

Straßenbeleuchtung

LEKTION 4

Prof. Dr. Ulrich H. P. Fischer-Hirchert
Christian Reinboth

Lichtökologie und Lichtwahrnehmung

Hinweis des Herausgebers

© 2009, Herausgeber dieser Lektion des schriftlichen Management-Lehrgangs ist die EUROFORUM Verlag GmbH, Düsseldorf. Wir weisen darauf hin, dass das Urheberrecht sämtlicher Texte und Grafiken in dieser Lektion bei dem/n jeweiligen Autor/en und das Urheberrecht des Lehrgangs als Sammelwerk bei dem Herausgeber liegt. Die begründeten Urheberrechte bleiben umfassend vorbehalten. Jede Form der Vervielfältigung z. B. auf drucktechnischem, elektronischem, optischem, photomechanischem oder ähnlichem Wege – auch auszugsweise – bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Einwilligung sowohl des Herausgebers als auch des jeweiligen Autors der Texte und Grafiken. Es ist Lehrgangsteilnehmern und Dritten nicht gestattet, die Lektionen oder sonstige Unterrichtsmaterialien zu vervielfältigen.



Prof. Dr. habil. Ulrich H. P. Fischer-Hirchert

Prof. Dr. habil. Ulrich H. P. Fischer-Hirchert (Lichtwahrnehmung und Kriminalprävention) studierte von 1976 bis 1982 Physik an der FU Berlin. Seine Promotion erlangte er 1988 im Bereich der angewandten Festkörperphysik. Seine Habilitation konnte er 2006 in dem Gebiet des photonischen Packaging in der optischen Nachrichtentechnik an der Technischen Universität Dresden abschließen.

Von 1988 an arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Heinrich-Hertz-Institut in Berlin an mehreren EU-Forschungsprojekten und leitete die dortige Arbeitsgruppe für optische Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT).

Seit April 2001 leitet er den Lehrstuhl für Kommunikationstechnik an der Hochschule Harz in Wernigerode. Er ist Mitgründer des Technologie-Start-up-Unternehmens HarzOptics und Autor von über 100 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Vorträgen in zumeist internationalen Zeitschriften und Tagungen.



HarzOptics GmbH: <http://www.harzoptics.de>

Website des Autors: <http://ufischerhirchert.hs-harz.de>



Christian Reinboth, Diplom-Wirtschaftsinformatiker

Christian Reinboth (Lichtökologie) ist Diplom-Wirtschaftsinformatiker (FH) und ebenfalls einer der Mitbegründer der HarzOptics GmbH, wo er für ökologische Assessments sowie die Softwareentwicklung verantwortlich ist. Neben seiner Tätigkeit bei HarzOptics arbeitet Reinboth als Lehrbeauftragter an der Hochschule Harz sowie als freiberuflicher Consultant im Bereich der Markt- und Meinungsforschung und studiert im berufsbegleitenden Masterstudiengang „Interdisziplinäre Umweltwissenschaften“ an der Fernuni Hagen.

Seit seinem Studienabschluss im Jahr 2005 war Christian Reinboth an mehr als einem Dutzend wissenschaftlicher Veröffentlichungen in den Bereichen Photonik, Umweltschutz und Marktforschung beteiligt. Im grin-Verlag für wissenschaftliche Texte erschien 2007 sein erstes Buch mit dem Titel „Möglichkeiten und Grenzen von Online-Befragungen“.



HarzOptics GmbH: <http://www.harzoptics.de>

Website des Autors: <http://www.christian-reinboth.de>

Blog des Autors: <http://www.scienceblogs.de/frischer-wind>

Inhalt

Zielformulierung	6
1 Einführung	7
1.1 Licht und Umweltschutz	7
1.2 Licht und öffentliche Sicherheit	8
1.3 Lichtwahrnehmung durch den Menschen	8
2 Das Problem der Lichtverschmutzung	9
2.1 Kurze Historie der Straßenbeleuchtung	9
2.2 Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung	9
2.3 Was ist Lichtverschmutzung?	12
2.4 Folgen der Lichtverschmutzung	14
2.5 Ausmaß der Lichtverschmutzung heute	15
3 Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen und Menschen	20
3.1 Warum wirkt Licht sich auf Lebewesen aus?	20
3.2 Auswirkungen auf Insekten	20
3.3 Auswirkungen auf Vögel	23
3.4 Auswirkungen auf andere Tierarten	24
3.5 Auswirkungen auf Pflanzen	25
3.6 Auswirkungen auf komplexe Ökosysteme	26
3.7 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit	30
4 Eindämmung von Lichtverschmutzung	32
4.1 Was macht gute Beleuchtung aus?	32
4.2 Zehn praxisnahe Tipps	34
4.3 Ökologische Beleuchtungstrends	37
5 Licht und öffentliche Sicherheit	40
5.1 Straßenbeleuchtung und Kriminalität	40
5.2 Angst und Dunkelheit	40
5.3 Kriminalprävention durch intelligente Lichtplanung	41
5.4 Führt weniger Licht zu mehr Verbrechen?	43
5.5 Erfahrungen mit der Nachabschaltung	44
5.6 Fazit: Mehr Licht bedeutet nicht mehr Sicherheit	45
6 Theorie der Lichtwahrnehmung	46
6.1 Farbwahrnehmung	46
6.1.1 Kurze Geschichte der Farbwahrnehmung	46
6.1.2 Grundlagen der Farbwahrnehmung	46
6.1.3 Konstantes Farbempfinden	50
6.2 Das CIE-Normenvalenzsystem	51
6.2.1 Farbdefinitionen	51
6.2.2 Farbeinteilung	51
6.2.3 CIE-Normenvalenzsystem	52

Zusammenfassung	56
Übungsaufgaben	58
Lösungen	59
Literaturverzeichnis	61

Zielformulierung

Die ersten drei Kapitel dieser Lektion sind der Frage gewidmet, wie sich Straßenbeleuchtung ökologisch verträglich planen lässt. Sie werden darin lernen, dass Straßenlampen nicht nur viel Energie verbrauchen und damit zum menschengemachten Klimawandel beitragen, sondern auch mitverantwortlich für das allmähliche Verschwinden des nächtlichen Sternenhimmels sind. Anhand einer Reihe von Beispielen wird Ihnen darüber hinaus gezeigt, dass Straßenbeleuchtung und andere Formen der nächtlichen Illumination äußerst negative Folgen für viele Tierarten (allen voran für nachtaktive Insekten), Pflanzen und sogar die Gesundheit des Menschen haben kann.

Vor diesem theoretischen Hintergrund werden Ihnen im vierten Kapitel die Grundsätze einer ökologisch verträglichen Beleuchtungsplanung nähergebracht. Dabei werden Sie lernen, dass es nicht ausreicht, allein auf den Energieverbrauch einer Straßenlampe zu achten. Vielmehr spielen etliche weitere Aspekte wie beispielsweise die Abschirmung des Lampengehäuses, die abgestrahlte Lichtfarbe oder aber auch die Lebensdauer der Lampe eine wichtige Rolle, will man Straßenbeleuchtung ökologisch nachhaltig analysieren und planen. Zehn Praxistipps zur umweltverträglichen Beleuchtung sowie ein Ausblick auf einige Umwelttrends im Beleuchtungsbereich runden diesen Abschnitt des Lehrbriefs inhaltlich ab.

Das fünfte Kapitel befasst sich mit der Frage, inwiefern die Straßenbeleuchtung mit der Verbrechensrate zusammenhängt. Sind hell beleuchtete Straßen wirklich sicherer? Stehen Energieersparnis und Sicherheit somit in Konkurrenz zueinander? Wie lässt sich der Themenbereich der öffentlichen Sicherheit in die Planung von Straßenbeleuchtung einflechten?

Der Begriff Farbe ist mit vielen Unklarheiten behaftet. Um eine exakte Vorstellung von Farbe zu bekommen, ist zunächst eine Begriffsbestimmung unumgänglich. Dazu soll im finalen Abschnitt dieser Lektion zunächst der Vorgang „Farbe sehen“ physiologisch und psychologisch genauer analysiert werden. Weiterhin wird auf die exakte wissenschaftliche Definition der Farbe nach dem CIE-Normenvalenzsystem eingegangen. Dabei wird unterschieden nach dem von Gegenständen reflektierten Licht und dem Licht, welches von Lichtquellen direkt ausgesandt wird. Die Farbwahrnehmung beinhaltet dabei die Wahrnehmung von Hell und Dunkel sowie die Wahrnehmung von Farbe.

1 Einführung

1.1 Licht und Umweltschutz

Vielleicht fragen Sie sich gerade, warum ein Lehrgang, der dem Thema „Straßenbeleuchtung“ gewidmet ist, überhaupt eine Lektion enthält, die sich schwerpunktmäßig mit ökologischen Aspekten auseinandersetzt.

Der Grund hierfür ist, dass Straßenbeleuchtung – wie auch jede andere Form der nächtlichen Beleuchtung – auf vielfältige Art und Weise mit unserer natürlichen Umwelt interagiert. Ein wesentlicher Zusammenhang besteht beispielsweise darin, dass der Energieverbrauch der Straßenlampen nicht unerheblich zum Eintrag von CO₂ in unsere Atmosphäre und damit zum anthropogenen Klimawandel beiträgt, wie in Kapitel 2 gezeigt werden wird. Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieverbrauchs eröffnen sich zum einen durch neue Technologien wie beispielsweise die LED-Technik sowie zum anderen durch den Verzicht auf Beleuchtung überall dort, wo sie objektiv nicht benötigt wird.

Neben den indirekten Umweltfolgen des Energieverbrauchs gehen von Straßenbeleuchtung aber auch direkte Umwelteffekte aus, denn Licht beeinflusst nachtaktive Tiere ebenso wie die Vegetation – und auch die menschliche Gesundheit kann durch übermäßige nächtliche Beleuchtung in Mitleidenschaft gezogen werden, wie aktuelle Studien aus Israel und den USA belegen. Negative Folgen sind vor allem dort zu erwarten, wo Licht im Übermaß oder nicht zielgerichtet eingesetzt wird – man spricht in diesem Zusammenhang auch von der „Lichtverschmutzung“ oder dem „Lichtsmog“. Im nächsten Kapitel werden wir uns näher damit befassen, was diese Begriffe bedeuten und unter welchen Umständen Licht als „Verschmutzung“ angesehen werden kann. Im darauffolgenden Kapitel 3 werden wir dann die Effekte der Lichtverschmutzung auf Tiere, Pflanzen und die Gesundheit des Menschen im Detail betrachten und „Best-Practice“-Ansätze herausarbeiten.

Ein weiterer Effekt der Lichtverschmutzung ist zwar nicht ökologischer Natur, soll in dieser Lektion aber dennoch nicht ausgeklammert werden: die durch die zunehmende Aufhellung des Nachthimmels ausgelöste „Ausdimmung“ der Sterne, die nicht nur alle Hobbyastronomen (und mittlerweile auch etliche professionelle Observatorien) in ihren Beobachtungsmöglichkeiten einschränkt, sondern auch den Menschen ein wertvolles Kulturgut raubt. Der umsichtige Einsatz von Licht kann auch bei diesem Problem Abhilfe schaffen, weshalb wir uns im zweiten Kapitel im Zusammenhang mit der Definition des Lichtverschmutzungsbegriffs auch mit den Folgen übermäßiger Beleuchtung für die Astronomie beschäftigen werden.

Nach einer detaillierten Betrachtung der Ursachen und Folgen von Lichtverschmutzung wenden wir uns in Kapitel 4 der wichtigen Frage zu, welche Möglichkeiten den Planern öffentlicher Beleuchtungsprojekte zur Verfügung stehen, um Lichtverschmutzung effektiv einzudämmen. Hier wird insbesondere die Frage im Vordergrund stehen, wie die Bauform von Lampengehäusen dazu beitragen kann, den ökologisch verträglichen und sparsamen Einsatz von Licht zu unterstützen. Das

Kapitel schließt mit einigen Praxis-Tipps für die Beleuchtungsplanung und einem kurzen Ausblick auf die technischen und politischen Trends der kommenden Jahre im Bereich der umweltfreundlichen Beleuchtungstechnik.

1.2 Licht und öffentliche Sicherheit

Hell erleuchtete Straßenzüge werden von uns instinktiv als ganz besonders sichere Zonen wahrgenommen. Überraschenderweise zeigen die wenigen Studien, die zum Thema „Licht und öffentliche Sicherheit“ existieren, dass zwischen dem Grad der Beleuchtung und der tatsächlichen Kriminalitätsrate keine starken Zusammenhänge bestehen. Energieeinsparung bzw. Lichtsmog-Prävention und öffentliche Sicherheit stehen somit keinesfalls im Spannungsverhältnis zueinander.

Das fünfte Kapitel widmet sich dieser Problematik und fasst die wichtigsten Untersuchungen zum Thema kurz zusammen. Darüber hinaus wird diskutiert, wie der Aspekt der öffentlichen Sicherheit zukünftig in die Planung von Beleuchtungsanlagen einfließen könnte bzw. sollte und welche Möglichkeiten Kommunen und Städte über die Beleuchtung hinaus haben, um dunkle Wege sicher zu machen.

1.3 Lichtwahrnehmung durch den Menschen

Die Farbwahrnehmung ist als Teilbereich des Sehens die Fähigkeit, elektromagnetische Wellen verschiedener Farbfrequenzen in ihrer Intensität zu unterscheiden. Diese Fähigkeit kann man praktisch bei allen Lebewesen nachweisen, da es zum Überleben wichtige Zusatzinformationen zum Hell-/Dunkel-Erkennen generiert.

Das Spektrum des wahrgenommenen Lichtes ist dabei allerdings sehr unterschiedlich verteilt. Als Menschen können wir Frequenzen zwischen 1.014 und 1.015 Hz wahrnehmen. Diese Frequenzen sind äquivalent zu den besser bekannten Wellenlängen der Lichtschwingungen von 0,4 µm und 0,7 µm Länge.

Heutzutage hat die Farbanalyse durch die Anwendungen der bildgebenden Systeme wie Monitore, Fernseher etc. einen hohen wissenschaftlichen Stellenwert, da die Wiedergabe exakter Farbtöne auf diesen Systemen sehr schwierig zu kalibrieren ist. Zudem haben die Farbeeindrücke einen starken Einfluss auf die Befindlichkeit des Menschen, was in Marktforschung und Umweltgestaltung intensiv genutzt wird, um ein positives Umgebungsklima beispielsweise für die Arbeitsumgebung oder Wohnumgebung zu schaffen.

Dazu gehört auch die nächtliche Beleuchtungsgebung sowohl im Innenbereich als auch im Außenbereich. Durch die neue LED-Technik ist es möglich, hier Neuland zu betreten und eine sicherheitsfördernde Farbgebung zu utilisieren. Wie genau die Farbwahrnehmung biologisch funktioniert und wie man dieses Wissen heute in der Technik nutzt, wird im letzten Kapitel dieses Lehrbriefs besprochen.

2 Das Problem der Lichtverschmutzung

2.1 Kurze Historie der Straßenbeleuchtung

Seit etwas mehr als 110 Jahren werden die Straßen unserer Städte auch elektrisch beleuchtet.¹ Zu Beginn des letzten Jahrhunderts waren Straßenlampen noch so selten, dass weder ihr Energiebedarf noch ihre ökologischen Effekte spürbare Auswirkungen hatten. Seit dem zweiten Weltkrieg hat die nächtliche Illumination so schleichend immer weiter zugenommen, dass das allmähliche Zurückweichen der natürlichen Dunkelheit nur wenigen Menschen wirklich bewusst wurde – darunter den Hobbyastronomen (und zunehmend auch den Profiastroonomen), denen mit der Aufhellung des Nachthimmels die Sicht auf die Sterne genommen wird.

Heutzutage ist nächtliche Kunstbeleuchtung nicht mehr aus unserem Alltag wegzudenken – und längst wird Licht im Außenbereich nicht mehr nur zur Ausleuchtung von Straßen eingesetzt, sondern auch für künstlerische Zwecke, für Werbung oder für die indirekte Konturbeleuchtung. Umfang und Dichte der Beleuchtung haben dabei in einem Ausmaß zugenommen, das eine umfassende Betrachtung der ökologischen und energetischen Auswirkungen erforderlich macht. Dabei soll insbesondere die Frage im Vordergrund stehen, welche negativen Auswirkungen die übermäßige Beleuchtung – die sogenannte Lichtverschmutzung – mit sich bringt und wie sich feststellen lässt, wann der Einsatz von Licht wirklich erforderlich ist.

2.2 Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung

Wie eine Untersuchung des VDI aus dem Jahr 2007 zeigt, werden in Deutschland pro Jahr etwa 4 Terawattstunden (= 4.000.000.000 Kilowattstunden) an Energie für die öffentliche Straßenbeleuchtung aufgewendet (d. h. ausschließlich für Straßenlampen, nicht für die nächtliche Außenbeleuchtung insgesamt). Beim gegenwärtigen Energiemix bedeutet dies, dass die Straßenbeleuchtung jährlich mit ungefähr 2,5 Millionen Tonnen CO₂ zum anthropogenen Klimawandel beiträgt. Die Menge an Energie, die europaweit für die Straßenbeleuchtung aufgewendet wird (etwa 35 Terawattstunden) würde ausreichen, um den kompletten Jahresenergiebedarf von Brandenburg, Berlin und Mecklenburg-Vorpommern zu decken.

Die Straßenbeleuchtung trägt somit nicht nur zum Klimawandel bei, ihr enormer Energieverbrauch belastet auch unnötig die ohnehin knappen Kassen der Städte und Kommunen. Der daher sowohl aus ökologischen wie auch aus ökonomischen Gründen zu beanstandende hohe Verbrauch lässt sich vielerorts zum einen auf den Einsatz veralteter und ineffizienter Beleuchtungstechnologien wie Quecksilberdampflampen, zum anderen auf eine suboptimale Beleuchtungsplanung (d. h. Lichtverschmutzung z. B. durch überflüssige Leuchten) zurückführen. Angesichts der

¹ Elektrische Außenbeleuchtung wird seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in europäischen Städten eingesetzt, zuvor wurden ausschließlich Gaslaternen verwendet.

ökologischen wie auch der ökonomischen Schäden wäre insbesondere eine Reduktion der auf diese Weise verschwendeten Energie äußerst wünschenswert.

So wurden Schätzungen zufolge bereits Anfang der 90er-Jahre etwa 30 % der in den USA für die nächtliche Beleuchtung eingesetzten Energie auf Lichtverschmutzung, d. h. auf überflüssige oder ineffiziente Beleuchtung verschwendet. Dies entspricht dem Verbrauch von 8,2 Millionen Tonnen Kohle oder 30 Millionen Barrels Rohöl. Die Lichtverschmutzung kostete das Land schon zu diesem Zeitpunkt mehr als eine Milliarde Dollar pro Jahr.

Neben dem Verzicht auf überflüssige Beleuchtung lässt sich der Energiebedarf von Straßenbeleuchtung vor allem durch den Einsatz neuer, hocheffizienter Leuchtmittel senken. Großes Potenzial verspricht in dieser Hinsicht vor allem die LED (engl. für Light Emitting Diode, d. h. lichtemittierende Diode).



Funktionsweise und Einsparpotenzial der LED-Technologie wurden bereits in der dritten Lektion detaillierter betrachtet, weshalb hier nur noch einmal die „Basics“ wiederholt werden.

Aktuellen Schätzungen zufolge würde ein während der kommenden zehn Jahre schrittweise betriebener, weltweiter Austausch aller herkömmlichen Leuchtmittel durch LEDs (d. h. nicht nur im Bereich der Straßenbeleuchtung) zu Energieeinsparungen in Höhe von $1,9 \times 10^{20}$ Joule, einer erheblichen Reduzierung des CO₂-Eintrags in unserer Atmosphäre sowie finanziellen Entlastungen von mehr als einer Trillion US-Dollar resultieren.



