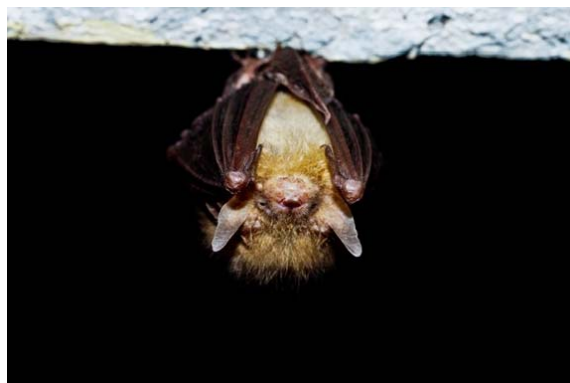


Martin Held, Franz Hölker und Beate Jessel (Hrsg.)

Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft



Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft

**Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze,
Beispiele guter Praxis**

**Herausgeber:
Martin Held
Franz Hölker
Beate Jessel**



Titelbilder:

Oberes Bild: Das Zodiakallicht und die Michstraße über dem Naturpark Westhavelland (Beitrag Hänel, S. 36; Foto: A. Hänel)

Unteres Bild: Braunes Langohr (*Plecotus auritus*) (Beitrag Lewanzik und Voigt, S. 65; Foto: S.J. Ghanem).

Adressen der Herausgeberin und der Herausgeber:

Dr. Martin Held Evangelische Akademie Tutzing
Schloss-Straße 2+4, 82327 Tutzing

PD Dr. Franz Hölker Forschungsverbund „Verlust der Nacht“
Abt. Ökohydrologie, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei,
Müggelseedamm 310, 12587 Berlin

Prof. Dr. Beate Jessel Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110, 53179 Bonn

Redaktion:

Nicole Silbermann Journalistenbüro blockfrei, Torstraße 76, 10119 Berlin

Fachbetreuerin im BfN:

Prof. Dr. Beate Jessel BfN

Finanzierung:

F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“, Kapitel 16 02, Titel 544 11, FKZ-Nr. 3511 80 2200

Die Beiträge der Skripten werden aufgenommen in die Literaturdatenbank „**DNL-online**“ (www.dnl-online.de).

BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter <http://www.bfn.de> heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
Telefon: 0228/8491-0
Fax: 0228/8491-9999
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.

Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: BMU-Druckerei

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-071-2

Bonn - Bad Godesberg 2013

INHALT

	Seite
Vorwort	9
<i>Beate Jessel</i>	
EINFÜHRUNG	11
Schutz der Nacht – die andere Hälfte des Natur- und Landschaftsschutzes	13
<i>Martin Held, Franz Hölker und Beate Jessel</i>	
GRUNDLAGEN	17
Taglandschaften und Nachtlandschaften	19
<i>Wolfgang Haber</i>	
Ökologie der Zeit und künstliche Beleuchtung in der Nacht	23
<i>Martin Held und Franz Hölker</i>	
Licht stellt unsere innere Uhr – Zeitgeber und die Grundlagen der Chronobiologie	27
<i>Vivien Bromundt</i>	
Es werde Licht ... und es wurde Licht – künstliche Beleuchtung und die Kolonisierung der Nacht	31
<i>Dietrich Henckel</i>	
Zuviel Licht im Dunkel? Natürliches Licht und das Ausmaß der Lichtwirkung	35
<i>Andreas Hänel</i>	
Woher kommt das Licht? Räumliche Betrachtung der Lichtverschmutzung	39
<i>Helga Kuechly, Christopher Kyba und Franz Hölker</i>	
Besser beleuchten – Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing der Beleuchtung	43
<i>Thomas Posch</i>	
Energieverbrauch für Beleuchtung	47
<i>Jörg Schindler und Werner Zittel</i>	
LICHTVERSCHMUTZUNG UND DIE FOLGEN FÜR	51
... nachtaktive Insekten	53
<i>Gerhard Eisenbeis</i>	

	Seite
... Singvögel	57
<i>Barbara Helm und Jesko Partecke</i>	
... Zugvögel	61
<i>Heiko Haupt</i>	
... Fledermäuse	65
<i>Daniel Lewanzik und Christian C. Voigt</i>	
... Fische	69
<i>Anika Brüning und Franz Hölker</i>	
... Ökosysteme und Biodiversität	73
<i>Franz Hölker</i>	
... die menschliche Gesundheit	77
<i>Barbara Knab</i>	
SCHUTZ DER NACHT – HANDLUNGSANSÄTZE	81
1. Technische Möglichkeiten	
Besser beleuchten – richtige Wahl der Strahlengeometrie	83
<i>Thomas Posch</i>	
Entwicklung von Maßzahlen für adaptive Beleuchtungssysteme	87
<i>Stephan Völker und Peter Krenz</i>	
Neue Systemlösungen und Beleuchtungsstrategien im Außenraum	91
<i>Dieter Lang</i>	
Neue Systemlösungen und Beleuchtungsstrategien im Innenraum	95
<i>Dieter Lang</i>	
Mobile Beleuchtung – neue Entwicklungen der Fahrzeugbeleuchtung	97
<i>Cornelius Neumann</i>	
LED und Ressourcen – kleine Mengen, große Wirkung	101
<i>Klaus Kümmerer</i>	
2. Bewusster Umgang mit Licht	
Öffentliche Beleuchtung – mehr Licht heißt nicht mehr Sicherheit	105
<i>Ursula Pauen-Höppner und Michael Höppner</i>	
Lichtverschmutzung und Schutz der Nacht – Bewusstseinsbildung	109
<i>Michael Brinkmeier</i>	
Licht-Monitoring – Nachtschutz ist messbar	113
<i>Andreas Hänel</i>	

Effiziente Beleuchtung spart Kosten und fördert Klima- und Ressourcenschutz	117
<i>Oliver Prietze und Karl Schneider</i>	

3. Gesetze und Verordnungen

Empfehlung zur Vermeidung von Lichtemissionen – Schweizerische Vollzugshilfe ..	121
<i>Laurence von Fellenberg</i>	

Aktiver Nachtschutz in Slowenien – Verordnung zur Vermeidung von Lichtverschmutzung	125
<i>Andrej Mohar</i>	

Nachtschutz in Slowenien: Umsetzung der gesetzlichen Grundlagen – Erfahrungen und Perspektiven	129
<i>Andrej Mohar</i>	

Vermeidung von Lichtverschmutzung – Schutz der Nacht: Handlungsmöglichkeiten der Raum- und Umweltplanung	133
<i>Sabine Hofmeister</i>	

Normen, Richtlinien und Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtimmissionen	137
<i>Andreas Walkling und Axel Stockmar</i>	

4. Forschung und Verbände

Forschungsverbund „Verlust der Nacht“	141
<i>Stephanie Holzhauser und Franz Hölker</i>	

Initiativen zum Schutz der Nacht	145
<i>Andreas Hänel</i>	

Lichtverschmutzung als Handlungsfeld von Natur- und Umweltschutzverbänden	149
<i>Carsten Wachholz</i>	

BEISPIELE GUTER PRAXIS

153

Lichtmasterpläne – der Weg einer Stadt zu besserem Licht	155
<i>Volker von Kardorff</i>	

Ins rechte Licht gerückt – Plan Lumière Zürich	159
<i>Gabriele Demme</i>	

Berliner Stadtbeleuchtung	163
<i>Claudia Reich-Schilcher</i>	

Grenzüberschreitende Lichtplanung – Plan Lumière beider Rheinfelden	165
<i>Ekkehart Lindner</i>	

	Seite
Umweltfreundliche und effiziente öffentliche Beleuchtung in Augsburg	169
<i>Sándor Isépy</i>	
Sternenparks in Deutschland?	173
<i>Sabine Frank, Kordula Isermann und Andreas Hänel</i>	
Leuchtende Hänge, lange Schatten – Nachtskilauf in Tirol	177
<i>Johannes Kostenzer</i>	
Lichtverschmutzung durch Gewächshäuser in den Niederlanden	181
<i>Ida Sabelis</i>	
Autorinnen und Autoren	185

Vorwort

Nachtleben – erst die künstliche Beleuchtung ermöglicht es seit den technischen Durchbrüchen im 19. Jahrhundert, die menschlichen Aktivitäten in die Nacht auszudehnen. Damit wird vielfach wirtschaftliche Dynamik, Fortschritt, Urbanität und Lebensfreude verbunden. Die lange Nacht der Museen mit hell erleuchteten Gebäuden und andere nächtliche Events ziehen viele Menschen an.

Nachtleben – das kennzeichnet auch die Aktivitäten vieler nachtaktiver Lebewesen. Nicht nur unsere Fledermausarten sind nachtaktiv, auch hohe Anteile etwa von Insekten, Amphibien, Kriebtieren und vielen anderen. Licht und künstliche Beleuchtung beeinflussen zudem nicht nur einzelne Lebewesen und Arten, sondern es sind, bislang noch viel zu wenig erforscht, auch die ökologischen Beziehungsgefüge betroffen. Die Vielfalt des Lebens ist durch räumliche Differenzierung ebenso wie durch unterschiedliche Rhythmen und Zeitbiotope, die Chronotope geprägt.

Die dunkle Nacht ist dabei nicht nur die Hälfte des Tages, sondern sie betrifft so betrachtet temporal die Hälfte des Naturschutzes. Damit ist zugleich einer der grundlegendsten Rhythmen des Lebens betroffen, der Tag-Nacht-Rhythmus. Bislang steht im Naturschutz die räumliche Dimension im Vordergrund. Bei der Verminderung von Lichtverschmutzung und dem Schutz der Nacht wird die zeitliche Dimension dazu komplementär. Der Schutz von Nachtlandschaften bildet zudem eine eigene raum-zeitliche Variante des Landschaftsschutzes, die stärker beachtet gehört.

Doch die Belange von Lichtverschmutzung und Schutz der Nacht reichen weit über den Naturschutz hinaus. Es handelt sich um ein echtes Querschnittsthema, bei dem es genauso um Gesundheits- und Menschenschutz geht, um Energie- und Ressourceneffizienz im Kontext des Klimaschutzes und darüber hinaus, um Stadtplanung, Technik, Gestaltung und ästhetische Belange. Ein Schutz der Nacht bedeutet zudem nicht nur eine Befassung mit physisch nachweisbaren Reaktionen und Zeitrhythmen, mit technischen und planerischen Möglichkeiten, sondern auch die Auseinandersetzung mit Bedürfnissen wie denen nach Be- und Entschleunigung, pausenloser Aktivität und Gleichzeitigkeit, subjektivem Sicherheitsempfinden und damit letztlich mit den Belangen der modernen Konsumgesellschaft.

Die vorliegende Publikation „Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft“ geht auf eine gemeinsame Tagung der Evangelischen Akademie Tutzing, des Bundesamts für Naturschutz und der Leuphana Universität Lüneburg zurück. Diese Zeitsakademie des Tutzinger Projekts „Ökologie der Zeit“ fand vom 2. bis 4. Dezember 2011 mit dem Titel „Es werde Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Möglichkeiten zum Handeln“ in Tutzing statt. Die 15 Beiträge der Veranstaltung wurden für die vorliegende Publikation überarbeitet, zusätzlich konnten weitere 27 Beiträge gewonnen werden. Die Veranstaltung und die Publikation wurden über das F+E-Vorhaben „Lichtverschmutzung und Biodiversität“ durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert. Ein herzlicher Dank geht zudem an die Evangelische Akademie Tutzing sowie den Forschungsverbund „Verlust der Nacht“, die die Publikation mit weiteren Mitteln, u.a. des durch das BMBF geförderten „Wissenschaftsjahrs 2012 – Zukunftsprojekt“, unterstützt haben.

Zielsetzung des Bandes ist es, den Schutz der Nacht in seiner Tragweite bewusst zu machen und Interessierten aus den verschiedenen betroffenen Bereichen Anregungen zu geben, in ihrem Tätigkeitsbereich praktisch die Lichtverschmutzung abzubauen. Entsprechend der quer-

schnittsorientierten Ausrichtung wurde es bewusst in Kauf genommen, dass die Beiträge aus unterschiedlichen Fachrichtungen sich z.T. unterschiedlicher Fachsprachen und Zugänge zum Thema bedienen. Die Bandbreite der Autorinnen und Autoren, die für die Publikation gewonnen werden konnten, spiegelt die Vielzahl von Aspekten und unterschiedlichen Themen wider, die für den Schutz der Nacht von Relevanz sind: Zusammen sind es 46 Autorinnen und Autoren aus sechs Ländern, die in 42 Beiträgen den Schutz der Nacht und praktische Möglichkeiten zum Abbau der Lichtverschmutzung behandeln.

Nach dem Einführungsbeitrag finden sich im ersten Teil *Grundlagen* Beiträge zu so unterschiedlichen Aspekten wie: Differenzierung von Landschaften in Taglandschaften und Nachtlandschaften, zeitökologische Grundlagen, Chronobiologie, kulturelle Entwicklung der künstlichen Beleuchtung, Verhältnis von natürlichem nächtlichen Licht und künstlicher Beleuchtung, Lichtverschmutzung, Grundlagen der Beleuchtung wie Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing sowie Energieverbrauch der Beleuchtung.

Im zweiten Teil wird der aktuelle Stand des Wissens in einzelnen Beiträgen zu den *Folgen der Lichtverschmutzung* für nachtaktive Insekten, Singvögel, Zugvögel, Fledermäuse, Fische, Ökosysteme und Biodiversität sowie die menschliche Gesundheit behandelt.

Im folgenden Teil *Schutz der Nacht – Handlungsansätze* werden technische und planerische Möglichkeiten zur Reduzierung der Lichtverschmutzung dargestellt. Zudem finden sich mehrere Beiträge zum bewussten Umgang mit Licht sowie zu relevanten Gesetzen und Verordnungen. Abgerundet wird dieser Teil des Bands mit einem Beitrag zum Forschungsverbund „Verlust der Nacht“ sowie Beiträgen zu Initiativen und Verbänden zum Schutz der Nacht.

Der abschließende Teil enthält eine Reihe von *Beispielen guter Praxis*. Darin werden Lichtmasterpläne und Erfahrungen mit dem aus Frankreich kommenden Plan Lumière vorgestellt, zudem sind Beiträge zum Umgang mit dem historischen Erbe nächtlicher Beleuchtung in Städten, zu Sterneparks sowie Beispiele wie Nachtskilauf und große Gewächshäuser enthalten.

Deutlich wird, dass die künstliche Beleuchtung bisher zu Unrecht ein verglichen etwa mit Lärmschutz und anderen Themen des Natur- und Umweltschutzes nur wenig behandeltes Thema ist. Tatsächlich ist die nächtliche Beleuchtung in vielen Fällen weit hinter dem Stand der Technik zurück, ja wird buchstäblich Energie verschwendet und in den Nachthimmel und das Weltall hinaus geleuchtet. Es bestehen große Potenziale, bereits mit vergleichsweise einfachen Mitteln bei der Beleuchtung die Energieeffizienz zu verbessern, sie hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Lebewesen zu optimieren und damit zum Klimaschutz beizutragen. Es geht um eine zielgerichtete Beleuchtung, das zu beleuchten, was wirklich zu beleuchten ist, etwa aus Sicherheitsgründen; oder anders formuliert, um das rechte Maß der künstlichen Beleuchtung.

Ich wünsche dem „Schutz der Nacht“ eine große Verbreitung, auch über den Naturschutz hinaus, in der Hoffnung, dass damit die Lichtverschmutzung abgebaut und der notwendige Schutz von Nachtlandschaften stärker in ein breites Bewusstsein gerückt wird!

Prof. Dr. Beate Jessel

Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

**Schutz der Nacht –
Lichtverschmutzung, Biodiversität
und Nachtlandschaft**

Einführung

Schutz der Nacht – die andere Hälfte des Natur- und Landschaftsschutzes

Martin Held, Franz Hölker und Beate Jessel

“What if we woke up one morning only to realize that all of the conservation planning of the last thirty years told only half the story – the daytime story?” (Rich und Longcore 2006)

1. Schutz der Nacht – Aufgabe des Natur- und Landschaftsschutzes

Der Schutz der Nacht ist eine grundlegende Aufgabe des Natur- und Landschaftsschutzes. Im Unterschied etwa zu Lärm, klimarelevanten Emissionen und anderen Schadstoffen wird dies jedoch erst in jüngster Zeit zum Thema. Tatsächlich muss der Schutz der Nacht als die zweite Hälfte des Natur- und Landschaftsschutzes angesehen werden. Denn die Nacht und der lichte Tag sind jeweils etwa die Hälfte des Tages, im Anteil je nach Jahreszeit und Abstand zum Äquator variierend.

Die Nacht ist aber nicht nur die Hälfte des Tages. Vielmehr handelt es sich beim Tag-Nacht-Rhythmus um einen der grundlegendsten Rhythmen des Lebens. Der tägliche Aktivitäts-Ruhe-Rhythmus ist in Wechselwirkung mit der Jahresrhythmik evolutiv eingepägt: Menschen, Tieren, Pflanzen ebenso wie Ökosystemen. Deutlich wird dies an den unterschiedlichen Chronotypen von tag-, nacht- und dämmerungsaktiven Lebewesen und der durch sie geprägten Ökosysteme. So sind etwa 30% der Wirbeltiere und über 60% der Wirbellosen nachtaktiv (Hölker et al. 2010a).

Im deutschsprachigen Raum hat der Landschaftsschutz einen hohen Stellenwert. Dabei wurden Forschung und angewandter Landschaftsschutz implizit ausschließlich auf die Taglandschaft ausgerichtet. Tag- und Nachtlandschaften wurden gar nicht unterschieden und der Begriff „Landschaft“ implizit nur auf Taglandschaften bezogen. Entsprechend wurde die Nachtlandschaft nicht als eigenständiger Untersuchungsbereich angesehen und nicht als spezifisches Schutzgut erkannt. In jüngster Zeit werden jedoch die Begriffe *nightscape* und *nocturnal landscape* zunehmend verwendet (z.B. Hölker et al. 2010b). Zusätzlich zu den bekannten Typisierungen von Landschaften anhand unterschiedlichster natur- und kulturräumlicher Merkmale sind Taglandschaften und Nachtlandschaften zu unterscheiden. Der Schutz der Nachtlandschaften ist als Teil des Landschaftsschutzes zu begreifen.

Der Schutz der Nacht ist eine in vielfacher Hinsicht herausfordernde Aufgabe:

(a) Obwohl die statistischen Daten zur künstlichen nächtlichen Beleuchtung nicht sehr gut sind, gibt es doch Hinweise auf den übergeordneten Trend. Es finden sich zwar immer noch dunkle unberührte Nachtlandschaften, doch die Zunahme der künstlichen Beleuchtung ist weltweit ungebrochen. Als grobe Orientierung kann im Laufe der letzten Jahrzehnte von einer trendmäßigen Lichtzunahme durch künstliche Beleuchtung von etwa 6% jährlich ausgegangen werden (Hölker et al. 2010b).

(b) Standardisierungen und Verordnungen – etwa auf EU-Ebene – fördern die Tendenz einer zunehmenden nächtlichen Außenbeleuchtung noch zusätzlich. Meistens geht es hier um Mindestanforderungen an die Straßenbeleuchtung, selten jedoch um Obergrenzen. Zur Begründung werden vielfach Sicherheitsaspekte angeführt.

(c) Licht wird meist mit „positiv“ und Dunkelheit mit „negativ“ assoziiert. „Schwarz wie die Nacht“, Schrecken, Gefahren werden durch künstliche Beleuchtung in dieser Sicht abgewehrt. Nächtliche Beleuchtung wird dagegen oft noch eng mit Konnotationen wie Wohlstand, Wirtschaftskraft, Sicherheit, Ästhetik, Lebensqualität und Modernität verbunden.

(d) Generell ist das Problembewusstsein für den Nachtschutz nicht vergleichbar zu anderen Themen des Natur- und Umweltschutzes ausgeprägt. Die Tragweite und vielfältigen Dimensionen des Themenfeldes Lichtimmissionen, -verschmutzung und Schutz der Nacht sind noch kaum im Blick, geschweige denn verstanden. Wer die Milchstraße noch nie gesehen hat oder nur als romantisches Urlaubserlebnis kennt, wird im Alltag der heutigen Städte kaum etwas vermissen. Parallel zur trendmäßigen Lichtzunahme kommt es so zu Verschiebungen und Veränderungen der Referenzpunkte für Nacht und Dunkelheit, die der menschlichen Wahrnehmung beim Bemessen von Wandel dienen (*Shifting Baseline Syndrom*). Das Verständnis für die kosmische Einbindung und damit verbunden die Selbstverortung nimmt dadurch gerade in Zeiten zunehmender wissenschaftlicher Erkenntnisse über den Kosmos ab.

Dies unterstreicht: Die Aufgabe des Schutzes der Nacht ist herausfordernd. Dies wird auch in der Abbildung 1 mit der Vielzahl unterschiedlicher Aspekte deutlich, die sich mit diesem Thema verbinden.

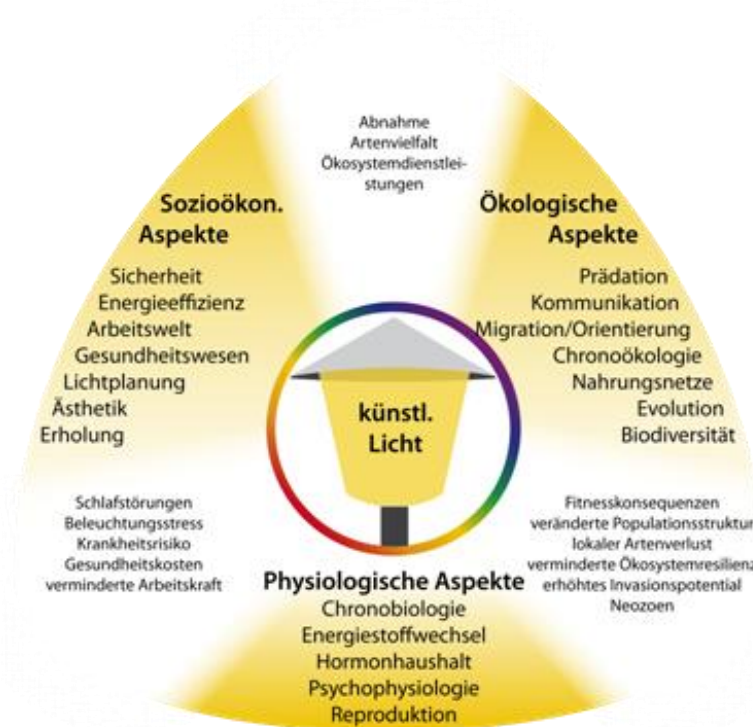


Abbildung 1: Selbstversuch mit ungewissem Ausgang? Mögliche Folgen der Immissionen künstlicher Beleuchtung in der Nacht ergeben sich an den Schnittstellen zwischen physiologischen, ökologischen und sozioökonomischen Aspekten.

Quelle: Hölker et al. (2010b)

2. Potenziale zur Verbesserung des Nachtschutzes

Zugleich gibt es auch große Potenziale zur durchgreifenden Verbesserung des Nachtschutzes:

(a) Das Phänomen der Lichtemissionen ist in starkem Maße der Verschwendung geschuldet, wie sie sich mit der bisher vorherrschenden, nicht nachhaltigen Wirtschafts- und Lebensweise verbindet. Große Teile der künstlichen nächtlichen Außenbeleuchtung kann man mit einer Art „Heizung“ vergleichen, mit der man buchstäblich zum offenen Fenster hinaus heizt. Zum einen wird in der Nacht immer noch nach oben oder zur Seite geleuchtet und nur zum Teil das

ausgeleuchtet, was eigentlich beleuchtet werden soll. Zum anderen werden bei der Beleuchtung im Außenraum noch viele energieineffiziente Beleuchtungssysteme eingesetzt. Bei wachsendem Problembewusstsein lassen sich durch einfache Maßnahmen große Einsparungen mit einer Reduzierung dieser Art von Energieverschwendung und Lichtverschmutzung bewirken.

(b) Die Entwicklung neuer Beleuchtungstechniken und -konzepte eröffnet darüber hinausgehend weitere große Potenziale beispielsweise durch Dimmung und Abschaltung im Nachtgang entsprechend den tatsächlichen Erfordernissen für Beleuchtung und vieles andere mehr.

(c) Die Erkenntnisse der Zeitforschung zu Chronotypen, Ökosystemen, Biodiversität und Koevolution können für Maßnahmen des Nachtschutzes herangezogen werden. Ebenso lassen sich aus neueren interdisziplinären Forschungsprojekten, die technische, naturwissenschaftliche, kulturelle, raum- und siedlungsplanerische Fragen gleichermaßen umfassen, wichtige Erkenntnisse für den Schutz der Nacht ableiten.

(d) Diese Erkenntnisse können in der Öffentlichkeit und bei Entscheidungsträgern verwendet werden, um ein Problembewusstsein für die Thematik und deren Dringlichkeit zu schaffen.

(e) Zum wirksamen Schutz der Nacht können vielfältige Interessen zusammengeführt und damit in ihrer Wirkung wechselseitig gestärkt werden: Natur-, Landschaftsschutz, Astronomie, Sternenfreunde, Energieeffizienz und -sparen, Klimaschutz, Beleuchtungstechnik ebenso wie Tourismus, Städte und andere Akteure.

3. Das rechte Maß der künstlichen Beleuchtung

„Es werde Licht, und es ward Licht.“ Auch in der eher säkular orientierten Gesellschaft wird bei Publikationen und Debatten zur Thematik Lichtverschmutzung dieser Vers aus Genesis 1, Vers 3 zitiert (z.B. Hettlich und Herzog 2009). Darin spiegelt sich eine tief verwurzelte positive Deutung des Lichts wider: umnachtet, Verdunkelungsgefahr, Blackout, dumm wie die Nacht und vieles mehr. Im englischen *en-light-enment* (Erleuchtung) für Aufklärung steckt diese positive Wertung des Lichts. Hell | gut und dunkel | böse scheinen zusammenzupassen.

Nicht nur in der Romantik gab es eine Strömung, die fern dieser polaren Wertung die Nacht ebenso wie den Tag in ihrer jeweiligen Besonderheit zu schätzen wusste. Bereits im Alten Testament gibt die angeführte Passage eine weiter führende Fährte als Wegweiser: Gott schuf gemäß dieser Überlieferung nicht nur die materielle Welt und mit dem Licht die dafür nötige Energie. Vielmehr schuf er *uno actu* die Grundrhythmik des Lebens. Er trennte das Licht von der Finsternis, den hellen Tag von der dunklen Nacht. „Und siehe, es ward sehr gut.“ Auch die Sterne spielen zur Orientierung in der biblischen Überlieferung ebenso wie der Mond eine wichtige Rolle. Dazu schuf er auch die grundlegenden Beleuchtungsmittel: Sonne, Mond, Sterne (Genesis 1, 14-18 zum 4. Schöpfungstag).

Die Erfindung der künstlichen Beleuchtung im 19. Jahrhundert hatte grundlegende Folgen für Wirtschaft, Kultur und Lebensstile und war gleichsam ein Teil der Einlösung der Programmatik der Aufklärung.

Diese Andeutungen machen einerseits verständlich, warum die Lichtemissionen und ihre Folgen im Unterschied zu Lärm, Luftqualität und Klima bisher in der Umweltpolitik und im Naturschutz kein vergleichbares Problembewusstsein zur Folge hatten. Andererseits geben sie eine Orientierung für die neue, weit reichende Aufgabenstellung: Schutz der Nacht (vgl. Rich und Longcore 2006, Posch et al. 2010, Leibniz-Gemeinschaft 2009).

Beim Schutz der Nacht geht es nicht rückwärtsgewandt um das Abschalten der künstlichen Beleuchtung sondern vielmehr um das *rechte Maß der nächtlichen Beleuchtung*. Eine Trendumkehr ist gefordert und möglich. Anders formuliert: Es geht um die eigentliche Kunst

der besseren künstlichen Beleuchtung und die Aufgabe, entsprechend den unterschiedlichen Nutzungsinteressen wie etwa in der städtischen Beleuchtung, bei Sicherheitsaspekten und vielem mehr, das ins rechte Licht zu rücken, was beleuchtet werden soll, und nur dies.

4. Zielsetzung, Zielgruppen und Struktur des BfN-Skriptes

Zielsetzung des vorliegenden Bands ist zum einen, ein Verständnis für die Tragweite des Nachtschutzes zu fördern und zum anderen die Erkenntnisse über konkrete Umsetzungsmöglichkeiten zum gezielten Schutz der Nacht zu verbreiten. Übergreifend soll damit ein Beitrag zum Abbau der Lichtverschmutzung geleistet werden, zum umfassenden Schutz der Biodiversität und dem Schutz der Nachtlandschaft.

Die Vielzahl der nachfolgend zusammengestellten Beiträge vermitteln eine breite Übersicht zum Thema Schutz der Nacht und der Lichtverschmutzung, wie sie in dieser Art unseres Wissens noch nicht vorliegt. Die kurzen Beiträge sind je nach spezifischen Interessen je für sich allein lesbar. Zugleich ist der Band so konzipiert, dass damit in einer Art Kompendium die Thematik übersichtsartig nachzulesen ist. Der Band schließt an eine frühere Publikation des Bundesamts für Naturschutz an (Böttcher 2001). Der Bericht des Umweltbundesamts (2009) zur Beleuchtungstechnik und das Buch „LichtRegion“ (Köhler, Walz, Hochstadt 2010) sind ergänzend zu empfehlen.

Zielgruppen sind alle am Schutz der Nacht Interessierten. Insbesondere angesprochen sind Praktikerinnen und Praktiker, ob in Kommunen oder anderen Ebenen der Politik an Naturschutz und Landschaftsschutz oder astronomisch Interessierte, alle Akteure im Bereich künstliche Außenbeleuchtung, Beleuchtungstechnik, Stadtmarketing, Tourismus sowie Stadt- und Lichtplaner, Architekten, Handwerker, vergleichbar aber auch im Gesundheitsschutz, den Medien, Schulen und der Forschung. Die Breite der Zielgruppen spiegelt sich auch in der Bandbreite der Autorinnen und Autoren dieses Bands wider.

Der Band ist wie folgt strukturiert: Grundlagen; Folgen; konkrete Handlungsansätze, unterteilt in technische Möglichkeiten, bewussten Umgang mit Licht sowie Gesetze, Verordnungen und Standards; ausgewählte Beispiele guter Praxis; Angaben zu den Autorinnen / Autoren.

Literatur

- Böttcher M (Bearb.) (2001): Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn-Bad Godesberg: 127-138.
- Hettlich P, Herzog R (2009): Lichtverschmutzung. Es werde Schatten. Politische Ökologie 114: 69-70.
- Hölker F, Wolter C, Perkin EK, Tockner K (2010a): Light pollution as a biodiversity threat. Trends Ecol Evol 25: 681-682.
- Hölker F, et al. (2010b): The Dark Side of Light: A Transdisciplinary Research Agenda for Light Pollution Policy. Ecol Soc 15(4): 13. [online] URL: <http://www.ecolgyandsociety.org/vol15/iss4/art13/>
- Köhler D, Walz M, Hochstadt S (Hg.) (2010): LichtRegion. Positionen und Perspektiven im Ruhrgebiet. Essen: Klartext, 69-80.
- Leibniz-Gemeinschaft (Hg.) (2009): Zwischenruf – Verlust der Nacht. Heft 2/2009, Bonn.
- Posch T, Freyhoff A, Uhlmann T (Hg.) (2010): Das Ende der Nacht – Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim: Wiley VCH.
- Rich T, Longcore C (Hg.) (2006): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington DC: Island Press.
- Umweltbundesamt (Hg.) (2009): Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung. 3. Ausgabe. Dessau: UBA.

**Schutz der Nacht –
Lichtverschmutzung, Biodiversität
und Nachtlandschaft**

Grundlagen

Taglandschaften und Nachtlandschaften

Wolfgang Haber

1. Zum Begriff der Landschaft

Obwohl „*Landschaft*“ als mehrdeutiger Begriff gilt (Gailing und Leibenath 2012), besteht Einigkeit darüber, dass er kulturell geprägt und an eine optisch vermittelte menschliche Wahrnehmung gebunden ist (Rudolf 1998). Der Mensch ist ein von Tageslicht und Tageshelligkeit geleitetes Lebewesen, das die nächtliche Dunkelheit eher zu meiden versucht, ja sogar fürchtet und deswegen erhellen möchte. Intuitiv verknüpfen Menschen Landschaft mit Licht und Beleuchtung durch die Sonne, den natürlichen Lichtspender des Planeten Erde. Eine „Taglandschaft“ mag daher zunächst als Tautologie erscheinen. Die Geschichte des Landschaftsbegriffs (Haber 2001) kann die Zusammenhänge verständlich machen.

Viele Menschen tragen ein Vorwissen über Landschaft in sich, das auf künstlerische Vermittlung, vor allem durch Gemälde, in jüngerer Zeit auch durch Fotografien zurückgeht. Seit dem 15. Jahrhundert wurden Maler, die aus ihren städtischen Lebensorten „in das Land“ hinausschauten, von dem Anblick bestimmter, als zusammengehörig erscheinender und ästhetisch wirkender Konfigurationen des Landes mit naturhaften Strukturen und deren Farben und Lichteffekten künstlerisch inspiriert und hielten sie in Gemälden fest. Dafür verwendeten sie die Bezeichnung Landschaft, die im Mittelalter zunächst als Wort für ein bestimmtes Gebiet oder dessen Bewohnerschaft eingeführt worden war und auch heute noch vereinzelt so verwendet wird.

Landschaftsdarstellungen wandelten sich vom Hintergrund für Personen- oder Objektbilder zu eigenständigen Motiven wachsender Beliebtheit, die auch in der heutigen Werbung kommerziell genutzt werden. Ein wesentliches Merkmal naturalistischer Landschaftsbilder ist ihre räumliche Wirkung, die auf dem Phänomen der Perspektive beruht. Sie ist auf einen bestimmten Blickpunkt des Betrachters bezogen und ihrerseits von Licht und Beleuchtung, vor allem auch vom Stand der Sonne und der Exposition zu ihr (Rücken-, Seiten- oder Gegenlicht) bestimmt. In Richtung des Horizontes schwinden oder verschwimmen Strukturen und Farben und erzeugen Stimmungen, wie es besonders eindrucksvoll in den Landschaftsgemälden des Impressionismus dargestellt ist. Auf der Perspektive beruht die Wirkung der Landschaft als Gestalt.

2. Landschaftsgestaltung und Landschaftserleben

Seit dem 17. Jahrhundert trat die Landschaft gleichsam aus den Gemälden in die Wirklichkeit heraus, als die neue Profession der Landschaftsgestalter oder -architekten die Landschaftspärke oder -gärten schuf und dabei die naturhaft wirkende, hügelige englische Schafweidelandschaft mit ihren grünen Weiden und Baumkulissen zum Vorbild nahm. Und auch in diesen Landschaftsparks wurden mittels künstlichem Relief und pflanzlichen Strukturen Aussichtspunkte und Sichtachsen angelegt, die auf Lichtführung und Perspektive ausgerichtet waren und ein *landschaftliches Erleben* erzeugten.

Mit einsetzender Dämmerung schwand dieses Erleben, und mit ihr die *Taglandschaft*, um in nächtlicher Finsternis von furchtsamer Ungewissheit ersetzt zu werden. Doch in klaren, mond hellen Nächten blieben eine gewisse Sichtbarkeit und Perspektive erhalten, auch wenn die Farben vergingen. So konnte eine *Nachtlandschaft* von eher geheimnisvoller Gestalt wahrgenommen werden, die aber fast keine künstlerisch-darstellerische Aufmerksamkeit erhielt und an Beliebtheit weit hinter den Taglandschaften zurückblieb.

Zurückkommend auf das Vorwissen über Landschaft, das in den Köpfen der Menschen – und gefühlsmäßig in ihren Herzen – verankert ist (Lothian 1999), möchte ich die prozesshafte Verknüpfung zwischen landschaftlichen Wünschen und der *Landschaftswirklichkeit* mit ihrer Entwicklung und Gestaltung ansprechen. Das im Vorwissen enthaltene *Landschaftsbild*, in das oft auch eine heimatliche Bindung einbezogen ist, wird auf die landschaftliche Wirklichkeit projiziert und mit dieser verglichen. Stimmen beide überein, sind Erlebnisfreude und Glücksempfinden gewährleistet. Fehlt die Übereinstimmung, dann erwacht der Wunsch nach Landschaftsgestaltung und Entwürfen dafür. Der Maßstab solcher Prüfungen sind aber immer Taglandschaften, deren ästhetische Wirkungen wesentlich auf Farben gegründet sind.

Ein tiefblauer Himmel mit weißen Wölkchen, das dunkle Grün kleiner Waldstücke, das hellere, aber oft verschiedenartige Grün der Wiesen und Weiden, in der Schönheitswirkung noch gesteigert durch buntblumige Artenvielfalt, im Sommer mit dem Farbwechsel reifender Getreidefelder – dies alles macht Landschaft aus, vor allem wenn sie noch durch die Vielfalt der sie bildenden Landnutzungen von unterschiedlicher Intensität Abwechslungsreichtum aufweist. Auch weidende Tiere oder darüber fliegende Vögel oder Schmetterlinge tragen nicht zuletzt durch ihre Bewegungen dazu bei.

Diese Schilderung macht deutlich, dass Landschaft aus der *menschlichen Landnutzung* entsteht, also aus dem Ersatz von Natur durch Kultur, die gerade aus der Sicht der Landnutzer, insbesondere der Bauern, als harte Gegensätze aufgefasst werden. Auf die europäischen Landschaftsmaler der Neuzeit, die aus der Stadt ins Land schauten, wirkten diese Landschaften im Gegensatz zur Künstlichkeit der Stadt als Natur, die sie naturgetreu darstellten. Doch handelte es sich nicht um Natur, sondern um kultiviertes Land von gefälligem Aussehen.

Als im 19. Jahrhundert Alexander von Humboldt „Landschaft“ als wissenschaftlichen Begriff einführte – ohne aber ihren ästhetischen Gehalt zu vernachlässigen – bekam sie zusätzliche Inhalte. Einerseits wurde sie auf unberührt erscheinende, unkultivierte Naturgebiete ausgedehnt. Damit entstand der Begriff *Naturlandschaft* als Gegensatz zur *Kulturlandschaft* – obwohl Landschaft eigentlich immer nur kulturell aufzufassen ist. Andererseits wurden auch überbaute Gebiete bis hin zu Großstädten in Landschaft einbezogen, so dass es nunmehr auch *Stadt- und Industrielandschaften* gibt.

3. Landschaft der technischen Welt

Derartige Ausweitungen des Landschaftsbegriffs, oft verbunden mit Vernachlässigung seines ästhetisch-harmonischen und gestalterischen Grundinhaltes, fanden im beginnenden Industriezeitalter statt. Zu dessen technischen Innovationen gehört die Erfindung der Elektrizität, die eine neue Licht- und Beleuchtungsquelle in Form des Kunstlichts ermöglichte. Rasch ersetzte sie die meist leuchtschwachen, vergänglichen Kerzenlichter und Öllampen durch immer lichtstärkere, weit strahlende Beleuchtungskörper und -anlagen, die – solange Strom floss – dauerhaft Licht spendeten und die Dunkelheit beständig erhellten. Das Orientierungs- und Sicherheitsbedürfnis des Taglebewesens Mensch, das sich nicht analog zu Eulen, Fledermäusen oder Nachtfaltern auf ein Leben in Dunkelheit einstellen konnte, wurde durch stets verfügbares *Kunstlicht* erfüllt.

Es lag nahe, diesen großen technischen Fortschritt – dessen Schattenseiten (im doppelten Sinn!) in anderen Beiträgen dieses Bandes beschrieben werden – auch räumlich anzuwenden. Straßen und Plätze von Städten und Dörfern erhielten elektrische Beleuchtungen, die nicht nur der Sicherheit dienten, sondern auch ein neues, nächtliches Stadtbild im Hell-Dunkel-Kontrast erzeugten und daher oft während der ganzen Nacht Licht aussandten. Aus diesem Erleben entwickelte sich der Brauch, wichtige, historisch und baukünstlerisch wertvolle Gebäude wie Kirchen mit Scheinwerfern anzustrahlen und durch Lichtwirkung hervorzuheben. Zu Festtagen, vor allem in der Adventszeit, werden die Innenstädte mit den Haupt- und Einkaufsstra-

Ben in ein buntes Lichtermeer verwandelt, welches die erleuchteten Schaufenster der vielen Geschäfte noch weit übertrifft. So entstand eine städtische *Nachtlandschaft als Ergänzung der Taglandschaft* und setzte sich in der Gewohnheit fest.

Der mit dem Industriezeitalter zunehmende Verkehr, zunächst mit Eisenbahnen, dann mit auf einem immer dichteren Straßennetz fahrenden Kraftfahrzeugen, blieb nicht mehr auf den hellen Tag beschränkt, sondern wurde auch in der Nacht fortgesetzt. Vor allem aus Sicherheitsgründen wurde eine elektrische *Beleuchtung der Fahrzeuge* notwendig, die ihren Fahrweg erkennen, aber auch selbst erkannt werden mussten, und oft wurden auch die Straßen streckenweise mit Lampen versehen. Verkehrsknotenpunkte, Tankstellen, Rasthäuser und Parkplätze wurden oft hell erleuchtet und machten die Nacht zum Tage. So wurde auch in ländlichen Gebieten die Taglandschaft ungewollt durch eine Nachtlandschaft ergänzt, deren punktuelle Lichtquellen allerdings harte Kontraste zur Dunkelheit bildeten und mit dem sanften Licht mondheiler Nächte nicht zu vergleichen waren. Daher gab es kaum ein Empfinden, erst recht keine künstlerisch-ästhetische Aufmerksamkeit für die Nachtlandschaft außerhalb der Städte, und die Naturlandschaft behielt ihren Charakter als Taglandschaft.

4. Landschaft aus Sicht des Naturschutzes

In der sich rasch entwickelnden städtisch-industriellen Gesellschaft des 19. Jahrhunderts kam neben dem technischen Fortschritt, ja im Kontrast zu ihm, die Bewegung des Naturschutzes auf (Haber 2010). Sie wandte sich gegen die ebenfalls von den Großstädten ausgehende rationalisierende Vereinheitlichung der außerstädtischen Landnutzung und wollte die noch existierenden, Heimatverbundenheit stiftenden Schönheiten der Kulturlandschaften in ihrer Vielfalt erhalten. Aber dieser Natur- und Landschaftsschutz widmete sich ausschließlich den Taglandschaften im natürlichen Sonnenlicht und im Wechsel der Jahreszeiten. Nacht und nächtliches Leben, sowie deren zunehmende Durchdringung mit künstlichem Licht fanden kaum Aufmerksamkeit.

Dies änderte sich aufgrund von zwei Erkenntnissen. Der Naturschutz, immer stärker beeinflusst von der aufkommenden Biologie und später, im 20. Jahrhundert auch von der Ökologie, widmete sich bevorzugt der Erhaltung seltener oder gefährdeter Pflanzen- und Tierarten und erkannte dabei, dass und wie sehr viele an Nacht und Dunkelheit optimal angepasste und darauf angewiesene Arten – vor allem Tiere – durch die künstliche Aufhellung nächtlichen Dunkels in ihrem Verhalten und Lebensrhythmus gestört werden, bis hin zur Auslöschung ihrer Existenz (vgl. diverse Beiträge im Kapitel „Lichtverschmutzung und die Folgen für...“). Aber auch Menschen bedürfen des Wechsels zwischen Tag und Nacht, zwischen Tagesaktivität und nächtlicher Ruhe in Dunkelheit. Stete Helligkeits-Exposition kann gesundheitsschädlich wirken (vgl. Beiträge Bromundt, Knab).

Die zweite Erkenntnis stammt aus dem in den 1960er Jahren aufkommenden Umweltschutz, der die im Nachkriegs-Wirtschaftswachstum zunehmende, durch Abfälle, Abwässer und Abgase (Emissionen) verursachte Verschmutzung von Luft und Gewässern feststellte und bekämpfte. Das Wort „Verschmutzung“ wurde dann auf die im vorigen Absatz genannte schädliche Wirkung künstlich beleuchteter, sozusagen zum Tage gemachter Nächte auf an Dunkelheit gebundene Organismen und ihr Existenzrecht übertragen. So entstand der Begriff der *Lichtverschmutzung*. Die Forderung nach ihrer Verminderung gründet sich aber nicht mehr nur auf die Gefährdung der Organismen, sondern auch auf die damit erzielte Einsparung von Energie.

Freilich wird diese wieder konterkariert durch die Entwicklung lichtstarker Beleuchtungsquellen mit geringem Energieverbrauch und niedriger Wärmeabstrahlung (LED-Leuchten), was eine so genannte Rebound-Wirkung auslöst. Dahinter mag auch die menschliche *Gewöhnung an eine Nachtlandschaft* in Ergänzung zur weiterhin maßgebenden Taglandschaft stehen. Ein

nächtliches Luftbild zeigt gerade in Teilen Europas großflächige Zusammenballungen von Lichtern der Großstadtreionen. Und wer spätabends durch ländliche Gegenden fährt, der stellt fest, dass immer mehr kleine Dorfkirchen angestrahlt werden und selbst Bauernhöfe scheinwerferartig hell beleuchtet sind. So sind wenige ländliche Gebiete wirklich noch dunkel.

Aber ist es wirklich sinnvoll, von einer „Verschmutzung“ der Dunkelheit durch Licht zu sprechen? Analog müsste man, wenn Tageslicht durch technische Mittel ausgeschlossen wird, dies als Verschmutzung durch Dunkelheit bezeichnen. Das Angewiesensein fast allen Lebens auf die Photosynthese gibt jeder Art von Licht den Vorrang – auch in der Landschaft.

5. Schutz und Gestaltung von Nachtlandschaften

Nächtliche Beleuchtungen und Lichtquellen sind ein fester Bestandteil der Umwelt des technischen Zeitalters geworden und werden es bleiben. Taglandschaften werden also durch Nachtlandschaften ergänzt. Was liegt näher, diese auch ähnlich wie die „Tages-Umwelt“ zu behandeln, nämlich sowohl schützend als auch gestaltend? Einerseits sollten genügend große Bereiche des Landes von nächtlicher Beleuchtung ausgenommen, das heißt vor ihr geschützt werden. Andererseits sollten Landschaftsarchitekten und -planer beleuchtete Nachtlandschaften einschließlich Form und Anordnung der Beleuchtungskörper und Lichtquellen bewusst gestalten und dies nicht allein technisch-praktischen Anforderungen überlassen.

Literatur

- Gailing L, Leibenath M (2012): Von der Schwierigkeit, „Landschaft“ und „Kulturlandschaft“ allgemeingültig zu definieren. *Raumforschung und Raumordnung* 70: 95-106.
- Haber W (2001): Kulturlandschaft zwischen Bild und Wirklichkeit. *Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hannover)* 215: 6-29.
- Haber W (2010): Naturschutz zwischen Wissenschaft und Praxis. Vom Umgang mit einer veränderlichen Natur. In: *Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (Hg.): Denkanstöße (8):* 6-17.
- Lothian A (1999): Landscape and the philosophy of aesthetics: is landscape quality inherent in the landscape or in the eye of the beholder? *Landscape and Urban Planning* 44: 177-198.
- Rudolf KS (1998): Wahrnehmung und Landschaft. Die Evolution der Wahrnehmung und ihre Bedeutung im Mensch-Natur-Verhältnis. *Schriftenreihe Fachhochschule Weihenstephan Band 4, Freising.*

Ökologie der Zeit und künstliche Beleuchtung in der Nacht

Martin Held und Franz Hölker

“In addition to the more or less static properties of the environment, plants and animals must cope with its temporal variations.” (Gwinner 1986: V)

1. Ökologie der Zeit

Das Leben auf der Erde ist rhythmisch: geprägt durch die Gezeiten, Tag und Nacht, den Mondzyklus, die Jahreszeiten. Das Zusammenspiel der unterschiedlichen Rhythmen und ihre Variabilität ist ein Bestimmungsfaktor der Vielfalt des Lebens.

Das Leben evolvierte in verschiedensten Lebensräumen: im Meer mit seinen unterschiedlichen Tiefen, in Seen, Fließgewässern, auf dem Land mit seinen unterschiedlichen Klimazonen und Höhenlagen, in Wäldern, auf Bäumen, in der Erde oder im Luftraum. An allen diesen Orten verbreitete sich das Leben (Biotope).

Ebenso evolvierte das Leben in den unterschiedlichen *Chronotopen*: Es gibt nachtaktive ebenso wie tagaktive Arten (Tab. 1). Viele Tierarten wandern im jahreszeitlichen Rhythmus, so gibt es den Vogelzug über tausende und abertausende von Kilometern. Bei manchen Arten wechseln sich aktive Phasen mit Winterschlaf oder Winterruhe ab. Die Rhythmik der Generationenabfolge ist bei den Arten sehr unterschiedlich, sie geht bis hin zu längeren Zeitskalen wie etwa bei der Feuerökologie.

Tabelle 1: Anteil nachaktiver Tierarten

Quelle: Hölker et al. (2010)

	Nachaktive Arten (%)
Wirbeltiere	
Säugetiere	63.8
Primaten (incl. <i>H. sapiens</i>)	31.0
Fledermäuse	100.0
Vögel	19.6
Reptilien	16.6
Amphibien	93.3
Fische	14.1
Subtotal	28.0
Invertebraten	
Insekten	49.4
Schmetterlinge	77.8
Käfer	60.0
Krebstiere	50.0
Spinnentiere	5.0
...	...
Subtotal	64.4

Im 19. Jahrhundert wurde der Traum einer kontrollierten künstlichen Beleuchtung realisiert, was mit massiven Veränderungen im Tag-Nacht-Rhythmus einherging. Die künstliche nächtliche Beleuchtung ist heute aus dem Weltall gut erkennbar (Abbildung 1). Angesichts der Rhythmik des Lebens gilt: Die künstliche nächtliche Beleuchtung greift in die Lebensbedingungen vieler Arten, sogar ganzer Ökosysteme ein – und das potenziell extrem weitreichend.

Bei einer zeitökologischen Betrachtung ist dies unmittelbar erkennbar. Bei der bisher vorrangig auf die räumliche Dimension ausgerichteten Betrachtung des Naturschutzes kam dies dagegen nicht in den Blick. Zwar gibt es bis zu einem gewissen Grad ad-hoc temporale Elemente, wie etwa jahreszeitliche Begehungsverbote, Jagd- und Schonzeiten, aber keine dem Raum vergleichbare systematische Einbeziehung der Zeit. Für den Nachtschutz empfiehlt es sich, die zeitökologischen Grundlagen systematisch aufzuarbeiten und sich zunutze zu machen.

Vom Tutzingener Projekt *Ökologie der Zeit* wurde der Begriff „Ökologie der Zeit“ bewusst eingeführt: „Damit soll verdeutlicht werden, daß es nicht darum geht, ökologisch relevanten Fragestellungen einfach noch Zeitaspekte – im Sinne von Ökologie *und* Zeit – hinzuzufügen. Vielmehr sind systematisch Zeiten des menschlichen und außermenschlichen Lebens in ihren

verschiedenen Aspekten und Zusammenhängen zum Gegenstand zu machen. Ökologie der Zeit, das bedeutet, die vielfältigen Zeitformen – Rhythmen, Systemzeiten, Eigenzeiten, den rechten Zeitpunkt (*kairos*), angemessene Geschwindigkeiten (*Tempo*), Evolution und Wandel etc. – in der individuellen Lebensgestaltung, ebenso wie bei der Ausgestaltung der kulturellen Zeitordnungen (einschließlich der Wirtschaftsordnung), zu erkennen und zu berücksichtigen.“ (Geißler und Held 1995)

2. Rhythmik, sensitive Zeiten und das Zusammenspiel von Raum-Zeit-Skalen

Nach chronobiologischen Erkenntnissen (siehe Beiträge Bromundt, Knab) entspricht die menschliche Tagesrhythmik lediglich *ungefähr* 24 Stunden. Daher spricht man von der circadianen Rhythmik (*circa* = ungefähr; *dies* = Tag). Es gibt unterschiedliche Chronotypen: Morgenmenschen (Lerchen), Tagmenschen und Abendmenschen (Eulen). Licht ist der wichtigste Zeitgeber, der die innere, circadiane Rhythmik mit der äußeren Rhythmik von lichtem Tag und dunkler Nacht synchronisiert. Das Abweichen vom Tag-Nacht-Maß ist nicht eine Ungenauigkeit, ein Nachteil, sondern ein evolutiver Vorteil, der es beispielsweise erlaubt, sich auf wechselnde Jahreszeiten einzustellen. Entsprechend (phänotypisch) plastische Rhythmen erlauben eine gewisse Ordnung und Strukturierung bei gleichzeitiger Flexibilität.

Allgemein formuliert: „Rhythmen sind die Wiederkehr des Ähnlichen (nicht die Wiederkehr des Gleichen). [...] Rhythmen sind durch Variation und Flexibilität gekennzeichnet.“ (Hatzelmann und Held 2010). Wäre es anders, könnten wir Menschen keine Zeitzonen überfliegen – obgleich der Anpassungsprozess schon etwas dauert (*Jetlag*). Dies ist die Voraussetzung dafür, dass wir Menschen die künstliche Beleuchtung nutzen können. Aber auch der Tag-Nacht-Rhythmus ist nicht beliebig zu überspielen, da wir nach wie vor durch die evolutive herausgebildete Rhythmik geprägt sind. Es gibt temporale Freiheitsgrade – doch bei zu starker Überdehnung kann dies zu Problemen führen.

Diese Erkenntnisse der Rhythmusforschung aus der Chronobiologie des Menschen gelten allgemein für die Rhythmik aller Lebewesen und Ökosysteme. Sie sind unmittelbar für den Schutz der Nacht relevant: Sie erklären einerseits, warum trotz zum Teil extremer künstlicher Beleuchtung in der Nacht die ökologischen Folgen nicht direkt und sofort dramatisch sind (Flexibilität). Und sie erklären andererseits, warum über direkte Folgen etwa bei Insekten oder Fledermäusen sogar ökosystemare Wirkungen wahrscheinlich sind.

