleuchtung, zum Beispiel zweimal jährlich im September und Februar
- Auswertung von Beschwerden hinsichtlich der Wahrnehmung von künstlichem Licht in der Öffentlichkeit
- Schulungen für weitere Verwaltungseinheiten, städtische Beteiligungen oder Vereine

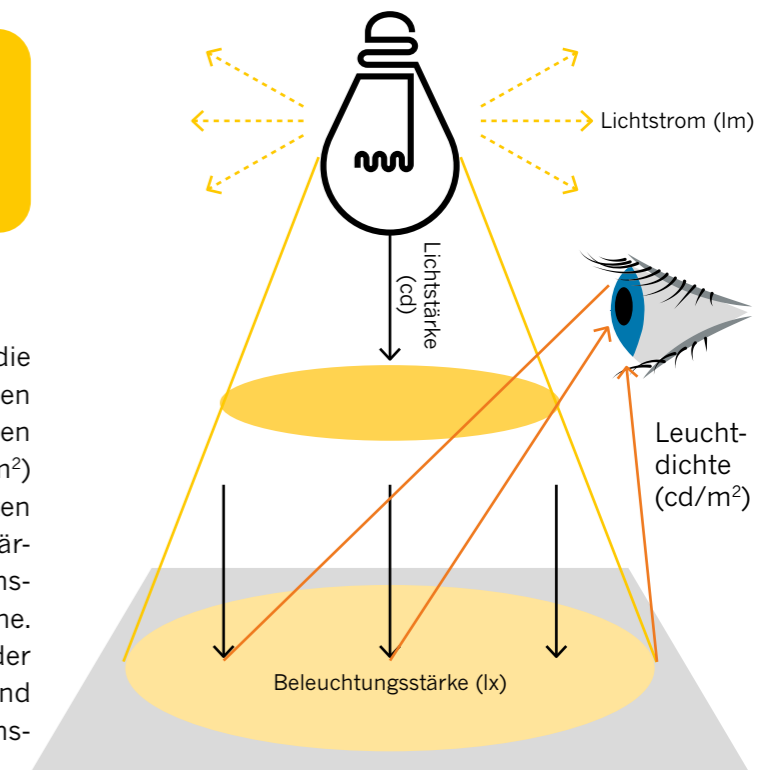


Abb. G1: Fotometrische Messgrößen (Schröter-Schlaack 2020)

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte beschreibt die Helligkeit, die von einer beleuchteten oder selbststrahlenden Fläche ausgeht und vom Auge wahrgenommen wird. Sie wird in der Einheit Candela/m² (cd/m²) gemessen. Die Leuchtdichte einer angestrahlten Fläche ist abhängig von der Beleuchtungsstärke des einfallenden Lichts und dem Reflexionsgrad, also der Farbe und Helligkeit der Fläche. So kann beispielsweise bei hellen Fassaden der Reflexionsgrad bis zu 85 % erreichen, während der Betonbelag von Straßen einen Reflexionsgrad von 27 % aufweist.

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke ist ein Maß für den gesamten auf eine Fläche treffenden Lichtstrom und wird in der Einheit Lux (lx) ausgedrückt. Dabei entspricht ein Lux einem Lumen pro Quadratmeter (lm/m²). Für die Messung der Beleuchtungsstärke werden spezielle Geräte verwendet, sogenannte Luxmeter. In technischen

Normen, insbesondere im Bereich der Außenbeleuchtung, wird oft auch die mittlere Beleuchtungsstärke herangezogen. Diese definiert sich als das arithmetische Mittel aller auf einer bestimmten Bewertungsfläche gemessenen Beleuchtungsstärken.

Lichtverhältnisse	Beleuchtungsstärke (lx)	Literaturquelle
Unbeleuchtete, bewölkte Nacht	< 0,0006 – 0,0001	JECHOW et al. (2016, 2018), SEIDELMANN (1992)
Sternenklare mondlose Nacht, natürlicher Himmel	0,0006 – 0,0009	HÄNEL et al. (2018)
Vollmond	0,05 – 0,3	KYBA et al. (2017c)
Straßenbeleuchtung	8	BENNIE et al. (2018)
Bürobeleuchtung	500	BAuA – Technischer Arbeitsschutz
Bedeckter Wintertag	3.500 – 6.000	DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen. Teil 2: Grundlagen. Beuth, Berlin 1985
Mindestanforderung für dentale Behandlungsleuchten	15.000	ISO 9680 Zahnheilkunde – Beleuchtungsleuchten
Klarer Himmel	20.000 – 130.000	SEIDELMANN 1992

Tabelle G1: Typische Beleuchtungsstärken (Schröter et al. 2019)

Beleuchtungsklassen

Beleuchtungsklassen definieren das Beleuchtungsniveau – entweder in Form von Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke – für den Zeitpunkt t_0 , bei dem die höchsten Anforderungen an die Beleuchtung bestehen. Diese Klassen werden je nach Straßenkategorie festgelegt, was bedeutet, dass für Hauptverkehrsstraßen, Sammelstraßen, Radwege etc. unterschiedliche Beleuchtungsstandards gelten. Dabei fließen zahlreiche Faktoren in die Berechnung ein, wie die Anzahl der Fahrstreifen, eine eventuelle Trennung der Richtungsfahrbahnen, die Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmenden, das Verkehrsaufkommen, die Zusammensetzung des Verkehrs, parkende Fahrzeuge, die Leuchtdichte der Umgebung und besondere Anforderungen an die Beleuchtung (DIN 13201-1). Ergeben sich im zeitlichen Verlauf der Dunkelstunden grundlegende Änderungen bezüglich der Auslegung der Parameter, können diese für bestimmte Zeitabschnitte neu bestimmt und die Beleuchtungsklasse reduziert werden (DIN 13201-1).

Farbtemperatur

Das weiße Licht, das wir mit dem menschlichen Auge wahrnehmen, setzt sich stets aus einer Mischung verschiedener Wellenlängen zusammen. Diese Zusammensetzung bestimmt die spezifische Lichtfarbe. Die Farbe des Lichts wird als korrelierte Farbtemperatur in Kelvin (K) gemessen. Diese Temperatur gibt Aufschluss darüber, ob das Licht als bläulich, kalt- und tageslichtweiß über 5.300 K, neutralweiß 3.300 bis 5.300 K, warmweiß 2.500 bis 3.300 K oder gelblich unter 2.500 K empfunden wird. Dabei gilt: Je höher der Blauanteil im weißen Licht, desto kaltweißer und bläulicher wirkt es. Hingegen führt ein höherer Rotanteil, also mehr Licht im längeren Wellenlängenbereich, zu einer Wahrnehmung von warmweißem bis hin zu gelblichem oder rötlichem Licht. Ein Beispiel hierfür ist das Licht einer Kerze mit einer Farbtemperatur von etwa 1.500 K im Vergleich zum Taghimmel, der eine Farbtemperatur von über 10.000 K aufweisen kann (Schröter-Schlaack 2020).