Abbildung 1: LEDs sind effizient, kostengünstig und vielseitig verwendbar

Erste Erfolge mit LED-Straßenbeleuchtung zeigen, dass sich der Energieverbrauch durch den Umstieg auf LEDs bei gleichbleibendem Beleuchtungsniveau um bis zu 50 % senken ließe. Den Vorteilen der LED-Technologie, die nicht nur als besonders energieeffizient, sondern zudem als äußerst insektenfreundlich gilt, stehen jedoch auch Nachteile gegenüber. So lässt sich gerade mit LEDs Kontur- und Werbebeleuchtung so kostengünstig und effektvoll betreiben, dass einige Astronomen davon ausgehen, dass die Lichtverschmutzung aufgrund der LED in den nächsten Jahren sogar noch zunehmen wird.

Eine wertvolle Entscheidungshilfe bei der Suche nach energieeffizienten Straßenlampen ist die vom Umweltbundesamt (UBA), dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und der kfw Förderbank im Jahr 2008 gemeinsam herausgegebene „Sammlung energieeffizienter Techniken für die Straßenbeleuchtung“, die im Rahmen des Bundeswettbewerbs „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ entstand. Die Sammlung kann ohne Anmeldung kostenfrei von der Webseite des Bundeswettbewerbs Straßenbeleuchtung heruntergeladen werden und soll laut UBA insbesondere Kommunen und Städten als Handreichung bei der Auswahl umweltfreundlicher Techniken dienen:

„Die hier dargestellten Beleuchtungssysteme und -komponenten zeichnen sich – neben ihrer Energieeffizienz – durch niedrige Betriebskosten und damit hohe Wirtschaftlichkeit, durch eine hohe Qualität der Beleuchtungstechnik (Lebensdauer, Wartungsintervalle) sowie durch besondere Umweltfreundlichkeit aus. Die Betrachtung der Gesamtkosten verdeutlicht, dass sich die Investition in energiesparende Technik mittel- und langfristig lohnt. Die Sammlung energieeffizienter Techniken soll Kommunen bei der Auswahl neuer Beleuchtungssysteme unterstützen und helfen, die derzeitige oder neu einzusetzende Stadtbeleuchtung besser einschätzen zu können. Durch den Vergleich des Energieverbrauchs und der Kosten für die Stadtbeleuchtung in Kommunen mit den hier dargestellten Werten können Schwachstellen in bestehenden Beleuchtungsanlagen und -systemen aufgedeckt werden.“



Webseite des Bundeswettbewerbs Stadtbeleuchtung:

<http://www.bundeswettbewerb-stadtbeleuchtung.de>

Bei der Nutzung der Sammlung ist zu beachten, dass das erklärte Ziel des Wettbewerbs darin bestand, besonders energieeffiziente Technologien zu katalogisieren. Obwohl eine hohe Energieeffizienz natürlich maßgeblich zur ökologischen Gesamtverträglichkeit einer Straßenlampe beiträgt, sollten andere Aspekte bei der Auswahl nicht außer Acht gelassen werden, darunter z. B. die Abschirmung der Lampe und die Wellenlänge des emittierten Lichts (d. h. die „Lichtfarbe“).



Warum diese Eigenschaften für die ökologische Verträglichkeit einer Straßenlampe ebenfalls sehr wichtig sind, werden Sie in den beiden Folgekapiteln 3 und 4 erfahren.



Straßenbeleuchtung verbraucht viel Energie und schadet damit der Umwelt und den Finanzen. Insbesondere der Einsatz effizienterer Lampen kann hier Abhilfe schaffen.

2.3 Was ist Lichtverschmutzung?

Wie bereits festgestellt, hat der Umfang der Außenbeleuchtung während der vergangenen Jahrzehnte stark zugenommen. Angestiegen ist dabei nicht nur die Zahl der Straßenlampen, sondern auch die private Außenbeleuchtung – angefangen bei den Lampen in Vorgarten oder Carport bis hin zu immer aufdringlich werdender Lichtwerbung und den Skybeamern von Diskotheken, die den Nachthimmel als kostenlose Werbefläche missbrauchen. Insbesondere die Mode, die Fassaden von Gebäuden auszuleuchten, hat maßgeblich zum Anstieg der Lichtverschmutzung beigetragen. Angesichts des enormen Energieverbrauchs ist es durchaus erstaunlich, dass der Gesetzgeber in den letzten Jahren eine Vielzahl von Maßnahmen ergriffen hat, um Gebäudebesitzer zu einer besseren Wärmedämmung zu verpflichten und die Energieverschwendungen im Heizbereich einzudämmen, während die Energieverschwendungen in der Beleuchtung kaum wahrgenommen wird.

Wo es durch ein Übermaß an Außenbeleuchtung zu ökologischen Schäden kommt, spricht man in Anlehnung an den englischen Fachausdruck „Light Pollution“ von „Lichtverschmutzung“. Kritiker dieses Begriffs wenden ein, dass mit dem Wort impliziert wird, das Licht werde auf irgendeine Art und Weise verschmutzt, obwohl es doch das Licht selbst sei, welches die „Verschmutzung“ der Dunkelheit verursache. Um diesem Definitionsproblem aus dem Weg zu gehen, wird mittlerweile versucht, den alternativen Begriff „Lichtsmog“ zu etablieren, der wesentlich deutlicher zum Ausdruck bringt, worin das eigentliche Problem besteht.

Unabhängig davon, welchen der beiden Begriffe man verwenden möchte, ist zunächst eine exakte Definition erforderlich. In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze, so beispielsweise bei René Kobler, der unter Lichtsmog jede Form der ökologisch schädlichen oder belästigenden Außenbeleuchtung versteht:

„Lichtverschmutzung ist in Richtung Quantität und Qualität emittierte Strahlung innerhalb des Infrarot-, sichtbaren- und UV-Lichts in Außenräumen, die auf den Raum neben, unter und über uns ökologisch und landschaftlich lästige oder schädliche Auswirkungen haben könnte.“

Klein liefert uns dagegen eine weniger formale Begriffserläuterung:

„Durch nicht bedarfsgerecht eingesetzte Beleuchtungsanlagen wird ein erheblicher Teil des erzeugten Lichts direkt oder indirekt durch Reflexion und Streuung in die

Umwelt abgegeben und verschmutzt dadurch unsere nächtliche Umwelt. Durch Reflexion an Dunstteilchen in der Luft entsteht somit eine künstliche Aufhellung des Nachthimmels.“

Für unsere Zwecke soll nachfolgend die Definition genügen, dass immer dann von Lichtverschmutzung die Rede sein kann, wenn es dadurch zu ökologischen Schäden oder einer Aufhellung des Nachthimmels kommt, dass unnötig viel Licht eingesetzt wird oder Flächen ausgeleuchtet werden, bei denen dies objektiv betrachtet nicht erforderlich ist.



Lichtverschmutzung ist die einzige Form der Umweltverschmutzung, deren Reduktion mit unmittelbaren finanziellen, ökonomischen und ästhetischen Vorteilen verbunden ist.

Ein typisches Beispiel für eine ungerichtete und lichtsmogverursachende Form der Beleuchtung sind die sogenannten Bodenstrahler, die in letzter Zeit in immer mehr Innenstädte Einzug gehalten haben. Hinter einer in den Boden eingelassenen durchsichtigen Platte befindet sich ein nach oben gerichteter Strahler, der einen Großteil des Lichts entweder direkt in den Himmel oder (als „ästhetische Beleuchtung“) z. B. von unten in einen Baum oder größeren Strauch abgibt.



Warum auch das Ausleuchten von Pflanzen zu ökologischen Schäden führen kann, lernen Sie in Kapitel 3.



Abbildung 2: Ein Bodenstrahler am Wernigeroder Nikolai-Platz



Webseite der „Campaign for Dark Skies“:

<http://www.britastro.org/dark-skies>



Weiterführende Informationen finden Sie hier:

Mizon, B.: Light Pollution – Responses and Remedies, Springer-Verlag, 2001

Narisada, K. und Schreuder, D.: Light Pollution Handbook, Springer-Verlag, 2004

2.4 Folgen der Lichtverschmutzung

Eine der unmittelbarsten und sichtbarsten Auswirkungen der Lichtverschmutzung ist der schleichende Verlust des nächtlichen Sternenhimmels, der auch als eine Art Indikator für den Umfang der Lichtverschmutzung betrachtet werden kann, obwohl deren Auswirkungen – wie wir in Kapitel 3 sehen werden – mehr als nur eine Dimension haben.

Der schwindende Blick auf die Sterne ist dabei nicht nur mit negativen Folgen für die Astronomie verbunden, sondern beraubt vielmehr alle Menschen eines wichtigen Kulturguts. Wie viele religiöse Vorstellungen, wie viele antike Göttersagen, wie viele Kunstobjekte und wie viele literarische Werke sind während der jahrtausendealten Geschichte der Menschheit wohl durch den Anblick des sternenedeckten Nachthimmels beeinflusst oder inspiriert worden? Künstler aus allen Epochen haben uns Darstellungen der Sterne überliefert, angefangen bei der Himmelsscheibe von Nebra bis hin zur im Jahre 1888 entstandenen Darstellung des Nachthimmels über dem französischen Arles durch Vincent van Gogh.

Mit dem Verblassen der Sterne verlieren wir jedoch nicht nur eine unermesslich wertvolle Quelle der Inspiration, wir schaffen auch immer mehr Gebiete, in denen astronomische Forschung schlicht unmöglich ist, sodass entsprechende Einrichtungen bis in die abgelegensten Winkel der Erde abwandern müssen, um überhaupt noch arbeitsfähig zu sein. In etlichen Staaten existieren daher inzwischen sogenannte „Dark Sky“-Vereinigungen, in denen sich Astronomen zusammenschließen, um das Problem der Lichtverschmutzung stärker in den öffentlichen Fokus zu rücken und Lobbyarbeit für entsprechende Gesetze und Verordnungen zu betreiben. Die deutsche „Dark Sky“-Vereinigung wurde als Fachgruppe des VdS (Verband der Sternenfreunde) gegründet und wird zur Zeit von Dr. Andreas Hänel geleitet, einem der wenigen deutschen Experten zum Thema Lichtverschmutzung und Leiter des Osnabrücker Planetariums.



Mehr Informationen zur Arbeit der Fachgruppe „Dark Skies“:

<http://www.lichtverschmutzung.de>



Abbildung 3: Dieses von Vincent van Gogh gemalte Bild des sternebedeckten Nachthimmels über Arles entstand im Jahre 1888

Ungeklärt ist noch, ob die zunehmende Lichtverschmutzung auch soziologische Effekte mit sich bringt. Einige Lichtsmog-Gegner ziehen Parallelen zwischen dem seit Jahren sinkenden Interesse an naturwissenschaftlichen Studiengängen und der schwindenden Sicht auf die Sterne. Sie argumentieren, dass viele heute naturwissenschaftlich Tätige als Kinder und Jugendliche durch die Beschäftigung mit der Natur oder ein Hobby wie die Astronomie erst den Einstieg in die Wissenschaft gefunden haben. Heute, so meinen sie, sei es für in den Städten aufwachsende Kinder praktisch unmöglich, authentische Naturerfahrungen zu sammeln – und aufgrund der Lichtverschmutzung bestünde ebenfalls kaum noch eine Chance, über die Astronomie zu den Naturwissenschaften zu finden.

Zwar existieren momentan noch keine belastbaren empirischen Daten, die für einen solchen Zusammenhang sprechen, dennoch scheint es durchaus sinnvoll, mögliche soziologische Auswirkungen der Lichtverschmutzung nicht unbeachtet zu lassen.

2.5 Ausmaß der Lichtverschmutzung heute

Wie bereits angedeutet, kann das Ausmaß, in dem unsere Sicht auf die Sterne verdeckt wird, als eine Art Indikator für den Umfang des Gesamtproblems gesehen werden. Es stellt sich daher die Frage, welche Ausmaße – gemessen an eben diesem Indikator – die Lichtverschmutzung inzwischen angenommen hat.

Diese Frage wurde 2005 in der Schweiz von Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) untersucht. Es stellte sich heraus, dass es in der gesamten Schweiz keinen einzigen Quadratkilometer mehr gibt, in dem sich noch vollständig natürliche Nachtverhältnisse einstellen.

Dies ist insofern bemerkenswert, als dass lediglich 2.800 km² (~ 6,8 %) der 41.000 km² umfassenden Gesamtfläche der Schweiz überhaupt besiedelt sind. Die künstliche Beleuchtung innerhalb dieser eher kleinen Besiedlungsfläche beeinflusst also die natürlichen Nachtverhältnisse innerhalb einer sehr viel größeren Gesamtfläche, was die dramatische Flächenwirkung von Lichtverschmutzung unterstreicht. Der bereits erwähnte Dr. Andreas Hänel schätzt, dass eine Stadt von 30.000 Einwohnern den Himmel in einem Umkreis von etwa 25 km aufhellt, eine größere Stadt mit mehr als 180.000 Einwohnern sogar in einem Umkreis von 50 Kilometern.



Abbildung 4: Die beiden Aufnahmen verdeutlichen den Lichtverschmutzungseffekt: links der Himmel bei ausgefiltertem Lichtsmog, rechts eine identische Himmelssicht ohne Filter (© Jeremy Stanley)

Die Zahlen zeigen, dass die Beleuchtung einer Kommune oder einer Stadt nicht nur die Nachtverhältnisse vor Ort beeinflusst, sondern sich auf eine sehr viel größere Fläche auswirkt. Dies ist leicht nachvollziehbar, bedenkt man, dass große Städte wie London, Paris und Madrid die natürliche Helligkeit des Nachthimmels um mehr als das Siebenundzwanzigfache überstrahlen. Die Notwendigkeit einer auf die Minimierung dieser schädlichen Effekte ausgerichteten Beleuchtungsplanung wird durch die enorme Flächenwirkung von Lichtverschmutzung noch einmal besonders unterstrichen.

Die weltweiten Ausmaße der Lichtverschmutzung sind dank der Forschungen des italienischen Wissenschaftlers Cinzano – von dem auch der erste „Atlas der Lichtverschmutzung“ stammt – relativ gut bekannt. So weiß man beispielsweise, dass etwa ein Fünftel der Weltbevölkerung, mehr als die Hälfte aller Europäer und über zwei Drittel aller US-Amerikaner nicht mehr in der Lage sind, die Milchstraße – die Galaxie, in der wir leben – mit bloßem Auge wahrzunehmen. Insbesondere an der US-Ostküste dürfte es in wenigen Jahren voraussichtlich kaum noch Orte geben, in denen man während der Nacht überhaupt noch Sterne sieht.

Die europäischen Staaten sind damit neben den USA am stärksten von der Lichtverschmutzung betroffen. Deren jährliche Zunahme wird für die Bundesrepublik auf etwa 6 % geschätzt, womit Deutschland sich europaweit betrachtet im Mittelfeld befindet. Der europäische Spitzenreiter ist Italien, wo man etwa 10 bis 12 %

Jahreszuwachs verzeichnet. Der starke Anstieg hat wesentlich dazu beigetragen, dass es in einigen italienischen Regionen – ebenso wie auch in Spanien und Tschechien – mittlerweile gesetzliche Regelungen gibt, mit denen die Lichtverschmutzung eingedämmt werden soll.



Cinzanos „Lichtverschmutzungs-Weltatlas“ im Internet:

<http://www.lightpollution.it/dmsp/>

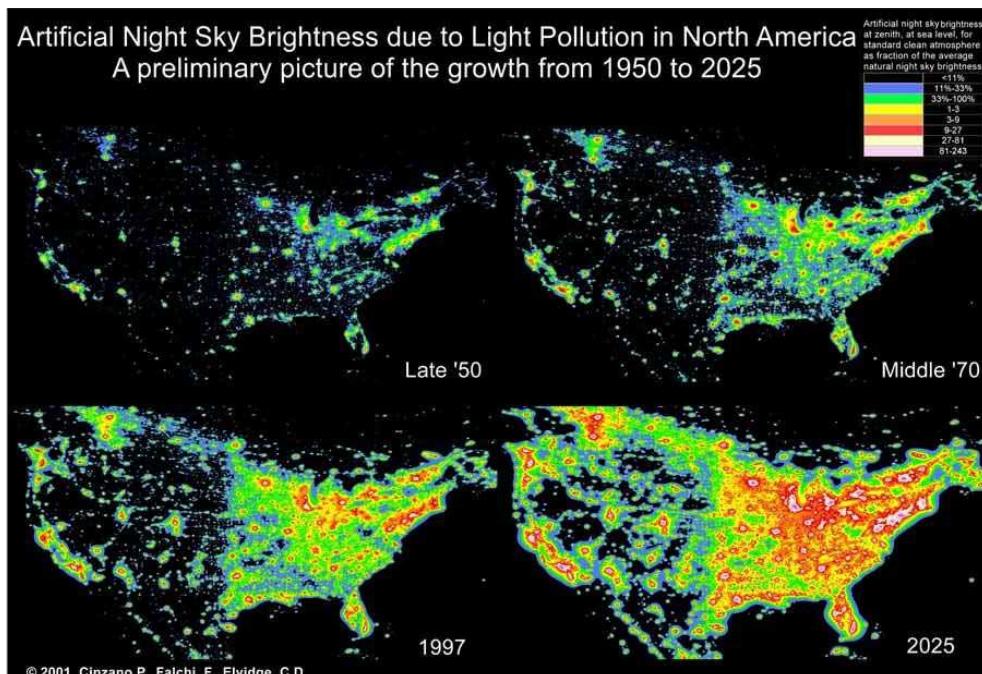


Abbildung 5: Von Cinzano, Falchi und Elvidge prognostizierte Entwicklung der Lichtverschmutzung in den USA bis 2025

Bedenkt man, dass solche Gesetze in anderen europäischen Staaten bereits seit Jahren existieren und dass über die Einführung ähnlicher Bestimmungen inzwischen auch in Deutschland diskutiert wird², steht wohl außer Frage, dass das Thema Lichtverschmutzung für alle Verantwortlichen in Behörden und in der öffentlichen Verwaltung bei der Planung und Genehmigung neuer Beleuchtungsanlagen künftig eine größere Rolle spielen sollte. Da Untersuchungen zufolge etwa 40 bis 50 % der gesamten Lichtverschmutzung durch Straßenlampen verursacht werden, verdient insbesondere dieser Bereich große Aufmerksamkeit.

2 So wurde beispielsweise beim ersten „Fachgespräch Lichtverschmutzung“ der Bundestagsfraktion von Bündnis 90 / Die Grünen, welches im April unter der Leitung von MdB Peter Hettlich stattfand, über die Realisierungschancen einer „TA Licht“ (analog zur bereits existierenden TA Luft) debattiert.



In Spanien, Tschechien sowie einigen italienischen Regionen existieren bereits „Anti-Lichsmog-Gesetze“. Die strengsten Auflagen für nächtliche Beleuchtung findet man in Tschechien.

Eine energiesparende und lichtsmogarme Beleuchtungsplanung ist also nicht nur ein ökologisches Aushängeschild für jede Stadt oder Kommune, sie ist auch im Hinblick auf die in den nächsten Jahren mit einiger Sicherheit zu erwartenden Eingriffe des Gesetzgebers unbedingt anzuraten.



Diese Blogs beschäftigen sich mit dem Thema Lichtsmog:

<http://www.scienceblogs.de/astrodicticum-simplex>

<http://www.kosmologs.de/kosmo/blog/himmelslichter>



Abbildung 6: Wie diese Karte der Welt bei Nacht zeigt, ist die Lichtverschmutzung vor allem ein Problem der Industrienationen (© NASA)



Sammlung von Weblinks und Publikationen zum Thema:

<http://www.lichtsmog.bplaced.de>

Zum „Internationalen Jahr der Astronomie“ 2009 werden weltweit Anstrengungen zur Einrichtung „astronomischer Schutzzonen“ unternommen – der sogenannten „Dark Sky Parks“ oder „Starlight Reserves“. So bemüht sich beispielsweise der Ort Tekapo in Neuseeland um die offizielle Anerkennung als astronomische Schutzzone und erhofft sich durch den Titel einen weiteren Zulauf an „Astro-Touristen“.