Ebenso sind die temporalen Erkenntnisse zu endokrinen Wirkungen chemischer Substanzen grundlegend: Colborn et al. (1996) entdeckte in den 1990er Jahren, dass vorher nicht erklärbar Schäden bei aquatischen Arten damit erklärbar sind, dass selbst kleine Dosen von Chemikalien in sensitiven Phasen der Fortpflanzung massive Beeinträchtigungen auslösen können. Insbesondere treten Schäden zum Teil erst in der übernächsten Generation auf. Neben der Rhythmik ist also bei der künstlichen Beleuchtung daher ebenfalls das Timing zu beachten (Forschungsrichtung der *heterochrony*), vor allem da Licht ein besonders starker Zeitgeber ist.

Holling (1986) arbeitete im Rahmen der Resilienz-Forschung heraus, dass Systeme durch das Zusammenspiel unterschiedlicher Raum-Zeit-Skalen robuster werden können. Bisher wurden in der Forschung zu den Folgen künstlicher nächtlicher Beleuchtung vorrangig die direkten Effekte, etwa auf nachtaktive Insekten oder Fledermäuse, untersucht (vgl. Beiträge Eisenbeis und Voigt/Lewanzik). Ergänzend dazu sollten die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Raum- und Zeitskalen relevanter Systeme untersucht und beachtet werden, um ein optimales Nachtmanagement für unterschiedliche raumzeitliche Kontexte wie Grünflächen, Uferzonen, Innenstädte, Wohngebiete zu unterschiedlichen Jahreszeiten entwickeln zu können.

3. Künstliche Beleuchtung – Treiber und Teil der Nonstop-Gesellschaft

In der Industriellen Revolution kam es mit der Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas zu einer enormen Beschleunigung. In gleicher Zeit konnte man zunehmend weiter reisen, größere und schwerere Lasten über weitere Strecken transportieren. Die künstliche Beleuchtung brachte einen weiteren temporalen Schub: Die nächtlichen Ruhezeiten konnten zunehmend mit gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aktivitäten ausgefüllt werden. Die „Kolonisierung der Nacht“ (Melbin 1987; vgl. Beitrag Henckel) verkürzte die lange nächtliche Ruhepause. Durch die damit gleichzeitig ermöglichte künstliche Beleuchtung der schnellen, fossil angetriebenen Verkehrsmittel konnte zunehmend in der Nacht gereist und transportiert werden (vgl. Beitrag Neumann). Damit wurde die künstliche Beleuchtung zu einem der wichtigen Treiber der Nonstop-Gesellschaft (Adam et al. 1998).

Dies umschreibt die Tendenz, gemäß dem Rational „Zeit ist Geld“ immer mehr Pausen zu kürzen oder abzuschaffen. Damit kann man in gleicher Zeit noch mehr machen. Moore-Ede nennt dies die „24-Stunden-Welt“ (1993). Die künstliche nächtliche Beleuchtung ist nicht nur ein maßgeblicher Treiber sondern auch ein Teil der Nonstop-Gesellschaft. Dies bedeutet: Die Etablierung des Schutzes der Nacht als maßgebliche Aufgabe des Natur- und Umweltschutzes muss sich nicht nur mit einzelnen Aspekten der nächtlichen Beleuchtung wie Sicherheitsbedürfnis, Stadtmarketing, Events oder ähnlichem auseinandersetzen, sondern auch mit diesen übergeordneten Tendenzen zu Beschleunigung, Nonstop und Gleichzeitigkeit.

4. Timescapes und Nightscapes

Die zeitökologische Perspektive eröffnet den Blick auf Potenziale des Nachtschutzes. „Zeit“ wird vielfach vereinfacht mit Uhrzeit gleichgesetzt. Tatsächlich gibt es jedoch unterschiedlichste zeitliche Dimensionen (*temporalities*). Barbara Adam (1998) führte hierzu das Konzept der *timescapes* ein. Vergleichbar etwa zu Landkarten, auf denen je nach spezifischem Anwendungszweck Höhenlinien, Städte und Gemeinden, Gewässer, touristische Zielpunkte, Verkehrswege oder Rohstofflager in ihren räumlichen Bezügen abgebildet werden, können mit *timescapes* unterschiedlichste temporale Aspekte erfasst werden wie beispielsweise Geschwindigkeiten, Un|Gleichzeitigkeiten, Takt und Rhythmen, Un|Pünktlichkeit, *time-lags* und vieles mehr. Wörtlich müsste *timescape* mit „Zeitschaft“ übersetzt werden, tatsächlich ist „Zeitlandschaft“ die Übersetzung, die intuitiv ohne große Vorkenntnisse verständlich ist.

Geht man mit dem Konzept der *timescapes* an die Entwicklung der künstlichen nächtlichen Beleuchtung, folgt daraus unmittelbar die Unterscheidung in Taglandschaften und Nachtlandschaften (vgl. Beitrag Haber). *Nightscapes* und *dayscapes* sind Ausprägungen von Zeitlandschaften. Nachtlandschaften, in denen Lichtglocken die Dunkelheit der Nacht im wahren Wortsinn überblenden, sind von Nachtlandschaften zu unterscheiden, in der künstliche Beleuchtung in kleinen Inseln für gezielte Nutzungszwecke eingesetzt wird, ansonsten aber die natürliche Rhythmik von lichtem Tag und dunkler Nacht spielen kann.

Das von der NASA aus Satellitenbildern erstellte Bild der Welt bei Nacht wird vielfach ikonografisch verwendet (Abbildung 1). Es ist nicht nur der bildliche Ausdruck für das neue Konzept der *nightscapes*, sondern in in zeitökologischer Perspektive lehrreich:

- Das Bild wird zum einen als Ausdruck von prosperierenden Regionen verwendet: Beleuchtungsintensität als Indikator für wirtschaftliche Entwicklung und Aktivität.
- Zum anderen wird es gerade gegenteilig, nämlich als Beleg für die Lichtverschmutzung, den verschwenderischen, nichtnachhaltigen Umgang mit Energie eingesetzt.
- Tatsächlich fehlt jedoch durchgängig eine entscheidende Angabe: Zu welcher Zeit wurden die Einzelbilder aufgenommen, aus denen das Bild zusammengesetzt wurde? Je nach Jahreszeit und genauer Zeit in der Nacht, ist die künstliche Beleuchtung sehr unterschiedlich.



Abbildung 1: Weltkarte der nächtlichen künstlichen Beleuchtung – Fotomontage von Satellitenbildern

Quelle: NASA

Dies ist keine vernachlässigbare Ungenauigkeit. Vielmehr wird deutlich, dass die bisherige Auseinandersetzung mit der künstlichen nächtlichen Beleuchtung zentrale zeitliche Aspekte noch kaum beachtet: Beleuchtungsstärke und spektrale Charakteristika können im Nachtgang variieren (Kyba et al. 2012). Es stehen heute technische Mittel bereit, die Abstrahlung nach oben weitgehend einzuschränken und die seitliche Abstrahlung deutlich zu reduzieren. Mit den Möglichkeiten der zeitlichen Staffelung der Beleuchtung, Dimmen, Abschalten und Anschalten nur im Bedarfsfall sind bereits allein technisch Möglichkeiten gegeben, das Ausmaß der Verschwendung und Lichtverschmutzung drastisch zu begrenzen, von gesellschaftlichen Regelungen noch ganz abgesehen, die einen weiter reichenden Nachtschutz realisieren.

Literatur

- Adam B (1998): *Timescapes of Modernity. The Environment & Invisible Hazards*. London/New York: Routledge.
- Adam B, Geißler KA, Held M (Hg.) (1998): *Die Nonstop-Gesellschaft und ihr Preis. Vom Zeitmißbrauch zur Zeitkultur*. Stuttgart/Leipzig: Hirzel.
- Colborn T, Dumanoski D, Myers J P (1996): *Our Stolen Future. Are We Threatening Our Fertility, Intelligence and Survival?* New York: Dutton.
- Geißler KA, Held M (1995): Grundbegriffe zur Ökologie der Zeit. Vom Finden der rechten Zeitmaße. In: Held M, Geißler KA (Hg.): *Von Rhythmen und Eigenzeiten. Perspektiven einer Ökologie der Zeit*. Stuttgart: Hirzel: 193-208.
- Gwinner E (1986): *Circannual Rhythms*. Berlin/Heidelberg/New York: Springer.
- Hatzelmann E, Held M (2010): *Vom Zeitmanagement zur Zeitkompetenz*. Weinheim/Basel: Beltz.
- Hölker F, Wolter C, Perkin EK, Tockner K (2010): Light pollution as a biodiversity threat. *Trends Ecol Evol* 25: 681-682.
- Holling CS (1986): The Resilience of Ecosystems: Local Surprise and Global Change. In: Clark WC, Munn RE (Hg.): *Sustainable Development of the Biosphere*. Cambridge: Cambridge University Press: 292-316.
- Kyba CCM, Ruhtz R, Fischer J, Hölker F (2012): Red is the New Black: How the Color of Urban Skyglow Varies with Cloud Cover. *Mon Not R Astron Soc* 425: 701–708.
- Melbin M (1987): *Night as Frontier. Colonizing the World after Dark*. New York: Free Press.
- Moore-Ede MC (1993): *Die Nonstop-Gesellschaft. Risikofaktoren und Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit in der 24-Stunden-Welt*. München: Wilhelm Heyne.

Licht stellt unsere innere Uhr – Zeitgeber und die Grundlagen der Chronobiologie

Vivien Bromundt

1. Zirkadiane Rhythmen des Menschen

Die Bewegung der Erde in unserem Sonnensystem hat dazu geführt, dass alles Leben auf unserem Planeten seit mehr als 3,5 Milliarden Jahren dem Wechsel von Tag und Nacht, saisonalen und anderen zeitlichen Rhythmen ausgesetzt ist. In Anpassung an diese zeitlichen Abläufe haben sich im Laufe der Evolution bei allen Organismen – vom Bakterium bis zum Menschen – und auf allen Ebenen – von den Genen bis zum Verhalten – biologische Rhythmen entwickelt, die von inneren Uhren im Körper und äußeren Zeitgebern gesteuert werden.

Eine erste wissenschaftliche Untersuchung dazu führte der französische Astronom Jean-Jacques d'Ortous de Mairan im Jahr 1729 durch. Er beobachtete in seinem Garten, dass die Pflanze *Mimosa pudica* ihre am Tage geöffneten Blätter schloss, wenn es dunkel wurde. De Mairan wollte herausfinden, ob das Öffnen und Schließen der Blätter von Tag und Nacht gesteuert wird und verbannte die Pflanze daher für mehrere Tage in einen dunklen Kasten. Er beobachtete, dass sich die Blätter auch ohne Information von Tag und Nacht weiterhin öffneten und schlossen. Sein Kollege Du Fay berichtete von dieser Beobachtung an der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Paris und postulierte erstmals, dass möglicherweise auch der Mensch eine innere Uhr besitze, die den Rhythmus von biologischen Prozessen bestimmen könnte.

Die Erforschung der inneren Uhr beim Menschen

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde diese Hypothese durch wissenschaftliche Untersuchungen bestätigt. Die Schlafforscher Kleitman und Richardson untersuchten erstmals den endogenen Rhythmus des Menschen ohne äußere Zeitinformation in den Mammut-Höhlen von Kentucky/USA (Kleitman 1987). In den 1960er Jahren folgten dann die berühmten Isolationsversuche in den Bunkern von Andechs in Bayern (Aschoff und Wever 1962). Isoliert von äußeren Zeitgebern wie Tag und Nacht verbrachten Studierende mehrere Wochen in den Bunkern und konnten ihren Zeitplan selbst bestimmen. Unter diesen Bedingungen zeigten die Versuchspersonen weiterhin einen zeitlichen Rhythmus, der am offensichtlichsten im Schlaf-Wach-Rhythmus zu beobachten war. Jedoch verschoben sich die Schlafepisoden Tag für Tag um mehrere Minuten. Ohne Angaben von äußerer Zeit dauerte die Periodenlänge des Schlaf-Wach-Rhythmus also nicht 24 Stunden wie unter normalen Bedingungen, sondern einige Minuten länger oder kürzer. Die Taktgabe der inneren Uhr wird daher als zirkadian (lat. *circa diem* = ungefähr ein Tag) bezeichnet. Im Durchschnitt dauert eine Periodenlänge beim Menschen etwa 24 Stunden und acht Minuten.

Die zirkadiane Taktgabe unserer inneren Uhr bestimmt unseren Chronotypus: Morgentypen, so genannte „Lerchen“, haben einen schnelleren Taktgeber. Sie werden am Abend früher müde und fühlen sich in den Morgenstunden wach und leistungsstark. Abendtypen, so genannte „Eulen“, hingegen fühlen sich erst in der zweiten Tageshälfte fit und aktiv, werden am Abend später müde und schlafen in den Morgenstunden gerne länger. Die meisten Menschen sind Zwischentypen und haben keine ausgeprägte Morgen- oder Abendpräferenz. Bestimmt wird der jeweilige Chronotypus zum einen durch genetische Faktoren, aber auch Alter und Geschlecht spielen eine Rolle.

Rund-um-die-Uhr-Gesellschaft ignoriert unsere innere Uhr

Die innere Uhr steuert nicht nur den Schlaf-Wach-Rhythmus, sondern auch eine Vielzahl von Prozessen im Körper: So steigt das Dunkelhormon Melatonin am Abend an, erreicht seinen Höhepunkt zwischen drei Uhr und fünf Uhr in der Nacht und fällt morgens wieder ab. Tagsüber wird es kaum ausgeschüttet. Und auch die Körperkerntemperatur schwankt über den Tag hinweg: Am späten Nachmittag ist sie besonders hoch und am Abend sinkt sie ab. Denn dann werden die Extremitäten gut durchblutet. Wir bekommen warme Hände und Füße und sind bereit einzuschlafen. Die Kerntemperatur erreicht ihr Minimum um vier Uhr morgens und steigt danach langsam wieder an. Viele andere Körperprozesse wie Nierenaktivität, Leberstoffwechsel, Verdauungsprozesse oder die Ausschüttung des Hormons Kortisol oszillieren ebenfalls im zirkadianen Rhythmus. Auch psychische Zustände wie Stimmung und kognitive Leistungsfähigkeit sind im Zirkadianrhythmus moduliert. Sie erreichen ihr Minimum zwischen drei Uhr und fünf Uhr morgens, wenn das zirkadiane System auf Ruhe und Schlaf eingestellt ist.

Unsere Rund-um-die-Uhr-Gesellschaft ignoriert oftmals den bedeutenden Einfluss unserer inneren Uhr. Schul- und Bürozeiten sind für viele Menschen nicht ihrem natürlichen Rhythmus angepasst, was zu Schlafstörungen, Tagesmüdigkeit, körperlichen und psychischen Beschwerden führen kann. Mit der Erfindung des künstlichen Lichts machen wir die Nacht zum Tag. So verrichten etwa 20 Prozent der Menschen Nacht- und Schichtarbeiten mit gravierenden Konsequenzen: Unfälle aufgrund menschlichen Versagens passieren besonders häufig in den frühen Morgenstunden. Katastrophen wie das Atomreaktorunglück in Tschernobyl und der Chemieunfall in Bhopal geschahen zu dieser Tageszeit.

2. Die innere Uhr und äußere Zeitgeber

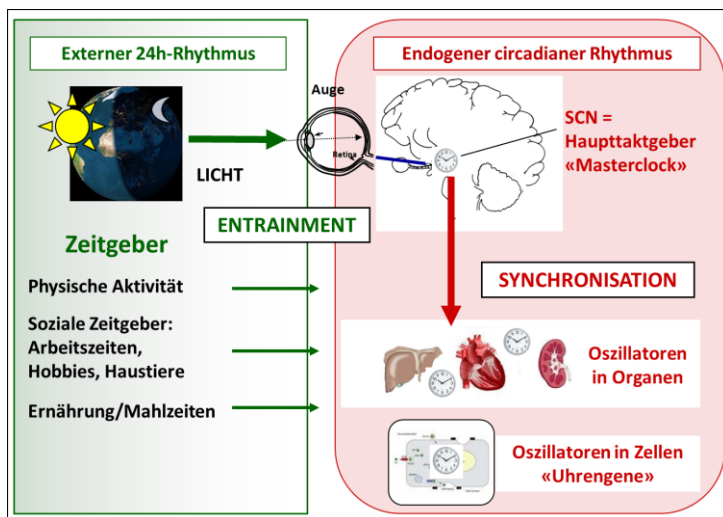


Abbildung 1: Das zirkadiane System beim Menschen

Der Haupttaktgeber für den Schlaf-Wach-Rhythmus und für alle zirkadianen Körperprozesse liegt im Gehirn im Bereich des Hypothalamus. Der suprachiasmatische Nucleus (SCN) synchronisiert als „Masterclock“ die inneren Uhren (Oszillatoren) der Organe und jeder einzelnen Zelle. Tagtäglich wird der SCN durch Einfluss von Zeitgebern, hauptsächlich durch den Hell-Dunkel-Wechsel von Tag und Nacht, dem 24-Stunden-Rhythmus angepasst (Entrainment).

Unsere innere Uhr täglich neu an den 24-Stunden-Tag anpassen. Der wirkungsvollste Zeitgeber ist der Hell-Dunkel-Wechsel von Tag und Nacht. Lichtsignale werden über das Auge direkt

Der Sitz unserer inneren Uhr befindet sich im vorderen Hypothalamus im so genannten *Nucleus suprachiasmaticus* (SCN). Es ist ein kleines Hirnareal mit etwa 50.000 Zellen, welches den Haupttakt für die zirkadiane Rhythmik der Körperprozesse vorgibt. Innere Uhren gibt es aber in jedem Organ und sogar in jeder Zelle des Körpers. So genannte „Uhrgene“ senden Informationen in Abhängigkeit der Tageszeit. Der SCN ist jedoch der Haupttaktgeber, der die Billionen von weiteren Oszillatoren im Körper synchronisiert und dafür sorgt, dass die verschiedenen Körperprozesse zeitlich aufeinander abgestimmt sind.

Trotz individueller Unterschiede der zirkadianen Periodenlänge dauert unser Tag exakt 24 Stunden. Dies ist möglich, da wir äußeren Zeitgebern ausgesetzt sind, die unsere

an unseren Haupttaktgeber im SCN weitergeleitet und synchronisieren die innere Taktgabe mit der äußeren Zeit. Man spricht dabei von *Entrainment*. Neben dem Licht gibt es andere Zeitgeber, die auf unsere inneren Uhren einwirken, so zum Beispiel die Nahrungsaufnahme, die den Stoffwechsel der Leber taktet, körperliche Aktivität, welche die Muskelspannung beeinflusst, und soziale Faktoren wie Arbeitszeiten und Hobbies, die unseren Schlaf-Wach-Rhythmus mitbestimmen. Starke Zeitgeber, insbesondere Tageslicht, haben zudem das Potenzial, den Haupttaktgeber und die innere Synchronisation der zirkadianen Körperprozesse zu stärken und zu stabilisieren.

Gute Synchronisation ist notwendig für eine gute Gesundheit. Sie fördert Schlafqualität, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden. Synchronisation braucht Zeitgeber. Licht ist der stärkste Zeitgeber für unseren Tagesrhythmus.

3. Eigenschaften des Lichts und ihre Zeitgeberwirkung

Die Lichtwirkung ist abhängig von der Intensität, von der Wellenlänge im Lichtspektrum und von der Dauer der Lichtexposition. Zudem ist die Lichtwirkung auf unseren Körper abhängig von der Tageszeit. Die Lichtintensitäten, denen wir im Alltag ausgesetzt sind, variieren stark. An einem schönen Sommertag können bis zu 150.000 Lux gemessen werden und an einem regnerischen Tag werden im Freien immer noch 5.000 bis 10.000 Lux gemessen. Die künstliche Innenbeleuchtung von Büros und Wohnungen hat im Normalfall weitaus geringere Werte. Sie liegen im Bereich zwischen nur 300 bis 500 Lux. Je höher die Lichtintensität, desto stärker ist die Wirkung auf unsere innere Uhr. Lichtinformationen erreichen über das Auge die innere Uhr im SCN und beeinflussen die Taktgabe. Diese wird über neuronale und hormonale Wege an andere Körperregionen weitergeleitet. Vom SCN werden Lichtinformationen an die Zirbeldrüse weitergeleitet, in der die Melatoninproduktion stattfindet. Bei Dunkelheit wird Melatonin ausgeschüttet. Lichteinfall dagegen unterdrückt die Melatoninproduktion.

Licht beeinflusst unser Wohlbefinden

Die Wirkung des Lichts auf das zirkadiane System hat direkten Einfluss auf das körperliche und psychische Wohlbefinden. Zirkadianbedingte Schlafstörungen sind bei psychischen Erkrankungen, insbesondere affektiven Störungen, häufig. Daher wird Licht zunehmend als Behandlungsmethode eingesetzt. In Studien konnte gezeigt werden, dass depressive Patienten, die in der Klinik ein Ostzimmer bewohnten (Lichtintensität am Morgen etwa 15.500 Lux) während der Wintermonate signifikant kürzere Klinikaufenthalte hatten als Patienten, die ein Westzimmer mit geringerer Lichtintensität (Morgenlicht etwa 1.400 Lux) bewohnten (Benedetti et al. 2001).

Die *Lichttherapie* ist das bekannteste Chronotherapeutikum und die Therapie erster Wahl bei Winterdepression sowie hilfreiche Zusatztherapie bei affektiven Störungen. Dafür werden spezielle Therapielampen mit Lichtintensitäten von 6.000 bis 10.000 Lux verwendet. Den Patienten wird eine morgendliche Lichtexposition für 30 bis 60 Minuten verordnet. Der starke Lichtpuls hat Zeitgebereffekt und kann den zirkadianen Rhythmus stabilisieren und die innere Uhr vorverschieben. Der Einfluss des Lichtpulses auf das zirkadiane System sowie der aktivierende Effekt von Licht erklärt die antidepressive Wirkung der Lichttherapie. Klare Hell-Dunkel-Wechsel mit hohen Lichtintensitäten am Tag sind auch bei Demenzpatienten wichtig, da deren innere Uhr aufgrund der neurodegenerativen Erkrankung geschwächt ist, und Störungen der Zirkadianrhythmik häufig auftreten. Aufenthaltsräume in Altenheimen mit Lichtinstallationen, die hohe Lichtintensitäten aufweisen, konnten den Schlaf-Wach-Rhythmus dementer Patienten stabilisieren und den Abbau kognitiver Leistungsfähigkeit verlangsamen (Riemersma-van der Lek et al. 2008).

Licht ist nicht gleich Licht

Die Netzhaut besitzt neben den bildgebenden Zapfen und Stäbchen auch Ganglienzellen, die lichtsensitiv sind und Lichtinformationen direkt an den SCN weiterleiten (Hattar et al. 2002). Diese retinalen Ganglienzellen enthalten das Photopigment Melanopsin, das insbesondere auf Licht im Wellenbereich von 460 bis 480 Nanometern empfindlich ist. In Laboruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass Licht in diesem Blaulichtspektrum die innere Uhr besonders stark beeinflusst, also die Melatoninproduktion stärker unterdrückt, und Probanden wacher fühlen lässt als grünwelliges Licht von 550 Nanometern (Cajochen et al. 2005).

Die Erkenntnis über die vom Lichtspektrum abhängige Wirkung des Lichts auf unsere innere Uhr führte zu einer Vielzahl von neuen wissenschaftlichen Fragestellungen und Anwendungsbereichen. So zeigte sich in einer kürzlich veröffentlichten Studie, dass ein LED-Computerbildschirm mit erhöhtem Blaulichtanteil die Müdigkeit am Abend unterdrückt und die Denkfähigkeit kurzfristig erhöht (Cajochen et al. 2011). Die langfristigen Folgen solcher neuen Lichtquellen auf unsere innere Uhr sind noch nicht bekannt. Lichtinstallationen mit erhöhtem Blaulichtanteil wurden auch in Großraumbüros getestet. Die Büroangestellten fühlten sich unter tageslichtähnlichen Bedingungen wacher und leistungsfähiger und gaben an, besser zu schlafen (Viola et al. 2008).

Künstliche Lichtquellen sind eine Herausforderung für unsere Biologie

Künstliche Lichtquellen sind aus unserem modernen Leben nicht mehr wegzudenken. Sie sind jedoch eine Herausforderung für unsere Biologie. Wirkungsstarkes Licht zur falschen Tageszeit verabreicht kann Desynchronisation und mangelndes Entrainment unseres zirkadianen Systems verursachen, was negative Folgen für unsere körperliche und psychische Gesundheit haben kann. Gezielt eingesetzt hat Licht aber auch antidepressive und leistungssteigernde Wirkung und findet Anwendung in der Medizin und in der Arbeitswelt. Für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen ist es daher wichtig, chronobiologische Erkenntnisse über die Lichtwirkung auf unsere Biologie zu berücksichtigen.

Literatur

- Aschoff J, Wever R (1962): Die Spontanperiodik des Menschen bei Ausschluß aller Zeitgeber. *Naturwissenschaften* 49: 337-342.
- Benedetti F, Colombo A, Barbini E, Campori E, Smeraldi E (2001): Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression. *Journal of Affective Disorders* 62(3): 221-223.
- Cajochen C, Frey S, Anders D, Späti J, Bues M, Pross A, Mager R, Wirz-Justice A, Stefani O (2011): Evening exposure to a light emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology* 110(5): 1432-1438.
- Cajochen C, Münch M, Kobiacka S, Kräuchi K, Steiner R, Oelhafen P, Orgül S, Wirz-Justice A (2005): High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation and heart rate to short wavelength light. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 90: 1311-1316.
- Hattar S, Liao HW, Takao M, Berson DM, Yau KW (2002): Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science* 295(5557): 1065-1070.
- Kleitman N (1987): *Sleep and Wakefulness*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Riemersma-van der Lek RF, Swaab DF, Twisk J, Hol EM, Hoogendijk WJ, van Someren EJ (2008): Effect of bright light and melatonin on cognitive and noncognitive function in elderly residents of group care facilities: a randomized controlled trial. *JAMA* 299(22): 2642-2655.
- Viola AU, James LM, Schlangen LJ, Dijk DJ (2008): Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance, and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 34(4): 297-306.

Es werde Licht ... und es wurde Licht – künstliche Beleuchtung und die Kolonisierung der Nacht

Dietrich Henckel

1. Licht in der Stadt

Als tagaktiver Primat ist der Mensch in hohem Maße von natürlichen Rhythmen gesteuert. Das gilt besonders für den Tag-Nacht-Rhythmus (vgl. Beitrag von Bromundt). Allerdings versucht sich die Menschheit schon seit jeher von natürlichen Rhythmen zu entkoppeln. Die Beispiele sind vielfältig und reichen heute bis zur Abkopplung von Jahreszeiten, wie Gewächshäuser und Indoor-Skihallen eindrücklich zeigen. Der Einsatz künstlicher Beleuchtung ist ebenfalls in diesen Kontext einzuordnen. Über Jahrtausende hinweg spielte sie – abgesehen vom Feuer und anderem brennendem Licht auf der Basis von Öl und Wachs – nur eine untergeordnete Rolle. Denn sie war teuer, aufwändig und dadurch auch in hohem Maße sozial selektiv. Die Verfügbarkeit von nächtlichem Licht war immer auch eine Art Machtbeweis und meist besonderen Anlässen vorbehalten.

Erst mit der Gasbeleuchtung und vor allem der elektrischen Beleuchtung konnte sich die nächtliche Beleuchtung – und das gilt sowohl für den Innenraum als auch für die Beleuchtung des öffentlichen und privaten Außenraumes – auf breiterer Front durchsetzen. Zwar gab es schon im 17. Jahrhundert erste Ansätze zur großflächigen Beleuchtung von Städten mit Öllampen, aber erst im 19. Jahrhundert wurde mit der Gasbeleuchtung (1824 Gründung der Imperial-Continental-Gas-Association in London) ein großer Schritt in Richtung einer allgemeinen Beleuchtung getan. Im Jahr 1882 wurde in Nürnberg die erste dauerhafte elektrische Straßenbeleuchtung Deutschlands installiert. Damit begann der Siegeszug der nächtlichen Stadtbeleuchtung.

Die Typologie des Lichts im Außenraum der Städte hat sich bis heute weitreichend aufgefächert (Auer 1994, erweitert):

- *Institutionelles Licht*
Systematisch errichtete Beleuchtungsanlagen, vor allem von öffentlichen Institutionen betriebenes, beaufsichtigtes und reguliertes Licht, wie beispielsweise die öffentliche Straßenbeleuchtung und die Beleuchtung von Verkehrsanlagen und -zeichen.
- *Merkantiles Licht*
Beleuchtungen von Schaufenstern sowie Werbeanlagen. Gerade in diesem Bereich hat mit der Entwicklung der Lichttechnik und dem Preisverfall für künstliche Beleuchtung eine enorme Aufrüstung und Ausdifferenzierung stattgefunden. Um Aufmerksamkeit zu erzeugen, sind solche Beleuchtungen meist extrem hell. Weiterhin können sie blinken, als Skybeamer über den Himmel wandern oder sind in Form von Screens im öffentlichen Raum umgesetzt.
- *Licht von Infrastruktur- und Gewerbeanlagen*
Diese Form der Beleuchtung spielt im Zuge der Zunahme von Logistik- und Verkehrsknoten sowie der Etablierung neuer Konzentrationen vor allem von Dienstleistungs- und Freizeitanlagen eine zunehmende Rolle. Dazu gehören unter anderem Flughäfen, Bahnhöfe, Häfen, Raffinerien, Tankstellen, Einkaufszentren, Sportanlagen und Arenen.
- *Individuelles Licht*
Auch das Licht, das aus den Fenstern von Wohn- und Bürohäusern in den öffentlichen Raum abstrahlt, macht diesen heller. Zunehmend werden auch – nicht nur zur Weihnachtszeit – private Gebäude mit allerlei Sonderinstallationen versehen.

Es werde Licht ... und es wurde Licht – künstliche Beleuchtung und Kolonisierung der Nacht

- *Inszeniertes Licht*

Mit der Verbilligung der Beleuchtung greift auch das Anstrahlen öffentlicher Gebäude wie Kirchen, Schlösser, Denkmale oder markanter Architekturen, die aus Gründen der Imageproduktion hervorgehoben werden sollen, immer weiter um sich. Lichtinstallationen die anfangs noch als Event Aufmerksamkeit auf sich zogen, sind heute längst üblicher Standard.

- *Rituelles Licht*

Temporäre Beleuchtung von Festen oder die Beleuchtung zur Weihnachtszeit. Immer mehr Städte führen Festivals of Light durch.

- *Mobiles Funktionslicht*

Autoscheinwerfer und die Beleuchtung öffentlicher Verkehrsmittel, die nach außen abstrahlt. Auch diese Art der Erhellung des Raumes spielt eine wachsende Rolle.

Das künstliche Außenlicht aller genannten Lichttypen konzentriert sich vor allem in den Städten. Das Ausmaß der Beleuchtung wird auch als Indikator wirtschaftlicher Kraft einer Region interpretiert (Galloway et al. 2010). Intuitiv wird dies sofort anschaulich an der berühmten Fotomontage *Die Welt bei Nacht* der NASA, die vor allem die verstäderten und ökonomisch bedeutsamen Räume der Welt hervortreten lässt, so dass vor allem USA, Europa und Ostasien, sowie die Städte an den Küsten der Kontinente besonders hell hervortreten.

2. Die Eroberung der Stadtnacht

Erst die künstliche Beleuchtung erlaubte es, vermehrt Aktivitäten in die Nacht zu verlegen. Murray Melbin beschreibt in seiner Studie über die Kolonisierung der Nacht (1987) sehr anschaulich, wie und nach welchen Mustern die Eroberung der Stadtnacht erfolgte.

Die Nutzung der Nacht hat zwei Dimensionen:

- Die Ausdehnung *wirtschaftlicher Aktivitäten* in die Nacht, um Produktionszeiten auszuweiten, Kapital länger zu nutzen oder zumindest Wartungs- und Reparaturzeiten in die Nacht zu verlegen.
- Die Eroberung der Dunkelheit und der Nacht für *Freizeit und Vergnügen*.

Diese Prozesse setzten im 19. Jahrhundert in größerem Umfang ein und sind noch lange nicht abgeschlossen. Viele Indikatoren wie Veränderungen von Arbeitszeiten, Zunahme von Schicht- und Nachtarbeit und des öffentlichen und privaten Nachtverkehrs zeigen die wachsende Nutzung der Nacht. Und das ist mit weitreichenden Veränderungen gesellschaftlicher und räumlicher Organisation verbunden:

- Arbeits- und Ruhezeiten verschieben sich. Die Koordination gemeinsamer Zeiten wird durch die heterogene Struktur der Arbeitszeiten schwieriger.
- Durch die Ausdehnung vieler Funktionen nimmt die Verträglichkeit unterschiedlicher Funktionen ab, das Ausmaß raumzeitlicher Konflikte – vor allem Licht und Lärm – aber zu.
- Die Ausdehnung von Aktivitäten in Zeiten, die gegenläufig zum menschlichen Biorhythmus sind, verursachen eine Reihe negativer Nebeneffekte wie Gesundheitsschäden durch Nacht- und Schichtarbeit, Zunahme von Unfällen infolge von Unaufmerksamkeit oder Übermüdung, erhöhtes Risiko für Krebserkrankungen und die damit einhergehenden gesellschaftlichen Kosten.

Mit der Kolonisierung von Nacht und Dunkelheit werden einst selbstverständliche Qualitäten wie nächtliche Ruhe und natürliche Dunkelheit zu Luxusgütern. Das könnte bedeuten, dass in

Es werde Licht ... und es wurde Licht – künstliche Beleuchtung und Kolonisierung der Nacht

Zukunft eine neue Rivalität um diese Güter mit entsprechenden räumlichen und sozialen Selektions- und Verteilungswirkungen auftreten könnte.

3. Die Regulierung der Nacht und des Lichts

Man muss davon ausgehen, dass zusätzliche Beleuchtung und die weitere Ausdehnung von Aktivitäten weitgehend nach dem Prinzip des Sperrrieeffekts funktionieren: Einmal etablierte Beleuchtung und einmal eroberte zeitliche Areale werden nur unter sehr spezifischen Bedingungen – meist Katastrophen oder schwere ökonomische Krisen – wieder zurückgenommen.

Versuche, Nacht und Licht zu steuern, stehen bestenfalls am Anfang. Schon allein die Definition, wann Nacht ist, ist je nach Regelungsbereich eine andere. Bislang gibt es noch keine Bestrebungen, die für die Ausdehnung von Aktivitäten in die Nacht Verantwortlichen an den resultierenden volkswirtschaftlichen Kosten zu beteiligen. Die Sensibilität gegenüber diesen Zusammenhängen muss sich erst noch entwickeln.

Licht ist im Grundsatz positiv besetzt und wird mit Sicherheit, Schönheit und kreativer Gestaltung in Verbindung gebracht. Die sprachliche Nähe von *Beleuchtung* und *Erleuchtung* ist kein Zufall. Daher sind die Gefahren des künstlichen Lichts auch relativ schwer in die öffentliche Debatte einzubringen. Gleichzeitig ist die Verschmutzungswirkung von Licht in ihrer Bewertung auch weniger eindeutig als bei Lärm- oder Luftverschmutzung, da keine stoffliche und nachhaltig wahrnehmbare Belastung vorliegt. Das macht die Auseinandersetzung und Ermittlung von Grenzwerten deutlich schwieriger als in anderen Bereichen der Umweltfolgen wirtschaftlicher Aktivitäten.

Gleichwohl gewinnt die Debatte um die Folgen des Lichts an Fahrt. Gerade in den Städten geht es nicht mehr nur um die Effizienz der Beleuchtung und die Einsparwirkungen neuer Techniken auf Energieverbrauch und kommunalen Haushalt, sondern auch um Fragen der intelligenteren Beleuchtung. Welches Licht wird wann und wo tatsächlich gebraucht? Es gilt, unnütze Beleuchtung zu vermeiden. In diesem Sinne veröffentlichen unterschiedliche Akteure Handreichungen, und immer mehr Städte legen so genannte Lichtmasterpläne auf, in denen es nicht nur um eine effiziente Beleuchtung oder die Gestaltung des nächtlichen Lichtraumes geht, sondern auch darum, die negativen Wirkungen nächtlicher Beleuchtung zu beachten und zu reduzieren.

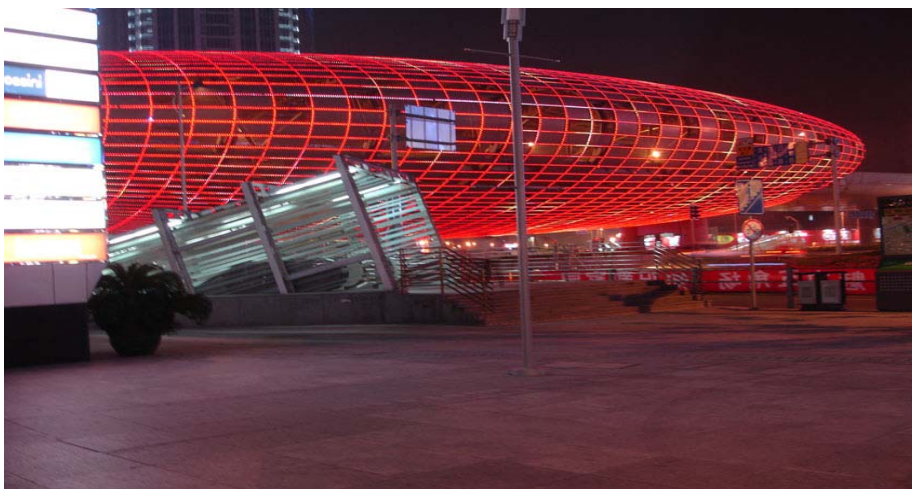


Abbildung 1: Straßenüberführung in Shanghai

Foto: Peter Sailer

Es werde Licht ... und es wurde Licht – künstliche Beleuchtung und Kolonisierung der Nacht

Die Lichtverschmutzung und die Regulierung des Lichts sind in der Umweltpolitik und der Umweltvorsorge noch nicht etabliert. Die neuen Ansätze geben aber Grund zur Hoffnung, dass die Debatte zum Schutz der Nacht an Bedeutung gewinnt und sich zu etablieren beginnt.

Literatur

Auer G (1994): Das vierte Licht der Stadt. Über Stadtlicht im allgemeinen und Ynn Kersalés Lichtkunst im besonderen. In: Flagge, I. (Hrsg.): *Jahrbuch für Licht und Architektur; Annual of Light and Architecture, 1993*. Berlin: Ernst W. & Sohn Verlag: 9-19.

Birkefeld R, Jung M (1994): Die Stadt, der Lärm und das Licht. Die Veränderung des öffentlichen Raumes durch Motorisierung und Elektrifizierung. Seelze: Kallmeyer'sche Verlagsbuchhandlung.

Eberling M, Henckel D (2002): Alles zu jeder Zeit? Die Städte auf dem Weg zur kontinuierlichen Aktivität. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik.

Gallaway T, Olsen RN, Mitchell DM (2010): The economics of global light pollution. *Ecological Economics* 69: 658-665.

Melbin M (1987): *Night as Frontier. Colonizing the World after Dark*. New York: Free Press.

Moore-Ede MC (1993): *The 24-hour Society: The Risks, Costs and Challenges of a World that Never Stops*. London: Piatkus Books.

Zuviel Licht im Dunkel? Natürliches Licht und das Ausmaß der Lichtwirkung

Andreas Hänel

1. Der natürlich dunkle Himmel

Der nächtliche Himmel ist selbst in Regionen, die nicht durch künstliches Licht beeinträchtigt sind, nicht vollständig dunkel – verschiedene natürliche Quellen hellen ihn auf.

Zunächst wird die Nacht mit der *Dämmerung* immer dunkler und erst nach Ende der astronomischen Dämmerung, die dadurch definiert ist, dass die Sonne 18 Grad unter dem Horizont steht, wird es kaum noch dunkler. In den Sommermonaten sinkt die Sonne in nördlichen Breiten allerdings nicht so tief. Der Himmel über dem nördlichen Horizont bleibt aufgehellert, was als *Mitternachtsdämmerung* bezeichnet wird.

Von den Himmelsobjekten ist natürlich der *Mond* am markantesten, der die Nacht in monatlichem Rhythmus (ein synodischer Monat dauert 29,53 Tage) aufhellt. In den Tagen um Neumond ist der Himmel ganz dunkel. Mit zunehmendem Halbmond ist vor allem die erste Nachthälfte aufgehellert. Bei Vollmond ist der Himmel die ganze Nacht über erhellt. Der abnehmende Halbmond im letzten Viertel leuchtet nur in der zweiten Nachthälfte. Am Abend bleibt es daher dunkel.

Natürlich ist der Einfluss des Mondes umso stärker, je stärker beleuchtet er erscheint. Durch die Streuung seines Lichts wird der Himmelshintergrund aufgehellert. Bei *Vollmond* sind daher nur wenige helle Sterne am Himmel zu sehen. Das Mondlicht hellt auch die nächtliche Landschaft auf. Die maximale horizontale Beleuchtungsstärke liegt bei hoch stehendem Mond bei etwa 0,25 Lux.

Am westlichen Abendhimmel ist im Frühjahr nach Ende der Dämmerung bei ungestörtem Nachthimmel ein pyramidenförmiger Lichtschein zu erkennen. Das ist das so genannte *Zodiakallicht*. Es entsteht durch Reflexion und Streuung des Sonnenlichts am Staub unseres Sonnensystems. Unter sehr guten Bedingungen lässt sich der Schein längs des Tierkreises über den ganzen Himmel verfolgen. Gegenüber der Sonne wird er wieder heller, das ist der Gegenschein. Der Zodiakallichtkegel ist auch im Herbst am Morgenhimmel vor Beginn der Morgendämmerung im Osten zu sehen. Das Zodiakallicht ist aber nur unter ganz dunklem Himmel zu sehen und seine Erkennbarkeit damit ein gutes Kriterium für die Qualität eines natürlich dunklen Nachthimmels (astronomisch: Himmelsqualität / *sky quality*).

Besonders eindrucksvoll sind *Polarlichter*, die durch Wechselwirkung energiereicher Teilchen, die bei Sonneneruptionen ausgestoßen wurden, mit den Atomen und Molekülen der Hochatmosphäre entstehen. Dadurch wird der Sternenhimmel ebenfalls erheblich aufgehellert. Bevorzugt sind Polarlichter in den höheren Breitengraden zu beobachten, doch selbst in Mitteleuropa wären gelegentlich welche zu sehen – wenn sie nicht vom aufgehellten Himmel verschleiert würden. In geringerem Maß ist das *Nachthimmelsleuchten* fast immer vorhanden und kann als schwacher grünlicher Schein über dem Horizont beobachtet werden, wenn kein künstliches Licht stört.

Auch das Licht der für das bloße Auge unsichtbaren Sterne hellt den Himmel auf. Am besten lässt sich dies an der *Milchstraße* beobachten. Wenn sie an einem dunklen Ort am Himmel steht, erscheint der Himmel merklich heller. Am abendlichen Frühjahrshimmel liegt die Milchstraße flach am Horizont und beeinflusst den nächtlichen Himmel kaum. Im Herbst erstreckt sich die helle Sommermilchstraße abends über den ganzen Himmel, und er erscheint etwas heller.



Abbildung 1: Das Zodiakallicht und die Milchstraße über dem Naturpark Westhavelland

Foto: Andreas Hänel

2. Das Ausmaß der Lichtwirkung

Doch inzwischen ist der nächtliche Himmel durch künstliche Lichtquellen so stark aufgehellert, dass die schwachen Himmelsphänomene kaum noch zu sehen sind. Dazu gehört vor allem das schwache Leuchten flächenhafter Objekte wie *Kometen, Gasnebel oder Galaxien*. Nachdem die Photonen ferner Galaxien Millionen Jahre ungestört im Kosmos unterwegs waren, werden sie auf dem Weg durch unsere Atmosphäre im letzten Sekundenbruchteil durch das künstliche Licht überstrahlt und für uns unsichtbar (vgl. Abbildung 2).

Die Aufnahmen der vom amerikanischen Militär eingesetzten *DMSP-Satelliten* (DMSP = Defense Meteorological Satellite Program), deren empfindliche Detektoren selbst schwache nächtliche Lichtquellen nachweisen können, zeigen deutlich das Ausmaß und die Zunahme des künstlichen Lichts. Ihre Daten werden seit 1993 jährlich vom *National Geophysical Data Center (NGDC)* als reduzierte Karten zur weiteren Auswertung veröffentlicht.

Die *Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde* hat diese Karten für Mitteleuropa aufbereitet und stellt sie auf ihrer Internetseite zur Verfügung. Die Daten sind zwar nicht kalibriert, und eine scheinbare Zunahme der Lichtverschmutzung von einem Jahr zum nächsten könnte auch auf einen empfindlicheren neuen Satelliten zurückzuführen sein (wie beispielsweise im Jahr 2010). Dennoch zeigen sie deutlich das Ausmaß des nach oben gerichteten, und damit vergeudeten Lichts. Auffällig ist, dass sich das Licht nicht nur auf die Ballungsräume beschränkt, sondern immer weiter in ehemals dunkle Regionen ausbreitet. Verantwortlich dafür ist der zunehmende Flächenverbrauch und der ungebremsste Wunsch möglichst jede Straße zu beleuchten (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 2: Das Sternbild Orion mit schwach rötlich leuchtenden Gasnebeln, aufgenommen im Biosphärenreservat Rhön

Foto: Andreas Hänel

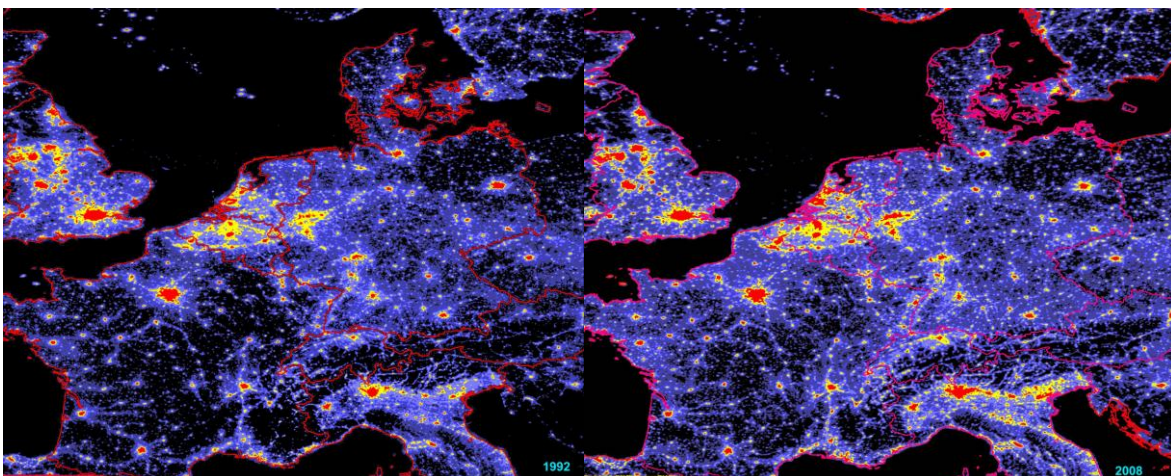


Abbildung 3: DMSP-Karten des nach oben gerichteten Lichts aus den Jahren 1992 und 2008

Quelle: A. Hänel; basierend auf Daten des NOAA National Geophysical Data Center. DMSP-Daten wurden von der US Air Force Weather Agency gesammelt.

Zuviel Licht im Dunkel? Natürliches Licht und das Ausmaß der Lichtwirkung

Wie sich dieses Licht auswirkt, zeigen besonders deutlich Fischaugenaufnahmen des Nachthimmels in unterschiedlich stark beleuchteten Gebieten. Die Aufnahmebedingungen wie Belichtungszeit, Blende, Empfindlichkeit und Kamera waren dabei identisch.

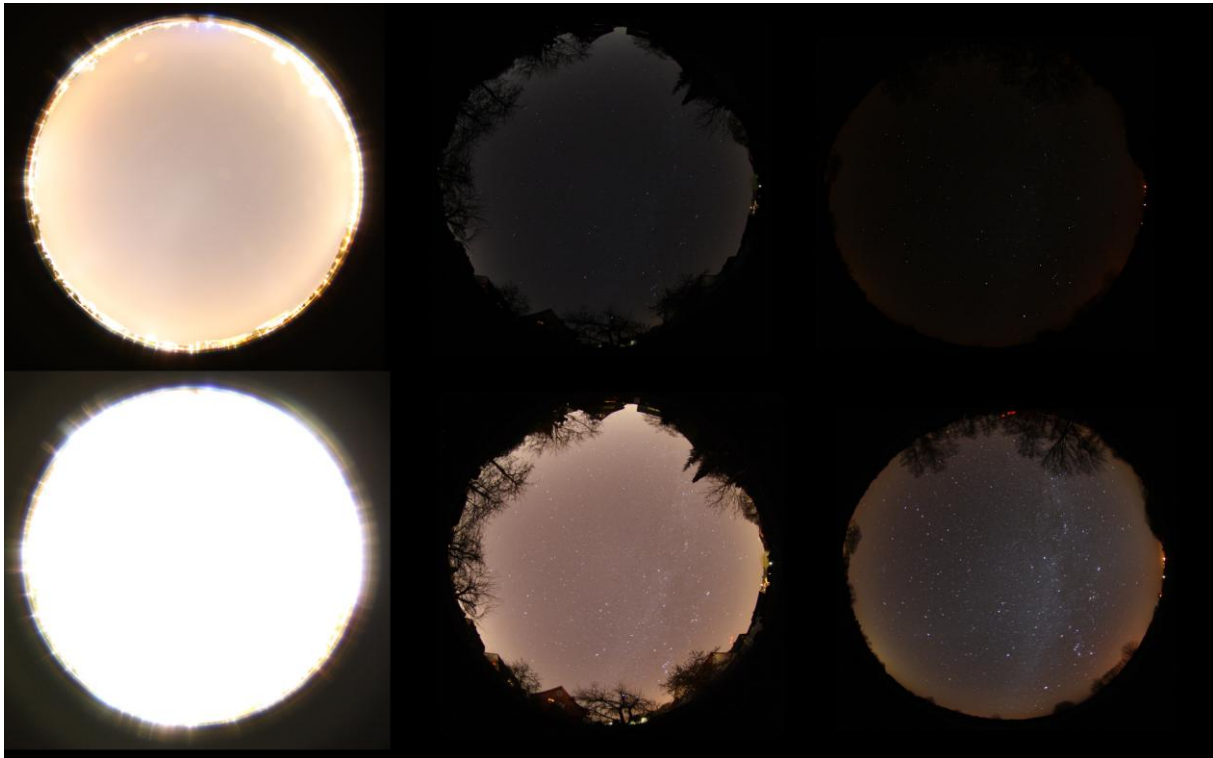


Abbildung 4: Fischaugenaufnahmen des Nachthimmels

Links: Zentrum von Berlin (Himmelselligkeit $17.8 \text{ mag/arcsec}^2$). Mitte: Vorort von Osnabrück ($20.55 \text{ mag/arcsec}^2$). Rechts: Naturpark Westhavelland ($21.45 \text{ mag/arcsec}^2$). Obere Reihe: Belichtungszeit 30 Sekunden, untere Reihe Belichtungszeit 180 Sekunden). Die Himmelselligkeit wird in mag/arcsec^2 gemessen. Je höher der Wert ist, desto dunkler ist der Himmel.

Foto: Andreas Hänel

In den Städten ist der Himmel so stark aufgehellert, dass nur die hellsten Sterne sichtbar sind. Selbst in entlegenen Gebieten stören die Lichtglocken weit entfernter Städte am Horizont den Blick in einen natürlich dunklen Nachthimmel. Da es aber auch in Deutschland noch dunkle Orte gibt, wo der Sternhimmel seine volle Pracht zeigt, ist deren Schutz umso wichtiger.

Literatur und Link

Hänel A (2010): Lichtsmog von oben betrachtet. *Sterne und Weltraum* 1/2010: 78.

Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde: www.lichtverschmutzung.de

Woher kommt das Licht? Räumliche Betrachtung der Lichtverschmutzung

Helga Kuechly, Christopher Kyba und Franz Hölker

1. Einführung

In der Nacht ist die künstliche Beleuchtung eines der deutlichsten Kennzeichen für menschliche Aktivität auf der Erde. Wie bei vielen anderen anthropogenen Umweltveränderungen sind auch bei der künstlichen Beleuchtung die unmittelbaren Vorteile weit offensichtlicher als ihre unerwünschten Nebenwirkungen. Auch wenn über ein Drittel der Menschen in Deutschland die Milchstraße noch nie mit eigenen Augen gesehen hat (Emnid & P.M. Magazin 2002), sind sich nur wenige der Nachteile der künstlichen Beleuchtung bewusst. Daher verwundert es nicht, dass trotz energieeffizienterer Technologien die Kosten für die künstliche Beleuchtung nicht zurückgegangen sind – vielmehr werden heute immer mehr Straßen und Wege, Gärten und Gebäude beleuchtet.

Aber woher kommt das Licht genau? Lichtquellen und Lichtintensitäten, die Verteilung und die zeitliche Veränderung von Lichtemissionen lassen sich sehr gut mittels räumlicher Datenerhebung identifizieren, darstellen und analysieren. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die Verfahren und diskutiert Möglichkeiten zur Quantifizierung von Lichtverschmutzung.