Farbwiedergabe

Der Farbwiedergabewert (Ra) dient als Kriterium zur Beurteilung, wie gut künstliche Lichtquellen die Farben im Vergleich zu natürlichen Lichtquellen wiedergeben. Ein niedriger Ra-Wert bedeutet, dass die Farben eines beleuchteten Objekts weniger genau erkannt werden. Die Farberkennung durch das menschliche Auge verbessert sich mit zunehmender Farbtemperatur und erreicht bei über 3000 K eine 100%-ige Genauigkeit. Allerdings wird das Potenzial für eine gute Farbwiedergabe unter nebligen Bedingungen durch einen hohen Blauanteil im Licht verringert. Daher ist es empfehlenswert, für Straßenbeleuchtung eine Farbtemperatur im Bereich von 1800 K bis 3000 K zu wählen. Bei Werten unter 1800 K wird es zunehmend schwieriger, einzelne Farben klar zu unterscheiden.

Licht

Licht besteht aus einem Teil des elektromagnetischen Spektrums, das vom menschlichen Auge erfasst wird und sich physikalisch durch Photonen oder Wellenlängen beschreiben lässt. Das sichtbare (elektromagnetische) Wellenspektrum für Menschen erstreckt sich von kurzen, energiereichen Wellenlängen von etwa 380 Nanometer bis zu längeren Wellenlängen von rund 750 Nanometer. Die Art und Weise, wie Menschen Helligkeit und Farben spektral wahrnehmen, unterscheidet sich von der vieler Tiere (siehe Abb. G2).

Lichtemission und Lichtimmission

Lichtemission bezeichnet die Gesamtmenge des Lichts, das eine Lichtquelle aussendet. Lichtimmission hingegen umfasst die Gesamtheit des Lichts, das von einer oder mehreren Lichtquellen an einem bestimmten Ort ankommt (BAFU 2021).

Lichtstärke

Die Lichtstärke beschreibt die Richtungscharakteristik des Lichtstroms und gibt in Candela (cd) an, wie viel Lichtstrom in einen bestimmten Raumwinkelbereich abgestrahlt wird. Der Begriff „Candela“ leitet sich vom lateinischen Wort für Kerze ab, weil die Lichtstärke einer durchschnittlichen Kerze etwa 1 cd beträgt (Schröter-Schlaack 2020). Während Beleuchtungsklassen eine Auskunft über die Verteilung und Intensität des Lichts in einem bestimmten Bereich geben, beschreiben die Lichtstärkeklassen die generelle Helligkeit einer Lichtquelle. Die Helligkeit nimmt hierbei von Klasse 1 bis Klasse 6 (verwendete Abkürzungen: G*1 bis G*6) ab.

Lichtstrom

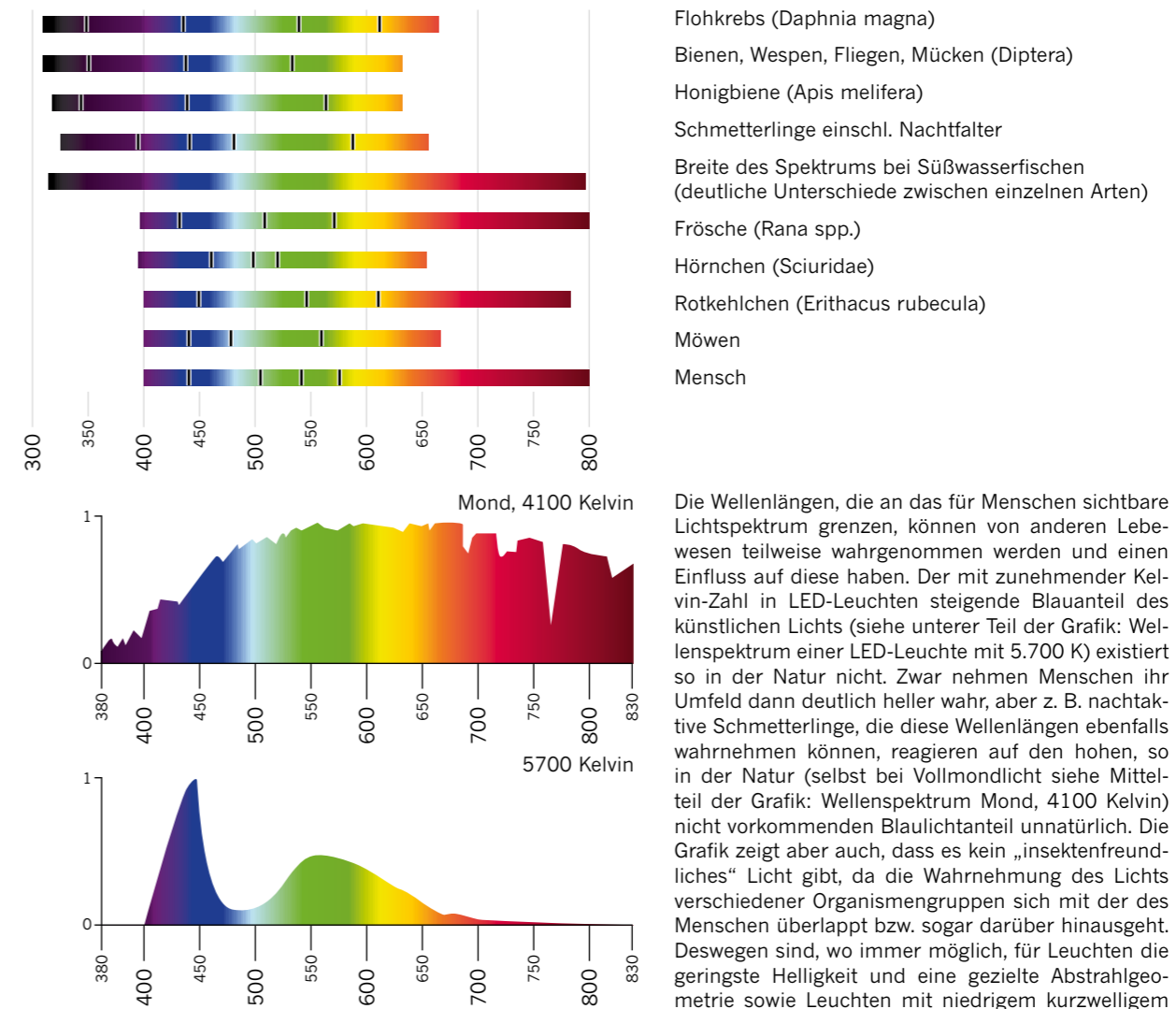
Der Lichtstrom wird in Lumen (lm) angegeben und beschreibt die gesamte Lichtleistung, die von einer Lichtquelle in alle Richtungen abgestrahlt wird (Schröter-Schlaack 2020).

Upward Light Ratio (ULR)

Die Upward Light Ratio gibt in der Maßeinheit Prozent (%) an, wie hoch der Anteil des abgestrahlten Lichts einer montierten Leuchte ist, der oberhalb der Horizontalen abgegeben wird.