Auf „Astro-Touristen“ spezialisierter Tourenveranstalter:

<http://www.earthandsky.co.nz>

Wie das Beispiel Tekapo zeigt, kann sich der Schutz des Nachthimmels durchaus in einer signifikanten Steigerung an touristischer Attraktivität niederschlagen. Entsprechende touristische Konzepte könnten gerade im ländlichen Raum gut bis sehr gut angenommen werden – nicht umsonst fragt beispielsweise Andreas Hänel, ob es nicht sinnvoll wäre, wenn man die in der Bundesrepublik ausgewiesenen Naturschutzgebiete generell auch als „Sternenschutzgebiete“ vermarkten würde.



Da aufgrund des zunehmenden öffentlichen Interesses in den nächsten Jahren mit ersten „Lichtsmog-Gesetzen“ zu rechnen ist, sollte man sich in Städten und Kommunen möglichst schon heute um eine zukunftsfähige Beleuchtungsplanung bemühen.

3 Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen und Menschen

3.1 Warum wirkt Licht sich auf Lebewesen aus?

Die Folgen übermäßiger oder nicht zielgerichteter Beleuchtung auf unseren Blick auf die Sterne haben wir bereits im vorangegangenen Kapitel betrachtet. Neben der reinen Aufhellung des Himmels gehen von Lichtverschmutzung jedoch auch vielfältige negative ökologische Effekte aus. Insbesondere werden Insekten vom Licht angezogen und verbrennen zu Hunderttausenden in den Lampen – und auch Zugvögel werden von nächtlicher Beleuchtung von ihrem Kurs abgebracht. Warum aber beeinflusst Kunstlicht das Verhalten nachtaktiver Lebewesen?

Der Hauptgrund hierfür ist, dass viele Lebensformen sich im Laufe des Millionen Jahre dauernden Evolutionsprozesses optimal an den natürlichen Rhythmus von Tag und Nacht angepasst haben und diesen als Zeitgeber verwenden.

Manche Tiere – hierzu gehören insbesondere viele nachtaktive Insektenarten – orientieren sich zudem am Licht des Mondes. Die Angleichung von Tag und Nacht durch künstliche Beleuchtung zerstört in gewisser Weise den „dunklen“ Lebensraum dieser Tiere und nimmt ihnen die Möglichkeit zur Orientierung.



Wenn der Mensch riesige Areale schafft, in denen es 24 Stunden am Tag nicht dunkel wird – in denen daher also nie richtig Nacht herrscht –, dann wirkt sich dies negativ auf eine ganze Reihe nachtaktiver Lebensformen aus.

3.2 Auswirkungen auf Insekten

In Straßen, in denen noch Quecksilberdampflampen stehen, lassen sich die negativen Auswirkungen falscher Beleuchtung auf Insekten besonders gut beobachten. Oft kleben dutzende, manchmal hunderte toter Insekten an den Lampen und ganze Insektenschwärme umkreisen das hellweiße Licht. Doch nicht nur Quecksilber sondern auch Natrium dampflampen und sogar LED-Lampen ziehen Insekten an – wenn auch in immer geringerem Maße. Man schätzt, dass während des Sommers pro Nacht und pro Straßenlampe durchschnittlich etwa 150 Insekten getötet werden. Allein in Deutschland summiert sich dies bei etwa 6,8 Millionen Straßenlampen bundesweit auf eine knappe Milliarde (!) getöteter Insekten in jeder Nacht – und mehrere Billionen toter Insekten pro Jahr.

Bei entsprechend klaren Witterungsverhältnissen werden manche Insektenarten wie beispielsweise die Zuckmücken (die wir weiter unten im Zusammenhang mit dem Einfluss von Straßenbeleuchtung auf aquatische Ökosysteme noch näher betrachten werden) aus einem Umkreis von bis zu 700 m durch eine künstliche Lichtquelle angezogen. Diese enorme „Ansaugwirkung“ wird im Englischen auch als „Vacuum Cleaner Effect“ (Staubsaugereffekt) bezeichnet. Sobald ein Insekt in den

Einzugsradius einer Straßenlampe gerät, steuert es diese unwillkürlich an, was je nach Konstruktion des Leuchtenkopfs entweder damit endet, dass das Insekt in der Lampe verbrennt, in diese hineinkriecht und dort zugrunde geht oder sie bis zur Erschöpfung umkreist. Bei größeren Insekten (Motten, Nachtfalter etc.) kann es auch vorkommen, dass sie gegen die Lampengehäuse prallen und dabei verletzt werden. Insbesondere die Beschädigung empfindlicher Rezeptoren kann dabei zu erheblichen Einschränkungen der Überlebensfähigkeit führen.

In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass einige Lampenhersteller mit „insektenfreundlichen“ Lampengehäusen werben, an denen die Tiere nicht verbrennen bzw. in die sie nicht hineinkriechen können. Natürlich ist es prinzipiell sehr zu begrüßen, wenn keine Insekten an oder in den Lampen getötet werden, allerdings macht dieser Umstand alleine die Lampen noch lange nicht insektenfreundlich.

Solange die Lampen weiterhin Insekten anziehen, werden diese sie umkreisen, wenn sie nicht hinein gelangen können. Dadurch werden andere Verhaltensweisen (Nahrungssuche, Partnersuche, Reproduktion) unterbrochen oder sogar gänzlich unterdrückt, sodass es letztendlich trotz der „insektenfreundlichen“ Konstruktion zu großen Schäden innerhalb einzelner Insektenpopulationen kommen kann. Darauf hinaus ist auch damit zu rechnen, dass auch „insektenfreundliche“ Lampen bis zum Tod durch Erschöpfung umkreist werden.

Neben dem Anflugverhalten kann künstliche Beleuchtung auch andere Verhaltensweisen beeinflussen. So wurde beispielsweise bei Nachtfaltern beobachtet, dass es in hierfür völlig ungeeigneten Bereichen rund um Straßenlampen zur Eiablage kommt. Die dort abgelegten Eier fallen für die Reproduktion der Falter aus, sodass es zu einer Verkleinerung der Population kommen kann (man spricht in diesem Zusammenhang auch vom sogenannten Leerefangeffekt). Insektenpopulationen können durch solche von Kunstlicht induzierte Verhaltensänderungen nachhaltig geschädigt werden.

Da Insekten in unseren heimischen Ökosystemen eine Vielzahl enorm wichtiger Funktionen übernehmen, können solche Schäden schwere negative Konsequenzen für die Natur insgesamt nach sich ziehen. Insekten dienen nicht nur vielen anderen Arten – beispielsweise Fledermäusen oder Vögeln – als Nahrung, sie spielen außerdem eine wichtige Rolle bei der Bestäubung von Pflanzen. Die Vernichtung vieler Insekten entzieht dem Ökosystem damit nicht nur eine Menge an Biomasse, sondern schädigt auch eine ganze Reihe anderer Lebewesen.

Untersuchungen der Universität Köln belegen, dass insbesondere solche Insektenarten durch nächtliche Beleuchtung gefährdet werden, die standorttreu und auf bestimmte Lebensräume spezialisiert sind oder niedrige Populationsdichten bzw. Reproduktionsraten aufweisen.

Überproportional betroffen sind auch „Nutzinsekten“, d. h. die natürlichen Fressfeinde von nutzpfanzenzerstörenden „Schadinsekten“ (beide Begriffe werden hier in Anführungszeichen gesetzt, da in einem funktionierenden Ökosystem jede Insektenart benötigt wird). Während Schadinsekten sich längere Zeit auf einer

Fresspflanze niederlassen können, suchen Nutzinnen permanent nach Schadinsekten und sind daher flugaktiver. Da flugaktiver Insekten mit einer größeren Wahrscheinlichkeit in den „Einzugsradius“ einer Lampe geraten, sind Nutzinnen von Kunstbeleuchtung in der Regel stärker betroffen als Schadinsekten.

Es ist daher prinzipiell vorstellbar, dass sich durch Lichtverschmutzung das Verhältnis zwischen Prädatoren und Beuteinsekten zugunsten der Beuteinsekten verschiebt, wodurch es zu einer übermäßigen Vermehrung kommen kann. Dies wiederum kann sich auf die von den Beuteinsekten bevorzugten Nahrungspflanzen auswirken, die bei übermäßigem Rückgang möglicherweise als Nahrungsquelle für andere Arten ausfallen. Auf diese Weise kann Lichtverschmutzung die Balance in einem Ökosystem nachhaltig und mit unklarem Ausgang schädigen.

Aus welchem Grund künstliches Licht das Verhalten nachtaktiver Insekten so stark beeinflusst, konnte noch nicht abschließend geklärt werden, da über die Art und Weise, in der nachtaktive Insekten sich orientieren, weitaus weniger bekannt ist als über das Orientierungsverhalten tagaktiver Insekten. Diese navigieren, indem sie einen konstanten Winkel zur Sonne halten – eine sehr beeindruckende Leistung, bedenkt man, dass dabei nicht nur der die Bahn der Sonne, sondern noch etliche zusätzliche Faktoren wie Windgeschwindigkeit und Umgebung zu berücksichtigen sind. Insektenforscher vermuten, dass nachtaktive Insekten analog zu tagaktiven Insekten mithilfe von Licht navigieren und sich dabei vor allem am Licht des Mondes orientieren.

Es wird angenommen, dass Straßenbeleuchtung diesen Navigationsmechanismus beeinträchtigt, da den Insekten mehr als eine Lichtquelle zur Verfügung steht. Je (farb-)ähnlicher das von der Lampe abgestrahlte Licht dem Mondlicht (bzw. dem vom Mond reflektierten Sonnenlicht) ist, desto anziehender wirkt es demnach auf Insekten. Aus diesem Grund sind die weiß-helles Licht abstrahlenden Quecksilberdampflampen wesentlich größere Insektenfallen als Natriumdampflampen, die ein eher orange-rötliches Licht abgeben.

Äußerst positive Erfahrungen im Hinblick auf den Insektenschutz wurden während der letzten Jahre mit LED-Anlagen gemacht. Es scheint, als seien die Leuchtdioden wesentlich insektenfreundlicher als die in dieser Hinsicht bis dato führenden Natriumdampflampen. So wurde bei einigen Pilotanlagen festgestellt, dass die LED-Lampen weniger als ein Zehntel (!) der üblicherweise von Natriumdampflampen angelockten Insekten „einfingen“. Da in vielen Anlagen weiß-helles LED-Licht verwendet wurde, scheidet das Spektrum als Ursache für diesen Effekt jedoch aus. Vielmehr wird vermutet, dass die Taktung der LEDs dazu führen könnte, dass die Lampen von Insekten nicht als kohärente Lichtquellen wahrgenommen werden.

Es steht zu hoffen, dass weiter gehende Untersuchungen in den kommenden Jahren dazu beitragen werden, die vielen noch offenen Fragen bezüglich der geringen Anziehungskraft von LEDs auf nachtaktive Insekten zu klären. Sicher scheint aber bereits zu sein, dass mit der zunehmenden Anzahl der auf dem Markt verfügbaren LED-Straßenlampen die Zahl der Nacht für Nacht durch Beleuchtungseffekte getöteten Insekten erheblich zurückgehen dürfte.



Nächtliche Beleuchtung hat stark negative Auswirkungen auf eine Vielzahl an nachtaktiven Insektenarten. Während die veralteten Quecksilberdampflampen zu Recht als wahre „Insektenkiller“ gelten, beeinträchtigen Natriumdampflampen aufgrund ihres Lichtspektrums die meisten Insektenarten deutlich weniger. Ein „Quantensprung“ in Sachen Insektenschutz wird von den LED-Straßenlampen erwartet, die sich in bisherigen Untersuchungen als äußerst insektenfreundlich erwiesen haben.

3.3 Auswirkungen auf Vögel

Neben Insekten sind es vor allem Vögel, die durch übermäßige Beleuchtung in der Nacht geschädigt werden. So werden bei Nacht wandernde Zugvögel vom Licht teilweise regelrecht „eingefangen“ und von ihrem Kurs abgebracht. Der überflüssige Energieverbrauch kann zur Erschöpfung führen und dazu beitragen, dass die Tiere ihr Migrationsziel nicht mehr erreichen. Grund für diese Negativwirkung ist die Tatsache, dass viele Zugvögel sich bei ihren Wanderungen neben dem Magnetfeld der Erde auch an den Sternen orientieren.

Dazu kommt, dass von nächtlicher Beleuchtung irritierte Zugvögel bisweilen vollständig die Orientierung verlieren und in der Luft zusammenstoßen oder mit beleuchteten Gebäuden kollidieren, was zu Genickbrüchen und anderen tödlichen Verletzungen führen kann. Ornithologen bezeichnen dieses Phänomen auch als „Towerkill-Effekt“.

Ein typisches Beispiel für diesen Effekt liefert uns der NABU:

„Angelockt vom Flutlicht einer Burgruine setzten über der hessischen Kleinstadt Ulrichstein mehrere tausend Kraniche zur Landung an. Überall im Stadtgebiet gingen die Vögel nieder; landeten auf Straßen, Häusern und Garagen; prallten gegen Fenster, Autos und Lichtmästen. Vier Stunden lang hielten sie Polizei und Feuerwehr in Atem. Sechs Tiere wurden verletzt, 14 starben. Erst nachdem die grellen Burglichter und die Lampen hell erleuchteter Straßenzüge gelöscht wurden, sammelten sich die Kraniche und stiegen wieder auf zu ihrem Flug ins Winterquartier.“

Ein Extrembeispiel lieferte der 162 m hohe Posttower, die 2002 fertiggestellte neue Konzernzentrale der Deutschen Post AG in Bonn, dessen Fassade mit 5.775 Leuchtstoffröhren bestückt wurde. Seit einer Untersuchung der ökologischen Auswirkungen dieses „Beleuchtungsriesen“ durch den Biologen Heiko Haupt, der im Laufe eines Jahres mehr als 150 Vögel zählte, die durch Genickbruch oder Absturz am Turm zu Tode kamen, wird die Beleuchtung während der Zeit des Vogelzuges nur noch eingeschränkt verwendet.



Kurzfassung der Untersuchungsergebnisse von Heiko Haupt:

<http://www.bmt-tierschutz.de/index.php?Seite=85>

Soweit es den Bereich der Straßenbeleuchtung betrifft, scheint die größte Gefahr für wandernde Vögel von solchen Lampen auszugehen, die ihr Licht direkt in den Himmel emittieren, wie beispielsweise die noch vielfach verwendeten „Kugelleuchten“. Vögel verwechseln den hierdurch entstehenden Lichteffekt mit dem Licht des Mondes auf einer Wasseroberfläche und versuchen daher auf dieser zu landen, was – wie das Beispiel aus Ulrichstein verdeutlicht – mitunter tödliche Verletzungen zur Folge hat. Aus Sicht des Vogelschutzes sind daher insbesondere nach oben nicht abgeschirmte Lampen abzulehnen.



Über die Wirkung von Beleuchtung auf Zugvögel berichten:

Longcore, Travis u. Rich, Cathrine: Ecological light pollution, Frontiers in Ecology and the Environment 2(4):191–198, 2004

Wie in Kapitel 4 noch erläutert werden wird, ist die direkte Abgabe von Licht in den Himmel auch aus astronomischer und energetischer Sicht abzulehnen, sodass die Beachtung dieser Grundregel ökologisch verträglichen Lichteinsatzes nicht nur dem Schutz von Zugvögeln dient.



Viele, teils ohnehin bereits gefährdete Zugvögelarten werden durch falsche nächtliche Beleuchtung in Mitleidenschaft gezogen. Insbesondere das direkte Abstrahlen in den Himmel sollte aus Gründen des Vogelschutzes vermieden werden.

3.4 Auswirkungen auf andere Tierarten

Neben Vögeln und Insekten werden zahlreiche weitere Tiere durch Kunstlicht während der Nachtstunden in ihrem Verhalten beeinflusst, darunter beispielsweise nachtaktive Frösche. So hat man bei einigen Arten beobachtet, dass bereits ein kurzer Lichtimpuls zu einer erheblichen Reduktion des Sehvermögens führt, die über mehrere Stunden andauern kann.

Von Weibchen der Froschgattung *Pysalaemus pustulosus* weiß man zudem, dass sie bei der nächtlichen Auswahl von Männchen für die Paarung wesentlich weniger selektiv vorgehen, wenn sie dabei dem Einfluss einer künstlichen Lichtquelle ausgesetzt sind, d. h. das Licht hat einen unmittelbaren (und negativen) Einfluss auf das Fortpflanzungsverhalten der Tiere. Grund hierfür ist vermutlich, dass die bei Licht sehr viel größere Gefahr einer Entdeckung durch Fressfeinde dazu führt, dass

die Weibchen den Paarungsablauf beschleunigen, um sich schnell wieder in einen dunklen Bereich zurückziehen zu können.

Ein in der Literatur häufig genanntes Beispiel für eine durch nächtliche Beleuchtung negativ beeinflusste Tierart ist die Seeschildkröte, die natürlich in unseren Breitengraden nicht vorkommt. Diese Schildkrötenart legt ihre Eier während der Nacht am Strand ab, die Jungtiere finden nach dem Schlüpfen den Weg zum Wasser, indem sie sich instinktiv von der Dünenvegetation weg bewegen, die sie als dunklen Silhouetten wahrnehmen. Während der letzten Jahrzehnte wurde an touristisch erschlossenen Stränden vermehrt beobachtet, dass diese natürliche Form der Orientierung durch die zunehmende direkte (Touristik) und indirekte (nahe gelegene Hotels, Häuser oder Straßen) Beleuchtung erheblich gestört wird. Dies hat zur Folge, dass die Jungtiere den Weg ins Wasser nicht oder später finden und eine leichtere Beute für Fressfeinde abgeben.

Während dieses Beispiel für die Betrachtung der ökologischen Folgen von Straßenbeleuchtung auf heimische Ökosysteme natürlich keine Rolle spielt, unterstreicht es noch einmal deutlich, dass nächtliches Kunstlicht neben Insekten und Vögeln auch andere Lebensformen teils stark negativ beeinflussen kann.

3.5 Auswirkungen auf Pflanzen

Noch weitestgehend unerforscht sind die Auswirkungen nächtlicher Beleuchtung auf Bäume und andere Pflanzen. Konsens besteht aber darin, dass auch Pflanzen durch nächtliches Kunstlicht beeinträchtigt werden. So wurde bei Laubbäumen, die sich unterhalb von Straßenlampen befinden, wiederholt beobachtet, dass die Blätter im Herbst ihre Farbe nicht oder wesentlich weniger stark verlieren und erst im Winter abgeworfen werden, was bei überraschend einsetzendem Frost zu schweren Schäden führen kann.

Beobachtungen wie diese deuten darauf hin, dass die natürlichen Lebenszyklen einiger Pflanzen durch nächtliche Beleuchtung verlangsamt werden. Es ist zu vermuten, dass insbesondere solches Licht einen besonders starken Einfluss auf Pflanzen ausübt, welches in seiner spektralen Zusammensetzung dem Tageslicht möglichst nahe kommt. Dies würde bedeuten, dass das eher röthlich-orange Licht von Natriumdampflampen vermutlich geringere Auswirkungen nach sich zieht, als das hell-weiße Licht von Quecksilberdampflampen und weißen LEDs.



Abbildung 7: Diese Straßenlampe leuchtet gleich mehrere Bäume voll aus

Obwohl in diesem Bereich noch viel Forschungsarbeit zu leisten ist, erscheint es doch ratsam, Straßenbeleuchtung so zu planen, dass eine direkte Bestrahlung insbesondere von Laubbäumen ausgeschlossen wird. Neben den möglichen Schäden für die Pflanze sind solche Installationen auch wegen ihrer Ineffizienz abzulehnen, denn immerhin trägt das vom Blätterdach „verschluckte“ Licht wenig zur Illumination von Straßen oder Gehsteigen bei.