2. Messung der räumlichen Verteilung von Lichtverschmutzung

Auf die zunehmende Erhellung des Nachthimmels durch künstliche Beleuchtung in Städten (engl. *skyglow*) wurden zunächst Astronomen aufmerksam. In den 1970er Jahren haben sie die ersten Messungen zur Lichtverschmutzung durchgeführt. Die Himmelshelligkeit wird mit Lichtmessgeräten (*Sky Quality Meter*, SQM) oder anderen photometrischen Methoden aufgenommen und kann anschließend räumlich und zeitlich analysiert werden. Karten helfen dabei, die räumlichen Muster und die Ausbreitung des Lichtdoms zu veranschaulichen.

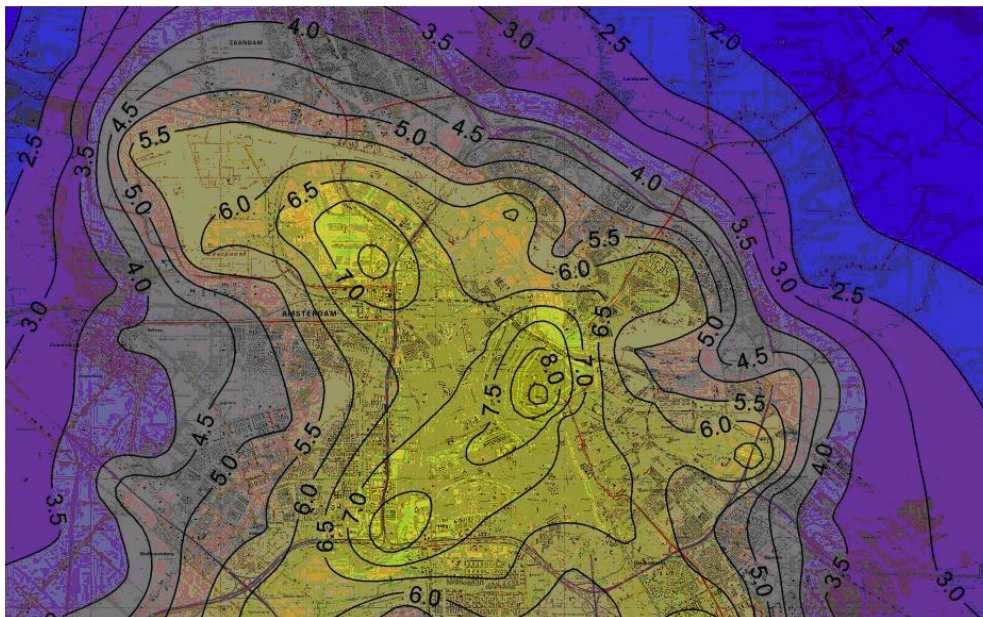


Abbildung 1: Karte mit Isolinien der Himmelshelligkeit (in mcd/m^2) für die Stadt Amsterdam

Quelle: Spoelstra & Schmidt im Auftrag der Stadt Amsterdam 2010:
<http://www.amsterdam.nl/publish/pages/316255/lichtvervuiling.jpg>

Woher kommt das Licht? Räumliche Betrachtung der Lichtverschmutzung

Daten zur Himmelselligkeit werden an vielen Orten der Welt fast täglich aufgenommen und gesammelt, wie beispielsweise bei der Messnetzkampagne *SQM-Network*. Ein erster Eindruck über die Lichtverschmutzung kann aber schon allein durch einfaches Zählen der sichtbaren Sterne eines Sternbildes gewonnen werden, wie dies im Rahmen der internationalen Bürgerkampagne *GLOBE at NIGHT* durchgeführt wird.

Darüber hinaus können mit Hilfe von Satelliten flächendeckende Informationen über Lichtemissionen gewonnen werden. So liefert seit über 20 Jahren das *Operational Linescan System* des *Defense Meteorological Satellite Program (DMSP-OLS)*, der weniger bekannte argentinische *Satelite de Aplicaciones Cientificas (SAC-D)* und das neue im Oktober 2011 in Betrieb gegangene *Visible/Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS)* auf dem Wetter- und Umweltsatelliten *Suomi NPP* weltweite Daten von der Erde bei Nacht.

Auch Astronauten der *Internationalen Raumstation ISS* dokumentieren die nächtliche Situation von vielen Städten. Mit der Mission *Nightsat* und *Nightpod* sind weltweit beeindruckende Nachtaufnahmen entstanden.



Abbildung 2: Berlin bei Nacht von der Raumstation ISS 2012 (Maßstab 1 : 500.000)

Quelle: ESA/NASA, 2012

Nachtaufnahmen in weit höherer Auflösung können mit flugzeuggestützten Luftbildern erreicht werden. Diese existieren bisher jedoch nur für wenige Städte, wie zum Beispiel die Aufnahmen des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)* von München oder die des Projektes *Verlust der Nacht* über Berlin.

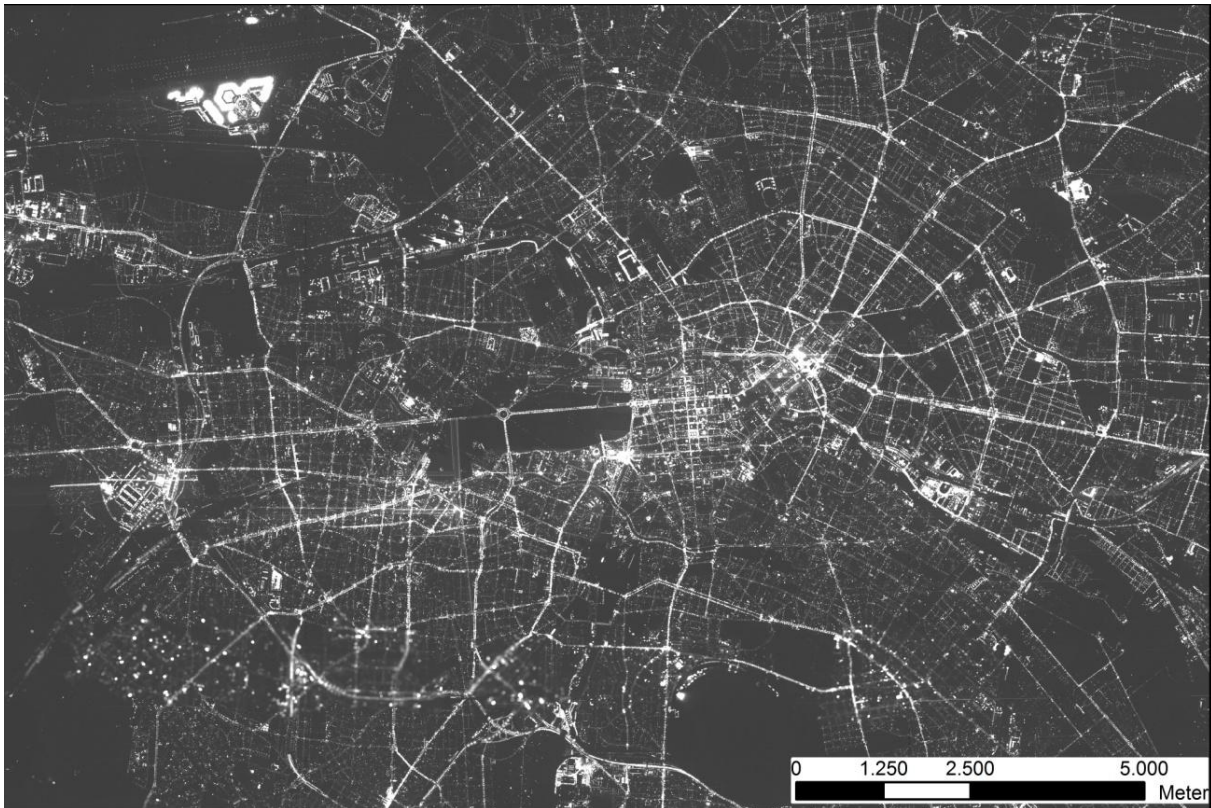


Abbildung 3: Luftbildaufnahme von Berlin bei Nacht (Maßstab 1 : 100.000)

Quelle: IGB/ FU Berlin, 2010

3. Räumliche Analyse von Lichtquellen

Eine räumliche Analyse der Lichtquellen und Lichtintensitäten wurde bislang nur in einigen wenigen Pilotprojekten durchgeführt. Manchmal bieten besondere Ereignisse oder Veranstaltungen auch interessante Analysemöglichkeiten: Wenn es beispielsweise zu einem länger andauernden Stromausfall kommt oder einzelne Beleuchtungsarten für kurze Zeit abgeschaltet werden. So halbierte sich in Reykjavik (Island) die Himmelhelligkeit als die Straßenbeleuchtung anlässlich eines Filmfestivals für kurze Zeit abgeschaltet wurde (Hiscocks und Guðmundsson 2006).

Die bis heute zuverlässigste aber zugleich auch aufwändigste Methode Lichtemissionen zu ermitteln, ist die so genannte bodengestützte Untersuchung, bei der jede einzelne Lichtquelle untersucht wird. In Flagstaff (USA) ergab eine solche Untersuchung, dass die gesamte Lichtverschmutzung der Stadt zu 36 Prozent von kommerzieller Beleuchtung ausging. Beleuchtete Sportplätze trugen zu 32 Prozent zur nächtlichen Helligkeit bei, Verkehrswege zu zwölf und private Haushalte zu neun Prozent (Luginbuhl et al. 2009).

Die Auflösung der aktuell zur Verfügung stehenden Satellitendaten ist zu gering, um die Identifizierung einzelner Lichtquellen zu ermöglichen. Lediglich die Aufnahmen der Raumstation ISS könnten hierzu herangezogen werden.

Vom Flugzeug aus aufgenommene Luftbilder sind dagegen für Analysen der Lichtverschmutzung sehr gut geeignet (Levin und Duke 2012). Sie haben eine hohe Auflösung und sind im Vergleich zu bodengestützten Untersuchungen mit einem wesentlich geringeren Zeitaufwand verbunden.

Im interdisziplinären Forschungsverbund *Verlust der Nacht* wurde erstmals mit Hilfe von Luftbilddaten eine Analyse der Lichtemissionen von Berlin durchgeführt (Kuechly et al.

2012). In dem Untersuchungsgebiet, das 42 Prozent der Fläche der Stadt abdeckt, wurden unterschiedliche Stadtstrukturen, wie beispielsweise Straßen, Industriegebiete und Grünflächen, untersucht und besonders helle Lichtquellen identifiziert. Fast ein Drittel des nach oben gerichteten Lichtes kam dabei von Straßen, einschließlich der Straßenbeleuchtung, Auto-Scheinwerfern und Werbeanzeigen. Der Anteil der Industrie- und Gewerbegebiete lag bei 16 Prozent und der von öffentlichen Gebäuden bei neun Prozent. Zu den besonders hellen Lichtquellen gehörten Innenstadtbereiche, wie beispielsweise der Potsdamer Platz, die aus ästhetischen Gründen oder zu Werbezwecken besonders stark beleuchtet sind, sowie Flughäfen und Baustellen, bei denen die Beleuchtung vor allem der Betriebssicherheit dient. Wälder, Parkanlagen und Friedhöfe bildeten im Kontrast dazu wertvolle Dunkelräume in Berlin.

4. Ausblick

Die Identifizierung der Hauptemittenten könnte vor allem bei der Planung von Handlungsmaßnahmen zur Verminderung der Lichtverschmutzung in einer Region herangezogen werden. Gerade bei der Beleuchtung von öffentlichen Räumen, wie Verkehrswegen und Gebäuden hat die Politik die größten Einflussmöglichkeiten. Die Erarbeitung von Lichtkonzepten in vielen deutschen Städten wie auch in Berlin zeigt, dass die Bereitschaft besteht, öffentliche Beleuchtung in urbanen und naturnahen Raumtypen zu regulieren. Hoch aufgelöste Nachtaufnahmen können hierbei die Konzeptualisierung und Priorisierung von Maßnahmen entscheidend unterstützen.

Literatur

- Doll CNH (2008): CIESIN Thematic Guide to Night-time Light Remote Sensing and its Applications. CIESIN Thematic Guide to Night-time Light Remote Sensing and its Applications: 1-2.
- Hiscocks PD, Guðmundsson S (2010): The contribution of street lighting to light pollution. *J. Roy. Astron. Soci. Can.* 104: 190-196.
- Kuechly HU, Kyba CCM, Ruhtz T et al. (2012): Aerial survey and spatial analysis of sources of light pollution in Berlin, Germany. *Remote Sens. Environ.* 126: 39-50.
- Luginbuhl CB, Lockwood GW, Davis DR et al. (2009): From the ground up I: Light pollution sources in Flagstaff, Arizona. *Publ. Astron. Soc. Pac.* 121: 185-203.
- Levin N, Duke Y (2012): High spatial resolution night-time light images for demographic and socio-economic studies. *Remote Sens. Environ.* 119: 1-10.

Links

- DLR: http://www.dlr.de/eoc/en/DesktopDefault.aspx/tabid-5475/13188_read-33514/gallery-1/gallery_read-Image.60.20900/
- ESA/NASA (2012): Tracking cities at night from the Space Station. http://www.esa.int/SPECIALS/Pr omISse/SEM3HNEWFOH_0.html
- Globe at Night: <http://www.globeatnight.org/map/>
- Nightpod: http://www.esa.int/esaHS/SEM3HNEWFOH_iss_0.html
- Nightsat: <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/nightsat.html>
- NOAA OLS – Operational Linescan System: <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/sensors/ols.html>
- P.M. Magazin, TNS-Emnid (2002): http://www.presseportal.de/pm/24835/405697/grune_jahr_p_m_magazin?search=nachts+wird+zu+viele+Energie+verschwendet
- SQM-Network: <http://www.sqm-network.com>

Besser beleuchten – Intensität, spektrale Zusammensetzung und Timing der Beleuchtung

Thomas Posch

1. Intensität der Beleuchtung

Das menschliche Auge hat im Vergleich zu anderen Sinnesorganen einen sehr großen Wahrnehmungsbereich. Es ist in der Lage, einen ungleich größeren Bereich von Lichtintensitäten zwischen Wahrnehmbarkeits- und Schmerzgrenze zu empfangen und zu unterscheiden, als beispielsweise unsere Haut Temperaturunterschiede feststellen kann.

Ein Vergleich soll dies verdeutlichen: Um diesen fair zu gestalten, muss auf die Kelvin-Skala Bezug genommen werden. Null Grad Celsius entsprechen etwa 273 Grad Kelvin. Temperaturen oberhalb von 50 Grad Celsius, also 323 Grad Kelvin, sind für uns auf Dauer schmerzhaft. Ebenso tun uns Temperaturen weh, die unterhalb von minus 40 Grad Celsius, also 233 Grad Kelvin, liegen. Und nicht nur das – wir können dann keine Temperaturunterschiede mehr erfahren und nicht einmal mehr klar unterscheiden, ob ein Gegenstand heiß oder kalt ist. Bilden wir nun das Verhältnis zwischen oberer und unterer Wahrnehmungsgrenze der Haut gegenüber Temperaturen, so erhalten wir einen Wert von $323/233 = 1,39$. Beim Auge liegt das entsprechende Verhältnis der Wahrnehmungsgrenzen von Lichtintensitäten bei etwa 1.000.000.000.000. Das heißt: Der Anpassungsbereich unseres Auges gegenüber Helligkeiten ist im Vergleich zum Anpassungsbereich unserer Haut gegenüber Temperaturen ein wahrer Goliath!

Wiener Halbnachtschaltung blieb unbemerkt

Dies hat folgende Konsequenz: Da unser Auge so gewaltige Intensitätsunterschiede bewältigen kann, machen ihm relativ kleine Änderungen – sofern diese gleichmäßig erfolgen – fast nichts aus. Wir bemerken sie gar nicht, weil unser Auge als „Anpassungsgigant“ sofort nachreguliert. Ein konkretes Beispiel: Die Stadt Wien senkt um 23 Uhr in den meisten Straßenzügen gleichmäßig die Beleuchtungsstärke um 50 Prozent (Wiener Halbnachtschaltung). Wer bemerkt dies? Und wer bemerkte auch nur, dass die Uhrzeit der Reduktion seit dem Jahr 2008 23 Uhr ist, davor aber Mitternacht war? Bemerkten es über drei Millionen Wiener Augen? Die Antwort ist: Nein. Bemerkte hat es die Stadtkasse. Allein durch die Vorverlegung der Reduktion um eine Stunde konnten über 200.000 Euro Einsparung pro Jahr erreicht werden. Und Astronomen, welche die Lichtverschmutzung in Wien mit Detektoren objektiv messen, konnten durch diese Maßnahme eine deutliche Reduktion der Lichtverschmutzung feststellen (vgl. <http://astro.univie.ac.at/institut/lichtverschmutzung>).

Halbes Licht ist gefühlt ganzes Licht

Unser Auge „denkt“ und „fühlt“ in Zehnerpotenzen. Zehnmal so hell, zehnmal so dunkel – das kann unser Auge unterscheiden. Fünfmal so hell, fünfmal so dunkel – darüber lässt sich streiten. Aber zweimal so hell, zweimal so dunkel – das ist für unser Auge nur schwer feststellbar. Allerdings unter der Bedingung, dass es sich um die *Gesamthelligkeit* einer beleuchteten Szene, wie beispielsweise einer Straße handelt, die um den Faktor zwei verändert wird. Anders sieht es aus, wenn ein einzelnes Licht bei sonst gleichbleibender Umgebungshelligkeit allein halbiert wird. Das merken wir sofort. Aber wenn ein ganzer Straßenzug in der Nacht nur noch halb so hell beleuchtet wird, dann tun wir uns schwer, dies mit bloßem Auge auch nur zu konstatieren. Ist das nicht eine großartige Chance? Prinzipiell wäre es folglich möglich, die Intensität der Außenbeleuchtung einer ganzen Stadt zu halbieren, ohne dass es die Mehrheit der Bevölkerung bemerkt.

Vor rund 100 Jahren war es vielerorts noch üblich, die Straßenbeleuchtung in Vollmondnächten auszuschalten. Wahrscheinlich hatte die Straßenbeleuchtung damals eine Intensität ähnlich der des Vollmonds von etwa 0,25 Lux – zumindest in Nebenstraßen. Die heutige Straßenbeleuchtung ist auf stark befahrenen Straßen mit 25 bis 75 Lux um das 100fache bis 300fache heller. Unsere Straßen werden heute natürlich stärker und schneller frequentiert als noch vor 100 Jahren. Doch eine Reduktion auf die Hälfte, ein Drittel oder gar ein Viertel wäre zu verkehrsschwachen – zugleich für den Schlaf besonders relevanten Zeiten (vgl. Beitrag Knab) – sehr wohl diskutabel. Städte wie Augsburg demonstrieren uns *ad oculos*, wie gut das geht (vgl. Beitrag Isépy).

2. Spektrale Zusammensetzung der Beleuchtung

Im Spektrum des Sonnenlichts sind alle Farben von violett, blau, grün, gelb, rot bis dunkelrot vertreten. Keine Farbkomponente fehlt. Es setzt sich sogar noch ins Ultraviolette und ins Infrarote hinein fort. Die bläulichen Farbkomponenten entsprechen so genannten kurzen Wellenlängen, die gelblichen und rötlichen Farbkomponenten werden als langwellig bezeichnet. Wie jeder Stern hat auch die Sonne einen bestimmten Farbbereich, in dem sie am stärksten strahlt. Das Strahlungsmaximum der Sonne liegt im grünlich-gelben Bereich bei etwa 500 Nanometern.

Mensch und Tier sind von der Erdgeschichte her an sonnenähnliches Licht gewöhnt, das heißt an Licht, das alle Farbkomponenten enthält. In der Natur war nie eine andere starke Lichtquelle als die Sonne verfügbar. Auch der Mond, die stärkste natürliche Lichtquelle der Nacht, hat ein sehr sonnenähnliches Spektrum. Es setzt sich ebenfalls bis in den Infrarotbereich fort und enthält neben Licht auch Wärmestrahlung, auch wenn wir sein Licht als eher „kalt“ empfinden.

Hohe Blauanteile in vielen Gasentladungslampen

Aus Gründen der Energieeffizienz wird unsere heutige Außenbeleuchtung von Gasentladungslampen dominiert. Diese haben manche Vorteile, aber man sollte sich dessen bewusst sein, dass sie kein sonnenähnliches Licht ausstrahlen. Das Licht von Gasentladungslampen und auch jenes von Energiesparlampen (Kompakt-Leuchtstoffröhren) enthält nie ein Kontinuum an Farbkomponenten, sondern lediglich einzelne Spektrallinien (vgl. Abbildung 1)

Eine große Zahl der eingesetzten Gasentladungslampen hat stärkere spektrale Komponenten im kurzwelligen, also im grünen und blauen Bereich, als in den langwelligen Bereichen. Doch gerade das ist aus drei voneinander unabhängigen Gründen ein Problem:

- *Blaues Licht wird stark gestreut*

Gemäß dem Rayleigh-Gesetz wird kurzwelliges, blaues Licht in klarer Luft wesentlich stärker gestreut als langwelliges, rotes Licht. Darum erscheint der Taghimmel blau. Streuung bedeutet im Kontext der künstlichen Beleuchtung Verlust von Licht auf der Nutzfläche und Erzeugung von Lichtsmog (Lichtverschmutzung). Unter diesem Gesichtspunkt sind Lichtquellen mit möglichst geringem kurzwelligen Strahlungsanteil (Blauanteil) zu bevorzugen.

- *Blaues Licht zieht Insekten an*

Bei der Anziehungswirkung künstlicher Beleuchtung auf Insekten gibt es sehr große spektral bedingte Unterschiede. Licht mit hohen kurzwelligen Anteilen kann leicht doppelt so viele Insekten anziehen wie solches mit geringeren kurzwelligen Anteilen (Eisenbeis 2010; vgl. Beitrag Eisenbeis).

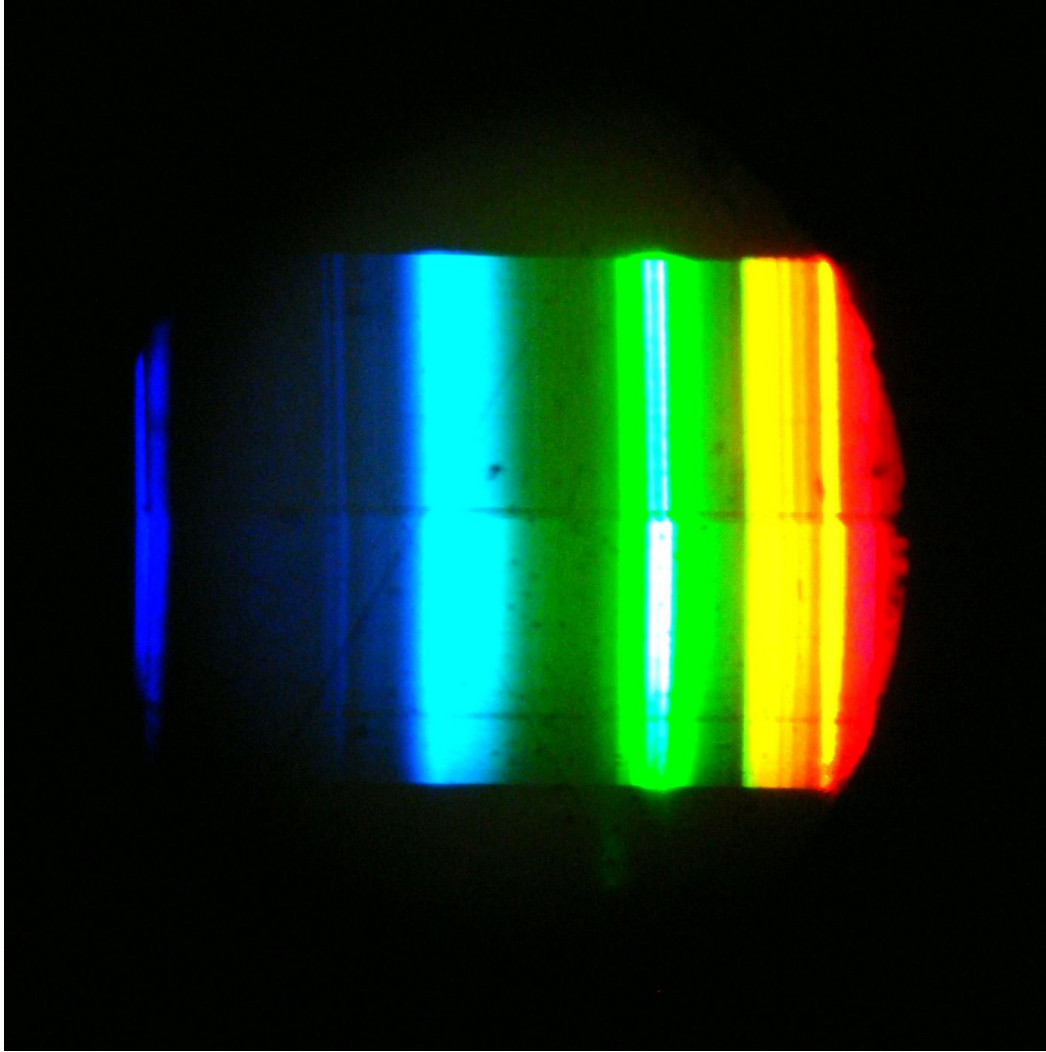


Abbildung 1: Spektrum einer so genannten Energiesparlampe. Man beachte die einzelnen Spektrallinien: Es liegt kein kontinuierliches Spektrum wie bei Sonne, Mond oder auch Glühlampen vor.

Foto: Thomas Posch

- *Blaues Licht beeinflusst Tag-Nacht-Rhythmus*

Schließlich weiß man seit etwa einem Jahrzehnt genauer, dass der menschliche Tag-Nacht-Rhythmus am stärksten durch Licht mit Blauanteilen von etwa 440 Nanometern Wellenlänge beeinflusst wird (Cajochen 2010). Sind wir Licht mit erheblichen Blauanteilen ausgesetzt, so unterbleibt die Freisetzung des Dunkelhormons Melatonin. Dies hat eine Reihe negativer Auswirkungen auf unsere Gesundheit (vgl. Beiträge Bromundt, Knab).

Daher sollte eine Außenbeleuchtung mit möglichst geringem Blauanteil eingesetzt werden, auch wenn dem rein ökonomische Gründe entgegenzustehen scheinen. Zu beachten ist dabei, dass nicht überall, wo wir kein Blau sehen, auch kein Blau-Anteil vorhanden ist. Weißes, besonders kaltweißes Licht – wie es leider gerade von den energieeffizientesten LEDs ausgestrahlt wird – hat immer mehr oder minder starke Blau-Anteile.

3. Timing der Beleuchtung

Es ist nicht notwendig, künstliche Lichtquellen die ganze Nacht über – das sind etwa 4.000 Stunden im Jahr – in gleichbleibender Stärke eingeschaltet zu lassen. Gegenwärtig werden die

technischen Möglichkeiten für die Dimmung von Beleuchtung, insbesondere der LED-Beleuchtung, immer besser.

Licht, das die ganze Nacht mit gleicher Intensität eine Straße oder einen Gehweg erleuchtet, ist unintelligentes Licht. Intelligentes Licht dagegen passt sich der faktischen Verkehrsdichte an und wird im Laufe einer Nacht abgesenkt. Die Absenkung könnte sogar um beträchtliche Faktoren erfolgen – durchaus mehr als um den Faktor Zwei der erwähnten Wiener Halbnachtschaltung. Damit wären folgende Vorteile verbunden:

- signifikante *Energieeinsparung* von deutlich über 50 Prozent;
- *geringere Störung der Melatoninproduktion* bei Aufenthalt im Freien;
- *geringere Aufhellung des Nachthimmels* und somit weniger Lichtverschmutzung.

4. Bewusste Beleuchtung ist bessere Beleuchtung

Geschichte und gegenwärtige Praxis künstlicher Beleuchtung zeigen deutlich, dass zwei Gruppen von Faktoren ins Spiel kommen, wenn es darum geht, bewusster mit Licht im Außenraum und auch in Innenräumen umzugehen: technische Lösungen einerseits, ökologisch-physiologisch-kulturbezogene Faktoren andererseits.

Zu glauben, Lichttechnik allein genüge für einen vernünftigen Umgang mit Kunstlicht ist ebenso abwegig wie die Annahme, man könne mit verbesserter Motorentechnik unsere Verkehrsprobleme lösen. Zweiliter-Motoren mögen eine erstrebenswerte Sache sein, sie eliminieren aber von sich aus keinen einzigen Stau. Desgleichen werden 200-Lumen-pro-Watt-Leuchtmittel nicht automatisch dazu führen, dass wir die Nacht nicht mehr zum Tag machen – eher das Gegenteil scheint der Fall zu sein.

Ein Umdenken, gestützt auf Licht-Ökologie, Zeit-Ökologie, Wahrnehmungsphysiologie und kritische Analyse von Licht-Mythen, wie beispielsweise „Licht bringt Sicherheit“ (vgl. Beitrag von Pauen-Höppner und Höppner), ist erforderlich und vordringlich. Denn auch wenn Kunstlicht nicht mehr zu den großen Energiefressern unserer Tage gehört (zum Energieverbrauch vgl. Beitrag Schindler und Zittel), so richtet es dennoch großen Schaden an. Ein reflektierter Umgang mit Kunstlicht kann unsere nächtliche Wahrnehmung und die Lebensqualität nachtaktiver Tiere sowie tagaktiver Menschen um Größenordnungen verbessern.

Literatur

Cajochen C (2010): Licht auf die innere Uhr. In: Posch T, Freyhoff A, Uhlmann T (Hg.) : Das Ende der Nacht – Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim: Wiley-VCH: 135-147.

Eisenbeis G (2010): Insekten und künstliches Licht. In: Posch T, Freyhoff A, Uhlmann T (Hg.): Das Ende der Nacht – Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim: Wiley-VCH: 61-80.

Links

<http://astro.univie.ac.at/institut/lichtverschmutzung/>

<http://www.lichtverschmutzung.de>

<http://homepage.univie.ac.at/thomas.posch/endedernacht/endedernacht.html>

Energieverbrauch für Beleuchtung

Jörg Schindler und Werner Zittel

1. Einleitung

Die Entwicklung der nächtlichen Beleuchtung ging vom offenen Feuer über den Kienspan, die Kerze zur Öllampe und dem Gaslicht. Schließlich gab es mit der Erfindung der Glühlampe den Sprung zum elektrischen Licht. Licht ist aber auch heute nicht nur Licht aus Strom. Kerzen gibt es in den reichen Ländern immer noch: neben der Taschenlampe als Licht für den Notfall und zur Erzeugung einer nostalgischen Romantik wie einem Candle-light Dinner. In den nicht-industrialisierten Ländern ist überall dort, wo es keine Stromnetze gibt, immer noch die Petroleumleuchte vorherrschend. Erst sehr langsam setzen sich solar betriebene elektrische Leuchten durch. Generell gilt: Je ärmer ein Land, desto wertvoller ist künstliches Licht, und umso teurer ist es auch relativ zu den Kosten zur Erfüllung anderer Bedürfnisse.

Wenn wir von Beleuchtung sprechen, dann meinen wir die Beleuchtung des Innenraums in Haushalten, Büros und Gewerbe/Industrie (vgl. Beitrag Lang zum Innenraum) sowie die Beleuchtung des Außenraums wie Straßenbeleuchtung, angestrahlte Gebäude oder Lichtreklame (vgl. Beitrag Lang zum Außenraum). Hinzu kommt die mobile Beleuchtung, wie die Scheinwerfer von Fahrzeugen (vgl. Beitrag Neumann). In den gängigen internationalen Statistiken, beispielsweise in den Statistiken der UNEP werden die Sektoren *Residential*, *Commercial/Industrial* und *Outdoor* unterschieden.

2. Energieverbrauch der Beleuchtung in Deutschland

Der gesamte Stromverbrauch belief sich im Jahr 2010 auf 516,3 Terawattstunden (Tabelle 1).

Der Sektor „Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ enthält auch die Straßenbeleuchtung und alle anderen öffentlichen Außenbeleuchtungen.

Der Stromverbrauch für Beleuchtung im Sektor Verkehr ist der Aufwand für die Beleuchtung von motorisierten Straßenfahrzeugen. Dieser Strom kommt nicht aus dem Stromnetz, sondern wird mit schlechtem Wirkungsgrad in den Fahrzeugen selbst erzeugt.

Der Anteil der Beleuchtung am gesamten Endenergieverbrauch beträgt 3,3 Prozent (Quelle: AGE B 2011). Dabei umfasst der gesamte Endenergieverbrauch sämtliche Endenergieträger wie Mineralöl, Gase, Strom, Fernwärme, Kohle und Erneuerbare Energien.

	Verbrauch [TWh/a]	Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch [%]
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	56,9	11
Privathaushalte	11,8	2
Industrie	10,4	2
Verkehr	0,8	-
gesamt	79,9	16

Tabelle 1: Endenergieverbrauch in Terawattstunden pro Jahr (TWh/a) für die Beleuchtung in Deutschland im Jahr 2010

Quelle: AGE B 2011

Energieverbrauch für Beleuchtung

Die spezifischen Energieverbrauchswerte für Licht pro Einwohner bei 81,8 Millionen Einwohnern im Jahr 2010 liegen nach Angaben der Energieversorgungsunternehmen E.ON und Lechwerke bei:

- 977 Kilowattstunden pro Jahr als volkswirtschaftlicher/gesellschaftlicher Durchschnitt für Beleuchtung in allen Sektoren;
- 144 Kilowattstunden pro Jahr im privaten Haushalt; Licht hat dabei einen Anteil von 8,4 Prozent am Stromverbrauch der privaten Haushalte; bei angenommenen Stromkosten von 0,25 Euro pro Kilowattstunde für Haushalte sind das 36 Euro pro Jahr;
- etwa zehn bis 50 Kilowattstunden pro Jahr für Straßenbeleuchtung in einzelnen bayerischen Kommunen.

3. Energieverbrauch der Beleuchtung in der EU

In der Europäischen Union mit ihren 502 Millionen Einwohnern werden 3.100 Terawattstunden Strom pro Jahr verbraucht. Davon werden 15,4 Prozent (477 Terawattstunden) für Beleuchtung verwendet.

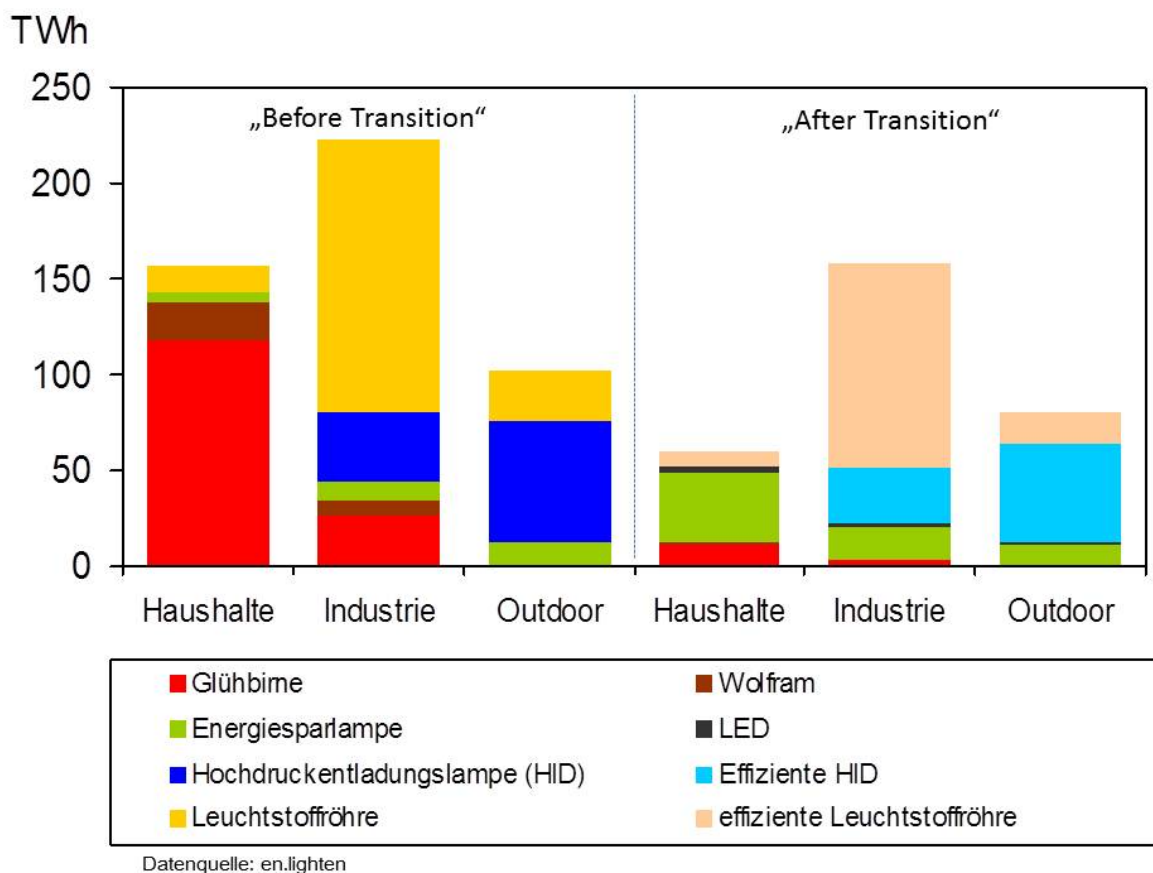


Abbildung 1: Stromverbrauch für Beleuchtung in der EU nach Sektoren und Beleuchtungsmitteln

Datenquelle: en.lighten

In Abbildung 1 stellen die Balken “Before Transition” den Ist-Zustand dar. Die Balken “After Transition” beschreiben ein mögliches Einsparzenario durch Verwendung effizienterer Lampentechnologien.

Aus den dargestellten Daten lassen sich die folgenden spezifischen Energieverbräuche pro Einwohner in der EU für Beleuchtung errechnen:

- 950 Kilowattstunden pro Jahr als volkswirtschaftlicher/gesellschaftlicher Durchschnitt für Beleuchtung in allen Sektoren;
- 315 Kilowattstunden pro Jahr im privaten Haushalt; bei angenommenen Stromkosten von 0,25 Euro pro Kilowattstunde für Haushalte sind das 79 Euro pro Jahr;
- 200 Kilowattstunden pro Jahr für Straßenbeleuchtung und andere Außenbeleuchtungen.

Beim Vergleich mit den Daten für Deutschland fällt auf, dass der volkswirtschaftliche/gesellschaftliche Energieverbrauch für Beleuchtung nahezu gleich hoch ist. Die Aufteilung auf die Sektoren weicht dagegen stark ab. Der Energieverbrauch im privaten Haushalt und der öffentlichen Beleuchtung ist sehr viel höher. Die Ursachen für diese Abweichungen sind unklar. Möglicherweise liegt es (teilweise) an einer unterschiedlichen statistischen Abgrenzung der Sektoren.

4. Energieverbrauch der Beleuchtung in den USA

In den Vereinigten Staaten von Amerika mit ihren 309 Millionen Einwohnern werden 4.044 Terawattstunden Strom pro Jahr verbraucht. Davon werden 15 Prozent (607 Terawattstunden) für Beleuchtung verwendet.

Aus den in en.lighten verfügbaren Daten für die USA lassen sich die folgenden spezifischen Energieverbräuche pro Einwohner für Beleuchtung ableiten:

- 1.960 Kilowattstunden pro Jahr als volkswirtschaftlicher/gesellschaftlicher Durchschnitt für Beleuchtung in allen Sektoren;
- rund 615 Kilowattstunden pro Jahr im privaten Haushalt; bei angenommenen Stromkosten von 0,12 US Dollar pro Kilowattstunde für Haushalte sind das 74 US Dollar pro Jahr;
- rund 275 Kilowattstunden pro Jahr für Straßenbeleuchtung und andere Außenbeleuchtungen.

Beim Vergleich mit den Daten für die EU fällt auf, dass der Anteil der Beleuchtung am Stromverbrauch nahezu derselbe ist. Der volkswirtschaftliche/gesellschaftliche Energieverbrauch für Beleuchtung insgesamt ist mehr als doppelt so hoch. Der relative Anteil der Haushalte ist mit 31 Prozent in den USA und 33 Prozent in der EU praktisch gleich. Der relative Anteil der Außenbeleuchtung ist in den USA mit 14 Prozent niedriger als in der EU mit 21 Prozent.

5. Energieverbrauch der Beleuchtung in China

In China mit rund 1,3 Milliarden Einwohnern werden 3.846 Terawattstunden Strom pro Jahr verbraucht. Davon werden 15,8 Prozent (610 Terawattstunden) für Beleuchtung verwendet.

Aus den in en.lighten verfügbaren Daten für China lassen sich die folgenden spezifischen Energieverbräuche pro Einwohner für Beleuchtung ableiten:

- 470 Kilowattstunden pro Jahr als volkswirtschaftlicher/gesellschaftlicher Durchschnitt für Beleuchtung in allen Sektoren;
- rund 140 Kilowattstunden pro Jahr im privaten Haushalt; bei angenommenen Stromkosten von 0,12 US Dollar pro Kilowattstunde für Haushalte sind das 17 US Dollar pro Jahr;

Energieverbrauch für Beleuchtung

- rund 60 Kilowattstunden pro Jahr für Straßenbeleuchtung und andere Außenbeleuchtungen.

Beim Vergleich mit den Daten für die EU und die USA fällt auf, dass der Anteil der Beleuchtung am Stromverbrauch fast gleich ist. Der volkswirtschaftliche/gesellschaftliche Energieverbrauch für Beleuchtung ist nur etwa zwei Drittel so hoch wie in der EU und weniger als ein Drittel so hoch wie in den USA. Der relative Anteil der Haushalte ist praktisch gleich (30 Prozent in China und 33 Prozent in der EU). Der relative Anteil der Außenbeleuchtung ist in China mit 13 Prozent ähnlich wie in den USA, aber niedriger als in der EU mit 21 Prozent.

6. Energieverbrauch der Petroleumleuchten

Etwa zwei Milliarden Menschen auf der Erde haben keinen Zugang zu elektrischem Strom. Die vormalige Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) schätzte, dass es mehrere hundert Millionen Petroleumleuchten gibt, die als Lichtquelle genutzt werden. Jede dieser Leuchten verbraucht etwa 35 Liter Petroleum pro Jahr, was etwa 350 Kilowattstunden Strom entspricht. Die Kosten für Petroleum sind in diesen Ländern erheblich – sowohl absolut als auch relativ zum verfügbaren Einkommen.

Daher sind Initiativen zur Verbreitung von Solarleuchten wichtig, da sie sowohl die Abhängigkeit von Petroleum reduzieren als auch die Lebensqualität der Menschen verbessern. Ein Pionierprojekt auf diesem Gebiet ist das Projekt SOLUX (Martin & Mutzbauer 2012, www.solux.org).

7. Energieverbrauch der Welt für elektrisches Licht

Etwa 20 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs werden für Beleuchtung aufgewendet (en.lighten). Bei einem Stromverbrauch von 17.200 Terawattstunden im Jahr 2009 (WEO 2011) und einer Weltbevölkerung von etwa sieben Milliarden Menschen sind das etwa 490 Kilowattstunden Strom für Beleuchtung je Erdenbürger. Nimmt man nur die etwa fünf Milliarden Menschen, die tatsächlich Zugang zu elektrischem Strom haben, sind es etwa 690 Kilowattstunden pro Person und Jahr. Dieser letzte Wert ist (zufällig) sehr nahe am heutigen spezifischen Energieverbrauch für Beleuchtung in China.

Literatur und Links

AGEB AG Energiebilanzen (2011): Anwendungsbilanzen für die Energiesektoren in Deutschland in den Jahren 2009 und 2010. Berlin.

GEF, UNEP: www.enlighten-initiative.org (zuletzt zugegriffen am 12.07.2012).

Martin R, Mutzbauer H (2012): SOLUX. In: Von der Vision zur Realität. Festschrift zum 100. Geburtstag von Ludwig Bölkow. Ludwig-Bölkow-Stiftung. Ottobrunn.

International Energy Agency (IEA) (2011): World Energy Outlook 2011. Paris.

**Schutz der Nacht –
Lichtverschmutzung, Biodiversität
und Nachtlandschaft**

**Lichtverschmutzung und
die Folgen für ...**

Lichtverschmutzung und die Folgen für nachtaktive Insekten

Gerhard Eisenbeis

1. Einführung

Über 50 Prozent der weltweit beschriebenen Tierarten gehören zu den Insekten. Ihre Artenzahl wird häufig mit rund einer Million angegeben, globale Schätzungen veranschlagen zehn Millionen oder mehr. In Deutschland verteilt sich die Zahl von rund 33.000 Arten auf 28 Ordnungen, von denen einige sehr artenreich sind, wie etwa Käfer, Zweiflügler und Hautflügler. Ein Teil der Insekten hat die Flügel und somit ihre Flugfähigkeit verloren, die Mehrzahl gehört jedoch zu den Fluginsekten. In Studien zur Messung der Flugaktivität von Insekten an Lichtquellen werden rund 13 bis 16 Insektenordnungen erfasst. Davon wurden sieben in größeren Zahlen in den Nachtfängen am Fleher Deich in Düsseldorf nachgewiesen (Eisenbeis und Eick 2011).

Wenig bekannt ist, dass in manchen Insektengruppen die Zahl der nachtaktiven Arten überwiegt. So führte eine Erhebung der Schmetterlinge in Tirol/Österreich zu dem überraschenden Ergebnis, dass von rund 2.700 Arten rund 85 Prozent nachtaktiv leben (Tiroler Landesumweltanwalt 2003). Nachtfalter sammeln sich in hoher Zahl an den Lichtquellen, aber auch andere Insekten streben oft massenhaft zum Licht, vor allem solche, die nur an wenigen Tagen im Sommer schwärmen. Dies lässt sich eindrucksvoll an Eintagsfliegen beobachten, die in warmen Sommernächten entlang von Flüssen in riesigen Schwarmwolken die Lichtquellen auf Brücken und in Ufernähe umflattern, um schließlich am Boden unter den Leuchten zu verenden.

Licht hat Staubsaugereffekt

Ein solches Verhalten der Insekten an Lichtquellen – beginnend als magische Anlockung und endend mit dem Tod der Tiere – wird als *Staubsaugereffekt* bezeichnet (Eisenbeis 2006). Muss deshalb erwartet werden, dass von den millionenfach in der Umwelt verteilten Lichtquellen langfristig ein Leerfangeffekt mit dem Ergebnis der Verarmung der Fauna ausgeht? Die Hinweise hierzu sind spärlich, doch wurde am Beispiel von Wasserinsekten gezeigt, dass eine einzige Straßenlaterne in Bachnähe in einer Nacht so viele Köcherfliegen anlockt, wie am Bachufer über eine Länge von 200 Metern in der gleichen Zeit schlüpfen (Scheibe 2000).

Dass es in den vergangenen Jahrzehnten zu beträchtlichen Veränderungen von Fauna und Flora gekommen ist, belegen Monitorstudien an Insekten, Vögeln und Pflanzen von 1968 bis 2002 in Großbritannien. Dort wurden die Artenvorkommen über ein Flächenraster von zehn Quadratkilometern über das ganze Land untersucht. Die stärksten Verschiebungen und Rückgänge ergaben sich in der Reihung Insekten, Vögel und Pflanzen (Thomas et al. 2004). Für die Nachtfalter sind diese Ergebnisse in einem gesonderten Report der Forschungsstation Rothamsted und der Organisation Butterfly Conservation in England belegt (Fox et al. 2006). Die fortschreitende künstliche Beleuchtung könnte dabei für den Rückgang der nachtaktiven Fauna durchaus mitverantwortlich sein. In einer jüngsten Studie (Davies et al. 2012) wurde ferner festgestellt, dass sich durch Straßenbeleuchtung die bodennahe Lebensgemeinschaft verändert.

Insektenfreundlichere Straßenbeleuchtung

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Forderung nach insektenfreundlicher Außenbeleuchtung einen hohen Stellenwert, und der Fokus richtet sich auf eine der Hauptkomponenten der öffentlichen Beleuchtung: die Straßenbeleuchtung. Der Leuchtenpark der Bundesrepublik umfasst mehr als 9 Millionen Lichtpunkte. Das heißt: Auf rund neun Einwohner entfällt eine Leuchte.

In den 1990er Jahren trat das Thema der Insektenfreundlichkeit zunehmend in den Blickpunkt der öffentlichen Diskussion, kombiniert mit der Forderung nach Energieersparnis. Es ging damals um die Einführung der Natriumdampf-Hochdruck-Lampen als Ersatz für die Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Dies bedeutete einen Quantensprung für die öffentliche Beleuchtung, denn sie versprachen einen besseren Insektenschutz und etwa 30 Prozent Energieersparnis. Mittlerweile sind einige Jahre vergangen, die Glühbirne erhielt die Rote Karte und ein EU-weites Verbot der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen wird im Jahr 2015 wirksam. Ferner hat die Technik neue Lampentypen kreiert: die LED-Lampen (LED = lichtemittierende Diode). Und mit diesem möglicherweise erneuten Quantensprung in der Beleuchtungstechnik stellt sich wiederum die Frage der Insektenfreundlichkeit und Energieersparnis.

2. Insektenanflüge an unterschiedliche Lichtquellen

Messung der Insektenanflüge mit Flugfallen

Die Insektenfreundlichkeit wird mit Hilfe von Flugfallen gemessen, die im Lichtkegel der zu testenden Lampen positioniert werden. Dort fangen sie anteilig Insekten heraus, die während einer Nacht die Lampe anfliegen. Es ist eine relative aber sehr wirkungsvolle Methode, wobei die Ausbeute sowohl auf Änderungen der Wetterbedingungen als auch der Hintergrundhelligkeit sensibel reagiert: So werden bei Vollmond deutlich weniger Insekten von den Lichtquellen und Fallen angezogen als in den dunkleren Neumondnächten. Um ein stabiles Ergebnis für den vergleichenden Test unterschiedlicher Lichtquellen zu erhalten, sollte sich die Fangperiode über eine gesamte Sommerperiode erstrecken, damit sich Schwankungen der Flugaktivität ausgleichen und Unterschiede statistisch nachweisen lassen.

In Tabelle 1 werden die Ergebnisse von Feldstudien aus Düsseldorf 2008, Vörl/Tirol 2010 und Frankfurt/Main 2011 miteinander verglichen. Anflüge an die Lichtarten werden grundsätzlich als $\text{Insekten Falle}^{-1} \text{ Nacht}^{-1}$ berechnet. Hier wird jedoch nur die prozentuale Anflugstärke gezeigt, wobei eine Lichtart als Referenz auf 100 Prozent gesetzt ist.

Warm-weiße LEDs sind insektenfreundlichste Wahl

Es zeigt sich, dass die Anflüge an Quecksilberdampf-Hochdruck- und Metallhalogendampflampen am stärksten sind, gefolgt von Anflügen an Leuchtstofflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen und LEDs, wobei die LED_kalt-weiß-Variante die Insekten deutlich stärker anlockt als die warm-weiße.

Die hier gezeigten prozentualen Anflugwerte repräsentieren den Gesamtanflug der Insekten. Unterschiedliche Lichtquellen wirken sich jedoch auch auf die Artenzahl der anfliegenden Insekten aus (Püschel 2009). So ergab sich für die Familie der Eulenfalter (Noctuidae) folgende Sequenz: Quecksilberdampf-Hochdrucklampen 31, Metallhalogendampflampen 25, Natriumdampf-Hochdrucklampen 16, Leuchtstofflampen (-röhren) 8 und LED 10. Hierzu muss bemerkt werden, dass die Leuchtstofflampen im Vergleich zu den übrigen Testleuchten vergleichsweise stärker windexponiert standen, woraus sich der extrem niedrige Anflug an diese Lichtart möglicherweise erklärt. Für die Gesamtheit der Nachtfalter ergab sich in Düsseldorf folgende Anflugsequenz in Prozent: HME 100, CDO-E 60, LL 3,3, HSE 18,3 und LED_mix 5,1.

Art des Lichts bestimmt Anziehung nachtaktiver Insekten

Die Wahl der Lichtart für die Straßenbeleuchtung hat folglich großen Einfluss auf die Anziehung nachtaktiver Insekten. Die in Tabelle 1 genannten Anflugzahlen zeigen, dass sich die praxisrelevanten modernen Lampentypen deutlich unterscheiden. Die bisherigen Ergebnisse mit LEDs zeigen ferner, dass deren warm-weiße Variante die geringste Anziehung auf Insekten ausübt. Die Abnahme der Flugaktivität im Lichtkegel warm-weißer LEDs fällt stärker aus

Tabelle 1: Relative prozentuale Anflugstärke der Insekten an verschiedene Lichtquellen

Feldstudie	Lampe	Lichtquelle					
		HME	CDO-E	LL	HSE	LED_mix	
Straßenbeleuchtung an einem Deichweg Düsseldorf 2008 (Eisenbeis & Eick 2011)	Beleuchtungsstärke Lx 1,5 m ü. Boden	23-30	30-43	18-33	42-56	12-16	
	Farbtemperatur Kelvin	3400	2820	4500	2000	6500/4100/3000	
	Leistung Watt	80	70	2x18	70	36	
	Lichtstrom	-	-	-	-	-	
	%-Anflug	100	84	54	46,4	19,9	
Lampentest mit Kastenfallen in einem Waldgebiet Vörl/Tirol 2010 (Huemer et al. 2011a)	Lampe		CDO_mix	--	HST	LED_kaltweiß	LED_warmweiß
	Beleuchtungsstärke Lx	-	-	-	-	-	-
	Farbtemperatur Kelvin	-	5600 4200 3000	-	2000	6000	3000
	Leistung Watt		78/73/74	-	70	2-25	2x25
	%-Anflug		100	-	55,4	25,5	16,0
	Lampe	HME*	CDO_mix	-	HST	LED_kaltweiß	LED_warmweiß
%-Anflug	100	81,2	-	45	20,6	13,0	
Straßenbeleuchtung nach DIN EN 13201 Frankfurt/Main 2011 (Eisenbeis et al. 2012)	Lampe		CDO-T	-	HST	LED_weiß	LED_warmweiß
	Fahrbahn-Beleuchtungsstärke Lx**		8,6	-	8,1	6,1	6,1
	Farbtemperatur Kelvin		2800	-	2000	5000	3000
	Leistung Watt		70	-	70	39	57
	Lichtstrom Lumen		6700	-	6600	2720	2720
	%-Anflug		100	-	77,5	56,2	29,3
	Lampe	HME*	CDO-T	-	HST	LED_weiß	LED_warmweiß
%-Anflug	100	58	-	45	32,6	17,0	

* Anflug an HME hochgerechnet nach Literaturdaten (Eisenbeis & Eick 2011) für HSE/HME = 0,45

** Die Beleuchtungsstärke der Versuchsstraße in Frankfurt/Main wurde nach der DIN EN 13201, Beleuchtungskategorie S4 für eine Nutzersgeschwindigkeit von 5-30 km/h berechnet. Erforderlich ist eine mittlere Beleuchtungsstärke von 5 Lx.