Abb. G2: Wellenspektrum Licht

Wahrnehmbare Wellenlängen für verschiedene Tiergruppen und beispielhafte Spektren für Mondlicht sowie einer aktuell am Markt erhältlichen LED-Leuchte mit 5.700 Kelvin (in Nanometer) (Krop-Benesch 2023)



Die Wellenlängen, die an das für Menschen sichtbare Lichtspektrum grenzen, können von anderen Lebewesen teilweise wahrgenommen werden und einen Einfluss auf diese haben. Der mit zunehmender Kelvin-Zahl in LED-Leuchten steigende Blauanteil des künstlichen Lichts (siehe unterer Teil der Grafik: Wellenspektrum einer LED-Leuchte mit 5.700 K) existiert so in der Natur nicht. Zwar nehmen Menschen ihr Umfeld dann deutlich heller wahr, aber z. B. nachtaktive Schmetterlinge, die diese Wellenlängen ebenfalls wahrnehmen können, reagieren auf den hohen, so in der Natur (selbst bei Vollmondlicht siehe Mittelteil der Grafik: Wellenspektrum Mond, 4100 Kelvin) nicht vorkommenden Blauanteil unnatürlich. Die Grafik zeigt aber auch, dass es kein „insektenfreundliches“ Licht gibt, da die Wahrnehmung des Lichts verschiedener Organismengruppen sich mit der des Menschen überlappt bzw. sogar darüber hinausgeht. Deswegen sind, wo immer möglich, für Leuchten die geringste Helligkeit und eine gezielte Abstrahlgeometrie sowie Leuchten mit niedrigem kurzwelligem Anteil zu wählen.

7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01 Seite 6
Darstellung der intendierten und nichtintendierten Lichtemissionen einer Straßenbeleuchtungsanlage (verändert nach BAFU 2021)

Abb. 02 Seite 11
Tag-, Dämmerungs- und Nachtstunden für Darmstadt (Werte für 2022, Darstellung von Chr. Roßberg, Volkssternwarte Darmstadt, 2023)

Abb. 03 Seite 13
Anzahl der Verkehrsunfälle in Darmstadt in den Wintermonaten 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Abb. 04 Seite 13
Anzahl der Verkehrsunfälle in Darmstadt in den Sommermonaten 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Abb. 05 Seite 15
Himmelselligkeit über der Stadt Darmstadt und Umgebung in mag/arcsec² (lightpollutionmap.info.)

Abb. 06 Seite 18
Beleuchtungsstärke unterhalb einer typischen britischen Straßenleuchte (Bennie et al. 2016)

Abb. 07 Seite 19
Empfindlichkeitsschwelle der Melatoninproduktion gegenüber der Beleuchtungsstärke (nach Grubisic et al. 2019)

Abb. 08 Seite 25
Differenzierung der Straßenbeleuchtung nach Lampentyp (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Abb. 09 Seite 26
Jährlicher Zuwachs von LED-Lampen (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Abb. 10 Seite 27
Durchschnittlicher jährlicher Energieverbrauch von Lampentypen, differenziert nach Beleuchtungssteuerung (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Abb. 11 Seite 29
Anzahl der Lampen nach Lampentyp und Betriebsart 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Abb. 12 Seite 52
Schematische Darstellung der sensiblen Bereiche und deren Pufferzonen von 150 m

Abb. 13 Seite 43
Durchschnittliches Verkehrsaufkommen auf ausgewählten Hauptverkehrsstraßen in Darmstadt im Tagesverlauf an einem Werktag im Jahr 2022 (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Abb. 14 Seite 61
Himmelselligkeit während der Earth-Night am 15.09.2023 über der Volkssternwarte Darmstadt e.V. (Chr. Roßberg, Volkssternwarte Darmstadt, 2023)

Abb. G1 Seite 63
Fotometrische Messgrößen (Schröter-Schlaack 2020)

Abb. G2 Seite 65
Wellenspektrum Licht (Krop-Benesch 2023)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 01 Seite 42
Richtwerte zu grundsätzlich zulässigen Beleuchtungsniveaus auf Straßen und Wegen (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023).

Tabelle 02 Seite 43
Normal-, Niedrig- und Nachtverkehrszeiten für Darmstadt (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Tabelle 03 Seite 47
Grundsätzlich zulässiges Beleuchtungsniveau auf Parkplätzen (Wissenschaftsstadt Darmstadt 2023)

Tabelle 04 Seite 57
Immissionsrichtwerte der mittleren Beleuchtungsstärke

Tabelle G1 Seite 63
Typische Beleuchtungsstärken (Schroer et al. 2019)

8 Literaturverzeichnis

Adrian, W., et al., 1981. **Methoden zur Bewertung der Blendung in der Straßenbeleuchtung.**

Afanou, M., Löw, M., 2004. **Darmstädter Freuenbarometer Sicherheit.**

Altermatt, F., Baumeyer, A., Ebert, D., 2009. **Experimental evidence for male biased flight-to-light behavior in two moth species.** Entomol. Exp. Appl. 130, 259–265. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00817.x>

Altermatt, F., Ebert, D., 2016. **Reduced flight-to-light behaviour of moth populations exposed to long-term urban light pollution.** Biol. Lett. 12, 20160111. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0111>

Atrooz, F., Salim, S., 2020. **Sleep deprivation, oxidative stress and inflammation.** Adv. Protein Chem. Struct. Biol. 119, 309–336. <https://doi.org/10.1016/bs.apcsb.2019.03.001>

BAFU, 2021. No Title.

Bennie, J., Davies, T.W., Cruse, D., Gaston, K.J., 2016. **Ecological effects of artificial light at night on wild plants.** J. Ecol. 104, 611–620. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12551>

Bennie, J., Davies, T.W., Cruse, D., Inger, R., Gaston, K.J., 2015. **Cascading effects of artificial light at night: resource-mediated control of herbivores in a grassland ecosystem.** Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 370, 20140131-. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0131>

Bliss-Ketchum, L.L., de Rivera, C.E., Turner, B.C., Weisbaum, D.M., 2016. **The effect of artificial light on wildlife use of a passage structure.** Biol. Conserv. 199, 25–28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.04.025>

Boldogh, S., Dobrosi, D., Samu, P., Oldogh, S.Á.B., Obrosi, D.É.D., Amu, P.É.S., 2007. **The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences.** Acta Chiropterologica 9, 527–534. [https://doi.org/10.3161/1733-5329\(2007\)9\[527:TEOTIO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3161/1733-5329(2007)9[527:TEOTIO]2.0.CO;2)

Bolliger, J., Hennet, T., Wermelinger, B., Blum, S., Haller, J., Obrist, M.K., 2020. **Low impact of two LED colors on nocturnal insect abundance and bat activity in a peri-urban environment.** J. Insect Conserv. 24, 625–635. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00235-1>

Bolton, D., et al., 2017. **Coastal urban lighting has ecological consequences for multiple trophic levels under the sea.** Sci. Total Environ. 576, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.037>

Boyes, D.H., Evans, D.M., Fox, R., Parsons, M.S., Pocock, M.J.O., 2021. **Street lighting has detrimental impacts on local insect populations.** Sci. Adv. 7, eabi8322.

Boyes, D.H., et al., 2020. **Is light pollution driving moth population declines? A review of causal mechanisms across the life cycle.** Insect Conserv. Divers. 14. <https://doi.org/10.1111/icad.12447>

Brehm, G., et al., 2021. **Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation.** Insect Conserv. Divers. 14, 188–198. <https://doi.org/10.1111/icad.12476>

Breuer, S., 2016. **Dreimal sparen bei der Strassenbeleuchtung.** In: ET Licht, September 2016. AZ Me-dien, Aarau: 40–42.