Über die Auswirkungen von nächtlicher Beleuchtung auf Nadelbäume oder andere Pflanzen ist zur Zeit noch weniger bekannt. Die Tatsache, dass im Gegensatz zu manchen Laubbäumen keine so deutlich sichtbaren Effekte auftreten, bedeutet allerdings keinesfalls, dass eine negative Beeinflussung ausgeschlossen werden kann. Nachdem in den vergangenen Jahren bereits etliche Untersuchungen zur Auswirkung nächtlicher Beleuchtung auf Insekten und Vögel durchgeführt wurden, ist auf jeden Fall zu hoffen, dass die Beeinflussung pflanzlicher Lebenszyklen durch künstliches Nachtlicht in den kommenden Jahren ebenfalls verstärkt zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen werden wird.

3.6 Auswirkungen auf komplexe Ökosysteme

Abschließend soll anhand eines zusammenhängenden Beispiels noch einmal verdeutlicht werden, wie sich nächtliche Beleuchtung auf ein komplexes Ökosystem auswirken kann. Da sich gerade in ländlichen Gegenden häufig Straßenlampen in der Nähe von Seen oder Flüssen finden, werden wir uns im letzten Abschnitt dieses Kapitels mit den spezifischen Auswirkungen von Kunstlicht auf aquatische Ökosysteme beschäftigen.

Von besonderer Bedeutung ist dabei die Beeinflussung der Wanderung von Zooplankton (aquatische Kleinstlebewesen) in Seen durch künstliche Beleuchtung. Um diesen Effekt nachvollziehen zu können, sehen wir uns kurz die verschiedenen Tiefenschichten in einem See an.

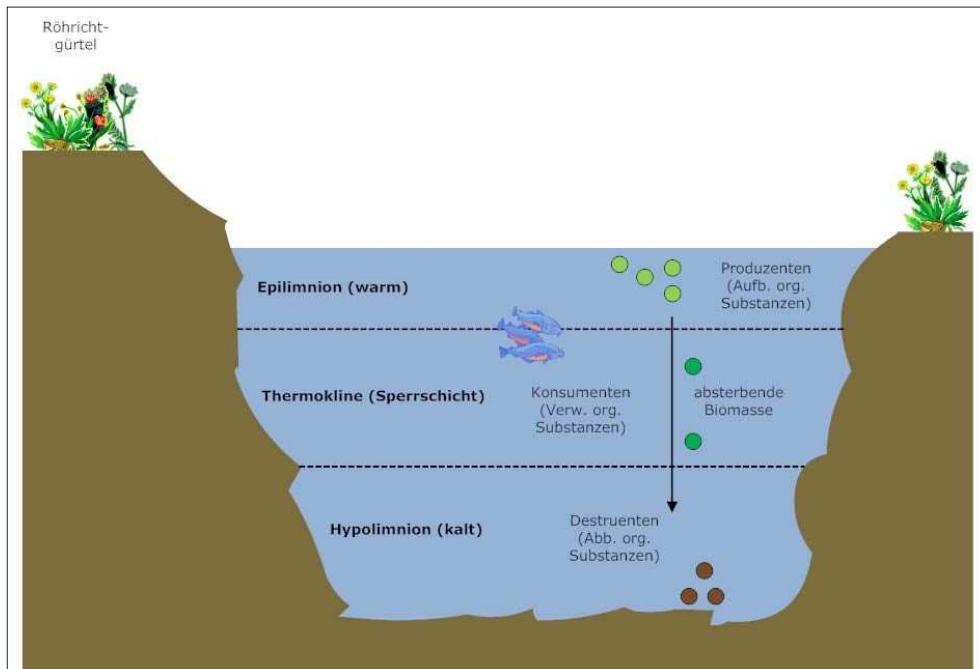


Abbildung 8: Thermische Schichten in einem Süßwassersee

Wie die Abbildung zeigt, gibt es in einem Süßwassersee drei Schichten. Die obere Schicht (das Epilimnion) besteht aus warmem Wasser. In dieser Schicht leben wegen der direkten Sonneneinstrahlung die meisten Algen (das Phytoplankton). Unterhalb des Epilimnions befindet sich die Thermokline – eine Wasserschicht, die sich durch eine große Temperaturdifferenz auszeichnet und eine Art Sperrsicht darstellt. Die unterste Schicht (das Hypolimnion) besteht aus kaltem Wasser. Tote Biomasse (also tote Fische, abgestorbene Algen etc.), die aus der oberen Schicht nach unten sinkt, wird hier hauptsächlich von aeroben Bakterien abgebaut, d. h. von Bakterien, die Sauerstoff zum Überleben benötigen. Den (grob vereinfachten) biologischen Kreislauf kann man sich also wie folgt vorstellen: Biomasse wird durch Algen und Wasserpflanzen aufgebaut, von Konsumenten (Zooplankton, Fischen etc.) verwertet und zuletzt durch Bakterien – die Destruenten – abgebaut.

Einige Arten von Zooplankton führen so genannte tagesperiodische Wanderungen durch, d. h. sie begeben sich während des Tages in tiefergelegene Wasserschichten, um sich auf diese Weise ihren natürlichen Fressfeinden zu entziehen. Während der Nacht wandern sie dann wieder an die Oberfläche, um dort ihre Nahrung – das Phytoplankton – aufnehmen zu können. Wird die Wasseroberfläche während der Nacht beleuchtet – z. B. durch eine Straßenlampe in Ufernähe – werden diese Wanderungsbewegungen gestört, da die Tiere nicht mehr zwischen Tag und Nacht unterscheiden können. Als Folge hiervor suchen sie schützende Tiefenregionen kürzer oder gar nicht mehr auf und werden damit zum leichten Ziel für Fische und andere Fressfeinde.

Die Verteilung der Biomasse in einem aquatischen Ökosystem kann sich durch eine solche Entwicklung im Extremfall bis zu einem Punkt verschieben, an dem ein Umkippen des Gewässers möglich wird. Ein oberflächlich betrachtet vollkommen

harmlos erscheinender Eingriff (nämlich die durch Straßenlampen mitbeleuchtete Wasseroberfläche) kann also (unter ungünstigen Umständen) äußerst drastische Folgen nach sich ziehen.

Nachdem die Auswirkungen nächtlicher Beleuchtung auf Insekten bereits im ersten Abschnitt dieses Kapitels beschrieben worden sind, kann man sich sicher leicht vorstellen, dass auch aquatische Insekten (d. h. Insekten, deren Larven sich im Wasser entwickeln wie beispielsweise Zuck- oder Kriebelmücken) durch zu viel Licht in der Nacht erheblich beeinflusst werden können. Der Biologe Mark Andreas Scheibe hat hierzu äußerst umfassende Forschungen angestellt, deren Ergebnisse nachfolgend kurz zusammengefasst werden sollen.

Scheibe untersuchte über drei Jahren lang den Zusammenhang zwischen Schlupf und Lichtfang, d. h., er befasste sich mit der Frage, in welchem Ausmaß schlüpfende aquatische Insekten vom Licht einer Straßenlampe in Ufernähe angelockt werden. Zu diesem Zweck stellte er eine Quecksilberdampflampe einige Meter von einem ansonsten unbeleuchteten Bachufer entfernt auf.

Der Versuch ergab, dass manche Insektengruppen (z. B. Eintagsfliegen, Steinfliegen und Kriebelmücken) vom Licht kaum angezogen werden – in 24 Stunden schlüpften am Standort der Lampe durchschnittlich gerade einmal so viele Insekten dieser Gruppen wie sonst auf 3 m Flussufer. Dramatisch andere Beobachtungen machte Scheibe jedoch für Köcherfliegen und Zuckmücken: Hier schlüpften in 24 Stunden am Standort der Lampe durchschnittlich so viele Insekten wie sonst auf ganzen 1.300 m (!) Flussufer.

Interessanterweise sind gerade die Zuckmücken für viele aquatische Ökosysteme ganz besonders wichtig, stellen sie doch die mit weitem Abstand zahlenmäßig größte Gruppe unter den heimischen aquatischen Insekten dar. Wie Scheibe anmerkt, wird den Zuckmücken in vielen Untersuchungen fälschlicherweise zugunsten anderer Insektenarten wie Köcherfliegen oder Eintagsfliegen deutlich zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Letztere können zwar gute Indikatoren für die Qualität des Wassers sein, ihr Anteil an der Biomasse ist jedoch deutlich geringer.



Kurzfassung der hier besprochenen Studie: Scheibe, Mark Andreas: Über den Einfluss von Straßenbeleuchtung auf aquatische Insekten, Natur und Landschaft, 78. Jahrgang (2003), Ausgabe 6, Bonn, Seite 264 – 267.

Scheibe kommt zu dem Schluss, dass die

„gewonnenen Ergebnisse [...] deutliche Trends [aufweisen], die durch die hohen Fangzahlen und den über drei Jahre hinweg durchgeführten (wöchentlichen) Fang unterstrichen werden. Es wird deutlich erwiesen, dass künstliche Lichtquellen in Fließgewässernähe einen erheblichen Eingriff in die aquatische Insektenfauna darstellen. Nach den durchgeführten Tests ist davon auszugehen, dass das Aufstellen von Straßenbeleuchtungen in Gewässernähe zu einer katastrophalen Artenverschiebung zuungunsten lichtempfindlicher Arten und damit zu einer Artenverarmung führen kann.“

Scheibes Beobachtungen sind für uns auch deshalb interessant, weil sie zeigen, dass die (in seinem Aufbau verwendete) gemeinhin als ökologisch sinnvoll angesehene (und von den meisten Herstellern auch so beworbene) Abschirmung von Lampengehäusen nicht zwangsläufig eine Entlastung für jedes vom Licht betroffene Ökosystem bedeuten muss.

Die seitliche Abschirmung der Lampe bewirkte zwar, dass das Licht vom Ufer aus weniger deutlich wahrgenommen werden kann, sie reduzierte jedoch nicht die Stärke der Reflexionen auf der Straße oder an parkenden Autos. Dies wiederum kann Scheibe zufolge dazu führen, dass aquatische Insekten ihre Eier dort statt im Wasser ablegen (offenbar weil sie die glänzende Oberfläche nicht von der Wasseroberfläche unterscheiden können), wo sie für die Reproduktion verloren sind, da ihnen das für die Entwicklung benötigte Wasser fehlt (Leerfangeffekt). Die einzige Möglichkeit zur Umgehung dieses Problems dürfte darin bestehen, Licht so sparsam wie möglich einzusetzen und an Fluss- oder Seeufern wenn möglich ganz auf Beleuchtung zu verzichten, um das dortige Ökosystem zu schonen.

Wie die Untersuchungen von Mark Andreas Scheibe und anderen Wissenschaftlern wie Travis Longcore und Catherine Rich belegen, beeinträchtigt jede Form der nächtlichen Beleuchtung das Verhalten einer Vielzahl an nachtaktiven

Lebewesen – und dies bis zu einem Punkt, an dem ganze Ökosysteme nachhaltig geschädigt werden können. Maxime einer ökologisch verträglichen Beleuchtungsplanung sollte es daher sein, nicht nur möglichst viel Energie einzusparen, sondern auch die Effekte auf tierisches und pflanzliches Leben vor Ort zu berücksichtigen und zu erwartende negative Auswirkungen soweit wie möglich zu minimieren. Einige diesbezügliche praxistaugliche Tipps finden sich in Kapitel 4.



Wie das Beispiel des aquatischen Ökosystems zeigt, kann übermäßige Nachtbeleuchtung nicht nur einzelne Tier- und Pflanzenarten, sondern auch ganze Ökosysteme in Mitleidenschaft ziehen. Gerade in ländlichen, naturnahen Gebieten sollten daher die möglichen Wechselwirkungen von Straßenlampen mit Ökosystemen in der unmittelbaren Umgebung bei der Beleuchtungsplanung unbedingt berücksichtigt werden.

3.7 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Nachdem wir nun die Auswirkungen übermäßiger nächtlicher Beleuchtung auf Tiere, Pflanzen und komplexe Ökosysteme anhand verschiedener Beispiele kennengelernt haben, stellt sich natürlich noch die Frage, ob nicht auch der Mensch durch die zunehmende Lichtverschmutzung beeinträchtigt werden könnte.

Hierzu ist zunächst festzustellen, dass die in diesem Kapitel dargestellten negativen Folgen der Lichtverschmutzung für unsere natürliche Umwelt den Menschen bereits indirekt schädigen. Der Verlust regional bedeutsamer Insektenarten, die Schädigung der (oft wenigen) Pflanzen in den innerstädtischen Lebensräumen oder die Gefährdung ganzer Ökosysteme (wie beispielsweise das Umkippen eines Gewässers) können alle möglichen Folgen für den Menschen nach sich ziehen, angefangen beim unästhetischen Anblick geschädigter Bäume über landwirtschaftliche Ausfälle durch den Schwund predatorischer Nutz insekten bis hin zur Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung durch abnehmende Gewässergüte.

Auch der ebenfalls betrachtete enorme Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung schädigt den Menschen zumindest indirekt, indem er zum globalen Klimawandel mit all seinen möglichen Folgen für zukünftige Generationen beiträgt.



Die Konsequenzen der Lichtverschmutzung für Kultur, Kunst und Forschung werden – ebenso wie die Folgen des enormen Energieverbrauchs – im zweiten Kapitel behandelt.

Über diese Effekte hinaus spricht jedoch auch einiges für die These, dass übermäßige nächtliche Beleuchtung die menschliche Gesundheit direkt schädigt. Eine falsch ausgerichtete Straßenlampe, die einen Teil des Lichts in die Fenster der umstehenden Gebäude wirft, trägt beispielsweise nicht nur zur Energieverschwendungen bei, sondern kann für Anwohner auch eine schlafraubende und damit gesundheitsschädliche Belästigung darstellen.

Die Folgen einer solchen Beleuchtung gehen jedoch weit über den Aspekt der Belästigung hinaus. Da der menschliche Körper nur in „dunklen“ Ruhephasen das für die Steuerung des Biorythmus enorm wichtige Hormon Melatonin produziert, kann die dauerhafte Abwesenheit „echter“ Dunkelheit erhebliche Konsequenzen für das körperliche Wohlbefinden haben. Wie man inzwischen weiß, reichen selbst kurze Lichtreize aus, um die Melatonin-Produktion für viele Stunden zu unterbrechen. Es wird vermutet, dass die statistisch auffälligen „typischen“ Krankheitsbilder von Menschen, die regelmäßig in Nachschichten arbeiten (Herz-Kreislauf-Störungen, Störungen des Verdauungssystems sowie Schlafstörungen), unter anderem auf die fehlenden Zeiten absoluter Dunkelheit zurückzuführen sind.

Einige Experten sehen im „Licht zur falschen Zeit“ sogar einen der entscheidenden Einflussfaktoren auf die menschliche Gesundheit. Erste Forschungsergebnisse lassen vermuten, dass übermäßige nächtliche Kunstbeleuchtung die Entstehung von

Krebs begünstigen kann. So liefern beispielsweise Kloog et al. überzeugende Hinweise darauf, dass zwischen der Brustkrebsrate und der Beleuchtungsdichte in Industrienationen ein kausaler Zusammenhang besteht. Dafür spricht auch, dass die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Nacharbeit mittlerweile zusammen mit dem Konsum von Zigaretten und häufigen Besuchen im Solarium in die Liste der Karzinogene, d. h. der krebserregenden Stoffe und Tätigkeiten aufgenommen hat.



Es spricht vieles für die Annahme, dass zu viel nächtliche Beleuchtung auch die menschliche Gesundheit beeinträchtigt.

Eine den Lichtsmog minimierende Beleuchtungsplanung ist daher nicht nur unter ökologischen, sondern auch unter gesundheitspolitischen Gesichtspunkten zu empfehlen.

4 Eindämmung von Lichtverschmutzung

4.1 Was macht gute Beleuchtung aus?

Wie der Astronom David Crawford feststellt, ist eine intelligente und ökologisch verträgliche Beleuchtung ein Gewinn für alle: Sie hilft dabei, die Sicht auf den Sternenhimmel zu bewahren, die Natur zu schützen sowie Energie und damit auch Geld zu sparen – und wie im vorangegangenen Kapitel erläutert wurde, kann eine bessere Beleuchtung sogar Schäden an der Gesundheit des Menschen verhindern. Schlecht geplante und ineffiziente Beleuchtung bringt dagegen keine positiven Nebeneffekte mit sich, die es wert wären, bewahrt zu werden.

Wie wir aus den vorangegangenen Kapiteln wissen, sollte gute Beleuchtung

- möglichst wenig Energie verbrauchen,
- die Sicht auf die Sterne möglichst wenig beeinträchtigen
- und möglichst geringe Negativwirkungen auf die Umwelt entfalten.

Wie aber lassen sich diese Idealvorstellungen bei der Planung berücksichtigen?

Ein Aspekt, der insbesondere aus Sicht der Astronomen und Vogelschützer von Bedeutung ist, ist die Abschirmung der Lampe sowohl nach oben als auch in die Horizontale. Klein stellt hierzu beispielsweise fest:

„Straßenbeleuchtungsanlagen müssen gut abgeschirmt sein. Ansonsten strahlen sie Licht nach oben und seitlich ab, wo es zu Beleuchtungszwecken nicht benötigt wird, zur Blendung führen kann und eine unnötige Energieverschwendug darstellt. Das in alle Richtungen strahlende Streulicht steht folglich nicht mehr zur Beleuchtung zur Verfügung und führt zur Lichtverschmutzung. Deshalb sollten Lampen stets nur nach unten abstrahlen.“

Neben der Abschirmung spielt natürlich auch der Energieverbrauch der Lampen eine große Rolle. Es liegt auf der Hand, dass verbrauchsarme Lampen aus ökologischer Sicht solchen mit hohem Verbrauch stets vorzuziehen sind. Dabei ist der gesamte Lebensenergiezyklus der Straßenlampen zu berücksichtigen, d. h., neben den Verbrauchswerten sollte auch die Energie, die für die Produktion und die Entsorgung aufgewendet wird, beachtet werden, darüber hinaus sind auch Lebensdauer und Recyclingfähigkeit von Bedeutung.



Abbildung 9: Beispiel für ein nach oben abgeschirmtes Lampengehäuse

Am meisten Energie lässt sich natürlich durch den vollständigen Verzicht auf Beleuchtung sparen – gleichzeitig die Maßnahme, durch welche auch die Lichtverschmutzung um 100 % reduziert wird. Es ist daher sinnvoll zu prüfen, ob Straßenlampen gegebenenfalls rückgebaut oder wechselseitig deaktiviert werden können. Auch eine teilweise Dimmung der Lampen trägt zur Energieersparnis sowie zur Minimierung der Lichtverschmutzung bei.

Darüber hinaus spielt natürlich auch der Standort eine Rolle. So sollte das direkte Anstrahlen von Gebäuden aufgrund der dabei entstehenden Reflexionseffekte ebenso vermieden werden wie ein Ausleuchten von Bäumen, bei dem während der Sommermonate ein Großteil des Lichts von den Blättern „verschluckt“ wird (was ja auch ökologisch betrachtet von Nachteil ist).