Lampenabkürzungen:

HME: Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, ellipsoid

HSE/HST: Natriumdampf-Hochdrucklampen, ellipsoid/tubulär

LL: Leuchtstofflampen/-röhren

CDO-E: Metallhalogendampflampen, ellipsoid

CDO-T: Metallhalogendampflampen, tubulär

CDO_mix: Metallhalogendampflampen, kalt-weiß, neutral-weiß und warm-weiß gemittelt

LED_mix: LED-Lampen kalt-weißer, neutral-weißer und warm-weißer Lichtfarbe gemittelt (der Wert aus der Studie Düsseldorf repräsentiert vorwiegend kalt-weiße Anflüge)

LED_weiß: Lampen mit Farbtemperatur im Grenzbereich neutral-/kalt-weiß

als die im Abstrahlbereich der LEDs gemessene relative Abnahme der Beleuchtungsstärke in Lux (Tab. 1). Am Beispiel der Nachtfalter konnte zudem gezeigt werden, dass nicht nur die Gesamtzahl der Anflüge drastisch abnimmt, sondern auch die Zahl der Arten.

LED-Leuchten sind Leuchtmittel mit vielfältigen Möglichkeiten der Energieersparnis und der elektronischen Steuerung wie Lichtfarbe, Dimmung oder Zeitschaltung. Die Ergebnisse in Tab. 1 zum Anflugverhalten von Insekten zeigen, dass die Anflugstärke an warm-weiße LEDs im Vergleich zum Anflug an Natriumdampf-Hochdrucklampen deutlich geringer ist. Eine jüngste, unveröffentlichte Studie aus Vörl/Innsbruck (Huemer et al. 2011b) bestätigt diese Tendenz. Darin werden auch erstmalig Ergebnisse punktförmig und diffus abstrahlender Lichtquellen miteinander verglichen.

Literatur

- Davies TW, Bennie J, Gaston KJ (2012): Street lighting changes the composition of invertebrate communities. – *Biol. Lett.*, published online May 23, 2012, doi: 10.1098/rsbl.2012.0216.
- Tiroler Landesumweltschutzamt (Hg.) (2003): Die Helle Not. Innsbruck (<http://www.hellenot.org/home>).
- Eisenbeis G (2006): Artificial night lighting and insects: Attraction of insects to street lamps in a rural setting in Germany. In: Rich C, Longcore T (Hg.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Covelo, California: 281-304.
- Eisenbeis G, Eick K (2011): Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. *Natur und Landschaft* 86(7): 298-306.
- Eisenbeis G, Erfert T, Petry K (2012): Straßenbeleuchtung und Umwelt – Wirkung moderner Straßenbeleuchtung auf das Anflugverhalten von Insekten unter Berücksichtigung ausgewählter Lichtparameter. Forschungsbericht für die Stadt Frankfurt/Main, vorgelegt im Juni 2012, unveröffentlicht.
- Fox R, Conrad KF, Parsons MS, Warren MS, Woiwod IP (2006): *The State of Britain's larger moths*. Butterfly Conservation and Rothamsted Research, Warham, Dorset.
- Huemer P, Kühtreiber H, Tarmann G (2011a): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten – Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol (Österreich). *Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen* 2011: 110-135.
- Huemer P, Kühtreiber H, Tarmann G (2011b): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten – Feldstudie 2011. – Forschungsbericht Tiroler Landesumweltschutzamt & Tiroler Landesmuseen, Innsbruck.
- Püschel C (2009): Wirkung konventioneller und moderner Straßenbeleuchtungslampen auf das Anflugverhalten von Nachtfaltern (Lepidoptera). Diplomarbeit im Fachbereich Biologie, Institut für Zoologie, der Johannes Gutenberg Universität, Mainz.
- Scheibe MA (2000): Quantitative Aspekte der Anziehungskraft von Straßenbeleuchtungen auf die Emergenz aus nahegelegenen Gewässern (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera: Simuliidae, Chironomidae, Empididae) unter Berücksichtigung der spektralen Emission verschiedener Lichtquellen. Doktorarbeit im Fachbereich Biologie, Institut für Zoologie, Johannes Gutenberg Universität Mainz.
- Thomas J A, Telfer MG, Roy D B, Preston C D, Greenwood JJD, Asher J, Fox R, Clarke RT, Lawton JH (2004): Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis. *Science* 303: 1879-1881.

Lichtverschmutzung und die Folgen für Singvögel

Barbara Helm und Jesko Partecke

1. Natürlicher Wechsel von Licht und Dunkel prägt biologische Rhythmen

Der regelmäßige Wechsel von Licht und Dunkelheit gehört bei allen Organismen zu den wichtigsten Umweltsignalen für die Steuerung biologischer Rhythmen (vgl. Beitrag Brumndt). So stimmen Vögel ihre saisonalen Aktivitäten wie Fortpflanzung, Brut, Mauser und Zug präzise auf den Wechsel der Jahreszeiten ab. Die jahreszeitliche Veränderung der Tageslänge, die so genannte Photoperiode, ist dafür maßgeblich.

Und auch der Tagesrhythmus der Vögel wird von einer biologischen Uhr gesteuert, die durch den Wechsel von Tag und Nacht präzise auf die Umwelt eingestellt wird. So beginnen viele Vogelarten mit Aktivität und Gesang schon vor der Morgendämmerung. In menschlicher Haltung wachen solche Vögel auch ohne sichtbares Tageslicht in den frühen Morgenstunden auf. Allerdings lösen sich diese Rhythmen von der richtigen Tageszeit, wenn die Uhr nicht vom Wechsel von Licht und Dunkel gestellt werden kann.

2. Künstliche Beleuchtung in der Nacht macht aus Amseln frühe Vögel

Tiere, die Städte erfolgreich besiedelt haben, sind aber nicht nur den natürlichen Lichtzyklen von Tag und Nacht, sondern auch künstlicher Beleuchtung ausgesetzt. Straßenlaternen, Scheinwerfer und Schaufensterbeleuchtungen können teilweise so hell sein, dass man mitten in der Nacht auf der Straße problemlos einen Roman lesen könnte. Wir Menschen schützen uns vor dem nächtlichen Kunstlicht, indem wir unsere Fenster verdunkeln.

Aber wie kommen Tiere mit der Lichtverschmutzung zurecht?

Beeinflusst das Licht der Straßenlaternen ihr Verhalten?

Zieht es ökologische oder evolutionäre Konsequenzen nach sich?

Die Amsel, ursprünglich ein scheuer Waldbewohner, besiedelt seit Anfang des 19. Jahrhunderts zunehmend Dörfer und Städte, aus denen sie heute nicht mehr wegzudenken ist. Diese so genannten kulturfolgenden Amseln haben ihre Lebensweise im Vergleich zu ihren weiterhin im Wald lebenden Artgenossen in vielfältiger Weise verändert.

Stadtamseln singen schon, wenn Waldamseln noch schlafen

Erste Untersuchungen zeigen, dass Stadtamseln in der Nähe künstlicher Lichtquellen sehr viel früher am Tag oder sogar noch in der Nacht zu singen beginnen, wenn die Waldamseln noch schlafen (Klausnitzer 1989 und eigene Daten; vgl. Abbildung 1). Dies wurde auch bei weiteren Stadtvögeln verschiedener Arten beobachtet, wie Rotkehlchen, Blaumeise und Wanderdrossel.

Besonders auffällig ist weiterhin die *frühere Brutzeit der Stadtamseln*. Sie können etwa drei Wochen früher als Waldamseln brüten (Partecke et al. 2005). Vergleichende Studien an Stadt- und Waldamseln (vgl. Abbildung 2) konnten zeigen, dass die verfrühte Brutzeit der Stadtamseln in stärkerem Maße durch individuelle Anpassung an die stadtspezifischen Umweltfaktoren als durch genetische Unterschiede zwischen den beiden Populationen zu erklären ist (Partecke et al. 2004).



Abbildung 1: Amsel mit Minisender. Mit mikroelektronischen Messverfahren können das Verhalten freilebender Vögel und ihre Reaktionen auf die vorliegenden Lebensbedingungen in der Stadt erfasst werden. Die Sender sind ultraleicht, so dass die Vögel ungestört und erfolgreich ihren Nachwuchs aufziehen können. Foto: Jesko Partecke



Abbildung 2: Hand-Aufzucht von Amseljungen. Um zu testen, inwieweit Verhaltensunterschiede zwischen Stadt- und Waldamseln das Ergebnis genetischer Unterschiede sind, werden Stadt- und Waldamseln unter gleichen Bedingungen aufgezogen und gehalten. Verhalten sich handaufgezogene Stadt- und Waldamseln weiterhin unterschiedlich, können genetische Unterschiede zwischen den Populationen eine bedeutende Rolle spielen. Verhalten sich die Populationen jedoch in menschlicher Obhut nicht mehr unterschiedlich, sind hingegen die örtlichen Umweltfaktoren für die im Freiland beobachteten Verhaltensunterschiede verantwortlich. Foto: Jesko Partecke

Immer mehr Hinweise: Licht in der Nacht beeinflusst biologischen Rhythmus von Vögeln

Die künstliche Beleuchtung könnte für das frühe Brüten durchaus mitverantwortlich sein. Aktuelle Studien an Blaumeisen zeigen, dass Blaumeisenweibchen, die nah an Straßenlaterne Nistkästen besetzen, etwas früher mit der Eiablage beginnen als Weibchen, die weiter entfernt von der Straßenbeleuchtung nisten (Kempnaers et al. 2010). Inwieweit das Nachtlicht für die Veränderungen in der zeitlichen Organisation von Stadtvögeln tatsächlich verantwortlich gemacht werden kann, werden zukünftige Forschungen zeigen.

3. Gefährdung von Zugvögeln durch nächtliche Beleuchtung

Ein weiteres Beispiel negativer Auswirkungen künstlicher Beleuchtung in der Nacht auf Singvögel ist die Beeinträchtigung der Orientierung. So nutzen viele Zugvögel, insbesondere fernwandernde Arten, die Nacht für ihre Wanderung. Die Gründe dafür sind noch nicht eindeutig bekannt, möglicherweise spielt die Sicherheit vor Fressfeinden eine Rolle, oder die Gelegenheit, tagsüber Fettreserven aufzubauen oder bessere Navigationsbedingungen in der Nacht. Sicher ist aber, dass sich Zugvögel anhand von Lichtquellen orientieren, unter anderem auch anhand von Sternenkonstellationen.

Auch für solche Vögel, die sich am Magnetfeld der Erde orientieren, spielt Licht eine wichtige Rolle. Denn ihren Magnetkompass eichen sie jeweils an der Himmelsrichtung von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang. Dabei kann Kunstlicht stören, wenn es bestimmte Wellenlängenbereiche umfasst.

Tödliche Falle für Zugvögel

Der Nachtzug der Vögel reagiert sehr sensibel auf nächtliche Lichtbedingungen. Daher erstaunt es nicht, dass künstliche Beleuchtung in der Nacht zum Teil fatale Konsequenzen haben kann. Besonders gefährlich sind beleuchtete Hochhäuser, Leuchttürme und hell erleuchtete Ölbohrinseln auf See, die die Vögel vor allem bei schwerem Wetter einerseits anziehen und andererseits desorientieren.

Besonders bei Nebel und Schlechtwetterereignissen kommt es zu Kollisionen mit großen Zahlen von Zugvögeln. Um diese verheerenden Folgen abzumildern, sind Vogelforscher bemüht herauszufinden, welche Art von Lichtquellen für die Vögel weniger gefährlich sind. Nach aktuellem Stand der Forschung zeichnet sich ab, dass blaugrünes Licht für Zugvögel sehr viel weniger irritierend ist als rotes, langwelliges Licht (Poot et al. 2008). Hier bedarf es der Abwägung zwischen menschlichem Sicherheitsbedürfnis einerseits und der Abwendung oder Minimierung der Nachteile für Zugvögel andererseits.

4. Ein weitgehend unbestelltes Feld – aber Grund genug zu handeln

Die hier vorgestellten Probleme sind vermutlich beispielhaft für ein breites Spektrum von Schwierigkeiten, denen Wildtiere durch Lichtverschmutzung ausgesetzt sind. Wir können bislang noch gar nicht ermessen, wie vielfältig die Auswirkungen der Lichtverschmutzung für wilde Tiere insgesamt sind. Erste Hinweise in diese Richtung sollten dennoch Grund genug sein, das Ausmaß künstlicher Beleuchtung einzudämmen, und die Folgen kritisch zu beobachten.

Literatur

Helm B (2010): Zeitprogramme im Tages- und Jahreslauf: Vogel-Uhren und Kalender-Vögel. Falke 1: 9-15.

Lichtverschmutzung und die Folgen für Singvögel

- Hüppop O (2009): Vögel: Weltreisende und Vielflieger unter dem Sternenhimmel. In: Posch T, Freyhoff A, Uhlmann T (Hrsg.): Das Ende der Nacht. Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim: Wiley-VCH: 82-98.
- Kempenaers B, Borgström P, Loës P, Schlicht E, Valcu M (2010): Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Current Biology* 20: 1-5.
- Klausnitzer B (1989): Verstädterung von Tieren. Wittenberg Lutherstadt: Die Neue Brehm Bücherei.
- Partecke J, Van't Hof T., Gwinner E (2004): Differences in the timing of reproduction between urban and forest European blackbirds (*Turdus merula*): result of phenotypic flexibility or genetic differences? *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences Series B* 271: 1995-2001.
- Partecke J, Van't Hof T, Gwinner E (2005): Underlying physiological control of reproduction in urban and forest-dwelling European blackbirds *Turdus merula*. *Journal of Avian Biology* 36: 295-305.
- Partecke J (2011): Stress and the City: Ökologische und evolutionäre Konsequenzen für die Tiere in der Stadt. *Praxis der Naturwissenschaften Biologie in der Schule* 4/60: 34-39.
- Poot H, Ens B, de Vries H, Donners M, Wernand M, Marquenie J (2008): Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society* 13: 47 (online).

Lichtverschmutzung und die Folgen für Zugvögel

Heiko Haupt

1. Einleitung oder „Wie schön...“

Wo der Mensch die Schönheit eines prächtig beleuchteten Gebäudes bewundert, können Vögel durch genau diese Lichtquelle den Tod finden. Alltäglich genutzte Lichtquellen haben zum Teil *fatale Auswirkungen auf Zugvögel*.

Grundsätzlich werden Lichtquellen an und um Gebäude zu drei unterschiedlichen Zwecken genutzt. Licht dient zum einen der ästhetischen Untermalung, um die Besonderheiten oder architektonischen Glanzpunkte eines Bauwerkes zur Geltung zu bringen, sei es der Kölner Dom oder die örtliche Dorfkirche. Zum anderen dienen eben diese Lichtquellen auch einer kommerziellen Absicht. Je schöner und prächtiger ein Bauwerk beleuchtet ist, desto attraktiver soll es für den Tourismus sein. Ein dritter Grund, Gebäude zu beleuchten, ist die Steigerung des subjektiven Sicherheitsgefühls.

Manchmal beeindruckt uns solche Beleuchtungsanlagen, mitunter werden sogar „Lichtkünstler“ mit ihrer Konzeption beauftragt. Egal welchem Zweck sie dienen, oft haben sie eines gemeinsam: Viel oder gar das meiste Licht wird nach oben in Richtung Himmel abgestrahlt. Bei Skybeamern geschieht dies bewusst und beabsichtigt, bei Fassaden- und Gebäudeanstrahlungen meist als ungewollter Nebeneffekt. Es mehren sich die Anzeichen, dass solche Lichanlagen *gravierende Probleme für nachts ziehende Vögel verursachen*. Von Leuchttürmen an der Küste ist das schon länger bekannt. Dass auch Zugvögel im Binnenland darunter leiden, ist vielen jedoch bisher nicht bewusst.

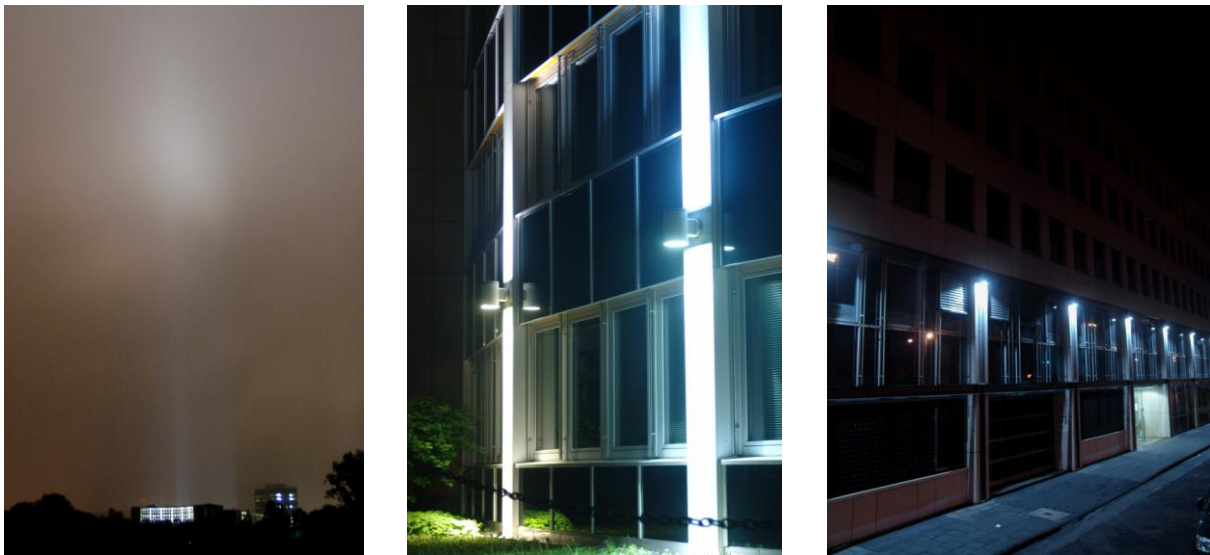


Abbildung 1: Beispiele für Fassadenanstrahlungen

Links und Mitte: Die oberen Bereiche und der Himmel darüber werden häufig mitilluminiert. Das ist unnötig und für Zugvögel gefährlich.

Rechts: Wenn eine Fassade von oben nach unten beleuchtet ist, ist die Sicherheit am Gebäude gewahrt, und die Zugvögel können darüber risikolos passieren.

Fotos: Heiko Haupt

2. Attraktiv, verwirrend... und tödlich

Wahrscheinlich genügt schon die weite, diffuse Lichtglocke über unseren nächtlichen Städten, um Zugvögel anzulocken. Weil das Phänomen großräumig wirkt, sind direkte Nachweise darüber schwierig zu führen. Indirekte Hinweise ergeben sich, wenn man morgens während der Zugzeit in Städten auf verhältnismäßig mehr Vögel trifft als im dunklen Umland. Schlechte Sichtverhältnisse könnten diese Anlockwirkung begünstigen.

Leichter lassen sich die Auswirkungen bei aus Zugvogelsicht eher punktuellen Lichtquellen wie Gebäudeanstrahlungen und Skybeamern feststellen. So wurden etwa 2.000 Kraniche im hessischen Ulrichstein durch den Schein einer angestrahlten Burgruine zur Notlandung in der Stadt gezwungen (Hormann 1998). In Nordamerika wird seit Jahrzehnten wiederholt über Massen-Kollisionsereignisse an beleuchteten Bauwerken berichtet, bei denen in einzelnen Nächten Tausende von Vögeln an einem einzigen Bauwerk umkommen können. Dabei handelt es sich vermutlich nur um die Spitze des Eisbergs. Wir müssen befürchten, dass die Auswirkungen von Lichtquellen, die in den freien Luftraum abstrahlen, ganz immens sind, aber vielfach unbeobachtet bleiben (Ballasus et al. 2009).

Vor über zehn Jahren stellten die Ornithologen der Schweizerischen Vogelwarte Sempach fest, dass schon recht schwache Lichtquellen mit 200 Watt Zugvögel deutlich irritieren und vom Kurs abbringen (Bruderer et al. 1999). Kürzlich konnte in einer Studie erstmals abgeschätzt werden, wie viele Vögel prozentual betroffen sind, wenn sie durch einen solchen Lichtkegel fliegen (Haupt und Schillemeit 2011). Auf dem Dach des Bonner „Post-Towers“ sind in etwa 150 Meter Höhe mehrere 250 Watt-Strahler nebeneinander angebracht, die ein gläsernes Firmenlogo von unten hinterleuchten. Durch die nach oben gerichtete Abstrahlung erzeugen sie über dem Dach einen deutlichen Lichtkegel. Mit einem Fernglas wurden die Vögel beobachtet, die durch diesen Lichtkegel flogen.

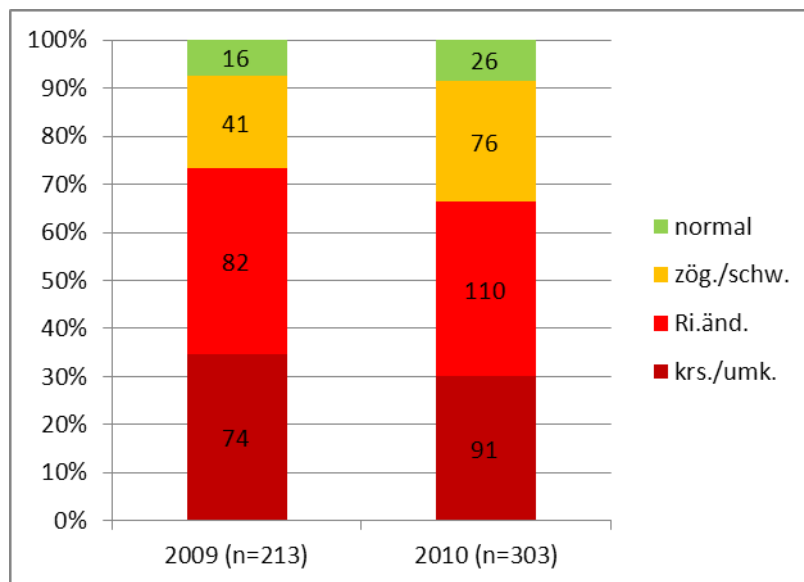


Abbildung 2: Änderungen des Flugverhaltens ziehender Vögel, die den Lichtkegel über dem Bonner „Post-Tower“ im Herbst 2009 und 2010 anflogen. Eigene Abbildung.

Die Farben kennzeichnen das Flugverhalten.

dunkelrot: kreisend/umkehrend (krs./umk.)

rot: Richtungsänderung um mindestens 45 Grad (Ri.änd.)

gelb: zögerlicher oder schwankender, unsicherer Flug (zög./schw.)

grün: keine aus der Entfernung beobachtbare Änderung des Flugverhaltens (normal)

Das Ergebnis der Beobachtungen aus dem Herbst 2009 und 2010 ist erschreckend, denn die Änderungen im Flugverhalten sind deutlich: Ein Teil der Vögel flog kreisförmig im Bereich des Lichtkegels oder kehrte sofort um. Ein anderer Teil änderte die Flugrichtung und wich um mehr als 45 Grad vom Kurs ab, der die Vögel zum Ziel führen sollte. Wieder andere verringerten ihre Fluggeschwindigkeit und flogen nur sehr schwankend und zögerlich weiter. Von über 500 Vögeln, die im Herbst 2009 und 2010 beobachtet wurden, reagierten *über 90 Prozent deutlich irritiert* (Abbildung 2). Wie viele der übrigen knapp zehn Prozent nicht auch betroffen waren und gleichsam im „Blindflug“ nur scheinbar unbeeinträchtigt ihren Weg fortsetzten, wissen wir nicht.

Sofern sich die desorientierten und abgelenkten Vögel im Streulicht noch weiter beobachten ließen, konnte festgestellt werden, dass sie auch nach Verlassen des Lichtkegels ihre richtige Flugrichtung nicht wieder aufnahmen. Ähnliche Beobachtungen machten auch Ornithologen der Schweizerischen Vogelwarte. Mittels Zielfolgeradar konnten sie feststellen, dass die Vögel auch nach Abschalten der Lichtquelle ihre „falsche“ Flugrichtung beibehielten. Wir haben es hier also offenbar mit mehr als nur einer kurzzeitigen Blendwirkung zu tun, wie wir es von unseren Augen kennen.

Wenn Zugvögel ihren Flug in die falsche Richtung fortsetzen, bedeutet das für sie einen hohen *Zeit- und Energieverlust*, der den Erfolg ihrer Reise gefährdet. Unmittelbar *lebensgefährlich* wird es, wenn sie mit Hindernissen kollidieren, die sie nicht mehr wahrnehmen. Diese Hindernisse können offenbar auch weiter von der gefährlichen Lichtquelle entfernt sein: Vögel, die aus Richtung einer Massen-Irritation durch Straßenbeleuchtung anfliegen, prallten noch in einem Kilometer Entfernung gegen ein eigentlich gut erkennbares Gebäude (Haupt 2011).

3. Alles kaum vorstellbar?

Warum werden Vögel von solch scheinbar harmlosen Lichtstrahlen so stark beeinträchtigt? Neuere Erkenntnisse aus der Vogelzugforschung geben uns eine leise Ahnung von dem, was sich abspielen könnte – und warum. Wir wissen seit langem, dass sich Zugvögel unter anderem anhand der Sterne und des Erdmagnetfeldes orientieren. Wie diese Magnetfeldorientierung funktioniert, ist auch nach mehreren Generationen Vogelzugforschung noch immer nicht restlos geklärt. Wir wissen aber seit einiger Zeit, dass Vögel das Erdmagnetfeld – genauer: die magnetischen Feldlinien – mit Hilfe von Photorezeptoren im Auge wahrnehmen können (z.B. Mouritsen und Ritz 2005). Diese Photorezeptoren sind nachts offensichtlich auf niedrige Lichtintensitäten – eben die natürlichen geringen Lichtverhältnisse – eingestellt. Trifft dann helles Kunstlicht auf das Vogelauge, gerät dieses empfindliche System durcheinander und damit die Orientierung des Vogels insgesamt. Das Risiko dafür steigt, je niedriger der Vogel fliegt, je näher er also unseren menschlichen Lichtquellen kommt.

4. Abhilfe tut Not

Freiwillige Selbstbeschränkungen und Programme von Kommunen, die Lichtverschmutzung oder den Lichtsmog einzudämmen, sind lobenswert und sollten zahlreiche Nachahmer finden. Dennoch wächst die Zahl der Skybeamer, Gebäudeanstrahlungen, künstlerischen Lichtinstallationen und anderen Lichtquellen, die ihr Licht nicht nur nutzlos, sondern gefährlich in die Horizontale oder nach oben abstrahlen. Teils geschieht dies aus Gedankenlosigkeit, teils vorsätzlich und bewusst. Umso enttäuschender ist es, dass das *Naturschutzrecht* bisher offenbar *keine hinreichend klare Handhabe* bietet, zumindest während der Zugzeiten solche Lichtquellen zu entschärfen.

Das Bundesnaturschutzgesetz hat ebenso wie die meisten Ländergesetze zu diesem Thema einen blinden Fleck. Zwar dürfen Vögel während der Wanderungszeiten nicht „erheblich“ gestört werden. Erheblich sei eine Störung aber nur dann, wenn sich dadurch der „Erhaltungszustand der lokalen Population einer Art verschlechtert“. Doch wie lassen sich „lokale Populationen“ von Zugvögeln definieren, die in breiter Front über uns hinweg ziehen?

Kurzfristige Abhilfe wäre möglich mit *Absatz 1 Nummer 1 des Paragraphen 44 unseres Bundesnaturschutzgesetzes*. Danach ist es verboten, selbst einzelne Tiere der besonders geschützten Arten – alle natürlicherweise bei uns vorkommenden Vogelarten zählen dazu – zu verletzen. Soll diese Vorschrift angewendet werden, müsste aber die Erkenntnis Raum greifen, dass es die – mitunter sogar lebensgefährliche – Verletzung eines Vogels darstellt, wenn man sein Orientierungssystem für mehr als nur einen Moment außer Kraft setzt.

Anfängliche, aus dem Labor bei schwachen Lichtintensitäten gewonnene Hoffnungen, mit bestimmten *Lichtfarben* das Risiko für die Vögel senken zu können, haben sich anders als bei Insekten nicht bestätigt. Egal ob weißes, rotes, blaues oder grünes Licht: Es gibt bisher keine zweifelsfreien Ergebnisse, die auf eine Entwarnung hindeuten. Vielmehr liegen Untersuchungen vor, nach denen auch die oftmals als weniger gefährlich eingeschätzten Lichtfarben nicht unbedenklich sind. Im Freiland sind künstliche Lichtquellen offenbar immer so stark, dass sie – unabhängig von der Lichtfarbe – die Vögel in Gefahr bringen.

Auch die *Leuchtdauer* spielt eine Rolle. So sollten Lichtquellen, die in größeren Höhen unabdingbar sind, wie die Luftsicherheitsbefeuerung von Hochhäusern oder Funktürmen, *blitzendes Licht* aussenden, nicht aber blinkendes oder Dauerlicht (vgl. Longcore et al. 2008). Weiterhin sollten Lichtquellen gegen eine Abstrahlung über die Horizontale nach oben hinaus *abgeschirmt* werden oder – wenigstens während der Vogelzugzeiten – *ausgeschaltet* bleiben. Anstrahlrichtung und Betriebszeiten lassen sich zum Wohle unserer Zugvögel *jederzeit* ändern – am Kölner Dom ebenso wie an unserer Dorfkirche.

Literatur

- Ballasus H, Hill K, Hüppop O (2009): Gefahren künstlicher Beleuchtung für ziehende Vögel und Fledermäuse. Berichte zum Vogelschutz 46: 127-157.
- Bruderer B, Peter D, Steuri T (1999): Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and a bright light beam. Journal of Experimental Biology 202: 1015-1022.
- Haupt H (2011): Massen-Irritation ziehender Singvögel durch Straßenbeleuchtung. Berichte zum Vogelschutz 47/48: 161-165.
- Haupt H, Schillemeit U (2011): Skybeamer und Gebäudeanstrahlungen bringen Zugvögel vom Kurs ab. Neue Untersuchungen und eine rechtliche Bewertung dieser Lichanlagen. Naturschutz und Landschaftsplanung 43 (6): 165-170.
- Hormann M (1998): Notlandung von Kranichen in Ulrichstein. Flieg und Flatter. Neues aus der Vogelschutzswarte, Ausgabe 3: 3.
- Longcore T, Rich C, Gauthreaux Jr. SA (2008): Height, guy wires, and steady-burning lights increase hazard of communication towers to nocturnal migrants: a review and meta-analysis. The Auk 125 (2): 485-492.
- Mouritsen H, Ritz T (2005): Magnetoreception and its use in bird navigation. Current Opinion in Neurobiology 15: 406-414.

Danksagung

Für wertvolle Hinweise zur Verbesserung des Manuskripts geht ein besonderes Dankeschön an Melanie Strauch.

Lichtverschmutzung und die Folgen für Fledermäuse

Daniel Lewanzik und Christian C. Voigt

1. Evolution der Fledermäuse

Fledermäuse entwickelten sich vor knapp 60 Millionen Jahren aus dämmerungs- oder nachtaktiven Säugetieren. Wahrscheinlich lebten die Fledermausvorfahren auf Bäumen, von wo aus sie Insekten über einen kurzen Flatter-Gleitflug erbeuteten. Im Laufe der Evolution vergrößerten sich die zunächst noch kleinen Flughäute zwischen den Fingern. Die Fähigkeit aktiv zu fliegen, zusammen mit der Entwicklung einer raffinierten Echoortung zur Orientierung, hat den Fledermausvorfahren eine ganz neue ökologische Nische eröffnet: den Luftraum. Tagsüber beherrschten diesen bereits insektenfressende Vögel, doch nachts war die Nische noch vakant. Mit der Eroberung des nächtlichen Luftraums ging schließlich eine eindrucksvolle Ausbreitung und Entwicklung der Artenvielfalt der Fledermäuse einher. Heute bilden sie mit über 1.200 bekannten Arten nach den Nagetieren die artenreichste Säugetiergruppe.

Fledermäuse sind ausschließlich nachtaktiv

Da die Haut der derzeit lebenden Fledermausarten sowie die der entfernt verwandten Säugetiergruppen, wie Spitzmäuse und Igel, dunkel pigmentiert ist, war vermutlich auch die Flughaut der Ur-Fledermäuse dunkel. Dies hatte wohl auch Konsequenzen für die zeitliche Einnischung der Fledermäuse. Denn die hohe Wärmeabsorption einer dunklen Flughaut macht eine Ausdehnung der Jagdaktivität in den Tag hinein unmöglich: Fledermäuse würden unter Sonneneinwirkung regelrecht überhitzen (Voigt und Lewanzik 2011). Eine helle Flughaut, die weniger Wärme absorbiert, wäre in der Nacht aber vermutlich zu auffällig, wenn dämmerungsaktive Greifvögel Jagd auf Fledermäuse machen.

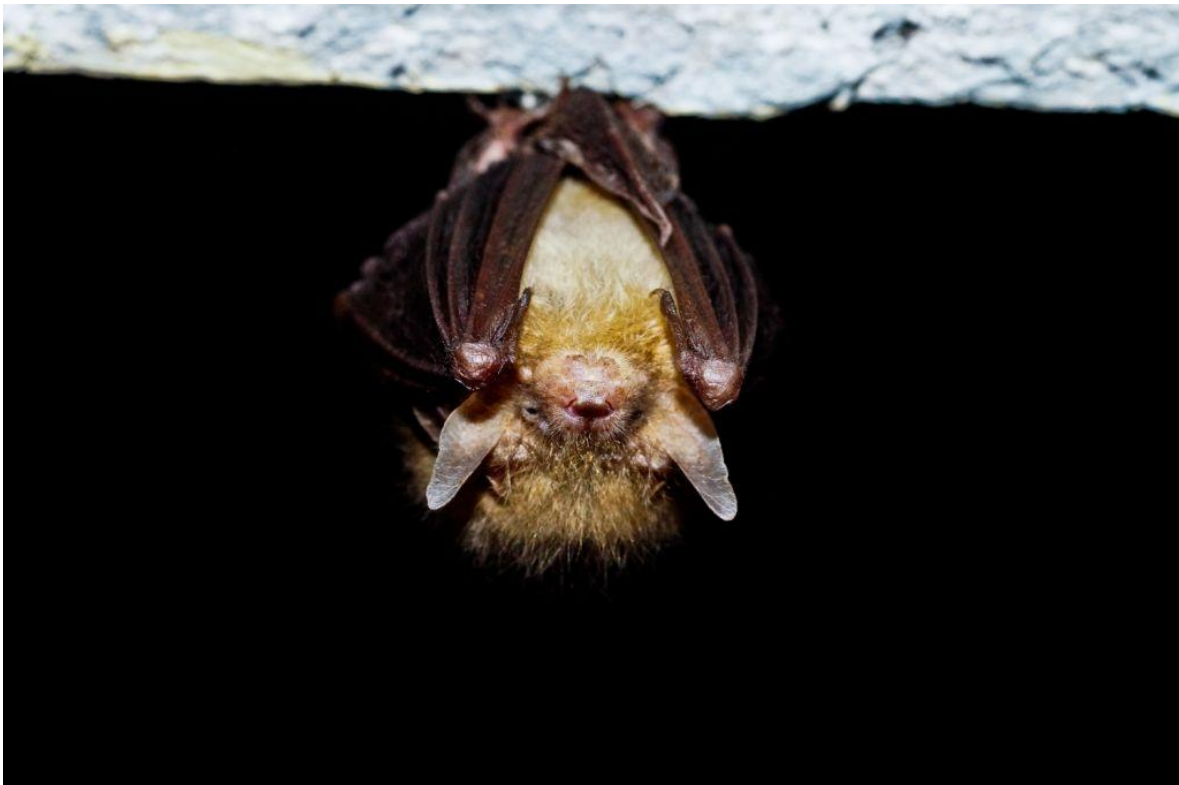


Abbildung 1: Braunes Langohr (*Plecotus auritus*). Das Braune Langohr ist eine in Deutschland heimische Fledermaus. Die dunkel pigmentierte Flughaut ist gut zu erkennen.

Foto: Simon J. Ghanem

2. Wirkung nächtlicher Beleuchtung auf Fledermäuse

Wenn die Nacht durch künstliches Licht zum Tag gemacht wird, hat dies weitreichende Folgen für Fledermäuse. Dadurch, dass viele Fledermäuse bei künstlicher Beleuchtung erst später aus ihren Quartieren ausfliegen und gegebenenfalls schon früher am Morgen wieder in diese zurückkehren, verringert sich die Dauer, die ihnen zur Nahrungssuche zu Verfügung steht. Zudem verpassen sie die frühen Abendstunden, in denen die Insektenverfügbarkeit für nachaktive Insektenfresser in der Regel am höchsten ist.

Manche Fledermäuse sind auch Profiteure der Straßenbeleuchtung

Allerdings gibt es auch Studien, die zeigen, dass einige Fledermausarten durchaus von künstlichem Licht profitieren. Manche insektenfressenden Fledermäuse haben gelernt, dass es besonders einfach und effizient ist an Straßenlaternen zu jagen. Denn viele Insekten, besonders Nachtfalter, werden nachts in großen Mengen von Straßenlaternen angezogen (vgl. Beitrag Eisenbeis). In einer Studie aus Schweden wurde beispielsweise festgestellt, dass die schnell fliegende Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*) vermehrt in solchen Ortschaften jagt, deren Straßen nachts beleuchtet sind. Zudem trat die Häufung von Nordfledermäusen in Ortschaften nur in der dunklen Jahreszeit auf. In den hellen nordischen Sommernächten hingegen, wenn die Lampen kaum eine anziehende Wirkung auf Insekten haben, blieben auch die Nordfledermäuse den beleuchteten Ortschaften fern (Rydell 1991). Diese und weitere Studien stützen die Vermutung, dass in erster Linie schnell fliegende Fledermausarten Insektenansammlungen an Straßenlaternen als Nahrungsquelle nutzen, da sie aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit ein geringeres Risiko haben, im Lichtkegel einer Lampe einem Beutegreifer zum Opfer zu fallen.

In Panama jagen jedoch auch langsam fliegende Fledermausarten Insekten an Straßenlaternen (Jung und Kalko 2010). Im Gegensatz zu schnellen Fliegern vollführen sie zur Insektenjagd keinen weiträumigen Zickzackflug sondern ziehen enge Kreise im Lichtkegel einzelner Laternen. Möglicherweise können sie das Risiko, während der Jagd an Straßenlaternen selbst zur Beute zu werden, auch dadurch verringern, dass sie aufgrund des reichen Nahrungsangebots ihre Jagdzeit verkürzen und somit mehr Zeit in ihrem sicheren Quartier verbringen können.

Viele Fledermäuse vermeiden das Licht

Es gibt auch Fledermausarten, die beleuchtete Gebiete meiden oder dort veränderte Verhaltensweisen zeigen. Die europäische Teichfledermaus (*Myotis dasycneme*) weicht künstlichem Licht aus und reduziert ihre Jagdaktivität in beleuchteten Bereichen, selbst wenn das Nahrungsangebot dort ansteigt (Kuijper et al. 2008). Folglich könnte die Beleuchtung angestammter Flugkorridore den Jagderfolg und schließlich auch ganze Fledermauspopulationen negativ beeinflussen.

Eine aktuelle Studie zeigt, dass auch die Weißbrandfledermaus (*Pipistrellus kuhlii*) und Bottas Fledermaus (*Eptesicus bottae*) ihr Verhalten bei künstlicher Beleuchtung verändern. Beide Arten flogen unter Lichteinwirkung deutlich schneller – vermutlich um das Risiko zu minimieren, im Licht entdeckt und gefressen zu werden. Die Weißbrandfledermaus scheint recht lichttolerant zu sein, denn sie verringerte ihre Aktivität während der Beleuchtung nur geringfügig und nutzte den beleuchteten Bereich weiterhin zur Jagd. Bottas Fledermaus hingegen jagte nur unter unbeleuchteten Bedingungen. Sie mied das beleuchtete Areal fast vollständig (Polak et al. 2011).

Ähnlich empfindlich reagieren Kleine Hufeisennasen (*Rhinolophus hipposideros*) auf künstliches Licht. Sie mieden ihre traditionellen Flugkorridore fast gänzlich, wenn diese beleuchtet wurden (Stone et al. 2012). Die Hufeisennasen müssen dann auf andere Wege ausweichen und dadurch unter Umständen mehr Energie investieren, um ihre Jagdgebiete zu erreichen. Das könnte sich unter anderem negativ auf ihre Reproduktionsleistung auswirken. Über die

Dauer der Untersuchung konnte keinerlei Gewöhnung an die Lichter festgestellt werden. Zudem begann die Aktivitätsphase der Kleinen Hufeisennasen in beleuchteten Nächten deutlich später als in natürlich dunklen Nächten.

Beleuchtete Fledermausquartiere verzögern Entwicklung der Jungtiere

Auch lichttolerante, an Laternen jagende Arten wie Zwergfledermäuse (*Pipistrellus pipistrellus*) vermeiden es aus ihrem Quartier zu fliegen, solange der Ausgang beleuchtet ist. Eine Studie aus Großbritannien zeigte: Je höher die Lichtintensität der Beleuchtung war, umso weniger Zwergfledermäuse flogen aus. Im Vergleich mit rotem und blauem Licht hatte eine weiße Beleuchtung die stärksten Auswirkungen (Downs et al. 2003). Besonders empfindlich scheint die Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus*) zu reagieren. Fast alle Individuen der untersuchten Kolonie verließen erst nach Ausschalten der Beleuchtung mehr als zwei Stunden verspätet ihr Quartier in einer Kirche. Der gleiche Effekt ließ sich auch bei Kleinen Mausohren (*Myotis oxygnathus*) und Großen Hufeisennasen (*Rhinolophus ferrumequinum*) beobachten. Eine besonders intensive Flutlichtbeleuchtung führte sogar zur kompletten Aufgabe einer großen Wochenstube – dem Quartier, in dem die Weibchen ihre Jungen zur Welt bringen und aufziehen – mit mehr als 1000 Individuen (Boldogh et al. 2007).

Untersuchungen an Jungtieren von Mausohrfledermäusen geben erste Hinweise darauf, dass sich eine Verkürzung der nächtlichen Nahrungssuche negativ auf ihre Entwicklung auswirken kann. Während der Phase, in der die Jungtiere noch gesäugt wurden, war ihre Unterarmlänge, die als Maß für das Größenwachstum herangezogen wird, in beleuchteten Quartieren kürzer, und ihr Körpergewicht geringer als bei jungen Artgenossen aus unbeleuchteten Quartieren (Boldogh et al. 2007). Wenn sich solche Nachteile bis zum Winterschlaf halten, haben Fledermäuse, die in Kolonien beleuchteter Quartiere aufwachsen, im Winter unter Umständen eine geringere Überlebenschance (vgl. Abbildung 2).

Licht – für die einen Segen, für die anderen Fluch

Lichtempfindliche Fledermausarten werden durch die allgegenwärtige Beleuchtung zunehmend in ihrem Lebensraum eingeschränkt und von ihren Jagdgebieten abgeschnitten. Dadurch, dass Insekten von weit her durch das Licht angezogen werden, stehen sie in angrenzenden dunklen Gebieten lichtsensiblen Arten nicht mehr als Beute zu Verfügung. Populationen mancher lichttoleranter Fledermausarten wie der Zwergfledermaus dagegen wachsen – wahrscheinlich als Folge der guten Nahrungsverfügbarkeit an Straßenlaternen. Bei der Jagd in unbeleuchteten Habitaten treten sie mit Populationen lichtempfindlicher Fledermausarten in Konkurrenz um die dort noch wenigen verfügbaren Insekten. In der Folge können diese in ihrem Bestand weiter gefährdet werden.

3. Was muss geschehen?

Es wäre sinnvoll, Kirchen und andere Bauwerke, die Fledermauskolonien beherbergen, zumindest während der Vegetationsperiode nur mit sehr geringer Intensität zu illuminieren und auch Straßen nicht die ganze Nacht über taghell erstrahlen zu lassen.

Moderne Lichttechnik ermöglicht es, die Lichtintensität der Verkehrslage entsprechend zu dimmen, und das Licht gezielt dorthin zu lenken, wo es benötigt wird (vgl. Beitrag Lang zu Beleuchtung im Außenraum). Auf diese Weise könnten negative ökologische Auswirkungen reduziert und gleichzeitig ein hohes Maß an Sicherheit gewährleistet werden. Bei lichtempfindlichen Arten wie den Hufeisennasen hilft diese Maßnahme jedoch nicht: Sie meiden ihre angestammten Flugkorridore auch dann, wenn diese nur schwach beleuchtet sind.

Wir sollten uns dem Wert und der Einmaligkeit der nächtlichen Dunkelheit bewusst werden und auf Licht verzichten, wenn es nicht tatsächlich benötigt wird – damit jene unbeleuchteten

Habitats, die lichtempfindlichen Tieren Zuflucht bieten, auch in Zukunft dunkel und groß genug sein werden, um den Fortbestand dieser Populationen zu gewährleisten.



Abbildung 2: Kleines Mausohr (*Myotis oxygnathus*). Das Kleine Mausohr fliegt erst verspätet oder gar nicht aus dem Quartier zur Nahrungssuche aus, wenn der Ausgang beleuchtet ist. Junge Mausohren beleuchteter Kolonien zeigen ein verlangsamtes Wachstum.

Foto: Christian C. Voigt

Literatur

- Boldogh S, Dobrosi D, Samu P (2007): The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. *Acta Chiropterologica* 9: 527-534.
- Downs NC, Beaton V, Guest J, Polanski J, Robinson SL, Racey PA (2003): The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. *Biological Conservation* 111: 247-252.
- Jung K, Kalko EKV (2010): Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *Journal of Mammalogy* 91: 144-153.
- Kuijper DPJ, Schut J, v. Dullemen D, Toorman H, Goossens N, Ouweland J, Limpens HJGA (2008): Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). *Lutra* 51: 37-49.
- Polak T, Korine C, Yair S, Holderied MW (2011): Differential effects of artificial lighting on flight and foraging behaviour of two sympatric bat species in a desert. *Journal of Zoology* 285: 21-27.
- Rydell J (1991): Seasonal use of illuminated areas by foraging Northern Bats *Eptesicus nilssoni*. *Holarctic Ecology* 14: 203-207.
- Stone EL, Jones G, Harris S (2012): Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. *Global Change Biology* 18: 2458-2465.
- Voigt CC, Lewanzik D (2011): Trapped in the darkness of the night: thermal and energetic constraints of daylight flight in bats. *Proceedings of the Royal Society of London Biological Sciences* 278: 2311-2317.

Lichtverschmutzung und die Folgen für Fische

Anika Brüning und Franz Hölker

1. Einleitung

Die Folgen der Lichtverschmutzung für Flora und Fauna sind nicht nur auf die Lebensräume Land und Luft beschränkt. Künstliches Licht in der Nacht kann auch starke Auswirkungen auf den Lebensraum Wasser haben (Moore et al. 2006, Perkin et al. 2011). Denn die Uferbereiche vieler Seen, Flüsse und Kanäle und natürlich auch die Küsten der Meere und Ozeane sind durch viele künstliche Lichtquellen (beispielsweise Ufer- und Hafenbeleuchtung, beleuchtete Brücken, urbaner Lichtdom) geprägt.

Ein anschauliches Beispiel ist das durch Lichteinwirkung veränderte Verhalten von Wasserflöhen (*Daphnia sp.*). Unter natürlichen Bedingungen halten sich Wasserflöhe tagsüber in tieferen Wasserschichten auf. In der Nacht wandern sie Richtung Wasseroberfläche, um Algen zu fressen. Durch künstliches Licht in der Nacht wird diese tagesperiodische Vertikalwanderung verändert – sowohl in ihrer Amplitude als auch in der Quantität der wandernden Individuen (Moore et al. 2000). Wenn die Wasserflöhe durch nächtliche Lichteinwirkung dann nicht mehr in dem Maße an die Wasseroberfläche wandern, werden weniger Algen gefressen. In der Folge könnte die Algenbiomasse des Gewässers ansteigen, was sich wiederum auf die Wasserqualität auswirkt. Außerdem kann das Verhalten von Fischen beeinflusst werden, denen Wasserflöhe als Nahrung dienen.

Weitere mögliche Auswirkungen nächtlicher Beleuchtung sind Stress sowie weitreichende Veränderungen in der Chronobiologie, der zeitlichen Organisation von Physiologie und Verhalten eines Lebewesens (Moore et al. 2006, Perkin et al. 2011).

2. Auswirkungen auf das Verhalten

Licht wirkt auf viele Fischarten sehr anziehend. Unter anderem werden viele Beutetiere (z.B. aquatische Insekten) von Licht angelockt. Dies macht sich beispielsweise die Fischerei zunutze. Beim so genannten Lichtfischen werden in der Nacht Scheinwerfer auf die Wasseroberfläche gerichtet, um Fische anzulocken und zu fangen.

Viele *Fischlarven und Jungfische* sind dagegen eher lichtscheu. Ähnlich den Wasserflöhen machen sie tagesperiodische Vertikal- und Horizontalwanderungen. In der Nacht schwimmen sie beispielsweise in die oberen Gewässerschichten, um im Schutz der Dunkelheit zu fressen. Sie folgen damit vor allem der Wanderung ihrer Beute, dem Zooplankton. Am Tage begeben sie sich in tiefere Wasserschichten, um sich vor tagaktiven Fraßfeinden zu verbergen. Eine künstliche Beleuchtung des Gewässers bei Nacht könnte diese Vertikalwanderung unterdrücken. Dadurch würden sie zur leichten Beute für Räuber werden, die sich nachts in Bodennähe aufhalten. Weiterhin könnte sich die Aktivitätsphase von tagaktiven Jägern wie zum Beispiel Hechten oder großen Barschen durch hellere Lichtverhältnisse in der Nacht ausdehnen. In der Nacht wandernde Fische wären dadurch auch einem stärkeren Räuberdruck ausgesetzt.

Auch die *Laichwanderung* von Fischen kann durch künstliches Licht in der Nacht gestört werden. Der Europäische Aal (*Anguilla anguilla*) beispielsweise wandert in den Monaten September und Oktober zum Laichen aus dem Landesinneren über die Flüsse in sein Schlupfgewässer, die Sargassosee, zurück. Die Wanderung in den Flüssen erfolgt fast ausschließlich in der Nacht. Bereits geringe Beleuchtungsstärken künstlichen Lichts können diese Wanderungen stören oder sogar zu ihrer Unterbrechung führen (Navara und Nelson 2007). Straßenlaternen oder beleuchtete Brücken können dadurch für den Aal und auch für andere Wander-

fische wie beispielsweise Lachse eine Barriere darstellen. Dadurch kann die Wanderung zeit- und energieaufwendiger werden, wodurch die natürliche Fortpflanzung gefährdet wird.

3. Auswirkungen auf Physiologie, Wachstum und Reproduktion

Bei Veränderungen des natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus durch künstliches Licht werden besonders die physiologischen Prozesse beeinflusst, die hormonell gesteuert sind. Das sind vor allem Vorgänge, die auf jahresperiodischen Rhythmen, wie beispielsweise Fortpflanzung, und tagesperiodischen Rhythmen, wie beispielsweise Nahrungsaufnahme, beruhen. Der innere Rhythmus von Fischen wird vom lichtempfindlichen Teil des Gehirns, dem so genannten Pinealorgan und dessen lichtabhängiger Abgabe des Hormons Melatonin gesteuert. Melatonin wird fast ausschließlich in der Nacht produziert. Durch die Änderungen des Melatoninspiegels im Tagesverlauf werden die Körperfunktionen synchronisiert und ermöglichen so eine effektive Regeneration während der Ruhephase.

Bereits geringe Beleuchtungsstärken sind ausreichend, um die Melatoninsynthese partiell zu hemmen. Ein *veränderter Melatoninspiegel* kann auch die Sekretion anderer Hormone wie beispielsweise der Schilddrüsenhormone beeinflussen. Diese sind vor allem wichtig für die Kontrolle von Entwicklung, Wachstum und Stoffwechselprozessen. Eine Schlüsselrolle spielen Schilddrüsenhormone beispielsweise bei der Metamorphose von Plattfischen, bei der sich der Körper scheibenförmig abplattet, und die Augen auf die Körperoberseite wandern. Die Beeinflussung des Melatoninhaushaltes durch Lichtverschmutzung und die damit einhergehende Änderung der Schilddrüsenfunktion kann daher *verheerende Auswirkungen auf Wachstum und Entwicklung von Fischen* haben.

Die *sexuelle Reifung* von Fischen, also die Entwicklung der Geschlechtsorgane, wird ebenfalls vom Licht getriggert. Hier ist es jedoch vornehmlich die saisonale Änderung der Tageslichtdauer, die diese Vorgänge steuert. Eine Modifizierung durch künstliches Licht kann demnach auch auf die Reproduktionsphysiologie einwirken. So ist zum Beispiel die abnehmende Tageslichtlänge im Herbst der Impuls für die Einleitung der Fortpflanzung. Wird diese abnehmende Tageslichtlänge in dieser so genannten photosensiblen Phase durch kontinuierliches Licht ersetzt, fehlt dieser Impuls (Abbildung 1).

