



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Design Medien und Information
Department Medientechnik

Rücksichtsvolle Beleuchtungsplanung als möglicher Beitrag zur Reduzierung von Lichtverschmutzung im Außenraum

Bachelorthesis
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

Verfasser: John Ebauer
Matrikelnummer: 2052909
Abgabedatum: 29.02.2016

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Roland Greule, HAW Hamburg
Zweitprüfer: René van Ratingen, Philips Lighting GmbH

Zusammenfassung

Viele Autoren und Wissenschaftler bemängeln, dass nur im Bereich Lärm- und Klimaschutz in den letzten Jahren viel gemacht wurde um die Situation zu verbessern. Grenzwerte wurden festgelegt und auch eingehalten. Die Lichtemissionen und Lichtimmissionen sind für die Bevölkerung noch relativ unbekannte Begriffe. Das soll sich in Zukunft ändern, weil künstliches Licht aus unserem Alltag aus Sicherheits- und wirtschaftlichen oder gestalterischen Gründen nicht mehr wegzudenken ist. Im Bereich Lichtverschmutzung wurde bereits schon einiges gemacht und wissenschaftlich untersucht. Jetzt geht es darum die Untersuchungen mit Langzeitstudien zu ergänzen um langfristige Folgen für Natur und Lebewesen möglichst klein zu halten und wenn nötig gesetzlich zu begrenzen. Einige Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen können schon heute mit Hilfe der technischen Ansätze erfolgreich angewendet werden.

Es gibt kein Masterplan für die Außenbeleuchtung, bei dem die Lichtverschmutzung sich komplett vermeiden lässt. Man kann aber mögliche Störwirkungen für die Umwelt mit technischen Ansätzen minimieren. An die Planung jeder Außenlichtanlage sollte man projektspezifisch herangehen, Konflikte sind bei der Planung vorprogrammiert. Das Ziel eines Fachplaners/Lichtplaners ist dabei, eine Lösung zu finden, die für alle Akteure und Verantwortliche akzeptabel und für Betroffene verträglich ist. Aus technischer und lichttechnischer Sicht ist heutzutage vieles möglich. Die Lösungsansätze hängen von den Anforderungen des Kunden, Art- und Gegebenheiten der Anlage vor Ort ab. Der Fachplaner sollte außerdem alle Verantwortlichen auf mögliche Störwirkungen einer neu zu planenden oder sanierungsbedürftigen Lichtanlage hinweisen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Betreuern Roland Greule und René van Ratingen für die tatkräftige Unterstützung ganz herzlich bedanken. Beide Betreuer standen während der Bearbeitungszeit meiner Arbeit und auch darüber hinaus in fachlichen Themen und Diskussionen mir zur Seite.

Außerdem möchte ich einen Dank an meine Studienkommilitonen Clarissa Borgstädt und Danny Kern für das Korrekturlesen und die Unterstützung aussprechen. Ich danke auch Max Thur für die Unterstützung bei der Bildbearbeitung.

Ich danke den Kollegen aus der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, für die Beratung und die zur Verfügung gestellten Unterlagen. Ich danke noch Andreas Hänel von der Fachgruppe Dark Sky für die Beratung und für die gestellten Bilder. Ich danke auch den Philips Mitarbeitern für ihre Unterstützung.

Besonders danke ich meinen Eltern und meiner Familie, die mich über das ganze Studium unterstützt und mitbegleitet haben.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
1.1 Lichtverschmutzung Begriffsdefinition	7
1.1.1 Lichtemissionen	8
1.1.2 Lichtimmissionen.....	8
1.2. Zweck der Beleuchtung und Gründe einer Fehlentwicklung.....	9
1.3 Initiativen gegen Lichtverschmutzung.....	11
1.4 Veröffentlichte Richtlinien und Empfehlungen.....	12
1.5 Zustand heute.....	15
2 Geschichte der Beleuchtung.....	16
2.1 Geschichte und Entwicklung der Straßenbeleuchtung	16
3 Lichttechnische Grundbegriffe und Grundlagen.....	22
3.1 Licht als Strahlung und das Spektrum des Lichtes.....	22
3.2 Spektrale Hellempfindlichkeit, visuelle Wahrnehmung und Adaption.....	23
3.3 Lichttechnische Grundgrößen	25
3.3.1 Lichtstrom Φ	25
3.3.2 Lichtstärke I.....	25
3.3.3 Leuchtdichte L	25
3.3.4 Beleuchtungsstärke E	26
3.3.5 Raumwinkel Ω	27
3.4 Kontrast.....	27
3.5 Gleichmäßigkeit.....	28
3.6 Farbtemperatur	28
3.7 Blendung.....	29
4 Aufgaben und Mindestanforderungen an Außenbeleuchtung heute.....	31
4.1 Straßenbeleuchtung	31
4.2 Parkplatzbeleuchtung	33
4.3 Sportplatzbeleuchtung.....	35
4.4 Arbeitsplätze im Freien.....	37
4.5 Fassadenbeleuchtung und Beleuchtung von Parks und Grünanlagen	38
5 Lichtverschmutzung – Auswirkungen und Folgen.....	40
5.1 Auswirkungen auf Menschen	41
5.2 Auswirkungen auf Artenvielfalt.....	44
5.2.1 Auswirkungen auf Insekten	44
5.2.2 Auswirkungen auf Vögel.....	47
5.2.3 Auswirkungen auf Fledermäuse.....	50

5.2.4 Auswirkung für Fische und Meeresschildkröten	51
5.3 Auswirkungen für Sternbeobachtung.....	53
5.4 Änderung der Nachtlandschaft	54
6 Bewertungsmethoden. Emissions- und Immissionsgrenzwerte.....	56
6.1 Bewertungsmethoden eine Übersicht.....	56
6.2 Grundlagen für Bewertungsmethoden in Deutschland	57
6.2.1 Lichtimmissionsbewertung nach LAI-Hinweisen.....	58
6.2.2 TI-Blendungsbewertung.....	59
6.2.3 Methoden für Bewertung der Himmelsaufhellung.....	60
6.2.4 Beleuchtungsrichtlinien für Sterneparks.....	61
7 Juristische, politische und gesellschaftliche Ansätze zur Vermeidung von Lichtverschmutzung .	63
7.1 Rechtslage in Deutschland.....	63
7.2 Politische Ansätze auf der internationalen Ebene	66
7.3 Politische Ansätze auf der Bundesebene.....	68
7.4 Andere Ansätze und andere Akteure.....	69
7.5 Gesetzliche Grundlage in anderen Ländern	70
7.6 Zwischenfazit	71
8 Technische Ansätze zur Vermeidung von Lichtverschmutzung	73
8.1 Viermal-W-Fragen.....	74
8.1.1 spektrale Zusammensetzung und Leuchtmittelwahl	74
8.1.2 Anlagengeometrie.....	75
8.1.3 Abstrahlcharakteristik und Ausrichtung der Leuchten.....	76
8.2 Technische Ansätze bei Straßenbeleuchtung	77
8.3 Technische Ansätze bei Flächenbeleuchtung	79
8.4 Technische Ansätze bei Fassadenbeleuchtung.....	80
8.5 Zwischenfazit technische Ansätze.....	81
9 Praxisbeispiele: Rücksichtsvolle Beleuchtungsplanung.....	82
9.1 Parkplatzbeleuchtung	82
9.2 Sportplatzbeleuchtung.....	86
10 Fazit.....	91
Literaturverzeichnis	92
Abbildungsverzeichnis	96
Tabellenverzeichnis.....	98
Anhang	99
Eigenständigkeitserklärung	104

1 Einleitung

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit dem Thema Lichtverschmutzung und den möglichen Auswirkungen auf Menschen und Tiere. Diese Arbeit soll den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand in dem Bereich zusammenfassen bzw. darstellen und schlägt mögliche Maßnahmen für eine Reduzierung von Lichtimmissionen und Lichtemissionen in Form einer Empfehlung für Lichtplaner¹, Fachleute und Installateure vor. Diese Maßnahmen werden in Form eines Flyers ausgearbeitet, der dieser Arbeit beiliegt. Diese Arbeit richtet sich nicht nur an Fachleute und Techniker, sondern an alle Akteure, die eine Rolle zum Beispiel in der Stadtplanung und Leuchten-Spezifizierung, Politik und Medien spielen und natürlich auch an interessierte Bürger. Einige lichttechnische Grundkenntnisse werden dabei vorausgesetzt. Die lichttechnischen Grundbegriffe werden in Kapitel 3 ab Seite 22 ausführlich behandelt. Das Ziel ist außerdem die Öffentlichkeit, Gesetzgeber- und Entscheidungsträger für das Thema zu sensibilisieren und aufmerksam zu machen.

Zahlreiche Studien und Untersuchungen belegen das Ausmaß und eine Zunahme der Lichtverschmutzung in den vergangenen Jahrzehnten. Schätzungsweise nimmt die weltweite Lichtverschmutzung jährlich um 6 Prozent zu (vgl. Hüppop, Klenke, & Nordt, 2013, S. 114). Diese Zunahme ist regional unterschiedlich, zum Beispiel nehmen in Deutschland die Lichtemissionen jährlich um 6 Prozent zu, in Italien sind es sogar 10-12 Prozent. Die Untersuchungen in Italien zeigen, dass sich die Lichtemissionen dort in den letzten 30 Jahren verzehnfacht haben, obwohl die Bevölkerung in Italien nicht gewachsen ist (vgl. Klaus, Kägi, Kobler, Maus, & Righetti, 2005, S. 13). Diese Entwicklung kann man am besten an Bildern, die von Satelliten in einer Zeitspanne von über 10 Jahren aufgenommen wurden, verfolgen. Die Bilder sind in Kapitel 5 Lichtverschmutzung – Auswirkungen und Folgen auf Seite 40 zu sehen.

Einer der ersten Wissenschaftler, der eine Lichtattraktion² durch Leuchttürme auf Vögel feststellen konnte und somit negative Auswirkungen auf Lebewesen, war Heinrich Gätke. Im Buch „Die Vogelwarte Helgoland“ von 1900 wurden die Beobachtungen auf Vogelzüge zusammengetragen (vgl. Hüppop, Klenke, & Nordt, 2013, S. 112).

Der Verfasser der vorliegenden Arbeit hat sich im Laufe seines Studiums auf Lichttechnik spezialisiert. Sein Pflichtpraktikum hat er bei Philips Lighting absolviert und die anschließende Tätigkeit als Werkstudent erfolgte in einer Lichtplanungsabteilung bei Philips. Während seiner Zeit bei Philips ist die Idee dieser Arbeit entstanden. In einer engen Zusammenarbeit mit Kollegen und nach einer Fachtagung in Tutzing (Bayern) zu dem Thema Lichtverschmutzung „Verlust der Nacht“

¹ männliche und weibliche Form von Begriffen werden in dieser Arbeit in gleicher Weise bezeichnet

² Anziehung der Tiere durch künstliche Lichtquellen

im November 2014 wurden die Relevanz und die Komplexität des Themas erkannt. Der Umfang der Arbeit wurde dann später während der Ausarbeitung definiert.

An dieser Stelle muss noch erwähnt werden, dass in dieser Arbeit ausschließlich von Außenbeleuchtung geredet wird.

1.1 Lichtverschmutzung Begriffsdefinition

Zunächst muss die Bedeutung des Begriffes *Lichtverschmutzung* definiert werden. Unter dem Begriff *Lichtverschmutzung* versteht man eine Aufhellung des Nachthimmels durch künstliche Lichtquellen. Aus Sicht der Astronomen verursacht das Licht, welches nach oben strahlt und in der Erdatmosphäre gestreut wird, eine Lichtglocke über den großen Städten und Gemeinden. Das erschwert eine Beobachtung der Sterne auch für Astronomen (vgl. Wikipedia, Lichtverschmutzung, 2015). Diese Streuung in der Erdatmosphäre wird auch Rayleigh-Streuung genannt. Das Licht wird an den Molekülen von Sauer- und Stickstoff gestreut. Blaues kurzwelliges Licht wird dabei stärker gestreut, deswegen erscheint der Himmel tagsüber blau (vgl. Wikipedia, Rayleigh-Streuung, 2015). Lichtverschmutzung bedeutet aber mehr als nur Himmelsaufhellung. Alles Licht, das keinen Nutzen hat und irgendwo stört oder gar Schaden anrichten kann, ist Lichtverschmutzung. Wenn das Kunstlicht keinen Nutzen hat bedeutet das - Energieverschwendung.

Das von einer Leuchte abgestrahlte Licht kann in zwei große Bereiche unterteilt werden. Wenn man eine gedachte horizontale Linie durch eine Leuchtquelle zieht, werden diese zwei Bereiche definiert. Auf der Abbildung 1 findet man eine schematische Darstellung. Eine rote punktierte Linie definiert die Grenze zwischen beiden Bereichen. Der Bereich des Lichtes, das nach unten strahlt nennt

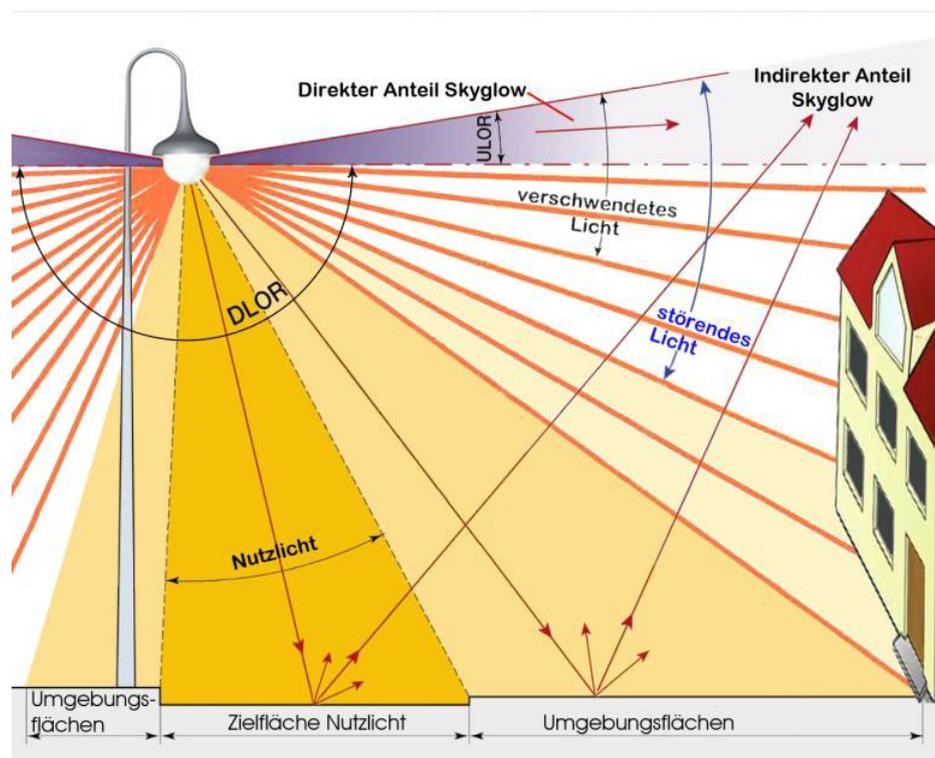


Abbildung 1 Lichtverschmutzung Definition

man DLOR (downward light output ratio). Der Bereich des Lichtes, das nach oben strahlt wird ULOR (upward light output ratio) genannt. Das Licht, das im oberen Halbraum abgestrahlt wird, trägt direkt zur Himmelsaufhellung bei, weil das Licht in der Erdatmosphäre je nach Wetterbedingungen stärker oder schwächer gestreut wird. Das Licht im Bereich ULOR bringt aus lichttechnischer Sicht keinen Nutzen und muss auf eine Lichtstärke von $I=0$ cd reduziert werden.

DLOR kann weiter auf noch kleinere Bereiche unterteilt werden. Man unterscheidet zwischen beleuchteter Fläche und Umgebungsfläche (siehe Abbildung 1). Zur beleuchteten Fläche zählt zum Beispiel die Fahrbahnfläche einer Straße. Eine Lichtanlage muss nach DIN-Norm bestimmte

Mindestanforderungen bezüglich Beleuchtungsstärke und Gleichmäßigkeit erfüllen. Zu Umgebungsflächen zählen zum Beispiel Plätze vor Wohnhäusern. Die Beleuchtung dieser Flächen erleichtert die Orientierung und das Streulicht auf Fassaden ist in akzeptablen Mengen sogar erwünscht.

Als Vorlage für die Abbildung 1 wurde das Bild aus dem Sammelwerk „Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft“ genommen und anschließend bearbeitet.

1.1.1 Lichtemissionen

Emissionen werden in dem Wörterbuch als „das Abgeben von meistens schädlichen Stoffen in die Atmosphäre“ definiert (Götz, Haensch, & Wellmann, 2008, S. 326). Licht, das von einer Lichtquelle abgestrahlt wird, wird als Lichtemissionen bezeichnet. Diese Lichtemissionen sind wertfrei, weil sie gewollt sind.

1.1.2 Lichtimmissionen

Immissionen werden in dem Wörterbuch als „negative Wirkung von Lärm, Schmutz, radioaktiven Strahlen usw. auf Menschen, Tiere, Pflanzen“ beschrieben (Götz, Haensch, & Wellmann, 2008, S. 569). Lichtimmissionen sind Einwirkungen von Licht, die an einem bestimmten Ort (Immissionsort) auftreten. Als Immissionsort kann ein Schlafzimmer oder ein eigenes Grundstück fungieren. Als Auswirkungen treten meistens Raumaufhellung und Blendung auf.

1.2. Zweck der Beleuchtung und Gründe einer Fehlentwicklung

In diesem Kapitel wird der Zweck jeder Beleuchtung erläutert und Gründe für eine Fehlentwicklung in dem Umgang mit künstlichen Licht genannt, die in der Vergangenheit zur Lichtverschmutzung beigetragen haben.

Der Zweck jeder Beleuchtung (Innen- als auch Außenbeleuchtung) ist die Möglichkeit zur visuellen Wahrnehmung. Diese wird von den folgenden Kriterien bestimmt: Helligkeits- und Farbkontrasten und Adaptionzustand des Beobachters. In der Außenbeleuchtung geht es dabei darum, sehen zu können und gesehen zu werden, wie zum Beispiel bei nicht ausreichenden Tageslichtverhältnissen, wie bei Dämmerung oder Nacht. Eine (gute) künstliche Außenbeleuchtung ist unverzichtbar, wenn die Wetterbedingungen, wie zum Beispiel bei Regen, Nebel oder Schnee, schlecht sind, da sich hierdurch die Sicht erheblich verschlechtert. Das kann außerdem eine Gefährdung der Verkehrsteilnehmer bedeuten.

Die Machbarkeit bestimmt heute (und auch in der Vergangenheit) die Realität. Diese These wird von Bob Sparks, Geschäftsführer von IDA³, mit einem Zitat bestätigt: „Wir beleuchten nicht, weil wir es brauchen sondern weil wir es können“. Mit dieser Aussage stellt Herr Sparks die heutige Herangehensweise bei der Beleuchtungsplanung und der Vermarktung sowie beim Umgang mit Kunstlicht in Frage. Diese Aussage soll außerdem als Denkanstoß dienen, bewusster mit künstlichem Licht umzugehen.

Eine weitere Annahme „mehr Licht ist besser“ hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass viele Beleuchtungsanlagen überdimensioniert wurden. Zu einer Überdimensionierung einer Lichtanlage kommt es, wenn die mittlere Beleuchtungsstärke von einem Auftraggeber viel höher gewünscht wird als von einer DIN-Norm empfohlen wird. Eine DIN-Norm schreibt dabei die maximal zulässigen Werte, also die Grenzwerte, nicht vor. Eine DIN-Norm beschreibt nur die Mindestanforderungen. Eine deutliche Überschreibung des Beleuchtungsniveaus bedeutet nicht automatisch eine bessere Beleuchtung bzw. eine bessere visuelle Wahrnehmbarkeit. „Mehr Licht“ ist nicht erwünscht und muss möglichst vermieden werden, wenn es zum Beispiel um Naturschutzzonen oder Wohngebiete geht, wo die Anwohner vor Lichtimmissionen geschützt werden sollen.

³ International Dark-Sky Association

Ein weiterer Grund für die Fehlentwicklung und steigende Lichtverschmutzung sind die fallenden Kosten des künstlichen Lichts in der Vergangenheit. Die Abbildung 2 links stellt eine Deflation der Lichtkosten über einen Zeitraum von einhundert Jahren dar.

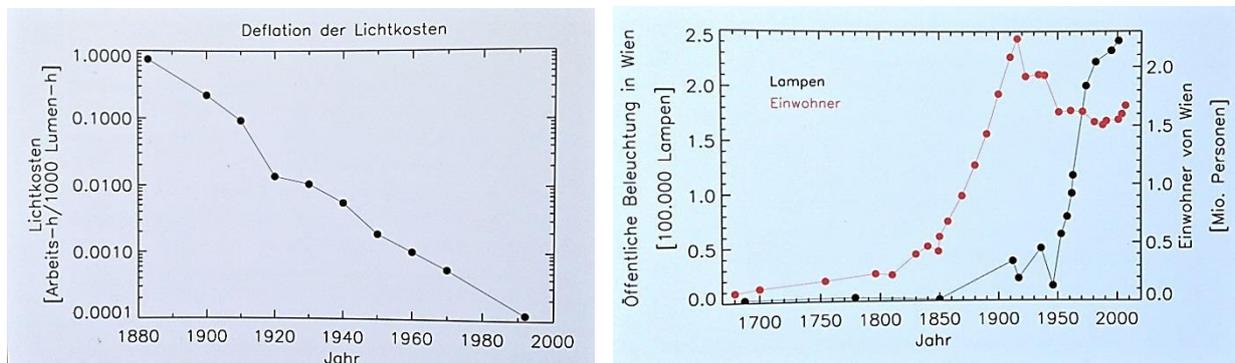


Abbildung 2: links die Entwicklung der arbeitszeitbezogenen Kosten elektrischer Beleuchtung, rechts das Wachstum der Zahl der Straßenleuchten in Wien (Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen. 2013 S 30)

Die Grafik zeigt die Anzahl der Arbeitsstunden, die nötig sind um eine bestimmte Lichtmenge zu finanzieren. Maßgebend bei der Betrachtung sind die Stromkosten. Ein Beispiel macht das deutlich. Ein durchschnittlicher US-Amerikaner muss Ende des 20. Jahrhunderts nur 10 Minuten pro Jahr arbeiten um eine Glühlampe (100 Watt; $\phi = 1.400 \text{ lm}$; $\eta = 14 \text{ lm/Watt}$; Betriebsstunden $t = 1.100 \text{ h/a}$) mit 1,54 Millionen Lumenstunden pro Jahr zu finanzieren. Im Jahr 1883 musste man mehr als 1.000 Stunden (50 Arbeitswochen – ein ganzes Jahr!) dafür arbeiten um die Energiekosten abzudecken. Das ergibt einen Faktor von 6.000. Die allgemeine Einkommenssteigerung wurde dabei mitberücksichtigt. Dazu muss noch erwähnt werden, dass die Lichtausbeute von Lichtquellen jährlich um etwa 3,6 % gestiegen ist (zwischen 1800 und 1992). Während eine Glühlampe im Jahr 1930 eine Lichtausbeute von 12 Lumen/Watt hatte, erreicht eine weiße Leuchtdiode im Jahr 2012 eine Effizienz von 120 Lumen/Watt. Die Abbildung 2 rechts zeigt ein Wachstum der Zahl der Straßenleuchten am Beispiel der Stadt Wien. Obwohl die Einwohnerzahl zwischen 1900 und 2000 kaum gestiegen ist, stieg die Zahl der installierten Außenleuchten immer weiter, besonders zwischen 1950 und 2000. Zusammenfassend kann man sagen, dass die steigende Energieeffizienz, die fallenden Energiekosten, die Zahl der Außenleuchten und die Annahme „mehr Licht ist besser“, den Umgang und das Bewusstsein geprägt und somit die Lichtverschmutzung direkt und indirekt mitverursacht haben (vgl. Posch, 2013, S. 29-31).

Als Folge der oben genannten Fehlentwicklungen können einige Punkte genannt werden: Aufhellung von Wohnräumen und die Folgen für Menschen und Tiere, Blendung von Anwohnern oder Verkehrsteilnehmern, Beeinträchtigung der Lebensräume von Tieren und die Verschlechterung der Sternbeobachtung. Darüber hinaus kann die indirekte Auswirkung wie höherer Energieverbrauch genannt werden. Zum Beispiel, wenn beleuchtet wird, was nicht unbedingt beleuchtet werden muss. Dazu zählt auch die Beleuchtung mit konventioneller Beleuchtung mit nicht exakter Lichtabstrahlung. Die Landesregierung Österreich schätzt, dass ein

Drittel der Energie so verschwendet wird. In der Europäischen Union sind es schätzungsweise $5 \cdot 10^9$ kWh pro Jahr (vgl. Amt der Oö. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, 2013, S. 13). Das Energieeinsparpotenzial durch Herunterdimmen oder komplette Abschaltung der Außenleuchten in späteren Nachtstunden ist dementsprechend hoch. Dazu zählt auch ein sparsamer Umgang mit dynamisch beleuchteten Flächen, zum Beispiel Medienfassaden.

Nachhaltigkeit wird heutzutage oft nur mit Energieeffizienz und mit Energieverbrauch gleichgesetzt. Nachhaltigkeit bedeutet aber nicht nur Energieeffizienz, sondern beinhaltet auch andere wichtige Aspekte. Darunter: Immissionsschutz, Naturschutz und Landschaftsschutz. Diese Aspekte sind genauso wichtig wie die Energieeffizienz und müssen bei einer Lichtplanung und Stadtentwicklung zusammen betrachtet werden.

1.3 Initiativen gegen Lichtverschmutzung

In diesem Kapitel werden einige Organisationen, die sich mit Lichtverschmutzung beschäftigen, vorgestellt. Diese Organisationen haben die Fehlentwicklung relativ früh erkannt und führen Studien und Untersuchungen durch, welche die Auswirkungen und Folgen wissenschaftlich untersuchen sollen. Diese Organisationen leisten aktive Aufklärungsarbeit und schlagen mögliche Lösungsansätze vor. Außerdem werden zahlreiche Projekte umgesetzt und somit die Lichtverschmutzung in einigen Regionen deutlich reduziert.

1. IDA (International Dark Sky Association)

Die IDA ist eine internationale Initiative gegen Lichtverschmutzung, die im Jahr 1988 in Arizona von Astronomen gegründet wurde. Die Organisation hat ca. 11.000 Mitglieder und ist in 18 Staaten aktiv. Die IDA hat sich die Aufgabe gestellt, den Nachthimmel zu schützen, indem sie die Öffentlichkeit und politische Entscheidungsträger (Stadtplaner, Gesetzgeber, Leuchtenhersteller) über die Problematik aufklärt. Außerdem werden überall auf der Erde Schutzgebiete, sogenannte Sterneparks geschaffen, wo man den Nachthimmel ohne Störwirkung von Lichtquellen mit bloßem Auge beobachten kann. Mittlerweile gibt es etwa 42 Sterneparks weltweit mit insgesamt 43.100 km^2 . Die IDA finanziert sich zum größten Teil (etwa 70 Prozent) über Mitgliedschaftsbeiträge und Spenden, insgesamt 356.204 \$ (vgl. IDA, International Dark-Sky Association) & (vgl. Wikipedia, Dark Sky Association, 2015).

2. Interdisziplinärer Forschungsverbund Verlust der Nacht

An dem Projekt arbeiten sechs Leibniz-Institute, ein Helmholtz-Zentrum und zwei Universitäten. Die Forschungsfelder sind: ökologische, gesundheitliche, kulturelle und sozialökonomische Aspekte der nächtlichen Beleuchtung (vgl. Broschüre "Verlust der Nacht", 2013, S. 18). Das interdisziplinäre Projekt ist weltweit einmalig und bringt

verschiedene Wissenschaftler aus den Bereichen Sozial- und Naturwissenschaft, Astronomie und Lichttechnik zusammen. Es sind insgesamt 14 kooperierende Teilprojekte, die die Ursachen für zunehmende Beleuchtung erforschen sollen. Das Ziel des Forschungsverbundes ist, Lösungsansätze für Beleuchtungskonzepte und nachhaltige Technik, auf Basis der Forschungsergebnisse zu entwickeln. Der Forschungsverbund wurde im Jahr 2009 vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) gegründet (vgl. Holzhauer & Hölker, 2013, S. 141). Die Bundesregierung hat das Forschungsvorhaben „Verlust der Nacht“ mit insgesamt 3.096.757 € über die Laufzeit vom 1. Mai 2010 bis zum 31. Dezember 2013 finanziell unterstützt. Das Ziel war eine Gesamtperspektive auf verschiedene Aspekte der Lichtverschmutzung zu schaffen und zu untersuchen (Bundesregierung 18 Wahlperiode, 2015, S. 3-4).

1.4 Veröffentlichte Richtlinien und Empfehlungen

Dieses Kapitel befasst sich mit Richtlinien und Empfehlungen zur Vermeidung der Lichtimmissionen und gibt eine kurze Übersicht über die rechtliche Grundlage.

1. Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG)

„Nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz werden Lichtimmissionen als schädliche Umwelteinwirkungen eingestuft, wenn sie durch ihre Art, Ausmaß oder Dauer Gefahren, erhebliche Nachteile oder Belästigungen für die Allgemeinheit herbeiführen“ (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2014, S. 14).

In Deutschland gibt es keine gesetzliche Grundlage oder Vorschriften für Grenzwerte von Lichtimmissionen für öffentliche Straßenbeleuchtung. Lediglich Mess- und Bewertungsmethoden von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) oder die LAI-Hinweise können für eine Bewertung herangezogen werden (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2014, S. 14).

2. Normen

(DIN; EN; ISO; VDE) Normen geben eine Empfehlung der minimalen Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte, und Gleichmäßigkeit an um verschiedene Lichtanlagen miteinander vergleichbar zu machen. Außerdem kann eine DIN-Norm als Bewertungsmethode dienen und liefert dazu notwendige Bewertungskriterien. Die DIN-Normen definieren keine maximalen Grenzwerte und sind somit aus Sicht des Schutzes vor Lichtimmissionen nicht ausreichend. Eine ausführliche Beschreibung der Anforderungen an die Außenbeleuchtung ist in Kapitel 4 Aufgaben und Mindestanforderungen an Außenbeleuchtung heute auf Seite 31 zu finden.

3. CIE 126 und CIE 150

Die internationale Beleuchtungskommission hat im Jahr 1997 einen technischen Bericht (**CIE 126**) über die Minimierung der Himmelsaufhellung veröffentlicht. In dem Bericht sind anwendungsspezifische Grenzwerte definiert worden, die als Orientierung bei einer Planung von Beleuchtungsanlagen dienen sollen. Ein weiterer Bericht (**CIE 150**) von 2003 dient zum Schutz der Anwohner vor Raumaufhellung und Blendung. Dieser Leitfaden ist bei Neuinstallationen von Beleuchtungsanlagen anzuwenden und enthält Vorschläge zur Minimierung der Lichteinwirkungen der bestehenden Lichtenanlagen (vgl. Walkling & Stockmar, 2013, S. 137).

4. LAI-Hinweise

LAI steht für die Bund und Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz. Die aktuellen Lichtrichtlinien wurden im Oktober 2012 veröffentlicht. Als Vorlage wurde die Veröffentlichung „Empfehlung für Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen 12.3“ von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) genutzt. Die öffentliche Straßenbeleuchtung sowie Beleuchtungsanlagen von Kraftfahrzeugen sind von dieser Regelung ausgenommen, weil sie nicht zu Anlagen im Sinne BImSchG gehören. Die Beleuchtung von Sportstätten, Verladeplätzen, alle Anstrahlungen und hell beleuchteten Flächen gelten als lichtemittierende Anlagen und zählen zu dem Anwendungsbereich. Ziel ist der Anwohnerschutz vor Raumaufhellung und Blendung. Die LAI-Hinweise schlagen außerdem Maßnahmen für die Reduzierung von Lichtimmissionen für Anwohner und Tiere – insbesondere für Vögel und Insekten – vor. Die Richtlinie gilt als Empfehlung für die Messung und Bewertung von Lichtenanlagen in Bezug auf Lichtimmissionen (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 2-3). Die LAI stellt ein Beurteilungssystem für Immissionsbehörden zur Verfügung, mit der sich die Lichtimmissionen nach BImSchG bewerten lassen (vgl. Walkling & Stockmar, 2013, S. 139-140). Immissionsrichtwerte aus LAI-Hinweisen sind im Kapitel 6.2.1 Lichtimmissionsbewertung nach LAI-Hinweisen auf Seite 58 zu finden.

5. Stellungnahme von LiTG zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten

Die Publikation von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft aus dem Jahr 1997 beschäftigt sich mit dem Thema Einwirkung von Außenbeleuchtung auf Insekten. Die Schrift fasst Ergebnisse aus vielen Studien zusammen und nimmt zu Behauptungen von Naturschützern Stellung.

6. Beleuchtungsrichtlinien für Sterneparks

Die Empfehlung definiert Grenzwerte für die Außenbeleuchtung in unmittelbarer Nähe von Sterneparks. Das Ziel dieser Empfehlung ist eine natürliche Nachtlandschaft zu erhalten (vgl. Hänel, 2013a, S. 4).

7. Empfehlung und Vermeidung von Lichtemissionen

Diese Empfehlung, die vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) in der Schweiz (Bern) im Jahr 2005 veröffentlicht wurde, ist eine Vollzugshilfe für Vollzugsbehörden (vgl. Klaus, Kägi, Kobler, Maus, & Righetti, 2005, S. 2). Die Schrift macht auf das Thema und Ausmaß der Lichtverschmutzung aufmerksam und nennt negative Umwelteinwirkungen und Folgen. Außerdem werden gesetzliche Grundlagen in der Schweiz dargestellt. Man findet auch Technische Lösungsansätze und Planungsempfehlungen für die Reduzierung von Lichtemissionen.

8. Leitfaden Besseres Licht

Der Leitfaden Besseres Licht wurde von der Österreichischen Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, im Jahr 2013 veröffentlicht. Wissenschaftler aus Österreich stellten in der Vergangenheit eine Fehlentwicklung mit der Forderung „mehr Licht ist besser“ fest. Sie schlagen für die Zukunft eine neue Forderung vor: „besseres Licht“. Das Ziel ist, bewusster mit künstlicher Beleuchtung umzugehen. Der Leitfaden dient als Informationsblatt (vgl. Amt der Oö. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, 2013, S. 9). Die Leitfäden konzentrieren sich im Wesentlichen auf technische Lösungsansätze, zum Beispiel auf die Wahl von geeigneten Leuchtmitteln und Leuchten. Ähnlich wie die Empfehlung aus der Schweiz werden Maßnahmen für die Reduzierung von Lichtverschmutzung vorgeschlagen. Es wird noch bemängelt, dass die Europäischen Normen für Außenbeleuchtung nur Mindestanforderungen und keine Grenzwerte angeben (vgl. Amt der Oö. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, 2013, S. 15).

1.5 Zustand heute

In der Praxis werden veröffentlichte Empfehlungen und Richtlinien für die Reduzierung der Störwirkung des künstlichen Lichtes nur wenig umgesetzt, weil sie vom Gesetzgeber nicht gesetzlich vorgeschrieben und wenig bis kaum bekannt sind. Weitere Gründe sind: die Marktanforderungen, lichttechnische Kriterien zur Leuchten-Spezifizierung und Leuchten-Entwicklung beziehen sich vorwiegend auf die visuelle Wahrnehmung der Menschen und auf Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungsanlagen. Die möglichen Auswirkungen und Folgen für Tiere wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Energieeffizienz stand immer im Vordergrund und hat die Leuchten-Entwicklung immer weiter vorangetrieben. Als Folge daraus sind Sonderlösungen notwendig, diese sind allerdings teuer. Das bedeutet eine Mehrinvestition im Vergleich mit einer Standardlösung und wird meistens vom Endverbraucher aus wirtschaftlichen Gründen abgelehnt. Die Produktauswahl bei den Standardlösungen ist begrenzt und auf Kostenoptimierung einer Lichtanlage sprich Energieeffizienz, und nicht auf Störwirkungsreduzierung einer Lichtanlage ausgelegt. Die Größe der Produktauswahl und die Produktentwicklung orientiert sich an der Nachfrage, die Nachfrage (zum Beispiel durch einen Fachplaner) wiederum auf die Vorschriften und Empfehlungen vom Gesetzgeber. Da die gesetzliche Grundlage fehlt bzw. nicht konsequent umgesetzt wird, ist die Nachfrage nach geeigneten Produkten gering.