Wie diese Beispiele zeigen, ist ökologisch verträgliche Beleuchtungsplanung nicht eindimensional auf den Aspekt der Energieeffizienz beschränkt, sondern ein vielschichtiger und komplexer Prozess, in dem energetische, technische, biologische und medizinische Aspekte eine Rolle spielen. Aufgrund der Vielzahl an ökologischen Problemen, die mit nächtlicher Kunstbeleuchtung verbunden sind, ist es daher von höchster Wichtigkeit, dass städtische und kommunale Entscheidungsträger über die grundsätzlichen Regeln umweltverträglicher Beleuchtungsplanung Bescheid wissen. Klein stellt hierzu beispielsweise fest:

„An dieser Stelle ist jedoch vor allem ein Tätigwerden der Kommunen erforderlich. Es ist von großer Bedeutung, dass diese über die Problematik aufgeklärt sind, da die Beleuchtungspflicht im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht den Kommunen obliegt. Allein kommunale Entscheidungsträger legen für öffentliche Flächen fest, welche Leuchtmittel an bestimmten Bereichen eingesetzt werden. Somit ist das Wissen vom Einsatz ökologischer und wirtschaftlicher Beleuchtung von essenzieller Bedeutung.“

Um dieser Feststellung Rechnung zu tragen, wird im nächsten Abschnitt versucht, aus dem in den vorangegangenen Kapiteln vermittelten Wissen über die Auswirkungen von nächtlicher Beleuchtung auf die natürliche Umwelt, unsere Gesundheit sowie die Sicht auf den Sternenhimmel eine Reihe von praktischen Anwendungstipps abzuleiten. Wer sich über diese Hinweise hinaus über den Aufbau einer ökologisch schonenden Beleuchtung beteiligen möchte, findet in der Regel kompetente Ansprechpartner bei den lokalen Astronomie- und Umweltschutzvereinen.

4.2 Zehn praxisnahe Tipps

Um den Lesern dieser Lektion einige Richtlinien für ökologisch verträgliche, energieeffiziente Beleuchtungsplanung an die Hand zu geben, sollen die nachfolgenden zehn Tipps die Betrachtungen aus den vorangegangenen Kapiteln in möglichst praxisnahe Empfehlungen komprimieren.

(1) *Nur dort beleuchten, wo es notwendig ist:* Sowohl bei der Planung neuer Beleuchtungsanlagen als auch bei der Überprüfung bestehender Pläne sollte stets zuerst die Frage beantwortet werden, ob eine Beleuchtung auch tatsächlich erforderlich ist. Bis auf Ausnahmen (z. B. bei touristischen Gründen) sollte auf jede Form der überflüssigen Beleuchtung (z. B. aus ästhetischen Gründen) zugunsten der Umwelt möglichst verzichtet werden.

(2) *Möglichst energiesparende Beleuchtung verwenden:* Um den Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung langfristig zu senken, empfiehlt sich der Einsatz möglichst energieeffizienter Technologien. Dabei sind die Natriumdampflampen in jedem Fall den veralteten Quecksilberdampflampen vorzuziehen, wobei es zwischen den zur Zeit am Markt angebotenen Natriumdampflampen teils erhebliche Unterschiede bezüglich des Energieverbrauchs gibt. Hier lohnt es sich also, bei der Auswahl genau hinzusehen.

Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang die LED-Technologie, mit der sich im Vergleich zu Natriumdampflampen noch einmal bis zu 50 % an Energie einsparen lassen. Während Natriumdampflampen heute den Markt dominieren, ist in den kommenden Jahren mit steigenden Marktanteilen für LED-Lampenhersteller zu rechnen.



Um Städte und Kommunen bei der Auswahl energieeffizienter Beleuchtungstechniken zu unterstützen, existiert ein vom UBA herausgegebener Katalog, der in Kapitel 2 vorgestellt wird.

(3) *Lampenabschirmung beachten:* Wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, ist direkt in den Himmel abgestrahltes Licht eine große Gefahrenquelle für Zugvögel. Darüber hinaus ist die Abgabe von Licht nach oben reine Energieverschwendungen, da Straßenbeleuchtung schließlich Gehwege und Fahrbahnen ausleuchten soll. Gerade nach oben sowie in die Horizontale abgestrahltes Licht trägt zudem besonders stark zur astronomischen Lichtverschmutzung bei. Es gibt daher mehr als nur einen Grund, um bei der Anschaffung neuer Straßenlampen auf deren Abschirmung – bzw. bei LED-Straßenlampen auf die Fokussierbarkeit des Lichts – zu achten.

Auf vollkommen unökonomische und unökologische Designs wie beispielsweise die teilweise noch verwendeten „Kugellampen“ muss heute niemand mehr zurückgreifen – etliche Lampenhersteller bieten mittlerweile sehr gut abgeschirmte Gehäuse an, die teilweise sogar mit den Gütesiegel der „International Dark-Sky Association“ (IDA) versehen sind.



Abbildung 10: IDA-Gütesiegel für lichtsmogarme Lampen (Quelle: IDA)



Webseite der International Dark-Sky Association:

<http://www.darksky.org>

(4) Umgebung der Lampen beachten: Wie bereits besprochen wurde, ist es sowohl ökologisch wie auch ökonomisch unsinnig, wenn das Licht einer Straßenlampe während der Sommermonate vom Blätterdach eines Baumes verschluckt wird. Im Rahmen einer ökologisch verträglichen Beleuchtungsplanung sollte daher nicht nur beachtet werden, welche Art von Lampen (Leuchtmittel, Abschirmung, Verbrauch etc.) man einsetzt, sondern auch wo diese eingesetzt werden.



Eine detailliertere Betrachtung der ökologischen Schäden, die bei einer direkten Ausleuchtung von Laubbäumen entstehen können, findet sich im dritten Kapitel.

(5) Zeitabhängige Beleuchtung prüfen: In weniger stark frequentierten Straßen gibt es vielfach keinen Grund dafür, während der gesamten Nachtstunden ein gleich bleibendes Beleuchtungsniveau aufrechtzuerhalten. In einigen Orten ist man daher dazu übergegangen, die Beleuchtung beispielsweise in der Zeit zwischen zwei und fünf Uhr partiell zu deaktivieren oder aber zu dimmen. Eine besonders effiziente Dimmung gestatten hierbei die neuen LED-Straßenlampen, die teilweise nicht nur stufenlos dimmbar sind, sondern die sich im Hinblick auf die Dimmung vor allem durch hohe Energiespareffekte auszeichnen. Grundsätzlich sind Maßnahmen wie die zeitabhängige Deaktivierung oder Dimmung von Straßenlampen überall dort zu begrüßen, wo sie gefahrlos angewandt werden können.

(6) Versetzte Lampenabschaltung prüfen: Auch die versetzte Abschaltung von Straßenlampen – in der Regel die Abschaltung jeder zweiten Lampen bei versetztem Muster auf der gegenüberliegenden Straßenseite – wird bereits von vielen Städten und Kommunen mit Erfolg praktiziert, um auf diese Weise Stromkosten zu sparen. Eine versetzte Abschaltung hat natürlich – neben der klimaschonenden Senkung des Energiebedarfs – noch weitere positive ökologische Effekte, da sie die allgemeine Lichtverschmutzung sowie die Anzahl der „Insektenfänger“ reduziert. Wo eine solche Abschaltung machbar erscheint, sollte sie daher auf jeden Fall geprüft werden.

(7) *Keine Beleuchtung in Wohnungsfenster:* Wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, wirkt nächtliche Kunstbeleuchtung sich nicht nur auf die natürliche Umwelt, sondern auch auf die menschliche Gesundheit negativ aus. Um zumindest auszuschließen, dass Straßenlampen durch die direkte Einstrahlung in Fenster von Wohngebäuden den Anwohnern den Schlaf rauben und ihnen langfristig (aufgrund der Auswirkungen auf die Melatonin-Produktion) auch noch gesundheitlich schaden, sollten man stets auf die Wahl geeigneter Standorte bzw. auf die korrekte Abschirmung der eingesetzten Lampen achten.

(8) *Totalverzicht auf Bodenstrahler:* Obwohl dieser Punkt nicht direkt etwas mit der Planung von Straßenbeleuchtung zu tun hat, wurde er dennoch mit in diese Tipp-Sammlung aufgenommen, da die Verantwortung für die Genehmigung von Bodenstrahlern oftmals in den gleichen Händen wie die Planung von Straßenbeleuchtung liegt. Wie in Kapitel 2 erläutert wurde, tragen Bodenstrahler kaum zur Aufhellung und damit zur Sicherheit oder aber zur Orientierung bei, verschwenden dafür aber viel Energie mit der Anstrahlung des Himmels oder dem Hineinleuchten in Pflanzen (die – wie in Kapitel 3 gezeigt wurde – dadurch auch noch Schäden davontragen können). Der Einsatz solcher Bodenstrahler kann daher niemals Bestandteil einer ökologisch wirklich verträglichen Beleuchtungsplanung sein.

(9) *Totalverzicht auf „Skybeamer“:* Aus ähnlichen Gründen wie der Verzicht auf Bodenstrahler wurden auch der auf Skybeamers mit in diese Tipp-Sammlung aufgenommen, die vielfach von großen Diskotheken oder Clubs eingesetzt werden. Da der Aufbau solcher Anlagen von einer Stadt oder Kommune genehmigt werden muss (in der Regel durch das Bauamt), kann seitens der Behörden leicht unterbunden werden, dass solche Einrichtungen den Nachthimmel als kostenlose Werbefläche missbrauchen und damit massiv zur Lichtverschmutzung beitragen. Man sollte auch nicht vergessen, dass die Genehmigung eines Skybeamers unter Umständen viele Jahre der ökologischen Beleuchtungsplanung mit einem Schlag zunichte machen kann.



Das OVG Koblenz verbot 2003 den Bau eines Skybeamers aus Gründen des Landschaftsschutzes und wegen des Erholungsbedürfnisses der Bevölkerung (Az.: 8 A 11286/02.OVG).



Ebenfalls 2003 untersagte das OVG Koblenz den Bau eines Skybeamers durch eine Diskothek, um das Landschaftsbild des Naturparks „Nordpfeil“ zu schützen (Az.: 8 A 11217/02.OVG).

(10) *Nachtspaziergänge fest einplanen:* Bereits ein einfacher nächtlicher Spaziergang kann viele großartige Impulse zur Optimierung der Beleuchtungssituation liefern. Vielleicht findet sich ein Parkplatz, auf dem in der Nacht nur eine Handvoll Fahrzeuge steht und der trotzdem voll ausgeleuchtet wird. Oder eine menschenleere Seitengasse ohne Kraftverkehr, in der problemlos jede zweite Lampe deaktiviert werden kann.

viert werden könnte. Ein nächtlicher Gang mit offenen Augen durch die Stadt oder Kommune kann jedem Entscheidungsträger nur empfohlen werden.



Bericht des Autors über einen „Lichtsmog-Rundgang“:

<http://www.scienceblogs.de/frischer-wind/2009/02/ein-lichtsmog-rundgang-durch-wernigerode.php>



Mit den in diesem Abschnitt aufgeführten zehn Tipps für eine ökologisch verträgliche Beleuchtungsplanung kann jeder, der in Stadt oder Kommune diesbezügliche Aufgaben wahrnimmt, zu einer „besseren Beleuchtung“ ganz entscheidend beitragen.

4.3 Ökologische Beleuchtungstrends

Bevor wir mit dem Kapitel 5, „Licht und öffentliche Sicherheit“, den Bereich der ökologischen Betrachtungen verlassen, soll noch ein kleiner Blick auf drei sich zur Zeit abzeichnende Beleuchtungstrends geworfen werden.

(I) *LED-Straßenlampen*: Wie der im zweiten Kapitel angesprochene Technikkatalog von Umweltbundesamt und Bundesumweltministerium zeigt, befindet sich die LED-Technologie auf dem Vormarsch. Der primäre Grund für das zunehmende Interesse an der LED als Leuchtmittel ist natürlich der bereits angesprochene enorme Effizienzvorsprung, der – bei zunächst höheren Investitionskosten – mittelfristig große Einsparungen verspricht. Während die Einsparung von Energie aus ökologischer Sicht bereits zu begrüßen ist, brächte ein flächendeckender Einsatz von LED-Straßenlampen noch weitere positive Umwelteffekte mit sich.

So lässt sich das Licht einer LED wesentlich präziser fokussieren, wodurch eine bessere Lichtausrichtung und damit eine Minimierung der Lichtverschmutzung ermöglicht wird. Der Austritt von Licht nach oben oder in die Horizontale kann bei einer LED-Straßenlampe zudem auch ohne Abschirmung leicht unterbunden werden. Da das Licht der LEDs darüber hinaus bedeutend weniger Insekten anzieht und die Lampen eine vier- bis fünfmal so lange Lebensdauer aufweisen, ist das zunehmende Interesse an der Technologie auf jeden Fall ein ökologischer Gewinn.

Einen „Wehrmutstropfen“ gibt es dabei jedoch zu beachten. Da auffällige Kunst- oder Werbebeleuchtung mit LEDs besonders effektiv und kostengünstig realisiert werden kann, befürchten nicht wenige Astronomen und Umweltschützer, dass die steigende Popularität der LED unter Umständen langfristig zu einer Zunahme an Lichtverschmutzung führen könnte.



Abbildung 11: LED-Straßenlampe vom Typ „AuLED“ (Entwickler: HarzOptics GmbH; Hersteller: AUTEV AG)

(2) *Beleuchtung „on demand“*: Ein Gedanke, der bereits seit einigen Jahren von der Leuchtenindustrie verfolgt wird, ist die Beleuchtung „on demand“, d. h. die bedarfsabhängige Beleuchtung. Dahinter steckt die Idee eines Beleuchtungssystems, welches den Beleuchtungsbedarf mehr oder weniger selbstständig erkennen und sich entsprechend regulieren kann.

So wäre beispielsweise vorstellbar, dass die Beleuchtung in abgelegenen Seitenstraßen nach 22:00 Uhr zunächst einmal komplett deaktiviert wird. Nähert sich ein Anwohner, so kann dieser mit einem Code, den er in sein Mobiltelefon eingibt, die Straßenlampen für eine gewisse Zeitspanne reaktivieren. Ein solches System würde es sogar ermöglichen, die Kosten für den Betrieb von Beleuchtungsanlagen zumindest teilweise von der Allgemeinheit auf den einzelnen Nachfrager umzulegen. Bereits heute existieren entsprechende Pilotanlagen – und es ist vermutlich nur eine Zeitfrage, bis Beleuchtung „on demand“ zur Mainstream-Technologie wird.

Eine bedarfsabhängige Beleuchtung ließe sich übrigens nicht nur über Mobilfunksysteme realisieren, auch der Einsatz von Bewegungsmeldern oder Fahrzeug-Transpondern wäre denkbar. Wie man sieht, sind in jedem Fall noch technische Hürden zu überwinden – so sind gerade ältere Personen im Umgang mit Mobiltelefonen vermutlich nicht immer ausreichend gut vertraut, um sich den Heimweg „ausleuchten“ zu können –, und auch der Einbau von Transpondern in jedes Automobil wäre mit einem enormen Aufwand verbunden. Auch stellt sich natürlich die Frage, wie sich eine häufige Aktivierung und Deaktivierung von Lampen auf deren Lebensdauer auswirken könnte.

Die Idee einer Beleuchtung „on demand“ an sich ist jedoch vom Standpunkt des Umweltschutzes zu begrüßen – immerhin stellt ökologisch betrachtet gar keine Beleuchtung noch immer das Optimum dar. Wenn also in leeren Straßen künftig gar kein Licht mehr brennt und Straßenlampen nur noch bei Bedarf aktiv werden, wäre dies nicht nur ein Segen für alle Hobbyastronomen.

(3) „Anti-Lichtsmog-Gesetze“: Wie bereits erläutert, existiert in Deutschland zur Zeit noch kein Gesetz, welches den Umgang mit Licht im öffentlichen Raum regelt. Insbesondere bei der Partei Bündnis 90/Die Grünen – immerhin sowohl im Bund als auch in den meisten Bundesländern ein potenzieller Regierungspartner – sind jedoch bereits seit Jahren Bestrebungen erkennbar, entsprechende Regularien einzuführen. Höhepunkt dieser Bemühungen war ein im April 2009 in Berlin organisiertes Expertengespräch der Grünen-Bundestagsfraktion, in dessen Rahmen über eine mögliche „TA Licht“ (analog zur TA Luft) diskutiert wurde.

Selbst wenn das Thema „Lichtverschmutzung“ in den anderen Parteien auch weiterhin keine große Beachtung finden sollte, dürften die durch die Krise verstärkte Knappheit in den städtischen und kommunalen Kassen sowie die Festsetzung verbindlicher Klimaziele auf regionaler Ebene während der kommenden Jahre dafür sorgen, dass zumindest die energetische Effizienz von Straßenbeleuchtung auf der Agenda aller Bundestags-Parteien landet.

Das steigende öffentliche Interesse an der Lichtsmog-Problematik sowie die oben angeführten Gründe lassen es durchaus möglich erscheinen, dass der Gesetzgeber in den nächsten Jahren hinsichtlich der Lichtverschmutzung aktiv werden wird. Für Städte und Kommunen bedeutet dies, dass sie mit ökologisch verträglicher Beleuchtung nicht nur das eigene Energiebudget schonen und einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leisten, sondern sich zugleich auf künftig zu erwartende gesetzliche Anforderungen einstellen können und damit kurzfristig auftretende Belastungen effektiv vermeiden.



Neben einem zunehmenden Interesse an LED-Beleuchtung ist in den kommenden Jahren auch mit weiteren Pilotanlagen aus dem Bereich der „on demand“-Beleuchtung zu rechnen. Der steigende Druck auf die Politik, in Sachen Lichtsmog aktiv zu werden, könnte außerdem dazu führen, dass auch in Deutschland – ähnlich wie bereits in Spanien, Italien und Tschechien – Gesetze zur Eindämmung des Lichtsmogs erlassen werden.

5 Licht und öffentliche Sicherheit

5.1 Straßenbeleuchtung und Kriminalität

Viele Menschen sind davon überzeugt, dass eine Verbesserung der öffentlichen Straßenbeleuchtung die allgemeine Kriminalität und damit verbunden auch die Angst vor kriminellen Übergriffen reduziert. Es wird angenommen, dass durch eine verbesserte Sicht die Möglichkeit zur Identifizierung des Täters steigt, was potenzielle Täter von der Begehung von Straftaten abhalten sollte. Verschiedenste Untersuchungen zu dieser Thematik kamen jedoch zu dem Ergebnis, dass der vielfach angenommene Zusammenhang so nicht haltbar ist – es existieren keine Beweise für die Annahme, dass mehr Licht automatisch zu mehr Sicherheit führt.

Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich auf umfassende Studien, die im Auftrag des britischen Innenministerium (Home Office) durchgeführt wurden, auf einen Bericht von Ernst Wauer in Zusammenarbeit mit dem Verein Stadt+Quartier Ruhr e. V., der ein Konzept zur Lichtplanung in einem nicht näher benannten Wohnquartier zum Gegenstand hat, sowie auf eine umfangreiche Untersuchung der Stadt Rheine in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule für öffentliche Verwaltung in Münster, die den vielsagenden Titel „Angstraum Stadt Rheine? Welche Auswirkung hat die Abschaltung der Straßenbeleuchtung in Rheine auf das Sicherheitsempfinden der Bürger?“ trägt.

5.2 Angst und Dunkelheit

Für die meisten Menschen ruft Dunkelheit bzw. das Fehlen einer ausreichenden Beleuchtung unmittelbare Angstzustände und das Gefühl von Unsicherheit hervor. Aus psychologischer Sicht lässt sich dies vor allem damit begründen, dass Menschen im Alltag besonders stark auf visuelle Reize vertrauen.

Das menschliche Auge ist optimiert für das Sehen am Tag – während der Nacht ist unser Sehvermögen dagegen stark eingeschränkt. Unterschreitet das vorhandene Umgebungslicht eine gewisse Intensitätsschwelle, kann unser Auge keine Farben mehr wahrnehmen; wird die Intensität weiter abgesenkt, so ist es bald nicht mehr möglich, scharfe Konturen zu erkennen – dieser Effekt kann allerdings auch bei einer übermäßigen Beleuchtung mit daraus resultierender Blendwirkung und starken Kontrasten zwischen beleuchteten und unbeleuchteten Flächen entstehen.