In der *Aquakultur*, beispielsweise von Regenbogenforellen, wird dieser Umstand genutzt, um durch gerichtete Änderung der Tageslichtlänge auch außerhalb der Laichsaison Fischeier produzieren und Fische vermehren zu können. Genauso wird in der Aquakultur durch kontinuierliches Licht der Rhythmus von Schlüsselhormonen unterdrückt. Ein deutlich abgeschwächter Melatoninrhythmus kann zum Beispiel die Produktion der Sexualhormone Testosteron und Östrogen verhindern und in der Folge die Reifung der Geschlechtsorgane. Die dadurch „eingesparte“ Energie kann von den Fischen somit anderweitig investiert werden. Daher wird kontinuierliches Licht besonders in der Wachstumsphase von Jungfischen genutzt, um Wachstum und Gewichtszunahme zu fördern.

Die künstlich verlängerten Photoperioden dehnen außerdem die Zeit der möglichen Nahrungsaufnahme aus und begünstigen somit die Gewichtszunahme zusätzlich. Viele Untersuchungen belegen, dass auch Fischlarven unter verlängerten Photoperioden schneller wachsen als unter natürlicher Photoperiode. Für die Aquakultur ist dies natürlich ein günstiger Umstand, da auf diese Weise schnell für den Verkauf geeignete Fische produziert werden können. Für das aquatische Ökosystem jedoch könnten die Folgen künstlichen Lichts in der Nacht weitreichend sein, wenn sich bestimmte Arten nicht mehr oder nur eingeschränkt vermehren.

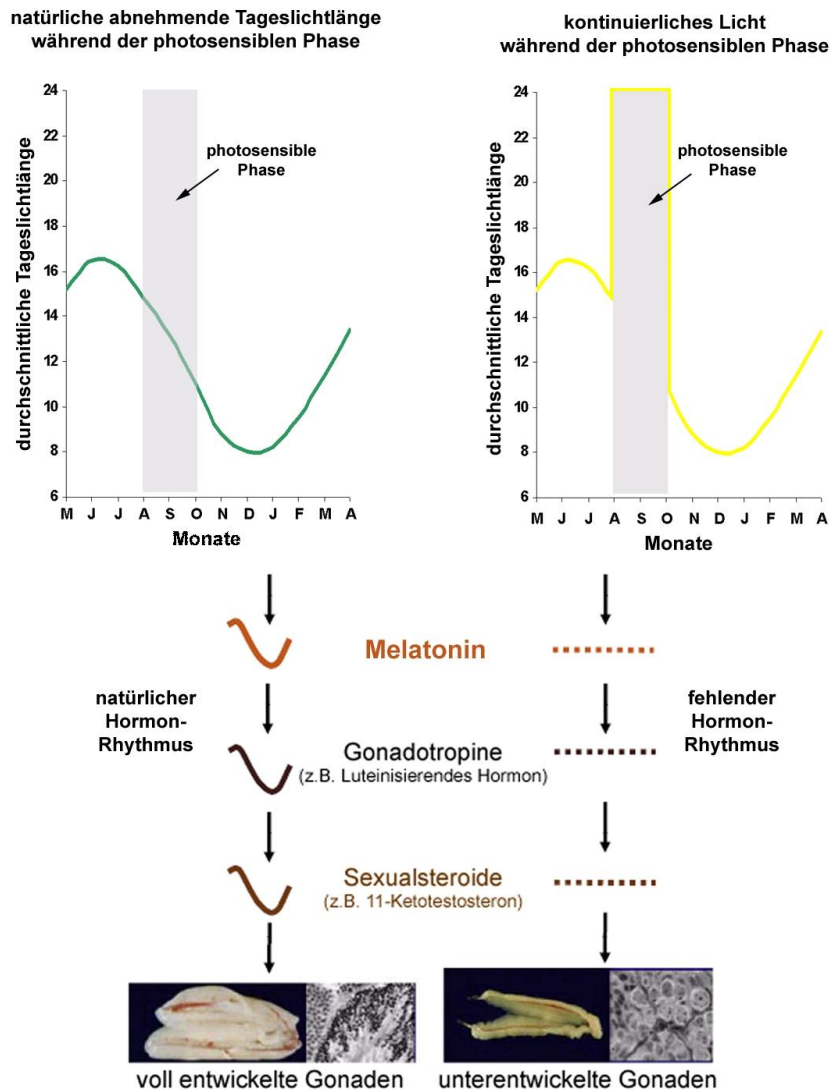


Abbildung 1: Mögliche Folgen kontinuierlicher Lichteinwirkung für die Entwicklung der Geschlechtsorgane von Fischen

Während bei der natürlich abnehmenden Tageslichtlänge im Herbst der Entwicklungsprozess der Geschlechtsorgane (Gonaden) normal verläuft, führt eine kontinuierliche Lichteinwirkung in dieser Zeit zu veränderten oder fehlenden Rhythmen.

Quelle: modifiziert nach Falcón et al. (2010)

Ebenso können bestimmte *Spektralbereiche des Lichts* bei Fischen – vor allem im Blaulichtbereich – gravierende Auswirkungen auf Fortpflanzung, Wachstum und den Umgang mit Stress haben (Boeuf und Le Bail 1999, Falcón et al. 2010). Noch sind die Informationen zum Einfluss der unterschiedlichen Spektralbereiche des Lichts auf die Chronobiologie der heimischen Fische spärlich.

Im Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin wird derzeit eine Studie zu diesem Thema durchgeführt. Hier werden nicht nur verschiedene Lichtintensitäten in der Nacht, sondern die verschiedenen Farben des Lichts in ihrer Wirkung auf den Europäischen Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) und die Plötze (*Rutilus rutilus*) untersucht (Abbildung 2).



Abbildung 2: Untersuchung des Einflusses von Spektralfarben auf den Hormonhaushalt
Im Bild zu sehen ist der Europäische Flussbarsch im Versuchsaquarium mit rotem Licht.

Foto: Anika Brüning

4. Abschlussbetrachtung

Die meisten Fische reagieren auf Licht, orientieren sich am Licht oder mit Hilfe von Licht. Dementsprechend sind sie potenziell sensibel gegenüber Veränderungen des Lichtregimes, was langfristig sogar dazu führen könnte, dass aquatische Ökosysteme durch die Lichtverschmutzung aus dem Gleichgewicht gebracht werden: Denn selbst wenn nur einige Arten vom nächtlichen Licht in ihrer Fortpflanzung gestört werden, kann sich in der Folge das Artgefüge insgesamt erheblich verändern.

Jede Spezies – oft auch die unterschiedlichen innerartlichen Entwicklungsstadien – reagiert dabei unterschiedlich auf Licht. Dies liegt vermutlich einerseits an der jeweiligen Lebensweise, also ob die Fische nachtaktiv, dämmerungsaktiv oder tagaktiv sind. Andererseits spielen sicherlich auch die biologischen und physikalischen Besonderheiten des Lebensraums sowie die Charaktereigenschaften des Individuums eine Rolle.

Literatur

- Boeuf G, Le Bail P-Y (1999): Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture* 177: 129-152.
- Falcón J, Migaud H, Muñoz-Cueto JA, Carrillo M. (2010): Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. *General and Comparative Endocrinology* 165: 469-482.
- Moore MV, Kohler SJ, Cheers MS (2006): Artificial light at night in freshwater habitats and its potential ecological effects. In: Rich C, Longcore T (eds.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington, Covelo, London: 365-384.
- Moore MV, Pierce SM, Walsh HM, Kvalvik SK, Lim JD (2000): Urban light pollution alters the diel vertical migration of *Daphnia*. *Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology* 27: 1-4.
- Navara KJ, Nelson RJ (2007): The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research* 43: 215-224.
- Perkin EK et al. (2011): The influence of artificial light on freshwater and riparian ecosystems: Questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere* 2(11): 122. <http://dx.doi.org/10.1890/ES11-00241.1>

Lichtverschmutzung und die Folgen für Ökosysteme und Biodiversität

Franz Hölker

1. Einleitung

Die überwiegende Zahl der Organismen – Pflanzen, Tiere und Mensch – hat sich im Laufe der Evolution an den täglichen Wechsel von Hell und Dunkel angepasst. Zeiten der Nahrungssuche, Wanderung oder Ruhe wurden ebenso darauf ausgerichtet wie Zeiten der Partnersuche und Fortpflanzung. Erst vor rund 100 Jahren begann der Mensch seine Umwelt künstlich zu beleuchten. Durch die nächtliche Beleuchtung sind viele Organismen mit Lebensbedingungen konfrontiert, auf die sie sich evolutionsbiologisch noch gar nicht haben einstellen können. Die rasante weltweite Zunahme in den vergangenen Jahrzehnten sowie der weltweite Trend zu weißerem Licht hat viele Nachtlandschaften grundlegend verändert (Hölker et al. 2010a) – und das mit zum Teil gravierenden Folgen für Ökosysteme und Biodiversität.

2. Wirkung nächtlicher Beleuchtung auf die Biodiversität

30 Prozent aller Wirbeltiere und mehr als 60 Prozent aller Wirbellosen sind heute nachtaktiv (Hölker et al. 2010b). Durch Ausbildung hochentwickelter Sinne haben sie sich an die Schwachlichtbedingungen der Nachtnische anpassen können. Ein zu hohes Lichtniveau kann zur Blendung, Desorientierung und Abschreckung führen. Aber auch Faktoren wie Farbspektrum, Zeitpunkt und Dauer der Beleuchtung sowie die Abstrahlungsgeometrie spielen eine Rolle bei der Wirkung nächtlicher Beleuchtung auf die biologische Vielfalt.

Viele Tierarten nehmen Bereiche des Lichtspektrums wahr, die für den Menschen teilweise unsichtbar sind. So reagieren zahlreiche Insekten, Krebse und Fische auf Licht im ultravioletten Bereich. Abgesehen von Natriumdampf-Niederdrucklampen und LEDs senden fast alle gängigen im Außenbereich verwendeten Lampentypen Licht in diesem Spektralbereich aus. Einige Fisch-, Krebs- und Vogelarten sowie einige wenige Insektenarten haben dagegen eine hohe Augenempfindlichkeit im orange-roten Spektralbereich, in dem nahezu alle Leuchtmittel – insbesondere Natriumdampflampen – Licht emittieren. Welcher Lampentyp auch verwendet wird – stets gibt es eine spektrale Überstimmung der Lichtemission mit der Augenempfindlichkeit einiger Tierarten. Die meisten Arten haben innere Uhren entwickelt, die durch die Wahrnehmung des natürlichen Tag-Nacht-Zyklus synchronisiert werden. Sie spielen eine Schlüsselrolle für Stoffwechsel, Wachstum und Verhalten. Zur Wahrnehmung des natürlichen Tag-Nacht-Zyklus gibt es etwa in der Netzhaut von höheren Wirbeltieren Lichtsensoren, die die so genannte „Master Clock“ täglich „stellen“. Diese wiederum synchronisiert die vielen inneren Uhren mit der Umwelt. Der wichtigste Taktgeber dabei ist eine eindeutige Wahrnehmung des täglichen Wechsels von Hell und Dunkel (siehe Beiträge Bromundt, Knab), die bei höheren Wirbeltieren vor allem durch nächtliches Licht im kurzwelligen blauen Spektralbereich gestört wird. Je nach spektraler Zusammensetzung des künstlichen Lichts können so physiologische Reaktionen und Verhaltensantworten hervorgerufen werden, die sich negativ auf Nahrungssuche, Paarungs- und Wanderverhalten sowie Fortpflanzungserfolg und Fitness auswirken (Navara and Nelson 2007). Derzeitig werden zunehmend Gasentladungsröhren mit einem relativ schmalen Spektralband durch weißes Licht ersetzt. Dies lässt befürchten, dass die flächendeckende Erhöhung der spektralen Bandbreite auch eine Erhöhung der Bandbreite möglicher Auswirkungen auf Organismen bewirkt (Gaston et al. 2012).

Die nächtliche Beleuchtung stört ferner die Wahrnehmung wichtiger Signale, mit Hilfe derer sich nachtaktive Tierarten wie beispielsweise einige Käfer, Nachtfalter, Grillen und Spinnen

orientieren. In klaren, mondbeschienenen Nächten erstreckt sich ein für das menschliche Auge unsichtbares Muster polarisierten Lichts wie ein Kompass über den Himmel. Lichtglocken über Großstädten, die durch Streuung und Reflektion des nach oben abgestrahlten Lichts entstehen (Kyba et al. 2011a), können bewirken, dass die Tiere dieses Signal über weite Flächen nicht mehr wahrnehmen und zur Orientierung verwenden können (Kyba et al. 2011b).

Lichtverschmutzung bedroht die Artenvielfalt

Sowohl die Lichtglocken einer Stadt aber auch punktuelle Lichtquellen wie Straßenlampen oder beleuchtete Hochhäuser, Sky-Beamer und illuminierte Brücken können das Verhalten und die Physiologie von Organismen negativ beeinflussen. Beispiele dafür gibt es viele:

- *Zugvögel* werden durch beleuchtete Hochhäuser oder Sky-Beamer irritiert (Beitrag Haupt).
- *Wanderfischarten* wie Lachs oder Aal setzen ihre Wanderung an illuminierten Brücken zeitweise nicht fort. Die Tiere verlieren dadurch wertvolle Zeit und verschwenden Energie, die ihnen eventuell nicht mehr zum Erreichen des Zielorts und für eine erfolgreiche Fortpflanzung zu Verfügung steht (siehe Beitrag Brüning und Hölker).
- Frisch geschlüpfte *Meeresschildkröten* halten die glitzernde Küstenpromenade für die sich im Meer spiegelnden Sterne und den Mond und finden nicht den Weg ins schützende Meer (Rich and Longcore 2006).
- *Bäume* werfen unter nächtlicher Beleuchtung ihre Blätter später ab. Durch die verspätete Vorbereitung auf den Winter können Frostschäden auftreten (Rich and Longcore 2006).
- Milliarden von *Insekten* verlassen ihren eigentlichen Lebensraum und können dort nicht mehr der Nahrungs- und Partnersuche nachgehen. Man spricht von einem „Staubsaugereffekt“ (siehe Beitrag Eisenbeis). Die desorientierten Insekten werden zur leichten Beute anderer Tiere oder sterben bei Kollisionen oder durch Erschöpfung.

Nächtliche Beleuchtung kann so zu einem lokalen Artenverlust führen und die Einwanderung ortsfremder Arten (Neozoen) begünstigen. Die Auswirkungen auf die Artenvielfalt sind bislang jedoch noch nicht quantifizierbar, werden voraussichtlich aber nicht unbeträchtlich sein.

Einfluss auf evolutionäre Prozesse

Künstliches Licht in der Nacht kann wichtige Selektionsfaktoren beeinflussen. Manch städtisches Amsel- oder Meisenmännchen beginnt bei künstlichem Licht früher zu singen (siehe Beitrag Helm und Partecke). Normalerweise haben Frühaufsteher bei der Paarung die besten Chancen, da sie als Partner Qualität versprechen. Wenn aber ein Irrläufer zu einem begehrten Liebhaber wird, gerät die natürliche Selektion durcheinander (Kempenaers et al. 2010). Die Nacht hat zudem bei der Artentwicklung eine große Bedeutung als ökologische Nische (Hölker et al. 2010b). Zu Zeiten der tagaktiven Dinosaurier war beispielsweise das Leben in der Nacht sehr viel sicherer. Dies führte dazu, dass fast alle damaligen Säugetiere auf die Nacht auswichen. Erst nach dem Aussterben der Dinosaurier wurde die Tagesnische gefahrloser, und es entwickelten sich mehr und mehr tagaktive Säugetiere. Durch die zunehmende künstliche Beleuchtung ist jedoch die Nacht als ökologische Nische bedroht. Es ist davon auszugehen, dass die genetische Zusammensetzung von Populationen durch einen lichtinduzierten Selektionsdruck eher lichtunempfindliche Genotypen begünstigt und lichtempfindliche Arten zumindest lokal verloren gehen, insbesondere in stark beleuchteten städtischen Gebieten oder deren Nähe. Einige Arten können sich möglicherweise evolutionär an die neue Lichtsituation anpassen – oder haben es bereits getan.

3. Wirkung nächtlicher Beleuchtung auf Ökosysteme

Nicht nur der Mensch, auch andere tagaktive Tierarten machen sich die hell erleuchtete Nacht zum Tage: Tagaktive Räuber wie Fische erhöhen so den Fraßdruck auf nachtaktive Arten

oder konkurrieren mit ihnen um Nahrung oder Lebensräume. Verschwinden dadurch Arten, fehlt anderen Tieren die Nahrungsgrundlage. Einige Tiere haben gelernt, Nutzen aus der Beleuchtung zu ziehen, denn die hohen Dichten an angelockten und desorientierten Insekten stellen ein reichhaltiges Nahrungsangebot dar. Spinnen bauen ihre Netze direkt vor die Lichtquellen, einige Fledermausarten umschwirren gezielt Laternen (Beitrag Lewanzik und Voigt) und Geckos sitzen zur Jagd auf der Beleuchtung. Durch nächtliche Lichteinwirkung können so Nahrungsnetze verzerrt werden und Ökosysteme geraten aus dem Gleichgewicht (Abb. 1).

Gewässer stellen dabei besonders sensible und schützenswerte Systeme dar. Zum einen konzentriert sich künstliches Licht in der Nacht vor allem auf menschliche Siedlungen, die bevorzugt entlang von Gewässern liegen, zum anderen ist die Übergangszone zwischen Wasser und Land ein besonders artenreicher Lebensraum. Unter den dort lebenden Fischen, Amphibien, Vögeln, Fledermäusen und Insekten gibt es eine Vielzahl gefährdeter Arten.

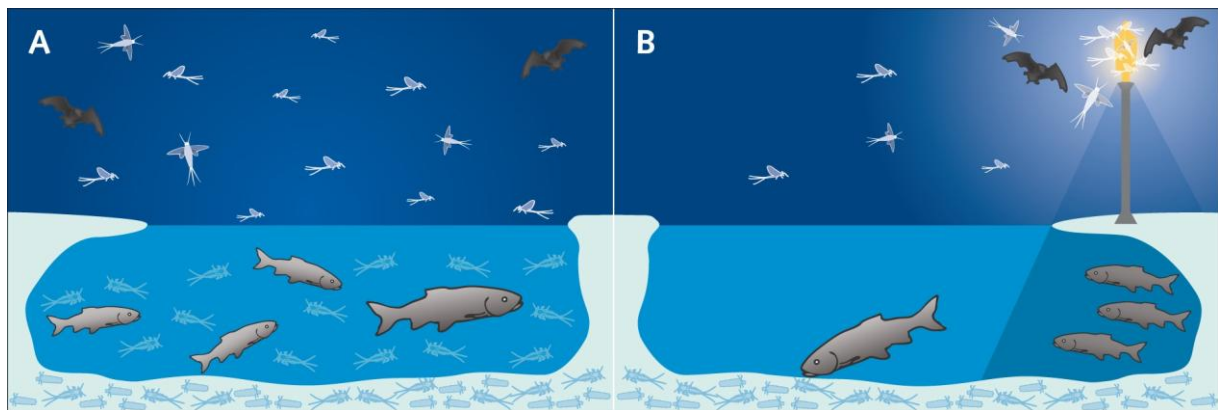


Abbildung 1: Mögliche Auswirkungen von künstlichem Licht an einem Fließgewässer

Natürliche Nacht (A), das gleiche System künstlich beleuchtet (B). Bei nächtlicher Beleuchtung suchen kleine Fische Schutz, große Fische verbleiben im Freiwasser und sind durch Beleuchtung in der Lage, nachts frei driftende kleine Gewässerorganismen wie Insektenlarven oder Bachflohkrebe zu fressen. Als Folge überleben Gewässerorganismen, die weniger driften und sich verstecken. Einige Fledermausarten und Spinnen profitieren von desorientierten Insekten im Bereich der Straßenbeleuchtung. Diese fehlen Fischen und Vögeln als Nahrungsgrundlage.

Quelle: Perkin et al. (2011)

Das Zuviel an künstlichem Licht wirkt sich mehr und mehr auf die Ökosystemleistungen aus (Hölker et al. 2010b) mit vielfältigem Nutzen für die Menschen. Betroffen sind nicht nur bereitstellende Ökosystemleistungen, etwa durch einen Verlust von lichtempfindlichen Arten und Genotypen oder der Beeinträchtigung von Lebensräumen für Pflanzen und Tiere. Es steht zu befürchten, dass selbst regulierende Ökosystemleistungen beeinträchtigt werden, z.B. durch den Rückgang nächtlicher Bestäuber, wie Nachtfalter oder Fledermäuse. Auch kulturelle Ökosystemleistungen werden beeinträchtigt. Hierzu zählt der kulturelle Wert einer dunklen Nacht sowie die Sichtbarkeit von Milchstraße und Sternbilder (siehe Beitrag Hänel).

4. Was muss geschehen?

Zum Schutz von Ökosystemen und Biodiversität ist ein nachhaltiges Beleuchtungsmanagement erforderlich. Dazu ist es wichtig, sowohl den räumlichen Zusammenhang (Grünfläche, Uferzone, Innenstadt, Wohngebiet) als auch den zeitlichen Kontext (Jahreszeiten, Beleuchtungsbedarf im Nachtgang) zu berücksichtigen (siehe Beitrag Held und Hölker). So könnte beispielsweise während der Wanderzeiten von lichtsensitiven Vögeln und Fischen auf eine störende Gebäude- und Brückenstrahlung weitestgehend verzichtet werden. Wichtige Ansatzpunkte für eine nachhaltigere Beleuchtung sind:

- *Kontextspezifische Beleuchtung*: In naturnahen Räumen müssen andere Kriterien zum Schutz von lichtempfindlichen Arten und Ökosystemen zugrunde gelegt werden als in zentralen urbanen Bereichen oder Wohnsiedlungen, in denen es gilt, vorrangig den Schlaf des Menschen zu schützen.
- *Lichtstärke*: Es müssen dringend Schwellenwerte festgelegt werden. Erst wenn man weiß, wie viel Licht notwendig und zumutbar ist, kann eine optimale Beleuchtung für unterschiedliche raumzeitliche Kontexte entwickelt werden. Bei der bisher üblichen Lichtplanung, wird meist nur von Untergrenzen ausgegangen, wie beispielsweise in der Straßenbeleuchtung gemäß DIN 13201. Obergrenzen werden kaum berücksichtigt.
- *Farbspektrum*: Es gilt, Lampen mit maßgeschneiderten Spektren zu entwickeln. Grundlage dafür sind Informationen über spektrale Empfindlichkeiten und maßgebliche Dosen der Lichteinwirkung für die zu schützenden Organismen. Nach bisherigem Wissensstand ist kalt-weißes Licht mit einem hohen UV- und Blauanteil in naturnahen Räumen nicht zu empfehlen (Gaston et al. 2012, siehe Beitrag Eisenbeis). Auch eine Variation der spektralen Verteilung künstlichen Lichts während des Nachtgangs scheint zweckmäßig zu sein.
- *Zeitpunkt und Dauer der Lichteinwirkung*: Nachhaltige Beleuchtung benötigt eine zeitliche Steuerung. In lichtökologisch sensiblen Gebieten wie in Stadtparks, an Uferwegen, straßenunabhängigen Wegen oder außerhalb von Ortschaften sollte in Phasen mit geringem Fußgänger- und Verkehrsaufkommen (zum Beispiel nach Mitternacht) keine oder eine nur geringe Beleuchtung (z.B. Orientierungsleuchten) eingesetzt werden.
- *Abstrahlungsgeometrie*: Das Ziel sollte sein, nur das zu beleuchten, was beleuchtet werden soll. Der Anteil des von den Leuchten in den oberen Halbraum abgestrahlten Lichts (*Upward Light Ratio*, ULR) sollte null Prozent betragen (siehe Beiträge Posch, Lang).

Der Verlust der Nacht hat wahrscheinlich deutliche, wenn auch bisher von Wissenschaft und Gesellschaft fast vollständig übersehene Folgen für Ökosysteme und Biodiversität. Damit neue Richtlinien und Schwellenwerte akzeptiert und umgesetzt werden können, muss das Wissen um die vielfältigen Schattenseiten künstlicher Beleuchtung ins Bewusstsein der Öffentlichkeit gelangen. Es ist daher dringend erforderlich, Politikentwicklung und strategische Planung zu informieren, Forschung zu priorisieren und nachhaltige Beleuchtungskonzepte zu entwickeln. Dabei sollten in Zukunft neben den Sicherheits- und Gestaltungsanforderungen an die Beleuchtung auch die ökologischen Schutzgüter berücksichtigt werden.

Literatur

- Gaston KJ et al. (2012): Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *J Appl Ecol* 49: 1256-1266.
- Hölker F et al. (2010a): The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecol Soc* 15(4): 13. <http://www.ecolgyandsociety.org/vol15/iss4/art13/>
- Hölker F et al. (2010a): Light pollution as a biodiversity threat. *Trends Ecol Evol* 25: 681-682.
- Kempnaers B et al. (2010): Artificial night lighting affects dawn song, extra-pair siring success, and lay date in songbirds. *Cur Biol* 20: 1735-1739.
- Kyba CCM et al. (2011a): Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS ONE*, 6(3): e17307, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0017307>.
- Kyba CCM et al. (2011b): Lunar skylight polarization signal polluted by urban lighting. *J Geophys Res* 116: D24106.
- Navara KJ, Nelson RJ (2007): The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *Journal of Pineal Research* 43: 215-224.
- Perkin EK et al. (2011): The influence of artificial light on freshwater and riparian ecosystems: Questions, challenges, and perspectives. *Ecosphere* 2(11): 122. <http://dx.doi.org/10.1890/ES11-00241.1>
- Rich C and Longcore T (Hg.) (2006): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Covelo, California.

Lichtverschmutzung und die Folgen für die menschliche Gesundheit

Barbara Knab

1. Vorbemerkung

Was wir in diesem Band mit dem Begriff „Lichtverschmutzung“ bezeichnen, beschreibt die nächtliche Beleuchtungssituation in der Außenwelt, die wir Menschen mit allen anderen Lebewesen teilen. Wir selbst allerdings erleben das Licht in der Nacht in Innenräumen erheblich intensiver als draußen. Wollen wir uns also mit den Folgen der Lichtverschmutzung für unsere eigene Gesundheit beschäftigen, so kommen wir nicht umhin, ganz allgemein die Folgen der 24-Stunden-Beleuchtung zu untersuchen. Deshalb nimmt dieser Beitrag beides in den Blick: Innen und Außen.

2. Licht und biologische Rhythmen

Thomas Alva Edison hatte eine Vision. Seine Erfindung, die Glühlampe, sollte die Menschheit langfristig von etwas befreien, was er selbst für reine Zeitverschwendung hielt: vom Schlaf. Zur Realität wurde diese Vision nie. Bis heute schlafen Menschen im Verlauf von 24 Stunden mindestens einmal, und das viele Stunden. Dieser Schlaf-Wach-Rhythmus ist endogen und wird von einer inneren Uhr gesteuert. Ein Durchgang dauert ungefähr 24 Stunden, weshalb er „zirka“-dian heißt (vgl. Beitrag Bromundt).

Die genaue Dauer nennt man *Periodenlänge*, und sie hängt vor allem von Genetik, Lebensalter und sozialen Faktoren ab. Bei den meisten Menschen beträgt sie etwas mehr als die 24 Stunden der Erdumdrehung. Die endogene Periodenlänge einer Person bestimmt ihren *Chronotyp*. Wenn sie sehr lang ist, handelt es sich um einen *Abendtyp*, wenn sie sehr kurz ist, um einen *Morgentyp*. Dass wir schließlich (fast) alle im 24-Stunden-Rhythmus leben, wird von äußeren Ereignissen bewirkt, die *Zeitgeber* heißen (mehr zu beidem bei Bromundt).

Hier kommt das Licht ins Spiel, allerdings ein wenig anders, als Edison sich das vorgestellt hatte, nämlich als *Zeitgeber*: Neben Schlafen und Wachen sind auch andere Funktionen zirkadian getaktet, etwa Körperkerntemperatur, Kreislaufstabilität und diverse Hormone, außerdem psychische Variablen wie Leistung und Befindlichkeit. Zeitgeber sind äußere Ereignisse, die den Schlaf-Wach-Rhythmus nicht nur mit dem 24-Stunden-Tag der Erdumdrehung synchronisieren, sondern auch mit den anderen Rhythmen. Der wichtigste zirkadiane Zeitgeber ist das Sonnenlicht bzw. – genauer – der Wechsel von Tag und Nacht bzw. Licht und Dunkelheit. Es wirkt sogar stark genug, um unsere Zirkadian-Rhythmen an völlig andere Zeitzonen anzupassen, etwa wenn wir nach Amerika oder Indien fliegen.

In vielen Fällen allerdings verliert die Sonne ihre Zeitgeberfunktion. Das ist im hohen Norden der Fall, wenn sie im Winter kaum mehr scheint und im Sommer kaum noch untergeht, aber auch hierzulande, vor allem bei extremen Abend- oder Morgentypen. In solchen Fällen kann man heute elektrisches Licht als künstliche Zeitgeber einsetzen. Dafür benötigt man Lichtstärken von mindestens 2000 Lux, was die Sonne selbst bereits an einem sehr trüben Tag liefert.

3. Schlafen, Licht und Dunkelheit

Die Existenz von zirkadianen Rhythmen belegt zwar, dass der Wechsel zwischen Schlafen und Wachen biologisch normal ist. Sie belegt aber nicht unbedingt, dass wir den Schlaf als

solchen brauchen, um gesund zu sein, und auch nicht, dass er vorzugsweise nachts erfolgen sollte. Doch genau das scheint der Fall zu sein.

Der Schlaf ist zunächst eine typische Aktivität des Gehirns. Dieses arbeitet während des Schlafs langsamer und anders als im Wachsein und folgt dabei selbst einem 90-Minuten-Rhythmus. Dabei wechseln sich Leichtschlaf, Tiefschlaf und paradoxer Schlaf ab (REM, *rapid eye movement*). Schlafen wir über längere Zeit gar nicht, zu wenig oder qualitativ zu schlecht, dann können Lebensfunktionen entgleisen. Dazu gehören etwa Immunsystem, Verdauung oder Zuckerstoffwechsel. Besonders schnell aber sind Stressverarbeitung, emotionale Stabilität und geistige Leistungsfähigkeit beeinträchtigt, allen voran Reaktionszeiten und Aufmerksamkeit.

Wirklich gut ist der Schlaf tatsächlich nur nachts. Das liegt daran, dass er nur nachts parallel zu den übrigen zirkadianen Rhythmen stattfindet, vor allem zu denen von Körperkerntemperatur und Melatonin, dem Dunkelhormon. Die Temperatur ist am Nachmittag am höchsten und zwischen zwei und vier Uhr morgens am tiefsten, weshalb diese Zeit auch als „biologische Mitternacht“ bezeichnet wird. Danach findet kaum noch Tiefschlaf statt, das Melatonin reduziert sich und damit auch die Fähigkeit einzuschlafen. Gleichzeitig beginnt der Organismus, das Stresshormon Kortisol auszuschütten.

Normalerweise endet der Schlaf von selbst, wenn das Kortisol den Tagesspiegel erreicht hat, meist nach etwa sieben bis acht Stunden. Man kann aber auch plötzlich durch Wecken erwachen, längst bevor man ausgeschlafen ist. Als Weckreiz kann jeder sensorische Reiz wirken, etwa Schmerzen, Berührung und Lärm.

Oder Licht. Es stört beim Einschlafen und weckt aus dem Leichtschlaf, wenn es heller ist auch aus dem Tiefschlaf. Allerdings reagieren Menschen verschieden intensiv auf Licht; einige sind empfindlicher, vor allem im Einschlafprozess, andere fühlen sich erst bei stärkeren (Licht)-Reizen gestört. Insgesamt gibt es aber für jeden Menschen eine Beleuchtungsintensität, die ihn unweigerlich weckt.

Schon deshalb kann man nicht einfach tags statt nachts schlafen. Wer es dennoch tun muss, sollte den Raum zumindest verdunkeln. Doch selbst dann ist das optimale *Schlaffenster* – um den Tiefpunkt der Körpertemperatur – gerade geschlossen. Deshalb ist Tagschlaf immer kürzer und schlechter, unruhiger und erheblich weniger tief als Nachtschlaf, selbst wenn die Nacht zuvor ganz ohne Schlaf war.

4. Nachtaktivität und Desynchronisierung

Laufen die Rhythmen von Temperatur und Schlafen-und-Wachen auseinander, schwingen sie nicht synchron – in der Fachsprache: sie sind *desynchronisiert*. In diesem Fall schläft man nachts kürzer und leidet unter schlechter Schlafqualität; in der Folge steigt die Wahrscheinlichkeit für regelrechte Schlafstörungen dramatisch an. Es sind vor allem ausgeprägte Morgen- oder Abendtypen, die besonders leicht desynchronisieren. Man kann der Gefahr aber begegnen; man muss nur aktiv dafür sorgen, dass man im Takt bleibt. Dafür sollte man sich gut mit Zeitgebern versorgen, neben dem besonders wichtigen hellen Licht auch mit Regelmäßigkeit und sozialen Kontakten.

Eine zweite Gruppe desynchronisiert noch leichter: Menschen, die regelmäßig Schicht arbeiten. Vor allem Nachtschichten ziehen fast immer starke Müdigkeit und Schlafstörungen nach sich; schließlich müssen Nachtarbeiter tagsüber zum chronobiologisch unpassenden Zeitpunkt schlafen und erholen sich dabei schlechter. Gleichzeitig kann die Sonne bei ihnen nur eingeschränkt als Zeitgeber wirken und die übrigen Zeitgeber fallen weg, weil Schichtarbeit immer unregelmäßig ist. Häufige Folge: die Betroffenen desynchronisieren. Schichtarbeiter, deren Rhythmen desynchronisiert sind, leiden nicht nur fast alle unter Schlafstörungen, sondern viel

öfter als andere unter Herz-Kreislaufstörungen, Substanzmissbrauch und Fettleibigkeit. 2007 hat die WHO die Desynchronisierung als Ursache für die faktisch höhere Krebsrate der Schichtarbeiter anerkannt. In Dänemark werden Krebserkrankungen der Brust, der Prostata und des Colons bei Schichtarbeitern sogar als Berufskrankheit akzeptiert.

Generell kommen Abendtypen etwas leichter mit Nachtschichten zurecht als andere, weil sie chronobiologisch flexibler sind. Da Nachtarbeit aber grundsätzlich den Gegebenheiten der sozialen Realität und des Hell-Dunkel-Wechsels widerspricht, kann sich trotzdem niemand wirklich daran gewöhnen. Schlafprobleme und Desynchronisierung sind dort kaum zu vermeiden.

5. Licht in der Nacht

Sonnenlicht, aber auch künstliches helles Licht am Tag, synchronisiert die inneren Uhren, es hält direkt wach und geistig fit. Das ist besonders wirksam, wenn es viel kurzwelliges, „blau-es“ Licht enthält (460-480 nm). Inzwischen gibt es erste Belege, dass die kognitive Leistung nicht nur von Arbeitenden, sondern auch von Schulkindern steigt, wenn die Arbeits- bzw. Klassenzimmer heller beleuchtet sind. Darüber hinaus hebt Licht die Stimmung und scheint sogar dazu beizutragen, dass Kranke schneller gesund werden (siehe den Beitrag von Bromundt). Analoges kann auch nachts geschehen: In einer hell beleuchteten Umgebung machen Menschen weniger typische Nacht-Fehler, vor allem wenn der Blaulichtanteil hoch ist. Außerdem schlafen die Leute dann seltener (beinahe) ein. Helles Licht in der Nachtschicht hat also unbestreitbare Vorteile.

Das kann eine Kehrseite haben: Gerade die optimale Arbeitsbeleuchtung könnte direkt dazu beitragen, dass die Rhythmen der Nachtarbeiter desynchronisieren und die Betroffenen in der Folge krank werden. Einen Beleg für diese Annahme liefern Befunde, die zeigen, dass selbst LED-Bildschirme mit hohem Blauanteil Rhythmen ein wenig nach hinten verschieben können. Sie sind zwar nicht sehr hell, aber immerhin hindert blaues Licht ab 100 Lux das Gehirn daran, Melatonin auszuschütten – und schon schaltet das Gehirn nur verzögert auf „Nacht“.

Zu diesem Thema stellte Richard Stevens (USA) Anfang des Jahrtausends die LAN-(*light-at-night*) Hypothese auf. Sie besagt: Sobald Menschen in Gebieten leben, die nachts beleuchtet sind, so beeinträchtigt das bereits die zirkadiane Rhythmik – gesundheitliche Folgen inbegriffen. Das sind vor allem städtische Gebiete in industrialisierten Ländern, wobei schon eine normale Straßenbeleuchtung mit 10 Lux 40 mal so hell ist wie der Vollmond. In ersten epidemiologischen Studien untersuchte man vor allem Krebsraten. Die zeigen tatsächlich: Je heller Gebiete nachts beleuchtet sind, umso mehr Brustkrebs gibt es bei Frauen und umso mehr Prostatakrebs bei Männern. Den Hintergrund vermutet man beim Melatonin, das ja bei Licht vermindert ausgeschüttet wird: Melatonin hemmt das Wachstum einiger Krebszellen. Experimentelle Daten gibt es dazu bisher allerdings nicht. Die wichtigsten Argumente gegen die LAN-These sind: a) die Beleuchtung korreliert allgemein mit dem Lebensstil (je heller, umso hektischer), und das hebt Krankheitsraten auch; b) LAN beschreibt die Lichtintensität des Ortes und nicht die Lichtintensität, der das einzelne Individuum ausgesetzt ist; und c) die Chronotypen werden dabei außer acht gelassen.

Genau zu Punkt c) hat aber soeben eine Gruppe um Christian Vollmer aus Heidelberg eine Studie publiziert (Vollmer et al. 2012). Sie untersuchten Chronotypen Jugendlicher, und zwar geographisch sehr genau in den Regionen Rhein-Neckar, Mannheim und Heidelberg. Dabei bestätigten sie, dass sich in der Adoleszenz der Chronotyp in Richtung Abendtyp verschiebt; das galt bisher als naturgegeben. Die Gruppe fand aber überdies: Die Verschiebung ist intensiver, wenn die Jugendlichen in einer helleren städtischen Umgebung leben als auf dem nachts dunkleren Land. Es spricht viel dafür, dass das tatsächlich durch die nächtliche Beleuchtung verursacht wird; der Befund blieb nämlich auch dann erhalten, wenn man andere

Variablen herausgerechnet, etwa Eltern, Alter, Bildschirmnutzung, Stimulantiengebrauch et cetera. So könnte LAN das Bindeglied zur jugendlichen Desynchronisierung sein: Abendtypen desynchronisieren öfter.

6. Folgerungen

Wir haben Leben und Arbeiten auf 24 Stunden pro Tag erweitert. Dafür leuchten wir die Nächte aus (LAN) und ziehen uns tagsüber in Kunstlicht-Räume zurück. Biologisch bleibt der wichtigste Zeitgeber dennoch die Sonne bzw. helles Licht, während die Dunkelheit Melatonin und Müdigkeit triggert.

Wirken Zeitgeber schlecht oder gar nicht, so zieht das einerseits vermehrt Schlafstörungen nach sich. Andererseits neigen dann zirkadiane Rhythmen zum Desynchronisieren, und das kann zu weiteren Krankheiten führen. Die häufigste äußere Ursache für Desynchronisierung ist Schicht- und Nachtarbeit, und es gibt gute Gründe anzunehmen, dass dabei die Beleuchtung eine entscheidende Rolle spielt. Doch selbst bei Menschen ohne Nachtschicht könnte nächtliche Außenbeleuchtung nicht nur den Schlaf direkt stören, sondern auch die Desynchronisierung fördern, indem sie Chronotypen Richtung Abend verschiebt.

Wir haben die Nacht zum Tage gemacht und wollen alles zu jeder Tageszeit haben und tun. Wir halten das für normal, doch es hat seinen Preis. Der besteht in diversen gesundheitlichen Problemen, wobei psychische Fragen wie Leistungsfähigkeit und emotionale Stabilität noch nicht einmal angesprochen sind. Wie weit das uns alle trifft, überprüft die LAN-Hypothese. Wer jedoch immer dafür zahlt, sind Menschen, die nachts arbeiten. Insofern treiben wir alle die Gesamt-„Kosten“ in die Höhe, solange wir rund um die Uhr funktionierende Verkehrsmittel erwarten, Tankstellen, Pizzadienste, Gastronomie, Gesundheitsversorgung und Sicherheit. Wir können uns aber auch anders entscheiden.

Literatur

Cajochen C (2011): Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews* 11: 453-464.

Kantermann T, Roenneberg T (2009): Is light-at-night a health risk factor or a health risk predictor? *Chronobiology international* 26: 1069-1074.

Vollmer C, Michel U, Randler C (2012): Outdoor Light at Night (LAN) is correlated with eveningness in adolescents. *Chronobiology international*. 29: 502-508.

Stevens R (2011): Testing the LAN-theory for breast cancer causation. *Chronobiology international* 28: 653-656.

Zulley J, Knab B (2009): *Unsere Innere Uhr. Natürliche Rhythmen nutzen und der Non-Stop-Belastung entgehen.* Frankfurt/Main: mabuse-Verlag.

Zulley J, Knab, B (2009): *Wach und fit. Mehr Energie, Leistungsfähigkeit und Ausgeglichenheit.* Frankfurt/Main: mabuse-Verlag.

**Schutz der Nacht –
Lichtverschmutzung, Biodiversität
und Nachtlandschaft**

**Schutz der Nacht –
Handlungsansätze**

Besser beleuchten – richtige Wahl der Strahlengeometrie

Thomas Posch

1. Zwischen Sonnenlicht und Kunstlicht liegen Welten

Das Modell und Urbild jeglicher Beleuchtung ist das Sonnenlicht. Dieses hat – ebenso wie jenes des Mondes, der Planeten und der Sterne – eine sehr bemerkenswerte Eigenschaft: Es kommt bei uns auf der Erde in *parallelen Strahlenbündeln* an. Dies liegt daran, dass diese Himmelskörper unter dem Blickwinkel der geometrischen Optik betrachtet im Unendlichen liegen. *Von der Sonne oder dem Mond beleuchtete Flächen sind großräumig und gleichmäßig beleuchtet* – außer es ergeben sich Schlagschatten durch dazwischentretende Objekte wie Häuser oder Bäume. Diese Tatsache ist einer der Gründe für den angenehm homogenen Beleuchtungseindruck, den heller Sonnenschein aber auch das Licht des Mondes hervorruft.

Technisch erzeugtes Licht kann – bis heute zumindest – keine wirklich großräumig sonnenähnliche Beleuchtungssituation herstellen. Denn wir können keine künstliche Lichtquelle optisch im Unendlichen positionieren und zugleich noch ausreichend Licht von ihr bekommen. Höchstens mit riesigen geostationären Reflektoren im Erdorbit wäre dies näherungsweise möglich. Solche extrem aufwändigen Beleuchtungssysteme sind derzeit aber nicht ernsthaft in Planung.

Künstliche Beleuchtung hat daher immer eine völlig andere Strahlengeometrie als jene von Sonne und Mond. Sie beleuchtet immer nur lokal und schafft den visuellen Eindruck: hier hell und dort dunkel. Wobei das Hier und das Dort in der Regel im Bereich von Metern bis höchstens Kilometern und damit sehr nah beieinander liegen. Physikalisch lässt sich dies auch so ausdrücken: Bei künstlicher Beleuchtung befinden wir uns immer im stark auseinanderlaufenden Teil des Strahlungsfeldes. Dort findet eine Intensitätsabnahme mit dem Quadrat der Entfernung ($1/r^2$) statt. Bei Beleuchtung durch Sonne und Mond befinden wir uns dagegen im Bereich paralleler Strahlenbündel – wo auch immer wir uns auf der Erde bewegen. Wir bekommen also im Sonnen- und Mondlicht nie etwas von der $1/r^2$ -„Strahlungsverdünnung“ zu spüren.

2. Licht- und Sonnentürme – Irrwege der Beleuchtungsgeschichte

Im Laufe der Beleuchtungsgeschichte wurde immer wieder versucht, das Licht der Sonne nachzuahmen. Beispiele dafür sind Beleuchtungsprojekte des 19. Jahrhunderts. So sollte beispielsweise eine ganze Stadt mit Hilfe einer riesigen Lichtquelle von einem einzigen, kolossalen Lichtturm aus sonnenähnlich beleuchtet werden. Das namhafteste Projekt dieser Art gab es in Frankreich. Es nannte sich *Tour Soleil* (Sonnenturm) und wurde 1889 bei einem Wettbewerb für die Errichtung eines monumentalen Wahrzeichens eingereicht.

Aus diesem Wettbewerb ging allerdings der Eiffelturm siegreich hervor. Wolfgang Schivelbusch schreibt darüber: „Daß schließlich dem Eiffelturm der Vorzug gegeben wurde, hatte seinen Grund nicht etwa darin, daß man die Zentralbeleuchtung von Paris durch den Sonnenturm für unmöglich und absurd hielt, sondern weil sie zu kostspielig, unpraktisch und gefährlich erschien. Doch wie attraktiv die Idee einer solchen Lichtquelle war, mag man daraus ersehen, daß auch Eiffel in Erwägung zog, auf der Spitze seines Turms eine Bogenlichtanlage zu installieren.“ (Schivelbusch 2004, S. 125)

Der im Wettbewerb unterlegene Sonnenturm hätte übrigens gigantische Ausmaße haben sollen – eine Höhe von mehr als 300 Metern mit einer Aussichtsplattform für rund 1.000 Besucher. Man meinte, die künstliche Sonne an seiner Spitze würde „auch den letzten Winkel ausleuchten und wie das wirkliche Sonnenlicht, bis ins Innere der Häuser und Wohnungen drin-

gen“ (Schivelbusch 2004, S. 126). Die Errichtung des Pariser Sonnenturms wäre für die damalige, von Fortschrittsoptimismus geprägte Zeit eine lehrreiche Lektion gewesen. Denn der kolossale Leuchtturm hätte sich rasch als *Blendwerk* in buchstäblichem Sinne erwiesen: „Vor allem wurde [...] darauf hingewiesen, daß diese künstliche Sonne zumal in den weiter entfernt liegenden Stadtteilen mehr blenden als beleuchten würde“, schreibt Schivelbusch (2004, S. 126). Und weil dies schon damals von Kritikern des Sonnenturm-Projekts erkannt wurde, wurde der Plan letztlich nicht realisiert.

Andernorts, beispielsweise in Detroit in den USA, wurden im 19. Jahrhundert sehr wohl Lichttürme konstruiert und eine Zeitlang betrieben. Da sie sich jedoch nicht bewährten, gerieten sie in Vergessenheit (Schivelbusch 2004, S. 122 ff.).

3. Viele kleine Sonnen: Kugelleuchten und ihre wenig hilfreichen Verwandten

Auf einem weiteren Irrweg befinden wir uns bis heute: Statt einer großen Sonne *viele kleine nächtliche Sonnen* zu installieren. Beispielsweise Kugelleuchten sehen nicht nur aus wie Sonnen, sie gleichen der Sonne auch dahingehend, dass sie in alle Richtungen strahlen. Mit einer Ausnahme: Dorthin, wo sich die Befestigung der Kugelleuchten befindet, kann sich das Licht wegen der abschattenden Wirkung der Laternenmasten nicht ungehindert ausbreiten.

Kugelleuchten erhellen nicht nur die zu beleuchteten Flächen, sie sind selbst *noch aus großer Entfernung zu sehen*. Damit versucht man die von der Sonne hergestellte Beleuchtungssituation lokal zu imitieren. Allerdings: das Sonnenlicht erleuchtet eine Landschaft – solange die Sonne über dem Horizont steht – immer von oben und verschenkt keinerlei Strahlen durch ein Leuchten von unten nach oben. Daran hindert nämlich der jeweilige irdische Horizont die Sonnenstrahlen. Kugelleuchten – und jegliche Leuchten, die Lichtstrahlen auch oberhalb der Horizontalen emittieren – verschwenden eine Menge Energie dadurch, dass sie nicht nur von oben nach unten leuchten. Insofern sind auch diese Leuchten Irrwege der Beleuchtungsgeschichte.

4. Voll abgeschirmte Leuchten sind die Lösung

Abbildung 1 zeigt, wie die *ideale Strahlengeometrie* künstlicher Außenbeleuchtung aussehen kann. Bei Straßenlaternen, die nur in die Zone A, also in lotrechte Richtung nach unten und maximal 70 Grad davon abweichend Licht abstrahlen, ist die ausgesandte Strahlung nicht direkt wahrnehmbar, wenn man sich an einem höheren Punkt befindet als die Lichtquelle selbst – ganz im Gegensatz zu den oben erwähnten Kugelleuchten, die Rundumstrahler sind. Dasselbe gilt auch noch für Leuchten, die Teile ihrer Strahlung in die Zone B emittieren, nicht aber oberhalb der Horizontalen in die Zonen C oder D. Leuchten mit ausschließlichen Lichtemissionen in die Zonen A und B werden als voll abgeschirmte oder *full cutoff* (FCO-) Leuchten bezeichnet.

Wenn man eine Siedlung, die ausschließlich von FCO-Leuchten erhellt wird, aus der Flugzeugperspektive oder auch nur von einem leicht erhöhten Punkt aus, wie einem Hügel am Stadtrand, betrachtet, wird das Auge keinerlei Licht sehen, welches direkt aus einer der Leuchten käme – sondern nur die sanfte diffuse Reflexion des Lichts durch die Straßenbeläge (vgl. Beitrag Lang zum Außenbereich). Diese Reflexion des Lichts durch die Straßen führt zwar unvermeidlicherweise auch zu einer gewissen Himmelsaufhellung bzw. Lichtverschmutzung, jedoch in viel geringerem Ausmaß als der Einsatz von Nicht-FCO-Leuchten.

Weshalb ist es nun aus ökonomischer und ökologischer Sicht so wichtig, die Außenbeleuchtung so zu gestalten, dass direkte Emissionen in den oberen Halbraum und möglichst auch in die Zone B vermieden werden? Dafür gibt es eine Reihe von Gründen:

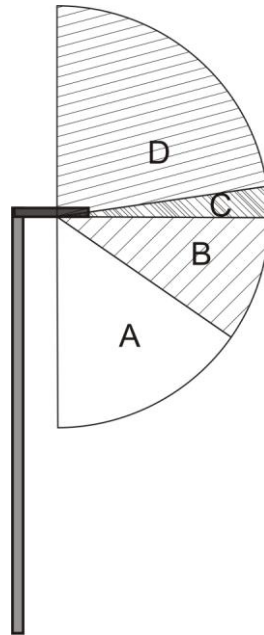


Abbildung 1: Strahlengeometrie einer künstlichen Lichtquelle

Grafik: Nikolaus Thiemann, veröffentlicht in ÖNORM O 1052 (Austrian Standards Institute); beruhend auf einer Grafik von Christopher Baddiley.

Zone A:

Strahlungswinkel 0 bis 70 Grad. Idealer Ausstrahlwinkel. Maximaler Beitrag zum Nutzlicht, minimale störende Fernwirkung.

Zone B:

Strahlungswinkel 70 bis 90 Grad. Geringer zusätzlicher Beitrag zum Nutzlicht. Bereits störende Fernwirkung.

Zone C:

Strahlungswinkel 90 bis 95 Grad. Kein zusätzlicher Beitrag zum Nutzlicht. Stark störende Fernwirkung. In diese Richtung abgestrahltes Licht ist auch aus großer Entfernung (viele Dutzend Kilometer weit) wahrnehmbar.

Zone D:

Strahlungswinkel 95 bis 180 Grad. Kein zusätzlicher Beitrag zum Nutzlicht. Deutliche lokale Himmelsaufhellung, insbesondere im Nahbereich von einigen Kilometern um die Laterne.

- Licht, das in den oberen Halbraum strahlt, ist *verschwendete Energie*, da es – außer im Spezialfall ansteigenden Terrains – nie den Boden erreicht. Es hellt den Nachthimmel auf und strahlt sinnlos in den Weltraum (vgl. Beitrag Hänel).
- Stark nach unten hin gebündeltes Licht hat einen wesentlich *kleineren Anlockradius für Nachtfalter* und andere nachtaktive Tiere, während Strahlen, die in die Zonen B und C gerichtet sind, viele Kilometer weit vordringen können (vgl. Beitrag Eisenbeis).
- In Straßen, die beidseitig von Häuserzeilen begrenzt werden, dringt Licht aus mittig montierten Hängeleuchten bis in die Wohnungen der oberen Stockwerke weit über die Höhe der Leuchten selbst vor, wenn in den Zonen B, C und D noch direkte Lichtemission erfolgt. Die Lichtemission kann dann zur *störenden Immission* werden und die Schlafqualität der Anwohner beeinträchtigen (vgl. Beitrag Knab).
- Neuere Untersuchungen zeigen, dass bei Emissionen von Licht in kleinen Winkeln zur Horizontalen die (unerwünschte) *Aufhellung des Nachthimmels* über einer Region stark zunimmt (Luginbuhl et al. 2009). Hinsichtlich der Fernwirkung und des Beitrags zur Himmelsaufhellung in vielen Dutzend Kilometern Entfernung sind horizontnah emittierte

Strahlen (Zone C) sogar „schlimmer“ als senkrecht nach oben entweichendes Licht (Zone D).

Emissionen in den oberen Halbraum können weiterhin durch eine möglichst geringe Höhe der Laternenmasten minimiert werden. Eine geringere Mastenhöhe macht zwar eine größere Anzahl von Lichtpunkten pro Straße erforderlich, ermöglicht es aber auch, mit geringeren Anschlussleistungen pro Lichtpunkt auszukommen. Darüber hinaus – und dies ist der bedeutendere Aspekt – wird durch die niedrigere Lichtpunkthöhe wiederum die Fernanlockwirkung einer Laterne auf Insekten reduziert (vgl. Beitrag Eisenbeis). Ebenso verursachen tiefer gelegte Lichtpunkte Immissionen in eine geringere Anzahl von Stockwerken anliegender Wohnhäuser (nämlich in die Stockwerke unterhalb der Lichtpunkthöhe). Lichtplanerisch ist die Lichtpunkthöhe allerdings oft nur eingeschränkt wählbar.