Brewig, E., et al., 2011. **Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtmissionen künstlicher Lichtquellen.** Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.

Brown, T.M., et al., 2022. **Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults.** PLoS Biol. 20, 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>

Brüning, A., Hölker, F., Wolter, C., 2011. **Artificial light at night: Implications for early life stages development in four temperate freshwater fish species.** Aquat. Sci. 73, 143–152. <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0167-2>

Brüning, A., Kloas, W., Preuer, T., Hölker, F., 2018. **Influence of artificially induced light pollution on the hormone system of two common fish species, perch and roach, in a rural habitat.** Conserv. Physiol. 6, 1–12. <https://doi.org/10.1093/conphys/coy016>

Bundesamt für Naturschutz, 2013. **Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtländschaft, S. 91**

Bundesamt für Umwelt BAFU (Grsg.) (2021): **Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen.** 1. aktualisierte Auflage 2021. Erstausgabe 2005. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2117: S. 169

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012. **Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtmissionen – Beschluss der LAI vom 13.09.2012 28.**

Ciach, M., Fröhlich, A., 2019. **Ungulates in the city: light pollution and open habitats predict the probability of roe deer occurring in an urban environment.** Urban Ecosyst. 22, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00840-2>

Cieraad, E., Strange, E., Flink, M., Schrama, M., Spoelstra, K., 2023. **Artificial light at night affects plant – herbivore interactions.** J. Appl. Ecol. 60, 400–410. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14336>

Cieraad, E., et al., 2022. **Lack of local adaptation of feeding and calling behaviours by Yponomeuta cagnagellus moths in response to artificial light at night.** Insect Conserv. Divers. 15, 445–452. <https://doi.org/10.1111/icad.12568>

Czarnecka, M., Kakareko, T., Jermacz, Ł., Pawlak, R., Kobak, J., 2019. **Combined effects of nocturnal exposure to artificial light and habitat complexity on fish foraging.** Sci. Total Environ. 684, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.280>

Da Silva, A., Samplonius, J.M., Schlicht, E., Valcu, M., Kempenaers, B., 2014. **Artificial night lighting rather than traffic noise affects the daily timing of dawn and dusk singing in common European songbirds.** Behav. Ecol. 25, 1037–1047. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru103>

Da Silva, A., Valcu, M., Kempenaers, B., 2015. **Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds.** Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 370, 1–9. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0126>

Dacke, M., Baird, E., Byrne, M., Scholtz, C.H., Warrant, E.J., 2013. **Dung beetles use the milky way for orientation.** Curr. Biol. 23, 298–300. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.12.034>

Dananay, K.L., Benard, M.F., 2018. **Artificial light at night decreases metamorphic duration and juvenile growth in a widespread amphibian.** Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 285, 1–7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0367>

Davies, T.W., Bennie, J., Gaston, K.J., 2012. **Street lighting changes the composition of invertebrate communities.** Biol. Lett. 8, 764–767. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0216>

de Jong, M., Jeninga, L., Ouyang, J.Q., van Oers, K., Spoelstra, K., Visser, M.E., 2016. **Dose-dependent responses of avian daily rhythms to artificial light at night.** Physiol. Behav. 155, 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.012>

de Medeiros, B.A.S., Barghini, A., Vanin, S.A., 2017. **Streetlights attract a broad array of beetle species.** Rev. Bras. Entomol. 61, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2016.11.004>