Wie das menschliche Auge Farben und vor allem die Unterschiede zwischen den Farben wahrnimmt, wird im sechsten Kapitel dieser Lektion im Detail erläutert.

Die bei Dunkelheit entstehenden Angst- bzw. Unsicherheitsgefühle resultieren aus der gefühlten verminderten Kontrolle des Umfeldes, die zu dem Eindruck führt, nicht

rechtzeitig auf mögliche Gefahrensituationen reagieren zu können. Es handelt sich hierbei um einen im weitesten Sinne subjektiven Prozess, der von einer Reihe unterschiedlichster und höchst individueller Einflussfaktoren abhängt.

Beispiele für solche Einflussfaktoren sind:

- das Alter – mit zunehmendem Alter nimmt die Fähigkeit zum Erkennen von Kontrasten bei schwacher Beleuchtung stark ab
- das Geschlecht – im Allgemeinen fühlen sich Frauen in dunklen Umgebungen stärker gefährdet als Männer
- die eigene Disposition, d. h. die persönliche Veranlagung
- schon gemachte eigene gute und schlechte Erfahrungen

In den meisten Fällen erzeugen dunkle Bereiche, egal ob im öffentlichen Raum oder im Inneren von Gebäuden[^], negative Gefühle, sodass die meisten Menschen dazu tendieren, solche Bereiche zu meiden oder nur ungern zu nutzen. Ursache solcher Ängste ist ein jahrtausendealtes genetisch festgelegtes Programm, welches sich zu einer Zeit entwickelte, in der noch die berechtigte Angst bestand, bei Dunkelheit von wilden Tieren angefallen und eventuell auch getötet zu werden.

Die Tatsache, dass das subjektive Sicherheitsgefühl in einer hell erleuchteten Umgebung besonders hoch ist, hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass vor allem viel frequentierte Bereiche stark ausgeleuchtet wurden. Licht allein kann aber niemanden schützen – ein einleuchtendes Beispiel wäre ein hell erleuchteter, aber weit abgelegener Waldweg, der dem Benutzer Sicherheit vorgaukelt. Nur der Umstand, dass wir von anderen Menschen gesehen werden können, die uns im Notfall Hilfe zukommen lassen oder aber Hilfe herbeirufen können, bietet realen Schutz vor kriminellen Übergriffen – die viel beschworene „soziale Kontrolle“. So betrachtet muss man konstatieren, dass ein aufmerksamer Nachbar in den meisten Fällen einen wesentlich besseren Schutz bieten dürfte, als die hellste Beleuchtung. In weit abgelegenen oder unbewohnten Gegenden bietet selbst eine gut ausgelegte Beleuchtung somit keinerlei Schutz, da die soziale Kontrolle nicht vorhanden ist.

Betrachten wir den Schutz vor anderen Gefahren, insbesondere Unfallgefahren und sonstigen Gefährdungen, die aus dem Straßenverkehr herrühren, erweist sich eine ausreichende Beleuchtung dagegen sehr wohl als hilfreich. Aus der Sicht von Experten für Verkehrsplanung gilt dabei allerdings eine Einschränkung: Eine nicht vorhandene Beleuchtung ist besser als eine falsch geplante Beleuchtung, da erstere automatisch eine erhöhte Aufmerksamkeit erzeugt. Eine schlecht ausgerichtete Beleuchtung dagegen, in der es z. B. zu Blendwirkungen oder starken Schattenbildungen kommt, wiegt den Verkehrsteilnehmer in einer trügerischen Sicherheit, was wiederum zu einem erhöhten Unfallrisiko führt.

5.3 Kriminalprävention durch intelligente Lichtplanung

Am Beispiel eines Wohnquartiers im Ruhrgebiet soll verdeutlicht werden, wie eine optimale Beleuchtungssituation geschaffen werden kann. Wir orientieren uns dabei

an der von Ernst Wauer veröffentlichten Studie „Dunkle Wege – Warum erzeugen schlecht beleuchtete Bereiche Angst“.

Als Ausgangspunkt dient die Sanierung einer ehemaligen Bergarbeitersiedlung, die in den 50er-Jahren errichtet wurde. Es handelt sich um eine größere Wohnanlage, die zum größten Teil aus zweigeschossigen Mehrfamilienhäusern in Zeilenbauweise besteht. Weiterhin ist das Areal von einer alten Grünanlage eingefasst.

In diesem Gelände kam es in Wauers Beispiel in den letzten Jahren zu mehreren Übergriffen, so beispielsweise zu zwei versuchten Vergewaltigungen, einem Raub sowie mehrfach zu Pöbeleien gegenüber Anwohnern. Die Tatzeit lag jeweils in den Abendstunden nach Einbruch der Dunkelheit. Die Analyse der Tatorte ergab, dass diese lediglich auf zwei Fußwege beschränkt waren, die von den Anwohnern als Abkürzung zu einer nahe gelegenen Bushaltestelle genutzt werden.

Beide Wege sind – ohne nennenswerte Dunkelzonen – normgerecht beleuchtet, allerdings führt einer der Wege durch die vorgenannte Grünanlage, der andere durch eine weitläufige Rasenfläche. Beobachtungen ergaben, dass die Tatorte von den Wohnhäusern aus durch die vorhandene Begrünung und durch die Distanz nicht einsehbar waren, d. h. das Element der sozialen Kontrolle ausfiel.

Vor diesem Ausgangsszenario beschäftigte sich Wauer mit der Frage, welche lichttechnischen Maßnahmen sinnvollerweise ergriffen werden könnten, um künftige Übergriffe zu erschweren. Aus diesen Überlegungen entwickelte er Ansatzpunkte für eine kriminalpräventive, intelligente Lichtplanung. Beides soll nachfolgend nur kurz und in Auszügen dargestellt werden, um das Kapitel nicht zu überfrachten.

Sinnvolle Maßnahmen:

- Reduzierung bzw. Rodung der Bepflanzung am Rand der Wege, um so die Einsicht auf die Wege zu verbessern
- Abendliche Abschaltung der Beleuchtung dieser Wege, die erst zum einsetzenden Berufsverkehr wieder in Betrieb genommen wird
- Punktuelle und akzentuierte Beleuchtung der Bereiche der Siedlung, die von den Wegen aus zu sehen sind (verstärkte soziale Kontrolle)
- Austausch des Bodenbelages (Austausch eines hellen Pflasters gegen einen dunklen Aschenbelag) an den Zugängen der Wege aus und in Richtung der Bushaltestelle, sodass sie im Dunkeln weniger auffallen
- Entfernung aller Hinweise auf den Weg und akzentuierte Beleuchtung eines Alternativweges, der von den Wohnhäusern gut einsehbar ist

Daraus abgeleitete Ansätze für eine kriminalpräventive Lichtplanung:

- Durch die „Verdunklung“ von Wegen sollen diese Passanten unsicher erscheinen und somit zu relevanten Tatzeiten gemieden werden
- Durch die geringere Auffälligkeit der Wege bei Dunkelheit werden potenzielle Nutzer davon abgehalten, diese als Abkürzung zu benutzen
- Selbst für unerwünschte Gruppen werden diese Bereiche somit weniger attraktiv und laden nicht zum Verweilen ein
- Durch die Beleuchtung der Bereiche der Siedlung, die von den Wegen aus zu sehen sind, entsteht bei diesen Gruppen das Gefühl, beobachtet zu werden, was dazu führt, dass das Gefühl der Beherrschung des Umfeldes subjektiv reduziert und damit die Zahl der Übergriffe verringert wird

Es kann demnach sinnvoll sein, öffentliche Bereiche, in denen die Sicherheit objektiv betrachtet nur schwer gewährleistet werden kann, schwach zu beleuchten oder sogar gänzlich zu verdunkeln. Durch solche Maßnahmen soll erreicht werden, dass gefährdete Nutzergruppen diese Bereiche von sich aus meiden. Wichtig ist, dass durch Beleuchtung kein subjektives Sicherheitsgefühl erzeugt wird, welches sich objektiv betrachtet nicht mit den realen Bedingungen deckt.

5.4 Führt weniger Licht zu mehr Verbrechen?

Eine Studie im Auftrag der Home Office Crime Prevention Unit (einer Abteilung des britischen Innenministeriums) untersuchte im Jahr 2004 die Entwicklung der Kriminalität nach Einführung einer neuen (und helleren) Straßenbeleuchtung im Londoner Stadtteil Wandsworth. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine Datenbank erstellt, in der über 100.000 bei der Polizei gemeldete Straftaten erfasst wurden und die zudem einen Vergleich mit früheren Zeitperioden ermöglicht.

Eine umfassende Analyse dieser Daten erbrachte keine Belege für die Vermutung, dass die Verbesserung der Straßenbeleuchtung automatisch zu einem Absinken der Kriminalitätsrate führt. In Bezug auf die Gesamtzahl der erfolgten Straftaten traten keine signifikanten Veränderungen auf, allerdings kam es zu einer teilweisen Verschiebung krimineller Aktivitäten aus den Nacht- in die Tagesstunden – dies allerdings in einem weniger relevanten Ausmaß.

Im zweiten Teil dieser Studie wurden die Reaktion der Anwohner auf die neue, hellere Beleuchtung sowie ihre Erfahrungen mit aufgetretener (gemeldeter wie nicht gemeldeter) Kriminalität bewertet. Es zeigte sich, dass die Anzahl der versuchten Übergriffe auf Frauen drastisch zurückgegangen ist, andere Formen der Kriminalität von der Erneuerung der Straßenbeleuchtung jedoch nicht beeinflusst wurden. Die Gesamteinschätzung der neuen Straßenbeleuchtung fiel wie erwartet äußerst positiv aus, das subjektive Sicherheitsempfinden der befragten Anwohner konnte durch die hellere Beleuchtung merklich gesteigert werden.

In diesem Zusammenhang wurden auch andere Maßnahmen wie beispielsweise die stärkere Präsenz uniformierter Polizisten in angrenzenden Parkanlagen oder der Einfluss privater Initiativen wie der Neighborhood Watch (einer Art Bürgerwehr) untersucht. Solche Maßnahmen führten wenig überraschend zu einer tatsächlichen Reduzierung begangener Straftaten – Ergebnis der bereits angesprochenen sozialen Kontrolle. Es ist anzumerken, dass die Effizienz solcher Maßnahmen durch eine helle Straßenbeleuchtung verbessert werden kann, da diese die Arbeit von Polizei und privaten Initiativen erleichtert.



Eine Verbesserung der öffentlichen Beleuchtung beeinflusst die Kriminalität nicht nachweisbar, kann jedoch in Verbindung mit anderen Maßnahmen, welche auf die Verstärkung der sozialen Kontrolle abzielen, eine unterstützende Wirkung entfalten.

5.5 Erfahrungen mit der Nachabschaltung

Die Stadt Rheine gehört zu den Vorreitern in Sachen Nachabschaltung, d. h. der vollständigen Deaktivierung der Straßenbeleuchtung während der späten Nacht (im vorliegenden Fall zwischen 01:00 Uhr und 03:30 Uhr, ausgenommen sind Feiertage, Wochenenden sowie elf ausgewiesene Fußgängerüberwege). Die Stadtverwaltung entschloss sich zu dieser drastischen Maßnahme, um auf diese Weise eine jährliche Einsparung an Energiekosten in Höhe von 72.000 EUR und eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes von 420 Tonnen zu erzielen. Begleitend wurde im Auftrag der Stadt eine Studie mit dem Titel „Angstraum Stadt Rheine? Welche Auswirkung hat die Abschaltung der Straßenbeleuchtung in Rheine auf das Sicherheitsempfinden der Bürger?“ angefertigt. Im Rahmen dieser Studie sollte festgestellt werden, welchen Einfluss die Lichtabschaltung auf das subjektive Sicherheitsempfinden der Bürger hat und ob die Einsatzzahlen der Polizei ebenfalls beeinflusst werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das subjektive Sicherheitsempfinden der Bewohner entgegen aller Erwartungen nicht gesunken ist, auch hat sich das Stadtgebiet keinesfalls zu einem Angstraum entwickelt. Die einzelnen Befragungen erbrachten zwar teilweise widersprüchliche Aussagen, auf die Gesamteinschätzung hatte dies jedoch kaum Auswirkungen. Auch die Auswertungen der Einsatzzahlen der Polizei zeigten keine signifikanten Veränderungen zum Vergleichszeitraum vor der Einführung der Nachabschaltung. Der Stadtverwaltung von Rheine konnte somit bescheinigt werden, dass die Abschaltung eine nicht nur sinnvolle, sondern auch bei einem Großteil der Bürger akzeptierte Maßnahme darstellt.

Natürlich ist es fraglich, ob eine Untersuchung in einer Großstadt wie London ein vergleichbares Ergebnis erbringen würde (die zuvor kurz umrissene Studie aus Wandsworth deutet zummindest nicht darauf hin). Der Zusammenhang zwischen dem subjektiven Sicherheitsempfinden und dem Grad der Beleuchtung scheint mit dem Grad der Urbanisierung anzusteigen, sodass eine Nachabschaltung wie in Rheine in Städten wie Berlin oder Frankfurt vermutlich wesentlich größere Akzeptanzprobleme mit sich bringen würde.

Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Grad der Beleuchtung und der Kriminalitätsrate konnte jedoch weder in London noch in Rheine gefunden werden, was die Schlussfolgerung nahelegt, dass eine Reduktion der nächtlichen Beleuchtung in erster Linie die subjektive Einschätzung der Gefährdungssituation, nicht aber die objektive Gefahrenlage beeinflusst.

5.6 Fazit: Mehr Licht bedeutet nicht mehr Sicherheit

Das häufig angeführte Motto „Je heller desto sicherer“ scheint für die nächtliche Straßenbeleuchtung in Wirklichkeit also gar nicht zu gelten – eher ist noch das Gegenteil der Fall. So führt eine „Flutlichtbeleuchtung“ dazu, dass innerhalb des Lichtkegels ein hoher Blendeffekt entsteht, der eine Identifizierung von Personen erheblich erschwert. Außerhalb des eigentlichen Lichtkegels ist zudem aufgrund der vorgenannten Blendwirkung sowie dem Hohen hell-dunkel-Kontrast in Bezug auf die übrige Umgebung ebenfalls kaum noch etwas zu erkennen.

Einen direkter Sicherheitsgewinn durch eine gute Straßenbeleuchtung existiert nur hinsichtlich der Unfallsicherheit. In Bezug auf die Kriminalitätsprävention ist dagegen, nach übereinstimmenden Aussagen der vorliegenden Studien, kein signifikanter Sicherheitsgewinn feststellbar. Licht ist demnach nicht das Mittel der ersten Wahl zur Verringerung von Kriminalität, eine gute Beleuchtung kann nur im Zusammenspiel mit anderen Faktoren – wie der Optimierung der Einsehbarkeit von möglichen Tatorten, der Steigerung der sozialen Kontrolle sowie geeigneten polizeilichen und städtebaulichen Maßnahmen – zum Erfolg führen. Dabei hat eine Optimierung der Beleuchtung eine lediglich unterstützende Funktion.

Ein im Rahmen der Schreibarbeiten zu diesem Lehrbrief durchgeführtes Telefoninterview mit Hauptkommissar Lothar Schirmer von der Magdeburger Polizei, bestätigte die hier vorliegenden Untersuchungsergebnisse auch für den lokalen Raum.

6 Theorie der Lichtwahrnehmung

6.1 Farbwahrnehmung

6.1.1 Kurze Geschichte der Farbwahrnehmung

Der britische Physiker Isaac Newton hat sich bereits Anfang des 18. Jahrhunderts intensiv mit der Lichtanalyse befasst. Mithilfe eines Glasprismas fand er heraus, dass Licht aus verschiedenen Farbanteilen zusammengesetzt ist und verschieden zusammengesetztes Licht denselben Farbeindruck hervorrufen kann. Dies führte ihn zur ersten wichtigen Erkenntnis auf dem Gebiet der Farbwahrnehmung: „The rays are not coloured“ („Die Lichtstrahlen sind nicht farbig“).

Auch Johann Wolfgang von Goethe befasste sich sehr intensiv mit der Farblehre und verwendete die Theorie, dass er subjektiv „helles Gelb“ und „dunkles Blau“ sieht, als Grundlage für seine Farbenlehre. Thomas Young ging um 1800 davon aus, dass alle Farben aus drei Primärfarben zusammensetzen seien. Er vermutete den Grund in der Physiologie des Auges, genauer gesagt der Netzhaut. Young ging bereits von mindestens drei Rezeptortypen aus, welche die Grundfarben Rot, Grün, Blau wahrnehmen.

Mit dem Aufkommen der hochauflösenden optischen Spektralanalysatoren in der Physik um 1900 konnte die Idee einer Farbwahrnehmung mit unterschiedlichen Farbrezeptoren wissenschaftlich untermauert werden. Zeitgleich kamen jedoch auch die ersten Psychologen zu Wort, die der inneren Wahrnehmung der Farben im Gehirn nachgehen wollten – so stellte beispielsweise Ewald Hering um 1900 eine Gegenthese der Vierfarbtheorie auf. Mit der Entwicklung des Farbfernsehens um 1930 wurde intensiv an der Wahrnehmungsanalyse der Farbenzusammensetzung zur verbesserten Darstellungsmöglichkeit im Fernseher gearbeitet. In diesem Rahmen entwickelte man auch die noch heute gültige, internationale Norm CIE 1931, bei der ein sogenannter neutraler Farbbeobachter aus einem bestimmten Winkel alle Farben wahrnahm.

6.1.2 Grundlagen der Farbwahrnehmung

Ein biologisches Wahrnehmungssystem muss zur Farbwahrnehmung zwingend mehrere Typen von Lichtempfängern haben, um die verschiedenen Teile des Lichts voneinander unterscheiden zu können. Im menschlichen Auge sind zwei unterschiedliche Systeme von visuellen Rezeptoren aktiv:

- Das erste System sind die farbempfindlichen Empfänger, die sogenannten Zapfen. Beim Menschen finden wir drei Typen von Zapfen mit unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit, während es bei verschiedenen Tieren auch nur zwei oder sogar vier sein können. Sie sind für das Tagessehen, das sogenannte photopische Sehen verantwortlich. Dabei muss für eine Wahrnehmung eines geringen Lichtimpulses eine Leuchtdichte von mindestens

0,1 cd/cm² auf das Auge treffen. Jede Zapfenart verfügt darüber hinaus über eine spezifische spektrale Empfindlichkeit.

- L-Zapfen sind für große Wellenlängen empfindlich. Das Absorptionsmaximum liegt bei 560 nm, was einem grünlichen Gelb entspricht.
- M-Zapfen empfangen mittlere Wellenlängen. Das Maximum liegt hier bei Gelbgrün, d. h. bei einer Wellenlänge von 530 nm.
- S-Zapfen können kürzere Wellenlängen, am besten Blau bei 420 nm detektieren.
- Das zweite im menschlichen Auge befindliche Wahrnehmungssystem sind die wesentlich empfindlicheren Stäbchen. Da es davon nur einen Typ gibt, können diese Rezeptoren folglich keine Farben unterscheiden. Sie dienen im menschlichen Wahrnehmungssystem ausschließlich der Identifikation von Hell-Dunkel-Unterschieden, was auch als skotopische Sicht bzw. als „Nachtsicht“ bezeichnet wird.

Um Farben voneinander unterscheiden zu können, muss das Gehirn die Signale verschiedener Zapfentypen vergleichen. Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, sind die Möglichkeiten der Farbdifferenzierung umso größer, je mehr Zapfen bei einem Organismus vorhanden sind.