2 Geschichte der Beleuchtung

Die Entwicklung der Beleuchtung in der Vergangenheit spielt eine wesentliche Rolle für die Entstehung und die Entwicklung der Lichtverschmutzung heute und hat den heutigen Umgang mit künstlichem Licht geprägt. Dieses Kapitel gibt einen kurzen Rückblick in die Geschichte am Beispiel der Straßenbeleuchtung. Die Straßenbeleuchtung ist die älteste Anwendung des Kunstlichtes im Außenbereich. Weitere Anwendungen wie zum Beispiel: Flächenbeleuchtung für Arbeitsstätten, Sportbeleuchtung und gestalterische Beleuchtung wurden erst später entwickelt. Die aktuellen Anforderungen und Empfehlungen, welche heute an die Außenbeleuchtung gestellt werden, werden in Kapitel 4 Aufgaben und Mindestanforderungen an Außenbeleuchtung heute ab Seite 31 genannt.

2.1 Geschichte und Entwicklung der Straßenbeleuchtung

Vor etwa 500.000 Jahren hat der Mensch in der Nähe von Peking ein Lagerfeuer als erste kontrollierte Lichtquelle benutzt. Die Hauptanwendungen waren damals Koch- und Wärmequellen und Schutz vor Tieren. Zu den ältesten Laternen der Menschen zählen Fackeln. Die ältesten prähistorischen Lampen, die gefunden wurden, stammen aus der Zeit vor 40.000 Jahren in Südfrankreich. Sie bestehen aus ausgehöhlten Steinen, und als Brennstoff wurde Tierfett verwendet. Der Brennstoff für Lampen war allerdings sehr teuer (vgl. Posch, 2013, S. 19-20).

Die erste gezielte Beleuchtung des öffentlichen Raumes gab es im 10. Jahrhundert. In der Stadt Cordoba (Spanien) wurden ganze Straßenzüge beleuchtet. Aber von einer gut ausgebauten Beleuchtung kann man erst ab dem 17. Jahrhundert sprechen. In London wurde, im Jahr 1666, nach einem großen Brand, zum ersten Mal erfolgreich eine öffentliche Beleuchtung installiert, weil die Innenstadt nach dem Brand neu aufgebaut werden sollte. Die Beleuchtung erfolgte mit Ölreflektorlampen und wurde von der Convex Light Company als Dienstleistung verkauft. Die Kosten für die Beleuchtung mussten die Hausbesitzer tragen, die Convex Light Company zahlte im Gegenzug eine Monopolgebühr an die Stadt (vgl. Holmes & Schmidt, 2006, S. 16). Zur gleichen Zeit kamen in anderen europäischen Ländern Öl- und Talglampen zum Einsatz: in Paris seit 1667, in Amsterdam seit 1669, in Berlin seit 1679, in Wien seit 1688. Die Anzahl der an Fassaden installierten Laternen war relativ klein um die Kosten möglichst gering zu halten. Aus gleichem Grund wurden bei Vollmond und von April bis Oktober (kürzere Nächte) die Pariser Laternen nicht angezündet. Wegen hohen Anschaffungskosten für die Beleuchtungskörper drohte man (in Berlin 1720, Wien und Graz), bei wiederholter Zerstörung von öffentlichen Laternen, das Abhacken der Hand an (vgl. Posch, 2013, S. 20-21).

Die öffentliche Straßenbeleuchtung in London vom Dienstleister Convex Light Company hat nur 30 Jahre funktioniert. Der Vertrag wurde nicht verlängert und somit wurde die öffentliche Beleuchtung wieder an private Haushalte übergeben. Das hatte die Folge, dass die Straßen Londons wieder

dunkel waren. Erst im Jahr 1736 wurde in London wieder eine urbane Stadtbeleuchtung mit 5.000, später dann mit 20.000 Öllampen eingeführt. Die Bevölkerungszahl im 18. Jahrhundert stieg von 200.000 auf 500.000 Einwohner an und die komplette Infrastruktur der Stadt musste ausgebaut werden. Dazu zählte auch die Beleuchtung der Stadt. Die öffentliche Beleuchtung hatte unter anderem die Aufgabe, die Sicherheit im öffentlichen Raum zu unterstützen (vgl. Holmes & Schmidt, 2006, S. 16).

Nachfolger der Öllampen waren die gasbetriebenen Lampen. Die Gasbeleuchtung wurde in London 1813/1814, in Paris 1818, in Berlin und Hannover ab 1826, in Wien ab 1838 eingesetzt. Schätzungsweise war die Gasbeleuchtung etwa zehn bis zwölfmal heller als die Beleuchtung mit Öllampen. Die Helligkeit von Öllampen lag im Vergleich etwa bei 0,1 Lux, wenn man bedenkt, dass die Öllampen bei Vollmond nicht angezündet wurden, weil sie nicht heller als der Mond waren. Die Helligkeit einer Straße bei Vollmond erreicht 0,1 Lux. Um die Laternen anzuzünden bzw. auszulöschen waren vor dem Ersten Weltkrieg in Wien über 600 Mann für 37.000 Laternen beschäftigt, was die Kosten und den Aufwand hoch hielten (vgl. Posch, 2013, S. 22-23).

Im Jahr 1879 präsentierte Thomas Edison seine neue Erfindung – eine Kohlefadenglühlampe, auch als Lichtbogenlampe bekannt. Die neue Lampe hatte allerdings eine sehr kurze Lebensdauer von etwa 40 Stunden. Die ersten Kraftwerke wurden im Jahr 1880 in Betrieb genommen und die großen Städte stiegen langsam von Gasbeleuchtung auf elektrische Beleuchtung um (siehe Abbildung 3). Edison schrieb dazu: *„Nachtleben bedeutet Fortschritt. Nachtleben und Stupidität vertragen sich nicht miteinander. Die wachsende Neigung zum Nachtleben bedeutet daher auch wachsende geistige Frische. Elektrisches Licht aber bedeutet Nachtleben.“* (vgl. Posch, 2013, S. 23).

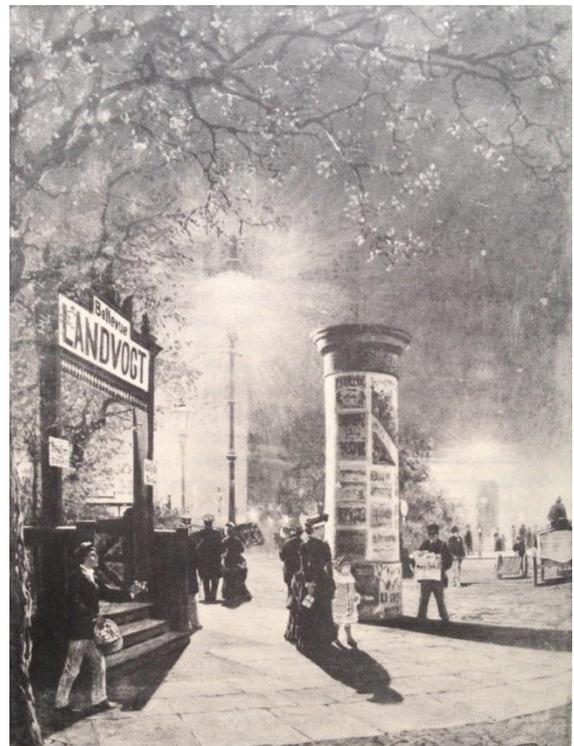


Abbildung 3: Bogenlampe am Potsdamer Platz, Berlin 1880 (Lichtblicke zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Schivelbusch 1983 S 114)

Schon damals (Anfang des 20. Jahrhunderts) kam es zu einer flächigen Ausweitung der Straßenbeleuchtung und Erhellung der Nacht, was die Arbeit der Astromomen erheblich beeinträchtigt hat. Johann Palisa von der Wiener Universitätssternwarte konnte den Zusammenhang zwischen zunehmender Erhellung der Nacht durch öffentliche Beleuchtung und Verschlechterung der Sternenbeobachtung feststellen. Die Straßenbeleuchtung wurde um Mitternacht ausgeschaltet und man konnte dann 1,5 bis 2 Größenklassen schwächere Sterne sehen. Ein Helligkeitsunterschied von 1,5 astronomischen Größenklassen entspricht einem Faktor

4 und ein Helligkeitsunterschied von 2 astronomischen Größenklassen entspricht einem Faktor 6,3. Die astronomischen Größenklassen steigen logarithmisch an. Johann Palisa war einer der ersten Astronomen, der die Entwicklung erkannt hat und hielt es für notwendig, seine Sternwarte an einen anderen Ort zu verlegen. Er war seinen Kollegen weit voraus. Mehr als 20 Jahre nach seinem Tod begann die „Emigration“ astronomischer Observatorien aus großen Städten (vgl. Posch, 2013, S. 24). Eine ausführliche Erklärung der Größenklassen findet man im Kapitel 6.2.3 Methoden für Bewertung der Himmelsaufhellung auf Seite 60.

Die Lichtbogenlampen waren wegen sehr hohen Strom- und Wartungskosten für die Straßenbeleuchtung wenig geeignet. Außerdem waren die Lichtstärke und die Intensität so hoch, dass es Probleme mit der Blendung gab. Man versuchte die Lichtpunkthöhe zu erhöhen um die Blendung zu minimieren und gleichzeitig eine größere Fläche auszuleuchten. Dies hat man in den USA umgesetzt (siehe Abbildung 4). Hier wurden die Bogenlampen auf einem Turm positioniert und so ganze Städte beleuchtet. In Detroit, in den USA wurden 122 Lichttürme gebaut um eine Fläche von 21 Quadratmeilen zu beleuchten. Jeder Turm war 50 Meter hoch. Die Abstände zwischen den Türmen variierten zwischen 350 - 400 Meter im Stadtzentrum und 1000 Meter am Stadtrand. Schon damals versuchte man mit traditioneller Straßenbeleuchtung die wichtigsten Verkehrs- und Geschäftsstraßen

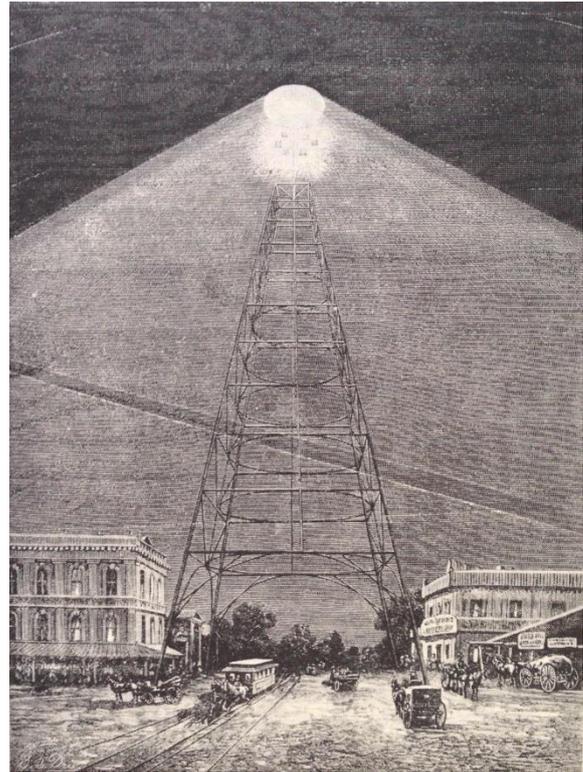


Abbildung 4: Amerikanischer Lichtturm, Kalifornien 1885 (Lichtblicke zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Schivelbusch 1983 S 123)

heller zu beleuchten. Mit der Lichtturmbeleuchtung war das nicht mehr nötig, weil man mit einem gut ausgebauten Lichtturmsystem ganze Bezirke und Stadtteile „gleichmäßig“ beleuchten konnte. Die Turmbeleuchtung erwies sich als ineffizient und wurde – auch wenn sie spektakulär erschien – nach 30 Jahren Betrieb wieder abgebaut. Man ersetzte die Turmbeleuchtung durch reguläre Straßenbeleuchtung (vgl. Schivelbusch, 1983, S. 118+122+124).

Anfang des 20. Jahrhunderts haben auch kleine Städte angefangen Straßenbeleuchtung einzusetzen. Eine Straßenbeleuchtung wurde nicht nur als Notwendigkeit oder Verbesserung der Lebensqualität angesehen, sondern als Zeichen des Fortschritts und kultureller Entwicklung (vgl. Holmes & Schmidt, 2006, S. 18).

Die Nationalsozialisten haben künstliches Licht und Architektur politisch für ihre Propagandazwecke genutzt. Dabei entstand der neue Begriff „Lichtarchitektur“, also eine Verbindung zwischen Licht und Architektur. Nach der Machtergreifung von den Nationalsozialisten wurde die Nutzung kommerzieller und privater Lichtreklamen stark eingeschränkt. Die suggestive Wirkung des Lichtes wurde dagegen bei Parteiveranstaltungen und Staatsbesuchen gezielt eingesetzt. Für den Reichsparteitag in Nürnberg und die Abschlussfeier der Olympischen Spiele 1936 wurden Flakscheinwerfer⁴ zum „Lichtdom“ inszeniert (vgl. Holmes & Schmidt, 2006, S. 20). *„Licht selbst wurde zu illusionärer und bis dahin nicht erlebter, ephemere Architektur und in dieser Form zu einem politischen, demagogischen Mittel der Macht- und Massensuggestion“* (Holmes & Schmidt, 2006, S. 20). Das Licht war zu einem Werkzeug der Macht geworden. Joachim Schlör (Historiker aus dem Jahr 1936) kommentierte das so: *„Das Licht läßt sich in den Dienst der Macht stellen, seine Helligkeit blendet“* und die *„Eroberung der Nacht“* ist das Ziel der Nationalsozialisten geworden. Nach Posch galt in der Nachkriegszeit die Installation elektrischer Beleuchtung in Städten und Dörfern Deutschlands als Zeichen *„für Wirtschaftsaufschwung und für den Weg in eine bessere Zukunft“* (vgl. Posch, 2013, S. 26-27).

Während des Wiederaufbaus in Deutschland wurde zuerst die Stadtbeleuchtung aufgebaut. Es ging dabei in erste Linie um die Verkehrssicherheit. Die Technologie war schon da, mit verschiedenen Leuchtmittel, die auf hohen Masten montiert wurden. Zur Auswahl der Leuchtmittel standen: Natriumdampflampen mit einem monochrom-orangen Farbton, Quecksilberdampflampen mit einem bläulichen Weißton und einer nicht so guten Farbwiedergabe, und Leuchtstofflampen mit weißem Licht und einer guten Farbwiedergabe. Die Lichtfarbe von den Leuchten ist wichtig für die Wahrnehmung einer Stadt. Das Hauptentscheidungskriterium für die Wahl einer Technologie waren Investitions- und Unterhaltskosten, die von Entscheidungsträgern, Stadtkammern und der Leuchtmittelindustrie bestimmt wurden (vgl. Holmes & Schmidt, 2006, S. 20-21).

Die Energiekrise in den 70er Jahren und den Jahren danach hat dazu beigetragen, dass Licht ein Luxus geworden ist und die Beleuchtung nur auf Funktionalität reduziert wurde. Später in den 80er Jahren hat die Gestaltung der (Nacht-) Städte



Abbildung 6: Hauptverkehrsstraße (licht.wissen 03. 2014 S 23)

⁴ von Militär benutzte große Scheinwerfer um eine Flugabwehr zu unterstützen Quelle: Wikipedia *Scheinwerfer*

langsam an Bedeutung gewonnen. Kirchtürme, Schlossfassaden und Fußgängerzonen wurden hell ausgeleuchtet. Man redete aber von „katastrophalen Lichtverhältnissen“. Ein Beleuchtungsplan war nötig um die „Ansammlung“ von frei strahlenden Leuchten zu beenden. In den 90er Jahren wuchs das Leuchtenangebot, dank neuen Entwicklungen in der Licht-Technik, immer weiter. Die Fassadenbeleuchtung nahm weiter zu, was aus der gestalterischen Sicht nicht unbedingt als positiv gesehen wurde. Licht heute ist ein „erschwingliches Gut“ geworden. Einige Beleuchtungen sind funktional notwendig, einige sind dagegen nicht zwingend erforderlich. Die Entscheidungen darüber werden allein unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen (vgl. Holmes & Schmidt, 2006, S. 21). *„Licht ist in der Lage, Nachträume zu schaffen, die Menschen für sich gewinnen. Heute lernen wir allmählich wieder, die Vorzüge der Nacht zu schätzen und mit Licht behutsam umzugehen“* (Holmes & Schmidt, 2006, S. 21).

3 Lichttechnische Grundbegriffe und Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit Definitionen der lichttechnischen Grundbegriffe, die für weitere Kapitel dieser Arbeit von großer Bedeutung sind. Die hier angesprochenen Grundlagen sind auf das Wesentliche reduziert. An dieser Stelle kann auf das Buch von Roland Greule (2015) und das Heft 1 von der Fördergemeinschaft Gutes Licht (2008) verwiesen werden. Dort findet man eine ausführliche Beschreibung der lichttechnischen Grundlagen.

3.1 Licht als Strahlung und das Spektrum des Lichtes

Licht ist eine elektromagnetische Strahlung, die von Menschen optisch über die Sehorgane wahrgenommen wird. In der Beleuchtungstechnik wird das Licht unter Berücksichtigung der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges betrachtet. Das heißt das Auge gewichtet einzelne Wellenlängen des sichtbaren Lichts unterschiedlich. Die Abbildung 7 zeigt das komplette Spektrum der elektromagnetischen Strahlung von kosmischer Strahlung (10^{-15} m) bis zu technischen Wechselströmen (10^7 m).

Die elektromagnetische Strahlung, welche Menschen optisch erkennen können, beschränkt sich auf einen Bereich zwischen 380 und 780 nm (siehe Abbildung 7). Der sichtbare Bereich des Lichtes ist in der ersten Hälfte des Gesamtspektrums zu finden. Nach dem Eintritt in das Auge, löst für Menschen sichtbares Licht eine Helligkeitsempfindung aus. Auf der Abbildung 7 stellt die Skala oben die Wellenlänge dar. Zwischen Frequenz und

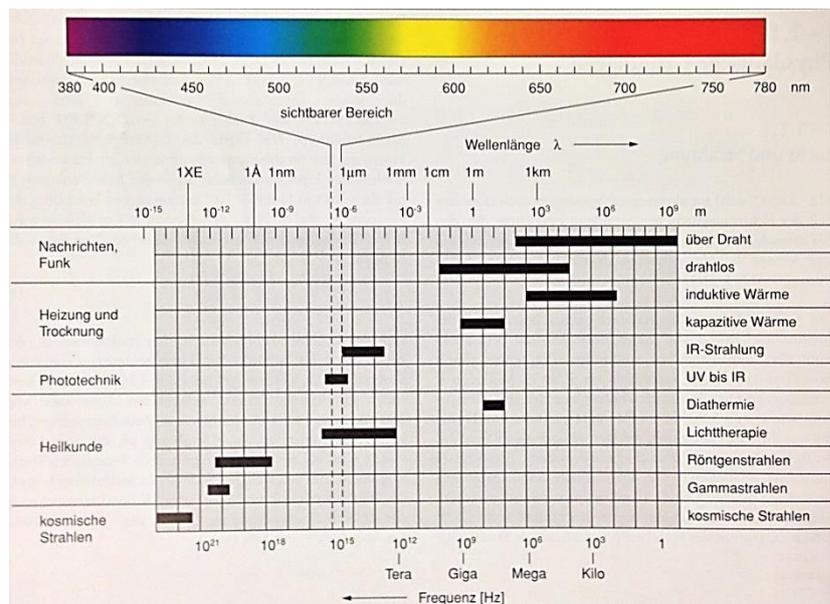


Abbildung 7 Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung (Handbuch für Beleuchtung, Lange 2014 S 2)

Wellenlänge gibt es einen Zusammenhang, der durch folgende Formel beschrieben wird: $c = f \cdot \lambda$. Die Lichtgeschwindigkeit ist gleich $c = 299.999 \text{ km/s}$, $f = \text{Frequenz (Hz)}$ und $\lambda = \text{Wellenlänge (nm)}$. Die kurzwelligen Bereiche stehen dabei für höhere und die langwelligen Bereiche für niedrigere Frequenzen. Der Bereich zwischen 100 und 380 nm wird als Ultraviolettstrahlung (UV) bezeichnet. Die UV-Strahlung hat eine keimtötende Wirkung und lässt unsere Haut braun werden. Am anderen Ende des sichtbaren Lichtes von 780 bis 1400 nm befindet sich die Infrarotstrahlung (IR) (vgl. Greule, 2015, S. 23-24).

3.2 Spektrale Hellempfindlichkeit, visuelle Wahrnehmung und Adaption

Der Mensch nimmt 80 % der Information über den Sehapparat und die Sehorgane auf. Bei der Verarbeitung dieser Information unterscheidet man zwischen verschiedenen Bereichen wie:

optischem System des Auges, Netzhaut mit zwei Arten von Rezeptoren, Sehnerv und Querverbindungen zum Stammhirn und Sehzentrum im Großhirnbereich. Wir konzentrieren uns auf den zweiten Punkt – Netzhaut und Rezeptoren. Nachdem das Licht das optische System (Hornhaut, Linse und Glaskörper) passiert hat, trifft es auf die Netzhaut. Auf der Netzhaut befinden sich lichtempfindliche Rezeptoren

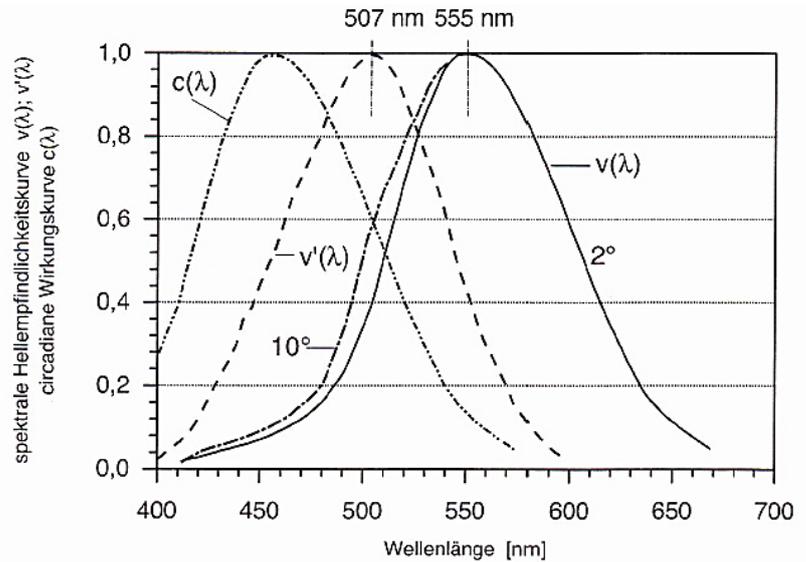


Abbildung 8: spektrale Hellempfindlichkeit der Menschen (Grundlagen der Lichttechnik. Gall 2007 S 15)

(Zapfen und Stäbchen). Zapfen reagieren auf die spektrale Zusammensetzung des Lichtes und sind für die Farbwahrnehmung und das Tagessehen zuständig. Stäbchen dagegen können keine Farben unterscheiden und sind auf unterschiedliche Intensitäten des Lichts empfindlich. Stäbchen sind für das Nachtsehen zuständig (vgl. Greule, 2015, S. 60-61). Die Abbildung 8 stellt die spektrale Hellempfindlichkeit der Menschen dar. Die sogenannte $V(\lambda)$ -Kurve zeigt den Zusammenhang zwischen Hellempfindlichkeit und Wellenlänge. Die $V(\lambda)$ -Kurve (Tagessehen, helle Umgebung ab $L > 30 \text{ cd/m}^2$) zeigt die höchste Empfindlichkeit bei einem Gesichtsfeld von 2 Grad bei etwa 555 nm. Die höchste Hellempfindlichkeit bei der $V'(\lambda)$ -Kurve (Nachtsehen, dunkle Umgebung ab $L < 0,01 \text{ cd/m}^2$) verschiebt sich in den kurzwelligen Bereich und hat ihr Maximum bei etwa 507 nm. Die $C(\lambda)$ -Kurve ist eine circadiane Wirkungskurve, die zwar nicht zum Sehprozess beiträgt, aber andere Prozesse im menschlichen Organismus, wie den Tag-Nacht-Rhythmus, steuert (siehe Kapitel 5.1 Auswirkungen auf Menschen auf Seite 41) (vgl. Gall, 2007, S. 16). Die Empfindlichkeit ist etwa bei 460 nm am höchsten. Nach Riss (2008) wird das Tagessehen noch als *photopisches Sehen* bezeichnet, das Nachtsehen wird als *scotopisches Sehen* bezeichnet. Das Dämmerungssehen bei Leuchtdichten zwischen $0,01 \text{ cd/m}^2$ bis 30 cd/m^2 nennt man *mesopisches Sehen* (vgl. Ris, 2008, S. 46).

„Licht ist das Medium, das die visuelle Wahrnehmung erst möglich macht“ (Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2008, S. 4). Man unterscheidet dabei zwischen natürlichem Licht wie zum Beispiel von Sonne oder Mond als Lichtquelle und künstlichem Licht wie zum Beispiel Licht von Leuchten, Lampen und andere (Licht-)Strahler. Nach der Fördergemeinschaft Gutes Licht gibt es 4 Voraussetzungen zum Sehen und zum Erkennen (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2008, S. 4+10):

1. Zum Sehen von Objekten wird eine *Mindestleuchtdichte*, die sogenannte Adaptationsleuchtdichte benötigt
2. Ein Helligkeitsunterschied macht es möglich, ein Objekt vom Hintergrund zu trennen und so das Objekt zu erkennen. Man redet hier von *Mindestkontrast*, Farbkontrast und Leuchtdichtenkontrast
3. Eine *Mindestgröße* von Objekten wird vorausgesetzt
4. Die *Mindestzeit* wird benötigt um die Objekte optisch wahrnehmen zu können

Die Abbildung 9 zeigt den zeitlichen Verlauf der Dunkeladaptation der Menschen in Abhängigkeit der Schwellenleuchtdichte (ΔL). Die Kurve kann in drei Bereiche unterteilt werden: α = Bereich der Sofortadaptation, β = Bereich der Zapfenadaptation und γ = Bereich der Stäbchenadaptation. Man erkennt, dass die Zeitdauer, die unser Sehapparat für eine Dunkeladaptation benötigt, recht lang ist. Die Dunkeladaptation dauert länger als die Helladaptation. Man kann das aus

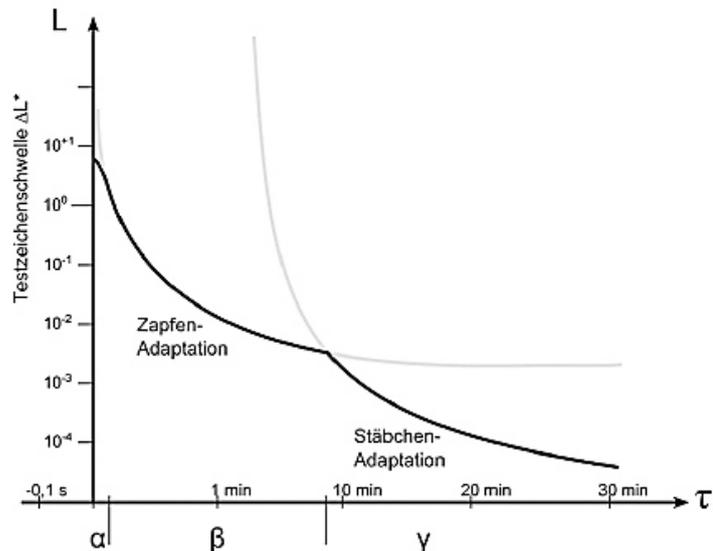


Abbildung 9: zeitlicher Verlauf der Dunkeladaptation (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 67)

eigenen Erfahrungen, wenn man zum Beispiel in eine dunklere Umgebung kommt wird eine Zeit benötigt um sich auf die neue Umgebungshelligkeit einzustellen. Die Dunkeladaptation kann 30 min oder länger dauern. Die Helladaptation dagegen dauert nur wenige Minuten (vgl. Greule, 2015, S. 67). Unsere Augen sind außerdem in der Lage sich in einem Leuchtdichtenbereich etwa zwischen 10^{-6} und 10^5 cd/m^2 zu adaptieren. Eine konstante Sehleistung kann zwischen 10^2 und 10^4 cd/m^2 erfolgen (vgl. Ris, 2008, S. 46).

3.3 Lichttechnische Grundgrößen

Dieses Kapitel befasst sich mit den lichttechnischen Grundgrößen und Grundbegriffen.

3.3.1 Lichtstrom Φ

In der Lichttechnik bezeichnet man die gesamte Lichtleistung einer Lichtquelle als Lichtstrom. Dies wird unter Berücksichtigung der spektralen Hellempfindlichkeit $V(\lambda)$ der Menschen gemacht. Der Lichtstrom hat die Einheit Lumen (lm) und wird messtechnisch ermittelt. In der Energietechnik wird die Lichtleistung als spektraler Strahlungsfluß Φ bezeichnet und hat die Einheit Watt (vgl. Greule, 2015, S. 33).



Abbildung 10: Lichtstrom Φ (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 33)

3.3.2 Lichtstärke I

Die Lichtstärke definiert die Größe/die Stärke des Lichts in eine bestimmte Richtung und entspricht der Lichtstromdichte. Die Lichtstärke wird in Candela (cd) angegeben. Rechnerisch kann die Lichtstärke nach folgender Formel ermittelt werden: $I = \frac{\Phi(lm)}{\Omega(sr)}$ (vgl. Greule, 2015, S. 36).

Die Lichtstärkeverteilung von einer Lichtquelle wird messtechnisch ermittelt und als eine Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) dargestellt. Die LVKs werden in Polarkoordinaten oder xy-Koordinaten (für Scheinwerfer) dargestellt und sagen etwas über Abstrahlcharakteristik einer Lichtquelle aus (siehe Abbildung 11). Die Einheit cd/klm wird gewählt um verschiedene Leuchtmittel vergleichbar zu machen (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2008, S. 12).

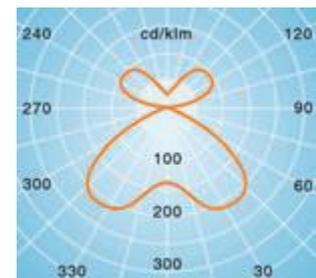


Abbildung 11: LVK einer Leuchte (licht.wissen 01. 2008 S 12)

3.3.3 Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte ist die einzige lichttechnische Größe, die von Menschen wahrgenommen werden kann. Die Leuchtdichte sagt etwas über die Helligkeit einer Leuchtquelle aus, was durch eine selbstleuchtende oder eine beleuchtete Fläche im Auge hervorgerufen wird. Die Leuchtdichte hat die Einheit cd/m^2 und kann messtechnisch oder rechnerisch ermittelt werden. Für die rechnerische Ermittlung der Leuchtdichte verwendet man die Formel: $L = \frac{I(cd)}{A(m^2)}$. Objekte sind für

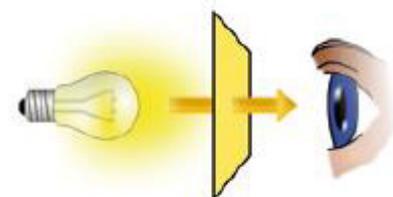


Abbildung 12: Leuchtdichte L (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 43)

Menschen nur dann erkennbar, wenn der Leuchtdichtenunterschied (Kontrast) ausreichend groß ist (vgl. Greule, 2015, S. 43).

3.3.4 Beleuchtungsstärke E

Die Beleuchtungsstärke beschreibt die Menge des Lichtes, die auf einer Fläche horizontal oder vertikal ankommt (siehe Abbildung 13). Die Beleuchtungsstärke kann messtechnisch oder rechnerisch ermittelt werden und wird in Lux (lx) angegeben. Menschen sind in der Lage einen großen Bereich der Beleuchtungsstärke wahrzunehmen. Die horizontale Beleuchtungsstärke kann an einem sonnigen Tag ca. 100.000 Lux und in einer Vollmondnacht ca. 0,25 Lux erreichen. Eine typische Arbeitsplatzbeleuchtung erreicht die Werte von ca. $E_m = 500$ Lux (horizontal) (vgl. Greule, 2015, S. 39-40).



Abbildung 13: Beleuchtungsstärke E (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 39)

Wie schon oben erwähnt gibt es die horizontale und vertikale Beleuchtungsstärke. Die horizontale Beleuchtungsstärke wird waagrecht und die vertikale senkrecht ermittelt. Für die rechnerische Ermittlung der Beleuchtungsstärke verwendet man folgende Formel:

$$E = \frac{\Phi(lm)}{A(m^2)} \quad \text{oder} \quad E = \frac{I}{r^2}$$

bei senkrecht einfallendem Licht. A ist die beleuchtete Fläche und r^2 ist der Abstand zur Fläche. Bei nicht senkrecht einfallendem Licht auf eine beleuchtete Fläche muss bei der Berechnung E noch der Neigungswinkel mitberücksichtigt werden. Die Formel sieht dann so aus: $E_n' = E \cdot \cos(\alpha)$ E' ist dann die Beleuchtungsstärke bei nicht senkrecht einfallendem Licht (vgl. Ris, 2008, S. 28).

Die *halbzylindrische Beleuchtungsstärke* (E_{sc}) ist entscheidend für das Erkennen von Gesichtern (siehe Abbildung 14) und ist neben der vertikalen Beleuchtungsstärke ein Kriterium bei der Bewertung von Außenlichtanlagen, wenn die Kriminalitätsprävention im Vordergrund steht.

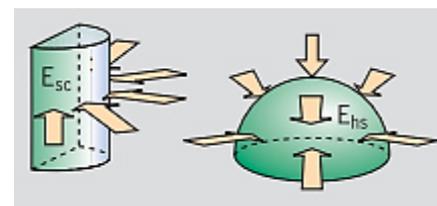


Abbildung 14: halbzyllindrische und halbsphärische Beleuchtungsstärke (Planungshilfe. Licht für Europas Straßen. Trilux 2005 S 5)

Zur Berechnung der *halbsphärischen Beleuchtungsstärke* (E_{hs}) wird eine Halbkugel als Bezugskörper genommen, welche auf der zu bewerteten Fläche liegt. Der Gesamtlichtstrom, der auf der Fläche des Bezugskörpers ankommt wird dabei erfasst (siehe Abbildung 14). Die zylindrische und halbsphärische Beleuchtungsstärke sind richtungsunabhängige Größen und bewerten eine Beleuchtung nach ihrer räumlichen Wirkung, entsprechen also mehr der Realität. Die horizontale, vertikale und halbzyllindrische Beleuchtungsstärke sind dagegen richtungsabhängig (vgl. TRILUX GmbH, 2005, S. 5).

3.3.5 Raumwinkel Ω

Der Raumwinkel ist für die Berechnung der Lichtstärke notwendig. Nach Greule: „Der Raumwinkel ist ein Maß für die Größe eines kugelförmigen Raumes, der die Lichtstrahlen, ausgehend von einer Lichtquelle, bis zum Rand einer Fläche einer Kugel einschließt“ (vgl. Greule, 2015, S. 37).

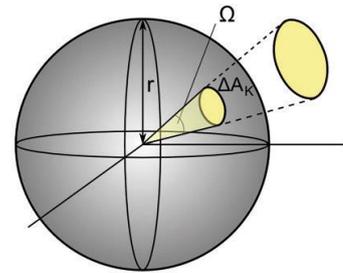


Abbildung 15: Raumwinkel Ω (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 37)

$$\Omega = \frac{\Delta A_k}{r^2}$$

Ω : Raumwinkel in (sr)

ΔA_k : Teilfläche einer Kugel

r: Radius

3.4 Kontrast

Lichttechnisch betrachtet beschreibt der Kontrast die Sichtbarkeit und die Erkennbarkeit von Objekten. Die Größe der Leuchtdichtedifferenz spielt dabei die entscheidende Rolle, ob ein Objekt für Menschen erkennbar ist. Die Leuchtdichtedifferenz bezieht sich auf die Leuchtdichte eines Objekts und die Umgebungsleuchtdichte.