- Degen, J., et al., 2022. **Streetlights affect moth orientation beyond flight-to-light behaviour 1–23.**
- Degen, T., Mitesser, O., Perkin, E.K., Weiß, N.S., Oehlert, M., Mattig, E., Hölker, F., 2016. **Street lighting: sex-independent impacts on moth movement.** *J. Anim. Ecol.* 85, 1352–1360. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12540>
- Diehl, D.A., 2022. **Fledermauskartierung im Stadtgebiet Darmstadt Bericht Erfassungszeitraum.**
- Ditmer, M.A., et al., 2020. **Artificial night-light alters the predator-prey dynamics of an apex carnivore.** *Ecography (Cop.)*. 1–13. <https://doi.org/10.1111/ecog.05251>
- Dominoni, D., Quetting, M., Partecke, J., 2013a. **Artificial light at night advances avian reproductive physiology.** *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 280, 20123017. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.3017>
- Dominoni, D.M., Quetting, M., Partecke, J., 2013b. **Long-term effects of chronic light pollution on seasonal functions of European blackbirds (*Turdus merula*).** *PLoS One* 8, 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085069>
- Dominoni, D.M., et al., 2022. **Integrated molecular and behavioural data reveal deep circadian disruption in response to artificial light at night in male Great tits (*Parus major*).** *Sci. Rep.* 12, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05059-4>
- Eisenbeis, G., Eick, K., 2011. **Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs.** *Natur und Landschaft* 86, 298–306.
- Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH (Hrsg.), 2015. **Energieeffiziente Strassenbeleuchtung. Ein Leitfaden für Kommunen.** https://www.energieagentur.rlp.de/fileadmin/user_upload/Ansicht-RZ_Broschue-re_LED_2015.pdf
- Evans, W.R., Akashi, Y., Altman, N.S., Manville, A.M., 2007. **Response of night-migrating songbirds in cloud to colored and flashing light.** *North Am. Birds* 60, 476–488.
- Falchi, F., et al., 2016. **The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness.** *Sci. Adv.* June, e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- French-Constant, R.H., et al., 2016. **Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom.** *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 283, 20160813. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0813>
- FGS Forschungs- und Planungsgruppe Stadt und Verkehr (Hrsg.) 2010: **Konzept für die öffentliche Beleuchtung in Berlin. Beleuchtung und Verkehrssicherheit.** FGS, Berlin: 48 S
- Franklin, M., Yin, X., McConnell, R., Fruin, S., 2020. **Association of the built environment with childhood psychosocial stress.** *JAMA Netw. open* 3, 1–14. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.17634>
- Gabinet, N.M., Portnov, B.A., 2021. **Assessing the impacts of ALAN and noise proxies on sleep duration and quality: evidence from a nation-wide survey in Israel.** *Chronobiol. Int.* 38, 638–658. <https://doi.org/10.1080/07420528.2021.1886111>
- Gaston, K.J., Duffy, J.P., Gaston, S., Bennie, J., Davies, T.W., 2014. **Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences.** *Oecologia* 176, 917–931. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3088-2>
- Gastón, M.S., Pereyra, L.C., Vaira, M., 2019. **Artificial light at night and captivity induces differential effects on leukocyte profile, body condition, and erythrocyte size of a diurnal toad.** *J. Exp. Zool. Part A Ecol. Integr. Physiol.* 331, 93–102. <https://doi.org/10.1002/jez.2240>
- Gibbons, R.B., Bhagavathula, R., Warfield, B., Brainard, G.C., Hanifin, J.P., 2022. **Impact of solid state roadway lighting on melatonin in humans.** *Clocks & Sleep* 4, 633–658.
- Grenis, K., Murphy, S.M., 2019. **Direct and indirect effects of light pollution on the performance of an herbivorous insect.** *Insect Sci.* 26, 770–776. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12574>
- Grubisic, M., Grunsvan, R.H.A. Van, Manfrin, A., Monaghan, M.T., Franz, H., 2018. **A transition to white LED increases ecological impacts of nocturnal illumination on aquatic primary producers in a lowland agricultural drainage ditch.** *Environ. Pollut.* 240, 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.146>
- Grubisic, M., et al. R.H.A. Van, Zeman, M., Zubidat, A.E., Hölker, F., 2019. **Light Pollution, Circadian Photoreception, and Melatonin in Vertebrates.** *Sustainability* 11, 1–51. <https://doi.org/10.3390/su11226400>
- Grubisic, M., et al., 2017. **Artificial light at night decreases biomass and alters community composition of benthic primary producers in a sub-alpine stream.** *Limnol. Oceanogr.* 62, 2799–2810. <https://doi.org/10.1002/lno.10607>
- Grunst, M.L., et al., 2020. **Early-life exposure to artificial light at night elevates physiological stress in free-living songbirds.** *Environ. Pollut.* 259, 113895. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113895>
- Hafner, M., Stepanek, M., Taylor, J., Troxel, W.M., van Stolk, C., 2016. **Why sleep matters – the economic costs of insufficient sleep. A cross-country comparative analysis.** <https://doi.org/10.7249/RR1791>
- Haller, J., Obrist, M., Wermelinger, B., Blum, S., Bolliger, J., 2021. **Einflüsse von Lichtfarben und Leuchtenformen auf nachtaktive Insekten und Fledermäuse,** in: LICHT 2021: Tagungsband. Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., Bamberg, pp. 172–181.
- Hänel, A. und Schmidt, M.R. (2018): **Nachhaltige Außenbeleuchtung. Informationen und Empfehlungen für Industrie und Gewerbe.** Wiesbaden, 1-15.
- Haupt, H., 2009. **Der Letzte macht das Licht an! – Zu den Auswirkungen leuchtender Hochhäuser auf den nächtlichen Vogelzug am Beispiel des „Post-Towers“ in Bonn.** *Charadrius* 45, 1–19.
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen und Landes-EnergieAgentur Hessen GmbH (HMWEVW) und LandesEnergieAgentur Hessen GmbH (LEA) (2020): **Planungshilfe LED-Straßenbeleuchtung.** Wiesbaden, 1-16.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: **Nachhaltige Außenbeleuchtung. Informationen und Empfehlungen für Industrie und Gewerbe.**
- Hoffmann, J., Schirmer, A., Eccard, J.A., 2019. **Light pollution affects space use and interaction of two small mammal species irrespective of personality.** *BMC Ecol.* 19, 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12898-019-0241-0>
- Hölker, F., Wurzbacher, C., Weißenborn, C., Monaghan, M.T., Holzhauer, S.I.J., Premke, K., 2015. **Microbial diversity and community respiration in freshwater sediments influenced by artificial light at night.** *Philos. Trans. R. Soc. B-Biological Sci.* 370, 20140130. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0130>
- Huemer, P., Kührtreiber, H., Tarmann, G., 2010. **Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten: Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol.**
- Huggins, B., 2020. **Bewertung von Lichtmissionen.** I+E 1, 1-9.
- Informationsdienst Umweltrecht e.V. (2021): **Der Schutz der Nacht als Pflichtaufgabe.** Erweiterter Beitrag aus dem Schnellbrief Nr. 229-
- James, P., Bertrand, K.A., Hart, J.E., Scherhammer, E.S., Tamimi, R.M., 2017. **Outdoor light at night and breast cancer incidence in the Nurses' Health Study II.** *Environ. Health Perspect.* 125, 8–9. <https://doi.org/10.1289/EHP935>
- Jiang, J., He, Y., Kou, H., Ju, Z., Gao, X., Zhao, H., 2020. **The effects of artificial light at night on Eurasian tree sparrow (*Passer montanus*): Behavioral rhythm disruption, melatonin suppression and intestinal microbiota alterations.** *Ecol. Indic.* 108, 105702. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105702>
- Justice, M.J., Justice, T.C., 2016. **Attraction of Insects to Incandescent, Compact Fluorescent, Halogen, and Led Lamps in a Light Trap: Implications for Light Pollution and Urban Ecologies.** *Entomol. News* 125, 315–326. <https://doi.org/10.3157/021.125.0502>
- Kantermann, T., 2018. **Humanmedizinisch relevante Wirkungen von Lichtverschmutzung.** Bochum. <https://doi.org/10.48440/GFZ.1.4.2020.004>