5. Fazit

Die in diesem Beitrag angestellten Überlegungen hätten vielfach schon lange in die Praxis umgesetzt werden können. Aber erst in den letzten Jahren kam aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen genügend Evidenz zusammen, um uns (hoffentlich) hinreichend stark zu motivieren, *Beleuchtungskörper mit optimierter Strahlengeometrie* (vgl. Beitrag Lang zum Außenbereich) einzusetzen.

Während der vergangenen 150 Jahre dominierte ein zu exzessiver Einsatz des künstlichen Lichts. Man ging davon aus, dass die Bevölkerung über jedwede Steigerung künstlicher Beleuchtung froh sei. Doch angesichts der Lichterflut der heutigen Zeit setzt ein *Umdenken* hin zu einer intelligenteren Beleuchtung ein. Denn nur solches Licht, das dorthin strahlt, *wo es gebraucht* wird – und zwar dann, *wenn es gebraucht wird* –, kann noch als positiv und zeitgemäß empfunden werden.

Literatur

Luginbuhl CB, Walker CE, Wainscoat RJ (2009): Lighting and Astronomy. *Physics Today* (Dec. 2009): 32-37.

Österreichisches Normungsinstitut (Hg.) (2012): ÖNORM O 1052: Lichtimmissionen – Messung und Beurteilung. Wien.

Schivelbusch W (2004): *Lichtblicke. Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert.* Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main: 122-126.

Entwicklung von Maßzahlen für adaptive Beleuchtungssysteme

Stephan Völker und Peter Krenz

1. Einleitung

In Kommunen und Städten werden öffentliche Straßen und Plätze in der Nacht zum Zweck der Verkehrssicherheit beleuchtet (siehe Beitrag Pauen-Höppner und Höppner). Dabei ist das Verhältnis zwischen Verkehrssicherungspflicht, effizienter Energienutzung und Schutz der Umwelt (einschließlich der Aufhellung des Nachthimmels) zu optimieren.

Will man die unerwünschten Folgen der Beleuchtung gering halten, benötigt man deutlich komplexere Beleuchtungslösungen als jene, die heute Stand der Technik sind. Die Entwicklung der dafür benötigten Lichtquellen, Leuchten, Sensoren und Netzwerke ist eine wichtige Voraussetzung, bedarfsgerecht optimale Sehbedingungen zu schaffen. Eine weitere Voraussetzung sind entsprechende Maßzahlen, wann, wie viel Licht in welche Richtung abgestrahlt werden soll. Der vorliegende Beitrag liefert dafür eine erste Diskussionsgrundlage.

2. Grundlagen nutzflächenbasierter Beleuchtungsbewertung

Zur qualitativen Beurteilung der Straßenbeleuchtung im Sinne der Verkehrssicherheit wurden in der europäischen Norm die Gütekriterien der EN 13201 (2007) erarbeitet (vgl. Beitrag Walkling und Stockmar). Insbesondere ist die räumliche Verteilung des Lichtes anhand der Beleuchtungsstärke bzw. der mittleren Leuchtdichte zu bewerten. Die Bewertung erfolgt dabei allein auf der Fahrbahn und dem Rad-/Fußweg. Da diese Nutzflächen nur einen kleinen Raumwinkel der Abstrahlrichtung einer Leuchte ausmachen, gelangt ein nicht unwesentlicher Teil des Lichtes auf Flächen, wo es für die Verkehrssicherheit nicht benötigt wird. Von diesen Flächen wird das Licht wieder reflektiert und trägt damit unnötig zur Lichtimmission bei.

Empfehlungen zur Messung und Minderung von Lichtimmissionen durch künstliche Lichtquellen werden in der LiTG-Schrift 12.3 (LiTG 2011) aufgezeigt. Als beschreibende Größe der Lichtquelle dient der Lichtstärkeverteilungskörper und für die Bewertung der Himmelaufhellung die Abstrahlung in den oberen Halbraum. Eine detaillierte Beschreibung von Nutzflächen ist lediglich für Fenster von Wohnungen bzw. begrenzte Wände von Balkonen und Terrassen gegeben. Eine genauere Spezifikation anderer Flächen, insbesondere Biotope, fehlt. Erschwerend kommt hinzu, dass derzeitige Immissionsrichtwerte die öffentliche Straßenbeleuchtung teilweise explizit ausschließen.

Um die teilweise gegensätzlichen Ziele (gute Sichtbedingungen, kein Licht in den Schlafräumen, keine Himmelaufhellung) zu erreichen, ist eine lichttechnische Bewertung einzelner Nutzflächen unumgänglich. Dafür muss der Verkehrsraum in solche eingeteilt werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Nutzflächenbestimmung in einer Anliegerstraße. Neben der eigentlichen Fahrbahn (hier rot), fällt Licht auf Grünstreifen (gelb), Fahrzeugabstellflächen (rot), Vorgärten (grau) und wird nach oben emittiert (blau). Besonders kritische Bereiche, in die möglichst wenig oder kein Licht gelangen sollte,

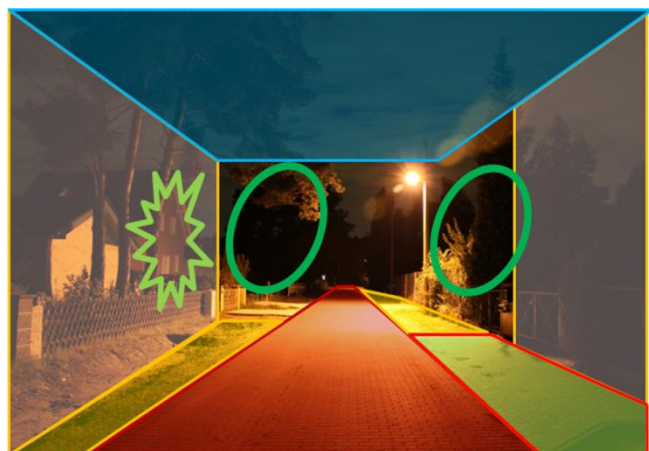


Abbildung 1: Einteilung des Blickfeldes in farblich gekennzeichnete Nutzflächen. Diese sind unterschiedlich zu beleuchten (Erläuterung zu Kreisen und Stern siehe Text).

sind im Bild grün gekennzeichnet. Dazu zählen Bäume, in denen Vögel nisten oder Hausfasaden, welche Schlafräume aufweisen (grün).

Im nächsten Schritt gilt es für die einzelnen Nutzflächen, Grenzwerte zu definieren, die visuelle, energetische, ökologische und ästhetische Aspekte berücksichtigen. Um diese Grenzwerte möglichst allgemeingültig angeben zu können, müssen im Projekt „Verlust der Nacht“ unter anderem folgende Fragen beantwortet werden:

1. *Wo muss beleuchtet werden und für welche Bereiche im Verkehrsraum sollte die Beleuchtung reduziert werden?*

Wie bereits ausgeführt, ist es primäre Aufgabe der Straßenbeleuchtung, Objekte auf und neben der Fahrbahn frühzeitig zu erkennen. Mithilfe eines angepassten Leuchtendesigns mit entsprechend ausgelegten Reflektoren und Leuchtenabdeckungen, der optimalen Lichtpunktposition und dem Neigungswinkel einer Leuchte lässt sich die räumliche Verteilung des Lichtes so variieren, dass möglichst maximale Kontraste auf der Straße erzeugt werden können. Abbildung 2 zeigt zwei typische Lichtstärkeverteilungskurven (LVK).

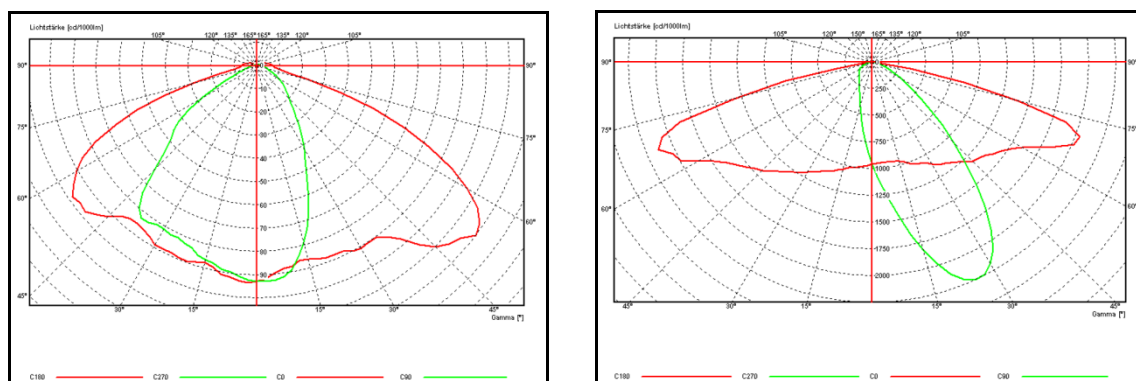


Abbildung 2: Konventionelle Lichtstärkeverteilungskurven einer normalen Straßenleuchte im Vergleich mit einer für große Mastabstände optimierten Leuchte.

Die linke LVK ist für geringe Mastabstände geeignet (rote Kurve symmetrisch, normale Breite), während die rechte LVK (rote Kurve symmetrisch, sehr breit) für weite Mastabstände eingesetzt wird. Die Asymmetrie in der grünen Kurve berücksichtigt, den Standort auf der rechten Straßenseite (linkes Bild) und auf der linken Straßenseite (rechtes Bild). Eine gezielte Beleuchtung einzelner Nutzflächen ist hierbei nicht vorgesehen.

Für die gezielte Beleuchtung von Nutzflächen müssen diese LVKs zukünftig anpassbar sein, d.h. jede Leuchte benötigt eine eigene LVK. Damit sind nicht nur Nutzflächen gezielter zu beleuchten, sondern auch unterschiedliche Mastabstände auszugleichen. Das BMBF beginnt z.Z. mit der Forschungsförderung zur Entwicklung entsprechender Systeme.

Im Rahmen des Projektes „Verlust der Nacht“ werden im Teilprojekt IP-KOM unterschiedliche Straßentypen auf ihr Einsparpotenzial analysiert. In die Analyse werden neben Anliegerstraßen in eher ländlichem Raum auch Durchfahrtsstraßen im großstädtischen Bereich einbezogen.

2. *Wie viel Licht soll auf die jeweils definierte Fläche auftreffen, damit die notwendige Sehauflage erfüllt werden kann und die ökologische Wirkung gering gehalten wird?*

Dieser Parameter kann anhand der örtlichen horizontalen und vertikalen Beleuchtungsstärke und der Leuchtdichte erfasst werden. Für die Sichtbarkeit eines Objektes sind in erster Linie die Objektgröße, der Objektkontrast und die Struktur des Umfeldes verantwortlich.

Um den Rechenaufwand gering zu halten, wird bis heute die Sichtbarkeit allein über die Beleuchtungsstärke auf der Straße bzw. die mittlere Leuchtdichte der Fahrbahn beschrieben. Dies ist aber nur eine Größe der Sichtbarkeit. Um mit möglichst wenig Licht eine maximale Sichtbarkeit zu gewährleisten, wird als Grundlage der Straßenbeleuchtung ein Sichtbarkeitskonzept (Visibility Konzept) benötigt. Dies ist nicht neu, wird aber bis heute wegen des höheren Planungsaufwandes und der teilweise fehlenden oder nur sehr ungenauen Maßzahlen und Messmethoden für Fahrbahndeckschichten nicht angewandt.

Mithilfe des Visibility Konzeptes werden an ausgewählten Stellen im Projekt „Verlust der Nacht“ Mindestanforderungen definiert und diese mit den Normwerten verglichen. Ziel ist die lichttechnische Güte der Beleuchtung zu verbessern, ohne dabei einen höheren Lichtstrom für die betreffenden Flächen einzusetzen. Durch eine Umverteilung des Lichtes soll der Kontrast erhöht und damit die Sichtbarkeit verbessert werden.

3. Welche spektrale Verteilung sollte die Straßenbeleuchtung aufweisen?

Unterschiedliche Lichtquellen emittieren unterschiedliche Spektren (Abbildung 3). Diese haben sowohl Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und das Schlafverhalten des Menschen als auch auf Flora und Fauna. Für das Wohlbefinden und die Akzeptanz einer Beleuchtung spielt das Spektrum und die resultierende Farbtemperatur eine wichtige Rolle. Tiere reagieren unterschiedlich auf spektrale Bereiche künstlicher Lichtquellen, die für den Menschen unerheblich sein können (LiTG 1996, 1997, 2011). Bei nachtaktiven Insekten ist eine wellenlängenabhängige Anlockwirkung von künstlichen Lichtquellen festzustellen (siehe Beitrag Eisenbeis). Durch die Wahl der Leuchtmittel in der Außenbeleuchtung mit einer entsprechenden spektralen Zusammensetzung des Lichtes kann der negative Einfluss auf Menschen, Tiere und Pflanzen vermindert werden.

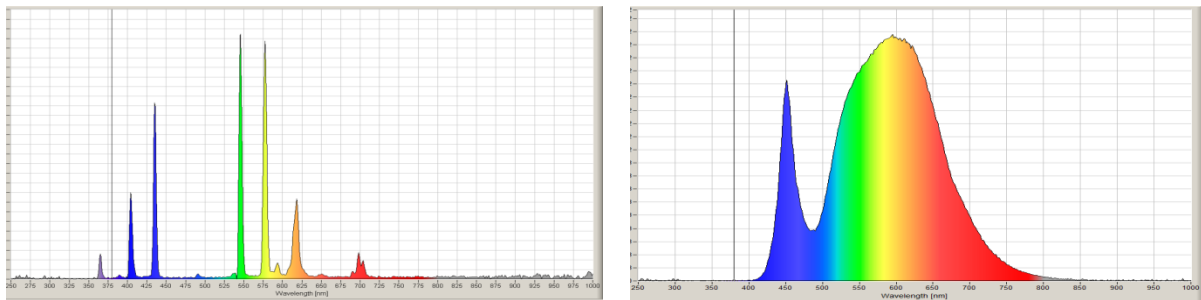


Abbildung 3: Relative Emissionsspektren einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe (linkes Bild) im Vergleich zu einer warm-weißen LED (rechtes Bild).

Lichtquellen lassen sich über weite Teile gezielt an gewünschte spektrale Verteilungen anpassen. Dies gilt in besonderem Maße für die LED. Die Lampen- bzw. LED-Hersteller benötigen aber Maßzahlen, nach denen sie geeignete Spektren entwickeln können.

Entsprechende Maßzahlen werden im Projekt „Verlust der Nacht“ entwickelt. Ziel ist den Einfluss der spektralen Verteilungen des Lichtes auf unterschiedliche Lebensräume zu analysieren. Entsprechend wurden (Leuchten-)Versuchsfelder sowohl im bewohnten Bereich (IP-KOM) als auch in unbewohnter Gegend (IP-Feld) realisiert. Dies erlaubt einen präzisen Vergleich der unterschiedlichen Lebensräume hinsichtlich der Wirkung verschiedener Spektren.

4. Wann und zu welchen Zeiten sollte künstliches Licht in der Öffentlichkeit zweckmäßig eingesetzt werden? Ist der Einsatz zeitlich variabler, adaptiver Systeme dabei sinnvoll? Kann unter der Prämisse der Verkehrssicherheit die Beleuchtung an bestimmten Stellen ausgeschaltet werden, um Energie und Kosten einzusparen?

Wenn Licht nicht zum Sehen benötigt wird, sollte es grundsätzlich abgeschaltet werden. Die flächendeckende Beleuchtung während der ganzen Nacht mindert nicht nur die Schlafqualität, sondern stört zudem Flora und Fauna und behindert astronomische Beobachtungen. Licht immer nur dann und dort einzusetzen, wo es benötigt wird, ist ein *noch* fernes Ziel. Dafür müssten alle Leuchten mit Sensorik und einem entsprechenden Netzwerk versehen sein. Auch wenn es technisch heute machbar ist, scheitert die Umsetzung sowohl

- a. am hohen Preis dieser Technik,
- b. der teilweise noch vorhandenen Störanfälligkeit und
- c. vor allem aber an Kriterien, wann und wo das Licht gesenkt bzw. ganz abgeschaltet werden kann.

Welches Leuchtdichteniveau sollte z. B. eine Anliegerstraße in der Nacht um 2 Uhr haben, wenn kein Verkehrsteilnehmer den Verkehrsraum nutzt? Wird der Verkehrsraum bei abgeschalteter Beleuchtung als Angstraum empfunden? Wäre eine gezielte Beleuchtung der Fußgänger nicht wirkungsvoller, als eine flächige Beleuchtung der Straße? Während die beiden ersten Fragen im Projekt „Verlust der Nacht“ bearbeitet werden, bleibt die zuletzt genannte Frage eine Aufgabe für die Zukunft.

3. Handlungsansätze und Folgenabschätzung

Der Konflikt zwischen Gewährleistung der Verkehrssicherheit durch ausreichende Kontrastwahrnehmung auf der einen Seite und geringer Lichtimmission auf der anderen Seite kann mithilfe von örtlich und zeitlich modulierten Lichtverteilungen gelöst werden. Darüber hinaus wird die Energieeffizienz erhöht. Die neue Norm EN 13201 Teil 5 wird erstmalig Energieeffizienzkriterien für die Straßenbeleuchtung definieren, was uns dem Ziel einer nutzflächenorientierten Beleuchtung näher bringt.

Darüber hinaus bedarf es rechtsverbindlicher und bezahlbarer Smartmeter (Stromzähler) in jeder Leuchte, solange die Kommunen kein eigenes Stromversorgungsnetz für die Beleuchtung betreiben. Dies trifft dabei nicht nur auf die beiden größten deutschen Kommunen Berlin und Hamburg zu, sondern auf eine Vielzahl anderer Kommunen. Nur wenn diese Smartmeter implementiert sind, lässt sich der geringere Stromverbrauch auch beim Energieversorger beziffern.

Literatur

- DIN (1981): DIN 5044 - 1: Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung, Beleuchtung von Straßen für den Kraftfahrzeugverkehr, allgemeine Gütemerkmale und Richtwerte. Berlin: Beuth.
- DIN (2007): DIN EN 13201 – Teil 1 bis 4: Straßenbeleuchtung. Berlin: Beuth.
- Joint Working Group of CELMA, ELC and CEN/TC 169 (2010): Light and lighting: EN 13201 - 5 - Road Light – Part 5: Energy Efficiency Requirements. Draft, Version 3.00. Berlin: 04/2010.
- LiTG (1996): Publikation 12.2: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.
- LiTG (1997): Publikation Nr. 15: Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.
- LiTG (2011): Publikation 12.3: Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hg.) (2011): Stadtbild Berlin. Lichtkonzept Handbuch. Berliner Senatsbauverwaltung für Stadtentwicklung 02/2011.

Neue Systemlösungen und Beleuchtungsstrategien im Außenraum

Dieter Lang

1. Potenziale hochwertiger Beleuchtungssysteme

Schlechte Lichtqualität, Lichtverschmutzung oder durch Licht verursachte Störungen von Mensch, Tier und Umwelt können heutzutage – abgesehen von alten bestehenden Beleuchtungsanlagen – nicht mehr auf unzulängliche Technik geschoben werden. Lichttechnik und Lichtwissenschaft haben mittlerweile ein sehr gutes Verständnis für die physikalisch-technischen Zusammenhänge erarbeitet, die für die Lichtverschmutzung verantwortlich sind. In Antwort darauf hat die Lichtindustrie hochwertige Systeme entwickelt, die in der Lage sind, Licht energieeffizient, gezielt und in der richtigen Menge dorthin zu lenken, wo es benötigt wird und dabei gleichzeitig auch solche Bereiche unbeleuchtet zu lassen, die dunkel bleiben sollen. In modernen hochwertigen Systemen lenken hochreflektierende Materialien und effiziente optische Systeme das Licht gezielt auf die zu beleuchtenden Flächen und verhindern eine Abstrahlung des Lichts nach oben oder in die umgebenden Bereiche und reduzieren auf diese Weise die Lichtverschmutzung.

Neue Beleuchtungstechnik in den Startlöchern

Oft sind Außenleuchten nicht viel mehr als ein Regenschutz für die Lichtquelle. Hoffnung für die Verbesserung von Energieeffizienz und Lichtqualität im Außenraum ergibt sich aber aus den EU-Verordnungen zur so genannten Ausphasung ineffizienter Lichtquellen, wie zum Beispiel Quecksilberdampflampen. Von den in Europa installierten 35 Millionen Hochdrucklampen müssen bis zum Jahr 2015 rund 20 Millionen ineffiziente Lichtquellen der öffentlichen Außenbeleuchtung ersetzt werden.

Durch Umstellung auf energieeffizientere Systeme in der Straßenbeleuchtung beträgt das Einsparpotenzial nach Einschätzungen der KfW Förderbank allein in Deutschland rund 400 Millionen Euro an Energiekosten pro Jahr. Im Vergleich zu einfachen Systemen ist aber eine Energieeinsparung von 30 bis 50 Prozent und mehr möglich. Die Bewertung der reinen Energiekosten wird aber nicht immer ausreichen, um im Einzelfall die Investition in ein hochwertiges System zu rechtfertigen. Denn die Mehrkosten sind deutlich höher als die pro Jahr eingesparten Energiekosten. In die Kostenbewertung sollten daher auch eingesparte Wartungs- und Reparaturkosten einbezogen werden. Neben diesen reinen Kostenbetrachtungen müssen jedoch die verbesserte Lichtqualität und die Vermeidung von Störung durch Licht am falschen Ort und zur falschen Zeit einen Stellenwert per se erhalten. Damit ist eine Investition in hochwertige Systeme in jedem Fall gerechtfertigt.

2. Lösungen zur Reduktion der Lichtverschmutzung

Stand von Wissenschaft und Technik

Der offenkundigste Grund für die Lichtverschmutzung, wie sie auch auf zahlreichen Fotos der Erde aus dem All zu sehen ist, sind Lichtabstrahlungen nach oben. Aufgrund von Streueffekten in der Atmosphäre wird Licht, welches unter relativ flachen Winkeln, also fast horizontal abgestrahlt wird, wieder in Richtung Erde zurückgestreut. Es trägt damit in ganz erheblichem Maße zum sogenannten *skyglow* bei – einer Lichtglocke, die sich insbesondere auf Städte und deren Umgebung auswirkt. Allein in den USA wurde der jährliche finanzielle Verlust durch Licht, das in Richtung Weltall abstrahlt, bereits im Jahr 1998 auf rund 1.000 Millionen US-Dollar geschätzt (Crawford 1998). Inzwischen schätzt die International Dark Sky Association, dass etwa ein Drittel des Energieaufwands für Beleuchtung im Weltall verpufft, was in den USA zwei Milliarden US-Dollar entspricht.

Die wissenschaftliche Basis für Störungen durch Licht ist von der Internationalen Beleuchtungskommission CIE in der Schrift CIE 150 beschrieben. Auch die Föderation der Europäischen Leuchtenindustrie CELMA hat 2007 einen ersten *CELMA Guide on obstrusive light* herausgegeben, in dem ausführlich beschrieben ist, wie das von Leuchten abgestrahlte Licht zu bewerten ist, und welche Arten von Leuchten die *Best Practice*-Beispiele zur Vermeidung von Störungen durch Licht darstellen. Einen deutschsprachigen Leitfaden gibt es von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft LiTG. Eine Kurzfassung der *Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen* kann im Internet heruntergeladen und die vollständige Schrift bei der Geschäftsstelle in Berlin bestellt werden. Es sind also umfangreiche Informationen, angefangen von grundlegenden Fakten über wissenschaftliche Details bis hin zu Empfehlungen für die Umsetzung, verfügbar.

Umsetzung in die Praxis

Insbesondere die Kennzahlen DLOR (*downward light output ratio*) für nach unten abgestrahltes Licht sowie ULOR (*upward light output ratio*) für nach oben abgestrahltes Licht werden von den Leuchtenherstellern in den technischen Produktbeschreibungen angegeben. Jeder Wert für ULOR, der größer als Null ist, ist dabei ein potenzieller Beitrag zur Lichtverschmutzung und zum *skyglow*. Daher haben führende Leuchtenhersteller für die verschiedensten Anwendungen Leuchten im Programm, die einen ULOR Wert von Null haben. Erreicht wird dies mit hocheffizienten Reflektoren, die das Licht der Lichtquelle gezielt nach unten lenken. Dabei können Bereiche, die nicht beleuchtet werden sollen, ausgespart bleiben. Dies wird mit speziellen Reflektorgeometrien wie Radialfacetten oder asymmetrischen Reflektoren erreicht.

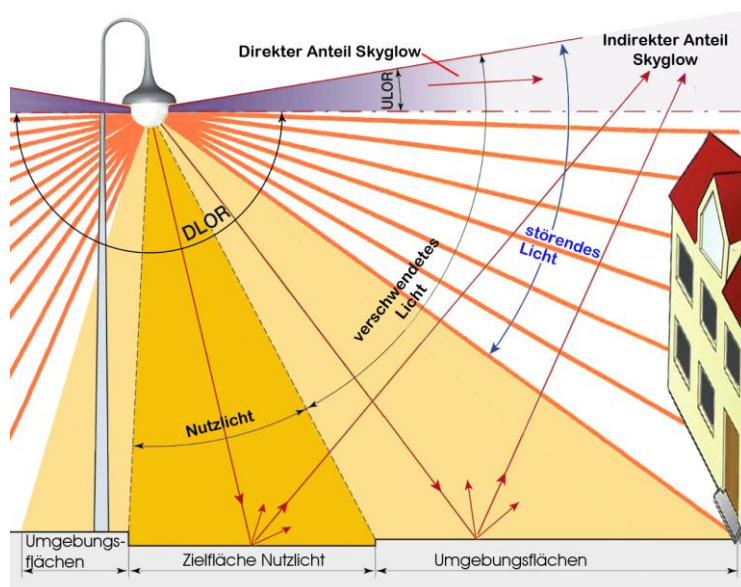


Abbildung 1: Abstrahlungsgeometrie von Leuchten. Je weiter das von der Leuchte abgestrahlte Licht von der Zielfläche entfernt auftrifft, umso eher ist es als Energieverschwendung oder Störung zu bewerten.

Quelle: Die Grafik wurde vom Autor adaptiert aus den Referenzen CELMA (2007) und LiTG (2011).

Bei der Lichtplanung ist auch zu berücksichtigen, dass ursprünglich nach unten gerichtetes Licht durch Reflexion am beleuchteten Objekt zu einer störenden Lichtimmission führen kann. Daher ist nicht nur die Beleuchtungsstärke zu bewerten, mit der Objekte wie Straßen, Wege oder Häuser beleuchtet werden, sondern auch die Leuchtdichte dieser beleuchteten Objekte selbst, die ein Maß dafür darstellt, wie hell diese als sekundäre Lichtquelle wirken. So sind beispielsweise dunkle Teerstraßen anders zu beleuchten als hellere Betonstraßen, die mehr Licht nach oben reflektieren. Elektronische Lichtmanagementsysteme erlauben es, die

Ausstrahlung einzelner Leuchten an diese Gegebenheiten anzupassen. Insgesamt muss es das Ziel sein, Objekte für ihre gute Erkennbarkeit ausreichend, aber gleichzeitig mit möglichst niedrigen Beleuchtungsstärken zu beleuchten, so dass die Leuchtdichte, mit der sie dann selbst Licht abstrahlen, so gering wie möglich ist.

Kontrast, Blendung, Leuchtdichten

Daraus ergeben sich Forderungen, die sowohl für die einzelne Leuchte als auch für die Planung des gesamten Umfelds relevant sind. Sinn der Beleuchtung ist die Erkennbarkeit von Objekten. Diese ergibt sich im Wesentlichen durch den Kontrast mit dem ein Objekt gegenüber seiner Umgebung erscheint. Befinden sich einzelne Objekte mit sehr hoher Leuchtdichte im Gesichtsfeld des Beobachters, reduzieren sich der Kontrast und damit die Erkennbarkeit von anderen dunkleren Objekten untereinander. Dies führt oft zu dem Ansatz, die Beleuchtungsstärke und damit die Leuchtdichte der beleuchteten Objekte weiter zu erhöhen, um deren Erkennbarkeit zu verbessern.

Ein sinnvollerer Weg mit Energieeinsparpotenzial und gesteigerter Beleuchtungsqualität ist die Reduzierung der maximalen Leuchtdichten. Dies sollte schon in der Leuchte selbst geschehen. Dort nennt man dies Entblendung. Gerade bei den hocheffizienten Lichtquellen wie Hochdrucklampen oder LED ist die Lichtquelle sehr klein und hat eine Leuchtdichte, die über das Millionenfache der Leuchtdichte von beleuchteten Objekten hinausgeht. Bei einer gut entblendeten Leuchte sollte unter den üblicherweise auftretenden Blickwinkeln die Lichtquelle selbst oder eine direkte Reflexion der Lichtquelle nicht zu sehen sein. Erreicht wird dies zum einen durch optische Maßnahmen in der Leuchte, aber auch durch die Anordnung wie Höhe und Abstände der Lichtpunkte. Bei zu großen Abständen kommen zwangsläufig große Ausstrahlwinkel zustande, wodurch das Risiko für Blendung erhöht wird.

Auch beim Anstrahlen von Objekten und in der Fassadenbeleuchtung spielen die Leuchtdichten eine wesentliche Rolle. Geringe Abstände zwischen Lichtquelle und Objekt führen zu hohen Helligkeitsunterschieden, große Abstände zu störendem Licht, welches am Objekt vorbei geht. Eine Lösung können hier *Mehrleuchtenverfahren* bringen, bei denen viele kleine Leuchten, wie zum Beispiel LED-Leuchten, das Objekt gezielt und lokal beleuchten.

Eine anspruchsvolle neue Technologie stellt das *Projektionsverfahren* dar. Dabei wird das Objekt selbst durch ein Diapositiv des Objektes aus einem Projektionssystem beleuchtet. Dies ermöglicht eine gleichmäßige Ausleuchtung und damit gleichmäßige Objektleuchtdichten und verhindert Störlicht neben dem Objekt. Sogar das Anstrahlen von Objektteilen wie Fenstern kann verhindert werden, so dass ein Beobachter aus dem Fenster schauen könnte ohne geblendet zu werden, während die Fassade neben dem Fenster hell erleuchtet ist.

Wichtig ist hier wieder, dass möglichst alle Objekte in der Umgebung gleichartig angestrahlt werden, damit sich nicht erneut Leuchtdichtekontraste zwischen verschiedenen Objekten ergeben. Daraus ergibt sich eine weitere Forderung: *Lichtplanung erfordert ein Gesamtkonzept.*

Lichtplanung

Auftraggebern wie Städten oder Bauherren kommt daher eine besondere Verantwortung zu, gute Lichtqualität durch Beauftragung kompetenter Lichtplaner sicherzustellen. Wenn Mehrkosten gescheut werden, ist dies ebenso unverantwortlich wie die von Kostengründen getriebene Auswahl technisch unzulänglicher Systeme. Ein wichtiger Punkt für den Lichtplaner ist die Vorgabe von Zielen. In der Stadtbeleuchtung ist die Erstellung von so genannten Masterplänen ein probates Mittel, diese Ziele zu definieren (vgl. Beiträge Demme, von Kardorff).

Installation und Wartung

Ein häufiger Grund für Lichtverschmutzung ist – tatsächlich – die falsche Installation von Leuchten. Auch Leuchten mit optimierter Ausstrahlcharakteristik können zu Lichtverschmut-

zung führen, wenn sie falsch montiert sind. Eine Leuchte, die gemäß Spezifikation mit einem ULOR von null nur in den unteren Halbraum von null Grad bis 90 Grad abstrahlt, muss auch in richtiger Orientierung montiert werden und zum Beispiel nicht an einem Mastausleger mit schräger Ausrichtung. Ebenso wichtig ist die regelmäßige Wartung. Verschmutzung von außen, aber auch von innen führt zu einer ungewollten Streuung des Lichts. Leuchten mit hoher Schutzart (z.B. IP65) sind wasser- und staubdicht. Auf diese Weise wird eine Verschmutzung des Innenraums vermieden und sichergestellt, dass die Leuchte nicht zur Insektenfalle wird.

Lichtspektren

Die aktuell weit verbreiteten Natriumdampflampen tragen bei weniger gut entblendeten Leuchten mit ihrem hohen Spektralanteilen im gelb-roten Bereich zwar einerseits erheblich zum *skyglow* bei, andererseits sind gerade diese gelb-roten Spektralanteile relativ unschädlich für Insekten, weil sie im Vergleich zu blauen Anteilen nur eine geringe Anlockwirkung haben (vgl. Beitrag Eisenbeis). Auch für die Astronomie sind die gelb-roten Spektralanteile weniger kritisch als blaue. Neue Leuchtmittel wie Metaldampf-Hochdrucklampen, Keramiklampen und LED haben erhebliche Vorteile was die optische Qualität, die damit verbundene störungsfreie Ausstrahlcharakteristik und die Energieeffizienz betrifft. Auf der anderen Seite weisen diese Lampen häufig erhöhte Blauanteile auf.

Daher erfordern gerade diese neuen hocheffizienten Lichtquellen auch qualitativ hochwertige Leuchten. Einfache Systeme können eine hohe Energieeffizienz und hohe Leuchtenwirkungsgrade aufweisen. Wenn sie jedoch aufgrund unzureichender optischer Qualität störende Abstrahlung nach oben, Blendung nach unten oder ein schlecht definiertes Beleuchtungsfeld aufweisen, sind sie am Ende mindestens ebenso kritisch zu bewerten wie eine einfache herkömmliche Leuchte.

Intelligenter Dimmbetrieb

In verkehrsarmen Bereichen bzw. Wohngegenden wird in den späten Abend- und Nachtstunden kaum die volle Beleuchtung benötigt. Schon seit Jahren werden mit Halbnachtschaltungen und ähnlichen konventionellen Methoden einzelne Leuchten abgeschaltet oder mit reduzierter Leistung betrieben. Dies beeinträchtigt jedoch häufig die Lichtqualität. Moderne Steuerungstechnik bietet eine Vielzahl von optimierten Lösungen. Insbesondere mit der LED-Technik ist eine *stufenlose Dimmung* von Leuchten ohne Einbußen in der Farbqualität möglich. *Sensoren und die Integration von modernen Kommunikationskonzepten* wie Steuerung über Netzleitungen oder kabellos über Funknetze ermöglichen flexiblere, einfachere und nachrüstbare Lösungen. Bei modernen LED-Lösungen mit intelligentem Dimmbetrieb sind im Vergleich zu konventioneller Technik zudem bis zu 80% Energieeinsparung möglich.

Literatur und Links

CELMA (2007): Guide on Obtrusive Light.

(http://www.celma.org/archives/temp/First_edition_Celma_Guide_on_obtrusive_light.pdf)

CIE 150 (2003): Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. ISBN 978 3 901906 19 0 (bestellbar über CIE, Wien oder LiTG, Berlin).

Crawford DL (1998): Light Pollution: The Problem, the Solutions. In: Isobe S, Hirayama T (eds.): Preserving the Astronomical Windows. ASP Conference Series 139.

LiTG (2011): Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen (vollständige Schrift bestellbar über LiTG, Berlin) (Kurzfassung: http://www.litg.de/aktuell/kurzinfo/data/292/2011-11_LiTG_Kurzbericht_Publikation_12-3_WEB.pdf).

Neue Systemlösungen und Beleuchtungsstrategien im Innenraum

Dieter Lang

1. Licht – zu wenig und zu viel und auch zur falschen Zeit

Spricht man von Lichtverschmutzung ist im Allgemeinen das Licht im Außenraum gemeint. Störende Wirkungen insbesondere auf Menschen können aber auch von der Beleuchtung im Innenraum ausgehen. Natürlich denkt man dabei vor allem an störendes Licht in der Nacht. Aber es sind nicht nur die störenden Wirkungen durch zu viel Licht oder Licht zur falschen Zeit zu berücksichtigen, sondern auch negative Wirkungen durch zu wenig Licht.

Über die Gestaltung von Innenraumbeleuchtung und die erforderlichen Qualitätsmerkmale für eine Beleuchtung für gutes Sehen unter verschiedensten Bedingungen wird seit über 50 Jahren geforscht und publiziert. Es gibt allgemein anerkannte und in Normen festgelegte Anforderungen sowie zahlreiche qualitativ hochwertige Empfehlungen über deren praxisgerechte Umsetzung. Als Beispiel seien hier die Schriften von licht.de genannt.

Über die nichtvisuellen Wirkungen von Licht weiß man dagegen noch recht wenig. Neben der Notwendigkeit, dass wir Licht zum Sehen brauchen, hat Licht direkte Wirkungen auf unsere Physiologie und Psyche. Erst seit rund zehn Jahren ist bekannt, dass es im menschlichen Auge einen Lichtempfänger gibt, der nichts mit dem Sehvorgang zu tun hat. Dieser hat vereinfacht gesagt die Aufgabe, die Information über das verfügbare Tageslicht zu sammeln und an das Gehirn weiterzugeben. Von dort werden über das Licht ausgelöste zentrale Funktionen wie der Schlaf-Wach-Rhythmus, Aktivität oder physische und kognitive Leistungsfähigkeit am Tag gesteuert. Die richtige Menge tageslichtähnlichen Lichtes am Tag und eine der Nacht entsprechende Dunkelheit sind essenziell für die korrekte Funktion des so genannten circadianen Rhythmus (vgl. Beiträge Bromundt, Knab). Ähnlich einer Schaukel die durch wechselndes Anschubsen und in Ruhelassen in Schwung gehalten wird, ist für dessen korrekte Funktion der stetige Wechsel von hellem Licht am Tag und Dunkelheit in der Nacht erforderlich (Roenneberg 2005).

Da der Lichtempfänger nur auf Licht mit hohen Blauanteilen – also mit einem tageslichtähnlichen Charakter – reagiert, kann die üblicherweise im Innenraum eingesetzte Beleuchtung, die einen eher warmweißen Farbton hat, den notwendigen „Schubs“ durch Tageslicht nur unzureichend ersetzen. Hingegen kann Licht, welches am Tag unzureichend wäre, am späteren Abend oder in der Nacht durchaus eine störende Wirkung auf den circadianen Rhythmus haben. Wer abends am PC-Bildschirm mit hohem Blauanteil arbeitet, konnte eine schlafverhindernde Wirkung vielleicht schon bemerken. Immer mehr Licht rund um die Uhr, aber dennoch zur falschen Zeit – am Tag zu wenig und in der Nacht zu viel – führt zu einer Abflachung der Dynamik des Zeitgebersignals Licht.

2. Ein neuer Umgang mit Licht

Dieser Problematik kann begegnet werden, indem eine dynamische Beleuchtung genutzt wird: Am Tag kommt am besten Tageslicht oder zumindest ein tageslichtähnliches Kunstlicht mit hohen Blauanteilen zum Einsatz, das den Himmel simulierend optimalerweise aus dem oberen Halbraum des Gesichtsfeldes kommt. Zum Abend und in der Nacht wird – soweit erforderlich – nur warmweißes Licht mit niedrigen Blauanteilen in der für gutes Sehen erforderlichen Mindestmenge eingesetzt. Die Übergangsbereiche am Morgen und späteren Nachmittag sollten durch einen dynamischen Übergang zwischen der Tag- und der Nachtsituation ohne störende sprunghafte Übergänge gestaltet werden. Eine praxisorientierte Zusammenfassung findet sich beispielsweise im Heft licht.wissen 19 von licht.de.

Eine zusätzliche stabilisierende Wirkung hat helles Licht am Tag auch dadurch, dass es das circadiane System unempfindlicher gegenüber Störungen durch Licht am Abend macht. So wie sich eine Schaukel, die gut schwingt, nicht durch eine kleine Störung aus dem Takt bringen lässt. Die abendliche und nächtliche Lichtverschmutzung im Innen- und Außenbereich mit der wir uns arrangieren müssen, könnte durch solch eine dynamische Innenraumbeleuchtung biologisch gesehen erträglicher gemacht werden.



Abbildung 1: Beleuchtung für Tag und Nacht.

Links: Helle tageslichtähnliche Beleuchtung aktiviert, erhöht die Leistungsfähigkeit und synchronisiert. Rechts: Abends und in der Nacht beschränkt sich Licht ohne Blauanteile auf gute Beleuchtung zum Sehen. Fotos: OSRAM, Magdalena Okroy.

Die biologischen Grundlagen für diese neue Lichtphilosophie sind inzwischen wissenschaftlich belegt und verstanden. Trotz des unzweifelhaft noch hohen Forschungsbedarfs gibt es zahlreiche Erkenntnisse, die bereits heute in die Praxis umgesetzt werden können. In vielen Anwendungsbereichen wie beispielsweise Altenheimen (Riemersma 2008, Sust 2011), Büros (Vetter 2001) und sogar Schulen (Barkmann 2012) wurden positive Wirkungen gezeigt. Damit diese in Zukunft auf einer breiteren Basis zur Anwendung kommen können, ist die Einbeziehung der neuen Erkenntnisse in die Lehre und Ausbildung von Medizinerinnen, Psychologinnen, Arbeitswissenschaftlerinnen, Architekten oder Lichtplanerinnen erforderlich.

Auch die lichttechnische Normung hat sich seit einigen Jahren des Themas angenommen und erarbeitet erste Standards. Beleuchtungsstrategien im Innenraum sind ein weites Feld, das die Lichttechnik für die nächsten Jahre und Jahrzehnte nicht nur begleiten, sondern auch die Anwendung von Licht stark verändern wird.

Literatur und Links

- Barkmann C, Wessolowski N, Schulte-Markwort M (2012): Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & Behavior* 105: 621-627.
- licht.de Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hg.) (2010): Wirkung des Lichts auf den Menschen. *licht.wissen* 19 (http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen19_Gesundheit.pdf).
- Riemersma-van der Lek RF et al. (2008): Effect of bright light and melatonin on cognitive and non-cognitive function in elderly residents of group care facilities: a randomized controlled trial. *JAMA* 299(22): 2642-2655.
- Roenneberg T, Merrow M (2005): Das Leben im Zeitraum Tag (zu finden u. a. auf: http://www.gesundheits.de/zeit/Das_Leben_im_Zeitraum_Tag.pdf#).
- Sust C, Lorenz D, Dehoff P, Lang D (2011): Auswirkungen biologisch wirksamer, künstlicher Beleuchtung auf Demenzkranke. Tagungsband Ambient Assisted Living - AAL - 4. Deutscher Kongress: Demographischer Wandel - Assistenzsysteme aus der Forschung in den Markt. CD-ROM, ISBN 978-3-8007-3323-1.
- Vetter C et al. (2011): Blue-enriched office light competes with natural light as a zeitgeber. *Scand J Work Environ Health*. 2011 Jan 19. pii: 3144.

Mobile Beleuchtung – neue Entwicklungen der Fahrzeugbeleuchtung

Cornelius Neumann

1. Gesetzlich geregelt: Sehen und gesehen werden

Ohne mobile Beleuchtung wäre der Straßenverkehr in seiner heutigen Form nicht möglich. In der Nacht erlauben Scheinwerfer zu sehen, was auf der Straße geschieht. Die Signalfunktionen wie Schlusslicht oder Bremslicht sorgen dafür, dass die Fahrzeuge und deren Reaktionen von anderen Verkehrsteilnehmern gesehen werden.

Es geht also um *Sehen und Gesehenwerden* und damit auch um Sicherheit. Um diese zu gewährleisten, ist die „Lichtsprache“ im Verkehrsraum durch eine Vielzahl von Vorschriften streng reglementiert. Die gesetzlichen Regelungen beziehen sich einerseits auf die Lichtfarbe – so muss ein Bremslicht beispielsweise rot sein – und die räumliche Lichtstärkeverteilung, also wie viel Licht wohin leuchten muss oder darf. Damit stellt die Wirtschaftskommission für Europa (*Economic Commission for Europe*, kurz: ECE) die Eindeutigkeit und Unverwechselbarkeit der Signalbilder sicher. Im Falle des Scheinwerfers bedeutet dies zum Beispiel, dass bei möglichst besten Sichtbedingungen für den Fahrer gleichzeitig die anderen Verkehrsteilnehmer vor Blendung geschützt werden müssen.

2. Signalleuchten als Markenzeichen

Seit etwas mehr als einem Jahrzehnt rücken Signalfunktionen immer stärker in den Fokus des Fahrzeugdesigns. Inzwischen ist die Automobilbeleuchtung häufig ein integraler Bestandteil sowie prägendes Element des Fahrzeugesamtbildes und kann zudem für ein eindeutiges Nacht- und auch Tagdesign (Stichwort: Tagfahrlicht) sorgen.

Die Entwicklung der mit Glühlampen betriebenen Heckleuchten zeigt anschaulich das Beispiel des VW-Golf (Abbildung 1).



Abbildung 1: Designentwicklung am Beispiel der VW Golf Heckleuchte (Glühlampenversion). Oben Heckleuchte von 1976, unten: Heckleuchte von 2012.

Quellen: Volkswagen, netcarshow.com

Leuchten sollen gesehen werden. Und das, was man sieht kann eine Marken- und Designbotschaft tragen – dies insbesondere nachts, wenn andere Botschafter unsichtbar bleiben. Dabei achten die Lichtdesigner besonders auf die Lichtfunktionen, welche in der Nacht oder bei Tage ständig sichtbar sind: das Schlusslicht am Fahrzeugheck, sowie Positions- und Tagfahrlicht an der Fahrzeugfront. Vielfach basieren die wesentlichen Stylinginnovationen auf Kom-

binationen von Leuchtdioden (LED) als Lichtquellen mit neuartigen Optiksystemen. Dies gilt nicht nur für Heckleuchten (Abbildung 2 oben), sondern auch für Signalfunktionen im Scheinwerfer und schließlich dem Scheinwerfer selbst (Abbildung 2 unten).



Abbildung 2: Beispiele für Stylinginnovationen bei Signalleuchten und Scheinwerfern mit LED-Technik. Links: Peugeot 308 CC mit Lichtvorhang, rechts: Ford S-Max mit Edge Light, unten Audi A8 mit Voll-LED AFS Scheinwerfer.

Quellen: Hella, netcarshow.com

Doch neben den stilistischen Entwicklungen haben die neuen LED-Lichtquellen technologische Vorteile gegenüber den früher ausschließlich verwendeten Glühlampen. So reduziert sich beispielsweise der Energiebedarf um etwa 80 Prozent, da eine LED eine deutlich höhere Effizienz zeigt. Zudem leuchtet sie beim Einschalten sehr viel schneller auf als eine Glühlampe. Ein LED-Bremslicht wird daher etwa 65 Millisekunden schneller erkannt als sein Glühlampenpendant (Locher 2007). Nachteilig bei der LED-Technik für Signalleuchten ist bislang der deutlich höhere Preis der Lichtquelle. Das ist der Grund dafür, warum sich die Glühlampe noch einige Jahre in der Kraftfahrzeug-Lichttechnik halten wird.

3. Scheinwerfer für eine bessere Sicht

Das *Abblendlicht* muss bei nächtlicher Fahrt immer angeschaltet sein. Die normale Abblendlichtverteilung in Europa hat eine Art asymmetrische Keulenform, die am besten aus der Vogelperspektive sichtbar wird (Abbildung 3). Auf der linken Seite ist der Lichtkegel zurückgenommen, um den Gegenverkehr nicht zu blenden, rechts hingegen reicht die Lichtverteilung deutlich weiter, um die eigene Fahrbahnseite besser auszuleuchten. Insgesamt ist aber die Reichweite des Scheinwerfers begrenzt, damit kein Licht in oder oberhalb der Horizontalen den vorausfahrenden oder entgegenkommenden Fahrer blendet. Sie ist also durch die so genannte Hell-Dunkel-Grenze nach oben hin „abgeblendet“.

Beim *Fernlicht* hingegen wird möglichst viel Licht in den vorher ausgeblendeten Bereich abgestrahlt, damit der Fahrer möglichst optimale Sichtbedingungen erhält. Es darf nur zum Einsatz kommen, wenn die Verkehrsdichte so gering ist, dass kein anderer Verkehrsteilnehmer geblendet wird.

Die gesamte Scheinwerferlichttechnik bewegt sich im Spannungsfeld zwischen sehen und blenden. Ersteres sollte optimiert, letzteres muss vermieden werden. Durch die rasante Entwicklung der Computertechnik, Sensorik und Aktuatorik konnte in den letzten Jahren die

Grenze zwischen diesen beiden Gegenspielern in Richtung der besseren Sicht verschoben werden.

Moderne Automobilscheinwerfer sind häufig komplexe Kombinationen aus Optik, Mechanik und Elektronik – oder kurz optomechatronische Systeme. Bekannteste Beispiele hierfür sind das *dynamische Kurvenlicht* und das so genannte *adaptive Frontlichtsystem*, kurz *AFS*. Beim Kurvenlicht werden die Scheinwerferprojektoren in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Lenkwinkel so gedreht, dass die Ausleuchtung dem Kurvenverlauf folgen kann. Beim AFS werden abhängig von der Geschwindigkeit durch bewegliche Blenden angepasste Lichtverteilungen erzeugt, wie beispielsweise Autobahn-, Stadt- oder Schlechtwetterlicht. Diese beiden dynamischen Funktionen können die Sicht bei nächtlicher Fahrt deutlich verbessern.

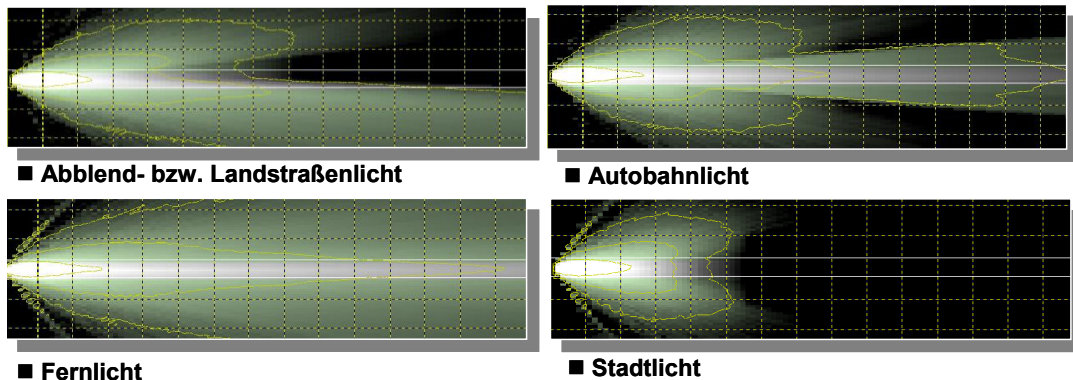


Abbildung 3: Verschiedene Scheinwerferlichtverteilungen aus der Vogelperspektive.

Links: Standardlichtverteilungen Abblend- und Fernlicht. Rechts: Beispiele zusätzlicher AFS Lichtverteilungen Autobahn- und Stadtlicht.

Quelle: Hella

Wird eine Kamera mit Objekterkennung als zusätzlichen Sensor eingesetzt, kann die Ausleuchtung des Straßenraumes noch weiter verbessert werden und dem Ideal einer dauerhaften Fahrt mit Fernlicht ohne zu blenden sehr nahe kommen. Hierfür gibt es zwei Methoden: Zum einen kann man die Hell-Dunkel-Grenze (HDG) in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte heben und senken – dies nennt sich *adaptive HDG* oder *gleitende Leuchtweiteregulierung*. Zum anderen kann bei dauerhafter Fahrt mit Fernlicht der vorausfahrende oder entgegenkommende Verkehr gezielt ausgeblendet werden. Bei dieser als *maskiertes Fernlicht* oder *vertikale HDG* genannten Methode wird in jeder Zone, in der ein anderer Verkehrsteilnehmer geblendet werden könnte, ein dunkler Ausschnitt in der ansonsten voll aufgeblendeten Fernlichtverteilung geschaffen (Abbildung 4). Essenziell für diese gerade auf den Markt gekommenen Systeme ist die Erkennung und Verarbeitung von Objekten im Straßenraum in Echtzeit durch Kamera und Elektronik.



Abbildung 4: Prinzipdarstellung der adaptiven- und vertikalen HDG im Vergleich zu konventionellem Abblendlicht.

Quelle: Hella

Als weitere Optimierung wird zukünftig ein *markierender Lichtfinger* potenzielle Gefahren separat anleuchten. Dieses Markierungslicht lenkt die Aufmerksamkeit gezielt auf Gefahrenobjekte und zeigt in Untersuchungen eine verbesserte Erkennbarkeit dieser Objekte im Vergleich zu konventionellen Lichtverteilungen (Jebas und Neumann 2011). Zudem drängt die LED als Scheinwerferlichtquelle vehement auf den Automobilmarkt. Obwohl bislang LED-Scheinwerfer gegenüber Halogen- und Xenon-Scheinwerfern äußerst selten im Straßenverkehr zu finden sind, schreitet die Entwicklung dieser Technologie schnell voran und wird neue Möglichkeiten bei der dynamischen Steuerung von Lichtverteilungen bieten. Zudem werden zukünftige LED-Scheinwerfer energieeffizienter als die heutigen Lösungen sein und damit auch zur Entlastung der Umwelt beitragen.

4. Schutz der Nacht?

Während Signalfunktionen aufgrund der geringen Lichtstärken und das konventionelle Abblendlicht über die schwache Reflexion auf der Straßenoberfläche nur wenig Streulicht erzeugen, stellt sich bei den neuartigen Scheinwerfersystemen in stärkerem Maße die Frage nach dem Beitrag zur Lichtverschmutzung. Da die gleitende Leuchtweite und das maskierte Fernlicht dem Fahrer optimale Sichtverhältnisse schaffen sollen, ist hier mit deutlich mehr Streulicht zu rechnen.