Der Schwellenkontrast liegt bei mittleren Leuchtdichten ($100 \text{ cd/m}^2 \dots 1000 \text{ cd/m}^2$) etwa bei 3 %. Das menschliche Auge ist in der Lage ein Objekt mit 103 cd/m^2 bei einer Umgebungsleuchtdichte von 100 cd/m^2 zu erkennen (vgl. Greule, 2015, S. 50-51). Die

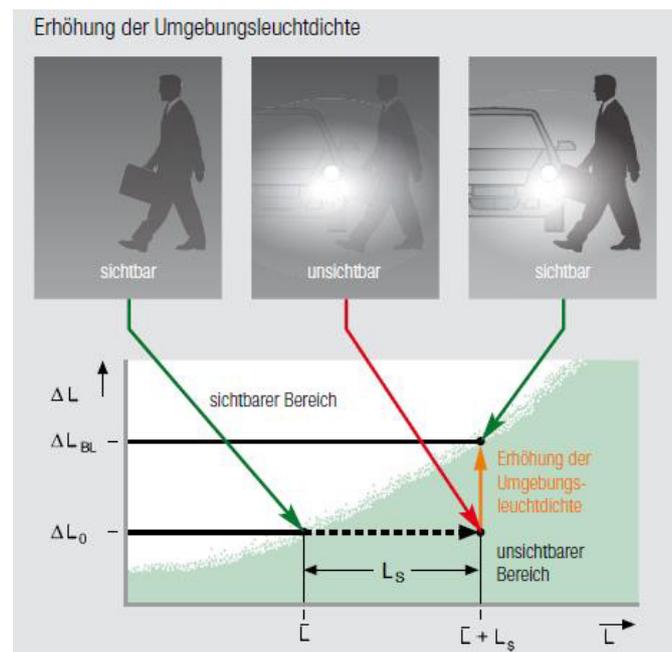


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen Objektleuchtdichte und Umgebungsleuchtdichte (licht.wissen 03. 2014 S 9)

Abbildung 16 stellt den Zusammenhang zwischen Leuchtdichte eines Objektes und einer Umgebungsleuchtdichte am Beispiel Außenbeleuchtung bildlich dar. Ein Objekt, in diesem Fall eine Person, (Bild oben links) ist gut zu erkennen, weil die Leuchtdichtedifferenz ausreichend groß ist. Wenn die Person von der Seite mit dem Scheinwerfer eines vorbeifahrenden Autos beleuchtet wird (das Bild oben in der Mitte), erhöht sich der Anteil des Streulichtes (Schleierleuchtdichte L_s) im Auge des Betrachters und somit wird die Person unsichtbar. Wenn man die Umgebungsleuchtdichte erhöht, wird die Person wieder sichtbar.

3.5 Gleichmäßigkeit

Gleichmäßigkeit wird meistens als Verhältnis zwischen minimaler und maximaler oder minimaler und mittlerer Leuchtdichte definiert. Die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke definiert man als Verhältnis zwischen mittlerer und minimaler Beleuchtungsstärke oder mittlerer und maximaler Beleuchtungsstärke. Eine gute Gleichmäßigkeit verbessert allgemein die visuelle Wahrnehmbarkeit.

Nach Ris unterscheidet man zwischen Gleichmäßigkeit der Leuchtdichten und Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärken (vgl. Ris, 2008, S. 370-371):

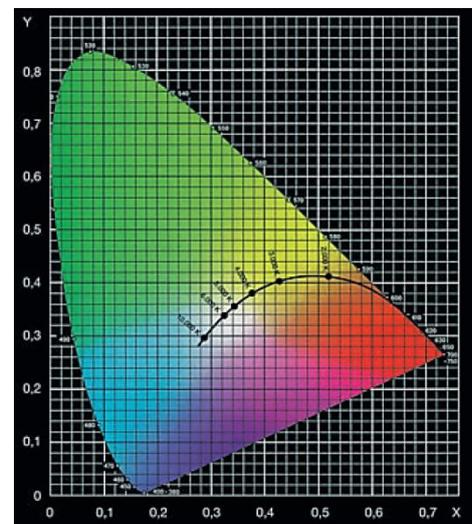
Längsgleichmäßigkeit der Leuchtdichte auf der Straßenoberfläche: $U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}}$

Gesamtgleichmäßigkeit der Fahrbahnleuchtdichte bzw. der horizontalen oder halbsphärischen Beleuchtungsstärke: $U_o = \frac{L_{min}}{L_m}$ $U_o = \frac{E_{min}}{E_m}$

In der DIN-Norm **DIN EN 12464–2:2014 „Arbeitsplätze im Freien“** wird die Gleichmäßigkeit U_d als eine spezifische Anforderung empfohlen und nach folgender Formel berechnet: $U_d = \frac{E_{min}}{E_{max}}$

3.6 Farbtemperatur

Das Licht von verschiedenen künstlichen Lichtquellen wird nach Farbtemperatur unterschieden. Die Temperaturskala beginnt beim absoluten Nullpunkt (-273 Grad). Der sogenannte *Schwarze Körper* wird erhitzt und nimmt eine bestimmte Farbe je nach Höhe der Temperatur auf der Temperaturskala an (siehe Abbildung 17). Das Licht von einer künstlichen Lichtquelle wird dann mit der Farbe auf der Temperaturskala verglichen. So wird die Farbtemperatur einer Lichtquelle bestimmt (vgl. Greule, 2015, S. 29).



Die Farbtemperatur wird in Kelvin angegeben. Man unterscheidet zwischen drei Bereichen:

Warmweiße Lichtfarbe (ww), Farbtemperatur kleiner als 3.300 Kelvin

Neutralweiße Lichtfarbe (nw), Farbtemperatur zwischen 3.300 und 5.000 Kelvin

Tageslichtweiße Lichtfarbe (tw), Farbtemperatur größer als 5.000 Kelvin

3.7 Blendung

Blendung ist ein Sehzustand (Störeinfluss/Störfaktor), der bei zu großen Leuchtdichteunterschieden oder bei zu großer absoluter Leuchtdichte im Gesichtsfeld als unangenehmes Gefühl empfunden wird und die visuelle Wahrnehmung zunichtemacht. Blendung ist vom Adaptionszustand des Auges und der Umgebungsleuchtdichte abhängig. Laut Norm (zum Augenschutz) wird als „annehmbare“ blendfreie Leuchtdichte $L = 730 \text{ cd/m}^2$ angenommen. Das Auge ist in der Lage die Leuchtdichten zwischen 730 cd/m^2 bis 10^4 cd/m^2 durch Adaption auszugleichen und sich an die neue Leuchtdichte anzupassen (siehe Abbildung 9 auf Seite 24). Man nennt dies *Adaptionsblendung* – eine plötzliche Leuchtdichtenänderung im Gesichtsfeld. Man redet von *Relativblendung*, wenn es zu einer Störung des Adaptionszustandes also Verzögerung und Behinderung des Sehvermögens kommt. Wenn das Auge mit zu hohen Leuchtdichten ($10^4 \text{ cd/m}^2 \dots 1,6 \cdot 10^5 \text{ cd/m}^2$) konfrontiert wird und eine Adaption nicht mehr möglich ist, tritt eine *Absolutblendung* ein (vgl. Strahlenschutzkommission, 2006, S. 7-8). Die Blendungsbewertung bei der Straßenbeleuchtung erfolgt mit dem TI-Verfahren (siehe DIN EN 13201). Die Blendungsbewertung für Anwohner (Immissionsbewertung) erfolgt mit dem Blendmaß k (siehe LAI-Hinweise).

Man unterscheidet zwischen *physiologischer* und *psychologischer* Blendung, die entweder getrennt oder gemeinsam auftreten können:

Physiologische Blendung führt zur Herabsetzung der Sehleistung und des Sehvermögens, zum Beispiel durch Minderung der Unterschiedsempfindlichkeit, Sehschärfe, Tiefenwahrnehmung und Wahrnehmungsgeschwindigkeit. Das Streulicht ist meistens dafür verantwortlich. Streulicht im Auge (Hornhaut, Linse und Glaskörper) verringert den Kontrast. Besonders ältere Menschen sind wegen schon bestehender Trübungen in Augenteilen für Blendung besonders empfindlich. Die physiologische Blendung ist messtechnisch nachweisbar. Man testet dafür die Sehfunktionen einmal mit und einmal ohne Blendquelle im Gesichtsfeld (vgl. Strahlenschutzkommission, 2006, S. 10-11).

Psychologische Blendung ist eine subjektive Befindlichkeitsstörung. Eine psychologische Blendung muss nicht unbedingt zu einer Herabsetzung der Sehleistung führen. Die Auswirkungen sind: Verschlechterung des Wohlbefindens, der Arbeitsleistung und Konzentrationsfähigkeit. Die Änderung der Blickrichtung in die blendende Lichtquelle (Leuchtdichteunterschied) und ständige Adaption des Auges führt zur Ermüdung. Die psychologische Blendung hängt von der Leuchtdichte der Blendlichtquelle und der Umgebungsleuchtdichte ab. Sie kann auch von der spektralen Zusammensetzung des Lichtes beeinflusst werden (vgl. Strahlenschutzkommission, 2006, S. 11).

Die Tabelle 1 stellt die Blendungsbewertungsverfahren dar. Definitionen der einzelnen Bewertungsverfahren sind in folgenden Schriften zu finden:

R_G-Verfahren in DIN EN 123-2: 2014 Arbeitsplätze im Freien

TI-Verfahren in DIN EN 13201-2: 2003 Straßenbeleuchtung Gütermerkmale

Blendmaß k_s in LAI Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen 2012

	physiologische Blendung	psychologische Blendung
Flächennutzer	TI-Verfahren	R _G -Verfahren
Unbeteiligte	(TI-Verfahren)	k _s

Tabelle 1 Blendungsbewertungsverfahren eine Übersicht

4 Aufgaben und Mindestanforderungen an Außenbeleuchtung heute

In diesem Kapitel werden nur solche Außenanlagen betrachtet, die aus Sicht des Immissionsschutzes und der Himmelsaufhellung relevant sind. Außerdem werden die Mindestanforderungen an die Beleuchtung kurz zusammengefasst. Für die heutige Lichtplanung geben DIN-Normen eine Orientierung. Man versucht mit Hilfe der DIN-Normen Lichtanlagen vergleichbar zu machen und somit eine Bewertung der Lichtanlagen zu ermöglichen. DIN-Normen beinhalten aber meistens keine Grenzwerte, sondern schreiben nur Mindestwerte vor. Weitere Kapitel geben einen kurzen Überblick.

4.1 Straßenbeleuchtung

Zu den Hauptaufgaben der Straßenbeleuchtung zählen: Sicherheit im Straßenverkehr für alle Verkehrsteilnehmer, Sicherheitsgefühl für Passanten und ein attraktives Erscheinungsbild einer Stadt (Marketing) (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2014, S. 7).

Zu den Aufgaben der öffentlichen Beleuchtung zählen Verkehrssicherheit und soziale Sicherheit. Im Berliner Straßengesetz §7 Abschnitt 5 steht: *„die öffentlichen Straßen einschließlich der Geh- und Radwege, Wege und Plätze in ihrer Gesamtheit zu beleuchten, soweit es im Interesse des Verkehrs und der Sicherheit erforderlich ist.“* (Pauen-Höppner & Höppner, 2013, S. 105)

Das war aber nicht immer so. Die öffentliche Beleuchtung hatte ursprünglich folgende Aufgabe: öffentliche Ordnung und Schutz der Bürger vor Kriminalität. Man spricht hier von Kriminalitätsprävention. Erst als die Anzahl der Kraftfahrzeuge rapid anstieg und so die Notwendigkeit entstand die Straßen dementsprechend gut auszuleuchten, rückte die Verkehrssicherheit in den Vordergrund. In der heutigen Zeit spielt öffentliche Beleuchtung als Mittel zur Kriminalitätsprävention wieder eine Rolle. Eine gute Straßenbeleuchtung verringert die Angst der Fußgänger/Passanten vor Kriminalität und gibt so ein sicheres Gefühl. Ein hohes Beleuchtungsniveau erhöht die Adaptionisleuchtdichte und somit die Adaption des Auges. Die Adaptionisleuchtdichte wird durch die mittlere Helligkeit im Gesichtsfeld definiert. Die visuellen Wahrnehmungsprozesse wie Detailerkennung, Reaktionszeit und Farberkennung werden dabei verbessert. So wird zum Beispiel die Erkennung der Absichten einer Person an ihren Gesichtszügen erleichtert. Da die Erkennungsentfernung vergrößert wird, vergrößert sich auch die zur Verfügung stehende Zeit für eine eventuelle Abwehrhandlung. Fehlende Straßenbeleuchtung wird von Verkehrsteilnehmern als allgemein unangenehm empfunden (vgl. Meseberg, 2006, S. 23-24).

Die Hauptaufgabe der Straßenbeleuchtung ist Sicherheit, also ausreichende Sichtverhältnisse für alle Verkehrsteilnehmer. Die Mindestanforderungen sind in der Norm **DIN EN 13201-2:2004** „**Straßenbeleuchtung Gütermerkmale**“ definiert. Diese Mindestanforderungen hängen von Verkehrsdichte, Fahrbahnbreite, Lichtpunkthöhe, Mastabstand und Straßentyp ab. Die Empfehlungen bezüglich der Anlagengeometrie werden in dieser Arbeit im Kapitel 8.1.2 Anlagengeometrie auf der Seite 75 genannt. Die Verkehrsteilnehmer müssen in der Lage sein auf veränderte Verkehrssituationen reagieren zu können. Das gilt besonders bei Konfliktzonen wie Fußgängerübergängen und Kreuzungen. Auftretende Hindernisse müssen möglichst aus großer Entfernung frühzeitig erkannt und wahrgenommen werden (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2014, S. 7).

Eine weitere Aufgabe, die nicht in den Normen für Straßenbeleuchtung behandelt wird ist die Möglichkeit der Orientierung und der Raumgestaltung.

Ein attraktives äußeres Erscheinungsbild einer Stadt durch die Beleuchtung zu fördern ist eine weitere Aufgabe der Straßenbeleuchtung. Das Erscheinungsbild einer Stadt oder Gemeinde wird durch die Beleuchtung unterstützt. Tagsüber durch Form und Design der Leuchten und nachts durch die Lichtwirkung. Entscheidend ist dabei, ob die Menschen gut sehen können und sich in der Umgebung wohlfühlen. Durch das Licht werden die Atmosphäre und das Ambiente einer Stadt bestimmt. Die Beleuchtung der Stadt schafft so neue Impulse für die Wirtschaft und Gastronomie und ist somit wichtig für die Entwicklung einer Stadt (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2014, S. 7).

Für eine gute Orientierung in den urbanen Räumen sind bestimmte Verhältnisse des Beleuchtungsniveaus zwischen Nutzflächenbeleuchtung und Fassadenbeleuchtung nötig. Man unterscheidet dabei zwischen Platzbeleuchtung und technischer Straßenbeleuchtung. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Platzbeleuchtung die Verhältnisse zwischen vertikaler Leuchtdichte auf Fassaden und horizontaler Leuchtdichte des Platzes 1:1 und 2:1 notwendig sind (nach Bartenbach). Bei doppelter Leuchtdichte auf einer Fassade wird eine differenziertere Wahrnehmung und Farberkennung als bei Tageslicht erreicht. Bei technischer Straßenbeleuchtung sind etwa gleiche Leuchtdichtenverhältnisse 1:1 zwischen Fassadenleuchtdichte und horizontaler Leuchtdichte der Straße für eine gute *Lesbarkeit* notwendig (nach Nolte). Für Kriminalitätsprävention wird ein Verhältnis zwischen Fassaden und Straßenaufhellung von 3:10 benötigt (nach Bommel). Man geht dabei von einem Fassadenbereich von 0 bis 4 Meter Höhe aus (vgl. Flügge, 2015, S. 61-64).

Daraus geht hervor, dass die Fassaden ein gewisses Beleuchtungsniveau brauchen. Diese Anforderung steht eventuell in Konflikt mit dem Wunsch nach Minimierung der Störwirkung. In diesem Fall muss eine Priorität gesetzt werden.

Anforderungen an Straßenbeleuchtung nach DIN-Norm:

Die DIN-EN 13201 besteht aus vier Teilen: 13201-1 befasst sich mit der Klassifizierung der Beleuchtungsklassen, 13201-2 definiert die Gütermerkmale, 13201-3 befasst sich mit der Berechnung der Gütermerkmale und 13201-4 befasst sich mit der Messung der Gütermerkmale.

Um die Anforderungen an die Beleuchtung für verschiedene Straßentypen zu klassifizieren, geht man nach Ris wie folgt vor (vgl. Ris, 2008, S. 368-375):

1. Auswahl der Beleuchtungssituation gemäß DIN-EN 13201-1 „Straßenbeleuchtung Beleuchtungsklassen“. Dabei spielen folgende Faktoren eine Rolle: Hauptnutzer und deren Geschwindigkeit, weitere zulässige Nutzer, nicht zugelassene Nutzer. Nach DIN-Norm gibt es insgesamt 12 Beleuchtungssituationen (siehe die Tabelle „Gruppierung der Beleuchtungssituationen“ im Anhang).
2. Auswahl der Beleuchtungsklassen in drei Teilschritten gemäß DIN-EN 13201-1. Nach DIN unterscheidet man die Beleuchtungsklassen (es gibt insgesamt sechs) nach Straßenzustand, Fahrgeschwindigkeiten und Konfliktzonen. Je nach Beleuchtungsklasse sind bestimmte Gütermerkmale vorgeschrieben. Die möglichen Gütermerkmale sind: mittlere Fahrbahnleuchtdichte (L_m), Längsgleichmäßigkeit der Leuchtdichte auf der Straßenoberfläche (U_1), Gesamtgleichmäßigkeit der Fahrbahnleuchtdichte (U_0), Umgebungsbeleuchtungsstärkeverhältnis (SR), horizontale Beleuchtungsstärke (E_h), vertikale Beleuchtungsstärke (E_v), halbsphärische Beleuchtungsstärke (E_{hs}), halbzylindrische Beleuchtungsstärke (E_{sc}), mittlere Beleuchtungsstärke (E_m), minimale Beleuchtungsstärke (E_{min}).
3. Bestimmen der Gütermerkmale gemäß DIN-EN 13201-2. Nachdem die Beleuchtungsklasse zu einer Beleuchtungssituation festgelegt wurde, werden die Gütermerkmale (wie im Punkt 2 genannt) von einer Tabelle abgelesen. Die Tabelle findet man im Anhang (zum Beispiel „ME-Beleuchtungsklassen“) auf Seite 102.

4.2 Parkplatzbeleuchtung

Bei der Parkplatzbeleuchtung stehen Verkehrssicherheit und Unfallprävention im Vordergrund. Eine künstliche Beleuchtung erleichtert die Orientierung sowie die Parkplatz- und Fahrzeugsuche bei schlechten Tageslichtverhältnissen. Die Aufgaben der Parkplatzbeleuchtung sind: ausreichende Sichtverhältnisse um Kollisionen zu vermeiden und Sicherheit vor Kriminalität. Ein ausreichendes Beleuchtungsniveau mit hohem vertikalem Anteil (also hohe vertikale Beleuchtungsstärke) kann sich positiv auf Vorbeugung vor Fahrzeugeinbrüchen und Überfällen auswirken. Man spricht hier von der gefühlten Sicherheit (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2014, S. 30-31).

Anforderungen an Parkplatzbeleuchtung:

Die Mindestanforderungen an die Parkplatzbeleuchtung sind in der DIN-Norm **DIN EN 12464-2:2014 „Arbeitsplätze im Freien“** beschrieben. Abhängig vom Verkehrsaufkommen wurden Wert der mittleren Beleuchtungsstärke(E_m), Mindestwert der Gleichmäßigkeit(U_0), Grenzwert der Blendungsbewertung(R_{GL}) und Mindestwert für Farbwiedergabe(R_a) festgelegt. Nach der DIN-Norm gibt es insgesamt drei Parkplatzbeleuchtungstypen:

- mit geringem Verkehrsaufkommen, wie zum Beispiel Parkplätze von Geschäften, Reihenhäuser und Wohnblöcken mit mittlerer Beleuchtungsstärke $E_m = 5$ Lux
- mit mittlerem Verkehrsaufkommen, wie zum Beispiel Parkplätze von Warenhäusern, Bürogebäuden und Sportanlagen mit mittlerer Beleuchtungsstärke $E_m = 10$ Lux
- mit hohem Verkehrsaufkommen, wie zum Beispiel Parkplätze von großen Einkaufszentren, großen Sportanlagen und Mehrzweckhallen mit mittlerer Beleuchtungsstärke $E_m = 20$ Lux. Die Anforderungen an die Gleichmäßigkeit ($U_0 = 0,25$) Blendungsbewertung ($R_{GL} = 50$) und Farbwiedergabe ($R_a = 20$) sind bei allen gleich mit einer Ausnahme. Bei geringem Verkehrsaufkommen wird der Grenzwert der Blendungsbewertung ($R_{GL} = 55$) empfohlen. Die vollständige Tabelle mit empfohlenen Werten ist im Anhang auf Seite 99 zu finden.

4.3 Sportplatzbeleuchtung

Bei den Sportanlagen wird die Aufmerksamkeit der Zuschauer auf das Spielfeld gerichtet. Um das Geschehen auf dem Spielfeld auch in den Abendstunden erkennen und verfolgen zu können muss eine Beleuchtungsanlage installiert werden. Zu den Hauptaufgaben einer Beleuchtungsanlage zählen: (visuelle) Ansprüche der Sportler erfüllen, die Möglichkeit der anwesenden Zuschauer das Geschehen zu verfolgen und Fernsehtauglichkeit, wenn nötig oder gefordert. Die Beleuchtungsanlage kann entweder auf Masten oder unter einem Tribünendach montiert werden. Die Abbildung 18 stellt eine typische Flutlichtanlage, befestigt auf Masten, für Sportplatzbeleuchtung dar (vgl. Ris, 2008, S. 390).

Die DIN-Norm **DIN EN 12193:2008** „**Sportstättenbeleuchtung**“ definiert die Mindestanforderungen für die Beleuchtung von Sportplätzen, sowohl für den Innen- als auch den Außenbereich. Nach DIN-Norm unterscheidet man zwischen drei Beleuchtungsklassen:

- Beleuchtungsklasse 1: Hochleistungskämpfe, wie internationale und nationale Wettbewerbe mit hohen Zuschauerzahlen und mit großen Sehentfernungen, Hochleistungstraining
- Beleuchtungsklasse 2: Wettkämpfe auf mittlerem Niveau, wie regionale oder örtliche Wettbewerbe, mit mittleren Zuschauerzahlen und mit mittleren Sehentfernungen, Leistungstraining
- Beleuchtungsklasse 3: einfache Wettkämpfe, wie örtliche oder kleine Vereinskämpfe, ohne Zuschauerbeteiligung, allgemeines Training, Sportunterricht und Freizeitsport

Die Tabelle 2 stellt die Auswahl der Beleuchtungsklassen für Fußball in Abhängigkeit vom Wettbewerbsniveau nach DIN-Norm dar. Für jede Beleuchtungsklasse sind wiederum Mindestwerte für horizontale/mittlere

Wettbewerbsniveau	Beleuchtungsklasse		
	I	II	III
International/National	*		
Regional	*	*	
Lokal	*	*	*
Training		*	*
Schulsport/Freizeitsport			*

Tabelle 2: Auswahl der Beleuchtungsklassen nach DIN EN 12193 Sportstättenbeleuchtung (DIN EN 12193:2007 Sportstättenbeleuchtung, S 17)

Beleuchtungsstärke ($E_{h,av}$), Gleichmäßigkeit ($E_{min}/E_{h,av}$), Maximalwert der Blendungsbegrenzung (GR) und Farbwiedergabeindex (R_a) gefordert. Zum Beispiel für die Beleuchtung von Fußballplätzen draußen mit Beleuchtungsklasse 2 sind nach DIN-Norm folgende Werte gefordert: $E_{h,av} = 200$ Lux, $E_{min}/E_{h,av} = 0,6$, GR = 50, $R_a = 60$. Außerdem ist die Spielfeldgeometrie (Breite und Länge des Spielfeldes) und die dazugehörige Anzahl der Rasterpunkte definiert und festgelegt. Die vollständige Tabelle mit Mindestanforderungen für Fußball befindet sich im Anhang

auf Seite 100. Etwa 90 Prozent der Sportplatzanlagen gehören zu Beleuchtungsklasse drei. Die Anforderungen an die Beleuchtung für andere Sportarten sind in der **DIN EN 12193:2007** „**Sportstättenbeleuchtung**“ zu finden.

Für eine fernsehgerechte Beleuchtung von Sportplätzen müssen einige Faktoren berücksichtigt werden. Ganz wichtig ist eine ausreichende vertikale Beleuchtungsstärke gemessen auf 1,5 Meter Höhe. Nur dann lassen sich die Gesichtszüge von Sportlern erkennen. Ein weiterer Faktor ist die Farbwiedergabe $R_a \geq 80$. Und schließlich die



Abbildung 18: Beispiel einer Sportplatzbeleuchtung mit einer Flutlichtanlage (licht.wissen 08. 2010 S 16)

Beleuchtungsstärke. Die Beleuchtungsstärke hängt von Sportart, Aufnahmeentfernung und Qualitätsanspruch der Aufnahmen ab. Für HDTV-Aufnahmen (High Definition Television) für Fußball sind zum Beispiel 800 Lux mittlere Beleuchtungsstärke in Richtung einer Kamera gefordert. Für Zoom und Superzeitlupe sind 2.000 Lux notwendig (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2010, S. 10).

4.4 Arbeitsplätze im Freien

Arbeitsplätze im Freien sind meistens mit größerem Gefährdungspotenzial verbunden. Besonders nachts kommt es auf eine gute Beleuchtung an, weil es dann um die Arbeitssicherheit der Arbeiter geht. Die Anforderungen an die Lichnanlagen sind von Art und Dauer der Beschäftigung abhängig und sind in DIN-Norm **DIN EN 12464-2:2014 „Arbeitsplätze im Freien“** festgelegt (vgl. Ris, 2008, S. 386).

Nach Ris sind folgende Kriterien zu berücksichtigen (vgl. Ris, 2008, S. 386-387):

1. Leuchtdichtevertelung – bestimmt den Adaptionzustand, der die Sichtbarkeit der Sehaufgabe beeinflusst sowie Sehkomfort
2. Beleuchtungsstärke – nach DIN-Norm sind Wertungswerte festgelegt mit relativ hoher Gleichmäßigkeit von 0,1 - 0,5
3. Blendung - kann als psychologische oder als physiologische Blendung erfahren werden. Außerdem kann eine Reflexion von spiegelnden Oberflächen auftreten in Form von Schleierreflexion oder Reflexblendung
4. Lichtrichtung – es wird gerichtetes Licht eingesetzt um die Objekte hervorzuheben oder das Aussehen der Menschen im Raum zu verbessern
5. Lichtfarbe und Farbwiedergabe – eine gute Farbwiedergabe lässt farbige Gegenstände besser erkennen. Besonders Sicherheitsfarben müssen erkennbar sein
6. Flimmer und stroboskopischer Effekt – verursacht Störungen und kann physiologische Effekte wie Kopfschmerzen hervorrufen. Außerdem kann es in Verbindung mit rotierenden Maschinenteilen zu gefährlichen Situationen kommen

Nach **DIN EN 12464-**

2:2014 darf die

Beleuchtungsstärke im

Umgebungsbereich die

Werte in der Tabelle 3

(Spalte rechts) nicht

unterschreiten und steht

in direktem

Zusammenhang mit der

Beleuchtungsstärke im

Bereich der Sehaufgabe

(Spalte links). Damit werden visuelle Belastung und visuelle Beeinträchtigung durch große

Schwankungen der Beleuchtungsstärke verhindert und so eine ausgewogene

Leuchtdichtevertelung im Gesichtsfeld gewährleistet. Genaue Anforderungen für Bereiche der

Sehaufgabe sind aus der oben genannten DIN-Norm zu entnehmen. Eine Ebene über der DIN EN

Beleuchtungsstärke im Bereich der Sehaufgabe lx	Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich lx
≥ 500	100
300	75
200	50
150	30
$50 \leq \bar{E}_m \leq 100$	20
< 50	keine Angabe

Tabelle 3 Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich und im Bereich der Sehaufgabe (DIN EN 12464-2:2014 Arbeitsplätze im Freien. S 8)

12464-2-2014 sind die **technischen Regeln für Arbeitsstätten** (ASR A3.4), vom Ausschuss für Arbeitsstätten, platziert. Die ASR ist maßgebend und bei einer technischen Planung der Europäischen Norm vorzuziehen. Zusätzlich zu diesem Thema kann an dieser Stelle noch auf das Heft 13 „Arbeitsplätze im Freien“ der Fördergemeinschaft Gutes Licht verwiesen werden.

4.5 Fassadenbeleuchtung und Beleuchtung von Parks und Grünanlagen

Zur Fassadenanstrahlung von Gebäuden gibt es keine Empfehlung vom Deutschen Institut für Normung (DIN). Eine Orientierung bei der Planung gibt das Buch „Beleuchtungstechnik für Praktiker“ von Hans Rudolf Ris sowie das Heft 16 „Stadtmarketing mit Licht“ von der Fördergemeinschaft Gutes Licht aus dem Jahr 2010. Dieses Kapitel befasst sich ausschließlich mit stationär installierten Lichanlagen und nicht mit temporär installierten Anlagen.

Mit relativ wenig Energieaufwand lassen sich Fassaden von Gebäuden vom Hintergrund hervorheben und so in Szene setzten. Die notwendige Beleuchtungsstärke ist dabei von zwei Faktoren abhängig: vom Reflexionsgrad der zu beleuchtenden Fläche und von der Helligkeit der Umgebung. Herr Ris schlägt eine mittlere Leuchtdichte in Abhängigkeit von der Umgebungshelligkeit wie in der Tabelle 4 dargestellt, vor (vgl. Ris, 2008, S. 388-389). Zusätzlich kann eine Empfehlung der CIE 94 vom 1993 mit Mindestwerten der Beleuchtungsstärke als Hilfe bei der Planung hinzugezogen werden. Die Tabelle findet man im Anhang.

Objektlage	L_m auf dem Objekt in cd/m²
freistehend	3 ... 6,5
in bebauter dunkler Umgebung	6,5 ... 10
in bebauter mittelheller Umgebung	10 ... 13
in bebauter heller Umgebung	13 ... 16

Tabelle 4: minimale mittlere Leuchtdichte (Beleuchtungstechnik für Praktiker. Ris 2008 S 389)

Fassaden werden generell entweder von unten oder von oben beleuchtet. Eine Anstrahlung von unten hat eine andere (Licht-) Wirkung als eine von oben. Die Distanz zur Fassade spielt dabei auch eine Rolle in Form von Schatten. Um die Wirkung von verschiedenen Leuchten auszuprobieren empfiehlt sich eine Probeinstallation vor Ort mit verschiedenen Leuchtentypen und Optiken oder eine Visualisierung mit einer Software. Eine weitere Möglichkeit eine Fassade zu beleuchten ist eine indirekte Beleuchtung mit Streulicht.

Die Beleuchtung von Parks und Grünanlagen kann das Sicherheitsgefühl von Passanten und Fußgängern verbessern in dem die vertikale Beleuchtungsstärke ausreichend hoch geplant/dimensioniert wird. Ein weiterer Aspekt – die Beleuchtung von Parks und Grünanlagen erleichtert die Orientierung und Wegfindung. Außerdem trägt eine dekorative Beleuchtung zur Attraktivität einer Stadt bei und macht das Erleben von besonderen Lichtstimmungen in den

Abendstunden möglich. Eine Empfehlung über die Höhe der Beleuchtungsstärke gibt es nur für Fußgänger- bzw. Fahrradwege. Nach **DIN EN 13201-1** für Beleuchtungssituationen (E1 und E2) soll die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke für Fußgänger- und Fahrradwege zwischen 2-3 Lux liegen. Für Fahrradwege (C1) wird eine mittlere horizontale Beleuchtungsstärke zwischen 2-15 Lux gefordert (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2014, S. 29).

5 Lichtverschmutzung – Auswirkungen und Folgen

Dieses Kapitel befasst sich mit den möglichen Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf Menschen, Tiere sowie die Umwelt und verdeutlicht die Problematik.

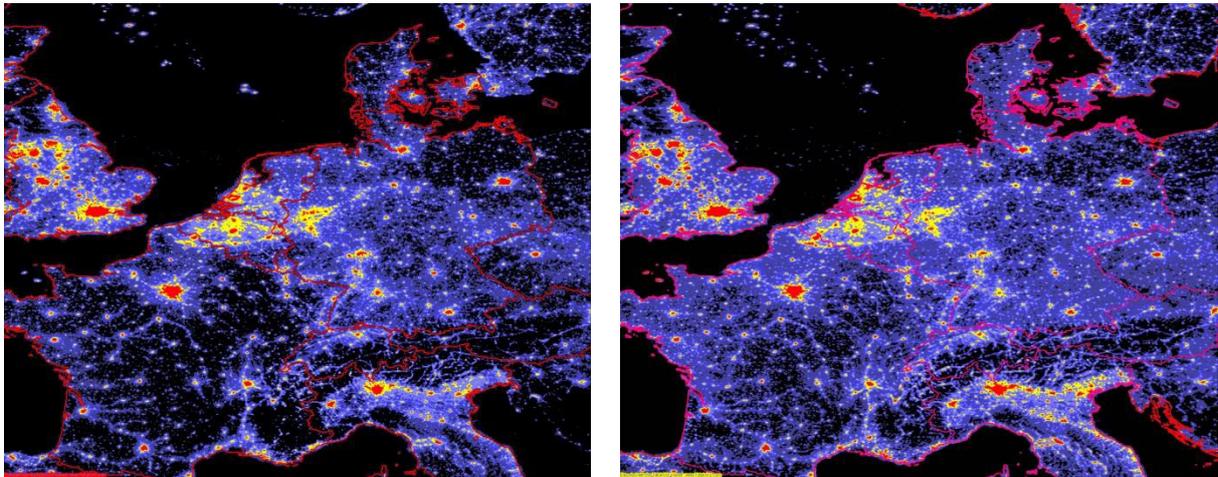


Abbildung 19: Satellitenaufnahmen Europa. links 1992, rechts 2004 (lichtverschmutzung.de)

Viele wissenschaftliche Untersuchungen zeigen eine deutliche Zunahme der Lichtverschmutzung in den vergangenen Jahrzehnten. Man geht von einer 6%-igen jährlichen Steigerung der Himmelsaufhellung weltweit und 5% Wachstum für europäische Länder aus (vgl. Hüppop, Klenke, & Nordt, 2013, S. 114) & (vgl. Posch, 2013, S. 32). Die Abbildung 19 spiegelt diese Entwicklung am Beispiel Europa wieder. Die Bilder wurden von der NASA mit Hilfe von Satelliten aufgenommen. Das Bild links wurde im Jahr 1992 und das Bild rechts im Jahr 2004 aufgenommen. Die blauen Farben bedeuten eine relativ leichte Aufhellung des Nachthimmels. Die Farben gelb und rot hingegen eine deutlich stärkere Aufhellung. Man erkennt, dass die relativ dunkle Fläche zwischen Berlin und Ostseeküste auf der Aufnahme von 2004 fast komplett verschwunden ist. Wenn man mittlere und südliche Regionen Deutschlands anschaut, sieht man auf dem Bild rechts fast eine flächendeckende Aufhellung. Außerdem sind die großen deutschen Städte wie Hamburg, Berlin und München auch auf den Aufnahmen deutlich erkennbar. Eine ähnliche Entwicklung erkennt man in der Schweiz, Österreich, Frankreich, Italien und in Dänemark.

Diese Entwicklung betrifft aber kaum die großen Städte Europas, sondern wird an andere, früher noch dunkle Orte, flächig ausgedehnt. Im Hinblick auf die Zunahme der Lichtverschmutzung können Satellitenbilder keine quantitativen Ergebnisse liefern, weil die Kameras zum Teil unterschiedlich kalibriert sind und somit nur einen qualitativen Eindruck liefern können (vgl. Hänel, Lichtverschmutzung in Mitteleuropa, 2013b, S. 69-70).

Man stellt sich die Frage: Wie lässt sich das Ausmaß von Lichtverschmutzung messen und qualitativ besser bewerten? Diese Frage wird im Kapitel 6 Bewertungsmethoden. Emissions- und Immissionsgrenzwerte auf Seite 56 beantwortet.

5.1 Auswirkungen auf Menschen

In diesem Kapitel werden mögliche Auswirkungen auf den Menschen, die durch Kunstlicht ausgelöst werden können, genauer betrachtet. Weil Menschen sich sowohl in Innen- als auch Außenräumen aufhalten, können die Auswirkungen, ausgelöst von Innen- oder Außenbeleuchtung, nicht separat betrachtet werden. Die möglichen Auswirkungen können sowohl auf den Umgang mit Kunstlicht als auch auf eine unfreiwillige Beeinträchtigung wie zum Beispiel durch Aufhellung von Schlafräumen zurückgeführt werden.