- Kempnaer, B., et al., 2010. **Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds.** *Curr. Biol.* 20, 1735–1739. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.08.028>
- Kernbach, M.E., Cassone, V.M., Unnasch, T.R., Martin, L.B., 2020. **Broad-spectrum light pollution suppresses melatonin and increases West Nile virus-induced mortality in House Sparrows (*Passer domesticus*).** *Condor* 122, 1–13. <https://doi.org/10.1093/condor/duaa018>
- Kernbach, M.E., et al., 2019. **Light pollution increases West Nile virus competence of a ubiquitous passerine reservoir species.** *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 286, 20191051. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1051>
- Kim, K.Y., Lee, E., Kim, Y.J., Kim, J., 2017. **The association between artificial light at night and prostate cancer in Gwangju City and South Jeolla Province of South Korea.** *Chronobiol. Int.* 34, 203–211. <https://doi.org/10.1080/07420528.2016.1259241>
- Knab, B., 2013. **Lichtverschmutzung und die Folgen für die menschliche Gesundheit.** In: Held, M., F. Hölker, B. Jessel (2013): **Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft,** BfN Skripten 336, Berlin: 77-80.
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M., Fontaine, C., 2017. **Artificial light at night as a new threat to pollination.** *Nature* 548, 206–209. <https://doi.org/10.1038/nature23288>
- Knight, C., 2010. **Field surveys of the effect of lamp spectrum on the perception of safety and comfort at night.** In: *Lighting Research & Technology* 42, S.313–329
- Koo, Y.S., Song, J.Y., Joo, E.Y., Lee, H.J., Lee, E., Lee, S.K., Jung, K.Y., 2016. **Outdoor artificial light at night, obesity, and sleep health: Cross-sectional analysis in the KoGES study.** *Chronobiol. Int.* 33, 301–314. <https://doi.org/10.3109/07420528.2016.1143480>
- Krause, K. (2013): **Funktionen der künstlichen Beleuchtung und der Dunkelheit – Ein Bericht zum Stand der sozialwissenschaftlichen Forschung.** Schriftenreihe Verlust der Nacht Band 3, Technische Universität Berlin, Berlin
- Kronfeld-Schor, N., et al., 2013. **Chronobiology by moonlight.** *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 280, 1–11. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.3088>
- Krop-Beneske, 2023. **Aussenbeleuchtung und Umweltaspekte.** Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) 49. Berlin.
- Kupprat, F., Hölker, F., Kloas, W., 2020. **Can skylglow reduce nocturnal melatonin concentrations in Eurasian perch?** *Environ. Pollut.* 262, 114324. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114324>
- Kwak, M., et al., 2018. **Night Light-Adaptation Strategies for Photosynthetic Apparatus in Yellow-Poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) Exposed to Artificial Night Lighting.** *Forests* 9, 74. <https://doi.org/10.3390/f9020074>
- Kyba, C., Mohar, A., Posch, T., 2017. **How bright is moonlight?** *A&G* 58, 31–32.
- Kyba, C.C.M., Altintas, Y.Ö., Walker, C.E., Newhouse, M., 2023. **Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022.** *Science* (80-.). 2011, 265–268.
- Kyba, C.C.M., Hölker, F., 2013. **Do artificially illuminated skies affect biodiversity in nocturnal landscapes?** *Landsc. Ecol.* 28, 1637–1640. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9936-3>
- Kyba, C.C.M., Hänel, A., Hölker, F., 2014. **Redefining efficiency for outdoor lighting.** *Energy Environmental Science* 6, 1806-1809.
- Kyba, C.C.M., et al., 2017. **Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent.** *Sci. Adv.* 3, e1701528.
- La Sorte, F.A., Fink, D., Buler, J.J., Farnsworth, A., Cabrera-cruz, S.A., 2017. **Seasonal associations with urban light pollution for nocturnally migrating bird populations.** *Glob. Chang. Biol.* 1–11. <https://doi.org/10.1111/gcb.13792>
- Lamphar, H., et al., 2022. **Light pollution as a factor in breast and prostate cancer.** *Sci. Total Environ.* 806, 150918. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150918>
- Lane, K.J., Stokes, E.C., Seto, K.C., Thanikachalam, S., Thanikachalam, M., Bell, M.L., 2017. **Associations between greenness, impervious surface area, and nighttime lights on biomarkers of vascular aging in Chennai, India.** *Environ. Health Perspect.* 125, 1–8. <https://doi.org/10.1289/EHP541>
- Lao, S., Robertson, B.A., Anderson, A.W., Blair, R.B., Eckles, J.W., Turner, R.J., Loss, S.R., 2020. **The influence of artificial light at night and polarized light on bird-building collisions.** *Biol. Conserv.* 241, 108358. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108358>
- Le Tallec, T., Perret, M., Théry, M., 2013. **Light pollution modifies the expression of daily rhythms and behavior patterns in a nocturnal primate.** *PLoS One* 8, e79250. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079250>
- Le Tallec, T., Théry, M., Perret, M., 2016. **Melatonin concentrations and timing of seasonal reproduction in male mouse lemurs (*Microcebus murinus*) exposed to light pollution.** *J. Mammal.* 97, 753–760. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw003>
- Levy, K., Wegrzyn, Y., Efronny, R., Barnea, A., Ayali, A., 2021. **Lifelong exposure to artificial light at night impacts stridulation and locomotion activity patterns in the cricket *Gryllus bimaculatus*.** *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 288, 20211626. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1626>
- Li-Zi Lin, et al., 2022. **Outdoor light at night, overweight, and obesity in school-aged children and adolescents.** *Environ. Pollut.* 305, 119306. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119306>
- Longcore, T., et al., 2015. **Tuning the white light spectrum of light emitting diode lamps to reduce attraction of nocturnal arthropods.** *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 370, 20140125. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0125>
- Longcore, T., et al., 2012. **An Estimate of Avian Mortality at Communication Towers in the United States and Canada.** *PLoS One* 7, e34025. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.09.019>
- Loss, S.R., Lao, S., Eckles, J.W., Anderson, A.W., Blair, R.B., Turner, R.J., 2019. **Factors influencing bird-building collisions in the downtown area of a major North American city.** *PLoS One* 14, 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224164>
- Macgregor, C.J., Evans, D.M., Fox, R., Pocock, M.J.O., 2017. **The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport.** *Gobal Chang. Biol.* 23, 697–707. <https://doi.org/10.1111/gcb.13371>
- Manfrin, A., et al., 2017. **Artificial Light at Night Affects Organism Flux across Ecosystem Boundaries and Drives Community Structure in the Recipient Ecosystem.** *Front. Environ. Sci.* 5, 61. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00061>
- Marchant, P. (2010): **What is the contribution of street lighting to keeping us safe? An investigation into a policy.** In: *Radical Statistics*, S.32–42
- Martín, B., Pérez, H., Ferrer, M., 2021. **Light-Emitting Diodes (LED): A Promising Street Light System to Reduce the Attraction to Light of Insects.** *Diversity* 13, 89. <https://doi.org/10.3390/d13020089>
- Massetti, L., 2018. **Assessing the impact of street lighting on *Platanus x acerifolia* phenology.** *Urban For. Urban Green.* 34, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.05.015>
- Matzke, E.B., 1936. **The Effect of Street Lights in Delaying Leaf-Fall in Certain Trees.** *Am. J. Bot.* 23, 446–452. <https://doi.org/10.2307/2436035>
- McFadden, E., Jones, M.E., Schoemaker, M.J., Ashworth, A., Swerdlow, A.J., 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, 245–250. <https://doi.org/10.1093/aje/kwu117>
- McGuire, L.P., Fenton, M.B., 2010. **Hitting the Wall: Light Affects the Obstacle Avoidance Ability of Free-Flying Little Brown Bats (*Myotis lucifugus*).** *Acta Chiropterologica* 12, 247–250. <https://doi.org/10.3161/150811010x504734>
- McLaren, J.D., et al., 2018. **Artificial light at night confounds broad-scale habitat use by migrating birds.** *Ecol. Lett.* 21, 356–364. <https://doi.org/10.1111/ele.12902>