Allerdings bleibt hier zu berücksichtigen, dass sich bei der Abwägung zwischen dem Schutz der Nacht und der Sicherheit bei nächtlicher Fahrt immer letzterem der Vorrang gegeben werden sollte. Denn insbesondere auf Landstraßen können diese Systeme die Sichtbedingungen deutlich steigern (Böhm et al. 2009), so dass Gefahren wie Wild oder dunkel gekleidete Personen deutlich früher erkannt werden. Im Vergleich zur stationären, dauerhaft betriebenen Straßenbeleuchtung ist der Beitrag zur Lichtverschmutzung durch die mobile Fahrzeugbeleuchtung als deutlich geringer einzustufen.

Literatur

Böhm M, Locher J, Neumann C (2009): Sicht und Sicherheit: Neuere Entwicklungen im Bereich der Automobilen Lichttechnik. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 7/2009.

Jebas C, Neumann C (2011): Physiologische Bewertung von Warnsichtsystemen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 09/2011.

Locher J (2007): Interne Studie des L-LAB.

LEDs und Ressourcen – kleine Mengen, große Wirkung

Klaus Kümmerer

1. Einleitung

Bei LEDs werden insbesondere der Aspekt der Energieeffizienz sowie ihre gezielten Einsatzmöglichkeiten und die Dimmbarkeit hervorgehoben. Dagegen wird die Frage der stofflichen Ressourcen sowie ihrer Wiederverwertung viel weniger beachtet. Neben der Energieeffizienz ist daher von Anfang an auch die stoffliche Seite der LEDs zu beachten.

Eine Leuchtdiode, lichtemittierende Diode oder auch Lumineszenz-Diode (englisch: *light-emitting diode*, LED) ist ein elektronisches Bauelement, das auf einem so genannten Halbleiter beruht. Dieses Bauteil lässt je nach Gegebenheiten elektrischen Strom nach dem Prinzip einer Einbahnstraße nur in einer Richtung fließen und das nicht immer. Fließt ein passender Strom in der so genannten Durchlassrichtung durch die Leuchtdiode, emittiert sie elektromagnetische Strahlung. Die ersten LEDs waren in den Digitaluhren der siebziger und achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts *das* Erkennungsmerkmal des Fortschritts. Die Leuchtdioden begleiten uns seitdem in Form kleiner Lichtchen als Anzeigen, beispielsweise ob ein Gerät angeschaltet, im Stand-by Modus oder spannungsfrei ist. Grünes und blaues Licht zu erzeugen, wurde bei den LEDs erst lange nach dem roten Licht möglich. Die Massenproduktion blaugrüner und in Folge blauer LEDs startete im Jahr 1993. Damit war es erstmals auch möglich, durch additive Farbmischung weißes Licht zu erzeugen und LEDs zu Beleuchtungszwecken einzusetzen, was ihren exorbitanten Aufschwung ermöglichte. Nicht zufällig sind viele LED-Anwendungen heutzutage durch blaues Licht gekennzeichnet, es ist das „letzte“ Licht!

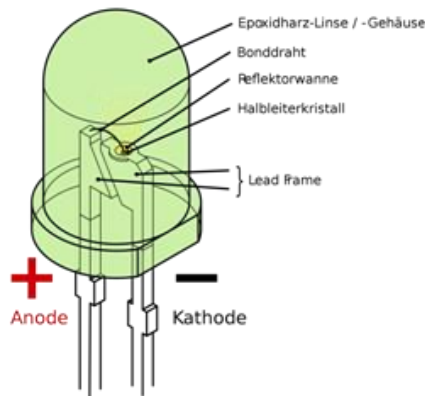


Abbildung 1: Foto einer Leuchtdiode schematisch

Quelle: Wikipedia ([http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LED,_5mm,_grenn_\(de\).svg&page=1&filetimestamp=20110224201821](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LED,_5mm,_grenn_(de).svg&page=1&filetimestamp=20110224201821)) (Abbildung freigegeben)

2. Farbigkeit

Für die gezielte Anpassung der Farbeigenschaften von LEDs werden die Grundmaterialien mit Fremdatomen dotiert. Darunter versteht man das gezielte Einbringen einer sehr kleinen Menge von Atomen eines weiteren chemischen Elements (Dotierung). Je nach Fremdelement resultiert eine Strahlung vom Infrarotbereich über Rot (die frühesten Anwendungen), grün oder blau (die neuesten im sichtbaren Bereich) bis hin zur ultravioletten Strahlung. Entschwei-

dend ist, dass bei den LEDs die unterschiedlichen Farbeigenschaften schon durch Einbringen geringster Mengen an Fremdatomen resultieren.

Die Glühlampe ist ein so genannter thermischer Strahler und sendet ein kontinuierliches, dem Sonnenlicht ähnliches Lichtspektrum aus (vgl. Beitrag Posch im Teil Grundlagen). Im Vergleich dazu senden Energiesparlampen oder Kompaktleuchtstofflampen Licht unterschiedlichster Wellenlängen aus (Spektrum). Die Leuchtdiode kann dagegen nur Licht in einem bestimmten, vergleichsweise eng begrenzten Wellenlängenbereich (rot, grün oder blau) aussenden. Daher haben LEDs häufig einen besonderen Anwendungsbereich, nämlich als Signallampen wie beispielsweise Verkehrsampeln, da hier eine bestimmte Farbe gefragt ist. Für allgemeine Beleuchtungszwecke ist weißes Licht notwendig. Zwar kann weißes Licht durch Kombination der drei Farben rot, grün und blau gewonnen werden. Für Beleuchtung mit weißem Licht werden meist blaue LEDs mit einer davor befindlichen Schicht eines ebenfalls Licht aussendenden Stoffes kombiniert. Dieser Stoff wandelt Teile des blauen Lichts in andere Wellenlängen um, das dann zusammen mit diesem ausgesendet wird und in der Summe weißes Licht ergibt. Durch unterschiedliche Wahl der beiden Anteile lassen sich unterschiedliche Weißindrücke wie „wärmer“ oder „kälter“ erzeugen.

3. Lebensdauer und Effizienz

Bei einer LED gilt als Lebensdauer die Zeit, die verstreicht, bis die Lichtausbeute auf die Hälfte des Anfangswertes abgesunken ist. Im Gegensatz zu herkömmlichen Glühlampen werden Leuchtdioden nach und nach schwächer, fallen aber in der Regel nicht plötzlich aus. Die Lebensdauer hängt vom jeweiligen Halbleitermaterial und den Betriebsbedingungen ab. Hohe Temperaturen, beispielsweise als Folge großer elektrischer Ströme, verkürzen die Lebensdauer von LEDs deutlich. Diese variiert daher stark. Von Herstellern werden Werte von bis zu zehn Jahren und mehr angegeben. Allerdings fehlt die Langzeiterfahrung.

Ein Vorteil von LEDs ist, dass durch Linsen, die vor die LED gesetzt werden können, das Licht von LEDs stark gebündelt werden kann. Dies hat Effizienzvorteile. Da der Halbleiterkristall nur einen Teil der elektrischen Leistung in Licht umsetzt, entsteht auch bei LEDs Wärme. Aufgrund konstruktiver Gegebenheiten wird diese jedoch nicht hauptsächlich an der leuchtenden Oberfläche produziert, sondern im Sockel, so dass dem Anwender LEDs sehr viel energieeffizienter erscheinen als herkömmliche Energiesparlampen. Weiße Leuchtdioden können allerdings wie Energiesparlampen ebenso nur 20 bis 25 Prozent des Stroms in Licht umwandeln (Leuchtstoffröhren erreichen etwa das Doppelte). Der Rest fällt als Wärme an.

Die Lichtausbeute ist stark von der Lichtfarbe abhängig. Bei warmweißen LEDs liegt sie deutlich unter der von kaltweißen. Aus theoretischen Gründen ist beim doppelten des derzeitigen Wertes eine Grenze erreicht, so dass dann die Werte für die Lichtausbeute wie bei guten Leuchtstoffröhren erreicht werden können. Allerdings liegen derzeit die Leistungen der verfügbaren Systeme bei etwa maximal 20 Watt, so dass bei höherer Maximalleistung mehrere LEDs zusammen betrieben werden müssen. Dies senkt wiederum die Energie- und Materialeffizienz.

4. Bestandteile

Das zentrale Bauelement der LED ist der Halbleiterkristall, der das Licht emittiert. Ein typischer Halbleiter besteht beispielsweise aus Galliumnitrid, einem Element der dritten Hauptgruppe (Gallium) und einem Element der fünften Hauptgruppe (Stickstoff) und wird III-V-Halbleiter genannt. Durch eine geeignete Kombination der Halbleitermaterialien und der Dotierung mit Fremdatomen lassen sich die Farbe des emittierten Lichts (Tabelle 1) und bis zu einer gewissen Obergrenze auch die Effizienz einer LED beeinflussen.

Abbildung 2: Typische in LEDs enthaltene Elemente

In LEDs sind bestimmte typische Elemente enthalten (gelb umrandet). Dabei sind die Seltenen Erden Cer und Yttrium vor allem bei LEDs enthalten, die mit Hilfe eines anorganischen Leuchtstoffs weißes Licht aussenden. Die Auswahl der Elemente ist noch ohne Berücksichtigung des benötigten elektronischen Vorschaltgerätes, das zum Teil ähnliche sowie weitere Elemente enthält.

Quelle des Periodensystems der Elemente: Merck KGA, verändert.

In einer LED sind viele verschiedene Elemente auf kleinstem Raum in zum Teil sehr geringer Konzentration enthalten.

Tabelle 1: Typische in LED verwendete Halbleitermaterialien mit ihren Dotierungen und resultierende Farben

Halbleitermaterial und Dotierung	Summenformel	Farbe
Aluminiumgalliumarsenid	AlGaAs	rot bis infrarot
Galliumarsenidphosphid	GaAsP	rot-gelb
Aluminiumindiumgalliumphosphid	AlInGaP	rot-gelb
Galliumphosphid	GaP	grün
Siliziumkarbid*	SiC	blau
Zinkselenid*	ZnSe	blau
Indiumgalliumnitrid/Galliumnitrid	InGaN/GaN	ultraviolett, violett, blau, grün

* keine kommerzielle Bedeutung

Einige der in LEDs verwendeten Elemente wie Gallium, Indium, Yttrium und Cer sind vergleichsweise selten und als Materialien für Anwendungen in der Elektronik, Telekommunikation von großer wirtschaftlicher und technologischer Bedeutung, andere wie etwa Arsen sind toxisch. Im Granat sind je nach Art weitere Elemente wie Titan, Mangan, Magnesium, Chrom, Vanadium, Zirkon und andere enthalten. Gallium kommt in Form von Galliummineralen nur selten und sonst als Beimischung vor. Seine Gewinnung ist sehr energie- und arbeitsaufwändig. Ähnliches gilt für Indium, Cer und Yttrium. Indium zählt zu den knappsten Rohstoffen überhaupt. Über die Umweltauswirkungen ist wenig bekannt, sie dürften jedoch ähnlich katastrophal wie bei der Gewinnung anderer (Halb)Metalle sein. Der größte Teil des Galliums wird zum Halbleiter Galliumarsenid weiterverarbeitet, der vor allem für Leuchtdioden verwendet wird.

5. Verbleib

Mit dem ausschließlich auf Energieeffizienz gerichteten Blick schneidet eine einzelne LED im Vergleich zu einer Energiesparlampe sehr gut ab. Ein genauerer Blick ist jedoch notwendig: Das Galliumarsenid des eigentlichen LED-Kristalls ist giftig und umweltgefährlich. Im Gegensatz zu Energiesparlampen enthalten LEDs allerdings kein Quecksilber. Dieser Punkt wurde bei Energiesparlampen in der Öffentlichkeit zu recht intensiv diskutiert, da Quecksilber immer noch das Schwermetall mit der höchsten Umweltbelastung ist. Weniger diskutiert

wurde, dass auch bei Verbrennung von Kohle Quecksilber in die Atmosphäre freigesetzt wird, so dass durch die höhere Energieeffizienz und längere Lebensdauer im Vergleich zu herkömmlichen Glühlampen wahrscheinlich die Gesamtquecksilberemission eher geringer sein dürfte. Sowohl LEDs als auch Glühlampen sind also auf unterschiedliche Art problematisch in der Entsorgung, nur wurde das bisher für LEDs nicht öffentlich diskutiert.

LEDs sind in vielerlei Formen verfügbar, jedoch immer in sehr kompakter Bauweise. Dies erschwert im Gegensatz zu Leuchtstoffröhren ein Recycling oder macht es gar unmöglich. Hinzu kommt, dass in der LED unterschiedlichste Stoffe auf kleinstem Raum in zum Teil sehr geringer Konzentration miteinander vermischt sind. Zwar ist die Schadstoffmenge je LED wie bei den Leuchtstofflampen relativ gering. Aber die gesamten Stoffströme können durchaus von Bedeutung sein. Die Vermengung erschwert technisch und ökonomisch ihre Wiedergewinnung oder macht sie unmöglich. Dadurch gehen die wertvollen und seltenen Materialien verloren und die Grundmaterialien (wie z.B. das Gallium) verlieren dadurch an Qualität (Reinheit). Insgesamt kommt es zu einer unwiederbringlichen Verteilung wertvoller Elemente und die Qualität der Matrixmaterialien sinkt. Dadurch werden räumlich und zeitlich versetzte und an anderer Stelle unerwünschte Effekte (Ökonomie und Ökologie) auftreten.

Die Gewinnung der Rohmaterialien aus natürlichen Quellen wie auch durch Recycling ist sehr energieintensiv. Durch die weite Verbreitung infolge intensiver Anwendung führt dies zur Verschlechterung der Gesamtenergiebilanz. Hier sind die Grenzen des so genannten „Urban Mining“ erreicht. Insgesamt können daher bei hohen Stückzahlen, die aus dem verengten Argument der Energieeffizienz bei der Anwendung resultieren, der Energieverbrauch, die Umweltbelastung sowie die Rohstoffknappheit steigen, auch wenn die einzelne Lampe energieeffizienter ist (Rebound-Effekt).

LED-Lampen enthalten elektronische Bauteile, ebenso die zum Betrieb notwendigen Vorschaltgeräte. LEDs müssen daher wie andere ausgediente Leuchtmittel in Deutschland und der EU als Elektronikschrott entsorgt werden. LEDs gehören in jedem Fall zu den Geräten, die von Händlern auch ohne Kauf eines neuen Geräts zurückgenommen werden müssen, wobei es eine Ausnahme für Geschäfte mit weniger als 400 Quadratmetern Verkaufsfläche gibt. Insofern darf bezweifelt werden, ob die Rücklaufquoten höher sein werden als bisher für Energiesparlampen.

6. Ausblick

LEDs weisen im Vergleich zu herkömmlichen Energiesparlampen Vorteile auf wie etwa die zielgerichtete Beleuchtung oder die Nutzung verschiedener Farben. Gleichzeitig sind mit ihrer Verwendung in hohen Stückzahlen auf Seiten der Materialien Herausforderungen verbunden, die es zu beachten gilt. Deshalb lohnt es sich darüber nachzudenken, ob, wo und wie (intensive) Beleuchtung im Einzelfall benötigt wird, um unerwünschte nicht nachhaltige Folgeeffekte und Engpässe auf der Materialseite zu vermeiden. Neben der genaueren Betrachtung der Energieseite ist auch zu diskutieren, ob die allenthalben auftauchenden Rundumbeleuchtungen wirklich notwendig sind, da sie ja auch Rohstoff- und Energieverbrauch bedeuten.

Literatur

Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 16. März 2005 (BGBl. I S. 762), zuletzt geändert 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212).

SATW (2010): Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften. Seltene Metalle. Rohstoffe für Zukunftstechnologien. SATW-Schrift Nr. 41, Zürich.

Kümmerer K, Hempel M, Held M (2011): Dissipation and the Need for Benign Design. World Resources Forum, Davos September 2011.

Öffentliche Beleuchtung – mehr Licht heißt nicht mehr Sicherheit

Ursula Pauen-Höppner und Michael Höppner

1. Öffentliche Beleuchtung dient der Sicherheit

Die öffentliche Beleuchtung dient der Sicherheit im öffentlichen Raum und zwar der *Verkehrssicherheit* wie der *sozialen Sicherheit* gleichermaßen. Gemäß § 7 Abs. 5 Berliner Straßengesetz sind „die öffentlichen Straßen einschließlich der Geh- und Radwege, Wege und Plätze in ihrer Gesamtheit zu beleuchten, soweit es im Interesse des Verkehrs und der Sicherheit erforderlich ist.“

2. Soziale Sicherheit

Die uneingeschränkte, angstfreie Teilnahme am Leben im öffentlichen Raum ist ein zentraler Aspekt der sozialen Sicherheit. Dies gilt in besonderem Maße für die erschwerten Sichtbedingungen bei Dunkelheit. Nimmt die Gesamthelligkeit ab, verringert sich die Sehschärfe. Das Kontrastsehen und die Farberkennung sind reduziert, und das Einschätzen von Entfernungen verschlechtert sich. Bei Dunkelheit steigt zudem die Blendungsgefahr durch starke Lichtquellen, wodurch die Erkennbarkeit von Personen und Objekten herabgesetzt werden kann.

Aus sozialwissenschaftlichen Studien ist bekannt, dass sich vor allem Frauen und verstärkt ältere Frauen bei Dunkelheit im öffentlichen Raum unbehaglich oder unsicher fühlen und Angst vor Übergriffen oder körperlicher Gewalt haben. Die Folgen sind Rückzug aus dem öffentlichen Raum und Einschränkung der Mobilität (Kaldun 1999, Schubert 1998, Susek 2006). Mehr als Zweidrittel aller befragten Frauen haben Angst, bei Dunkelheit Opfer einer Straftat zu werden. Die Angst vor sexueller Gewalt im nächtlichen öffentlichen Raum ist dabei besonders groß (Kramer und Mischau 1994, Boer 1991, Rügemeier 2000).

Statistische Daten zur Kriminalität im öffentlichen Raum können die ausgeprägte Kriminalitätsfurcht bei Frauen nicht erklären. Nur 25 Prozent aller Delikte ereignen sich im öffentlichen Raum, davon etwa 50 Prozent bei Helligkeit und 50 Prozent bei Dunkelheit. Von gewalttätigen Übergriffen im öffentlichen Raum sind zu mehr als 70 Prozent Männer betroffen, darunter vor allem junge Männer. Sexuelle Übergriffe ereignen sich eher im privaten Umfeld und mit unter sieben Prozent nur zu einem sehr geringen Teil im öffentlichen Raum (Bubenhofner 1999, LKA Baden-Württemberg 1994, Kschischenk 2003).

3. Ergebnisse zur Verkehrssicherheit

Für das Berliner Lichtkonzept (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011) untersuchte die Forschungs- und Planungsgruppe Stadt und Verkehr (FGS) den Zusammenhang zwischen Beleuchtung und Sicherheit. Dabei wurden die amtlichen Unfalldaten der Jahre 2006, 2007 und 2008 des gesamten Berliner Straßennetzes analysiert. 75 Prozent aller Unfälle in diesen drei Jahren ereigneten sich bei Tageslicht, sechs Prozent bei Dämmerung und 19 Prozent bei Dunkelheit. Werden nur die Unfälle mit Personenschaden betrachtet, so zeigt sich das gleiche Verhältnis. Das heißt: *Die Unfallfolgen sind bei Dunkelheit nicht erhöht.*

In der Diskussion um Beleuchtung und Sicherheit ist es wichtig, den Tagesgang im Unfallgeschehen zu berücksichtigen. In den Wintermonaten finden die Verkehrsspitzen mit Schulwegen, Arbeitswegen und anderen Pflichtwegen in der Regel bei Dunkelheit statt. Bei typischen Nachtunfällen zwischen 22:00 und 6:00 Uhr stehen andere unfallbegünstigende Faktoren im Mittelpunkt wie weniger Verkehr und demzufolge höhere Fahrgeschwindigkeiten, mehr Fahrten unter Alkohol- oder Drogeneinfluss, mehr Fahrten junger Kraftfahrer oder Müdigkeit und

ein weniger regelkonformes Verhalten der Verkehrsteilnehmer. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass der Anteil der Unfälle bei Dunkelheit bezogen auf Straßenkategorien, zulässige Höchstgeschwindigkeit und Menge der Verkehrsteilnehmer immer um 19 Prozent liegt, und somit die Dunkelheit auch hier nicht als unfallbegünstigender Faktor in Erscheinung tritt.

Um den Einfluss der Beleuchtung auf das Sicherheitsniveau genauer betrachten zu können, wurden die Unfallereignisse mit Personenschaden der Jahre 2006 bis 2008 jenen Straßenabschnitten zugeordnet, für die lichttechnische Mess- oder Berechnungsergebnisse vorlagen. Dabei ergab sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke und den Unfällen mit Personenschaden. Anders formuliert: Straßen mit einem relativ niedrigen Beleuchtungsniveau und Straßen mit einem eher hohen Beleuchtungsniveau zeigten ähnliche Unfallbelastungen. *Die einfache Formel „mehr Licht, mehr Sicherheit“ ist daher nicht überzeugend.*

4. Fußgänger an Lichtsignalanlagen bei Dunkelheit besonders betroffen

Im Rahmen der Untersuchung wurde festgestellt, dass besonders häufig Fußgänger von Unfällen bei Dunkelheit betroffen sind. Während im Durchschnitt etwa 19 Prozent der Unfälle in den Dunkelstunden auftraten, waren es mit der Beteiligung von Fußgängern mit 36 Prozent deutlich mehr. *Fußgängerunfälle treten bei Dunkelheit nicht nur häufiger auf als am Tag – die Unfallfolgen sind dann meist auch schwerer.* So lagen in den Dunkelstunden 34 Prozent aller Unfälle mit schwerverletzten Fußgängern und sogar die Hälfte aller Unfälle mit getöteten Fußgängern.

Entgegen der Erwartung traten an Lichtsignalanlagen mit 36 Prozent deutlich mehr Unfälle bei Dunkelheit auf als im Durchschnitt (19 Prozent) und auch deutlich mehr als an den als Zebrastreifen bezeichneten Fußgängerüberwegen (nur 16 Prozent). Zebrastreifen verfügen in aller Regel über eine besondere Beleuchtung, was sich positiv auszuwirken scheint. Die Problemstelle Lichtsignalanlage war bereits bei einer Untersuchung von Kinderunfällen aufgefallen (FGS Berlin 2008). Es stellte sich heraus, dass Kinder selten vor Schulen aber häufig an Lichtsignalanlagen auf dem Schulweg verunglücken und zwar auffällig häufig bei Dunkelheit.

An den Lichtsignalanlagen mit solchen Unfällen ist regelmäßig die *Ausfahrt-Furt* betroffen, also die Stelle, an der links- und rechtsabbiegende Kraftfahrer auf bevorrechtigte Fußgänger treffen. Warum verunglücken an diesen Stellen die Fußgänger? Als ein Grund schien zunächst plausibel, dass die Furten in Berlin im Regelfall nicht direkt beleuchtet werden. Häufig steht die erste Leuchte erst hinter der Furt. Damit wird ein für die Erkennbarkeit ungünstiger negativer Kontrast geschaffen. Einige Furten werden von oben beleuchtet, doch auch diese waren nicht unfallfrei.

Weitere Überlegungen und Beobachtungen führten zu der Vermutung, dass es die Scheinwerfer der entgegenkommenden Kraftfahrer sind, die den Linksabbiegenden blenden, so dass er den Fußgänger auf der Furt nicht sehen kann, weil das Auge sich gegen den starken Lichteinfall schützt und die Sehleistung herabsetzt. Die Lichtstärke der Autoscheinwerfer hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen. Bereits 30 Prozent der Kraftfahrzeuge verfügen heute über stark blendende Xenon-Leuchtmittel. Diese Aufrüstung ist mittlerweile als unfallbegünstigender Faktor zu bezeichnen, die unbedingt zurückgefahren werden sollte.

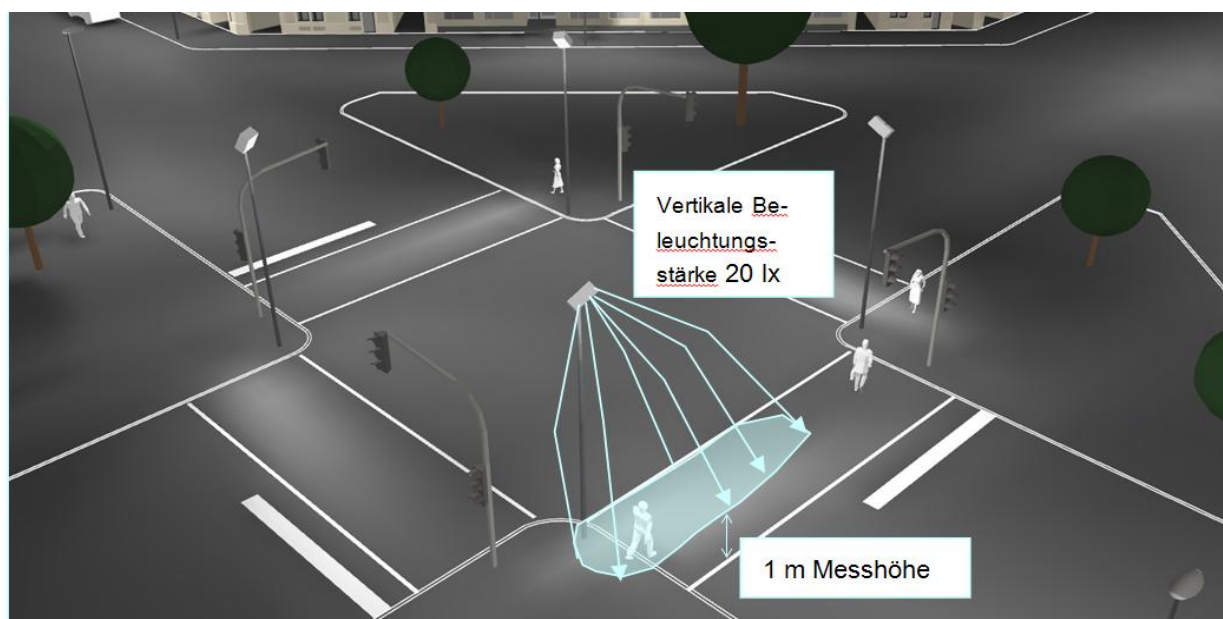


Abbildung 1: Leuchte mit vertikaler Ausrichtung für mehr Sicherheit an Furten von Lichtsignalanlagen. Quelle: FGS

Die öffentliche Beleuchtung muss auf diese Herausforderung reagieren und versuchen die Blendung durch Autoscheinwerfer zumindest an bekannten Problemstellen auszugleichen. Dem Problem könnte mit einer Leuchte, die ein starkes vertikales und seitliches Licht auf die querenden Fußgänger wirft, entgegengewirkt werden (siehe Abbildung 1). Die Beleuchtungsstärke sollte mindestens doppelt so hoch sein, wie im folgenden Streckenabschnitt. In die neue Ausführungsvorschrift Öffentliche Beleuchtung in Berlin ist dieser Vorschlag aufgenommen worden. Die Leuchten sind für Fußgängerüberwege (Zebrastrifen) bereits auf dem Markt.

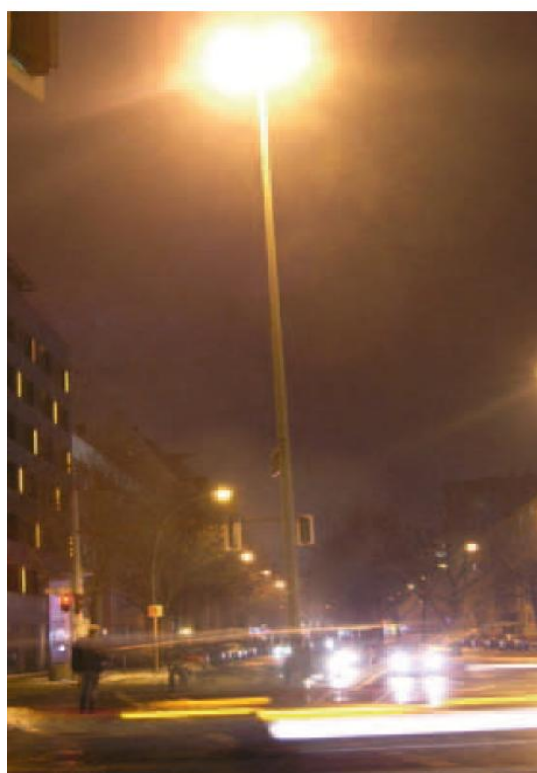


Abbildung 2: Platzleuchte: viel Aufwand, wenig Effekt. Foto: FGS

5. Fazit

Öffentliche Beleuchtung, soziale und öffentliche Sicherheit gehen nicht wie erwartet zusammen. *Dunkle Orte weisen nicht mehr Zwischenfälle auf als hell beleuchtete, obwohl das Gefühl etwas anderes sagt.*

Hinsichtlich der Verkehrssicherheit konnte nicht festgestellt werden, dass mehr Licht linear zu mehr Sicherheit führt. Die Beleuchtung von Straßen aus Gründen der städtebaulichen Orientierung und der Stadtgestaltung ist unstrittig. Dieses Licht muss jedoch nicht sehr stark sein, auch wenn es zunächst so aussieht, als würde das den querenden Fußgängern helfen. *Wichtiger für die Sicherung von Fußgängern ist es, eine Kompensation der Blendung der Kraftfahrer durch entgegenkommende Fahrzeuge vor allem an Lichtsignalanlagen zu erreichen.*

An Knotenpunkten, vor allem an Lichtsignalanlagen, würden die Fußgänger davon profitieren, wenn ein starkes vertikales und seitliches Licht eingesetzt werden würde, das den Kraftfahrern das Erkennen trotz vorangegangener Blendung erleichtert. Die Untersuchungen zeigten, dass es sich in Berlin nur um etwa 700 Kreuzungen handelt, die lichttechnisch optimiert werden müssten. In der Regel liegen diese Kreuzungen in der Nähe von Haltestellen des öffentlichen Verkehrs oder auf einem empfohlenen Schulweg und können von Fußgängern nicht gemieden werden. Es besteht also Handlungsbedarf.

Literatur

- Boer K (1991): Kriminalitätsfurcht. Hamburger Studien zur Kriminologie 12, Pfaffenweiler.
- Bubenhofer N (1999): Städtebau und Kriminalität. Basel.
- Der Polizeipräsident in Berlin, Landeskriminalamt (2009): Kriminalitätsbelastung in öffentlichen Räumen. Berlin.
- FGS Berlin (2008): Verkehrsunfälle mit Kindern in Berlin. SenStadt, September 2008.
- Kaldun S (1999): Frauen wollen eine sichere Stadt – Angsträume im öffentlichen Raum. Gelsenkirchen. Abgedruckt in: Ruberta, Ruhr-Universität Bochum. Bochum Ausgabe 11/2000.
- Kramer C, Mischau A (1994): Tat-Orte und Angst-Räume. Raumforschung und Raumordnung Heft 4/5.
- Kschischenk H (2003): Aktueller Stand zum Thema Kriminalität und Straßenbeleuchtung (unveröffentlichte Studie). In: Schmidt A, Töllner M (Hg.) (2006): StadtLicht.
- Landeskriminalamt Baden-Württemberg (1994): Sexualstraftaten im öffentlichen und privaten Raum in Stuttgart. Stuttgart.
- Landeskriminalamt Baden-Württemberg (1994): Tatorte bei Raub und Handtaschenraub in Stuttgart. Stuttgart.
- Rügemer W (2000): Verzerrtes Bild der Kriminalität. Kommunen 7/2000.
- Schubert H (1998): Urbaner Raum und Verhaltensregulierung. Hannover.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2011): Stadtbild Berlin Lichtkonzept. Berlin.
- Susek A (2006): Räumen und Gendern. an.schläge, das feministische Magazin.

Lichtverschmutzung und Schutz der Nacht – Bewusstseinsbildung

Michael Brinkmeier

1. Warum Bewusstseinsbildung?

Als interessierter Leser hätten Sie nicht zu diesem Buch gegriffen, wenn Ihnen der Schutz der Nacht egal wäre. Nach Lage der Dinge befinden Sie sich mit Ihrer Haltung derzeit aber noch in der Minderheit. Fragten Sie in einer beliebigen deutschen Fußgängerzone die Passanten: „Finden Sie, dass Lichtverschmutzung ein Problem darstellt?“, so würde nur ein kleiner Teil der Befragten überhaupt wissen, was Lichtverschmutzung ist – und von diesen auch nicht jeder mit „Ja“ antworten. Aufklärung tut darum not. Aufklärung zur Bewusstseinsbildung, dass es (a) Lichtverschmutzung überhaupt gibt, dass sie (b) ein Problem darstellt und (c) die Gesellschaft gewillt sein muss, dieses Problem zu lösen.

Von gesellschaftspolitischer Seite aus betrachtet sind Diskurs und Bewusstseinsbildung kein Selbstzweck, sondern dienen dem Ziel, einen konkreten Zustand – zu viel Licht in der Nacht – tatsächlich zu ändern. Dieser Beitrag widmet sich den praktisch-politischen Aspekten zur Verwirklichung des Schutzes der Nacht. Zum einen zeigt er auf, welche strukturellen Ziele es geben kann, und zum anderen, welche politischen Gruppen und Institutionen zur Erreichung dieser Ziele notwendig und hilfreich sind.

Nicht vergessen werden darf, dass in fast allen politischen Prozessen die Gefahr des (zumindest vorläufigen) Scheiterns größer ist als die Wahrscheinlichkeit des Erfolges. Aber auch hier lässt sich durch Umsicht und gute Planung so manche Enttäuschung vermeiden. Nach Max Weber ist Politik das Bohren dicker Bretter. Also systematisieren wir diese Bretter, die die politische Welt bedeuten, einmal nach Brettstärken, Holzarten, Bohrern und anderen Umständen – damit wir erfolgreich durchkommen.

2. Schutz der Nacht: Politische Ziele und Zielgruppen

In dieser BfN-Publikation werden die übergeordneten Ziele, warum der Nacht wieder die Dunkelheit zurückgegeben werden sollte, ausführlich beschrieben. Ebenso die technischen Ziele und Beispiele, die ihrerseits als Mittel zum Zweck dienen. Die Frage ist nur: Wie erreichen wir diese Ziele? Wie garantieren wir die Umsetzung? Und vorangestellt: Wie schieben wir es an?

Da in den seltensten Fällen die kollektive Einsicht der Menschen in eine persönlich durchzuführende Verhaltensänderung quasi auf Zuruf zu erwarten ist, kommt die Politik ins Spiel. Politik kann verändern kraft der ihr zugeteilten Macht. „Politik“ dient hier als Sammelbegriff für Regierungen, Parlamente, Räte, aber auch Verwaltungen. Sie alle haben formale Befugnisse. Hinzu kommen die Akteure, die keine formalen Befugnisse haben, aber durchaus politische Entscheidungen beeinflussen, wie zum Beispiel die Wissenschaft, Nichtregierungsorganisationen, Medien und sozialen Netzwerke und natürlich die Bürgerinnen und Bürger selbst.

Was können die *formalen Institutionen* für den Schutz der Nacht tun? Das hängt in erster Linie von der jeweiligen Ebene ab. Am griffigsten sind die vielen guten Initiativen, die auf kommunaler Ebene Beispiele geben, wie man ein berechtigtes Anliegen in die Praxis umsetzt. Diese Initiativen gehen in den meisten Fällen auf einzelne handelnde Personen oder kleine Gruppen zurück, die – meist in der Kommunalverwaltung angesiedelt und mit Unterstützung der Verwaltungschefs – ihre Pläne ausarbeiten und implementieren dürfen. Glücklicherweise dürfen sich diejenigen Städte schätzen, deren Räte dieses Verwaltungshandeln auch politisch bewusst unterstützen.

Ein Vorteil dieser *kommunalen Initiativen* ist, dass sie im Vergleich zu den anderen Ebenen rein statistisch gesehen eher einmal eine günstige Kombination von Entscheidern bietet, die das Thema Lichtverschmutzung angehen wollen. Das ist auf den darüber liegenden Ebenen schon viel schwieriger, und darum lohnt es sich gerade zu Beginn einer neuen Bewegung wie der Dark-Sky-Initiative (siehe Beitrag Hänel „Initiativen zum Schutz der Nacht“), Ausschau nach Kandidaten-Kommunen zu halten, die der Sache dienen könnten.

Mehren sich dann die Beispiele guter Praxis auf kommunaler Ebene, so kann man die *regionale Ebene* angehen. Als Beispiel mögen die Bestrebungen der Dark-Sky-Initiative in der Rhön oder in der Eifel dienen. Für die in solchen Regionen liegenden Kommunen kann es zum Beispiel unter touristischen Aspekten attraktiv sein, einen Verbund zum Schutz der Nacht zu gründen. Nach meiner Einschätzung gibt es ein marketingfähiges Potenzial von zwei oder drei Dark-Sky-Regionen in Deutschland. Aber auch diese vergleichsweise geringe Anzahl von „Lichtschutz-Nationalparks“ hätte eine enorme Auswirkung auf die Bewusstseinsbildung der Bevölkerung in ganz Deutschland.

Und diese Bewusstseinsbildung wird auch nötig sein, wenn man auf der *Ebene von Bund und Ländern* erfolgreich sein will. Hier kommt insofern eine neue Qualität ins Spiel, als ab der Ebene der Länder aufwärts Gesetze und Verordnungen gemacht werden. Der Grad der allgemeinen Verbindlichkeit wird dadurch wesentlich höher. Umgekehrt ist es aber auch schwieriger, überhaupt etwas zu erreichen. Unterscheiden muss man auch zwischen parlamentarischen Initiativen und Regierungshandeln. Die Parlamente werden für konkrete Gesetzesänderungen gebraucht, und zwar einerseits für restriktives Handeln (beispielsweise Emissionsobergrenzen im Bereich des Umweltschutzes) als auch andererseits für Förderinitiativen, die im Haushalt budgetiert werden müssen. Einfacher ist es meist, im Rahmen der Exekutive tätig werden zu können. Der Forschungsverbund „Verlust der Nacht“ mag hier als gutes Beispiel dienen (siehe Beitrag Holzhauer und Hölker).

In unserer Bürgergesellschaft kommt dem unmittelbaren und dem mittelbaren *Einfluss der Bürgerinnen und Bürger* immer mehr Bedeutung zu. Dies reicht hin bis zu formal bindenden Entscheidungen durch die Bürger selbst wie zum Beispiel bei Bürger- oder Volksentscheiden. Der Charakter solcher Abstimmungen ist aber in der Regel mit einem „gegen etwas“ (konkretes Projekt wie zum Beispiel einem Bauvorhaben) zu beschreiben, weil dann das Mobilisierungspotenzial höher ist. Deshalb scheint dieses Instrument für Initiativen zum Schutz der Nacht wenig erfolgversprechend.

Mehr Erfolg dagegen verspricht die *Zusammenarbeit mit unterstützenden Organisationen*. Die Wissenschafts- und die Naturschutzverbände sind offensichtlich dafür prädestiniert, denn niemand aus diesen Bereichen würde in Abrede stellen, dass die Lichtverschmutzung eingedämmt werden muss. Die hohe Glaubwürdigkeit und der im Allgemeinen gute Organisationsgrad lassen Projektpartnerschaften mit Naturschutzverbänden, Wissenschaftsorganisationen, aber auch wissenschaftsnahen Einrichtungen wie beispielsweise örtlichen Sternwarten oder Planetarien sehr sinnvoll erscheinen.

Selbstverständlich spielen auch die *Medien* eine entscheidende Rolle bei der Verbreitung des Anliegens. Zu erläutern, wie man auf dieser Klaviatur spielt, würde mindestens ein eigenes Kapitel erfordern. Wichtig ist es sich zu vergegenwärtigen, dass die Medien sich nicht vorschreiben lassen, was und wie sie über ein Thema berichten wollen. Berichte können sehr gut ausfallen, aber es kann auch schnell ein Verriss dabei sein. Merke: Ein schlechter Artikel macht zehn gute Artikel zunichte. Anzuraten ist hier in jedem Fall das Hinzuziehen von presserfahrenen Personen, die das Wissen um die richtige Gestaltung und Veröffentlichung von Pressemitteilungen und Interviews haben.

Gut organisierte Aktionen in den sozialen Netzwerken des Internets haben mittlerweile mehr Durchschlagskraft als ein Artikel in renommierten Magazinen. Es empfiehlt sich, insbesonde-

re bei den ökologisch orientierten *Webcommunities* nachzuschauen, ob dort nicht nachahmenswerte Aktionsmuster für Initiativen vorhanden sind, welche man auch zum Schutz der Nacht einsetzen kann. Aber nicht nur die Aktionsmuster, sondern die Communities selbst stellen natürlich eine Zielgruppe dar, die eine hohe Affinität zu diesem Thema haben kann.

3. Wie man Politik, Verwaltung und Medien für sich nützlich macht

Politiker und politisch orientierte Verwaltungsspitzen handeln marktnah: Ihre Handlungen richten sich durchaus danach, inwieweit eine breite Unterstützung seitens der Bevölkerung wahrnehmbar ist. Initiativen, die von den Menschen als sympathisch empfunden werden, wie beispielsweise ökologische Bewegungen, haben immer bessere Durchsetzungschancen als solche, die eher technokratischen Charakter haben – unabhängig davon, ob sie tatsächlich sinnvoller sind oder nicht. Es ist nicht nur legitim, sondern auch geboten, sich diese Tatsache zunutze zu machen. Der Schutz der Nacht kann mit vielerlei Aspekten *Sympathien hervorrufen*. Ist der Tenor in der Öffentlichkeit positiv, ist bereits die Grundvoraussetzung für politische Entscheidungen geschaffen.

Nun gilt es, Entscheider für seine Sache zu gewinnen. *Umweltminister, Umweltdezernenten*, aber auch *Bürgermeister* sind die richtigen Ansprechpartner. Je nach Funktion kann man seine Argumente verschieden gut anbringen. Schafft man es, Personen mit Wahlamt für sich zu gewinnen, ist dies besonders gut, weil es zeigt, dass solch ein Politiker ein politisch nutzbares Potenzial dahinter sieht. Hilfreich ist es, wenn man beim Klinkenputzen nicht gleich ganz oben anfängt, sondern sich über das Umfeld der Entscheider gleichsam hochhangelt. Meist ist ein Gespräch mit dem persönlichen Referenten oder Büroleiter eines Ministers wichtiger als das Ministergespräch selbst.

Ein Wort zum Geld: Haushaltsmittel aus öffentlichen Kassen sind per se ein knappes Gut. Man konkurriert immer mit anderen politischen Projekten, die ebenfalls auf Verwirklichung drängen. Im Falle der Lichtverschmutzung hat man aber einen Vorteil, wenn es um Budgets geht: Zum einen kann man die Umstellungskosten auf moderne Beleuchtungssysteme immer als Investitionsrechnung darstellen. Dadurch mutiert die Kostenfrage zu einer Liquiditätsfrage. Da das politische Denken aber immer noch in Jahresbudgets stattfindet, muss man sich hier konsequent mit dem Kämmerer einer Kommune zusammentun. Sollte sich herausstellen, dass die öffentliche Hand mit solchen Projekten Geld spart, fällt es der Politik leichter, diesen Plan zu beschließen.

4. Die dunkle Seite der Macht: Wer ist gegen den Schutz der Nacht?

Die Verwirklichung von gesellschaftspolitischen Zielen läuft niemals nach einem einfachen Kochrezept. Enttäuschungen sind meistens vorprogrammiert, wenn man sich nicht von vornherein bewusst macht, dass auf dem Weg zu den Sternen nicht nur Schweiß fließt, sondern auch Rückschläge vorkommen werden. Einige ausgewählte Hindernisse werden im Folgenden beschrieben.

Das *Sicherheitsbedürfnis* der Bevölkerung ist die Achillesferse der Initiativen zum Schutz der Nacht. So sympathisch es sein mag, den Lieben nachts wieder einen prächtigen Sternenhimmel zeigen zu können: Dieses Ziel wird nie erreicht werden, wenn die Bevölkerung Angst um ihre Sicherheit hat (siehe Beitrag Pauen-Höppner und Höppner). Der entscheidende Punkt hierbei: Es geht um *gefühlte Sicherheit*. Man kann so viele Studien zur tatsächlich gewährleisteten nächtlichen Sicherheit vorzeigen, wie man will: Wenn nur ein einziger negativer Artikel oder Leserbrief zu einem konkreten Projekt zur Eindämmung der Lichtverschmutzung in der Zeitung erscheint – mit dem Tenor „Straßen werden wieder dunkel – Bürger fürchten sich“ –, dann ist das Kind schnell in den Brunnen gefallen. Da Reaktionen aus-dem-Bauch-heraus wie

„Licht aus? Ist gefährlich!“ Irrationalitäten fördern, welche sich schnell auch politisch verfestigen, ist hier eine vorausschauende Kommunikationsstrategie unerlässlich.

Der zweite Gegner zum Schutz der Nacht ist die *Bequemlichkeit*. Alle wollen das ökologische Paradies, wenige wollen sich selbst dafür anstrengen. Wenn man nur darauf setzt, dass die Bürger ihre Außenbeleuchtung herunterfahren oder die Sportvereine ganz von selbst ihre Flutlichtanlagen auf den Sportplätzen neu justieren, wird darüber sehr alt werden. Das heißt, hier muss man die Politik und die Verwaltung dafür gewinnen, eine entsprechende Regelung oder mindestens eine bindende Selbstverpflichtung zu veranlassen.

Wenn man sich fragt, welche Politiker typischerweise für oder gegen Bemühungen gegen die Lichtverschmutzung sind, so macht sich dieses weniger an den parteipolitischen Farben fest, sondern eher an der Tatsache, ob die Entscheider Stadtmenschen sind oder lieber auf dem Lande leben. *Stadtmenschen* wollen sich ihre Urbanität nicht nehmen lassen (wörtliches Zitat eines Politikers). Und dahinter steckt die simple und sehr populäre Gleichung: Mehr Licht = mehr städtische Lebensqualität. Da Politiker aus Großstädten zahlreicher sind als solche vom Lande, muss bei parlamentarischen Initiativen sehr darauf geachtet werden, diese simplen Gleichungen durch gute Beispiele auszuhebeln.

Auch *Fachleute* können etwas gegen den Schutz der Nacht haben. Basierend auf dem Sicherheitsargument und politisch flankiert kann festgelegt werden, die Ausleuchtung von öffentlichen Plätzen und Verkehrswegen auszuweiten. Ganze Gutachterzünfte leben davon, die Sicherheitsanforderungen der Gesellschaft immer weiter auszuweiten, und dies oft nach dem Motto „viel hilft viel“. Es empfiehlt sich, die Schnittstellen von Sachverständigenwesen und Verwaltung/Politik genau im Auge zu behalten, damit kein unnötiger Lichtsegen über die Menschheit ausgeschüttet wird.

5. Nur Mut! Oder: Mit langem Atem ans Ziel

Dieser Beitrag kann nur einen kleinen Einblick in die Mechanismen der Durchsetzung von gesellschaftspolitischen Zielen bieten. Wichtig ist die Botschaft: Man kann es schaffen. Auch wenn es in manchen Bereichen nicht so schnell vorwärts geht wie anderswo, kann man mit Beharrlichkeit, Überzeugungskraft und ein wenig politischem Geschick viel erreichen. Schaffen es die Initiativen zum Schutz der Nacht, sich untereinander zu vernetzen und ihre gemeinsamen Ziele zu vermitteln, wird genügend politische Schwungmasse für Größeres entstehen. Denn wer von seiner Sache überzeugt ist, kann auch andere überzeugen!

Licht-Monitoring – Nachtschutz ist messbar

Andreas Hänel

1. Messgrößen

Die Aufhellung der natürlich dunklen Nacht durch künstliches Licht hat unterschiedlichste Auswirkungen wie beispielsweise Blendung, nachbarschaftliche Störung und Aufhellung des Himmels. Die Helligkeit eines Objektes wird durch das Auge erfasst und beurteilt. Die entsprechende physikalische Messgröße ist die *Leuchtdichte*, die in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) gemessen wird. Sofern das Objekt nicht selbstleuchtend ist, wird die Leuchtdichte durch die auf das Objekt fallende Lichtmenge und seine Reflexionseigenschaften bestimmt. In einer dunklen Umgebung können helle Lichtquellen blendend wirken. Sie werden nach den Methoden der *Blendmessung* beurteilt (LiTG 2011).

Eine Lichtquelle kann auch Objekte in einem dunklen Umfeld aufhellen ohne zu blenden, was je nach Lichtmenge dennoch als störend empfunden werden kann. Die *Beleuchtungsstärke* wird in Lux (lx) gemessen. Als Vergleich kann die natürliche Himmelshelligkeit oder die Beleuchtungsstärke des Vollmondes (0.25 Lux) dienen.

	Leuchtdichte (cd/m^2)	Himmelshelligkeit (mag/arcsec ²)	Bodenbeleuchtungsstärke (lx)
Taghimmel	3 000		100 000
Straßenbeleuchtung			1 - 30
Vollmondhimmel, Stadt	0.02	17	max. 0.25
Vororthimmel in Deutschland	0.001	20	0.01
Natürlich dunkler Himmel	0.0002	21.8	< 0.0001

Tabelle 1: Charakteristische Werte für Leuchtdichten bzw. Himmelshelligkeiten und resultierenden Beleuchtungsstärken auf dem Boden

In der Astronomie wird die *Helligkeit der Sterne* traditionell mit der Größenklasse Magnitude oder *magnitudo* (mag oder ^m) beschrieben. Dies ist eine dem Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges angepasste logarithmische Skala, die bereits von Hipparchos vor rund 2.000 Jahren eingeführt wurde. Dabei hatten die hellsten Sterne die Magnitude 0^m, die schwächsten mit bloßem Auge sichtbaren Sterne die Magnitude 6^m.

Die Skala ist heute physikalisch definiert und erweitert: Die Sonne als hellstes Himmelsobjekt hat -26^m und, die schwächsten mit den größten Teleskopen messbaren Sterne haben eine Helligkeit von +30^m. Um Sterne zu erkennen, müssen sie sich vor einem Hintergrund abheben. Ist der Hintergrund sehr hell, wie beispielsweise in einer Stadt, sind nur helle Sterne zu sehen. Bei einem natürlich dunklen Himmel wird der dunkle Hintergrund durch schwache Sterne bestimmt, die mit dem Auge oder einem Teleskop nicht aufgelöst werden können.

Die Fläche am Himmel wird in Winkleinheiten gemessen, wobei ein Grad in 60 Bogenminuten oder 3.600 Bogensekunden unterteilt wird. Daher wird die *Himmelshelligkeit* in Größenklassen pro Quadratbogensekunden ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$) angegeben. Da bei einem aufgehellten Himmel nur hellere Sterne sichtbar sind, kann auch die Grenzgrößenklasse m_{lim} , die *Helligkeit der schwächsten gerade sichtbaren Sterne*, als ein subjektives Maß für die Himmelshelligkeit dienen, ebenso wie die Zahl der noch sichtbaren Sterne in ausgewählten Sternfeldern. Als

zusätzliche beschreibende Skala für die *Himmelsqualität* hat sich die *Bortle-Skala* mit neun Stufen bewährt, die von dem amerikanischen Hobbyastronom John Bortle im Jahr 2001 aufgestellt wurde. Generell erscheint am Rand einer größeren Stadt der Himmel etwa 20 Mal heller als der natürlich dunkle Himmel, und es sind nur noch ein Zehntel der Sterne zu sehen.

	Bortle-Skala	Grenzhelligkeit (m_{lim})	Himmelshelligkeit ($mag/arcsec^2$)	Anzahl sichtbarer Sterne
Natürlich dunkler Himmel	1	7.0	21.8	6000
Ländlicher Himmel	3	6.8	21.4	5000
Vororthimmel	5	5.8	20.0	2000
Stadtrand	7	4.8	18.5	500

Tabelle 2: Die unterschiedlichen Bewertungsgrößen zur Beurteilung der Nachthimmelsqualität.

2. Messmethoden für die Himmelshelligkeit

Für genügend große Helligkeiten eignen sich die üblichen Leuchtdichtemessgeräte und Luxmeter (bis etwa 0,1 Lux). Doch zur Messung der Himmelshelligkeit haben sich spezielle Messmethoden eingebürgert. Für die Messung von Sternhelligkeiten ist die Messung des Himmelshintergrunds unbedingt notwendig, denn sie muss von der gemessenen Sternhelligkeit abgezogen werden. Dazu wird in der Nähe des zu messenden Sterns ein Himmelsfeld ausgewählt, in dem kein Stern erkennbar ist. Solche Messungen werden mit den in der Astronomie verwendeten CCD-Halbleiterdetektoren im Rahmen der Datenauswertung standardmäßig gemacht. Inzwischen gibt es auch automatisch arbeitende Geräte, die nach dieser Methode die Himmelshintergrundshelligkeit kontinuierlich messen.

Im Jahr 2005 entwickelte die kanadische Firma Unihedron das Sky Quality Meter SQM. Das ist ein einfaches Messgerät, das die Helligkeit über einen großen Winkelbereich misst (Hänel 2009). Von G. Wuchterl wurde mit der Firma K2W Lights das Lightmeter entwickelt, das analog einem Luxmeter die Helligkeit des gesamten Halbraums über der Fozelle misst und einen breiten Messumfang von 0,00005 bis 200.000 Lux erfassen kann.

3. Messung der Lichtverschmutzung

Die Himmelshelligkeit ist stark von meteorologischen Bedingungen abhängig. Erfahrungsgemäß ist in einem Gebiet mit viel künstlichem Licht der Himmel bei niedriger Bewölkung viel stärker aufgehellert als bei klarem Himmel, während in Gegenden mit wenig künstlichem Licht eine bedeckte Nacht dunkler als eine klare ist.