Der natürliche Tag-Nacht-Rhythmus hat den Menschen über mehr als 500.000 Jahre auf der genetischen Ebene geprägt (siehe Kapitel 2.1 Geschichte und Entwicklung der Straßenbeleuchtung auf Seite 16). Der Tag-Nacht-Wechsel hat auch unser Verhalten beeinflusst. In der Vergangenheit, wo es noch kein künstliches Licht gab oder künstliches Licht einfach zu teuer war, waren Menschen überwiegend tagsüber aktiv. Mit der Erfindung von Elektrizität und Glühlampe konnte man tägliche Aktivität auch in spätere Stunden des Tages verschieben und so die Industrialisierung vorantreiben. Diese schnelle Entwicklung von offenem Feuer über die Gasbeleuchtung bis zur Elektrizität geschah erst in den letzten zwei Jahrhunderten. Der Tag-Nacht-Rhythmus wird auch *zirkadianer Rhythmus* genannt. Er steuert evolutionsbedingt physiologische und biochemische Prozesse in unserem Körper (vgl. Cajochen, 2013, S. 189-190).

Lebewesen verfügen über innere Zeitgeber, die von äußeren Faktoren oder äußeren Reizen synchronisiert werden. Der innere Zeitgeber, die sogenannte innere Uhr, wird in der Chronobiologie als „Master-Clock“ bezeichnet. Die menschliche physiologische Quelle der inneren Uhr befindet sich hinter der Nasenwurzel, über der Kreuzungsstelle der Sehnerven. Die sogenannten suprachiasmatischen Kerne (SCN) weisen eine kreisförmige Struktur auf und sind für die Zirkadian-Rhythmik (von *circa diem*: ungefähr ein Tag) zuständig (siehe Abbildung 20). Die

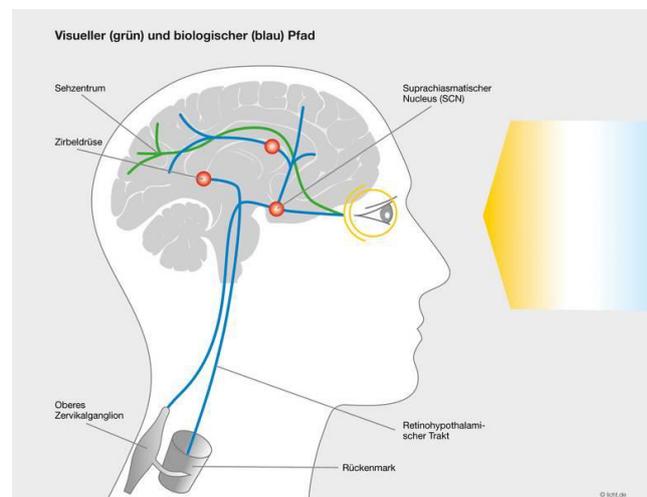


Abbildung 20: Physiologie des Sehens (licht.wissen 19. 2014 S 16)

Nervenzellen in den SCN geben alle 24 Stunden einen Impuls für die Zirkadian-Rhythmik ab. Diese Impulse sind für die zeitliche Organisation von physiologischen und biochemischen Prozessen im Körper verantwortlich. Licht ist der wichtigste Zeitgeber und synchronisiert unsere innere Uhr von außen. Auf der Netzhaut im Auge befinden sich lichtempfindliche Zapfen (Tagessehen) und Stäbchen (Nachtsehen). Unter der Netzhaut befinden sich Nervenzellen und Ganglienzellen, die nur auf hell oder dunkel reagieren können. Diese Information melden sie an die SCN weiter. Von den SCN wird die Information (hell oder dunkel) an die Zirbeldrüse

Cortisolkonzentration steigt morgens im Winter auf höhere Werte als im Sommer und dynamische Beleuchtung hat keine stärkere Auswirkung auf die Messergebnisse als statische Beleuchtung. Es wird vermutet, dass der Schwellenwert für Melatoninunterdrückung bei 30 Lux liegt. Ein weiteres Untersuchungsfeld war eine Befragung der Anwohner zu ihrer Schlafqualität. Es wurden dabei zwei Situationen untersucht: Installation einer Straßenbeleuchtung und eine Umrüstung der Straßenleuchten von herkömmlicher Beleuchtung (HQL) auf LED - Beleuchtung. Bei der Installation einer Straßenbeleuchtung wurde von einer subjektiv längeren Einschlafdauer berichtet. Bei Umrüstung auf LED-Beleuchtung wurde die Schlafqualität besser bewertet. Für aussagekräftigere Ergebnisse sind weitere Untersuchungen und Langzeitstudien notwendig (vgl. Griefahn, 2014, S. 2-3).

Das Licht hat aber auch positive Eigenschaften. Zum Beispiel stellt man im Krankenhaus kürzere Aufenthalte von depressiven Patienten in Zimmern auf der Ostseite als bei depressiven Patienten in Zimmern auf der Westseite fest. In den Morgenstunden strahlt viel mehr Licht in die Ostzimmer, was sich anscheinend positiv auf die Genesung auswirkt. Lichttherapie ist ein weiterer Einsatzbereich von Kunstlicht. Licht wird bei Winterdepressionen als Zusatztherapie eingesetzt. Man verwendet dafür spezielle Lampen mit Beleuchtungsstärken zwischen 6.000 und 10.000 Lux. Den Patienten wird in den Morgenstunden 30 bis 60 Minuten die Lichttherapie empfohlen. Diese Lichtimpulse haben ein Zeitgebereffekt auf Organismen und stabilisieren den Tag-Nacht-Rhythmus. Außerdem wirkt das Licht allgemein aktivierend und synchronisiert die innere Uhr. Ein leicht positiver Effekt – die Stabilisierung des Schlaf-Wach-Rhythmus – stellt man auch bei Demenzpatienten fest. Außerdem steigt die Leistung von Mitarbeitern in hell beleuchteten Büros. Eine ähnliche Tendenz stellt man bei Schulkindern fest (vgl. Bromundt, 2013, S. 29) & (vgl. Knab, 2013, S. 79).

Die Lichtwirkung auf Organismen kann von den drei folgenden Faktoren beeinflusst werden: Intensität des Lichtes (Beleuchtungsstärke), spektrale Zusammensetzung des Lichtes, und Dauer der Lichtexposition (vgl. Bromundt, 2013, S. 29). In dem Bereich Chronobiologie und Wirkung des künstlichen Lichtes auf Menschen gibt es noch größeren Forschungsbedarf und vieles muss noch genau untersucht werden. Man hat zwar festgestellt, dass Licht mit hohem blauen Anteil aktivierend auf den Körper wirken kann, was das aber für das einzelne Individuum langfristig bedeutet und wo die zeitliche Grenze für den Einsatz von aktivierendem Licht liegt, ist kaum erforscht. Hier fehlen Langzeitstudien, die das untersuchen können. Die Störwirkung, wie Raumaufhellung und Blendung an einem Immissionsort (wie zum Beispiel eine private Wohnung, ein privates Grundstück), ausgelöst durch die Außenbeleuchtung, muss möglichst auf ein Minimum reduziert werden um mögliche negative Auswirkungen zu vermeiden. Dies muss schon möglichst früh bei der Planung und Auslegung einer Beleuchtungsanlage mitberücksichtigt werden. Wichtig ist dabei auch die spektrale Zusammensetzung des Lichtes. Vorsicht ist auch mit blauem Licht in den Abendstunden in Innenräumen geboten, weil die Einschlafdauer sich erheblich erhöhen kann

und somit Schlafqualität und Wohlbefinden sich verschlechtern können. Empfehlenswert wäre noch die Menge des künstlichen Lichtes zu reduzieren und Tageslicht zu nutzen.

Empfehlungen zur Minimierung der Störwirkung wie Raumaufhellung und Blendung, ausgelöst durch Außenlichtanlagen, sind aus den LAI-Hinweisen zu entnehmen (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012).

5.2 Auswirkungen auf Artenvielfalt

Dieses Kapitel befasst sich mit Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf verschiedene Tierarten und gibt Empfehlungen für eine Reduzierung der möglichen Folgen.

5.2.1 Auswirkungen auf Insekten

Viele Tierarten haben sich im Laufe der Evolution an den natürlichen Tag-Nacht-Wechsel angepasst. Licht ist „...*natürlicher Zeitgeber für eine Vielzahl von Lebensabläufen...*“ (Klaus, Kägi, Kobler, Maus, & Righetti, 2005, S. 17). Der Zeitpunkt des Einflusses durch Kunstlicht ist dabei entscheidend und kann ökologische Auswirkungen auf Organismen haben und unter Umständen auch die Artenvielfalt reduzieren. Einflussfaktoren sind: Lichtstärke, spektrale Zusammensetzung des Lichtes, Zeitpunkt und Dauer, Periodizität und Richtung des Lichtes (vgl. Klaus, Kägi, Kobler, Maus, & Righetti, 2005, S. 17-18).

Mehr als 50 Prozent der Tierarten weltweit zählen zu den Insekten. Wissenschaftler schätzen die weltweite Artenzahl von Insekten zwischen 1 und 10 Millionen ein. In Deutschland gibt es etwa 33.000 Insektenarten. Die meisten Insekten gehören zu Fluginsekten und sind außerdem nachtaktiv. Beispielsweise sind Schmetterlinge in Tirol in Österreich mit 2.700 Insektenarten vertreten von denen rund 85 Prozent nachtaktiv sind. Insekten werden oft in ihren natürlichen Lebensräumen von künstlichen Lichtquellen angezogen. Man redet hier von einem sogenannten *Staubsaugereffekt*. Das heißt Insekten werden angelockt und sterben dann schließlich an Erschöpfung, hoher Hitze oder werden sie zu leichter Beute für andere Tiere. Monitorstudien in Großbritannien, über einen Zeitraum von 34 Jahren (1968 bis 2002), zeigen eine Veränderung von Flora und Fauna. Bei der Untersuchung hat man ein Flächenraster von 10 km² über das ganze Land auf Artenvorkommen untersucht. Man stellte dabei einen Rückgang der Population von Insekten, Vögeln und Pflanzen fest. Man vermutet, dass die künstliche Beleuchtung einen Beitrag dazu leistet und für den Rückgang der Populationen von Tieren mitverantwortlich ist (vgl. Einsenbeis, 2013a, S. 53). Bei dieser Untersuchung hat man noch festgestellt, dass die Population von 15 Nachtfalterarten über diesen Zeitraum in Großbritannien um 91-98 Prozent zurückgegangen ist. Nachtfalter wurden sogar als vom Aussterben bedroht eingestuft. Bei 60 anderen Insektenarten lag der Rückgang der Population bei 70-90 Prozent, diese gelten als

gefährdet. Langfristig schadet diese Entwicklung der Insektenfauna (vgl. Einsenbeis, 2013b, S. 105-106).

Schätzungsweise werden etwa 150 Insekten pro Nacht im Sommer an jeder Straßenlampe getötet. In Deutschland sterben dann jede Nacht über eine Milliarde Insekten (bei 6,8 Millionen Straßenleuchten. Nach einer anderen Quelle: Schmidt & Töllner 2006 S 191 gibt es mehr als 9 Millionen Lichtpunkte in Deutschland), darunter sind auch vom Aussterben bedrohte Insektenarten. Andere Lichtquellen wie zum Beispiel Leuchten für Beleuchtung von Fassaden sind bei dieser Hochrechnung gar nicht berücksichtigt. Allein die Zahl klingt alarmierend. Das kann in Zukunft einen stetigen Rückgang der Insektenpopulation bedeuten. Dies hat lange kein großes Interesse in der Öffentlichkeit geweckt, weil Insekten nicht die beliebtesten Tierarten sind. Die Insekten sind aber wichtige Blütenbestäuber und außerdem eine Nahrungsquelle für andere Tiere. Besonders problematisch sind Lichtquellen in der Nähe von Gewässern, also natürlichen Lebensräumen von vielen Insektenarten. Wissenschaftler haben berechnet, dass in den Sommermonaten so viele Insekten von einer Straßenleuchte angezogen werden wie auf einem 22 Meter langen Ufer in 24 Stunden Insekten schlüpfen. Insekten werden aus einer Entfernung von bis zu 700 Meter (bei Neumond) bzw. 50 Meter (bei Vollmond) von einer Lichtquelle angezogen. Bei einem Lichtpunktstand von 30-50 Meter sind beleuchtete Straßen für Insekten kaum zu überwinden und stellen eine Barriere dar (vgl. Klaus, Kägi, Kobler, Maus, & Righetti, 2005, S. 18).

Man stellt sich die Frage warum Insekten so auf künstliches Licht reagieren? Nachtaktive Insekten ruhen tagsüber und sind nachts aktiv. Licht übt eine starke Anziehungskraft auf Insekten aus und löst ein „...positiv phototaktisches Verhalten...“ aus (Einsenbeis, 2013b, S. 86). Das bedeutet, dass Insekten zwangsläufig in die Richtung einer Lichtquelle fliegen und somit von der Nahrungssuche und der Fortpflanzung abgelenkt werden.

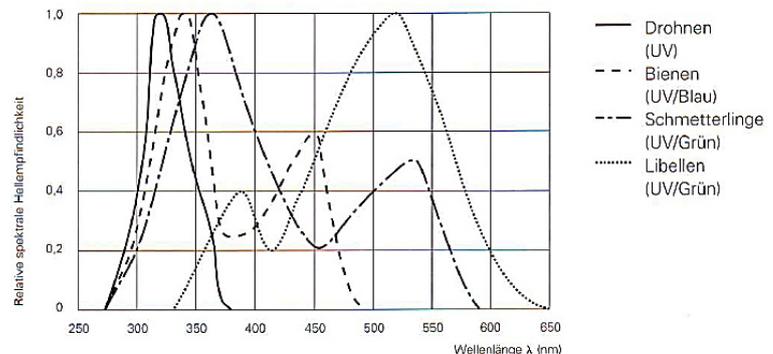


Abbildung 22: spektrale Helligkeitsempfinden einigen Insektenarten (Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. LiTG Nr.15:1997 S 8)

Kunstlicht löst eine starke Hemmwirkung, Ruheverhalten und Desorientierung bei Tieren aus, ähnlich wie bei Tageslicht. In der Lichtzone einer Leuchte bleiben Insekten dann lange inaktiv vermutlich infolge einer starken Blendung. Dieses Verhalten wurde bei vielen Versuchen beobachtet und bestätigt. Dazu kommt noch, dass Insekten sehr leistungsfähige Augen haben. Nachfalter können sogar bei Dunkelheit ($L = 0,0001 \text{ cd/m}^2$) Farben sehen und nutzen schwaches Licht von Sternen und Mond für die Orientierung. Das erklärt das kreisende Flugverhalten von Insekten um eine Lichtquelle. Die Tiere versuchen einen konstanten Winkel zu einer Lichtquelle zu halten und ändern so schnell ihre Flugrichtung (vgl. Einsenbeis, 2013b, S. 83-86).

Insekten werden nicht gleichstark von verschiedenen Lichtquellen angezogen. Die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, also das Spektrum des Lichtes ist dabei entscheidend. Besonders empfindlich reagieren die meisten Insekten auf UV-Licht und blaues Licht. Die relative spektrale Hellempfindlichkeit von einigen Insektenarten kann man auf der [Abbildung 22](#) sehen.

Eisenbeis hat Ergebnisse von fünf vergleichbaren Studien zu Flugaktivitäten von Insekten in mehreren Publikationen veröffentlicht. Untersucht wurden Anziehungseigenschaften von verschiedenen Leuchtmitteln auf Insekten. Im Anhang auf [Seite 103](#) sind die Ergebnisse aus diesen Studien tabellarisch dargestellt. Die höchste Aktivität wurde bei Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und Metallhalogendampflampen registriert. Natriumdampf-Hochdrucklampen sowie warmweiße LED (mit 2.700 - 3.000 Kelvin) können als insektenfreundliche Leuchtmittel bezeichnet werden, weil sie laut diesen Studien im Vergleich mit anderen Leuchtmitteln relativ wenige Insekten anziehen. Bei den Untersuchungen wurden spezielle Fangeinrichtungen unter jeder Lichtquelle befestigt. Die Lichtquelle mit der höchsten Insektenzahl in der Falle wurde als Referenz (100 %) genommen und so die prozentuale Insektenzahl für andere Lichtquellen ermittelt.

Bei einer weiteren Studie von Martin Soneira aus Wien wurde Anlockstärke auf Insekten unter Aspekten wie: unterschiedliche Leuchtmittel, Abstrahlcharakteristik und Aufneigung von Leuchten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Kugelleuchte im Vergleich mit einer Kofferleuchte eine vergleichbar ähnliche Anziehungskraft auf Insekten ausübt. Der Mehrfang-Faktor bei Kugelleuchten beträgt lediglich 1,06. Als Leuchtmittel wurde bei beiden Leuchtenarten eine Quecksilberdampfleuchte (HQL) verwendet. Bei einem Vergleich von zwei unterschiedlichen Leuchtmitteln fällt das Ergebnis viel deutlicher aus. Verglichen wurden zwei Leuchtentypen: Metaldampflampe (HIT mit 3.500 Kelvin; $R_a=55$; $P=88,7$ Watt) und LED (mit 4.100 Kelvin; $R_a=75$; $P=18,3$ Watt). Als Leuchte verwendete man eine Kofferleuchte. Die Intensität des Lichtes von beiden Leuchten wurde dabei auf gleiches Niveau kalibriert. Das Ergebnis zeigt eine 3,2-fach größere Anziehung der Metaldampflampe. Ein weiteres Untersuchungsfeld war die Abhängigkeit des Neigungswinkels auf die Anziehung von Insekten. Zwei Fälle wurden dabei untersucht: eine Kofferleuchte mit LED-Leuchtmittel horizontal ausgerichtet und die gleiche Kofferleuchte mit LED-Leuchtmittel mit 10 Grad Aufneigung. Man konnte bei aufgeneigten Leuchten einen Mehrfang-Faktor von 1,69 feststellen (vgl. Soneira, 2013, S. 26-33). Nach Soneira dürfen auch wirtschaftliche Aspekte nicht vernachlässigt werden. Undichte Gehäuse von Leuchten verursachen hohe Reinigungskosten und verringern so die Lebensdauer von Leuchtmitteln, weil Insekten ungehindert in eine Leuchte gelangen können (vgl. Soneira, 2013, S. 6).

Der Rückgang der Insektenpopulation kann nicht nur mit zunehmender Lichtverschmutzung in Verbindung gebracht werden, weil hier mit Sicherheit noch andere Faktoren wie Landwirtschaft und Klimawandel eine Rolle spielen können. Außenbeleuchtung trägt aber dazu bei. Künstliche Beleuchtung ist ein unnatürliches Phänomen, welches das natürliche Verhalten von Tieren stört

und beeinflusst. Deswegen sollte möglichst insektenfreundliche Beleuchtung wie warmweißes Licht von LED-Leuchtmitteln (mit 3.000 Kelvin) besonders in natürlichen Lebensräumen von Insekten eingesetzt werden. Das Leuchtmittel, welches den größten Einfluss auf Insekten hat, wird ab April 2015 in der EU nicht mehr verkauft. Es handelt sich um die Quecksilberdampf-Hochdrucklampe. Zu erwarten ist, dass Leuchten mit diesem Leuchtmittel nach und nach umgerüstet und so von den Straßen verschwinden werden. Das kommt nicht nur den Insekten zugute, sondern spart auch durch andere Leuchtmitteln viel Energie ein (nach Eisenbeis, 2013b, S 98 sind es etwa 30 Prozent Energieeinsparung im Vergleich zu einer Natriumdampf-Hochdrucklampe und 55 Prozent weniger Anflug von Insekten). Wissenschaftlich zu klären wäre noch, wie weit das Beleuchtungsniveau und die Abstrahlcharakteristik bei der Anlockwirkung auf Insekten eine Rolle spielt und wo genau eine für die Umwelt verträgliche Grenze liegt. Nach dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg steht fest, dass bei einer Verdopplung der Lichtpunkthöhe eine 1,5 bis 2-fache Insektenmenge von einer Lichtquelle angezogen wird (vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 18). Überraschend klein ist der Fangfaktor (1,06) im Vergleich einer Kugelleuchte zu einer Kofferleuchte ausgefallen. Kugelleuchten sind aber trotzdem nicht zu empfehlen, weil sie erheblich zur Himmelsaufhellung beitragen und wirtschaftlich sowie lichttechnisch gesehen nicht effizient sind (siehe [Abbildung 1 auf Seite 7](#)). Es wird außerdem empfohlen auf eine Aufneigung von Leuchten zu verzichten und die Lichtpunkthöhe gering zu halten.

Empfehlung für eine insektenfreundliche Beleuchtung nach LAI-Hinweisen (vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 19-20):

1. Vermeidung heller, weitreichender künstlicher Lichtquellen in die freie Landschaft
2. Lichtlenkung ausschließlich in die Bereiche, die künstlich beleuchtet werden müssen (Abstrahlwinkel von Lichtquellen auf 70 Grad begrenzen)
3. Wahl von Lichtquellen mit Insekten-wirkungsarmem Spektrum (wenig UV-Licht und wenig blaues Licht)
4. Verwendung von vollständig geschlossenen staubdichten Leuchten
5. Begrenzung der Betriebsdauer auf die notwendige Zeit (auch Begrenzung des Beleuchtungsniveaus)

5.2.2 Auswirkungen auf Vögel

Auch Vögel sind auf den Tag-Nacht-Rhythmus angewiesen. Künstliche Beleuchtung trifft besonders Zugvögel. Vögel wandern oft nachts und nutzen den Tag um Energiereserven nachzufüllen. Zwei Drittel der tagaktiven Vögel sind auch nachts aktiv und orientieren sich an dem Sternenlicht. Problematisch wird es besonders bei schlechten Wetterbedingungen wie Nebel, bewölktem Himmel und starkem Wind. Bei bedecktem Himmel kann eine gute Orientierung nicht

mehr erfolgen und Vögel versuchen die Flughöhe zu reduzieren, was die Kollisionsgefahr mit Hochhäusern und anderen Gegenständen erheblich erhöht. Schon im Jahr 1924 schrieb Hugo Weigold: *„daß Zug sowohl in mond hellen wie in dunklen Nächten stattfindet, daß aber die Leuchttürme ihre verhängnisvolle Anziehungskraft nur bei sehr unsichtigem Wetter, bei Nebel, Regen, Hagel und tiefen dicken Wolken entfalten, zumal, wenn Sturm damit verbunden ist, wie gewöhnlich, oder wenn der Wind dreht und die Vögel aufhält“*. Hugo Weigold war der erste Leiter der Vogelwarte auf Helgoland. Leuchttürme, Hochhäuser, große Brücken, Windkraftanlagen, Skybeamer, Flutlichter, beleuchtete Gewächshäuser, Bohrinseln und Forschungsplattformen sind mit künstlichem Licht beleuchtete Objekte oder selbstleuchtende Objekte, die eine Gefahr für Vögel darstellen (vgl. Hüppop, Klenke, & Nordt, 2013, S. 111-113).

Einige Studien belegen diese Gefahr. Eine 38-jährige Studie hat die Vogelanzahl dokumentiert, die vor einem Fernsehturm in Wisconsin (Höhe 305 Meter) tot aufgefunden wurden. Man hat insgesamt 120.000 tote Vögel aus 123 Arten nachgezählt. Bei einer weiteren Studie über 29 Jahre – ebenfalls an einem Fernsehturm – in Florida (Höhe 204 später 308 Meter) wurden 44.000 tote Vögel aus 186 Arten registriert, 94 Prozent davon waren Zugvögel. Wissenschaftler schätzen, dass in den USA und Kanada so in einem Jahr zwischen 4 und 40 Millionen Zugvögel wegen Kollisionen mit Türmen ums Leben kommen. Bei Kollisionen mit anderen Gebäuden sind es schätzungsweise 100 Millionen bis 1 Milliarde. Bei Kollisionen mit dem Straßenverkehr sind es 50 bis 100 Millionen und 10.000 bis 175 Millionen Vögel verlieren ihr Leben an Freileitungen. Ein weiteres Beispiel: ein Sendemast (Höhe 200 Meter) mit roten Flugwarnleuchten auf Sylt wurde von April 1989 bis November 1992 für 609 Vögel aus 63 Arten zum Verhängnis. Das Gelände wurde über diesen Zeitraum 75-mal nach Vögeln durchsucht. Forschungsplattformen und Offshore-Windkraftanlagen sind auch eine Gefahr für Vögel. Bei einer Untersuchung auf der Forschungsplattform „FINO 1“ in der Nordsee, in dem Zeitraum zwischen Oktober 2003 und Dezember 2007, wurden insgesamt 770 Vögel aus 35 Arten gefunden. Etwa die Hälfte der Tiere wurde dabei bei schlechten Wetterbedingungen (niedrige Wolkendecke, Nebel und Nieselregen) in nur zwei Nächten registriert. Die schlechten Wetterbedingungen erhöhen die Gefahr erheblich und verstärken die Anziehung von beleuchteten Objekten bei Nacht. Fassadenbeleuchtung erhöht die Kollisionsgefahr für Vögel. Heiko Haupt hat die Auswirkungen von Fassadenbeleuchtung am Beispiel „Post-Tower (Höhe 160 Meter) in Bonn untersucht. Über 13 Monate haben mehr als tausend Vögel aus 29 Arten ihre Orientierung verloren. Davon sind 200 Tiere gleich gestorben, weitere Tiere haben sich bei der Kollision schwer verletzt. Der Turm wird mit farbigen Leuchtstoffröhren mit insgesamt 75 kW Gesamtleistung betrieben. (vgl. Hüppop, Klenke, & Nordt, 2013, S. 114-116).

Eine Studie hat Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf Zugvögel untersucht. Auf einer Gasförderplattform in der Nordsee, 70 km von der niederländischen Küste entfernt, wurde das Verhalten von Zugvögeln in einem Zeitraum von 1992 bis 2002 beobachtet. Das Ziel dieser Studie war eine Beleuchtung zu entwickeln, die gleichzeitig die menschlichen Anforderungen an (Arbeits-) Sicherheit erfüllt und dabei weniger Zugvögel stört. Zuerst wurde das Verhalten der Vögel bei eingeschalteter und ausgeschalteter Beleuchtung der Plattform beobachtet. Man stellte bei einer ausgeschalteten Beleuchtung einen fast kompletten Rückgang der Flugaktivität der Tiere fest. Aus Sicherheitsgründen ist die Beleuchtung einer Plattform unverzichtbar. Im zweiten Teil der Untersuchung wurde der Zusammenhang zwischen der Flugaktivität der Tiere und spektraler Zusammensetzung des Lichtes untersucht. Aus früheren Untersuchungen war bekannt, dass Zugvögel mehr von rotem und weißem Licht desorientiert und angezogen werden als von blauem und grünem Licht. Es wird vermutet, dass bestimmte Wellenlängen des Kunstlichtes die Orientierung der Vögel an dem Magnetfeld der Erde, besonders bei einem bewölkten Himmel, stören können. Um das zu untersuchen wurde eine Straßenleuchte mit zwei Halogenmetalldampf-Lampen (2*1.000 W) mit einer Lichtpunkthöhe von 4,8 Metern auf einer Plattform installiert. Untersucht wurden dann vier Fälle: die Flugaktivität von Vögeln bei blauem, grünem, weißem und rotem Licht. Die Ergebnisse sind auf der Abbildung 23 links grafisch dargestellt. Die schraffierten Balken stehen für die Flugaktivität bei bewölktem Nachthimmel. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde die Beleuchtung einer Gasförderplattform (L15) umgerüstet. Man hat sich für grünes Licht entschieden. Das Ergebnis – weniger Vogelaktivität in Nähe der Plattform. Die neue Beleuchtung wurde auch vom Personal positiv gelobt. Man berichtete von einer geringeren Blendung und von erhöhtem Kontrast (vgl. Poot, Ens, de Vries, Donners, Wernand, & Marquenie, 2008).

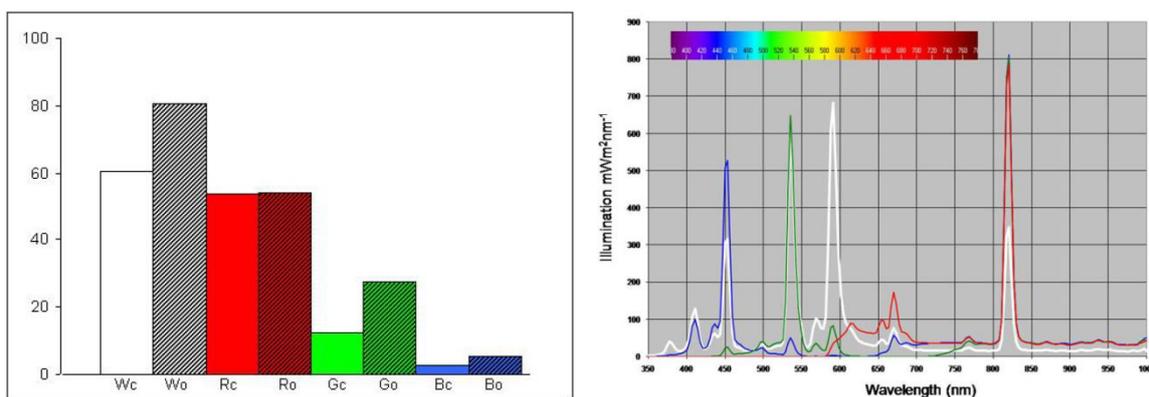


Abbildung 23 Prozentuale Flugaktivität links, Spektrum des Farblichtes rechts (Green Light for Nocturnally Migrating Birds. 2008 S 10)

Zusammenfassend kann man sagen, dass künstliche Beleuchtung dazu führen kann Zugvögel zu desorientieren und somit zum möglichen Tod führt. Viele Untersuchungen belegen das. Dauerlicht hat dabei eine stärkere Wirkung als Blinklicht. Die Lichtattraktion nimmt außerdem mit zunehmender Lichtintensität zu (vgl. Hüppop, Klenke, & Nordt, 2013, S. 122+125). Wie weit die

spektrale Zusammensetzung des Lichtes eine Rolle spielt, wurde bereits untersucht. Es wird empfohlen Lichtquellen mit wenig roten und weißen Anteilen zu wählen (siehe [Abbildung 23](#)), zum Beispiel die Leuchten ClearSky von Philips. Die möglichen Auswirkungen auf Singvögel und Vögel die in der Stadt leben werden in diesem Kapitel nicht behandelt, weil dieser Bereich wenig untersucht ist und die direkten Auswirkungen schätzungsweise gering sind.

Empfehlung nach LAI-Hinweisen (vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 20):

1. Vermeidung der Beleuchtung von Schlaf- und Brutplätzen
2. Schwache Beleuchtung von Strukturen (zum Beispiel an Leucht- oder Funktürmen), damit diese zur Vermeidung von Kollisionen für Vögel sichtbar werden
3. Vermeidung der Beleuchtung von Hochhäusern sowie von Gebäuden mit Glasfronten
4. Abschaltung von Skybeamern zu Zeiten des Vogelzuges (15. Februar bis 31. Mai und 1. August bis 30. November)

Zusätzlich zu den vier oben genannten Punkten können noch drei Punkte aus Empfehlungen zu insektenfreundlicher Beleuchtung (Punkt 1,2 und 5) übernommen werden.

5.2.3 Auswirkungen auf Fledermäuse

Fledermäuse sind Säugetiere und nur nachts aktiv. Sie nutzen ihre Echoortung um sich im Dunkeln zu orientieren. Außerdem wird diese Fähigkeit für die Jagd eingesetzt um eine Beute genau zu lokalisieren. Es gibt momentan 1.200 Fledermausarten. Künstliche Beleuchtung hat Auswirkungen auf das Verhalten der Tiere. Bei allgemein erhellter Umgebung verlassen die Tiere erst später als gewöhnlich ihre Verstecke und haben somit weniger Zeit für die Nahrungssuche. Einige Arten meiden komplett das künstliche Licht, sie sind hochsensibel. Einige Arten nutzen dagegen um Außenleuchten gesammelte Insekten – eine Nahrungsquelle von Fledermäusen – für die Jagd aus. Einige Arten verlassen ihr Quartier nicht, wenn der Ausgang beleuchtet ist. Weißes Licht hat dabei die stärkste Wirkung auf die Tiere. Das im Zuge der künstlichen Beleuchtung reduzierte Zeitfenster für Nahrungssuche hat Auswirkungen auf die Nachkommen der Tiere. Untersuchungen an Mausohrfledermäusen zeigen, dass das Wachstum und Körpergewicht von Jungtieren geringer ausfällt als bei ihren Artgenossen. Das kann negative Folgen und geringere Überlebenschancen im Winter mit sich bringen (vgl. Lewanzik & Voigt, 2013, S. 65-67).

Es wird empfohlen Kirchen und andere von Fledermäusen bewohnte Gebäude nicht mit großer Intensität zu beleuchten um Tiere so vor negativen Auswirkungen zu schützen (vgl. Lewanzik & Voigt, 2013, S. 65).

5.2.4 Auswirkung für Fische und Meeresschildkröten

Fische

Organismen die in Wasser und in unmittelbarer Nähe von Wasser leben, sind auch von Lichtverschmutzung betroffen. Der Übergang von Wasser zu Land ist besonders artenreich mit vielen lichtempfindlichen Tieren. Nach Hölker&Tockner „*kann künstliches Licht die Physiologie, Wanderung, Orientierung und Nahrungsaufnahme vieler Gewässerorganismen beeinflussen*“. Wissenschaftler betrachten sogar Kunstlicht als Stressfaktor für sensible Gewässerökosysteme. Besonders betroffen sind Flüsse und Kanäle. Uferbereiche von Flüssen und Kanälen werden schätzungsweise sechs Mal heller aufgeleuchtet als Wasserflächen von Seen. Das liegt an dem Verhältnis Uferbereich zu Wasserfläche (vgl. Hölker & Tockner, 2013, S. 173+174+178). Als Folge direkten Einflusses von Kunstlicht werden viele aquatische Insekten von Uferleuchten angezogen und verlassen so ihren natürlichen Lebensraum, also die Wasseroberfläche. Diese Insekten sind eine wichtige Nahrungsquelle für Fische und es kommt nach Hölker&Tockner zu einer „*Verzerrung des Nahrungsnetzes*“. Kunstlicht kann außerdem zu einem Hindernis bei der Wanderung der Tiere werden. Lachsartige Fische halten ihre Wanderung vor beleuchteten Brücken an, weil sie Licht vermeiden wollen oder von Licht angezogen werden. Für Fische bedeutet das mehr Zeit- und Energieaufwand bei der nächtlichen Wanderung. Diese Energie steht nicht zur Verfügung und kann die Fortpflanzung der Tiere gefährden (vgl. Hölker & Tockner, 2013, S. 179-180). Betroffen sind auch hormonell gesteuerte physiologische Prozesse, darunter Fortpflanzung und Nahrungsaufnahme. Die inneren Prozesse werden von Licht synchronisiert und vom Pinealorgan gesteuert. Pinealorgan ist ein Teil des Gehirns wo nachts das Hormon Melatonin produziert wird. Das Hormon synchronisiert viele Körperfunktionen und macht Regeneration möglich. Schon niedrige Beleuchtungsstärken können die Melatoninproduktion bei Fischen nachweisbar unterdrücken (vgl. Brüning & Hölker, 2013, S. 70).

Leibniz-Institute für Plasmaforschung und Technologie e.V. und die TU Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, haben Auswirkungen einer nächtlichen Beleuchtung auf Fische unter Laborbedingungen untersucht. Dabei wurde die Melatoninkonzentration im Aquariumwasser ermittelt. Man verwendete dabei nächtliche Aquariumbeleuchtung mit vier Beleuchtungsstärken ($E = 0; 1; 10$ und 100 Lux). Zusätzlich wurden die Fische roter, grüner und blauer Beleuchtung ausgesetzt um einen möglichen Zusammenhang zu untersuchen. Bei Beleuchtung mit $E = 1$ Lux stellte man eine signifikante Reduktion der Melatoninkonzentration im Aquariumwasser fest. Das beweist, dass die Lichtempfindlichkeit der Fische deutlich unterschätzt wurde. Bei farbiger Beleuchtung wurden kaum messbare Unterschiede festgestellt. Für die Bestimmung eines Schwellenwertes sind allerdings weitere Untersuchungen mit kleineren Beleuchtungsstärken notwendig (vgl. Uhrlandt, 2014, S. 20-21).