- Mészáros, Á., Kriska, G., Egri, Á., 2021. **Spectral optimization of beacon lights for the protection of night-swarming mayflies.** Insect Conserv. Divers. 14, 225–234. <https://doi.org/10.1111/icad.12446>
- 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, 1903–1910. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7490>
- Monecke, S., Wollnik, F., Pévet, P., 2014. **The Circannual Clock in the European Hamster: How Is It Synchronized by Photoperiodic Changes?**, in: Numata, H., Helm, B. (Eds.), Annual, Lunar, and Tidal Clocks – Patterns and Mechanisms of Nature’s Enigmatic Rhythms. Springer Japan. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-55261-1>
- Moore, M. V., Pierce, S.M., Walsh, H.M., Kvalvik, S.K., Lim, J.D., 2000. **Urban light pollution alters the diel vertical migration of Daphnia.** Int. Vereinigung für Theor. und Angew. Limnol. Verhandlungen 27, 779–782. <https://doi.org/10.1002/9780470694961.ch1>
- Mosser, S. (2007): **Eclairage et sécurité en ville: l'état des savoirs (=Urban Lighting and Security).** In: Déviance et Société 31, S.77-100
- Münzel, T., Hahad, O., Sørensen, M., Lelieveld, J., Duerr, G.D., Nieuwenhuijsen, M., Daiber, A., 2021. **Environmental risk factors and cardiovascular diseases: a comprehensive expert review.** Cardiovasc. Res. 118, 2880–2902. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvab316>
- Nordt, A., Klenke, R., 2013. **Sleepless in Town – Drivers of the Temporal Shift in Dawn Song in Urban European Blackbirds.** PLoS ONE 8, 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071476>
- 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, 779–786. <https://doi.org/10.3109/07420528.2014.900501>
- Orbach, D.N., Fenton, B., 2010. **Vision impairs the abilities of bats to avoid colliding with stationary obstacles.** PLoS One 5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013912>
- Ouyang, J.Q., De Jong, M., Hau, M., Visser, M.E., Van Grunsven, R.H.A., Spoelstra, K., 2015. **Stressful colours: Corticosterone concentrations in a free-living songbird vary with the spectral composition of experimental illumination.** Biol. Lett. 11. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0517>
- Ouyang, J.Q., de Jong, M., van Grunsven, R.H.A., Matson, K.D., Haussmann, M.F., Meerlo, P., Visser, M.E., Spoelstra, K., 2017. **Restless roosts: Light pollution affects behavior, sleep, and physiology in a free-living songbird.** Glob. Chang. Biol. 23, 4987–4994. <https://doi.org/10.1111/gcb.13756>
- Paksarian, D., et al., 2020. **Association of outdoor artificial light at night with mental disorders and sleep patterns among US adolescents.** JAMA psychiatry 77, 1266–1275. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2020.1935>
- Park, Y.M.M., White, A.J., Jackson, C.L., Weinberg, C.R., Sandler, D.P., 2019. **Association of exposure to artificial light at night while sleeping with risk of obesity in women.** JAMA Intern. Med. 179, 1061–1071. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2019.0571>
- Parkinson, E., Lawson, J., Tieg, S.D., 2020. **Artificial light at night at the terrestrial-aquatic interface: Effects on predators and fluxes of insect prey.** PLoS One 15, 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240138>
- Pawson, S.M., Bader, M.K.F., 2014. **LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature.** Ecol. Appl. 24, 1561–1568. <https://doi.org/10.1890/14-0468.1>
- Phillips, A.J.K., et al., 2019. **High sensitivity and interindividual variability in the response of the human circadian system to evening light.** PNAS 116, 12019–19024. <https://doi.org/10.1073/pnas.1901824116>
- Raap, T., Casasole, G., Pinxten, R., Eens, M., 2016a. **Early life exposure to artificial light at night affects the physiological condition: An experimental study on the ecophysiology of free-living nestling songbirds.** Environ. Pollut. 218, 909–914. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.024>
- Raap, T., Pinxten, R., Eens, M., 2016b. **Artificial light at night disrupts sleep in female great tits (Parus major) during the nestling period, and is followed by a sleep rebound.** Environ. Pollut. 215, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.100>
- Rebke, M., Dierschke, V., Weiner, C.N., Aumüller, R., Hill, K., Hill, R., 2019. **Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions.** Biol. Conserv. 233, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.029>
- Robert, K.A., Lesku, J.A., Partecke, J., Chambers, B., 2015. **Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal.** Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 282, 20151745. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1745>
- Rybnikova, N., Portnov, B.A., 2018. **Population-level study links short-wavelength nighttime illumination with breast cancer incidence in a major metropolitan area.** Chronobiol. Int. 35, 1198–1208. <https://doi.org/10.1080/07420528.2018.1466802>
- Rybnikova, N.A., Haim, A., Portnov, B.A., 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, 111–122. <https://doi.org/10.1080/19338244.2016.1169980>
- Rydell, J., Eklöf, J., Sánchez-Navarro, S., 2017. **Age of enlightenment: long-term effects of outdoor aesthetic lights on bats in churches.** R. Soc. Open Sci. 4, 161077. <https://doi.org/10.1098/rsos.161077>
- Sanetra, D., 2022. **How urbanization affects moth diversity.** Bachelor-Thesis. TU-Darmstadt.
- Schäfer, M., 2003. **Wörterbuch der Ökologie.** Heidelberg, Berlin.
- Schierz, C., 2022. **Störungen und gesundheitliche Beeinträchtigungen durch das Flimmerverhalten künstlicher Lichtquellen.**
- Schmidt, A.H., 2007. **Licht in der Stadt. Leitbilder und Strategien für innovative Lichtkonzepte.** Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.
- Schroer, S., Huggins, B., Böttcher, M., Hölker, F., 2020. **Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Aussenbeleuchtungsanlagen.**
- Schroer, S., Huggins, B., Böttcher, M., Hölker, F., 2019. **Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen. Anforderungen an eine nachhaltige Außenbeleuchtung.** BfN-Skripten 543, Bonn – Bad Godesberg.
- Schröter-Schlaack, C., Schulte-Römer, N., Revermann, C., 2020. **Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sowie Handlungsansätze.** Endbericht. BfN-Skripten 543, Bonn – Bad Godesberg.
- Schulze, T., 2017. **Welches und wie viel Licht braucht erfolgreiche Kriminalprävention?** In: Marks, E. und Steffen, W. (Hrsg.): Prävention und Freiheit. Zur Notwendigkeit eines Ethik-Diskurses. Ausgewählte Beiträge des 21. Deutschen Präventionstages 2016, Godesberg, Seite 481–492.
- Seeger, 2015. **Aktueller Begriff Lichtverschmutzung.** Wissenschaftliche Dienste 10/15.Berlin.
- Senzaki, M., et al., 2020. **Sensory pollutants alter bird phenology and fitness across a continent.** Nature 587, 605–609. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2903-7>
- Somers-Yeates, R., et al., 2013. **Shedding light on moths: Shorter wavelengths attract noctuids more than geometrids.** Biol. Lett. 9, 20130376. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0376>
- Soneira, M., 2013. **Auswirkungen auf die Insekten-Fauna durch die Umrüstung von Kugelleuchten auf LED-Beleuchtungen.**
- Spoelstra, K., et al., 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.** Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 370, 20140129. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0129>
- Spoelstra, K., et al., 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. London B Biol. Sci. 284, 11–15. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0075>
- Statistisches Bundesamt, DeStatis (2022). **Verkehr – Verkehrsunfälle Dezember 2022,** Fachserie 8, Reihe 7.
- Steinbach, R.; et al., 2015. **The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis.** In: Journal of Epidemiology and Community Health 69, S.1118–1124
- Sullivan, S.M.P., Hossler, K., Meyer, L.A., 2019. **Artificial lighting at night alters aquatic-riparian invertebrate food webs.** Ecol. Appl. 29. <https://doi.org/10.1002/eap.1821>