Augenempfindlichkeiten	UV	S	M	L	Stäbchen
Mensch	-	424 nm	530 nm	560 nm	500 nm
Nachtfalter	360 nm	-	500 nm	-	-
Pferd	-	428 nm	539 nm	-	-

Tabelle 1: Empfindlichkeit der Netzhautteile von Mensch, Pferd und Nachtfalter

In der Erfahrung unserer Umwelt wird die Farbe meist von Oberflächen reflektiert, die durch Licht mit einem weißen, durchgängigen Lichtspektrum beleuchtet werden. Das weiße Licht enthält alle Farbteile des Spektrums (von Blau über Gelb bis Rot) und wird in der Regel von heißen Körpern wie der Sonne, einer Kerzenflamme oder einer Glühbirne emittiert. Dieses kontinuierliche Spektrum ist in Abbildung 12 dargestellt.

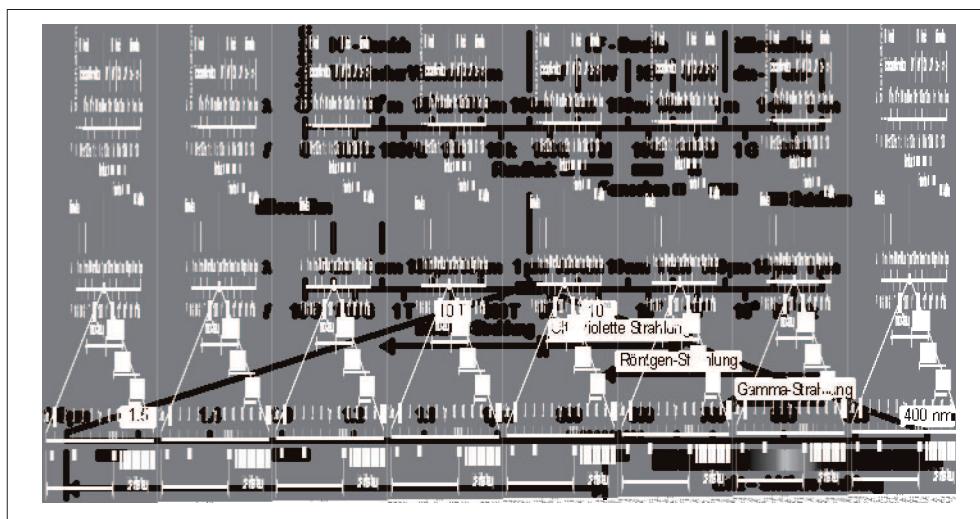


Abbildung 12: Lichtspektrum als Teil des elektromagnetischen Spektrums

Kein kontinuierliches Spektrum wird von den Leuchtstoffröhren der sogenannten Entladungslampen abgestrahlt. Dieses Licht hat im Spektrum Löcher oder ist zum Teil in einigen Farben überhöht, sodass seine Zusammensetzung nicht mehr weiß, sondern farbig erscheint. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind die Natriumdampflampen, die als Straßenlampen mit orangem Lichtton häufig zu finden sind. Weißes Licht z. B. aus einer Glühlampe kann dagegen durch Filter verfärbt werden, wie es von den Farbgläsern der Verkehrsampel bekannt ist.

Auch kann Licht mithilfe der sogenannten Lichtüberlagerung an kleinsten Interferenzgitterstrukturen von unter $1 \mu\text{m}$ Strichbreite in seine Anteile zerlegt werden. Man kann dies zu Hause an einer CD ausprobieren, die im hellen Licht bunte Regenbogenfarben reflektiert.

Weißes Licht kann an Oberflächen unterschiedlich absorbiert werden. Dabei hängt es von den Materialeigenschaften der Oberfläche ab, welcher Lichtteil verschluckt wird. Der Rest des Lichtes wird folgerichtig als reflektiertes Licht bezeichnet. Da einige Anteile des Spektrums nach der Reflexion fehlen, wird das reflektierte Licht von uns als „farbig“ empfunden – die menschliche Farbwahrnehmung ergibt sich also aus der Detektion fehlender Farbanteile in reflektiertem Licht. Die Farben unserer Kleidung sind ein gutes Beispiel für industrielle Farbnutzung der Reflexion.

Der Farbreiz von unterschiedlichen Teilen spektraler Zusammensetzung des Lichts kann zum identischen Farbeindruck, der sogenannten Farbvalenz, führen. Das Rot der Verkehrsampel entsteht so beispielsweise durch einen Glasfilter, der nur das Glühlampenlicht mit Wellenlängen rund um 650 nm durchlässt. Das bunte Kleid eines Schmetterlings wird von der intelligenten Natur durch die Interferenz des Sonnenlichtes erzeugt. Die Natur benutzt hierbei keine Absorptionsschicht für die Farbzusammensetzung, sondern überlagert dünne Strukturen, die nur spezielle Wellenlängen herauslassen. Wird – wie im Beispiel der Verkehrsampel und des

Schmetterlings – der gleiche Farbeindruck durch unterschiedliche Mechanismen generiert, bezeichnet man dies in der Optik als Metamerie.



Das menschliche Auge verfügt über zwei unterschiedliche Rezeptoren: Zäpfchen für die Farbwahrnehmung (drei Typen) und Stäbchen für die Hell-Dunkel-Wahrnehmung.

Die Zapfendichte ist beim menschlichen Auge ungefähr in der Netzhautmitte am größten – dem Punkt des schärfsten Sehens, dem so genannten Fovea centralis. Am Rand des Gesichtsfeldes sind hingegen kaum noch Zapfen zu finden, dafür viele Stäbchen für die stäbchenvermittelte Nachtsicht. In der Netzhautmitte finden sich dagegen keine Stäbchen, daher kann man beispielsweise während der Nacht schwach sichtbare Sterne nur dann sehen, wenn man etwas an ihnen vorbeischaut.

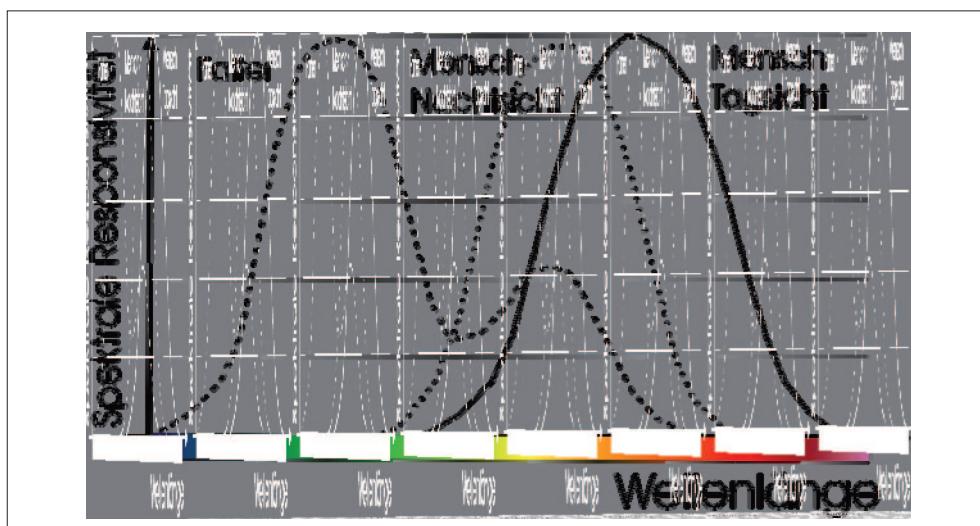


Abbildung 13: Vergleich der Hellempfindlichkeitskurve für das Nacht- und Tagsehen bei Mensch und Nachtfalter (Lichtsmog!)

Zur subjektiven Wahrnehmung von Farben durch den Menschen sind im Laufe der Jahrhunderte viele Theorien entwickelt worden, von denen die meisten heute als überholt gelten. Es kristallisierten sich insgesamt zwei Grundannahmen für die Wahrnehmung der Farben im menschlichen Bewusstsein heraus:

- (1) Die Drei-Farben-Theorie von Young und Helmholtz. Dabei lautet die Grundannahme, dass es drei Typen von Sehzellen für die drei Farben gibt, die als Primärfarben (Rot, Grün und Blau) angenommen werden. Alle anderen Farben (einschließlich Weiß und Schwarz) lassen sich durch additive oder subtraktive Mischung aus den drei Basisfarben erzeugen, wie man es heutzutage von der RGB-Displaytechnik kennt.

(2) Im Gegensatz zu Young hat Ewald Hering einen Satz von Farben mit paarweise gegenüberliegenden Gegenfarben definiert, die jeweils in Addition Weiß oder in Subtraktion Schwarz ergeben: Rot-Blaugrün, Purpur-Grün, Blau-Orange, Violett-Gelb.

Aufgrund neurophysiologischer Forschungsergebnisse wurden in jüngerer Zeit beide Theorien sozusagen „zusammengelegt“: Auf Rezeptorebene gilt die RGB-Theorie, bei der Verarbeitung im Zwischenhirn werden die Farbsignale dann aber offenbar zu Antifarben umgewandelt.

6.1.3 Konstantes Farbempfinden

In der Natur unterscheidet sich Sonnenlicht jeweils morgens, mittags und abends in der Farbzusammensetzung, da die Lichtstrahlen jeweils einen anderen Weg durch die Atmosphäre zurücklegen, und dabei die Absorption verschieden ist. So gelangt morgens und abends auf die Erde eher rotes, mittags dagegen mehr blaues Licht (die Begriffe „Morgenrot“ und „Abendrot“ kommen also nicht von ungefähr).

Aufgrund unseres menschlichen angeborenen Systems wird die Objektfarbe im Gehirn trotz völlig unterschiedlicher Beleuchtungsqualität als praktisch identisch wahrgenommen. Ohne dieses System würde eine grüne Wiese morgens eher schwarz und mittags eher weiß aussehen.

Deshalb ist es bei der Nachtbeleuchtung nicht so wichtig, ob die Beleuchtung nun ausgesprochen farbtreu gestaltet wird, es darf nur innerhalb der Beleuchtungskette eines Straßenzuges keine Farbsprünge geben, wie sie z. B. bei einer Mischung von Natriumdampflampen und HG-Lampen vorkommt. Bei LED-Lampen lässt sich die Emissionsfarbe dagegen von vornherein sehr gut einstellen, wodurch eine Anpassung an eine durch die bereits existierende Beleuchtungskette vorgegebene Farbgebung leicht möglich ist.

Allerdings kommt es beim Menschen auch immer wieder zur sogenannten Farbfehlsichtigkeit, die in verschiedenen Arten auftreten kann. Es gibt die große Gruppe der Rotblinden, die ohne Rotrezeptoren geboren wurden. Weiterhin gibt es die Grünblinden, bei denen nur zwei statt drei Zapfentypen im Auge mitgewachsen sind – eine Schwäche, die besonders bei Männern auftritt.

Bei Rotschwäche und Grünschwäche zeigen dagegen die für die Farbe jeweils zuständigen Rezeptoren veränderte Empfindlichkeiten. In der Signalgebung wie z. B. bei Ampeln müssen diese Schwächen Berücksichtigung finden, soll für möglichst alle Verkehrsteilnehmer eine größtmögliche Sicherheit gewährleistet werden. Eine spektral breit angelegte Lichtquelle (wie die weiße LED oder die RGB-LED) kann hierbei von großem Vorteil sein.



Physikalisch betrachtet existieren elektromagnetische Wellen unterschiedlicher Wellenlänge und damit unterschiedlichen Energieinhalts. Dieser Farbreiz ruft in verschiedenen Sinneszellen Interaktionen hervor. Farbe wird hierdurch als objektiver Zustand wahrnehmbar. Diese Wahrnehmung gestattet uns die Orientierung und Bewegung in der Welt.

6.2 Das CIE-Normenvalenzsystem

6.2.1 Farbdefinitionen

Der sogenannte Farbreiz ist die Strahlungsleistung, die, wie in Kapitel 5 besprochen, in den Zapfen der Netzhaut des menschlichen Auges absorbiert wird. Er ist somit die physikalische Ursache von Farbvalenz und Farbempfindung. Die Farbvalenz ist dagegen die physiologische farbliche Wirkung einer Strahlung. Sie ist charakterisiert durch die Erregungszustände der drei Zapfenarten des Auges, die wiederum vom vorher eingegangenen Farbreiz abhängig sind.

Die Farbempfindung entsteht durch Überlagerung der von den Rezeptoren gemessenen Gesamthelligkeit und der Farbkonstanzleistung des Gehirns. Die ursprünglich im Auge eintreffenden Sinneseindrücke erreichen nicht unmittelbar das Bewusstsein, sondern werden entlang der Erregungsleitung von den Sehzellen zum wahrnehmenden Großhirn als adaptive Farbzusammensetzungen (Parameterpaare Schwarz/Weiß (Intensität), Rot/Grün, Blau/Gelb) integriert und damit der dreidimensionale Farbraum der menschlichen Farbwahrnehmung abgebildet.

Eine Spektralfarbe ist ein Farbreiz einer Strahlung, die schmal in ihrer Bandbreite auf das Auge eintrifft. Typisch für solche Quellen ist nur ein einziger Farbeindruck wie bei roten LEDs der bekannten „Pointer“ oder bei Lasern. Ein solcher Farbreiz kann aber auch von einem Monochromator oder einem Interferenzfilter erzeugt werden. Zu jeder einfarbigen Lichteinwirkung im sichtbaren Bereich gehört eine feste Farbempfindung. Farben, die durch monochromatische Strahlung entstehen, bezeichnet man als Spektralfarben, wie sie vom Regenbogen bekannt sind.

6.2.2 Farbeinteilung

Aufgrund ihrer vielfältigen Vorteile gelten LEDs mittlerweile als Leuchtmittel der Zukunft. Wie aktuelle Forschungen zeigen, könnte man bei einem weltweiten Austausch herkömmlicher Lichtquellen durch LEDs mit einer Verringerung der globalen CO₂-Emissionen um 10,68 Gigatonnen sowie finanziellen Einsparungen von mehr als einer Trillion US-Dollar rechnen.



Kim, J. K. & Schubert, E. F.: Transcending the replacement paradigm of solidstate lighting, in: Optics Express Vol. 16, No. 26., New York, 2008

In der Beleuchtungstechnik hat sich die LED mittlerweile als alternatives Leuchtmittel etabliert. Dabei ist hinsichtlich der qualitativen Anforderungen an die LED zwischen der direkten Beleuchtung (Straßenbeleuchtung) und der indirekten Beleuchtung (atmosphärische Beleuchtung) zu unterscheiden.

Werden LEDs für die direkte Beleuchtung in Straßenlampen eingesetzt, gilt die Lampe als Punktstrahler, bei dem eine Vermischung des von den LEDs abgegebenen Lichts auftritt. Kleinere Unterschiede in der Farbabgabe einzelner LEDs sind durch diese Vermischung vom Menschen nicht mehr wahrnehmbar – darüber hinaus könnten wohl auch die wenigsten Menschen lange genug in eine Straßenlampe schauen, um größere Farbabweichungen zu identifizieren.

In der indirekten Beleuchtung sind Farbunterschiede dagegen ein großes Problem. Feine Unterschiede zwischen einzelnen LEDs, die beispielsweise in einem Leuchstreifen eingesetzt werden, sind sofort sichtbar und können das Erscheinungsbild der Beleuchtung erheblich stören. Für den Hersteller solcher Beleuchtungssysteme ergibt sich daher die Anforderung, nur LEDs einzusetzen, deren Farbunterschiede so gering sind, dass sie nicht mehr erkannt werden können. Wie man sich leicht vorstellen kann, ist eine LED-Auswahl auch überall dort erforderlich, wo die „farbliche Stabilität“ aus technischen Gründen eine Rolle spielt (was beispielsweise bei medizinischen Sensorsystemen oder in der Signaltechnik der Fall ist).

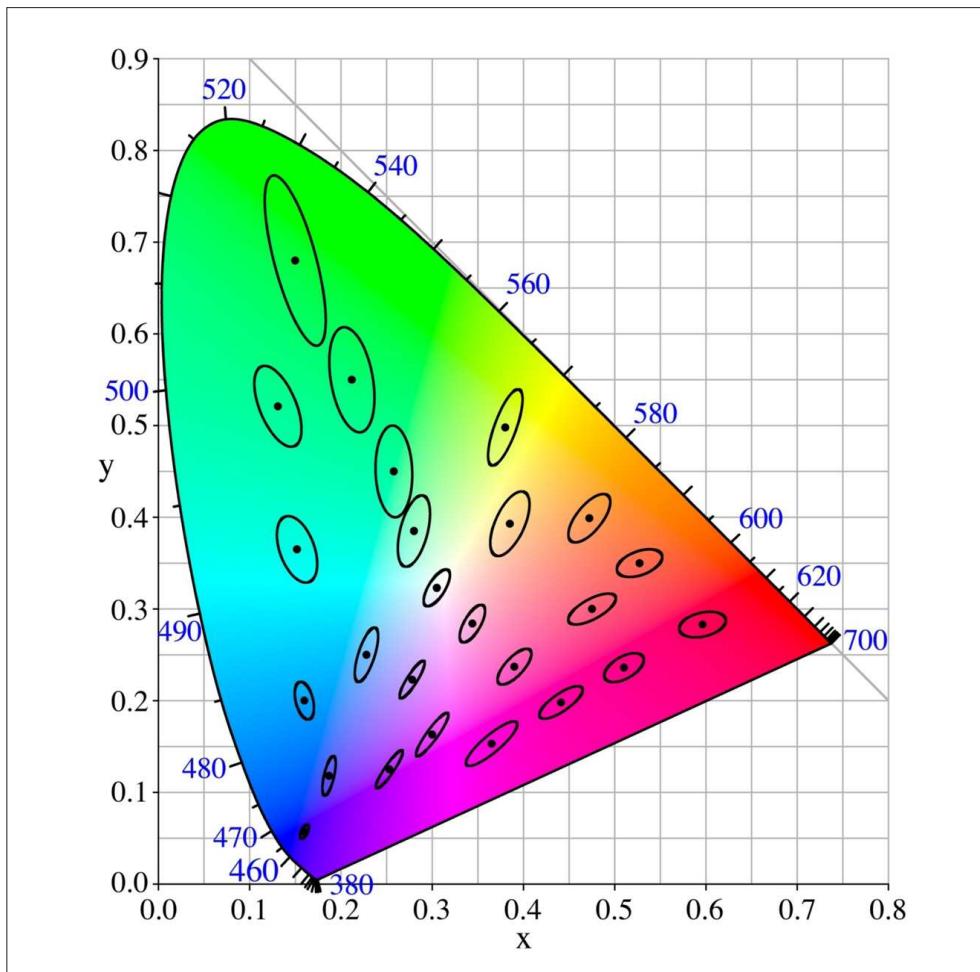
Auch wenn uns die Bestimmung des genauen Farborts (d. h. der exakten abgegebenen Lichtfarbe einer LED oder eines anderen Leuchtkörpers) hinsichtlich der Straßenbeleuchtung weitaus weniger interessieren muss als beispielsweise im Bereich der indirekten Konturausleuchtung, soll nachfolgend dennoch ein kurzer Blick auf das Farbort-System geworfen werden, da sich anhand des Farborts viele Eigenarten in der menschlichen Farbwahrnehmung erklären lassen.

6.2.3 CIE-Normenvalenzsystem

Beim Farbort handelt es sich um einen Koordinatenpunkt im von der CIE – der Internationalen Beleuchtungskommission (Commission Internationale de l'Eclairage) – aufgestellten Normenvalenzsystem. Die Beleuchtungskommission ist eine international arbeitende Non-Profit-Organisation, deren wesentliche Aufgabe die Aufstellung von Normen im Beleuchtungsbereich (z. B. DIN-Standards) ist.

Heute ist die CIE-Normfarbtafel aus dem Jahr 1931 das weltweit meistverwendete wahrnehmungsbezogene Farbbeschreibungssystem. Das auch als Farbdreieck bezeichnete CIE-System bildet die Gesamtmenge aller vom menschlichen Auge wahrnehmbaren Farben ab. Innerhalb dieses Systems ist jede Farbe durch die drei Koordinaten x, y und z bestimbar, wobei zwei Koordinaten zur Farbbestimmung

vollkommen ausreichen (da die Summe aller drei Koordinaten immer 1 ergeben muss, lässt sich die dritte Koordinate aus den Werten der ersten beiden berechnen). Die x-y-z-Koordinate bezeichnet den Farbort – einen Begriff, der uns in dieser Lektion bereits öfter begegnet ist.