Wie schon oben erwähnt gibt es noch keine Grenz- oder Schwellenwerte. Die Werte müssen noch wissenschaftlich genau untersucht und festgelegt werden um eine für Ökosysteme noch

verträgliche Beleuchtung, zumindest in naturnahen Bereichen, zu ermitteln. Noch zu untersuchen bleibt wie weit die Ökosysteme von Lichtverschmutzung betroffen sind und ob Bestände einiger Tiere langfristig gefährdet sind.

Empfehlungen nach Hölker und Tockler (vgl. Hölker & Tockner, 2013, S. 183-184):

1. Schutz besonders sensibler Ökosysteme und naturnahe Räume
2. Keine direkte Beleuchtung von Gewässern
3. Wenig UV- und blaues Licht und zeitliche Begrenzung der Beleuchtung

Meeresschildkröten

Auch Meeresschildkröten sind von den Auswirkungen der künstlichen Beleuchtung betroffen. Schildkröten sind eine der ältesten Reptilien auf unseren Planeten, die überwiegend in tropischen und subtropischen Regionen vorkommen. An der Küste Floridas sind drei Arten der Schildkröten zu finden: Lederschildkröte, grüne Schildkröte und Karettschildkröte. Südöstliche Strände der Halbinsel werden von Tieren als Nistplätze genutzt. Zum Beispiel bauen in einem Jahr 17.000 Karettschildkröten etwa 70.000 Nester und legen zirka 100 Eier pro Nest ab. Nach dem Schlüpfen laufen kleine Tiere Richtung Meer. Durchschnittlich zwei von Einhundert Tieren erreichen die Geschlechtsreife (20-30 Jahre). Nach erfolgreicher Eiablage von Weibchen im Küstensand brauchen die Tiere 45-75 Tage bis sie aus den Eiern schlüpfen und bei Dunkelheit dann Richtung Meer laufen. Die Jungtiere orientieren sich an dem schwachen Mond- und Sternenlicht (vgl. Borgwardt, Tucker, & Mazzarella, 2013, S. 139+140+143).

Untersuchungen in Florida und Costa Rica zeigen, dass Kunstlicht die Nestplatzwahl der Weibchen erheblich beeinflusst. An einem Strand, an dem es noch keine künstlichen Lichtquellen gab, wurden Quecksilberdampflampen installiert. Die Nistaktivität der Tiere ging dabei komplett zurück. Nachdem die Leuchtmittel gegen Natriumdampf-Niederdrucklampen ausgetauscht wurden, konnte man keine Einschränkung mehr für die Tiere feststellen. Die Tiere scheinen für gelbes Licht von Natriumdampf-Niederdrucklampen weniger empfindlich zu sein. Die Weibchen bevorzugen dunkle Strände um Eier abzulegen. Angesichts der wachsenden Weltbevölkerung bleiben weniger dunkle Plätze zur Auswahl, was wiederum eine niedrigere Überlebenschance für Jungtiere bedeutet. Kunstlicht beeinflusst aber auch die Orientierung der Jungtiere nach dem Schlüpfen. Die Tiere werden entweder desorientiert oder fehlorientiert. Bei einer Desorientierung kreisen die Tiere am Strand, bei einer Fehlorientierung laufen die Tiere in die falsche Richtung. Die Überlebenschancen bei einer Fehlorientierung sind viel geringer als bei einer Desorientierung. Eine Studie über fast 10 Jahre hat die Fälle der Desorientierung untersucht und dokumentiert. Während im Jahr 2001 Wissenschaftler 741 Fälle von desorientierten Jungtieren registriert haben, sind im Jahr 2010 schon 1.513 Fälle registriert worden. Geschlechtsreife Schildkröten sind weniger davon betroffen. Im Jahr 2001 hat man insgesamt 19 Vorfälle mit desorientierten Tieren gezählt, im Jahr 2010 waren es 82. Die Gesamtzahl der betroffenen Jungtiere im Jahr 2001 lag bei 28.674,

im Jahr 2009 waren es schon 49.623 Individuen. Wissenschaftler gehen davon aus, dass jährlich zehntausende Jungtiere wegen Fehlorientierung infolge von künstlicher Beleuchtung sterben (vgl. Borgwardt, Tucker, & Mazzarella, 2013, S. 143-147).

Empfehlung nach Borgwardt, Tucker und Mazzarella (vgl. Borgwardt, Tucker, & Mazzarella, 2013):

1. Einsatz von Filtern, die kurzwellige Lichtanteile zum Beispiel einer Natriumdampf-Hochdrucklampe herausfiltern oder Einsatz von Natriumdampf-Niederdrucklampen
2. Abschaltung der Beleuchtung während Nist- und Schlüpfzeiten

5.3 Auswirkungen für Sternbeobachtung

In Deutschland leben 75 Prozent der Menschen im urbanen Raum. Tendenz steigend. Jeden Tag wird in Deutschland eine Fläche von 1.134.000 m² für Gebäude und Straßen verbaut⁵ (vgl. Koch, 2015, S. 115). Das hat zur Folge, dass die Städte sehr schnell wachsen. Viele Sternwarten, die früher außerhalb der Städte gebaut wurden, stehen plötzlich mitten in einer Stadt oder in einem Wohngebiet. Wegen zu hoher Lichtemissionen von Außenbeleuchtung ist eine Sternenbeobachtung unmöglich und die Sternwarten müssen geschlossen werden. Astronomen waren die ersten Wissenschaftler, welche die Folgen der Lichtverschmutzung erkannt haben. Später wurden sie von Biologen und Medizinern unterstützt (vgl. Klaus, Kägi, Kobler, Maus, & Righetti, 2005, S. 15). Die zunehmenden Lichtemissionen waren der Grund, warum moderne Großsternwarten überwiegend auf Berggipfeln weit weg von menschlicher Zivilisation, wo man mindestens 200-300 klare Nächte pro Jahr erwartet, gebaut wurden (vgl. Posch, 2013, S. 36). Außerdem herrschen auf hohen Gipfeln bessere klimatische Bedingungen für Sternbeobachtungen (viele klare Nächte im Jahr). Damit können hohen Investitionen in die Forschung effizient genutzt werden.

Nicht nur Astronomen sind von Lichtverschmutzung betroffen. Zwei Drittel der Weltbevölkerung und 99 Prozent der Menschen in Westeuropa und Nordamerika leben in Regionen, in denen es nie wirklich dunkel wird. Für 20 Prozent der Weltbevölkerung und die Hälfte der Anwohner Westeuropas ist es nicht möglich, die Milchstraße mit bloßem Auge zu sehen (vgl. Klaus, Kägi, Kobler, Maus, & Righetti, 2005, S. 12).

Aufgrund der über Jahre zunehmenden Anzahl und wachsenden Intensität von Außenleuchten ist dies die Hauptursache für die Himmelsaufhellung. Die Lichtverschmutzung breitet sich auf früher noch dunkle Orte weiter aus (siehe [Abbildung 19 auf Seite 40](#)). Das hat zur Folge, dass die lichtschwachen Sterne mit bloßem Auge nicht mehr sichtbar sind. Es gibt immer weniger Orte an denen Sternbeobachtung möglich ist (siehe [Abbildung 24 auf Seite 60](#)). Sternbeobachtung ist für

⁵ bei einer Fußballfeldgröße von 120m*90m*105 Fußballfeldern

Wissenschaftler, Astronomen, Amateurastronomen und auch für Kinder wichtig. Dunkle Orte müssen vor Kunstlicht geschützt werden (vgl. Hänel, 2013b, S. 59+67).

Empfehlung nach Hänel (vgl. Hänel, 2013b, S. 70-79):

1. Abschirmung und Lenkung einer Leuchte (kein Lichtaustritt im oberen Halbraum)
2. Leuchtmittel mit wenig Blauanteilen im Bereich (440-540 nm), zum Beispiel Natriumdampflampen oder warmweiße LED mit einer Farbtemperatur von 3.000 Kelvin
3. Reduzierung der Lichtstärke in späteren Nachtstunden, eventueller Einsatz von Bewegungsmeldern
4. Begrenzung der Lichtmenge von Werbebeleuchtungen

5.4 Änderung der Nachtlandschaft

Die natürliche Nachtlandschaft wird durch Kunstlicht aufgehellt und somit stark geändert. In urbanen Räumen ist es nicht mehr möglich eine natürliche dunkle Nacht zu erleben. Die Nachtlandschaft ist genauso wie die Taglandschaft ein Teil des Oberbegriffes Landschaft und beiden Begriffe müssen gemeinsam betrachtet werden.

Der Schutz der Nachtlandschaft gehört zu den Aufgaben des Natur- und Landschaftsschutzes. Die Schutzmaßnahmen wurden aber ausschließlich auf die Taglandschaft fokussiert. Die Nachtlandschaft soll genauso wie die Taglandschaft geschützt werden. Nach Held, Hölker und Jessel: *„Die Nacht ist aber nicht nur die Hälfte des Tages. Vielmehr handelt es sich beim Tag-Nacht-Rhythmus um einen der grundlegenden Rhythmen des Lebens“*. Wenn man Nachtlandschaft schützt, schützt man gleichzeitig Menschen, Tiere, Pflanzen sowie ganze Ökosysteme, die ihre inneren und äußeren Prozesse im Laufe der Evolution auf den Tag-Nacht-Wechsel eingestellt haben. Ca. 30 Prozent der Wirbeltiere und mehr als 60 Prozent der wirbellosen sind nachtaktiv. Diesen Tieren wird möglicherweise nachts der Raum durch Kunstlicht weggenommen. Einige Tiere können sich relativ gut an die neuen Verhältnisse anpassen, einige eher weniger gut und werden so in ihrem Verhalten eingeschränkt, mit schwer absehbaren Folgen. Angesichts zunehmender Lichtverschmutzung (6 Prozent jährlich) findet man immer weniger dunkle Nachtlandschaften (vgl. Held, Hölker, & Jessel, 2013, S. 13).

Empfehlung nach Haber (vgl. Haber, 2013, S. 22):

1. genügend große Bereiche des Landes von nächtlicher Beleuchtung ausnehmen (Sternenparks)
2. Form und Anordnung der Lichtquellen umweltbewusst einsetzen

6 Bewertungsmethoden. Emissions- und Immissionsgrenzwerte

Dieses Kapitel befasst sich mit verschiedenen Bewertungsmethoden und gibt eine kurze Übersicht. Die Bewertungsmethoden lassen sich nicht nur in Zusammenhang mit Lichtverschmutzung anwenden, sondern können auch auf die Bewertung von allen Lichanlagen übertragen werden. Außerdem werden Grenzwerte für Lichtimmissionsbewertung, Blendung von Verkehrsteilnehmern und Himmelsaufhellung genannt.

6.1 Bewertungsmethoden eine Übersicht

Das Ziel jeder Bewertungsmethode ist verschiedene Lichanlagen mit Hilfe vorher festgelegter Kriterien untereinander zu vergleichen. Man unterscheidet dabei zwischen Bewertung einer zu planenden Lichanlage und einer bereits bestehenden Lichanlage.

Die erste Bewertungsmethode ist eine *visuelle Bewertung*. Bei dieser Methode wird eine bestehende Lichanlage von mehreren Testpersonen oder einem Lichtplaner vor Ort visuell bewertet. Mögliche Bewertungskriterien nach der Fördergemeinschaft Gutes Licht sind: Beleuchtungsniveau und Blendungsbegrenzung, Farbwiedergabe und harmonische Helligkeitsverteilung, Schattigkeit, Lichtfarbe und Lichtrichtung (vgl. Fördergemeinschaft Gutes Licht, 2008, S. 15). Zu den möglichen Bewertungskriterien kann noch Erkennbarkeit von Objekten hinzugefügt werden. Diese Methode ist allerdings eine subjektive Methode und kann nur in Verbindung mit der zweiten Methode zuverlässige Ergebnisse liefern.

Die zweite Methode ist eine *messtechnische Bewertung*. Bei dieser Methode wird eine bestehende Lichanlage messtechnisch bewertet. Das heißt mit Hilfe von Messgeräten werden alle relevanten lichttechnischen Messwerte (wie zum Beispiel Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte) von einem geschulten Techniker vor Ort aufgenommen und später ausgewertet. Die Bewertungskriterien sind die gleichen wie bei einer *visuellen Bewertung*. Die Messergebnisse können dann zum Beispiel in eine Lichtimmissionsbewertung einer Anlage einfließen. Diese Methode lässt sich nur auf bereits bestehende Anlagen anwenden. Die zweite Methode ist genauer als die erste Methode, ist allerdings mit einem höheren Kosten- und Zeitaufwand verbunden. Es bietet sich an die erste und die zweite Methode zu verbinden um eine aussagekräftige Bewertung zu erreichen.

Die dritte Methode ist eine *simulationsbasierte Bewertung* und lässt sich sowohl auf bestehende als auch auf zu planende Anlage anwenden. Diese Methode wird mit Hilfe von gängigen Simulationssoftwares umgesetzt. Der Fokus wird dabei auf die Berechnung aller relevanten lichttechnischen Parameter auf einer Nutzfläche gelegt. Die dritte Methode macht die Auslegung einer Lichanlage schon im Vorfeld, also während der Planungsphase, möglich. Da die Auslegung einer Lichanlage in der Planungsphase festgelegt wird, ist eine Berücksichtigung der

Lichtimmissionen zu der Zeit entscheidend. Heute gängige Simulationsprogramme wie DIALux und RELUX haben die Möglichkeit zur Bewertung von Lichtimmissionen nicht ausreichend integriert.

6.2 Grundlagen für Bewertungsmethoden in Deutschland

Im Jahr 2003 hat die Internationale Beleuchtungskommission CIE den „Leitfaden zur Begrenzung der Störwirkungen von Außenbeleuchtungsanlagen“ **CIE 150:2003** veröffentlicht. Der Leitfaden definiert Grenzwerte für insgesamt vier Umweltzonen in Abhängigkeit von der Umgebungshelligkeit. Als Bewertung wurden in **CIE 150:2003** folgende Kriterien eingeführt: Raumaufhellung für Anwohner; Blendung für Anwohner; Blendung für Verkehrsteilnehmer, Himmelsaufhellung. Die obengenannten Kriterien wurden in zwei europäischen Normen (**DIN EN 12464-2:2014** und **DIN EN 12193:2008**) als Empfehlung für die Reduzierung der Störwirkung übernommen. In der Praxis werden in Deutschland die LAI-Hinweise als Grundlage für die Immissionsbewertung verwendet. Somit sind die Grenzwerte aus **CIE 150: 2013** für Raumaufhellung und Blendung für Anwohner in Deutschland nicht relevant. LAI-Hinweise definieren die Grenzwerte für Raumaufhellung und Blendung für vier verschiedene Gebietsarten, die nach Baunutzungsverordnung (BauNVO) genau klassifiziert sind (siehe [6.2.1 Lichtimmissionsbewertung nach LAI-Hinweisen auf Seite 58](#)). Die Blendungsbewertung von Verkehrsteilnehmern durch verkehrsfremde Anlagen beschreibt die **CIE 150: 2003**. Für Regelung und Begrenzung der Himmelsaufhellung werden für Sterneparks in Deutschland die Grenzwerte aus **CIE 150: 2003** modifiziert übernommen (siehe [Kapitel 6.2.4 Beleuchtungsrichtlinien für Sterneparks auf der Seite 61](#)).

6.2.1 Lichtimmissionsbewertung nach LAI-Hinweisen

LAI-Hinweise (Hinweise zur Messung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) von 2012) sind die Grundlage für eine Lichtimmissionsbewertung in Deutschland. Eine Lichtimmissionsbewertung besteht aus zwei Bereichen: Raumaufhellung und Blendung. Als Immissionsort werden Wohnbereiche wie Schlaf- und Wohnzimmer sowie Terrasse oder Balkon definiert. Schutzwürdige Räume nach LAI sind: Wohn- und Schlafräume, Unterrichtsräume in Schulen und Hochschulen, Büro-, Praxis- und Schulungsräume. Die Störwirkung soll durch eine Beleuchtungsanlage hervorgerufen werden. Ausgenommen aus dieser Regelung sind öffentliche Straßenbeleuchtungsanlagen. Die Tabelle 6 stellt die Immissionsrichtwerte für Raumaufhellung dar. Die Immissionsrichtwerte sind als vertikale

mittlere Beleuchtungsstärken an Fensterebenen je nach Gebietsart und Uhrzeit festgelegt. Die maximalen Richtwerte am Immissionsort (je nach Anwendung und Baunutzungsverordnung) sind maßgebend und können von den Richtwerten am Emissionsort abweichen. Zum Beispiel, wenn eine Leuchte in einem Gewerbegebiet installiert ist und eine Störwirkung an einem

	Immissionsort (Einwirkungsort) Gebietsart nach § BauNVO [2]	mittlere Beleuchtungsstärke \bar{E}_F in lx	
		06 Uhr bis 22 Uhr	22 Uhr bis 06 Uhr
1	Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten ¹⁾	1	1
2	reine Wohngebiete (§ 3) allgemeine Wohngebiete (§ 4) besondere Wohngebiete (§ 4 a) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2) Erholungsgebiete (§ 10)	3	1
3	Dorfgebiete (§ 5) Mischgebiete (§ 7)	5	1
4	Kerngebiete (§ 7) ²⁾ Gewerbegebiete (§ 8) Industriegebiete (§ 9)	15	5

Tabelle 6 Immissionsrichtwerte für Raumaufhellung (LAI-Hinweise. 2012 S 5)

Immissionsort (zum Beispiel Kurgebiet) hervorruft, gelten dann Immissionsrichtwerte am Immissionsort und nicht am Emissionsort. Zu beurteilen sind Lichtanlagen welche mehrmals in der Woche für länger als eine Stunde geschaltet werden. Wird die Bedingung nicht erfüllt ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig. Dabei sollen die Helligkeit der Umgebung sowie mögliche Minderungsmaßnahmen mitberücksichtigt werden (vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 4-6).

Ändert eine Lichtanlage ihren Betriebszustand schneller als im 5 Minuten-Takt, sollen die maximalen mittleren Beleuchtungsstärken mit einem Faktor aus der Tabelle 5 multipliziert werden. Werden

Periodendauer	Faktor Wechsellicht bei	Frequenz	Faktor Wechsellicht bei
≥ 5 min	1	> 0,67 bis 18 Hz	5
5 min bis 4 s	1,5	19 bis 24 Hz	3
4 s bis 2 s	2	25 bis 30 Hz	2
2 s bis 1,5 s	3	> 30 Hz	1
Fortsetzung rechts			

Tabelle 5 Faktoren bei Wechsellicht (LAI-Hinweise. 2012 S 6)

die Werte für die Raumaufhellung in der Tabelle 6 um 20 Prozent überschritten (die Fehlergrenze

von Messgeräten), dann können behördliche Maßnahmen für eine Reduzierung der Störwirkung für die Anwohner eingeleitet werden (vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 6). Mehr zu rechtlichen Grundlagen im Kapitel 7 Juristische, politische und gesellschaftliche Ansätze zur Vermeidung von Lichtverschmutzung ab der Seite 63.

Bei einer *Blendungsbewertung* wird das Blendmaß k_s als ein Kriterium zur Bewertung psychologischer Blendung angewendet und wird wie folgt definiert:

$$k_s = L_s \times \sqrt{\frac{\Omega_s}{L_u}}$$

L_s : Leuchtdichte der Blendlichtquelle

Ω_s : Raumwinkel der vom Immissionsort aus gesehenen Blendlichtquelle in sr

L_u : Maßgebende Leuchtdichte der Umgebung der Blendlichtquelle in cd/m^2 , falls die aus Messungen ermittelte Umgebungsleuchtdichte kleiner als $0,1 cd/m^2$ ist, wird mit $L_u = 0,1 cd/m^2$ gerechnet.

Die Bewertung kann nur dann eingesetzt werden, wenn direkter Blickkontakt zu einer Blendlichtquelle von einem Immissionsort gegeben ist. Die Tabelle 7 stellt die maximal zulässigen Werte für das Blendmaß k_s dar. Bei Überschreiten der k_s -Werte um 40 Prozent (bei relativem Messfehler von 20 Prozent)

können behördliche Maßnahmen eingeleitet werden (vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 8-9). Weitere Einzelheiten zu

	Immissionsort (Einwirkungsort) (Gebietsart nach § BauNVO) [2]	Immissionsrichtwert k für Blendung		
		6 h bis 20 h	20 h bis 22 h	22 h bis 6 h
1	Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten (§ 3) ¹⁾	32	32	32
2	reine Wohngebiete allgemeine Wohngebiete (§ 4) besondere Wohngebiete (§ 4a) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2) Erholungsgebiete (§ 10)	96	64	32
3	Dorfgebiete (§ 5) Mischgebiete (§ 6)	160	160	32
4	Kerngebiete (§ 7) ²⁾ Gewerbegebiete (§ 8) Industriegebiete (§ 9)	-	-	160

Tabelle 7 Immissionsrichtwerte für Blendmaß k_s (LAI-Hinweise. 2012 S 9)

Blendungsbewertung sowie für eine Messung sind den LAI-Hinweisen zu entnehmen.

6.2.2 TI-Blendungsbewertung

Die TI-Bewertungsmethode wird bei Blendung von Verkehrsteilnehmern verwendet. Nach **DIN EN 13201-2:2004** „**Straßenbeleuchtung-Gütermerkmale**“ wird TI wie folgt definiert: die Schwellenwerterhöhung (TI) ist „*ein Maß für den Verlust von Sichtbarkeit eines Objektes infolge der durch die Leuchte der Straßenbeleuchtung verursachten physiologischen Blendung*“. Die obengenannte Norm empfiehlt Höchstwerte für die Schwellenwerterhöhung (TI) in Prozent in Abhängigkeit von Beleuchtungsklassen. Diese Norm beschreibt die Blendung durch die

Straßenbeleuchtung. Für die Blendungsbewertung durch verkehrsfremde Anlagen für Verkehrsteilnehmer wird die TI-Berechnung nach CIE 150 angewandt. Der Unterschied ist, dass die Adaptionsleuchtdichte nicht berechnet sondern pauschal eingesetzt wird.

6.2.3 Methoden für Bewertung der Himmelsaufhellung

Es gibt verschiedene Methoden um Himmelsaufhellung messtechnisch oder visuell zu bewerten. Die erste Methode ist eine visuelle Methode und beschreibt die Helligkeit des Himmels. Es gibt insgesamt sechs Größenklassen der Grenzhelligkeit von 1 bis 6 mit der Einheit mag. Zur ersten Größenklasse mit 1 mag zählen sehr helle Sterne und die Sterne die gerade noch erkennbar sind ordnet man der sechsten Größenklasse mit 6 mag

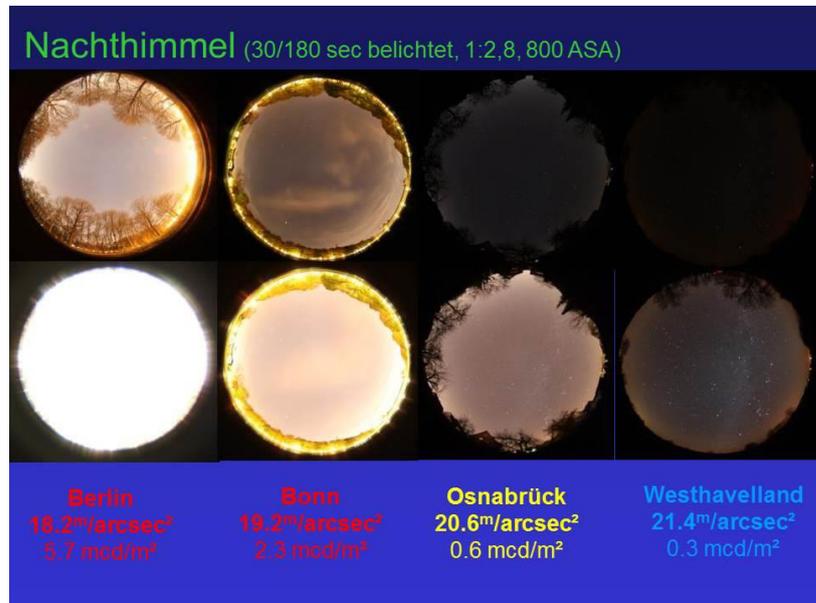


Abbildung 24 SQM mit Fischaugenaufnahmen (Bild Andreas Hänel)

zu. Somit bedeutet eine kleinere Größenklasse eine hellere Umgebung und umgekehrt eine größere Größenklasse eine dunklere Umgebung. In großen Städten sind heutzutage Sterne nur mit 2-3 mag sichtbar. Die Zahl der Sterne, die mit bloßem Auge sichtbar sind, geht von 3.000 auf 100 zurück. Diese Methode ist subjektiv und ungenau. Bei der zweiten Methode werden Satellitendaten ausgewertet. Satelliten können direktes sowie diffuses Licht mit einer Auflösung je nach Messgerät von 1,7 km bis 750 Meter aufnehmen. Gute Ergebnisse kann man auch mit einer Digitalkamera von der Internationalen Raumstation ISS erzielen. Mit Hilfe dieser Daten können dann Karten erstellt werden um die Entwicklung und Zunahme der Lichtverschmutzung über Jahre deutlich zu machen. Die dritte Methode ist eine bodengestützte Methode und wird mit einem Sky Quality Meter (SQM) durchgeführt. Ein SQM ist ein Messgerät welches die Helligkeit des Himmels in einem Öffnungswinkel von 80 Grad und Maximalempfindlichkeit bei 1 % misst. Das Gerät lässt sich optional an einem Rechner anschließen und an verschiedenen Stellen installieren um eine langfristige Entwicklung räumlich und zeitlich erfassen zu können. Diese Methode ist allerdings von natürlichen Faktoren wie Mondlicht, Licht der Milchstraße und Sonnenaktivität sowie Sichtweite und Feuchtigkeit abhängig/beeinflussbar. Das muss bei einer Auswertung der Messergebnisse berücksichtigt werden. Wenn die Faktoren berücksichtigt werden liefert das Gerät auf 10 Prozent genaue Messergebnisse. Typische Werte sind: ideal dunkler Himmel 21,7 mag/arcsec², Helligkeit bei Vollmond 17 mag/arcsec². Das SQM-Messgerät eignet sich zur Bewertung der Maßnahmen

zur Reduzierung der Himmelsaufhellung. Um die SQM-Messwerte anschaulicher und aussagekräftiger zu machen, können zusätzlich Fischaugenaufnahmen mit einer Digitalkamera aufgenommen werden (siehe Abbildung 24). Fischaugenaufnahmen können sogar als Messwerte verwendet werden, wenn die Digitalkamera vorher mit einem SQM-Messgerät kalibriert wurde (vgl. Hänel, 2013b, S. 59-65). Die vierte Methode ist eine flugzeuggestützte Methode, bei der die Aufnahmen von einem Flugzeug aufgenommen und später ausgewertet werden. Die Aufnahmen haben eine hohe Auflösung und man kann eine große Fläche in kurzer Zeit messtechnisch erfassen. Eine Untersuchung der Stadt Berlin hat ergeben: ein Drittel des Lichtes kommt von Straßen (inkl. Straßen-, Werbe- und Autobeleuchtung). Von Industrie- und Gewerbegebieten kommen 16 Prozent des Lichtes nach oben und 9 Prozent kommen von öffentlichen Gebäuden. Bei der Untersuchung wurden 42 Prozent der Fläche Berlins erfasst. Die fünfte Methode ist eine bodengestützte Methode, bei der jede einzelne Lichtquelle erfasst wird. Diese Methode ist zwar sehr zeitaufwendig und teuer liefert aber zuverlässige Ergebnisse (vgl. Kuechly, Kyba, & Hölker, 2013, S. 40-42).

6.2.4 Beleuchtungsrichtlinien für Sterneparks

Die Beleuchtungsempfehlung für Sterneparks wurde von der Fachgruppe Dark Sky Andreas Hänel ausgearbeitet. Als Vorlage wurde eine Empfehlung von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE TP 150-2003) genommen. Die Grenzwerte wurden dabei zum Teil neu gesetzt. Das Ziel dieser Empfehlung ist eine natürliche nächtliche Landschaft von noch dunklen Gebieten zu erhalten und eine Pufferzone als Schutzmaßnahme um diese Gebiete herum zu schaffen. Man unterscheidet zwischen drei Zonen. Die Tabelle 8 stellt die drei Zonen dar (vgl. Hänel, 2013a, S. 4).

Zone	Umgebung	Licht-Umgebung	Beispiele
E0	natürlich	natürliche Dunkelheit	Kernregion von Sterneparks
E1	natürlich	natürliche Dunkelheit	Nationalparks, geschützte Flächen
E2	ländlich	geringe Helligkeit	ländliche Industrie- und Wohngegenden

Tabelle 8 Definition von Zonen der Sterneparks (Beleuchtungsempfehlung für Sterneparks. A.Hänel 2012 S 1)

In der Kernzone E0 darf keine stationäre Beleuchtung außerhalb von Gebäuden installiert sein. Wenn aus Sicherheitsgründen künstliche Beleuchtung doch benötigt wird, dürfen nur voll abgeschirmte Leuchten installiert werden. Außerdem darf die installierte Beleuchtung kein Licht im oberen Halbraum (ULOR = 0%) ausstrahlen. Nur Leuchtmittel mit geringen Blauanteilen (maximal 10 Prozent unterhalb der Wellenlänge von 500 nm) dürfen eingesetzt werden. Natriumdampflampen und LED (zum Beispiel PC amber) mit einer Farbtemperatur von weniger als 2.000 Kelvin dürfen eingesetzt werden. Es wird noch gefordert die Lichtmenge bedarfsorientiert, zum Beispiel mit einer Lichtsteuerung, zu steuern. Die Lichtmenge ist zwischen 22:00 und 5:30

Uhr auf ca. 50 Prozent zu reduzieren. Diese Empfehlung für die Kernzone E0 gilt für alle Beleuchtungsanlagen und muss im Laufe eines Jahres umgesetzt werden (vgl. Hänel, 2012, S. 4).

Die Pufferzone E1 grenzt direkt an die Kernzone E0. Die vertikale Beleuchtungsstärke darf an der Grenze zu Pufferzone E0 den Wert von 0,1 Lux ($E_v \leq 0,1 \text{ Lux}$) nicht überschreiten. Es dürfen wieder nur voll abgeschirmte Leuchten mit keinem Licht im oberen Halbraum (ULOR = 0 %) eingesetzt werden. Bei Leuchten mit einer Lichtmenge von weniger als 1.000 Lumen (wie zum Beispiel einer Halogenlampe 55 W, Kompaktleuchtstofflampe 15 W, LED 10 W) wird ULOR < 20 Prozent erlaubt. Nur Leuchten mit geringen Blauanteilen (maximal 20 Prozent unterhalb der Wellenlänge von 500 nm) dürfen eingesetzt werden. Leuchten mit einer Farbtemperatur von nicht höher als 3.000 Kelvin sind einzusetzen. Es wird noch gefordert die Lichtmenge bedarfsorientiert, zum Beispiel mit einer Lichtsteuerung, zu steuern. Die Lichtmenge ist zwischen 22:00 und 5:30 Uhr auf ca. 50 Prozent zu reduzieren. Fassadenbeleuchtungen sind nur in Ausnahmen mit maximaler Leuchtdichte von 2 cd/m^2 möglich. Projektionstechnik, Gobos oder Anstrahlung von oben soll bei Fassadenbeleuchtung angewendet werden um das Licht nur auf die zu beleuchtete Fläche zu lenken. Es dürfen keine Bodenstrahler oder Skybeamer eingesetzt werden. Lichttafeln dürfen eine Oberflächenleuchtdichte von 50 cd/m^2 nicht überschreiten. Gewerbebeleuchtung soll 30 Minuten nach Geschäftsschluss ausgeschaltet und vor Geschäftsbeginn wieder eingeschaltet werden. Diese Regelungen werden auf sanierungsbedürftige und neuinstallierte Lichtanlagen angewendet (vgl. Hänel, 2012, S. 5-6).

Die Außenzone E2 grenzt an die Pufferzone E1. In bebauten Gebieten dürfen abgeschirmte Leuchten mit ULOR < 3 % eingesetzt werden. Empfohlen werden Leuchten mit ULOR = 0 %. Nur Leuchten mit geringen Blauanteilen (maximal 27 Prozent unterhalb der Wellenlänge von 500 nm) dürfen eingesetzt werden. Leuchten mit einer Farbtemperatur von nicht höher als 3.000 Kelvin sind einzusetzen. Eine Lichtsteuerung soll die Lichtmenge bedarfsorientiert zwischen 24:00 und 5:00 Uhr auf ca. 50 Prozent reduzieren. Leuchttafeln dürfen maximal eine Leuchtdichte von 100 cd/m^2 haben. Fassadenbeleuchtungen dürfen maximal 5 cd/m^2 haben. Gewerbebeleuchtung soll 60 Minuten nach Geschäftsschluss ausgeschaltet und vor Geschäftsbeginn wieder eingeschaltet werden. Diese Regelungen werden auf sanierungsbedürftige und neuinstallierte Lichtanlagen angewendet (Hänel, 2012, S. 6).

7 Juristische, politische und gesellschaftliche Ansätze zur Vermeidung von Lichtverschmutzung

Dieses Kapitel befasst sich mit gesetzlichen Grundlagen und Regelungen von Lichtimmissionen in Deutschland und gibt einen kurzen Überblick auf die Situation und die Steuerungsmöglichkeiten in anderen Ländern. Außerdem werden politische und gesellschaftliche Ansätze und Mechanismen zur Vermeidung von Lichtimmissionen und Lichtemissionen behandelt.

7.1 Rechtslage in Deutschland

Nach Röger *„Der Schutz vor Lichtimmissionen wird weder umweltvölkerrechtlich noch durch Rechtsakte der Europäischen Union geregelt“* (Röger, 2014, S. 177).

Wie das Zitat oben bestätigt gibt es in Deutschland keine verbindliche Grundlage für die Regelung von Lichtimmissionen. In Bereichen wie Lärm- und Luftschutz ist die Situation anders. Es gibt zwei technische Regelwerke. Die technische Anleitung zum Schutz vor Lärm (TA Lärm) und die technische Anleitung zum Schutz der Luft (TA Luft). Diese technischen Anleitungen definieren Grenzwerte für Lärmschutz und Schutz der Luft und sind für Betreiber der Anlagen im Sinne des Immissionsschutzes verbindlich. Die Bund- und Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat im Jahr 2012 die „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ überarbeitet und veröffentlicht (vgl. Hofmeister, 2013, S. 133). Dort sind Immissionsrichtwerte für Raumaufhellung und Blendung in Abhängigkeit von Gebietsart nach Baunutzungsverordnung (BauNVO) und Uhrzeit definiert (siehe [Kapitel 6.2.1 Lichtimmissionsbewertung nach LAI-Hinweisen auf Seite 58](#)). Die öffentliche Straßenbeleuchtung ist allerdings aus dieser Regelung rausgenommen. Nach Maaß *„LAI-Hinweise werden von den Gerichten oft als „Anhalt“ oder „Indiz“ für die Auslegung des Tatbestandsmerkmals der Erheblichkeit herangezogen“* (...) *„die Licht-Richtlinie der LAI gilt nur für die Bestimmung der Erheblichkeitsschwelle von Belästigung und Nachteilen durch Lichtwirkungen auf Menschen“* (Maaß, 2003, S. 15). Somit beschränken sich die LAI-Hinweise nur auf die Lichteinwirkungen auf Menschen.

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Laut Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) § 3 Abs. 2 gehört Licht zu Immissionen. Nach §1 Abs. 1 des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) *„Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen“*. Schädliche Umwelteinwirkungen werden in dem BImSchG § 3 Abs. 1 wie folgt definiert: *„Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet*

sind, Gefahren, erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen“. Die Frage, wann man von „erheblicher“ Belästigung spricht, ist entscheidend (vgl. Maaß, 2003, S. 15)

Erhebliche Belästigungen ausgelöst durch Kunstlicht werden nach Röger wie folgt definiert: „eine erhebliche Belästigung durch Licht liegt immer vor, wenn die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit des Einzelnen direkt oder indirekt beeinträchtigt wird, wodurch mittelbar Gefahren unter anderem auch für die Gesundheit entstehen“. „Belästigungen durch zu hohe Leuchtdichtenunterschiede (psychologische Blendung) oder Beleuchtungsstärken (Raumaufhellung) stellen die häufigste Form schädlicher Umwelteinwirkungen durch Lichtimmissionen im Umweltschutz dar. Hier spielen oftmals eine Störung der Nachtruhe, zum Beispiel Schlafstörungen, oder eine Beeinträchtigung des freien Blickfeldes nach außen die entscheidende Rolle“ (Röger, 2014, S. 162).