- Sun, S., et al., 2021. **Outdoor light at night and risk of coronary heart disease among older adults: a prospective cohort study.** Eur. Heart J. 42, 822–830. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa846>
- Tabor, R.A., Bell, A.T.C., Lantz, D.W., Gregersen, C.N., Berge, H.B., Hawkins, D.K., 2017. **Phototoxic behavior of subyearling salmonids in the nearshore area of two urban lakes in Western Washington state.** Trans. Am. Fish. Soc. 146, 753–761. <https://doi.org/10.1080/00028487.2017.1305988>
- Touzot, M., et al., 2020. **Artificial light at night alters the sexual behaviour and fertilisation success of the common toad.** Environ. Pollut. 259, 113883. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113883>
- Touzot, M., et al., 2019. **Artificial light at night disturbs the activity and energy allocation of the common toad during the breeding period.** Conserv. Physiol. 7. <https://doi.org/10.1093/conphys/coz002>
- Ulgezen, Z.N., Käpylä, T., Meerlo, P., Spoelstra, K., Visser, M.E., Dominoni, D.M., 2019. **The preference and costs of sleeping under light at night in forest and urban great tits.** Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 286. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0872>
- Van Doren, B.M., et al., 2017. **High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration.** Proc. Natl. Acad. Sci. 114, 11175–11180. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1708574114>
- Van Geffen, K.G., et al., 2015a. **Artificial night lighting disrupts sex pheromone in a noctuid moth.** Ecol. Entomol. 40, 401–408. <https://doi.org/10.1111/een.12202>
- Van Geffen, et al., 2015b. **Insect Conserv. Divers. 8,** 282–287. <https://doi.org/10.1111/icad.12116>
- Van Geffen, K.G., Van Grunsven, R.H.A., Van Ruijven, J., Berendse, F., Veenendaal, E.M., 2014. **Ecol. Evol. 4,** 2082–2089. <https://doi.org/10.1002/ece3.1090>
- Van Grunsven, R.H.A., et al., 2014. **Spectral composition of light sources and insect phototaxis, with an evaluation of existing spectral response models.** J. Insect Conserv. 18, 225–231. <https://doi.org/10.1007/s10841-014-9633-9>
- Van Grunsven, R.H.A., van Deijk, J.R., Donners, M., Berendse, F., Visser, M.E., Veenendaal, E., Spoelstra, K., 2020. **Curr. Biol. 30,** R694–R695. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.04.083>
- Van Langevelde, F., et al., 2018. **Declines in moth populations stress the need for conserving dark nights.** Glob. Chang. Biol. 24, 925–932. <https://doi.org/10.1111/gcb.14008>
- Van Langevelde, F., Ettema, J.A., Donners, M., WallisDeVries, M.F., Groenendijk, D., 2011. **Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths.** Biol. Conserv. 144, 2274–2281. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.06.004>
- van Langevelde, F., van Grunsven, R.H.A., Veenendaal, E.M., Fijen, T.P.M., 2017. **Artificial night lighting inhibits feeding in moths.** Biol. Lett. 13, 20160874. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0874>
- Verbundprojekt transit Landeskriminalamt Niedersachsen (2015): **Sicherheit im Wohnfeld – Gegenüberstellung von Angsträumen und Gefahrenorten.** Hannover.
- Voigt, C., et al., 2019. **Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Beleuchtungsprojekten.** EUROBATS Publ. Ser. 8, 67.
- Vollsnes, A. V., Eriksen, A.B., Otterholt, E., Kvaal, K., Oxaal, U., Futsaether, C.M., 2009. **Visible foliar injury and infrared imaging show that daylength affects short-term recovery after ozone stress in Trifolium subterraneum.** J. Exp. Bot. 60, 3677–3686. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp213>
- Wakefield, A., Broyles, M., Stone, E.L., Harris, S., Jones, G., 2017. **Quantifying the attractiveness of broad-spectrum street lights to aerial nocturnal insects.** J. Appl. Ecol. 55, 714–722. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13004>
- Wakefield, A., Broyles, M., Stone, E.L., Jones, G., Harris, S., 2016. **Experimentally comparing the attractiveness of domestic lights to insects: Do LEDs attract fewer insects than conventional light types?** Ecol. Evol. 6, 8028–8036. <https://doi.org/10.1002/ece3.2527>
- Wakefield, A., Stone, E.L., Jones, G., Harris, S., 2015. **Light-emitting diode street lights reduce last-ditch evasive manoeuvres by moths to bat echolocation calls.** R. Soc. Open Sci. 2, 150291. <https://doi.org/10.1098/rsos.150291>
- Waldorf, J. (o.J.): **Lichtlexikon: Fachbegriffe kurz erläutert.** Licht.de. Internet: <https://www.licht.de/de/grundlagen/lichtlexikon> (24.01.2023).
- Walker, W.H., Meléndez-Fernández, O.H., Nelson, R.J., Reiter, R.J., 2019. **Global climate change and invariable photoperiods: A mismatch that jeopardizes animal fitness.** Ecol. Evol. 9, 10044–10054. <https://doi.org/10.1002/ece3.5537>
- Westby, K.M., Medley, K.A., 2020. **Cold nights, city lights: Artificial light at night reduces photoperiodically induced diapause in urban and rural populations of Aedes albopictus (Diptera: Culicidae).** J. Med. Entomol. 57, 1694–1699. <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa139>
- Willmott, N.J., Henneken, J., Elgar, M.A., Jones, T.M., 2019. **Guiding lights: Foraging responses of juvenile nocturnal orb-weaver spiders to the presence of artificial light at night.** Ethology 125, 289–297. <https://doi.org/10.1111/eth.12852>
- Wilson, J.F., et al., 2018. **A role for artificial night-time lighting in long-term changes in populations of 100 widespread macro-moths in UK and Ireland: a citizen-science study.** J. Insect Conserv. 22, 189–196. <https://doi.org/10.1007/s10841-018-0052-1>
- Zeale, M.R.K., et al., 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, 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146782>
- Zeale, M.R.K., Stone, E.L., Zeale, E., Browne, W.J., Harris, S., Jones, G., 2018. **Experimentally manipulating light spectra reveals the importance of dark corridors for commuting bats.** Glob. Chang. Biol. 24, 5909–5918. <https://doi.org/10.1111/gcb.14462>
- Zhang, F.S., Wang, Y., Wu, K., Xu, W.Y., Wu, J., Liu, J.Y., Wang, X.Y., Shuai, L.Y., 2020. **Effects of artificial light at night on foraging behavior and vigilance in a nocturnal rodent.** Sci. Total Environ. 724, 114566. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138271>
- Zhang, S., Chen, X., Zhang, J., Li, H., 2014. **Differences in the reproductive hormone rhythm of tree sparrows (Passer montanus) from urban and rural sites in Beijing: The effect of anthropogenic light sources.** Gen. Comp. Endocrinol. 206, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2014.05.020>
- Zhao, X., Zhang, M., Che, X., Zou, F., 2020. **Blue light attracts nocturnally migrating birds.** Condor 122, 1–12. <https://doi.org/10.1093/condor/duaa002>
- Zheng, R., et al., 2022. **Outdoor light at night in relation to glucose homeostasis and diabetes in Chinese adults: a national and cross-sectional study of 98,658 participants from 162 study sites.** Diabetologia 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00125-022-05819-x>



Impressum

Herausgegeben von:

Wissenschaftsstadt Darmstadt Umweltamt

Unter Mitwirkung der städtischen Verwaltungsstellen, des BUND Darmstadt und der Volkssternwarte Darmstadt e.V. (Hessisches Netzwerk gegen Lichtverschmutzung), der ENTEGA AG und der e-netz Südhessen AG

Gestaltung: Konzept fünf, www.konzept-fuenf.de

Druck: PRIMUS international printing GmbH

Bildnachweise:

Titelbild: Nächtlicher Blick nach oben aus dem Herrengarten, Darmstadt (Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg)

Rückseite: Beleuchtete Hauptwege im Herrengarten, Darmstadt (Volkssternwarte Darmstadt e.V., Chr. Roßberg)

© Wissenschaftsstadt Darmstadt 2025

Kontakt

Wissenschaftsstadt Darmstadt

64295 Darmstadt

Telefon +49 (0)6151-115

E-Mail info@darmstadt.de

Internet www.darmstadt.de

Weiterführende Informationen und Beratung unter:

www.darmstadt.de/licht