CIE-Normenvalenzsystem (Grafik erstellt von Torge Anders)

Auf dem Rand der Fläche (Spektralfarbenzug) befinden sich die „reinen“ Farben, der höchsten Sättigung. Der gerade Rand zwischen Blau (~ 380 nm) und Rot (~ 780 nm) wird als Purpurgerade bezeichnet. Auf einem Kurvenzug der Weißpunkte liegen die von der benutzten Beleuchtung abhängigen Neutralpunkte. Bei Kerzenlicht der Normlichtart A sollte ein Weiß anders aussehen als an einem Nordfenster bei bedecktem Himmel, welches der Normlichtart D65 (mittleres Tageslicht) entspricht. Erfahrungen von Fotografen bestätigen dies, andererseits ist die allgemeine Wahrnehmung aufgrund der Farbumstimmung eine andere.



Die drei Farbort-Grundwerte x, y und z werden häufig auch als „Tristimulus“ bezeichnet und können als Anteile der drei Grundfarben (x = Rot, y = Grün und z = Blau) verstanden werden.

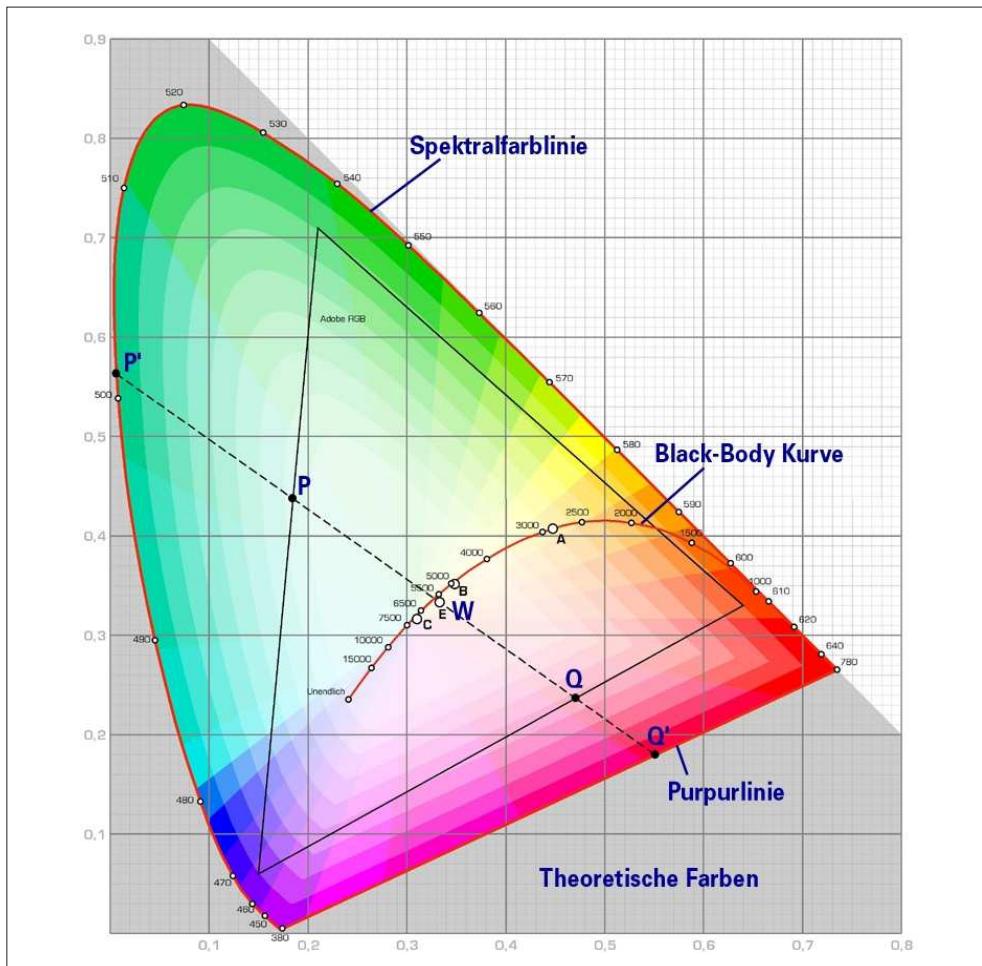
Betrachtet man den Aufbau des Farbdreiecks genauer, so fällt auf, dass sich in der linken Ecke der äußeren Bereich des sichtbaren Lichts (bei 380 nm) wiederfindet, während die rechte Ecke rot (bei 380 nm) und der Scheitelpunkt grün (bei 520 nm) ist. Die direkte Linie zwischen 380 und 780 nm wird als Purpurlinie bezeichnet, sämtliche Mischfarben aus Blau und Rot lassen sich auf ihr finden. Die Purpurlinie sowie die Spektralfarblinie begrenzen das sichtbare Spektrum. Weitere wichtige Bereiche sind der zentrale Unbuntpunkt sowie die Kurve der Emissionsverhalten des sogenannten Schwarzen Strahlers nach Max Planck.

Planck bewies, dass jeder Körper in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur ein spezielles Spektrum abstrahlt: Je heißer der Körper, desto heller und weißer wird das abgegebene Licht. Man kennt dies von einem Eisenklotz, der in der Esse heiß gemacht wird und von in dunklem Rot bis hin zu Weiß strahlendes Licht abgibt. Aus diesem Grund bestimmt man die Farbzusammensetzung einer Lichtquelle nach der sogenannten Farbtemperatur eines idealen Strahlers. Die Sonne hat beispielsweise eine Farbtemperatur von 5.500 Kelvin (K), weitere beispielhafte Farbtemperaturen finden sich in Tabelle 2.

Lichtfarbe	Ähnlichste Farbtemperatur T_{cp}
Warmweiß	$T_{cp} < 3.300 \text{ K}$
Neutralweiß	$3.300 \text{ K} < T_{cp} < 5.000 \text{ K}$
Tageslichtweiß	$5.000 \text{ K} < T_{cp}$

Tabelle 2: Lichtfarben und zugehörige Farbtemperaturen

Der wesentliche Nachteil des Tristimulus-Systems ist die Tatsache, dass sich einzelne Farben zwar genau bestimmen lassen, die Farbwahrnehmung des Menschen dabei jedoch nicht gut getroffen wird. Gleich große Bereiche an unterschiedlichen Stellen des Farbraums werden nachgewiesenermaßen vom Menschen ganz unterschiedlich wahrgenommen. Die ellipsoiden Bereiche im CIE-Farbraum, in denen der Mensch keine Farbunterschiede mehr wahrnehmen kann, werden nach ihrem „Entdecker“ als MacAdams-Ellipsen bezeichnet. Diese Räume sind im grünen und gelben Bereich deutlich größer als im blauen Bereich. Hieraus ergibt sich, dass beispielsweise bei blauen Leuchtkörpern größere Farbunterschiede vom Menschen wahrgenommen werden können als bei grünen Leuchtkörpern.



Lage der McAdams-Ellipsen im CIE-System (Grafik erstellt von Torge Anders)



Das CIE-Normvalenzsystem oder CIE-Normfarbsystem wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE definiert, um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung (Farbe) und den physikalischen Ursachen des Farbreizes (Farbvalenz) herzustellen. Das System erfasst die Gesamtheit aller wahrnehmbaren Farben.

Zusammenfassung

Obwohl viele Menschen eine möglichst umfassende Beleuchtung von Straßen und öffentlichen Plätzen während der Nachtstunden als durchaus angenehm und sogar ästhetisch empfinden, ist die nächtliche Illumination unserer Städte und Kommunen mit einer ganzen Reihe von Umweltproblemen verbunden.

Zentraler Aspekt jeder ökologischen Betrachtung ist in der Regel der enorme Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung, der maßgeblich zum CO₂-Eintrag in unsere Atmosphäre und damit zum menschengemachten Klimawandel beiträgt. In Zeiten von Wirtschaftskrisen und damit verbundenen Sparzwängen sind es aber nicht zuletzt auch finanzielle Gründe, die für den allmählichen Umstieg auf effizientere und damit zugleich umweltfreundlichere Beleuchtungstechnik sprechen.

Neben dem Energieverbrauch sollten Sie bei der Planung neuer Beleuchtungsanlagen oder beim Austausch alter Straßenlampen jedoch unbedingt auch den Einfluss der Lampen auf die Lichtverschmutzung beachten, mit der nicht nur ein schlechender Verlust des Sternenhimmels, sondern auch eine Vielzahl negativer Auswirkungen auf Tiere (vor allem auf Insekten), Pflanzen und sogar die menschliche Gesundheit verbunden sind.

Insbesondere sollten Sie stets darauf achten, dass Licht nur dort zum Einsatz kommt, wo es auch objektiv erforderlich ist. Doppelbeleuchtungen (d. h. eine sich überschneidende Ausleuchtung eines Raumes von mehreren Seiten) sollten dabei nach Möglichkeit ebenso vermieden werden wie das Hineinleuchten in Fenster oder das Ausleuchten von Baumkronen. Es liegt in Ihrer Hand, mithilfe des gesunden Menschenverstands sowie einiger kurzer Regeln für eine ökologisch verträgliche und auch für den Menschen angenehme Beleuchtung zu sorgen, die zu-gleich die Kasse Ihrer Stadt oder Kommune entlastet sowie uns allen eine bessere Sicht auf die Wunder des Universums ermöglicht.

Wie das nachfolgende Kapitel gezeigt hat, stehen der Wunsch nach einer Minimierung der Lichtverschmutzung bzw. des Energieverbrauchs und das Bedürfnis nach einer sicheren Umgebung keinesfalls in einem Spannungsverhältnis zueinander. Die wenigen zum Thema verfügbaren Studien zeigen, dass die weit verbreitete Annahme, hell beleuchtete Straßen seien per se sicherer als „dunkle Gassen“ primär auf unser subjektives Empfinden zurückzuführen ist. Allein mit „viel hilft viel“ ist in puncto öffentliche Sicherheit daher wenig zu gewinnen – mit intelligenter und situativ angepasster Beleuchtungsplanung dagegen schon.

Im Zusammenhang mit Beleuchtungstechniken interessiert natürlich auch die Frage, wie Menschen überhaupt Licht bzw. Lichtfarben wahrnehmen. Das CIE-Normvalenzsystem oder CIE-Normfarbsystem wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission definiert, um eine Relation zwischen der menschlichen Farbwahrnehmung und den physikalischen Ursachen des Farbreizes – der Farbvalenz – herzustellen. Es erfasst die Gesamtheit wahrnehmbarer Farben und ist internationaler Standard zur Farberfassung und der Normung von Lichtquellen

wie Monitoren und Beleuchtungsquellen für Straßen und im öffentlichen Raum in Gebäuden. Es richtet sich einerseits nach der subjektiven Farbwahrnehmung durch das menschliche Auge sowie nach der physikalischen Grundsätzen, die von Max Planck für die Farbemission von schwarzen Körpern aufgezeigt wurde. Weißes Sonnenlicht mittags entspricht dabei einer sogenannten Farbtemperatur von 5.500 K.

Übungsaufgaben

Aufgabe 1

Charakterisieren Sie den Begriff der „Lichtverschmutzung“.

Aufgabe 2

Welche negativen Folgen sind mit der Lichtverschmutzung verbunden?

Aufgabe 3

Nennen Sie drei umweltrelevante Eigenschaften einer Straßenlampe.

Aufgabe 4

Sie sind für die Planung der Beleuchtung in einem neuen Straßenzug verantwortlich. Welche Fragen sollten Sie sich auf jeden Fall stellen?

Aufgabe 5

Was versteht man unter Farbkonstanz?

Aufgabe 6

Beschreiben Sie den Augenaufbau und die beiden Möglichkeiten zu den unterschiedlichen Bereichen Nacht- und Tagsehen.

Aufgabe 7

Aus welchen Farben setzt sich weißes Licht zusammen?

Aufgabe 8

Mithilfe welcher Darstellung werden internationale Farben und Farbkomponenten charakterisiert?

Lösungen

Lösung 1

Unter Lichtverschmutzung versteht man die zunehmende Aufhellung des Nachthimmels durch (überflüssige) künstliche Beleuchtung. Der Begriff „Lichtverschmutzung“ ist leicht irreführend, da nicht das Licht „verschmutzt“ wird, sondern das Kunstlicht die natürliche Dunkelheit zurückdrängt, weshalb auch von „Lichtsmog“ die Rede ist.

Lösung 2

Lichtverschmutzung hat eine ganze Reihe negativer Folgen: Ein Großteil des Sternenhimmels ist bereits jetzt für viele Menschen nicht mehr sichtbar. Insekten, Vögel und etliche andere Tiere werden durch zu viel Licht in Mitleidenschaft gezogen. Auch auf die menschliche Gesundheit wirkt sich exzessive Nachtbeleuchtung negativ aus, da Licht die Produktion des wichtigen Hormons Melatonin hemmt, was wiederum die Entstehung von Krebserkrankungen und anderen gesundheitlichen Problemen begünstigen kann.

Lösung 3

Die drei wesentlichen umweltrelevanten Eigenschaften sind:

- Energieverbrauch
- Verwendetes Leuchtmittel
- Abschirmung des Lampengehäuses

Lösung 4

Sie sollten sich insbesondere mit diesen Fragen beschäftigen:

- Wie viel Licht wird am Standort objektiv benötigt?
- Wäre eine wechselseitige Beleuchtung realisierbar?
- Muss die Beleuchtung die ganze Nacht über aktiv sein oder könnte man Lampen deaktivieren oder dimmen?
- Welche Ökosysteme/Pflanzen/Tiere sind von der intendierten Beleuchtung auf welche Weise betroffen?
- Woher erhalten wir möglichst umweltfreundliche Lampen?

Lösung 5

Unter Farbkonstanz versteht man die Fähigkeit des menschlichen Auges, unter Zuhilfenahme bestimmter Hirnbereiche Farben in unterschiedlichen Intensitätseindrücken zur Nacht- und Tageszeit eindeutig zu bestimmen.

Lösung 6

Das Auge besteht aus einem Glaskörper, der Augenlinse, der Iris (Blende), weiterhin aus der Netzhaut mit den unterschiedlichen Sehnerven: Stäbchen für das Tagsehen und Zapfen für das Nachtsehen. Bei den Zapfen sind drei Arten mit den jeweils empfindlichen Bereichen für Rot, Grün und Blau zu unterscheiden.

Lösung 7

Weißes Licht setzt sich aus den Einzelkomponenten Rot, Grün und Blau zusammen. Dabei ist es möglich, einerseits das gesamte Spektrum gleichmäßig zu summieren, wie es beim Sonnenlicht passiert, als auch mithilfe mehrerer monochromatischer Komponenten, wie es beim LED-Weißlicht eingesetzt wird. Sonnenlicht mit einer Farbtemperatur von 5.500 K wird vom Menschen als optimales Weiß angesehen.

Lösung 8

International gilt die CIE-1931-Norm mit dem Farbbeobachter unter 2 °C und 10 °C als einzig akzeptiertes Farbdarstellungssystem.

Literaturverzeichnis

Atkins, S./Husain, S. & Storey, A.: The influence of street lighting on crime and fear of crime, Home Office Crime Prevention Unit, London 2003

Bowmake, H.: Human rods and cones, Wertetabelle bei Colour and Vision Research Labs, 1983

Crawford, D. L.: Light Pollution, ASP Conference Series, Vol. 139, 1998, Seite 13 – 16, Tuscon 1998

Cinzano, P./Falchi, F./Elvidge, C.: The first world atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328, 689-707, 2001

Cinzano, P.: Light pollution by luminaires in roadway lighting, paper presented at the CIE TC4-21 (Interference of light on the astronomical observations), CIE Div.4 meeting, Turin, 28 September – 3 October 2002

Fischer-Hirchert, U./David, T./Reinboth, C.: Neues Licht für Städte und Kommunen – Wie LED-Technologie die Straßenbeleuchtung reformieren könnte, in: Optik & Photonik, Ausgabe 1/2009, S. 36 – 39, Wiley-Verlag, Berlin 2009

Frevel & Mock: Angstraum Stadt Rheine? Welche Auswirkungen hat die Abschaltung der Straßenbeleuchtung in Rheine auf das Sicherheitsempfinden der Bürger?

Hänel, A.: Hänel, Andreas: Schutzgebiete für den Sternenhimmel, in: Nationalpark 4/2007, Seite 12 – 16, 2007

Höttinger, H./Graf, W.: Zur Anlockwirkung öffentlicher Beleuchtungseinrichtungen auf nachtaktive Insekten, Studie im Auftrag der Wiener Stadtverwaltung, 2003

Hunter, T.B./Crawford, D. L.: Economics of Light Pollution, Light Pollution, Radio Interference, and Space Debris, ASP Conference Series, Vol. 17, IAU Colloquium 112, D.L. Crawford, Ed., p. 89, 1991

Kim, J. K./Schubert, F. E.: Transcending the replacement paradigm of solid-state lighting, in: Optics Express Vol. 16, No. 26., New York 2008

Klein, M.: Lichtverschmutzung – Eine neue Umweltproblematik, Diplomarbeit an der Fachhochschule Ludwigsburg 2004

Kloog, I., Haim, A; Stevens, R.G.; Barchana, M. & Portnov, B.A.: Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel, in: Chronobiology International 2008 Feb;25(1):65 – 81

Kobler, R.: Die Lichtverschmutzung in der Schweiz – Mögliche Auswirkungen und praktische Lösungsansätze, Diplomarbeit an der Fachhochschule beider Basel (FHBB), Basel 2003

Kolligs, D.: Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten; Tagungsband der BUND-Fachtagung „Lichtökologie“, S. 8 – 13, Berlin 2003

Kroge, H.: Insektenvernichtung durch UV-Licht; Tagungsband der BUND-Fachtagung „Lichtökologie“, S. 6 – 7, Berlin 2003

Longcore, Travis & Rich, Cathrine: Ecological light pollution, Frontiers in Ecology and the Environment 2(4):191 – 198, 2004

Nathans, J.: Die Gene für das Farbensehen, in Spektrum der Wissenschaft, April 1989, S. 68

Netz, H.: Hell wie der lichte Tag – für Tiere kann nächtliches Kunstlicht tödlich sein, in: „Naturschutz heute“, Ausgabe 03/07, 2007

o.V. (BUWAL): Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen – Ausmaß, Ursachen und Auswirkungen auf die Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern 2005

o.V. (UBA): Sammlung energieeffizienter Techniken für die Straßenbeleuchtung, herausgegeben vom Umweltbundesamt, dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und der kfw Förderbank, Berlin 2008

Kostenfreier Download: <http://www.bundeswettbewerb-stadtbeleuchtung.de>

Roth, G.: Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen. Suhrkamp, 8. Aufl, Frankfurt 2000

Roque, J.: Licht und Farbe. In Spektrum der Wissenschaft – Spezial 2004, Heft 5: Farbe, S.10, 2004

Schanda, J.: Colorimetry, Wiley, Hoboken 2007

Scheibe, M. A.: Über den Einfluss von Straßenbeleuchtung auf aquatische Insekten, Natur und Landschaft, 78. Jahrgang, Ausgabe 6, Bonn, Seite 264 – 267, 2003

Shaflik, C.: Environmental Effects of Roadway Lighting, IDA Information Sheet prepared at the University of British Columbia, Department of Civil Engineering, 1997

Spilok, K.: Trübe Funzeln und leuchtende Vorbilder, VDI-Nachrichten, Stuttgart, 25.01.2008

Wauer, E.: Dunkle Wege – warum erzeugen schlecht beleuchtete Bereiche Angst?, Arbeitsbericht für den Verein Stadt + Quartier Ruhr e. V., 2003