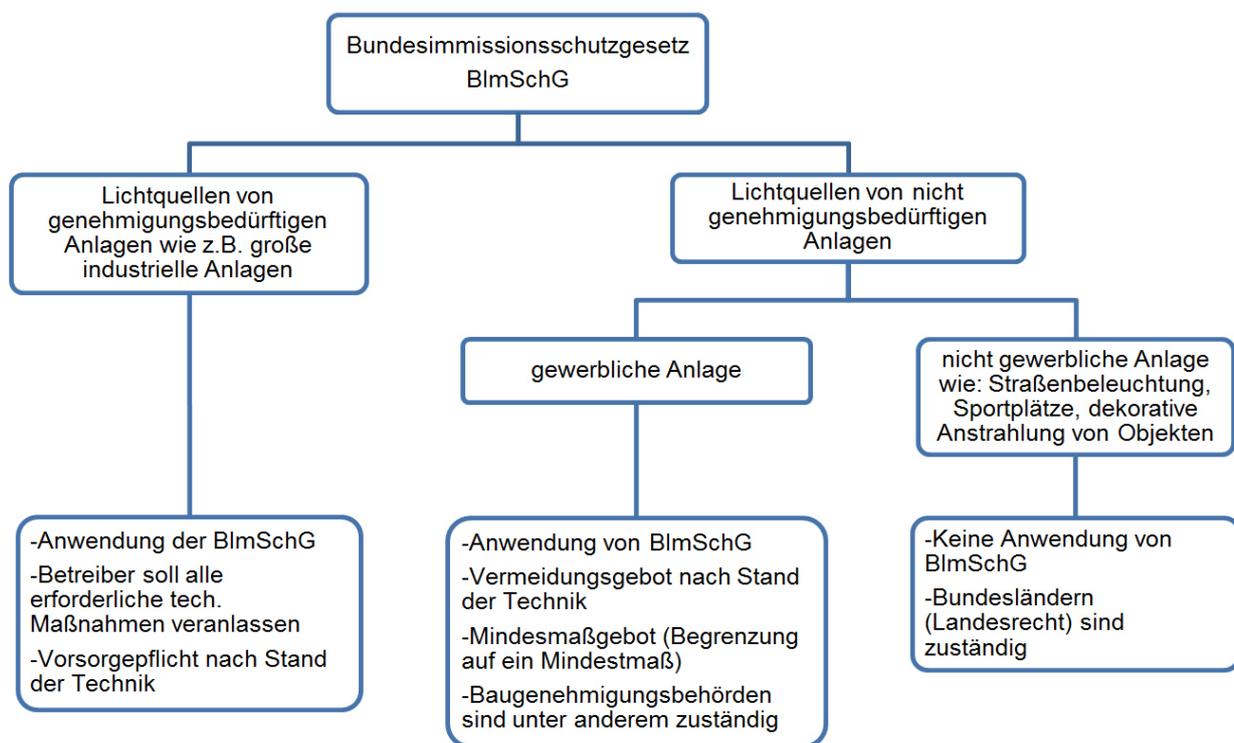


Abbildung 25 BImSchG eine Übersicht

Die Abbildung 25 zeigt wie künstliche Lichtquellen je nach Anwendung nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) zu klassifizieren sind. Wenn festgestellt wurde, dass eine Lichanlage schädliche Umwelteinwirkungen und erhebliche Nachteile für die Allgemeinheit darstellt, muss zunächst zwischen *genehmigungsbedürftigen* und *nicht genehmigungsbedürftigen* Anlagen unterschieden werden (siehe Abbildung 25). Zu *genehmigungsbedürftigen* Anlagen gehören zum Beispiel große Industrieanlagen, die besondere Umweltrisiken darstellen. Die *genehmigungsbedürftigen* Anlagen fallen unter die Anwendung des BImSchGs. Der Betreiber soll alle erforderlichen technischen Maßnahmen zur Vermeidung der schädlichen Umwelteinwirkungen unabhängig von der Höhe der Kosten veranlassen. Außerdem trägt der Betreiber die

Vorsorgepflicht, die Immissionen seiner Anlage nach Stand der Technik zu begrenzen. Es dürfen allerdings keine unverhältnismäßigen Maßnahmen erwartet werden (vgl. Maaß, 2003, S. 17-19).

Bei Lichtquellen von *nicht genehmigungsbedürftigen* Anlagen muss zusätzlich zwischen *gewerblichen* und *nicht gewerblichen* Anlagen unterschieden werden (siehe Abbildung 25). *Gewerbliche* Anlagen sind ein Teil der Anwendung des BImSchGs (§22 Abs. 1 S. 3). Schädliche Umwelteinwirkungen sind auch hier nach Stand der Technik zu vermeiden. In diesem Fall werden schädliche Umwelteinwirkungen bis zu einem gewissen Grad toleriert. Als Grundlage für Vermeidung bzw. Reduzierung von schädlichen Umwelteinwirkungen wird auf technische Möglichkeiten von der Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) verwiesen. Wenn schädliche Umwelteinwirkungen trotz technischer Maßnahmen unvermeidbar sind, sollen sie auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Bei *nicht gewerblichen* Anlagen kann das BImSchG nicht angewendet werden. Die Bundesländer stellen hier die Gesetzgebungskompetenz in der Form von Landesimmissionsschutzrecht und Landesrecht oder Polizei- und Ordnungsgesetz. Zu *nicht gewerblichen* Anlagen gehören zum Beispiel Straßenbeleuchtung, Flutlichtanlagen von Sportplätzen und dekorative Anstrahlungen von Kirchen und Denkmälern (vgl. Maaß, 2003, S. 19-21).

Der Anwendungsbereich des BImSchG nach Röger: *„Für die Erheblichkeit durch Lichtimmissionen kommt es auf die objektive Gesamtbelastung am Einwirkungsort an. Die Einwirkungen insbesondere durch Straßenbeleuchtungen sind hierbei miteinzubeziehen. Der Betroffene muss jedoch auch zumutbaren Selbstschutz vor Lichtimmissionen betreiben“* (Röger, 2014, S. 179).

LAI-Hinweise

Es gibt keine verbindliche Grundlage, ab wann Lichtimmissionen zu erheblichen Belästigungen führen können. „Hinweise zu Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Lichtimmissionsschutz“ (LAI-Hinweise) liefern eine einheitliche Bewertungsmethode für Messung und Bewertung von Lichteinwirkungen. Die LAI-Hinweise sind allerdings **nicht** rechtsverbindlich (vgl. Röger, 2014, S. 163). *„LAI-Hinweise sollen den Umweltschutzbehörden in den Ländern als einheitliche Bewertungsgrundlage für Lichtimmissionen dienen und konkretisieren die Regelungen des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG)“* (Rehmann, 2013, S. 16). Die LAI-Hinweise sind ein Beurteilungssystem für eine zuständige Behörde im Sinne des Begriffes „schädliche Umwelteinwirkungen“ des Bundesimmissionsschutzgesetzes (vgl. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), 2012, S. 2). Die Einzelheiten zur Bewertung nach LAI-Hinweisen können im Kapitel 6.2.1 Lichtimmissionsbewertung nach LAI-Hinweisen auf Seite 58 nachgeschlagen werden.

Ein Beispiel: bei Außensportlichtanlagen soll zwischen fachlicher und rechtlicher Beurteilung unterschieden werden. Aus fachlicher Sicht wird empfohlen, Immissionsrichtwerte aus LAI-Hinweisen bei einer Planung bzw. einer Beurteilung einer schon bestehenden Lichtanlage durch Messung vor Ort zu berücksichtigen. Aus rechtlicher Sicht ist es fraglich ob die Immissionsrichtwerte aus LAI-Hinweisen in diesem Beispiel eingehalten werden sollen, weil das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) nicht auf Sportplatzbeleuchtung angewendet werden kann (siehe Abbildung 25 auf Seite 64). In diesem Fall ist das Umweltministerium und Gerichte zuständig (Kindel, 2015).

Bauordnungsrecht

Das Bauordnungsrecht hat die Möglichkeit Beeinträchtigungen für Natur und Landschaft, ausgelöst durch Lichtimmissionen, zu vermeiden bzw. zu reduzieren, indem zum Beispiel Gebiete (Industrie- und Wohngebiete) räumlich voneinander getrennt werden (vgl. Hofmeister, 2013, S. 134).

„Die Bauleitplanung verfügt über Möglichkeiten, Lichtquellen eigenständig zu behandeln oder als Teil eines (Bau-) Vorhabens und damit den – nach Bereichen und Vorhabenprivilegien zu differenzieren“ (...) „es gilt das Merkmal des „Einfügens“ in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit, der Schutzwürdigkeit und -bedürftigkeit der Akzeptoren in der Umgebung“ (Hofmeister, 2013, S. 134).

Naturschutz

Lichtimmissionen können auch vom Naturschutz geregelt werden. Allerdings muss die Erheblichkeit und Nachhaltigkeit einer Beeinträchtigung nachgewiesen werden. Beeinträchtigungen wie Veränderungen des Landschaftsbildes und Beeinträchtigungen der Funktionen des Naturhaushaltes sind dabei gemeint. Wegen fehlender naturwissenschaftlicher Untersuchungen in diesen Bereichen ist es fraglich, ob dies auch in der Praxis umsetzbar ist. Es wird stattdessen auf Vermeidungsmaßnahmen hingewiesen (vgl. Hofmeister, 2013, S. 135).

7.2 Politische Ansätze auf der internationalen Ebene

In diesem Kapitel wird eine Übersicht von Organisationen zusammengestellt, die im Bereich Außenbeleuchtung und Lichtverschmutzung auf der internationalen Ebene aktiv sind.

UNESCO

UNESCO ist eine internationale Organisation mit insgesamt 193 Mitgliedstaaten. Zu ihren Themengebieten zählen: Bildung, Wissenschaft, Kultur und Kommunikation. Die Organisation befasst sich mit dem Thema Lichtverschmutzung. In der Stellungnahme aus dem Jahr 1992 hat

UNESCO ihre Mitgliedstaaten aufgerufen, Schutzmaßnahmen für den Schutz des Nachthimmels und den Sternwarten umzusetzen. Es wurde sogar vorgeschlagen wichtige Sternwarten als Welterbe zu schützen. Das Jahr 2009 war das Jahr der Astronomie. Die UNESCO setzte sich für die Aufklärung zum Schutz des Nachthimmels in Form von verschiedenen Veranstaltungen und Veröffentlichungen ein (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 12-13).

Europarat

Zum Europarat gehören 47 Mitgliedstaaten, die das Ziel haben einen gemeinsamen demokratischen und rechtlichen Raum auf dem Europakontinent zu schaffen. Im Jahr 2008 fand eine Versammlung des Europarates zu dem Thema Lichtverschmutzung („Noise and light pollution: serious risks for the environment“) statt. Im Jahr 2010 wurde eine Resolution (1776 Noise and Light Pollution) verabschiedet. Die Mitgliedstaaten haben beschlossen Maßnahmen zur Reduzierung und Kontrolle künstlicher Beleuchtung sowie Bestimmung der Obergrenzen für Beleuchtung und Standardisierung der Bewertungsmethoden zu ergreifen. Außerdem wurde beschlossen das Thema in Schulen zu integrieren. Den Mitgliedstaaten wurde noch empfohlen ihre Gesetze zu Lärm- und Lichtverschmutzung zu überprüfen (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 16-17).

Europäische Union

Die Europäische Union hat einen größeren Einfluss und kann die öffentliche Beleuchtung über Gesetzgebungs- und Gestaltungskompetenz steuern. Im Bereich Beleuchtung hat die europäische Union im Jahr 2008 die „20-20-20-Ziele“ beschlossen. Im Mittelpunkt stehen dabei Klima- und Energiepolitik mit dem Ziel dem Klimawandel gegenzusteuern und die Wettbewerbsfähigkeit der EU zu fördern. Bis zum Jahr 2020 sollen 20 Prozent weniger Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen sowie 20 Prozent der Energie aus erneuerbaren Energiequellen stammen und 20 Prozent weniger Energie durch steigende Energieeffizienz verbraucht werden (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 17-18).

Nach EG-Verordnung 245/2009 werden ineffiziente Leuchtstofflampen ohne eingebautes Vorschaltgerät sowie ineffiziente Hochdruckentladungslampen bis zum Jahr 2017 schrittweise vom Markt genommen. Die EU will mit dieser Regelung die Energieeffizienz weiter steigern. Damit wird außerdem Druck auf die Industrie ausgeübt, die Energieeffizienz von Leuchtmitteln weiter zu steigern. Kommunen sind auch davon betroffen und indirekt gezwungen auf andere Leuchtmittel und Technologien umzusteigen und die alten Lichtanlagen umzurüsten, weil die oben genannten Leuchtmittel als Ersatz dann nicht mehr verfügbar sind. Die EU fördert auch viele Projekte und Förderprogramme in denen Energieeffizienz und auch Lichtverschmutzung im Vordergrund stehen. Im Jahr 2010 nahm der Ausschuss für Umweltfragen, Volksgesundheit und Lebensmittelsicherheit

offiziell Stellung zum Thema Lichtverschmutzung: es sei möglich „gleichzeitig gegen Umweltbelastung durch Licht vorzugehen und die Energieeffizienz zu steigern, indem die herkömmliche öffentliche Beleuchtung und die Anstrahlung touristisch bedeutsamer Gebäude in den Städten durch eine effiziente und gezieltere Beleuchtung ersetzt wird“ (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 18-24).

7.3 Politische Ansätze auf der Bundesebene

In diesem Kapitel wird eine Übersicht über Ämter zusammengestellt, die im Bereich Außenbeleuchtung und Lichtverschmutzung auf der Bundesebene aktiv sind.

BMU

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) fördert zahlreiche Projekte von Kommunen, sozialen und kulturellen Einrichtungen im Rahmen einer Klimaschutzinitiative. Im Fokus steht Modernisierung von Außen- und Straßenbeleuchtung gebunden an LED-Technik mit einer CO₂-Mindersteinsparung von 60 Prozent (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 25).

BfN

Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) ist eine Forschungseinrichtung, die vom Bund finanziert wird. Das Bundesamt forscht in Bereichen wie: Naturschutz, Landschaftspflege und ist für die Umsetzung von Förderprogrammen zuständig. Das BfN beschäftigt sich mit dem Thema Lichtverschmutzung und negativen Auswirkungen auf Biodiversität. Im Jahr 2009 hat das BfN zusammen mit dem Naturschutzbund (NABU) einen Workshop zum Thema „Bestimmung der Erheblichkeit und Beachtung von Summationswirkung in der FFH-Verträglichkeitsprüfung“ organisiert. Im Jahr 2011 (sowie im November 2014 „Schutz der Nacht. Probleme, Wissenslücke, Handlungsmöglichkeiten“) hat das Bundesamt für Naturschutz und die Evangelische Akademie Tutzing eine Tagung „Es werde Nacht.... – Lichtverschmutzung und Biodiversität“ veranstaltet. Die BfN-Präsidentin Jessel äußerte sich zu dem Thema: „Das BfN sieht in der zunehmenden Lichtverschmutzung in Natur und Landschaft ein Problem“. Für eine Reduktion von Lichtimmissionen wird auf die LAI-Hinweise vom Länderausschuss für Immissionsschutz verwiesen (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 27).

BMBF

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt die Entwicklungsförderung der LED-Technik und setzt sich für die Verbreitung der LED-Technik in Deutschland ein. Außerdem fördert das Bundesamt den interdisziplinären Forschungsverbund Verlust der Nacht, welcher sich mit den Untersuchungen von Auswirkungen von Lichtverschmutzung auseinandersetzt (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 28).

LAI

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) ist ein Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz. Im dem Arbeitsgremium sitzen Abteilungsleiter für Immissionsschutz der Länder und des BMU. Die LAI veröffentlicht Schriften, die von Ämtern als Beurteilungshilfe benutzt werden können (zum Beispiel LAI-Hinweise) (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 30).

Deutscher Bundestag

Das Deutsche Parlament beschäftigt sich auch mit den Themen Beleuchtung und Lichtverschmutzung und ist für gesetzliche Grundlagen wie das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) oder das Energiebetriebene-Produkte-Gesetz (EBPG) zuständig. Seit den 1990 Jahren wurden mehrere Petitionen und kleine Anfragen zu dem Thema Beleuchtung und Lichtverschmutzung vom Deutschen Bundestag bearbeitet (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 31).

Deutsche Parteien

Im Bereich Lichtverschmutzung und Auswirkungen sind Bündnis 90/Die Grünen besonders aktiv. Im Jahr 2009 hat im Bundestag ein öffentliches Fachgespräch „Die Schattenseite des Lichts – Fachgespräch Lichtverschmutzung“ stattgefunden. Es wurden Fachbeiträge zu der abnehmenden Sichtbarkeit der Sterne, zur Schlaforschung und Chronobiologie, zur Auswirkungen auf Tierwelt und zur Energieeffizienz vorgetragen. Es wurde eine Technische Anleitung (TA) Licht, wie sie zum Beispiel im Bereich Lärmschutz (TA Lärm) der Fall ist, gefordert. Außerdem sollen die Forschungen im Bereich Lichtverschmutzung gefördert und die kommunalen Bauordnungen angepasst werden (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 33).

7.4 Andere Ansätze und andere Akteure

Lichtindustrie und Verbände

Den Markt teilen drei Leuchtenhersteller überwiegend unter sich. Das sind Philips, OSRAM und General Electric. Die Leuchtenhersteller werden in der europäischen Union von zwei Verbänden, CELMA und ELC, vertreten. Lichtverschmutzung und die Auswirkungen auf den Menschen wird von den zwei Verbänden erkannt und auf „den nicht sachgerechten Einsatz künstlicher Beleuchtung zurückgeführt“. Es wird empfohlen Sky Glow zu vermeiden (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 38-39).

Lichtplaner und Lichtdesigner

Lichtplaner, Lichtdesigner, Architekten und Stadtplanungsbüro sind Dienstleister, die ihre Beleuchtungskonzepte kundenorientiert entwerfen. IALD (International Association of Lighting Designers) ist eine internationale Organisation von Lichtdesignern. Für ihre Mitglieder sind

Kundewünsche und Energieeffizienz der Beleuchtungslösungen wichtig (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 44-45).

LiTG und CIE

Die Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) ist ein Verein, der im lichttechnischen Bereich in der Theorie und Praxis aktiv ist. Die LiTG fördert Netzwerke, veröffentlicht aktuelle Forschungsergebnisse und verbreitet lichttechnisches Fachwissen. Zu den Themengebieten zählen: Außen- und Innenbeleuchtung, Fahrzeugbeleuchtung, Energieeffizienz, Biologische Wirkungen, Farbe, Lichtquellen, Messtechnik, Lichtarchitektur, Physiologie und Wahrnehmung. Die LiTG hat zwei Schriften zu dem Thema Lichtverschmutzung veröffentlicht: „Empfehlungen für Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“ sowie die Stellungnahme „zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten“. Mitglieder der LiTG sind Hochschulprofessoren und Angestellte von Leuchtenherstellern.

Die CIE ist eine Internationale Beleuchtungskommission mit 40 Mitgliedstaaten. Der Schwerpunkt ist Beleuchtungstechnik. Die CIE sorgt mit ihrer Arbeit für wissenschaftlichen Austausch und hat einige Publikationen im Bereich Lichtverschmutzung veröffentlicht: „Guide to the lighting of urban areas (2000)“ „Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations (2003)“ und „Guidelines for Minimizing Sky Glow (1980)“ (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 47-48).

Umweltschutz NABU und BUND

Der Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) ist ein Umweltverband und hat verschiedene Projekte, unter anderem das Projekt „Ökologische Stadtbeleuchtung“ mit der Laufzeit 2008-2011, organisiert und unterstützt. Das Projekt wurde vom BMU und vom UBA gefördert. In dem Projekt ging es um Energieeffizienz von Stadtbeleuchtung. Außerdem organisiert der NABU Beratungs- und Informationsveranstaltungen, Workshops und Tagungen für Kommunen und informiert so die Entscheidungsträger. Es werden für Flora und Fauna wenig störende Lichtlösungen empfohlen.

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) ist ein Umweltverband, der sich auch mit Außenbeleuchtung befasst. Der Schwerpunkt wird hier auf den Schutz der nachtaktiven Insekten gelegt (vgl. Meier, Pottharst, & Müller, 2013, S. 51-52).

7.5 Gesetzliche Grundlage in anderen Ländern

Andere Länder sind inzwischen in dem Bereich Schutz der Nacht viel weitergekommen. Ein gutes Beispiel, wie man gesetzliche Regelungen in der Praxis umsetzen kann, zeigt Slowenien. Im Jahr 2007 hat die slowenische Regierung eine Verordnung (Verordnung über die Grenzwerte der Lichtverschmutzung der Umwelt) verabschiedet. Die Verordnung beinhaltet folgende Punkte:

In Slowenien dürfen nur Leuchten mit einem prozentualen Anteil des Lichtes im Oberem Halbraum von $ULOR = 0\%$ eingesetzt werden. Gemeinden wird der maximale Energieverbrauch von 50

KW/h pro Bewohner im Jahr für Beleuchtung erlaubt. Helligkeit von Fassadenbeleuchtung darf die Leuchtdichte von 1 cd/m^2 nicht überschreiten mit einem ULOR-Anteil von 0 Prozent. Der letzte Meter von einer Fassade (ganz oben) darf außerdem nicht beleuchtet werden um Bildung von Spinnennetzen und damit verbundene Reinigungskosten zu vermeiden. Man hat festgestellt, dass Spinnennetze sich nur auf beleuchteten Fassaden bilden. Der Stromverbrauch pro Quadratmeter von Parkplätzen außerhalb der Betriebszeit darf maximal $0,015 \text{ W/m}^2$ betragen. Skybeamer und Bodenleuchten sind durch diese Verordnung verboten. Für die Beleuchtung von Sportplätzen sollen asymmetrische Leuchten mit einem ULOR-Anteil von maximal 5 Prozent eingesetzt werden. Die Beleuchtung von Werbung soll in der Regel von innen erfolgen und bei einer Größe von mehr als 20 Quadratmeter soll die Beleuchtung nach Mitternacht ausgeschaltet werden. Die Raumaufhellung, zum Beispiel von Schlafräumen, wird bei einer Entfernung von einer Lichtquelle zwischen 10 und 20 Meter auf maximal 2 Lux und bei mehr als 20 Meter auf 0,2 Lux begrenzt. Diese Grenzwerte für maximale Beleuchtungsstärke gelten für öffentliche Straßenbeleuchtung. Eine ähnliche Regelung wie in Slowenien gibt es auch in Italien (vgl. Mohar, 2013, S. 125-128).

7.6 Zwischenfazit

Zusammenfassend kann man sagen, dass im Bereich Lichtverschmutzung auf Bundes- und auf internationaler Ebene schon einiges gemacht wurde. Die Politik wirkt aber insgesamt zurückhaltend. Es gibt keine verbindlichen Regelungen und keine gesetzlich verbindlichen Grenzwerte in Deutschland. Jetzt ist der Gesetzgeber gefragt um hier eine einheitliche Grundlage zu schaffen. Slowenien zeigt, wie ein Staat Lichtverschmutzung spürbar reduzieren und gesetzlich konsequent bekämpfen kann.

Verschiedene Finanzielle Förderungen sind heute nur unter Voraussetzung bestimmter prozentualer Einsparung der Energie oder Einsparung der CO_2 -Emissionen möglich. Allein die Energieeffizienz steht hier im Vordergrund. Lichtemissionen und Lichtimmissionen spielen dabei keine Rolle. Um die Betreiber von Außenbeleuchtungsanlagen zu einer Umrüstung bzw. einer Neuinstallation zu bewegen, wäre eine erweiterte finanzielle Förderung vom Staat oder der EU denkbar. So würden finanzielle Anreize geschaffen für eine emissions- und immissionsarme Beleuchtungsanlage. Empfohlen wird außerdem eine weitere Zusammenarbeit von Entscheidungsträgern aus Politik, Lichtindustrie, Energieagenturen, Wissenschaft, Kommunen, Umweltorganisationen, Umweltämtern sowie eine Förderung von Bürgerinitiativen. Infoveranstaltungen und Tagungen für Fachleute sowie alle Interessierten sollten weiter gefördert werden. Auch Forschung auf wissenschaftlicher Ebene soll weiter fortgeführt und gefördert werden. Genauso wichtig ist die Aufklärungsarbeit von Entscheidungsträgern und Fachplanern. Nicht zu unterschätzen ist die Rolle der Medien. Wissenschaftliche Ergebnisse und Erkenntnisse können der Öffentlichkeit durch Medien präsentiert werden.

Die Rolle und die Möglichkeiten der Lichtindustrie sowie Fachplaner sind begrenzt, weil sie kundenorientiert agieren. Die Lichtindustrie reagiert auf Nachfrage auf dem Markt und eventuelle Vorschriften bei der Entwicklung von neuen Produkten. Fachplaner entwickeln Lichtkonzepte kundenorientiert und orientieren sich dabei an Vorschriften und Empfehlungen. Fachplaner sind aber in der Pflicht, ihre Kunde über mögliche Störwirkungen einer Anlage zu informieren.

8 Technische Ansätze zur Vermeidung von Lichtverschmutzung

Nachdem im Kapitel 5 ausführlich mögliche Auswirkungen der Lichtverschmutzung beschrieben wurden und somit die Notwendigkeit einer Begrenzung der Störwirkung deutlich gemacht wurde, wird in diesem Kapitel auf mögliche technische Ansätze zur Reduzierung der Lichtverschmutzung eingegangen. Außerdem wird eine von vielen möglichen Herangehensweisen bei einer Lichtplanung vorgestellt. Wie bereits in der Zusammenfassung erwähnt, gibt es keinen Lichtmasterplan, bei dem Lichtverschmutzung und Störwirkung sich komplett vermeiden lässt. Es geht vielmehr darum, die Störwirkung einer Lichtanlage möglichst gering zu halten und die Immissionsrichtwerte (zum Beispiel aus den LAI-Hinweisen) einzuhalten.

Bei einer Lichtplanung wird empfohlen **anwendungsspezifisch** und **ortsbezogen** vorzugehen. Bei den technischen Ansätzen zur Vermeidung von Lichtverschmutzung spielt die Anlagengeometrie eine der entscheidenden Rollen. Den Zusammenhang zwischen Lichtpunkthöhe, Lichtpunktabstand und Winkel α kann man auf der Abbildung 27 auf Seite 75 sehen. Bei der Straßenbeleuchtung schreibt der Gesetzgeber in Deutschland keine Grenzwerte für Lichtimmissionen und Lichtemissionen vor. Verkehrssicherheit und Sicherheit im öffentlichen Raum stehen hier im Vordergrund. Das könnte sich aber in der Zukunft ändern. Mit der LED-Technologie sind optimale Lichtverteilungen mit besseren Begrenzungen möglich. Damit könnten beide Wünsche erfüllt werden. Die in diesem Kapitel vorgeschlagenen Lösungsansätze können sowohl auf sanierungsbedürftige als auch neu installierte Anlagen während einer Planungsphase angewendet werden.

Dieses Kapitel ist in einer engen Zusammenarbeit mit René van Ratingen entstanden.

8.1 Viermal-**W**-Fragen

Im Allgemeinen können während einer Planungsphase die Viermal-**W**-Fragen angewendet werden. Das sind:

Wo? (eine räumliche Eingrenzung) Welche Flächen sollen genau beleuchtet werden? Mit dieser Frage werden zu beleuchtende Flächen definiert (siehe Abbildung 1 auf Seite 7).

Wann? (eine zeitliche Eingrenzung) Die Betriebszeit einer Lichtanlage muss genau definiert werden. Das ist eine **anwendungsspezifische** Definition, die noch **ortsbezogen** angepasst und ergänzt werden kann.

Wie viel? (eine anwendungsspezifische Eingrenzung) Wie hoch muss das Beleuchtungsniveau sein? Die minimal empfohlenen lichttechnischen Grundgrößen wie: Beleuchtungsniveau, Leuchtdichte, Gleichmäßigkeit, Farbwiedergabe, Schwellenwerterhöhung usw. werden in den DIN- und DIN EN-Normen definiert. Die dort aufgeführten Beleuchtungsniveaus sind Empfehlungen, die für die jeweiligen Sehaufgaben sinnvoll sind. Mit deren Einhaltung wird der Beleuchtungszweck erfüllt. Hinsichtlich der Sehaufgabe gibt es keinen Grund für eine deutliche Erhöhung dieser Werte. Es gilt **nicht**: *je mehr Licht, desto besser!*

Wie? (leuchten- und anlagenspezifische Eingrenzung) Spektrale Zusammensetzung des Kunstlichtes, Abstrahlcharakteristik (LVKs), Anlagengeometrie und Ausrichtung von Leuchten sind bei der Frage relevant. Die Frage **Wie** ist die zentrale Frage bei einer Beleuchtungsplanung und wird in nachfolgenden Kapiteln ausführlich behandelt.

8.1.1 spektrale Zusammensetzung und Leuchtmittelwahl

Zur Reduzierung der Auswirkungen auf Astronomie und Anziehung von vielen Insektenarten wird UV-freies Licht mit möglichst geringerem Blauanteil empfohlen. Abhängig von der vorkommenden Fauna können entsprechende Prioritäten bei der Leuchtmittelwahl gesetzt werden.

Natriumdampflampen haben wenig UV-Licht und einen geringen Blauanteil. Warmweißes LED-Licht (max. 3.000 K) hat kein UV-Licht und wenig Blauanteile im Spektrum (siehe Abbildung 26).

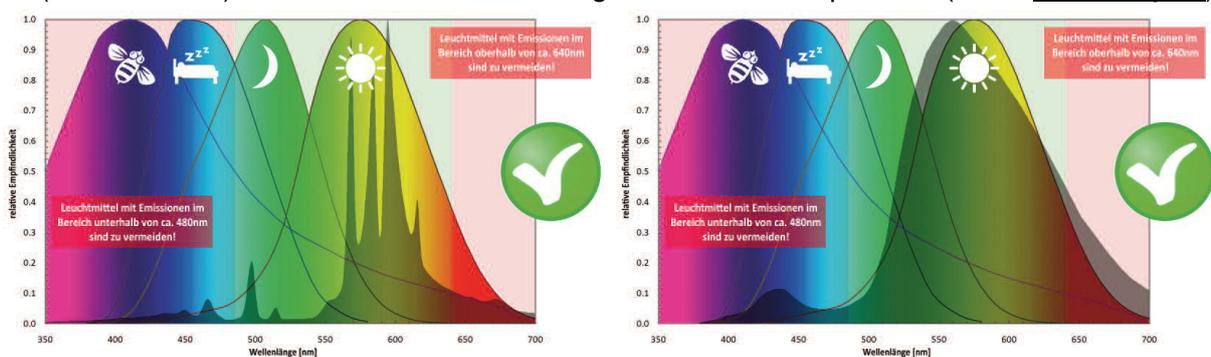


Abbildung 26 Spektren von Natrium-Hochdruck-Dampflampen links und warmweiße LEDs rechts (Leitfaden besseres Licht. 2013 S 30)

Weil die Empfindlichkeit verschiedener Tierarten auf künstliches Licht unterschiedlich ist (vgl. Kapitel 5 Lichtverschmutzung – Auswirkungen und Folgen ab Seite 40) und keine künstliche Beleuchtung ohne irgendwelche Anziehung von Tierarten existiert, kann keine Anlage ganz ohne Auswirkung auf die Umwelt erstellt werden. Die Firma Philips hat Leuchtmittel ganz ohne Blauanteil mit einem Rotstich oder ganz ohne Rotanteil im Spektrum, dafür mit grünblauen Lichtfarben entwickelt (ClearSky). Wegen des ungewohnten Farbeindrucks fand dies wenig Akzeptanz. Diese Leuchtmittel minimieren die Anziehung von Zugvögeln und können somit in ökologisch sensiblen Gebieten eingesetzt werden.

8.1.2 Anlagengeometrie

Die Abbildung 27 zeigt erfahrungsbasierend eine zu empfehlene Lichtanlagengeometrie im Außenraum. Voneinander abhängige Größen sind: Lichtpunkthöhe (LPH), Leuchtdistanz oder bei Straßenbeleuchtung der Lichtpunktastand (LPA) und Winkel α . Der Winkel $\alpha = 70$ Grad ist eine Grenze. Bei Überschreitung dieser Grenze wird die visuelle Wahrnehmbarkeit durch Blendung erheblich beeinträchtigt. Das heißt, dass Licht das über 70 Grad hinauskommt mehr störend wirkt als nutzt.

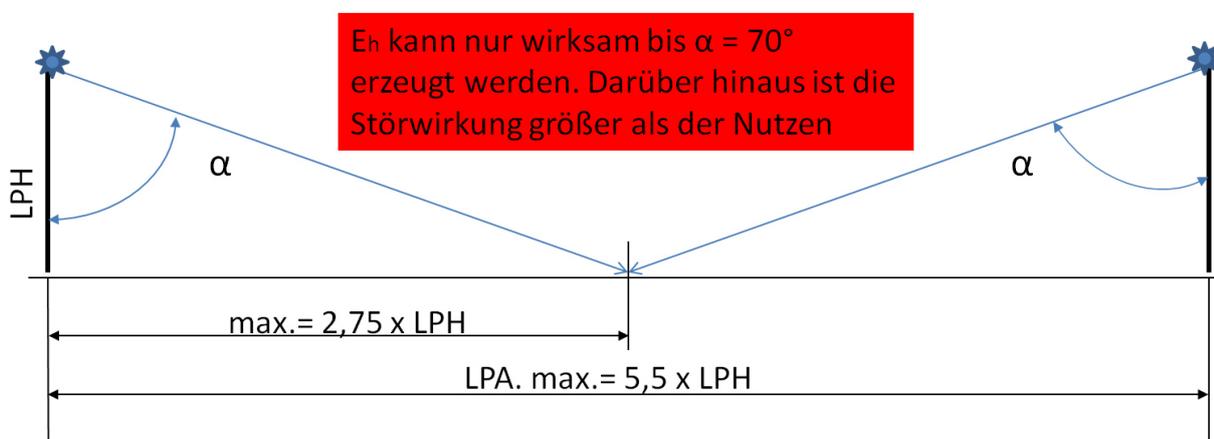


Abbildung 27 Anlagengeometrie Außenbeleuchtung

Ein geringer Anteil an Streulicht zwischen $\alpha = 70$ und 85 Grad, der sich sowieso nicht komplett vermeiden lässt, ist üblicherweise nützlich. Dieser sorgt für weichere Übergänge zwischen beleuchteten und nicht-beleuchteten Flächen und für eine geringe Erkennbarkeit durch vertikale Beleuchtungsstärken auf größerer Distanz. Dieser Anteil braucht jedoch nicht so groß zu sein, wie es bei herkömmlicher Technologie (hier sind konventionelle Leuchtmittel gemeint) üblich gewesen ist. Wie hoch der Teil des Lichtes in diesem Winkelabschnitt maximal sein darf lässt sich nicht pauschal für alle Anwendungen sagen. Dies hängt von der Art der Beleuchtung und der Distanz zu eventuellen Immissionsorten ab.

Die optimale Lichtpunkthöhe (LPH) ist nach der $\alpha = 70$ Grad-Faustregel oder bei Anwendungen mit höheren Anforderungen an Gleichmäßigkeit $\alpha = 65$ Grad zu wählen. Höhere Lichtpunkthöhen verstärken eventuell den Radius worin eine Störwirkung (wie zum Beispiel Raumaufhellung und Blendung) auftritt. Niedrigere Lichtpunkthöhen erhöhen diese Störwirkung noch mehr, wenn versucht wird die gleiche Leuchtdistanz zu erzielen. Außerdem rutscht eine Leuchte noch tiefer ins Gesichtsfeld wodurch die Wahrscheinlichkeit einer Störwirkung erheblich erhöht wird. Womöglich müssen dann noch Leuchten aufgeneigt werden. Die Lichtpunkthöhe (LPH) ist nach gegebener Leuchtdistanz und angestrebtem Winkel $\alpha \leq 70$ Grad zu optimieren (siehe Abbildung 27). Diese geometrischen Beziehungen können praktisch auf alle Außenlichtanlagen übertragen werden.

8.1.3 Abstrahlcharakteristik und Ausrichtung der Leuchten

Bei der Wahl einer geeigneten Abstrahlcharakteristik sollte auf anwendungsspezifische Abschirmung der Leuchten und Blendungsbegrenzung für Flächennutzer und Unbeteiligte geachtet werden. Leuchten dürfen kein Licht im oberen Halbraum (ULOR=0 %) abstrahlen. Die Leuchten mit flachen Abdeckungen sind den Leuchten mit gewölbten Abdeckungen vorzuziehen. Bei den gewölbten Abdeckungen wird Licht an der Wanne gestreut, was zu Lichtemission im oberen Halbraum sowie Energieverlust führt (siehe Abbildung 28).

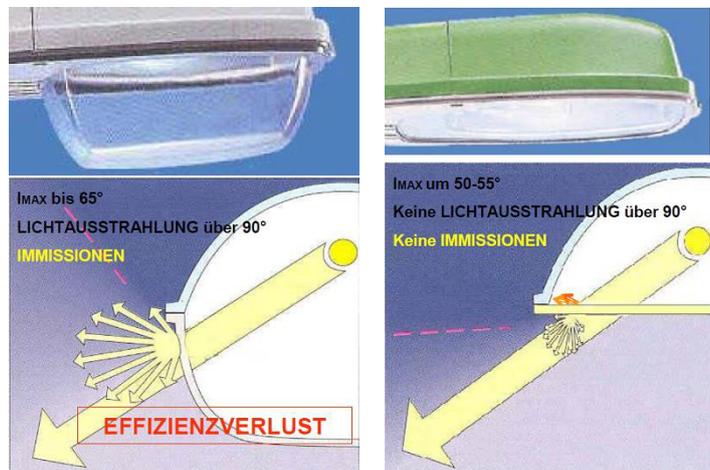


Abbildung 28 Vergleich Abdeckung gewölbt und flach (Licht-Immisionen. Luisi 2008 S 13)

Bei der Ausrichtung von Leuchten sollte möglichst auf eine nahezu waagerechte Austrittsfläche geachtet werden. Die Installation von Leuchten spielt auch eine Rolle. Die Leuchten müssen wie von einem Lichtplaner geplant genauso installiert werden. Dafür benötigt ein Installateur vollständige und gut lesbare Planungsunterlagen. Die Wartung von Außenleuchten muss in regelmäßigen Abständen erfolgen. Leuchtkörper müssen gereinigt und Leuchtmittel nach Bedarf ausgetauscht werden. Es wird empfohlen staubdichte Leuchten einzusetzen um das Eindringen von Insekten zu vermeiden. Dies reduziert wiederum die laufenden Wartungskosten.

8.2 Technische Ansätze bei Straßenbeleuchtung

1. **Wo?** (eine räumliche Eingrenzung): Welche Fläche soll genau beleuchtet werden? Zum Beispiel: Fahrbahn, Fußgängerwege und Nebenflächen. Damit können die zu beleuchtenden Flächen räumlich eingegrenzt werden. Bei Straßenbeleuchtung steht Verkehrssicherheit im Vordergrund.

2. **Wann?** (eine zeitliche Eingrenzung): Die Betriebszeit einer Lichtanlage sollte anwendungsspezifisch und ortsbezogen genau definiert werden. Zum Beispiel, die Beleuchtung einer Lichtanlage nachts – wenn es die Verkehrsaktivität vor Ort erlaubt – abzuschalten. Das kann mit Hilfe von Lichtmanagementsystemen wie zum Beispiel CityTouch von Philips, das eine oder mehrere Lichtanlagen fernsteuern kann, erfolgen. Dadurch kann außerdem ein erheblicher Teil der Energiekosten eingespart werden, was die Kommunen finanziell kurz- und langfristig entlastet. Außerdem kann die Wartung schneller und gezielter erfolgen, weil das System eine ausgefallene Leuchte selbstständig erkennt und dem Betreiber oder Anwender meldet. Es gibt auch die Möglichkeit Energiebilanzen darzustellen und so die Energiekosten zu überwachen.

3. **Wie viel?** (anwendungsspezifische Eingrenzung): Wie hoch müssen oder können Beleuchtungsniveau, Leuchtdichte, Gleichmäßigkeit, Farbwiedergabe, Schwellenwerterhöhung usw. maximal oder minimal sein? Die obengenannten lichttechnischen Anforderungen werden in den DIN-EN-Normen definiert (siehe Kapitel 4.1 Straßenbeleuchtung auf Seite 31). Um das Beleuchtungsniveau steuern zu können, kann eine Lichtsteuerung eingesetzt werden. Die Beleuchtungsstärke lässt sich so bedarfsorientiert ändern, dadurch lassen sich die Energiekosten kurz- und langfristig reduzieren. Die Beleuchtungsstärke darf sich aber nicht schnell ändern, weil das menschliche Auge eine gewisse Zeit benötigt sich an die neuen Lichtverhältnisse anzupassen. Weiche Übergänge bei Änderung der Beleuchtungsstärke sind empfohlen. Außerdem wird empfohlen statt jede zweite Leuchte komplett abzuschalten die Beleuchtungsstärke bei allen Leuchten auf einen bestimmten Wert herunterzudimmen, weil sonst dunkle Flecken auf der Fahrbahn, die eine Gefahr für Verkehrsteilnehmer darstellen, entstehen können. Das menschliche Auge muss sich dann beim Vorbeifahren oder Vorbeigehen ständig adaptieren (siehe Abbildung 9 auf Seite 24).

4. **Wie?** (leuchten- und anlagenspezifische Eingrenzung): Spektrale Zusammensetzung des Kunstlichtes, Abstrahlcharakteristik (LVKs), Anlagengeometrie und Ausrichtung der Leuchten sind bei der Auslegung von Anlagen relevant. Es wird empfohlen, in Abhängigkeit von ortsbezogenen Spezifikationen (wie zum Beispiel naturnahen Zonen, Wohngebieten in Reichweite der Lichtanlage), die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, Abstrahlcharakteristik sowie Anlagengeometrie und Leuchten-Ausrichtung auszuwählen. Empfehlenswert ist eine nahezu waagerechte Austrittsfläche von Leuchten. Damit wird eine Abstrahlung im oberen Halbraum (über

90 Grad) vermieden. Mit geeigneten Abstrahlcharakteristiken von Leuchten kann eine zu hohe Aufhellung von Fassaden begrenzt werden.

Laut Philips Lighting werden etwa 90 Prozent der Straßenleuchten als Ersatzbestückung saniert. Das heißt, Masten bleiben und nur die Leuchtkörper werden bei einer Sanierung ausgetauscht (Lichtpunktabstände und Lichtpunkthöhe werden dabei nicht geändert). Lichtpunktabstände bei Bestandsanlagen sind oftmals zu groß und Lichtanlagen sind nicht normkonform. Um das zu ändern und eine neue normgerechte Lichtanlage zu planen versucht man mit speziellen Optiken über den Winkel $\alpha = 70$ Grad hinaus „dunkle Flecken“ auf den Nutzflächen in der Mitte gut auszuleuchten um die geforderte Gleichmäßigkeit und Beleuchtungsstärke auf der Nutzfläche zu erreichen. Die Folge – die Anlage blendet und eine gute visuelle Wahrnehmung kann nicht mehr erfolgen. Da die DIN-EN-Norm für manche Straßen oder Beleuchtungsklassen keine Blendungsbewertung fordert und die Anlagen vorwiegend aus wirtschaftlicher Sicht optimiert werden, fördert die DIN EN-Norm für Straßenbeleuchtung **DIN EN 13201-2:2003** indirekt die Blendung von Lichtanlagen. Im Falle eines solchen Konflikts sollte immer eine Blendungsbewertung durchgeführt werden. Die Einhaltung des Grenzwertes für Blendung sollte dabei eine höhere Priorität als die Beleuchtungsgleichmäßigkeit bekommen. Im vorliegenden Entwurf der **DIN EN 13201-2:2014** wird die Blendungsbewertung nur optional genannt.

Bei einer zu starken Blendung ist die sogenannte *optische Führung* nicht mehr gegeben. Straßennutzer werden von nahstehenden Außenleuchten geblendet und können so den Straßenverlauf nicht weit genug optisch in die Ferne verfolgen. Die *optische Führung* wird aber auch durch Einsicht in die Lichtaustrittsflächen aus großer Distanz bei guter Abschirmung zwangsläufig vermindert. Sie könnte jedoch durch eine gute, blendungsarme Beleuchtung und damit gute Erkennbarkeit der beleuchteten Fläche ausgeglichen werden. Sicherlich bedarf es hierzu weiterer Untersuchungen.

Bei Straßenbeleuchtung ist zwischen technischer Straßenbeleuchtung und dekorativer Straßenbeleuchtung zu unterscheiden. Bei technischer Straßenbeleuchtung werden die oben beschriebenen Begrenzungen empfohlen. Bei dekorativer Straßenbeleuchtung sind gegebenenfalls die Aspekte der Raumgestaltung mit zu berücksichtigen. Dabei sind eventuell andere Leuchtentypen und Konstruktionen gewünscht. Eine waagerechte Austrittsfläche und $ULOR = 0 \%$ sind dabei nicht möglich. Empfohlen wird bei solchen Lichtlösungen den Leuchtenlichtstrom auf 2.000 lm zu begrenzen.

8.3 Technische Ansätze bei Flächenbeleuchtung

Die technischen Ansätze zur Reduzierung der Störwirkung bei Parkplatz- und Sportplatzbeleuchtung sowie bei Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien werden in diesem Kapitel zusammengefasst.

1. **Wo?** (eine räumliche Eingrenzung) Welche Flächen müssen genau beleuchtet werden? In diesem Fall sollen Parkplatzfläche/Sportplatzfläche/Arbeitsflächen beleuchtet werden. Die zu beleuchtenden Flächen sind räumlich einzugrenzen. Mögliche Störwirkungen für Anwohner sind möglichst gering zu halten. Es wird empfohlen die Grenzwerte für Raumaufhellung und Blendung (LAI-Hinweise) einzuhalten.

2. **Wann?** (eine zeitliche Eingrenzung) Die Betriebszeit einer Lichtanlage sollte anwendungsorientiert und ortsspezifisch genau definiert werden. Zum Beispiel, wenn eine Parkanlage oder ein Sportplatz nachts geschlossen bleiben und nur tagsüber betrieben werden, wird empfohlen, die Beleuchtung nachts abzuschalten. Die Betriebszeit der Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien ist anwendungs- und bedarfsorientiert zu wählen. Nach Möglichkeit ist die Beleuchtungszeit während eines Vogelzuges und starker Insektenaktivität in den betroffenen Regionen zu berücksichtigen.

3. **Wie viel?** (anwendungsspezifische Eingrenzung) Wie hoch müssen oder können Beleuchtungsniveau, Leuchtdichte, Gleichmäßigkeit, Farbwiedergabe usw. maximal oder minimal sein? Auch hier müssen die oben genannten Faktoren anwendungs- und ortsspezifisch geplant werden. Die minimal empfohlenen Werte sind DIN-Normen zu entnehmen (siehe die Übersicht im Kapitel 4 Aufgaben und Mindestanforderungen an Außenbeleuchtung heute ab Seite 31). Bei Arbeitsplätzen im Freien steht Arbeitssicherheit bei der Planung im Vordergrund. Je nach Störwirkung sind Maßnahmen für mögliche Reduzierung, wie in Kapitel 5 empfohlen, anzuwenden. Als Grundlage für eine Bewertung von Lichtmissionen können die LAI-Hinweise verwendet werden.

Bei Parkplatzbeleuchtung und manchen Arbeitsplätzen im Freien kann eine Lichtsteuerung zum Beispiel mit Bewegungsmeldern eingesetzt werden um die Lichtmenge bedarfsorientiert zu dosieren. Die Beleuchtungsstärke darf sich aber nicht schnell ändern, weil das menschliche Auge eine gewisse Zeit benötigt sich an die neuen Lichtverhältnisse anzupassen. Weiche Übergänge bei Änderung der Beleuchtungsstärke sind zu empfehlen. Außerdem wird empfohlen statt jede zweite Leuchte komplett abzuschalten die Beleuchtungsstärke bei allen Leuchten auf einen bestimmten Wert herunterzudimmen, weil sonst dunkle Flecken auf den Nutzflächen entstehen können. Das menschliche Auge muss sich dann beim Vorbeifahren oder -gehen ständig adaptieren.

4. **Wie?** (leuchten- und anlagenspezifische Eingrenzung) Spektrale Zusammensetzung des Kunstlichtes, Lichtverteilungskurven (LVKs) von Leuchten, Anlagengeometrie und Ausrichtung der

Leuchten. Es wird empfohlen in Abhängigkeit von ortsbezogenen Spezifikationen (wie zum Beispiel naturnahen Zonen, Wohngebiete in Reichweite der Lichtanlage) die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, Abstrahlcharakteristik sowie Anlagengeometrie und Leuchten-Ausrichtung zu wählen. Empfehlenswert ist eine nahezu waagerechte Austrittsfläche von Leuchten. Damit wird eine Abstrahlung im oberen Halbraum (über 90 Grad) vermieden. Mit geeigneter Abstrahlcharakteristik von Leuchten kann eine zu hohe Aufhellung von Fassaden begrenzt werden.

8.4 Technische Ansätze bei Fassadenbeleuchtung

Bei Fassadenbeleuchtung geht es fast immer um gestalterische Aspekte und Ziele (mit Ausnahmen bei Fernseh- und Leuchttürmen, dort geht es um Flug- und Verkehrssicherheit). Mit Fassadenbeleuchtung will man eine bessere Erkennbarkeit von wichtigen Bauwerken erreichen. Das Spiel mit Licht und Schatten lässt im Dunkel eine neue Seite der Architektur hervorheben. Mit Fassadenbeleuchtung kann eine Fassade in Szene gesetzt werden und vom dunklen Hintergrund abgehoben werden.

1. **Wo?** (eine räumliche Eingrenzung) Welche Flächen müssen genau beleuchtet werden? In diesem Fall soll eine Fassade oder andere Fläche aus einem gestalterischen Grund beleuchtet werden. Mögliche Störwirkungen für Anwohner und Tierwelt in der Umgebung sind möglichst gering zu halten. Die Grenzwerte für Raumaufhellung und Blendung sind nach den LAI-Hinweisen einzuhalten. Außerdem ist eine Himmelsaufhellung durch Fassadenbeleuchtung zu vermeiden.

2. **Wann?** (eine zeitliche Eingrenzung) Die Betriebszeit einer Lichtanlage muss anwendungs- und ortsspezifisch genau definiert werden. Eine Fassadenbeleuchtung muss nicht über die ganze Nacht „brennen“. Die Betriebsdauer ist hier kritisch zu betrachten. Bei der Anstrahlung von Hochhäusern sind die Routen und Flugzeiten von Zugvögeln zu berücksichtigen. Gegebenenfalls kann eine solche Anlage zu kritischen Zeiten nicht eingeschaltet werden.

3. **Wie viel?** (anwendungsspezifische Eingrenzung) Wie hoch müssen oder können Beleuchtungsniveau, Leuchtdichte maximal sein? Auch hier müssen die oben genannten Faktoren anwendungs- und ortsspezifisch geplant werden. Je nach Störwirkung sind Maßnahmen für mögliche Reduzierung, wie in Kapitel 5 empfohlen, anzuwenden.

4. **Wie?** (leuchten- und anlagenspezifische Eingrenzung) Spektrale Zusammensetzung des Kunstlichtes, Lichtverteilungskurven (LVKs) von Leuchten, und Ausrichtung der Leuchten. Es wird empfohlen in Abhängigkeit von ortsbezogenen Spezifikationen (wie zum Beispiel naturnahen Zonen, Wohngebiete in Reichweite der Lichtanlage) die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, Abstrahlcharakteristik und Leuchten-Ausrichtung zu wählen. Fassadenbeleuchtung sollte generell möglichst von oben nach unten erfolgen. In der Praxis werden Fassaden meistens von unten

beleuchtet. Ein Teil des Lichtes wird dabei nach oben gestreut, das Streulicht kann so zur Lichtverschmutzung beitragen und die Störwirkung lokal verschlimmern. Eine mögliche Lösung wäre eine Anstrahlung von oben. Eine Fassadenanstrahlung von oben hat aber eine andere (Licht-) Wirkung als eine Anstrahlung von unten und kann aus diesem Grund nicht immer umgesetzt werden. Empfehlenswert wäre eine Probeanstrahlung vor Ort mit verschiedenen Leuchten- und Lampentypen, verschiedenen Arten von Anstrahlung (von oben oder von unten) und verschiedenen Optiken sowie verschiedenen Lichtfarben um die Lichtwirkung zu vergleichen. Um den Teil des Streulichtes bei einer Anstrahlung von unten zu reduzieren können Gobos verwendet werden. Dabei wird ein Muster einer Fassade maßgeschneidert für jede Leuchte angefertigt. Das erfordert eine genaue Messung vor Ort, was die Kosten erheblich erhöht. Mit der Anwendung von Gobos wird der Anteil des Streulichtes auf ein Minimum reduziert und der gewünschte Effekt wird so ohne Störwirkung für die Umwelt erreicht.

8.5 Zwischenfazit technische Ansätze

Wenn man die Empfehlungen aus dem Kapitel 8 berücksichtigt, kann vieles für eine Begrenzung der Lichtverschmutzung und Störwirkungen erreicht werden. Technisch gesehen ist heutzutage vieles möglich. Um das einheitlich und effizient in der Praxis umsetzen zu können sind verbindliche Regelwerke mit Grenzwerten für Emissions- und Immissionsorte auf internationaler Ebene notwendig. Die oben erwähnten Maßnahmen für Reduzierung der Störwirkungen sind in der Regel nicht mit höheren Investitionskosten verbunden.

9 Praxisbeispiele: Rücksichtsvolle Beleuchtungsplanung

In diesem Kapitel werden zwei Beispielprojekte aus dem Bereich der Außenbeleuchtungsplanung gezeigt. Das Ziel ist dabei die Maßnahmen für Reduzierung von Störwirkung, die im Kapitel 8 ausgearbeitet wurden, **anwendungsspezifisch** und **ortsbezogen** anzuwenden um eine störungsarme Lichtanlage zu dimensionieren. Beide Projekte wurden von René van Ratingen (Philips GmbH) bearbeitet. Zusätzlich wurde zu den Projekten eine Lichtimmissionsbewertung durchgeführt. Der Verfasser beschreibt die Projekte und gibt das Vorgehen bei der Bearbeitung wieder. Als Grundlage für die Immissionsbewertung wurden die LAI-Hinweise verwendet. Bei der Dimensionierung von Lichtanlagen für folgende Projekte stehen anwendungsspezifische Anforderungen und Lichtimmissionen im Vordergrund. Die Lichtberechnung und die Immissionsberechnung wurden mit der Simulationssoftware CalcuLuX gemacht.

9.1 Parkplatzbeleuchtung

Bei diesem Beispielprojekt handelt es sich um eine Parkplatzbeleuchtung von einem Discounter in Norddeutschland. Aus rechtlichen Gründen (Datenschutz) wird der Name des Kaufhauses hier nicht erwähnt. Die Straßennamen auf dem Plan wurden aus gleichem Grund gekürzt bzw. unkenntlich gemacht.

Bei der Neuinstallation obengenannter Beleuchtungsanlage wurde von dem Umweltamt, welches für die Genehmigung des Bauvorhabens zuständig ist, eine Lichtimmissionsbewertung vom Betreiber der Anlage gefordert. In unmittelbarer Nähe des Parkplatzes sind Wohnhäuser und die Anwohner dürfen nicht gestört werden. Die Abbildung 29 auf der Seite 85 zeigt den Plan der Anlage. Wie man auf dem Plan erkennen kann, ist das Haus (auf dem Plan als FrCh.74 markiert) weniger als fünf Meter von der Parkfläche entfernt und es ist schwierig eine störungsfreie Lichtanlage zu dimensionieren. Es ist aber technisch möglich. Bei dem auf dem Plan markierten Haus (FrCh.74) handelt es sich um ein Wohn- und Geschäftshaus, genauer gesagt um einen Getränkemarkt. Wegen Mehrfachnutzung sind die Grenzwerte nach LAI- Schrift für Raumaufhellung und Blendmaß k_s für das Haus (FrCh.74) höher (siehe Tabelle 7 auf Seite 59). Nach der Baunutzungsverordnung (BauNVO) ist der Immissionsort (FrCh.74 Getränkemarkt) als Mischgebiet einzustufen. Der Rest der Häuser sind Wohnhäuser und werden als Wohngebiet eingestuft.

Für das Projekt wurde eine lichttechnische Planung gemacht (Lichtberechnung von 15.06.2015), allerdings ohne Lichtimmissionsbewertung. Nachdem für die bereits geplante Lichtanlage eine Immissionsbewertung gemacht wurde, wurde klar, dass die Werte für Raumaufhellung und Blendung nach LAI-Schrift so nicht eingehalten werden können. Die Werte für das Blendmaß k_s werden bei fast allen Wohnhäusern deutlich überschritten. Die Werte für Raumaufhellung wurden nur bei einem Haus (auf dem Plan als FrCh.74 markiert) um etwa das doppelte überschritten

(siehe Tabelle 11 Variante 1). Die geplante Lichtanlage soll somit optimiert werden, sonst kann sie nicht genehmigt werden. Als Optimierungsmaßnahmen wurden folgende Änderungen während der Planungsphase vorgenommen: eine andere Optik (DWL-Optik) bei ClearWay; Ausrichtung (Aufneigung) der Mastleuchten ClearWay wurde von 10 auf 5 Grad reduziert; die Aufneigung der Wandleuchten im Bereich der Anlieferung wurde von 45 auf 30 Grad reduziert. Die Tabelle 9 stellt die Variante 1 und 2 und die verwendete Leuchte dar. Die Ergebnisse der Lichtimmissionsbewertung für Variante 1 und 2 sind in der Tabelle 11 dargestellt. Die Variante 2 ist dabei die optimierte Variante.

Bei der Lichtimmissionsbewertung wurden folgende Werte angenommen: Umgebungsleuchtdichte $L_u = 0,5 \text{ cd/m}^2$; Immissionsrichtwert für das Blendmaß k_s nach LAI-Hinweisen $k_s = 64$ für Wohngebiete und $k_s = 160$ für Dorf- und Mischgebiete; Beobachterhöhe 2 Meter; Betriebszeit bis 22 Uhr. Als Wartungsfaktor (WF) wurde $WF = 1$ genommen, weil eine Immissionsbewertung die maximal möglichen Werte berücksichtigen soll.

	Leuchtenbezeichnung	Stückzahl	Leuchtenlichtstrom/lm	Leistung/W	LPH/m
Variante 1	ClearWay BGP303 1xLED98-3S/740 DM	14	8.300	81	8
	Pacific LED WT460C WT460C L1300 1xLED42S/840 WB	2	4.200	35	3
	LuxSpace BBS Mini BBS480 1xLLED-3000 C PGO	10	941	13	3,3
Variante 2	CLEARWAY BGP303 1xLED98-3S/740 - DWL	14	6.740	81	8
	Pacific LED WT460C WT460C L1300 1xLED42S/840 WB	2	4.200	35	3
	LuxSpace BBS Mini BBS480 1xLLED-3000 C PGO	10	941	13	3,3

Tabelle 9 Verwendete Leuchten Beispielprojekt Parkplatzbeleuchtung

	Fläche	Em	Emin/Em	Emin/Emax
Variante 1	Parkfläche	38,3	0,21	0,09
	Anlieferung	31,4	0,33	0,11
	Vordach	56,7	0,72	0,57
Variante 2	Parkfläche	35,3	0,31	0,14
	Anlieferung	28,9	0,26	0,09
	Vordach	53,7	0,72	0,58

Tabelle 10 Übersicht lichttechnische Ergebnisse Parkplatz Nutzflächen

Wie man sieht sind die oben genannten Maßnahmen für eine immissions- und störungsarme Lichtanlage ausreichend und die Immissionsrichtwerte für Raumaufhellung und Blendung an den Immissionsorten werden eingehalten (siehe Tabelle 11 Variante 2). Die Maßnahmen für Reduzierung der Störwirkung sind nicht mit höheren Investitionskosten verbunden.

	Ort	Lu/cd/m2	ks nach LAI	ks simuliert	Ev/lx nach LAI	Ev/lx simuliert
Variante1	RembrStr.35	0,5	64	126	3	1,03
	RembrStr.33	0,5	64	159	3	1,73
	RembrStr.32	0,5	64	42	3	0,17
	FrCh.74-1	0,5	160	543	5	10,3
	FrCh.74-2	0,5	160	1275	5	7,13
	FrCh.21	0,5	64	36	3	0,07
	FrCh.20	0,5	64	136	3	0,32
Variante2	FrCh.19	0,5	64	45	3	0,22
	RembrStr.35	0,5	64	34	3	0,12
	RembrStr.33	0,5	64	40	3	0,34
	RembrStr.32	0,5	64	34	3	0,06
	FrCh.74-1	0,5	160	154	5	2,62
	FrCh.74-2	0,5	160	58	5	1,56
	FrCh.21	0,5	64	16	3	0,02
	FrCh.20	0,5	64	28	3	0,08
FrCh.19	0,5	64	47	3	0,09	

Tabelle 11 Ergebnisse der Lichtimmissionsbewertung Parkplatzbeleuchtung

1. Projekt - Ansichten

1.1 Ansicht von oben



Abbildung 29 Plan einer Parkplatzbeleuchtung von einem Discounter in Norddeutschland (Philips Lighting GmbH)

9.2 Sportplatzbeleuchtung

Bei diesem Projekt handelt es sich um eine Sportplatzbeleuchtung. Der Sportplatz wird im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen umgebaut und es soll eine neue Flutlichtanlage installiert werden. Die Anforderungen aus **DIN EN 12193:2008 Sportstättenbeleuchtung** und Lichtimmissionen (LAI-Hinweise) an die Neuanlage sollen dabei eingehalten werden.

Folgende lichttechnische Anforderungen werden vom Betreiber an die neue Anlage gestellt: Beleuchtungsklasse drei (Schulsport und Freizeitsport), mit horizontaler Beleuchtungsstärke

$$E_{av} = 75 \text{ Lux} \quad \text{Gleichmäßigkeit} \quad \frac{E_{min}}{E_{av}} = 0,5 \quad \text{Blendungsbegrenzung GR} < 50.$$

Die Spielfeldgröße mit Randflächen ist etwa 6.600 m^2 ($60 \text{ m} \times 110 \text{ m}$) groß (siehe Abbildung 30). Als mögliche Maßnahmen für die Umsetzung werden insgesamt drei Varianten vom Lichtplaner vorgeschlagen (siehe Tabelle 12). Die erste Variante ist eine konventionelle Lösung, die zweite und dritte Variante sind LED-Lösungen. Bei der Variante 1 sind zusätzliche Maßnahmen wegen Blendung (geringe Distanz zu Wohnhäusern) notwendig. Es wird empfohlen, Blenden an Masten (M1, M2, M5 und M6) einzusetzen um die Immissionsrichtwerte für Blendung einzuhalten. Alle drei Varianten erfüllen die Anforderungen der Lichtimmission (LAI-Hinweise), siehe Ergebnisse der Lichtimmissionsbewertung in der Tabelle 14. Die Tabelle 13 stellt die Ergebnisse der Lichtberechnung für die Nutzfläche (die Spielfeldfläche) dar.

Nach Baunutzungsverordnung (BauNVO) wird das Gebiet als Wohngebiet eingestuft, die Flutlichtanlage wird maximal bis 22 Uhr betrieben. Zwei Immissionsorte (auf dem Plan als IO-1 Stall-1 und IO-1 Stall-2 markiert) werden als Gewerbe- und Industriegebiete eingestuft. Es handelt sich dabei um zwei Stallgebäude. Die restlichen Immissionsorte werden als reine Wohngebiete eingestuft. Als Wartungsfaktor (WF) wurde $WF = 1$ genommen, weil eine Immissionsbewertung die maximal möglichen Werte berücksichtigen soll. Die Beobachterhöhe wurde auf 2 Meter über Geländehöhe gesetzt.

	Leuchtenbezeichnung	Stückzahl	Leuchtenlichtstrom/lm	Leistung/W	LPH/m	Masten	Blende
Variante 1	Philips OptiVision MVP507 / MHN-LA 2000W/400V/842 NB/60	4	171.600	2.123	16	4	Ja
	Philips OptiVision MVP507 1xMHN- LA2000W/400V/842 MB/60	4	173.800	2.123	16	2	Ja
Variante 2	Philips OptiVision LED BVP520 TaO15 1xGRN112/740 A- WB/30 +LO	8	85.633	1.295	16	4	nein
Variante 3	Philips OptiVision LED BVP520 TaO15 1xGRN112/740 A- WB/30 +LO	10	85.633	1.295	16	6	nein

Tabelle 12 Verwendete Leuchten Beispielprojekt Sportplatzbeleuchtung

Da die drei Varianten aus lichttechnischer Sicht ähnlich sind und alle Anforderungen erfüllen, müssen noch weitere Kriterien, die für oder gegen eine Variante sprechen, eingeführt werden. Das wäre zum Beispiel ein Kostenvergleich. Dazu kann ein TCO-Tool (Total Cost of Ownership) verwendet werden. Das TCO-Tool berücksichtigt alle laufenden Kosten einer Lichtanlage (Wartungskosten, Stromkosten, Anschaffungskosten) über einen bestimmten Zeitraum und vergleicht diese.

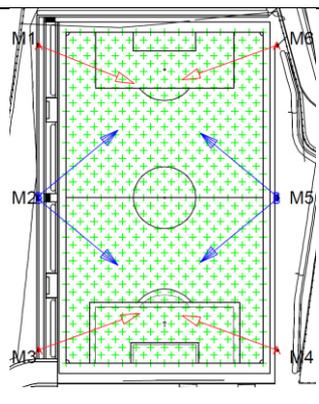
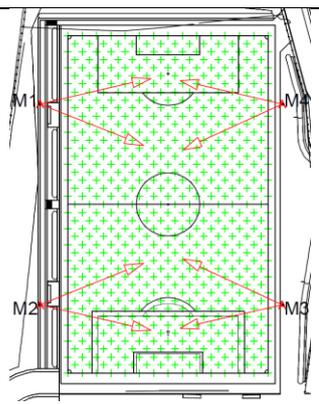
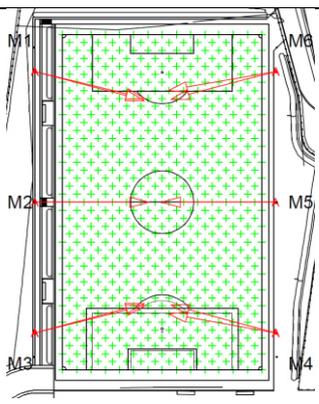
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
			
E_m	166 lx	87,7 lx	105 lx
E_{min}/E_m	0,65	0,56	0,74
E_{min}/E_{max}	0,44	0,34	0,53
GR_{max}	43,8	44,3	43,1

Tabelle 13 Übersicht lichttechnische Ergebnisse Sportplatzbeleuchtung Nutzflächen

Die Tabelle 14 stellt die Ergebnisse der Lichtimmissionsbewertung für drei Varianten dar. Man erkennt, dass die Werte für Raumaufhellung (vertikale Beleuchtungsstärken an den Immissionsorten) deutlich unterschritten werden. Auch die Werte für Blendung unterschreiten die Immissionsrichtwerte aus LAI-Hinweisen.

	Immissionsort	Lu/cd/m2	ks nach LAI	ks simuliert	Ev/lx nach LAI	Ev/lx simuliert
Variante1	IO-1 Whs	0,1	64	38	3	0,06
	IO-1 Stall-1	0,5	160	122	15	0,76
	IO-1 Stall-2	0,5	160	52	15	3,54
	IO-2	0,5	64	53	3	0,42
	IO-3	0,1	64	15	3	0,02
	IO-4	0,5	64	57	3	0,32
	IO-5	0,5	64	54	3	0,34
Variante2	IO-1 Whs	0,1	64	20	3	0,08
	IO-1 Stall-1	0,1	160	70	15	0,88
	IO-1 Stall-2	0,2	160	120	15	1,17
	IO-2	0,1	64	34	3	0,23
	IO-3	0,1	64	15	3	0,05
	IO-4	0,1	64	31	3	0,24
	IO-5	0,1	64	60	3	0,32
Variante 3	IO-1 Whs	0,1	64	15	3	0,1
	IO-1 Stall-1	0,1	160	100	15	1,1
	IO-1 Stall-2	0,2	160	51	15	0,86
	IO-2	0,1	64	38	3	0,3
	IO-3	0,1	64	23	3	0,06
	IO-4	0,1	64	34	3	0,27
	IO-5	0,1	64	54	3	0,47

Tabelle 14 Ergebnisse der Lichtimmissionsbewertung Sportplatzbeleuchtung

Kostenvergleich mit dem TCO-Tool

Eckdaten: Strompreis 30 cent/kWh; jährliche Strompreissteigerung 5 %; Brenndauer der Anlage pro Jahr 1.000 h (Kunstrasen); Betrachtungszeitraum 20 Jahre

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Gesamtleistung kW	16,98	10,36	12,95
Wartungskosten €	3.600		
Stromkosten €	168.478	102.769	128.461
Investitionskosten €	16.280	28.640	37.600
Gesamtkosten €	188.358	131.409	166.061

Tabelle 15 Kostenschätzung über 20 Jahre

Bei dieser Kostenschätzung wurde mit Nettopreisen für die Leuchten gerechnet. Die Montagekosten sowie Kosten für Installation von Masten wurden mitberücksichtigt. Die Kosten für Leuchtmittelwechsel bei der konventionellen Lösung mit 6.000 h Nutzlebensdauer wurden ebenfalls beachtet. Die Kosten für Reinigung wurden bei der Kostenschätzung nicht berücksichtigt, weil diese ungefähr gleich wären und sich so kürzen lassen.

Die Ergebnisse aus dem TCO-Tool (siehe Tabelle 15) zeigen, dass aus wirtschaftlicher Sicht die Variante 2 mit vier Masten am billigsten ist. Das könnte das entscheidende Kriterium für die Variante 2 sein. Die konventionelle Lösung (die Variante 1) verursacht in diesem Fall größere Kosten, weil die Wartungskosten für Leuchtmittelwechsel und Energieverbrauch recht hoch sind.

Die Kosten im TCO-Tool werden wie folgt berechnet:

Wartungskosten = Anzahl der Leuchten * Wartungszyklen über Betrachtungszeitraum*
Wartungskosten pro Leuchte incl. Leuchtmittel

Stromkosten = Anzahl der Leuchten * Systemleistung * Brenndauer pro Jahr * Strompreis +
jährliche Strompreissteigerung

Investitionskosten = Anzahl der Leuchten * (Leuchtenpreis + Montagekosten)



Abbildung 30 Plan Sportplatzbeleuchtung (Philips Lighting GmbH)

10 Fazit

Lichtverschmutzung ist mittlerweile nicht mehr ein unbekanntes und unerforschtes Gebiet. Das Thema ist aber noch nicht wirklich in der Öffentlichkeit angekommen. Diese Arbeit soll diese entstandene Lücke füllen und auf das Thema aufmerksam machen. Außerdem macht diese Arbeit deutlich, dass jetzt ein Handlungsbedarf besteht um Natur und Lebewesen vor möglichen negativen Auswirkungen der Lichtverschmutzung zu schützen.

Eine rücksichtsvolle Beleuchtungsplanung ist möglich! Das wurde im Kapitel 9 an zwei Praxisbeispielen gezeigt. Rücksichtsvolle Beleuchtungsplanung, aus Sicht der Umwelt- und des Naturschutzes, kann mit technischen Ansätzen wie im Kapitel 8 vorgeschlagen, erfolgen. Aus technischer Sicht ist heutzutage vieles möglich. Wenn man technische Ansätze beachtet und sie einsetzt, können die möglichen negativen Auswirkungen begrenzt werden.

Die Begriffe wie: Nachhaltigkeit, Umweltfreundlichkeit und Energieeffizienz sind wichtige Aspekte, mit denen die heutige Gesellschaft sich auseinandersetzt und auseinandersetzen muss. Zum Beispiel Energieeffizienz. Das Licht von einer Leuchte im oberen Halbraum (ULOR) nutzt nicht und trägt zur Himmelsaufhellung bei. Das bedeutet eine reine Energieverschwendung. Nach Lang gehen so in den USA etwa 1.000 Millionen US-Dollar (im Jahr 1998) an Energiekosten pro Jahr verloren (vgl. Lang, 2013, S. 91). Das Energieeinsparpotential ist somit sehr hoch, wenn man zum Beispiel herkömmliche Technologie mit Natriumdampflampen oder LED-Technologie mit einer geeigneten Abstrahlcharakteristik und einer zusätzlichen Lichtsteuerung einsetzt. Eine immissionsfreie Beleuchtungsanlage bedeutet außerdem nicht automatisch einen größeren Investitionsaufwand wie das Praxisbeispiel im Kapitel 9.1 Parkplatzbeleuchtung auf Seite 82 zeigt. Mit Ausrichtung der Leuchten und einer geeigneten Optik kann aus Sicht des Lichtimmissionsschutzes viel erreicht werden.

Das Ziel für weitere wissenschaftliche Untersuchungen wäre, Fachleute aus verschiedenen Bereichen wie Natur- und Tierschutz, Lichttechnik, Astronomie, Medien, Politik, Energieversorgern und Kommunen zusammenzubringen, um möglichst fachübergreifende Ergebnisse zu erzielen. Sobald die wissenschaftlichen Aspekte ausreichend untersucht sind, sind Entscheidungsträger aus Politik gefragt, eine gesetzliche Grundlage mit vorgeschriebenen Grenzwerten für eine reibungs- und lückenlose Regelung auszuarbeiten. Aus technischer und wissenschaftlicher Sicht ist eine rücksichtsvolle Beleuchtungsplanung möglich!

Lichtverschmutzung ist ein globales Problem. Um Lichtverschmutzung effektiv zu begrenzen sind einheitliche Regelungen auf der internationalen Ebene notwendig. Auf diese Regelungen können sich dann zum Beispiel Umweltschützer und Fachplaner stützen.

Literaturverzeichnis

- Amt der Oö. Landesregierung, Abteilung Umweltschutz. (2013). *Leitfaden besseres Licht*. Linz: FRIDRICH VDV.
- Borgwardt, C., Tucker, T., & Mazzarella, K. (2013). Meeresschildkröten als Opfer der Strandbeleuchtung. In T. Posch, F. Hölker, A. Freyhoff, & T. Uhlmann (Hrsg.), *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen* (S. 139-155). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Bromundt, V. (2013). Licht stellt unsere innere Uhr-Zeitgeber und die Grundlage der Chronobiologie. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 27-30). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- (2013). *Broschüre "Verlust der Nacht"*. Backnang: Forschungsverbund Verlust der Nacht.
- Brüning, A., & Hölker, F. (2013). Lichtverschmutzung und die Folgen für Fische. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 69-72). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI). (2012). *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)*. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg als Vorsitzland der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI).
- Bundesregierung 18 Wahlperiode. (2015). *Lichtverschmutzung*. Politik. Berlin: Deutsche Bundestag.
- Cajochen, C. (2013). Licht auf die innere Uhr. In T. Posch, F. Hölker, A. Freyhoff, & T. Uhlmann (Hrsg.), *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen* (S. 189-202). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Eisenbeis, G. (2013a). Lichtverschmutzung und die Folgen für nachtaktive Insekten. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 53-56). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Eisenbeis, G. (2013b). Insekten und künstliches Licht. In T. Posch, F. Hölker, A. Freyhoff, & T. Uhlmann (Hrsg.), *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen* (S. 83-107). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Flügge, D. (2015). *Lesbarkeit der Stadt bei Nacht-Maßgeblichkeit eines guten Beleuchtungskonzeptes*. Hamburg.
- Fördergemeinschaft Gutes Licht. (2008). *licht.wissen 01. Die Beleuchtung mit künstlichem Licht*. Abgerufen am 20. September 2015 von http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/lichtwissen01_Beleuchtung_kuenstliches_Licht.pdf
- Fördergemeinschaft Gutes Licht. (2010). *licht.wissen 08. Sport und Freizeit*. Abgerufen am 10. September 2015 von http://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/h08.pdf
- Fördergemeinschaft Gutes Licht. (Februar 2014). *licht.wissen 03. Straße, Wege und Plätze*. Abgerufen am 8. August 2015 von <http://www.zvei-shop.de/licht?sCoreId=8320df6635311e42e1443313d1248c0b>
- Gall, D. (2007). *Grundlagen der Lichttechnik*. München: Richard Pflaum Verlag.

- Götz, D., Haensch, G., & Wellmann, H. (Hrsg.). (2008). *Größwörterbuch Deutsch als Fremdsprache*. Berlin und München: Langenscheidt Berlin.
- Greule, R. (2015). *Licht und Beleuchtung im Medienbereich*. (U. Schmidt, Hrsg.) München: Carl Hanser Verlag München.
- Griefahn, B. (2014). *Ursachen und Folgen künstlicher Beleuchtung für Umwelt, Natur und Mensch. Teilprojekt 06. Lichtverschmutzung-Wirkungen auf den Menschen*. Dortmund: Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund.
- Haber, W. (2013). Taglandschaften und Nachtlandschaften. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 19-22). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Hänel, A. (2012). *Beleuchtungsempfehlungen für Sterneparks*. Osnabrück.
- Hänel, A. (2013a). Beleuchtungsrichtlinie für Sternepark im Biosphärenreservat Rhön. In *Sternepark im Biosphärenreservat Rhön. Handlung für Kommunen* (S. 4-7). Osnabrück: Regionale Arbeitsgemeinschaft Rhön (ARGE Rhön).
- Hänel, A. (2013b). Lichtverschmutzung in Mitteleuropa. In T. Posch, F. Hölker, A. Freyhoff, & T. Uhlmann (Hrsg.), *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen* (S. 59-81). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Held, M., Hölker, F., & Jessel, B. (2013). Schutz der Nacht-die andere Hälfte des Natur- und Landschaftsschutzes. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 13-16). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Hofmeister, S. (2013). Vermeidung von Lichtverschmutzung-Schutz der Nacht: Handlungsmöglichkeiten der Raum- und Umweltplanung. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 133-136). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Hölker, F., & Tockner, K. (2013). Der Einfluss von nächtlichem Kunstlicht auf Gewässerökosysteme. In T. Posch, F. Hölker, A. Freyhoff, & T. Uhlmann (Hrsg.), *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen* (S. 173-187). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Holmes, A., & Schmidt, A. J. (2006). Geschichte der Stadtbeleuchtung. In A. J. Schmidt, & M. Töllner (Hrsg.), *Stadtlicht. Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung* (S. 16-21). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Holzauer, S., & Hölker, F. (2013). Vorchungsverbund "Verlust der Nacht". In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 141-144). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Hüppop, O., Klenke, R., & Nordt, A. (2013). Vögel und künstliches Licht. In T. Posch, F. Hölker, A. Freyhoff, & T. Uhlmann (Hrsg.), *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen* (S. 111-137). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- IDA, International Dark-Sky Association. (kein Datum). Abgerufen am 30. November 2015 von <http://darksky.org/>

- Kindel, R. (17. Januar 2015). Anwendungsbereich von LAI-Hinweisen und BImSchG. (J. Ebauer, Interviewer)
- Klaus, G., Kägi, B., Kobler, R., Maus, K., & Righetti, A. (2005). *Empfehlung zur Vermeidung von Lichtemissionen*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Knab, B. (2013). Lichtverschmutzung und die Folgen für menschliche Gesundheit. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 77-80). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Koch, J. (16. Mai 2015). "Neubau mit Staubbad". (R. Augstein, Hrsg.) *Spiegel*(Nr.21), 115.
- Kuechly, H., Kyba, C., & Hölker, F. (2013). Woher kommt das Licht? Räumliche Betrachtung der Lichtverschmutzung. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 39-42). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Lang, D. (2013). Neue Systemlösungen und Beleuchtungsstrategien im Außenraum. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 91-94). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Lewanzik, D., & Voigt, C. C. (2013). Lichtverschmutzung und die Folgen für Fledermäuse. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 65-68). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Maaß, C. A. (2003). Die rechtliche Regulierung von Lichtimmissionen in Natur und Landschaft. In *Lichtökologie-insektenfreundliche und energiesparende Außenbeleuchtung* (S. 14-31). Berlin: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, Landesverband Berlin.
- Meier, J., Pottharst, M., & Müller, J. (2013). *Gesellschaftliche Akteure der künstlichen Beleuchtung*. (F. Hölker, D. Henckel, & S. Völker, Hrsg.) Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- Meseberg, H. (2006). Das städtische Licht. In A. J. Schmidt, & M. Töllner (Hrsg.), *Stadtlicht. Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung* (S. 23-30). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Mohar, A. (2013). Aktiver Nachtschutz in Slowenien-Verordnung zur Vermeidung von Lichtverschmutzung. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 125-128). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Pauen-Höppner, U., & Höppner, M. (2013). Öffentliche Beleuchtung - mehr Licht heißt nicht mehr Sicherheit. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht - Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 105-108). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Poot, H., Ens, B., de Vries, H., Donners, M., Wernand, M., & Marquenie, J. (2008). *Green Light for Nocturnally Migrating Birds. Ecology and Society*. Ecology and Society.
- Posch, T. (2013). Eine kurze Geschichte des Lichts. In T. Posch, F. Hölker, A. Freyhoff, & T. Uhlmann (Hrsg.), *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen* (S. 13-41). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Rehmann, M. (2013). *Gewerbliche Beleuchtung im Wohnquartier-eine unteschätzte nächtliche Belastung?* (F. Hölker, D. Henckel, & S. Völker, Hrsg.) Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- Ris, H. R. (2008). *Beleuchtungstechnik für Praktiker*. Berlin: VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach.

- Röger, C. (2014). *Lichtimmissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Eine Untersuchung der Gesetzgebungskompetenzen und der Betreiberpflichten am Beispiel flutlichtbeleuchteter Sportstätten*. Hamburg: Verlag DR.Kovac.
- Schivelbusch, W. (1983). *Lichtblicke zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert*. (W. Lепенies, Hrsg.) Wien: Carl Hanser Verlag München Wien.
- Soneira, M. (2013). *Auswirkungen auf die Insekten-Fauna durch die Umrüstung von Kugelleuchten auf LED-Beleuchtungen*. Wien.
- Strahlenschutzkommission. (16/17. Februar 2006). *ssk.de*. Abgerufen am 6. November 2015 von http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2006/Blendung_Lichtquellen.html
- TRILUX GmbH. (April 2005). *trilux.com*. Abgerufen am 05. 11 2015 von https://www.trilux.com/fileadmin/Downloads/33_3_Europas_Strassen-D_02.pdf
- Uhrlandt, D. (2014). *Schlussbericht zum Teilprojekt 11: Lichtquellen für nachhaltige Beleuchtungskonzepte*. Greifswald: Vorschungsverbund Verlust der Nacht.
- Walkling, A., & Stockmar, A. (2013). Normen, Richtlinien und Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtimmissionen. In M. Held, F. Hölker, & B. Jessel (Hrsg.), *Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft* (S. 137-140). Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Wikipedia, D. f. (Hrsg.). (24. Mai 2015). *Wikipedia, Dark Sky Association*. Abgerufen am 30. November 2015 von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Dark_Sky_Association&oldid=142436362
- Wikipedia, D. f. (Hrsg.). (26. Juli 2015). *Wikipedia, Lichtverschmutzung*. Abgerufen am 15. November 2015 von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Lichtverschmutzung&oldid=144430523>
- Wikipedia, D. f. (Hrsg.). (13. Juli 2015). *Wikipedia, Rayleigh-Streuung*. Abgerufen am 15. November 2015 von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rayleigh-Streuung&oldid=144003922>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lichtverschmutzung Definition	7
Abbildung 2: links die Entwicklung der arbeitszeitbezogenen Kosten elektrischer Beleuchtung, rechts das Wachstum der Zahl der Straßenleuchten in Wien (Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen. 2013 S 30).....	10
Abbildung 3: Bogenlampe am Potsdamer Platz, Berlin 1880 (Lichtblicke zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Schivelbusch 1983 S 114).....	17
Abbildung 4: Amerikanischer Lichtturm, Kalifornien 1885 (Lichtblicke zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Schivelbusch 1983 S 123).....	18
Abbildung 5: links Edison Dynamo 1881, rechts Bezirk der elektrischen Zentralstation New York 1883 (Lichtblicke zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Schivelbusch 1983 S 68)	19
Abbildung 6: Hauptverkehrsstraße (licht.wissen 03. 2014 S 23).....	20
Abbildung 7 Gesamtspektrum der elektromagnetischen Strahlung (Handbuch für Beleuchtung. Lange 2014 S 2)	22
Abbildung 8: spektrale Hellempfindlichkeit der Menschen (Grundlagen der Lichttechnik. Gall 2007 S 15) ..	23
Abbildung 9: zeitlicher Verlauf der Dunkeladaption (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 67)	24
Abbildung 10: Lichtstrom Φ (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 33)	25
Abbildung 11: LVK einer Leuchte (licht.wissen 01. 2008 S 12).....	25
Abbildung 12: Leuchtdichte L (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 43).....	25
Abbildung 13: Beleuchtungsstärke E (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 39).....	26
Abbildung 14: halbzylindrische und halbsphärische Beleuchtungsstärke (Planungshilfe. Licht für Europas Straßen. Trilux 2005 S 5).....	26
Abbildung 15: Raumwinkel Ω (Licht und Beleuchtung im Medienbereich. Greule 2015 S 37).....	27
Abbildung 16: Zusammenhang zwischen Objektleuchtdichte und Umgebungsleuchtdichte (licht.wissen 03. 2014 S 9)	27
Abbildung 17 Farbtemperatur (licht.wissen 01. 2008 S 27)	28
Abbildung 18: Beispiel einer Sportplatzbeleuchtung mit einer Flutlichtanlage (licht.wissen 08. 2010 S 16) .	36
Abbildung 19: Satellitenaufnahmen Europa. links 1992, rechts 2004 (lichtverschmutzung.de)	40
Abbildung 20: Physiologie des Sehens (licht.wissen 19. 2014 S 16)	41
Abbildung 21 Verschiebung des zirkadianen Systems (Zwischenruf Verlust der Nacht Heft 2. 2009 S 17)....	42
Abbildung 22: spektrale Helligkeitsempfinden einigen Insektenarten (Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. LiTG Nr.15:1997 S 8)	45
Abbildung 23 Prozentuale Flugaktivität links, Spektrum des Farblichtes rechts (Green Light for Nocturnally Migrating Birds. 2008 S 10)	49
Abbildung 24 SQM mit Fischaugenaufnahmen (Bild Andreas Hänel)	60
Abbildung 25 BImSchG eine Übersicht.....	64
Abbildung 26 Spektren von Natrium-Hochdruck-Dampflampen links und warmweiße LEDs rechts (Leitfaden besseres Licht. 2013 S 30)	74
Abbildung 27 Anlagengeometrie Außenbeleuchtung	75
Abbildung 28 Vergleich Abdeckung gewölbt und flach (Licht-Immissionen. Luisi 2008 S 13)	76
Abbildung 29 Plan einer Parkplatzbeleuchtung von einem Discounter in Norddeutschland (Philips Lighting GmbH).....	85
Abbildung 30 Plan Sportplatzbeleuchtung (Philips Lighting GmbH)	90
Abbildung 31 Empfehlung für Parkplätze (DIN EN 12464-2:2014 Arbeitsplätze im Freien. S 20)	99

Abbildung 32 Empfehlung für Fußballplätze (DIN EN 12193:2007 Sportstättenbeleuchtung. S 35)	100
Abbildung 33 Auswahl der Beleuchtungsklassen (DIN EN 13201-1:2004 Auswahl der Beleuchtungsklassen. S 9).....	101
Abbildung 34 Empfehlung für ME-Beleuchtungsklassen (DIN EN 13201-2:2003 Straßenbeleuchtung Gütermerkmale. S 7)	102
Abbildung 35 Empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärken (licht.wissen 16. 2010 S. 29)	102
Abbildung 36 Relative prozentuale Anflugstärke der Insekten an verschiedene Lichtquellen (Das Ende der Nacht. Lichtmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen. 2013 S 102)	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Blendungsbewertungsverfahren eine Übersicht	30
Tabelle 2: Auswahl der Beleuchtungsklassen nach DIN EN 12193 Sportstättenbeleuchtung (DIN EN 12193:2007 Sportstättenbeleuchtung. S 17)	35
Tabelle 3 Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich und im Bereich der Sehaufgabe (DIN EN 12464-2:2014 Arbeitsplätze im Freien. S 8)	37
Tabelle 4: minimale mittlere Leuchtdichte (Beleuchtungstechnik für Praktiker. Ris 2008 S 389)	38
Tabelle 5 Faktoren bei Wechsellicht (LAI-Hinweise. 2012 S 6).....	58
Tabelle 6 Immissionsrichtwerte für Raumaufhellung (LAI-Hinweise. 2012 S 5)	58
Tabelle 7 Immissionsrichtwerte für Blendmaß ks (LAI-Hinweise. 2012 S 9)	59
Tabelle 8 Definition von Zonen der Sterneparks (Beleuchtungsempfehlung für Sterneparks. A.Hänel 2012 S 1)	61
Tabelle 9 Verwendete Leuchten Beispielprojekt Parkplatzbeleuchtung	83
Tabelle 10 Übersicht lichttechnische Ergebnisse Parkplatz Nutzflächen	83
Tabelle 11 Ergebnisse der Lichtimmissionsbewertung Parkplatzbeleuchtung	84
Tabelle 12 Verwendete Leuchten Beispielprojekt Sportplatzbeleuchtung.....	87
Tabelle 13 Übersicht lichttechnische Ergebnisse Sportplatzbeleuchtung Nutzflächen	87
Tabelle 14 Ergebnisse der Lichtimmissionsbewertung Sportplatzbeleuchtung.....	88
Tabelle 15 Kostenschätzung über 20 Jahre	88

Anhang

Auszug aus DIN EN 12464-2:2014 Arbeitsplätze im Freien

DIN EN 12464-2:2014-05
EN 12464-2:2014 (D)

Tabelle 5.9 — Parkplätze

Ref. Nr.	Art des Bereiches, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m lx	U_0 —	R_{GL} —	R_a —	Spezifische Anforderungen
5.9.1	Geringes Verkehrsaufkommen, z. B. Parkplätze von Geschäften, Reihenhäusern und Wohnblöcken, Abstellbereiche für Fahrräder	5	0,25	55	20	
5.9.2	Mittleres Verkehrsaufkommen, z. B. Parkplätze von Warenhäusern, Bürogebäuden, Fabriken, Sportanlagen und Mehrzweckhallen	10	0,25	50	20	
5.9.3	Hohes Verkehrsaufkommen, z. B. Parkplätze von großen Einkaufszentren, großen Sportanlagen und Mehrzweckhallen	20	0,25	50	20	

Abbildung 31 Empfehlung für Parkplätze (DIN EN 12464-2:2014 Arbeitsplätze im Freien. S 20)

Tabelle A.21

Außenanlagen		Referenzfläche		Anzahl der Rasterpunkte		
		Länge m	Breite m	Länge	Breite	
American Football	PA:	110 bis 117,5	55	21	9 bis 11	
Basketball	PA:	28	15	13	7	
	TA:	32	19	15	9	
Faustball	PA:	50	20	17	7	
	TA:	66	32	17	9	
Floorball	PA:	40	20	15	7	
	TA:	43	22	15	7	
Fußball	PA:	100 bis 110	64 bis 75	19 bis 21	13 bis 15	
	TA:	108 bis 118	72 bis 83	21	13 bis 15	
Handball	PA:	40	20	15	7	
	TA:	44	27,5	15	9	
Netball	PA:	30,5	15,3	13	7	
	TA:	37,5	22,5	15	9	
Rugby	PA:	144	69	23	11	
	TA:	154	79	23	11	
Volleyball	PA:	24	15	13	9	
Strandvolleyball		(siehe Anmerkung)		(siehe Anmerkung)		
Tauziehen		—	—	—	13 bis 15	
Klasse	Horizontale Beleuchtungsstärke		—		GR	Farbwiedergabeindex R _a
	E_{av} lx	E_{min}/E_{av}	—	—		
I	500	0,7	—	—	50	60
II	200	0,6	—	—	50	60
III	75	0,5	—	—	55	20

ANMERKUNG Für internationale Wettkämpfe mit hohem Niveau kann in Klasse I eine Länge von 34 m x 19 m der Hauptfläche (PA) gerechtfertigt sein. Die entsprechende Anzahl Rasterpunkte für diese Länge beträgt dann 15 x 9.

Abbildung 32 Empfehlung für Fußballplätze (DIN EN 12193:2007 Sportstättenbeleuchtung, S 35)

Auszug aus DIN EN 13201-1:2004 Straßenbeleuchtung Auswahl der Beleuchtungsklassen

Tabelle 1 — Gruppierung der Beleuchtungssituationen

Typische Geschwindigkeit des Hauptnutzers km/h	Nutzertypen innerhalb einer betrachteten Fläche			Situationen
	Hauptnutzer	Andere zugelassene Nutzer	Ausgeschlossene Nutzer	
> 60	motorisierter Verkehr		langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer Fußgänger	A1
		langsam fahrende Fahrzeuge	Radfahrer Fußgänger	A2
		langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer Fußgänger		A3
> 30 und ≤ 60	motorisierter Verkehr langsam fahrende Fahrzeuge	Radfahrer Fußgänger		B1
	motorisierter Verkehr langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	Fußgänger		B2
> 5 und ≤ 30	Radfahrer	Fußgänger	motorisierter Verkehr langsam fahrende Fahrzeuge	C1
	motorisierter Verkehr Fußgänger		langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	D1
		langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer		D2
	motorisierter Verkehr Radfahrer	langsam fahrende Fahrzeuge Fußgänger		D3
	motorisierter Verkehr langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer Fußgänger			D4
Schrittschwindigkeit	Fußgänger		motorisierter Verkehr langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer	E1
		motorisierter Verkehr langsam fahrende Fahrzeuge Radfahrer		E2

Abbildung 33 Auswahl der Beleuchtungsklassen (DIN EN 13201-1:2004 Auswahl der Beleuchtungsklassen. S 9)

Auszug aus DIN EN 13201-2:2003 Straßenbeleuchtung Gütermerkmale, Anforderungen an Beleuchtungsklassen

Tabelle 1a — ME-Beleuchtungsklassen

Klasse	Fahrbahnleuchtdichte bei trockener Straßenoberfläche			Schwellenwert- erhöhung	Umgebungs- Beleuchtungs- stärkeverhältnis
	\bar{L} in cd/m ² [Wartungswert]	U_0 [Mindestwert]	U_1 [Mindestwert]	Tl in % ^a [Höchstwert]	SR ^b [Mindestwert]
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	keine Anforderung

^a Ein um 5 % erhöhter Tl -Wert kann bei der Verwendung von Lichtquellen mit geringer Leuchtdichte zugelassen werden (siehe Anmerkung 6).

^b Dieses Kriterium ist nur zu verwenden, wenn keine Verkehrsflächen mit eigenen Anforderungen an die Fahrbahn angrenzen.

Abbildung 34 Empfehlung für ME-Beleuchtungsklassen (DIN EN 13201-2:2003 Straßenbeleuchtung Gütermerkmale. S 7)

Auszug aus Fördergemeinschaft Gutes Licht Heft 16, Mindestwerte der Beleuchtungsstärke nach CIE 94 für Fassadenbeleuchtung

Empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärken nach CIE-Publikation 94:1993
Angaben sind Richtwerte, die den jeweiligen Gegebenheiten vor Ort angepasst werden müssen

Material und Farbe der zu beleuchtenden Fläche	Helligkeit der Umgebung		
	gering	mittel	hoch
helle Steine, heller Marmor	20 lx	30 lx	60 lx
mittelhelle Steine, Beton, Zement, leicht gefärbter Marmor	40 lx	60 lx	120 lx
dunkle Steine, grauer Granit, dunkler Marmor	100 lx	150 lx	300 lx
hellgelber Backstein	35 lx	50 lx	100 lx
hellbrauner Backstein	40 lx	60 lx	120 lx
dunkelbrauner Backstein, roter Granit	55 lx	80 lx	160 lx
roter Backstein	100 lx	150 lx	300 lx
dunkler Backstein	120 lx	180 lx	360 lx
Architekturbeton	60 lx	100 lx	200 lx
Naturaluminium	200 lx	180 lx	600 lx
stark eingefärbte Flächen ($\rho = 10\%$)	120 lx	180 lx	360 lx
mittelstark eingefärbte Flächen ($\rho = 30-40\%$)	40 lx	60 lx	120 lx
Flächen mit Pastellfarben ($\rho = 60-70\%$)	20 lx	30 lx	60 lx

Abbildung 35 Empfohlene Mindestwerte der Beleuchtungsstärken (licht.wissen 16. 2010 S. 29)

Auszug aus dem Buch „Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen“. Relative prozentuale Anflugstärke der Insekten an verschiedene Lichtquellen (Eisenbeis, 2013b, S. 102-103)

HME:	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, ellipsoid					
HSE/HST	Natriumdampf-Hochdrucklampen, ellipsoid/tubulär					
LL	Leuchtstofflampen/-röhren					
CDO-E	Metallhalogendampflampen, ellipsoid					
CDO-T	Metallhalogendampflampen, tubulär					
CDO_mix	Metallhalogendampflampen: kaltweiß, neutralweiß und warmweiß gemittelt					
LED_mix	LED-Lampen kaltweißer, neutralweißer und warmweißer Lichtfarbe gemittelt (der Wert aus der Studie Düsseldorf repräsentiert vorwiegend Anflüge an kaltweiße LEDs)					
LED_weiß	Lampen mit Farbtemperatur im Grenzbereich neutral-/kaltweiß					
Feldstudie	Leuchtmittel					
Straßenbeleuchtung Rheinhesen 1997 Eisenbeis & Hassel 2000 [15]		HME		HSE		
	Leistung [Watt]	80		50–70		
	Farbtemperatur [Kelvin]	3.400		2.000		
	Anflug [%]	100		45,5		
Straßenbeleuchtung an einem Deichweg Düsseldorf 2008 Eisenbeis & Eick 2011 [16]		HME	CDO-E	LL	HSE	LED_mix
	Beleuchtungsstärke Lux 1,5 m ü. Boden	23–30	30–43	18–33	42–56	12–16
	Farbtemperatur [Kelvin]	3.400	2.820	4.500	2.000	6.500/4.100/ 3.000
	Leistung [Watt]	80	70	2x18	70	36
	Anflug [%]	100	84	54	46,4	19,9
Lampentest mit bodennahen Kastenfallen in einem Waldgebiet Völs/Tirol 2010 Huemer et al. 2011a [17]		CDO_mix		HST	LED_kalt-weiß	LED_warm-weiß
	Farbtemperatur [Kelvin]	5.600 4.200 3.000		2.000	6.000	3.000
	Leistung [Watt]	78/73/74		70	2x25	2x25
	Anflug [%]	100		55,5	25,5	15,6
	Anflug [%]	HME*	CDO_mix	HST	LED_kalt-weiß	LED_warm-weiß
Lampentest mit bodennahen Kastenfallen in einem Waldgebiet Völs/Tirol 2011 Huemer et al. 2011b [18]		HME*		HST	LED_neutral-weiß	LED_warm-weiß
	Farbtemperatur [Kelvin]	1.844		4.208	2.672	
	Leistung [Watt]	70				
	Lichtstrom [Lumen]	6.600		6.630	6.684	
	Anflug [%]	100		66,8	54,4	
Anflug [%]	HME*	HST	LED_neutral-weiß	LED_warm-weiß		
Anflug [%]	100	45	30,1	24,5		

Feldstudie	Leuchtmittel					
Straßenbeleuchtung Frankfurt/Main 2011 Eisenbeis et al. 2012 [19]		CDO-T	–	HST	LED_weiß	LED_warm-weiß
	Fahrbahn-Beleuchtungsstärke [Lux]**	8,6	–	8,1	6,1	6,1
	Farbtemperatur [Kelvin]	2.800	–	2.000	5.000	3.000
	Leistung [Watt]	70	–	70	39	57
	Lichtstrom [Lumen]	6.700	–	6.600	2.720	2.720
	Anflug [%]	100	–	77,5	56,2	29,3
	Anflug [%]	HME*	CDO-T	–	HST	LED_weiß
Anflug [%]	100	58	–	45	32,6	17,0

* Anflug an HME hochgerechnet nach Literaturdaten (Eisenbeis & Eick 2011) für HSE/HME = 0,45.
 ** Die Beleuchtungsstärke der Versuchsstraße in Frankfurt/Main wurde nach der DIN EN 13201, Beleuchtungskategorie S4 für eine Nutzfahrgeschwindigkeit von 5–30 km/h berechnet. Gefordert wird hier eine mittlere Beleuchtungsstärke von 5 Lux.

Abbildung 36 Relative prozentuale Anflugstärke der Insekten an verschiedene Lichtquellen (Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren-Perspektiven-Lösungen. 2013 S 102)

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel:

Rücksichtsvolle Beleuchtungsplanung als möglicher Beitrag zur Reduzierung von Lichtverschmutzung im Außenraum

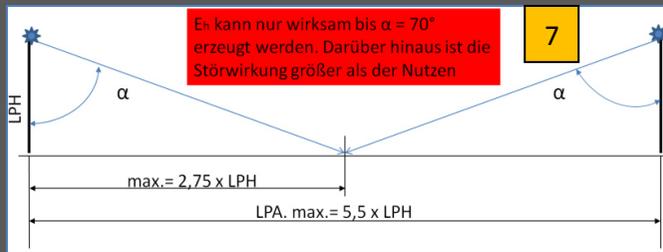
ohne fremde Hilfe selbstständig und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich oder dem Sinn nach aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie zum Beispiel Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 29.02.2016

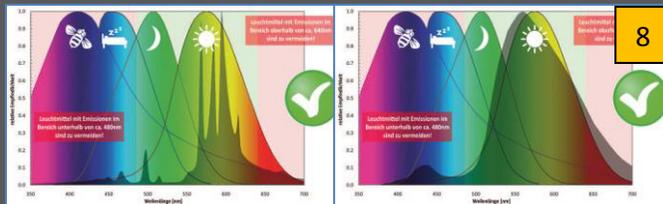
Unterschrift

Planungsempfehlung

Anlagengeometrie



Spektrale Zusammensetzung: links Natriumdampf, rechts warmweiße LED



Viermal-W-Fragen:

- Wo? (eine räumliche Eingrenzung) Welche Flächen sollen genau beleuchtet werden? (siehe Bild 2)
- Wann? (eine zeitliche Eingrenzung) Die Betriebszeit einer Lichtanlage muss genau definiert werden. Bedarfsorientierte Nutzung
- Wieviel? (eine anwendungsspezifische Eingrenzung) Wie hoch muss Beleuchtungsniveau, Leuchtdichte, Gleichmäßigkeit, Farbwiedergabe usw. sein? Eine Orientierung geben DIN-Normen
- Wie? (eine leuchten- und anlagenspezifische Eingrenzung):
 - Spektrale Zusammensetzung des Kunstlichtes: geringer UV- und Blauanteil (siehe Bild 8)
 - Abstrahlcharakteristik (LVKs): gute Abschirmung, kein Licht im ULOR = 0 % (siehe Bild 2)
 - Anlagengeometrie: (siehe Bild 7)
 - Ausrichtung von Leuchten: nahezu waagerechte Lichtaustrittsfläche

(gesetzliche) Grundlagen DE

-Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) von 1974

-CIE150:2003 und CIE126:1997 von der internationalen Beleuchtungskommission

-Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Lichtimmissionsschutz (LAI-Hinweise 2012)

-Empfehlung für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen 12.3 von LiTG 2011

-DIN EN 12462-2:2014 Licht und Beleuchtung von Arbeitsstätten. Teil 2: Arbeitsplätze im Freien

-DIN EN 12193:2007 Licht und Beleuchtung - Sportstättenbeleuchtung

-Beleuchtungsrichtlinien für den Sternepark im Biosphärenreservat Rhön von Andreas Hänel Fachgruppe Dark Sky 2013

Bildernachweis:

- 1: NASA [Weltkarte](#)
- 2: Bearbeitetes Bild. Vorlage: Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft 2013 S 92
- 3: Zwischenruf Verlust der Nacht Heft 2/2009 S 17
- 4: Stadtlicht Berlin Lichtkonzept 2011-2015 S 16
- 5: Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft 2013 S 75
- 6: LUG-Informationen zur Nachtabschaltung der Straßenbeleuchtung 2012 S 12
- 7: eigene Darstellung
- 8: Leitfaden Besseres Licht. Alternativen zum Lichtsmog 2013 S 33

Kontakt über XING: John Ebauer

Lichtverschmutzung



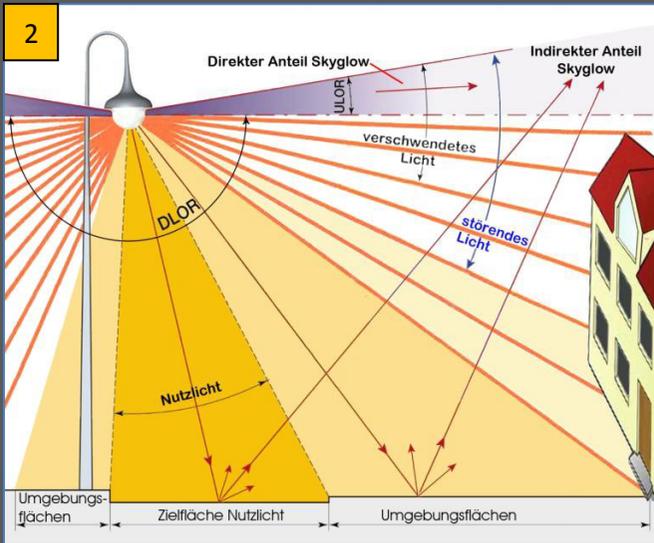
Definition, mögliche Folgen und
Planungsempfehlung zur
Reduzierung von Störwirkungen

rücksichtsvolle
Beleuchtungsplanung ist möglich!



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Lichtverschmutzung - was heißt das?



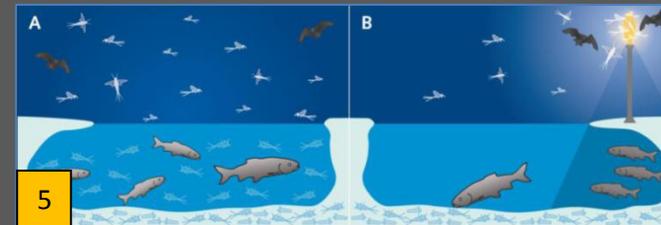
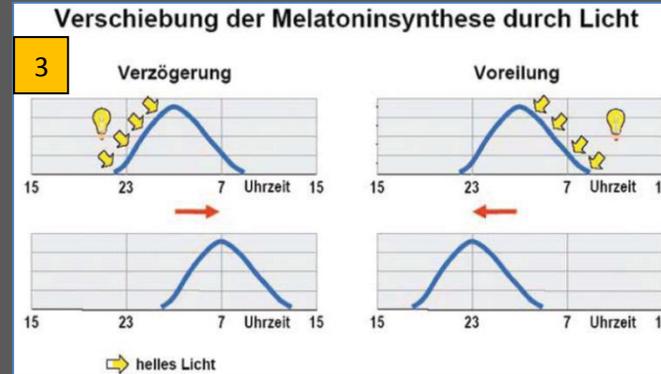
Licht, das dorthin abgestrahlt wird, wo es **nicht** gebraucht wird und womöglich stört

mögliche Störwirkungen sind:

- Raum- und Himmelsaufhellung
- physio- und psychologische Blendung
- Beeinträchtigung der Fauna

Lichtverschmutzung nimmt weltweit jährlich um 6% zu

Lichtverschmutzung - welche Folgen hat das?



Der heutige Umgang mit Kunstlicht ermöglicht die Verschiebung vom natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus. Wegen ungewollten Auswirkungen auf die Umgebung gilt es, dies zeitlich und räumlich zu begrenzen.

mögliche Folgen für den **Menschen**:

- Störung des zirkadianen Systems
- Verschiebung und Unterdrückung von Melatoninsynthese (siehe Bild 3)
- Schlafstörungen

Folgen für **Tiere**:

- z.B. **Insekten** werden in ihren natürlichen Lebensräumen und ihren Lebensabläufen (Nahrungssuche und Fortpflanzung) beeinträchtigt
- schätzungsweise sterben in Deutschland jeden Sommer eine halbe Milliarde Insekten pro Nacht* (*bei 6,8 Millionen Straßenleuchten)

- z. B. **Fische** werden schon bei niedrigen Beleuchtungsstärken (ab 1-10 lx) beeinträchtigt

- Wanderung der Tiere kann gestört und unterbrochen werden

Folgen für die **Nachtlandschaft**:

- Himmelsaufhellung und Beeinträchtigung der Sternenbeobachtung (für 20 % der Weltbevölkerung und 50 % der Anwohner Westeuropas ist die Milchstraße nicht mehr zu sehen)
- Änderung der natürlichen Nachtlandschaft