Die weiteren Ergebnisse beziehen sich auf die Himmelshelligkeit in klaren dunklen Nächten, in denen die astronomische Dämmerung (Sonne 18 Grad unter dem Horizont) beendet ist, kein Mondlicht stört und eine einigermaßen gute Transparenz herrscht (Hänel 2011). In klaren Nächten konnten in Deutschland bislang Himmelshelligkeiten im Bereich von 17.8 (Berlin Zentrum) bis 21.78 $mag/arcsec^2$ (Westhavelland, Harz, Rhön) gemessen werden.

An vielen Orten nimmt die Himmelshelligkeit im Laufe der ersten Nachtstunden nach Ende der astronomischen Dämmerung ab und erreicht erst nach Mitternacht einen stabilen Wert. Dies ist auf die Reduzierung der künstlichen Beleuchtung etwa durch Abschalten zurückzuführen. An der Messstation in Osnabrück ging in klaren Nächten die Himmelshelligkeit um

bis zu $0,6 \text{ mag/arcsec}^2$ zurück (Abnahme 60 Prozent). Dies beruht auf einer Reduzierung der Straßenbeleuchtung in der Stadt um 20 Uhr und in den umliegenden Gemeinden um 22:30 Uhr.

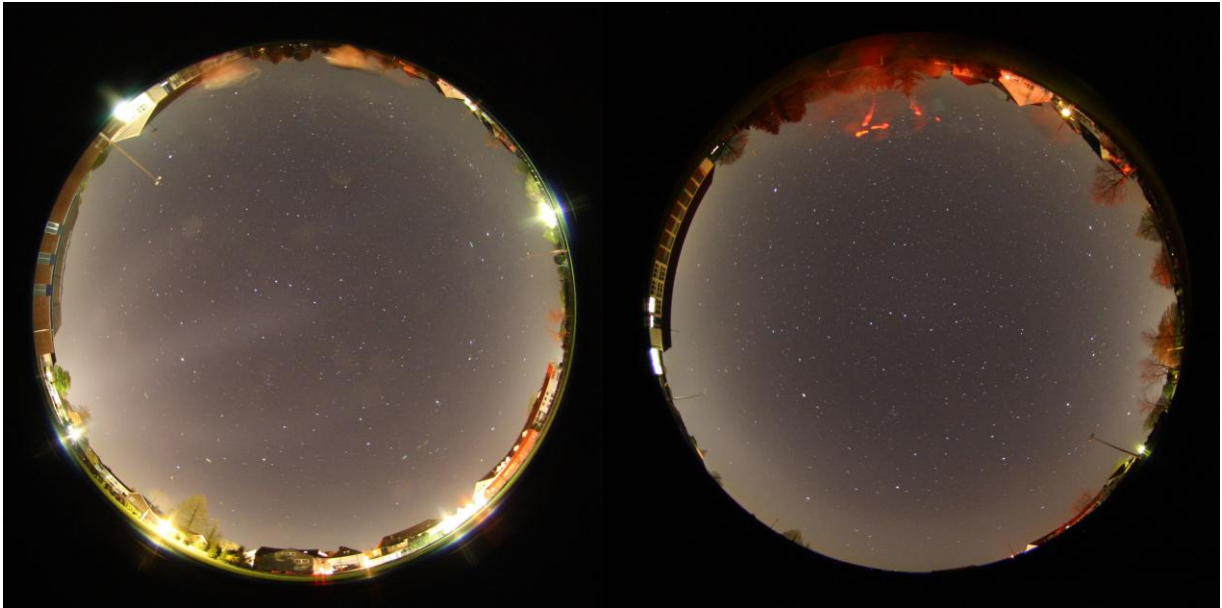


Abbildung 1: Beispiel für Nachtabstaltung. In Preußisch-Oldendorf wird um 0 Uhr ein Großteil der Straßenbeleuchtung abgeschaltet. Dadurch wird der Himmel nach Mitternacht deutlich dunkler (rechts) als vorher (links). Foto: Andreas Hänel

In Preußisch-Oldendorf werden zwischen 0 Uhr und 6 Uhr morgens 1.390 von 1.662 Lichtpunkten der Straßenbeleuchtung abgeschaltet, wodurch eine jährliche Energieeinsparung von 40 Prozent erreicht wird. Die Messungen zeigten, dass dadurch im Ortszentrum die Himmels-helligkeit um 40 Prozent von $20,7$ auf $21,0 \text{ mag/arcsec}^2$ zurückging (eigene Messungen).



Abbildung 2: Fischaugenaufnahmen des Himmels in der Rhön. Links: im Frühjahr ohne Milchstraße. Rechts: im Herbst mit Milchstraße. Die Milchstraße hat einen deutlichen Einfluss auf die Himmels-helligkeit im Zenit (Mitte der Aufnahmen). Foto: Andreas Hänel

Am spätsommerlichen Abendhimmel verursacht die Milchstraße in dunklen Gebieten eine Aufhellung der SQM-Messungen um etwa 0,3 bis 0,4 mag/arcsec² gegenüber dem Frühlingshimmel ohne Milchstraße. Je heller der Himmel allerdings ist, desto geringer ist der Einfluss der Milchstraße. Am aufgehellten Stadthimmel ist sie dann ohnehin nicht mehr zu sehen.

Ferner wird die Himmelshelligkeit durch die unterschiedliche Sonnenaktivität in einem elf-jährigen Rhythmus beeinflusst. An den dunklen Beobachtungsorten verschiedener Sternwarten wurde während des Sonnenfleckenminimums ein etwa 0,3 bis 0,4 mag/arcsec² dunklerer Himmel gemessen als beim Maximum. Deswegen dürfte in den kommenden Jahren mit zunehmender Sonnenaktivität der Himmel auch heller werden.

4. Licht-Monitoring zum Schutz der Nacht

Alle diese Einflüsse sind zu berücksichtigen, wenn letztlich die Veränderung der Aufhellung der Nacht durch künstliches Licht ermittelt werden soll, da diese meist geringer und erst nach mehreren Jahren nachweisbar ist. Doch bislang wurden nur vereinzelt Langzeitmessungen der Himmelshelligkeit durchgeführt. Daher sind weitere kontinuierliche Messungen notwendig, um Änderungen der Nachthelligkeit zuverlässig erfassen zu können.

Literatur und Links

Hänel A (2009): Messung der Himmelshelligkeit mit dem Sky Quality Meter. *Sterne und Weltraum* 3/2009: 74.

Hänel A (2011): Dark Sky Parks in Germany. Vortrag beim 11th European Sym. for the Protection of the Night Sky, Osnabrück 2011.

(http://lichtverschmutzung.de/symposium_2011/zubehoer/download.php?sub=saturd_aftern_sess1&file=05_Haenel.pdf)

LiTG (2011): Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen 12.3. Berlin: Lichttechnische Gesellschaft.

Dank

Die Messungen der Himmelshelligkeit wurden durch die niedersächsische Bingo!-Umweltstiftung gefördert.

Effiziente Beleuchtung spart Kosten und fördert Klima- und Ressourcenschutz

Oliver Prietze und Karl Schneider

1. Einleitung

Der Anteil der Beleuchtung am Stromverbrauch liegt im weltweiten Durchschnitt bei 19 Prozent. Dabei ist die Spreizung relativ groß. Während in den USA etwa 25 Prozent des Stromes für Beleuchtung aufgewendet werden, liegt Deutschland mit etwa 15 Prozent am unteren Ende (Abbildung 1; vgl. Beitrag Schindler & Zittel). Damit ist die Beleuchtung in Deutschland für einen Ausstoß von etwa 34 Megatonnen Kohlendioxid (CO₂) pro Jahr verantwortlich.

Anteil Beleuchtung am Stromverbrauch 2010 in Deutschland

2010 wurden in Deutschland 16% des Gesamtstroms (= 80 TWh) für Beleuchtung verbraucht, das entspricht einer Emission von 34 Mt CO₂ (bei 430 g CO₂/kWh)

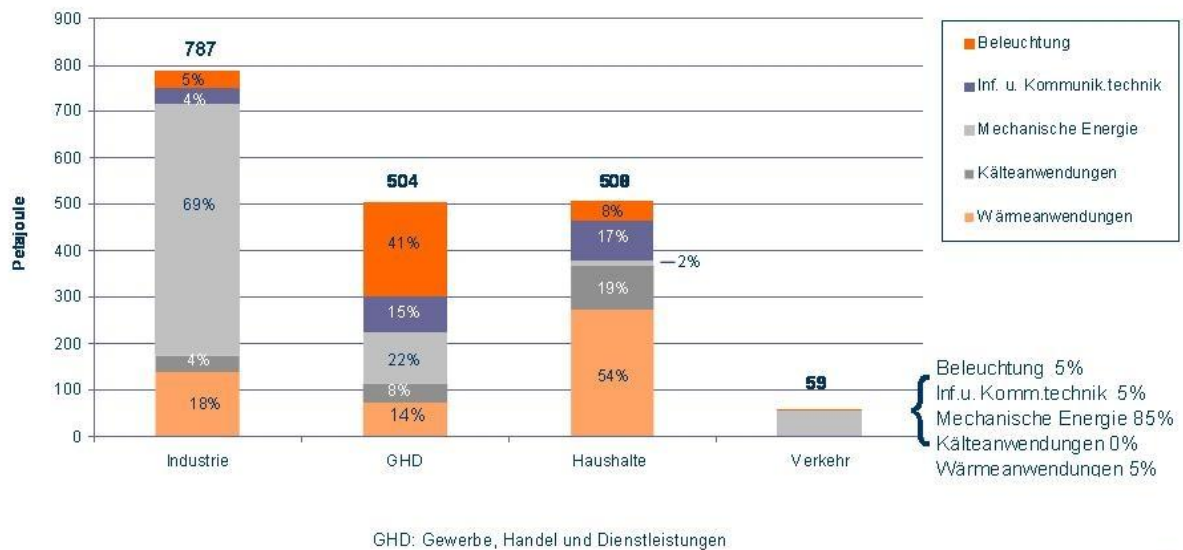


Abbildung 1: Anteil Beleuchtung am Stromverbrauch 2010 in Deutschland

Quelle: AG Energiebilanzen

Die Beleuchtung im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD), in der auch die Straßenbeleuchtung enthalten ist, weist mit 205 Petajoule absolut den größten Stromverbrauch auf. Es folgen die privaten Haushalte mit 42 Petajoule, danach die Industrie mit 38 Petajoule und der Verkehr mit drei Petajoule. Der Hebel für eine Reduktion des Stromverbrauchs und damit der CO₂-Emissionen ist somit bei der Beleuchtung signifikant, wenn auch geringer als bei den großen Stromverbrauchern „mechanische Energie“ und „Wärmeanwendungen“.

Woran liegt es also, dass in vielen Untersuchungen, die derzeit zum Thema Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen durchgeführt werden (vgl. Henzelmann 2011), die Beleuchtung

klar vorn liegt? Die Antwort lautet *Wirtschaftlichkeit*. Die Renovierung einer veralteten Beleuchtungsanlage reduziert den Stromverbrauch in den meisten Fällen um mindestens 50 Prozent – im Maximum sind sogar 90 Prozent erreichbar – und das mit einer Investition, die sich häufig zwischen einem und fünf Jahren amortisiert. McKinsey hat in einer vielbeachteten Studie zur CO₂-Reduktion (Vahlenkamp 2007) errechnet, dass alle betrachteten Energieeffizienzmaßnahmen im Beleuchtungsbereich negative Vermeidungskosten aufweisen, also auch unter Berücksichtigung der Investition wirtschaftlich sind.

2. Energieeffiziente gewerbliche Beleuchtung

Die Energieeffizienz einer Beleuchtungsanlage wird durch die *Energieeffizienz ihrer Einzelkomponenten* bestimmt – das sind Lampe, Vorschaltgerät, Leuchte und Beleuchtungssteuerung. Das *Vorschaltgerät* zündet die *Lampe*, steuert ihren Betrieb und schaltet sie am Lebensdauerende sicher ab. Die dafür benötigte Verlustleistung sollte natürlich minimal sein. Bei der *Leuchte* sorgen ein hochwertiges Reflektormaterial sowie eine intelligente Lichtlenkung dafür, dass das von der Lampe erzeugte Licht möglichst verlustfrei den Leuchtenkörper verlässt und die zu beleuchtende Fläche definiert ausleuchtet. Eine *intelligente Beleuchtungssteuerung* regelt einzelne Leuchten oder die gesamte Anlage dergestalt, dass elektrisches Kunstlicht nur dann eingeschaltet wird, wenn es benötigt wird (Präsenz- oder Zeitsteuerung) und dann auch nur in der dafür notwendigen Menge (Tageslicht- oder Konstantlichtsteuerung).

Beispiel einer Beleuchtungsrenovierung in einem Logistikzentrum

Die Beleuchtungsanlage im Logistikzentrum eines großen deutschen Küchengeräteherstellers bestand aus alten Leuchtstofflampen-Leuchten ohne Reflektor mit einem ineffizienten Vorschaltgerät, welche die Fahrwege für die Gabelstapler nur unzureichend beleuchteten. Durch Ersatz mit modernen, dimmbaren T5-Leuchtstofflampen-Leuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten und hocheffizientem Reflektor konnte die Anzahl der Leuchten von 2.000 auf 792 verringert werden – und das bei einer Verdoppelung des Beleuchtungsstärkeniveaus.

Zusätzlich wurden *Tageslichtsensoren* installiert, die den Tageslichteinfall durch die Dachlücken erfassen und das Kunstlicht entsprechend herunterdimmen. Bewegungssensoren sorgen dafür, dass das Licht aus der Grundstellung von einem Prozent nur dann auf 100 Prozent hochgeregelt wird, wenn sich eine Person oder ein Gabelstapler nähert. Dies geschieht innerhalb von Sekundenbruchteilen, so dass auch schnell fahrende Stapler rechtzeitig erfasst werden. Über das Produktivsystem der Logistikhalle konnten die einzelnen Lagerzonen nach der Frequenz der Staplerbewegungen kategorisiert werden, so dass die Bewegungssensoren nur dort installiert wurden, wo sie wegen genügend langer Nichtfrequentierungsphasen Sinn machen.

In diesen Bereichen wurde eine *Energieersparnis von bis zu 90 Prozent* realisiert. In der Summe werden so über 60.000 Euro pro Jahr an Betriebskosten sowie etwa 250 Tonnen CO₂ eingespart. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich durch den Einsatz einer übergeordneten Beleuchtungssteuerung alle *Einzelleuchten flexibel per Software gruppieren* lassen. Diese Anordnung lässt sich jederzeit geänderten Nutzungsbedingungen in der Lagerhalle anpassen.

Die notwendige Investition in die neue Beleuchtungsanlage amortisiert sich in dem oben genannten Beispiel nach etwa dreieinhalb Jahren. Das liegt hauptsächlich an der langen Beleuchtungsdauer in der Logistikhalle von mindestens 4.500 Stunden pro Jahr. Wie in Abbildung 2 erkennbar, hängt die Amortisationszeit einer Beleuchtungsrenovierung neben dem Strompreis in erster Linie von der Beleuchtungsdauer ab. Daraus resultiert, dass sich Beleuchtungsrenovierungen hauptsächlich in Gebäuden mit *langen Beleuchtungsdauern* lohnen – wie beispielsweise Industriehallen mit Nachtschicht-Betrieb oder Logistikhallen.

Einfluss der Brennstunden auf die Amortisationsdauer

Die grundlegende Renovierung von Beleuchtungssystemen ist für viele Unternehmen erst ab ca. 4.000 Beleuchtungsstunden im Jahr wirtschaftlich attraktiv

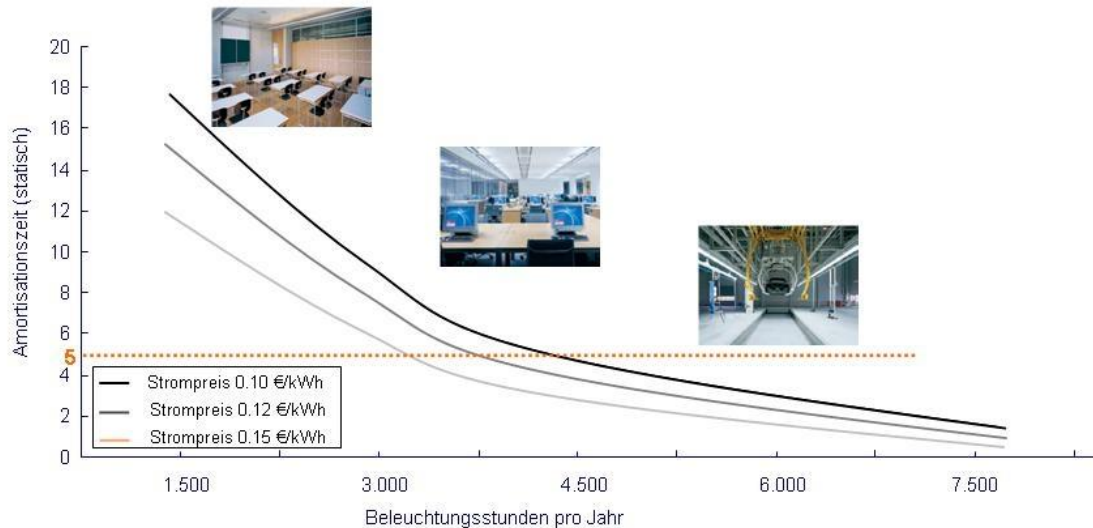


Abbildung 2: Einfluss der Brennstunden auf die Amortisationsdauer. Quelle: OSRAM

3. Energieeffiziente Straßen- und Stadtbeleuchtung

Licht ist Leben! Gutes Licht in der Stadt bedeutet mehr Sicherheit, Wohlbefinden und höhere Lebensqualität. Licht ist unabdingbare Grundlage modernen Lebens. Doch Licht kostet Geld und verursacht bei falscher Anwendung Schäden wie Unfallschäden, Personen- und Sachschäden oder Gesundheitsschäden. In der professionellen Außenbeleuchtung vollzieht sich ein großer Wandel bezüglich der eingesetzten Beleuchtungssysteme. Traditionelle Leuchtensysteme stehen sowohl ökologisch als auch ökonomisch vielerorts auf dem Prüfstand.

Ein Drittel der Stadt- und Straßenbeleuchtung in Deutschland ist älter als 20 Jahre, somit veraltet, ineffizient und umweltschädlich. Mit verfügbarer Technik könnten diese Nachteile verbessert oder komplett behoben werden. Große Mengen an elektrischer Energie sind einsparbar und der CO₂-Ausstoß reduzierbar. Mit der Umsetzung der Richtlinie der Europäischen Union 2009/125/EG (*ErP-/Ökodesignrichtlinie*), hat Deutschland mit dem *Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG)* ein Gesetz geschaffen, das uns zwingt, unsere Städte und Gemeinden in naher Zukunft energieeffizienter und umweltschonender zu beleuchten.

Welche Modernisierungsmöglichkeiten gibt es? Welche sind sinnvoll?

In Abbildung 3 sind sechs Modernisierungsmöglichkeiten gezeigt. Sinnvoll sind die Möglichkeiten 2, 3, 4, 5 und 6, da diese durch langlebige, wartungsarme und umweltfreundliche Technologien ein hohes Energieeinsparpotenzial bieten.

Grundsätze für eine effiziente, umweltfreundliche Straßen- und Stadtbeleuchtung

1. Licht effizient erzeugen

Die Effizienzstufe wählt der Kunde

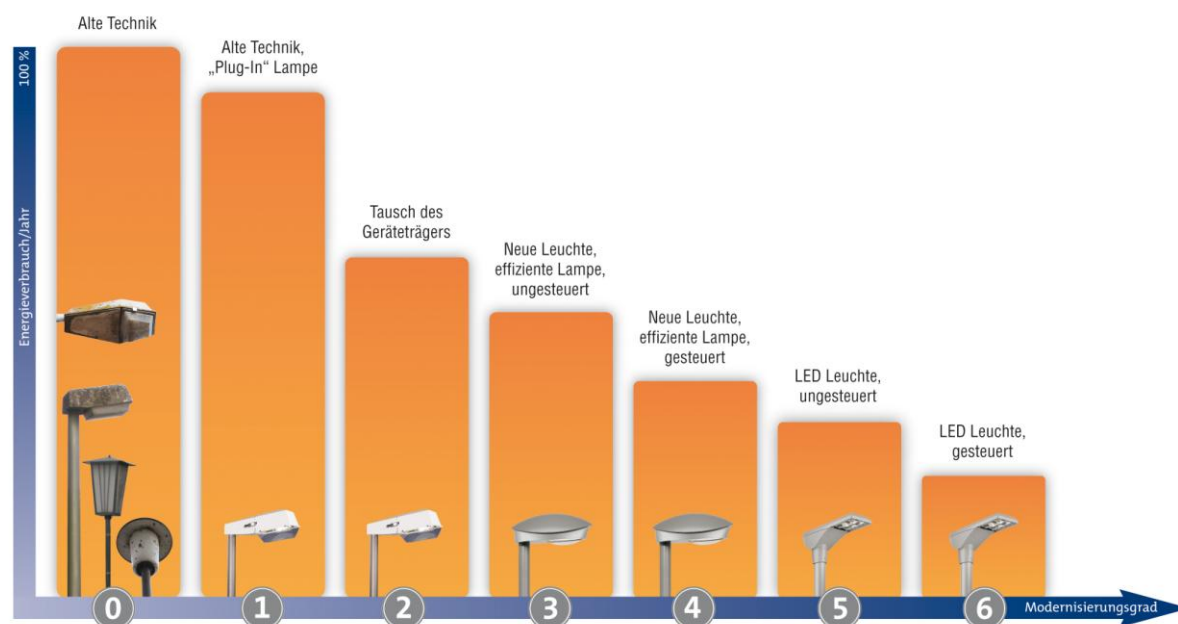


Abbildung 3: Der Weg zu mehr Effizienz in der Straßen- und Stadtbeleuchtung.

Jede der dargestellten Beleuchtungslösungen (Modernisierungsgrad 0 bis 6) erfüllt die gleiche Beleuchtungsaufgabe (Beleuchtungskategorie ME5 gemäß EN 13201, Lichtpunktabstand 33 Meter, Lichtpunkthöhe 6 Meter, Straßenbreite 6,5 Meter, Leuchtenüberhang -1,5 Meter) – dies allerdings mit sehr unterschiedlichem Energieverbrauch, der durch die Höhe des Balkens dargestellt ist.

Quelle: OSRAM

2. Licht dorthin lenken, wo es benötigt wird
3. Streulicht vermeiden
4. nur soviel Licht, wie tatsächlich benötigt wird
5. umweltfreundlich und insektenfreundlich beleuchten.

Bei Berücksichtigung dieser fünf Grundsätze beim Neubau oder bei der Modernisierung von Straßenbeleuchtungsanlagen werden Ressourcen geschont, der CO₂-Ausstoß reduziert, die Umwelt geschützt, die Verkehrssicherheit auf den Straßen erhöht (vgl. Beitrag Pauen-Höppner und Höppner) und die städtischen und gemeindlichen Kassen entlastet.

Straßenbeleuchtung ist ein komplexes Thema. Es erfordert eine gute fachliche Beratung, um die jeweils passende Modernisierungsstufe für eine Stadt oder Gemeinde zu finden. Kurzfristiger Aktionismus bringt nicht den gewünschten Erfolg – *es bedarf kontinuierlicher vorausschauender Planungen und langfristiger Konzepte.*

Literatur

Henzelmann T (2011): Energie- und Ressourceneffizienz im Immobilienmanagement. Roland Berger Strategy Consultants.

Vahlenkamp T (2007): Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland. Studie McKinsey, erstellt im Auftrag von „BDI initiativ – Wirtschaft für Klimaschutz“. Aktualisiert März 2009.

Empfehlung zur Vermeidung von Lichtemissionen – Schweizerische Vollzugshilfe

Laurence von Fellenberg

1. Lichtemissionen als Umweltproblem

Der Schutz der Umwelt erzielte in den letzten Jahren grosse Fortschritte. Während die Luft- und Wasserverschmutzung oder die Vernetzung der Landschaft in der Bevölkerung zu bekannten Begriffen geworden sind, ist mit der Lichtverschmutzung eine neue Form der Umweltverschmutzung aufgetaucht. Im Gegensatz zu Umweltbereichen wie Boden, Wasser und Luft, bei denen die Emissionsquellen der Schadstoffe oft nicht genau bestimmt werden können, ist die Herkunft des Lichts leicht und eindeutig erkennbar. Jede künstliche Lichtquelle ist eine potenzielle Mitverursacherin von unerwünschten Lichtemissionen.

Kunstlicht in Außenräumen ist zu einem unverzichtbaren Bestandteil unserer Kultur geworden. Es vermittelt Sicherheit und Wohlstand. Dank Kunstlicht sind viele Möglichkeiten für die Menschheit entstanden, die früher nicht denkbar gewesen wären. Die zunehmenden Lichtemissionen haben aber auch negative Begleiterscheinungen. Durch nicht bedarfsgerecht eingesetzte Beleuchtungsanlagen wird ein erheblicher Teil des erzeugten Lichts in die natürliche Umwelt abgegeben. Nicht nur die ursprüngliche Natur, auch die Dunkelheit wird dadurch weltweit auf immer kleinere Bereiche zurückgedrängt. Ausgedehnte und natürlich dunkle Gebiete sind vor allem in Europa selten geworden.

Sobald es dunkel wird, beginnen Millionen künstlicher Lichtquellen zu strahlen. Alles wird angeleuchtet, ausgeleuchtet und sichtbar gemacht. Der Weltatlas des künstlich erhellten Nachthimmels zeigt, dass 20 Prozent der Weltbevölkerung, darunter die Hälfte der Einwohner Westeuropas, nicht mehr in der Lage sind, die Milchstrasse mit bloßem Auge zu erkennen. Durch die zunehmende Verlagerung der menschlichen Aktivitäten in Naturräume haben Lichtemissionen markante Auswirkungen auf die Landschaft.

2. Auswirkungen der Lichtemissionen auf die Landschaft

In der Schweiz haben die nach oben gerichteten Lichtemissionen in den letzten zwanzig Jahren um rund 70 Prozent zugenommen. Dadurch nimmt die Nachtdunkelheit ab und große, natürlich dunkle Gebiete werden immer seltener. In der Schweiz trägt der hohe Zersiedelungsgrad und die coupierte Topografie dazu bei, dass Kunstlicht weit in die nächtliche Landschaft hinaus wirkt. In Landschaften und Naturdenkmälern von nationaler Bedeutung (BLN), in Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung sowie in touristisch wertvollen Gebieten wirkt sich die Zunahme der Lichtemissionen besonders negativ aus und beeinträchtigt das Erlebnis der Landschaft (vgl. Abbildung 1).

3. Auswirkungen auf die Artenvielfalt

Dunkelheit ist ein wichtiger Faktor für das Leben. Tier- und Pflanzenarten haben sich im Laufe der Zeit an den natürlichen Rhythmus von Tag und Nacht angepasst und ihr Verhalten auf die natürliche Umgebungsbeleuchtung im 24-Stundenrhythmus (circadianer Rhythmus) eingestellt (siehe Beiträge Bromundt, Knab). Die meisten Tiere und Pflanzen sind zudem in der Lage, ihre innere Uhr auf die unterschiedlichen Tageslängen im Laufe eines Jahres einzustellen. Dank dieser saisonalen Anpassungen können die Tiere beispielsweise ihre Jungen zu Zeiten günstiger Umweltbedingungen aufziehen (Hotz et al. 2011).

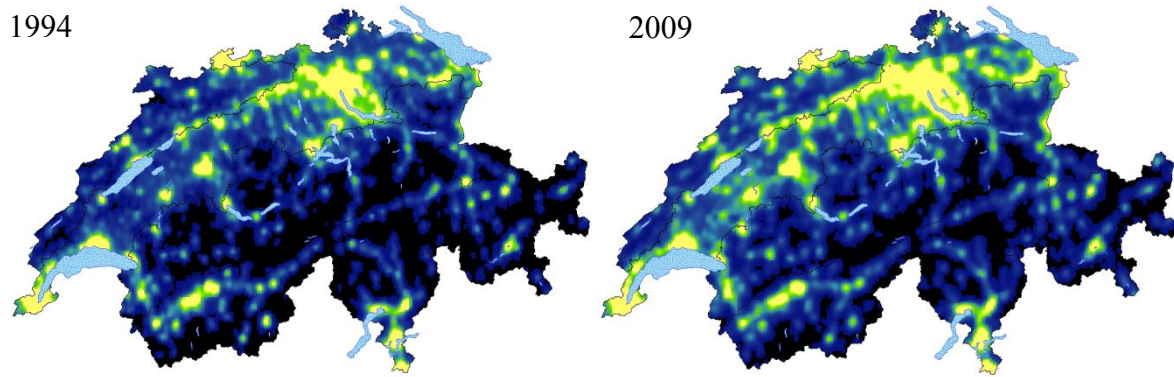


Abbildung 1: Veränderung der Nachtdunkelheit in der Schweiz zwischen 1994 und 2009. In den Ballungsgebieten nehmen die Lichtemissionen deutlich zu, die Dunkelheit in den Randregionen nimmt ab.

Quelle: Landschaftsbeobachtung Schweiz LABES, Auswertungsprotokoll Parameter Lichtemissionen

Veränderungen der natürlichen Lichtverhältnisse durch Kunstlicht wirken sich unterschiedlich auf die Artenvielfalt aus, da sie insbesondere auf nachtaktive und lichtscheue Artengruppen und Tierarten Einfluss haben (vgl. Beiträge Held und Hölker, Hölker zu Ökosystemen). Nachtaktive Insekten beispielsweise werden von künstlichen Lichtquellen angezogen, bleiben an der Lichtquelle gefangen und sterben an Übermüdung oder verbrennen (Eisenbeis und Eick 2011; vgl. auch Beitrag Eisenbeis). Aus allen Tiergruppen können zahlreiche Arten aufgeführt werden, bei welchen der Einfluss des Kunstlichts negative Folgen hat (Bontadina et al. 2011).

4. Folgen der zunehmenden Lichtemissionen

Die zunehmenden Lichtemissionen führen zu einer einschneidenden Veränderung unserer natürlichen Umgebung und haben negative Auswirkungen auf Natur und Umwelt:

- Zerstörung der natürlichen Nachtlandschaft führt zum Verschwinden des sichtbaren Sternenhimmels,
- Einfluss auf zirkadiane und endokrine Systeme bei Mensch und Tier,
- Beeinträchtigung der Lebensräume nachtaktiver Tiere mit teilweise tödlichen Folgen für unzählige Lebewesen,
- Zunahme der Störung von Menschen in besiedelten Gebieten durch Blendungen und Aufhellung,
- Energieverschwendung durch Lichtabfall,
- Abstumpfung und Entfremdung gegenüber den visuellen Werten der natürlich intakten Nachtlandschaft und Gewöhnung an die unkontrollierte Lichtüberflutung.

5. Grundsätze und Empfehlungen

Die Publikation „Empfehlung zur Vermeidung von Lichtemissionen“ (Klaus et al. 2005) verdeutlicht das Ausmaß, die Ursachen und Auswirkungen der Umweltverschmutzung durch unerwünschte Lichtemissionen. Sie gibt Empfehlungen und Denkanstöße, wie diese vermieden werden können, ohne auf Komfort und Sicherheit verzichten zu müssen. Die Empfehlungen richten sich in erster Linie an Besitzer, Betreiber, Planer und Hersteller von Außenbeleuchtungsanlagen, an zuständige Fachstellen für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz sowie an die entsprechenden Bewilligungsbehörden auf kommunaler, kantonaler und eidgenössischer Ebene.

nössischer Ebene. Die Publikation will dazu beitragen, die Bevölkerung für das Problem zu sensibilisieren.

Die Empfehlungen folgen einem einfachen Prinzip: Licht soll nur dorthin, wo es der Mensch auch braucht. Licht in Richtung Himmel oder in ökologisch sensible Lebensräume nützt niemandem. Sie verbraucht unnötig Energie, schadet anderen Lebewesen und entwertet das Landschaftserleben. Unter Berücksichtigung der in den folgenden Punkten beschriebenen Maßnahmen kann ein Beitrag zur Vermeidung von Lichtemissionen geleistet werden:

- *Ist eine Beleuchtung notwendig?*

In vielen Fällen kann die Notwendigkeit einer Außenleuchte hinterfragt werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie zu einer Doppelbeleuchtung führt. Bei baulichen Veränderungen sollten unnötig gewordene Beleuchtungen rückgebaut werden.

- *Technische Maßnahmen*

Leuchtkörper sollten so abgeschirmt werden, dass das Licht nur dorthin gelangt, wo es einem Beleuchtungszweck dient. Wünschenswert sind vor allem Leuchten mit einem begrenzten Abstrahlwinkel. Objekte sollten nur so stark wie wirklich nötig beleuchtet werden. Mit einer gedämpften Beleuchtung kann oft eine bessere Wirkung erzielt werden. Zudem sollten Leuchtkörper verwendet werden, die einen möglichst geringen Anteil an kurzweiligem Licht aussenden.

- *Ausrichtung und Platzierung der Leuchte*

Jede Leuchte sollte grundsätzlich zum Boden hin gerichtet sein. Vor allem Straßenleuchten sollten so platziert werden, dass sie nicht in die Umgebung oder in ökologisch sensible Räume strahlen.

- *Zeitliche Begrenzung*

Beim umweltgerechten Betrieb von Beleuchtungen sind Zeitschaltungen gefragt. Mit ihrer Hilfe kann zu bestimmten Nachtzeiten die Beleuchtungsstärke zumindest gedrosselt werden. In ökologisch sensiblen Gebieten sollte die Beleuchtung nach 22 Uhr vollständig abgeschaltet werden – vorausgesetzt, die Sicherheitsbestimmungen erlauben eine solche Maßnahme.

- *Zusätzliche Maßnahmen*

Es sollten nur Leuchten verwendet werden, die eine Abdichtung gegen das Eindringen von Insekten und Spinnen aufweisen. Falls der Boden stark beleuchtet wird, soll darauf geachtet werden, dass dieser keinen hellen oder gar reflektierenden Farbton hat.

Eine Reduktion der Lichtemissionen hat für die Menschen und die Natur keine Nachteile, dafür aber viele Vorteile:

- *Ökonomischer Gewinn*

Alles in die Atmosphäre und den Weltraum abgestrahlte Licht bleibt ungenutzt. Weniger Lichtemissionen bedeuten deshalb weniger Energieverbrauch und damit geringere Stromkosten.

- *Ökologischer Gewinn*

Eine durchdachte Außenbeleuchtung und damit ein nächtliches Zeitfenster für Ruhe und Regeneration sind für die Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität für Mensch, Flora und Fauna wichtig.

- *Ästhetischer Gewinn*

Weniger Lichtemissionen erlauben uns einen ungetrübten Blick auf die natürliche Nachtlandschaft und den Sternenhimmel.

6. Gesetzliche Grundlagen

In der Schweiz gibt es auf Bundesebene mehrere gesetzliche Grundlagen, welche aufzeigen, dass Beeinträchtigungen durch Licht nach Möglichkeit vermieden werden sollen. Konkrete Vorgaben zur Thematik Licht sind darin aber nicht enthalten.

Das Umweltschutzgesetz (USG) bezweckt, Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu schützen (Art. 1 Abs. 1 USG). Emissionen sind im Rahmen der Vorsorge soweit zu begrenzen, wie dies möglich ist (vorsorgliche Emissionsbegrenzungen).

Übermäßige Lichtimmissionen beeinträchtigen die nächtliche Landschaft und damit das heimatische Landschafts- und Ortsbild. Diesbezügliche Eingriffe sind im Rahmen von Artikel 3 und 6 des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) zu beurteilen. Wo nötig sind Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Dieser Schutz gilt in besonders strenger Weise für Objekte von Bundesinventaren nach den Artikeln 5 und 23 b-d NHG. Auswirkungen von Lichtimmissionen auf die Artenvielfalt sind im Rahmen von Artikel 18, 18a und 18b NHG zu beurteilen. Dem Aussterben einheimischer Tier- und Pflanzenarten ist durch die Erhaltung genügend großer Lebensräume (Biotop) und andere geeignete Maßnahmen entgegenzuwirken (Art. 18 Abs. 1 NHG). Artikel 18a NHG regelt den Schutz der Biotop von nationaler Bedeutung, 18b die Biotop von regionaler Bedeutung sowie die Gebiete für den ökologischen Ausgleich.

Nach Artikel 1 Absatz 1 Buchstabe a des Jagdgesetzes (JSG) sollen die Artenvielfalt und die Lebensräume der einheimischen und ziehenden wildlebenden Säugetiere und Vögel erhalten bleiben. Zur langfristigen Erhaltung der freilebenden Tierwelt müssen Vorkehrungen zum Schutz vor Störungen, wie Emissionen von Beleuchtungsanlagen, in den Lebensräumen von wildlebenden Säugetieren und Vögeln getroffen werden (Art. 7 Abs. 4 JSG).

Das Raumplanungsgesetz (RPG) des Bundes verlangt von Bund, Kantonen und Gemeinden dafür zu sorgen, dass die natürlichen Lebensgrundlagen wie die Landschaft geschützt werden (Art. 1 Abs. 2 Bst. a RPG). Sie beachten dabei die Planungsgrundsätze, worunter auch die Schonung der Landschaft fällt. Beleuchtungseinrichtungen von Großbauten und -anlagen sind baubewilligungspflichtig. Die entsprechenden Maßnahmen zum Schutz vor Lichtimmissionen sind in den jeweiligen Baubewilligungsverfahren zu klären.

Literatur

- Bontadina F, Kistler C, Righetti A (2011): Lichtemissionen und Artenvielfalt (Expertengutachten im Auftrag des BAFU). PiU GmbH – PartnerInnen für Umweltfragen & SWILD – Stadtökologie, Wildtierforschung, Kommunikation. Liebefeld & Zürich.
- Eisenbeis G, Eick K (2011): Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Strassenbeleuchtung unter Einbezug von LEDs. Natur und Landschaft. Zeitschrift für Naturschutz und Landschaftspflege 86(7): 298-301.
- Griefahn H et al. (2010): Chronobiologische und gesundheitsrelevante Wirkungen des Lichts auf den Menschen. In: LichtRegion – Positionen und Perspektiven im Ruhrgebiet. Essen: Klartext Verlag.
- Hotz T, Kistler C, Bontadina F (2011): Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung, Grundlagenbericht. Zweite aktualisierte Zusammenstellung. SWILD – Stadtökologie, Wildtierforschung, Kommunikation. Zürich.
- Klaus G, Kägi B, Kobler RL, Maus K, Righetti A (2005): Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern 2005. (Bezug: www.bafu.admin.ch/vu-8010-d).

Aktiver Nachtschutz in Slowenien – Verordnung zur Vermeidung von Lichtverschmutzung

Andrej Mohar

1. Der lange Weg der Gesetzgebung

Die ersten Aktionen zum Schutz des Nachthimmels in Slowenien reichen in das Jahr 1988 zurück, als der Amateur-Astronom Herman Mikuž versuchte, sein Observatorium vor Lichtverschmutzung zu schützen. Mit der slowenischen Unabhängigkeit nach dem Jahr 1991 gab es einen rasanten Anstieg von Neuinstallationen in der öffentlichen Beleuchtung. Im Jahr 1995 schlossen sich die Astronomen Zwitter und Mikuž zusammen, und so begann der systematische Kampf für den Schutz des Nachthimmels über Slowenien. Die Beleuchtungsindustrie bremste mit zahllosen Ausreden die Bemühungen zur Verringerung der Lichtverschmutzung. Auf der deklarativen Ebene bemühten sich die Beleuchter zwar, die Lichtverschmutzung zu verringern, aber gleichzeitig stellten sie systematisch nicht abgeblendete Beleuchtungen auf. Dadurch wurden die Lichtemissionen deutlich erhöht.

Im Jahr 2006 hat die *Creative Astronomical Association* in Ljubljana ihr Team der Umweltschützer verstärkt und dem Ministerium für Umwelt einen ganz neuen Ansatz der Gesetzgebung vorgeschlagen, der auf einer *Verringerung des Stromverbrauchs* basierte, und zwar bezogen sowohl auf den Pro-Kopf-Verbrauch als auch auf den Quadratmeter-Stromverbrauch bei gewerblichen Objekten. Die Verhandlungen dauerten mehr als ein Jahr, mit nahezu wöchentlicher Präsenz in den Medien. Das Grundproblem war klar: *Das Leuchten in den Himmel ist sinnlos, weil wir das Licht auf den Straßen brauchen*. Die Rationalität der Außenbeleuchtung in Deutschland war eine große Hilfe. Der slowenische Stromverbrauch lag mit etwa 83 Kilowattstunden pro Bewohner und Jahr deutlich höher als der Stromverbrauch in Deutschland mit rund 45 Kilowattstunden pro Bewohner und Jahr.

Nach sehr spannenden Verhandlungen hat die Regierung der Republik Slowenien am 31. August 2007 die *Verordnung über die Grenzwerte der Lichtverschmutzung der Umwelt* (im Weiteren „Verordnung“) verabschiedet. Sie war zwar ein Kompromiss, aber dennoch ein großer Schritt nach vorn zum Schutz der Nacht. Um die Verfassung der Verordnung hat sich der damalige Umweltminister Dr. Janez Podobnik sehr verdient gemacht – ein Arzt, der die Bedeutung von Melatonin sowie die Bedeutung des Schlafens in dunklen Räumen ohne die lästige Straßenbeleuchtung verstanden hat (vgl. Beiträge Bromundt, Knab). Viele weitere Politiker haben mitgeholfen und unsere Forderungen nach Rationalität unterstützt.

2. Die wesentlichen Bestimmungen der slowenischen Gesetzgebung

Die Verordnung ist in einzelne Verschmutzungsquellen unterteilt. Die Hauptbestimmungen der Verordnung sind dem italienischen Lombardischen Gesetz gegen Lichtverschmutzung sehr ähnlich, dem weltweit bislang besten Gesetz. In Slowenien sind ausschließlich Leuchten mit null Prozent des Lichtstroms im oberen Halbraum (*Upper Light Output Ratio*, ULOR = 0 Prozent) erlaubt, mit einigen wenigen Ausnahmen.

Die Gemeinden dürfen für Beleuchtung maximal 44,5 Kilowattstunden pro Bewohner und Jahr verbrauchen. Zusammen mit der Beleuchtung von Autobahnen und Bundesstraßen darf der Verbrauch 50 Kilowattstunden pro Bewohner und Jahr nicht überschreiten.

Diese Bestimmung ist bemerkenswert, da die Gemeinden gezwungen sind, über einen sinnvollen Einsatz der Beleuchtung nachzudenken, darüber, auf welchen Straßen die Beleuchtung



Abbildung 1: Straße in Vižmarje, Ljubljana. die Aufnahme stammt aus dem Jahr 2012 nach der Erneuerung der Straßenbeleuchtung, bei der entsprechend der neuen Verordnung die Hälfte der Leuchtmasten ersetzt und nur flache Abstrahler nach unten verwendet wurden.

Foto: Andrej Mohar

verringert werden kann, über eine Reduktion in der Nacht und über den Gebrauch von effizienteren Leuchten. Die gesamte Beleuchtung in den Gemeinden Sloweniens muss bis 2017 angepasst sein.

Die Fassaden von *Geschäftsgebäuden, Instituten und Produktionsgebäuden* dürfen maximal eine Helligkeit von einem Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) aufweisen, und die Leuchten dürfen keinerlei Abstrahlung in den oberen Halbraum aufweisen ($\text{ULOR} = 0$).

Die Beschränkung des Stromverbrauchs auf *Parkplätzen* ist sehr streng. In der Nacht, außerhalb der Arbeitszeit, darf die Stärke der Leuchten maximal $0,015$ Watt pro Quadratmeter (W/m^2) betragen. *Flughäfen, Häfen und Eisenbahnen* müssen mit Leuchten mit null Prozent ULOR beleuchtet werden. Die Beleuchtungsstärke darf maximal zehn Prozent der Beleuchtungsstärke des Arbeitsplatzes im Freien überschreiten.

Die Fassaden von *Baudenkmälern* dürfen maximal eine Helligkeit von $1 \text{ cd}/\text{m}^2$ aufweisen. Diese Objekte sind die einzige Ausnahme in der Verordnung. Sie dürfen von unten nach oben beleuchtet werden. Ungeachtet dessen müssen die Leuchten so abgeblendet sein, dass weniger als zehn Prozent des ausgestrahlten Lichts an der Fassade vorbei in den Himmel strahlt.

Zudem darf der letzte Meter der Fassade unter dem Dach nicht beleuchtet werden. Diese Bestimmung führte bei Architekten zu Unmut – wenngleich sie durchaus sinnvoll ist. Denn auf dem letzten Meter unter dem Dach sind an zahlreichen Fassaden in ganz Europa massenhaft Reste von Spinnennetzen zu sehen, die die Fassade optisch verunstalten. Viele Beispiele zeigen, dass derartige, durch Aktivitäten von Spinnen verursachte schwarze Flecken nur auf beleuchteten Dachgesimsen vorkommen.



Abbildung 2: Einkaufszentrum in Rosenheim. Eine derartige Beleuchtung mit Lampen, die sekundäre Reflektoren aufweisen, ist in Slowenien nicht erlaubt, da es damit nicht möglich ist, Null-Lichtemissionen über dem Horizont zu erzielen.

Foto: Andrej Mohar

Der Schaden, der jedes Jahr in der EU durch Spinnennetze entsteht, liegt vermutlich in der Größenordnung von mehreren hundert Millionen Euro jährlich (eigene Abschätzungen, Zahl betroffener Fassaden, durchschnittliche Reinigungskosten/pro Jahr).

Skybeamer sind verboten. Ebenso sind *Bodenleuchten* verboten. *Veranstaltungen* sind eine Ausnahme. Hier ist das Leuchten in den Himmel erlaubt, jedoch nicht mit Skybeamern. *Retungsaktionen* sind selbstverständlich ebenfalls eine Ausnahme.

Für *Sportobjekte* wurde in der ursprünglichen Verordnung aus dem Jahr 2007 null Prozent Strahlung in den Himmel gefordert. Für kleinere Stadien sind asymmetrische Reflektoren die Lösung. Die Beleuchtung von größeren Fußballstadien ist nur mit asymmetrischen Reflektoren möglich. Weil es auf dem Markt keine entsprechenden Lampenschirme gab, hat der Verein *Dark-Sky Slovenia* zusammen mit dem Unternehmen Siteco (jetzt Osram) Lampenschirme entwickelt, die eine Strahlung von null Prozent ULOR ermöglichen (vgl. Beiträge Lang zu Außenbereich, Prietze und Schneider). Im Jahr 2010 wurde die Verordnung allerdings unter Verweis auf die *Commission Regulation (EC) No. 245/2009* geändert. Für Fußballstadien ist seither eine Strahlung in den Himmel von fünf Prozent ULOR zugelassen.

Werbeobjekte müssen von innen beleuchtet werden. Eine Ausnahme gilt für Schautafeln, die größer als 20 Quadratmeter sind. Sie dürfen nur mit einer Strahlung in den Himmel von null Prozent ULOR nach oben abstrahlen. Die Leistungsstärke der Lampen ist in Watt pro Quadratmeter vorgegeben. Zudem müssen Schautafeln bei einer Fläche von über 20 Quadratmetern nach 24 Uhr ausgeschaltet werden.

Geschützte Räume sind beispielsweise Schlafzimmer. Die Verordnung beschränkt die maximale Beleuchtungsstärke der Fenster, die von der Entfernung von der öffentlichen Beleuchtung abhängt. Bei einer Entfernung von zehn bis 20 Metern dürfen am Fenster maximal zwei Lux herrschen, bei einer Entfernung von über 20 Metern nur 0,2 Lux. Praktische Erfahrungen zeigen, dass bei 99 Prozent der Bewohner, die sich bezüglich des einfallenden Lichts in ihr Schlafzimmer beschwert haben, Beleuchtungsstärken von weniger als einem Lux herrschen. Im Hinblick auf die neuesten Studien zum Einfluss von Licht auf die Bildung von Melatonin sollte man den Bürgern der EU Beleuchtungsstärken unter 0,2 Lux garantieren.

3. Fazit

Fünf Jahre nach der Verabschiedung der Verordnung sehen wir in der nächtlichen Außenbeleuchtung in Slowenien große Veränderungen. Die neu installierten, abgeschirmten Leuchten blenden nicht so stark, deshalb ist das Fahren in der Nacht sicherer und angenehmer. Die Lichtverschmutzung nimmt ab und die Lichtglocken über den Städten sind niedriger. Wir haben ein Instrument, um das Leuchten in die Schlafzimmer zu bannen und die Bürger sind darüber glücklich. Die einzige Gefahr für unser Gesetz sind neue weiße LED-Leuchten. Eine derartige Leuchte verursacht dreimal so viel Lichtverschmutzung wie drei Hochdruck-Natrium-Lampen.

Niemand erwartete eine derartige Entwicklung im Jahr 2007, als die Verordnung verabschiedet wurde. Die slowenische Verordnung ist die derzeit weltweit fortschrittlichste gesetzliche Regelung. Mit einem ergänzenden Verbot von weißem Licht könnte es ein ideales Modell für andere Staaten werden.

Literatur

Pogačnik E, Mohar A (2009): Varovanje pred svetlobnim onesnaženjem v Sloveniji. Slovenija in vesolje, Fakultät für Mathematik und Physik.

Links

Dark-Sky Slovenia: www.temnonebo.si

Initiative for an International Association of Dark-Sky Parks: www.darkskyparks.org

LIFE+ des Projekts „Življenje ponoči“ (Life at night): www.lifeatnight.si

Osvetljevanje objektov za oglaševanje:

http://www.temnonebo.si/images/pdf/brosura%20osvatljevanje%20objektov%20za%20oglasovanje_splet.pdf

Svetlobno onesnaženje in učinkovita zunanja razsvetljava. Dark-Sky Slovenia, 2010

http://www.temnonebo.si/images/pdf/brouura_svetlobno%20onesnaenje.pdf

Sammelband „Svetlobno onesnaženje“, Nationalrat der RS (2001):

http://www.temnonebo.si/images/pdf/svetlobno_onesnazenje_zbornik.pdf

Nachtschutz in Slowenien: Umsetzung der gesetzlichen Grundlagen – Erfahrungen und Perspektiven

Andrej Mohar

1. Die Verordnung – Umsetzung und Erfahrungen

Die *Verordnung über die Grenzwerte der Lichtverschmutzung der Umwelt* in Slowenien im Jahr 2007 (vgl. vorangehender Beitrag Mohar zur Verordnung) war zunächst ein Schock für die Beleuchtungsindustrie. Dennoch hat sich diese innerhalb von wenigen Monaten an die neuen Vorgaben angepasst: umweltschädliche Leuchten wurden zügig durch völlig abgeblendete Leuchten ersetzt. Die Verordnung fordert, dass die gesamte öffentliche Beleuchtung in Slowenien innerhalb von zehn Jahren angepasst wird, was der Beleuchtungsindustrie viele neue Aufträge einbrachte – ein Grund, weshalb sie auch zum größten moralischen Förderer des Vereins *Dark-Sky Slovenia* wurde.

Dennoch gab es immer wieder Versuche, Druck auf Politiker auszuüben und in den Medien die neue Verordnung in ein schlechtes Licht zu stellen. Der slowenische Vertreter der *International Commission on Illumination* (CIE), Marko Bizjak, äußerte sich wie folgt: „Die einzige gute Seite der Verordnung ist, dass die gesamte Beleuchtung in Slowenien ausgetauscht werden muss.“ Diese Aussage zeigt, dass die Beleuchtungsindustrie vor allem an ihrem Umsatz interessiert ist. Es gab auch eine Diskussion darüber, in der die Ansicht vertreten wurde, dass sich mit der Umsetzung der Verordnung die Anzahl der Unfälle vergrößern würde und deshalb die Lichtpunktabstände aus Sicherheitsgründen verringert werden müssten. Dies würde wiederum den Stromverbrauch um mehr als 20 Prozent erhöhen.

Sorge um Verkehrssicherheit unbegründet

Diese Einschätzung hat sich in der Realität nicht bewahrheitet. Im Jahr 2006 – also kurz vor der Verabschiedung der Verordnung – betrug die Anzahl der Verkehrstoten in Slowenien 146 pro eine Million Einwohner. Das ist pro Kopf der Bevölkerung deutlich mehr als in Deutschland, wo es im Jahr 2006 59 Verkehrstote pro eine Million Einwohner gab (Angaben für Deutschland www.destatis.de/). Im Jahr 2010 ist die Anzahl der Verkehrstoten in Slowenien auf 68 pro eine Million Einwohner gesunken, und im Jahr 2012 wird sie voraussichtlich sogar niedriger als in Deutschland sein.

Es ist jedoch zu betonen, dass die Hälfte der Toten bei Verkehrsunfällen im Jahr 2012 (nach vorläufigen Zahlen bis zum 3. Quartal) nicht mit einem Sicherheitsgurt angeschnallt war. Da sich die Beleuchtung in diesen Jahren nicht wesentlich verändert hat, jedoch die Verkehrssicherheit sehr stark verbessert wurde, können wir feststellen, dass die Beleuchtung wohl eine untergeordnete Rolle bei der Verbesserung der Verkehrssicherheit gespielt hat. Slowenien hat nach dem Inkrafttreten der Beleuchtungsverordnung die Strafen für Verkehrsdelikte drastisch erhöht und die Kontrolle auf den Straßen verschärft. Zudem hat die Abschaffung der Autobahngebühr den Verkehr von lokalen Straßen auf die deutlich sichereren Autobahnen umgeleitet. Die Rezession hat den Verkehr noch zusätzlich verringert. Noch immer stellen unvorsichtige Motorradfahrer und eine verhältnismäßig große Anzahl an Fahrern unter Alkoholeinfluss ein großes Problem dar. Aus all dem lässt sich ableiten, dass sowohl in Deutschland als auch in Slowenien die Beleuchtung bezogen auf die Verbesserung der Verkehrssicherheit nur eine unbedeutende Rolle spielt.

Ein weiteres Beispiel: Die österreichische Stadt Graz verbraucht für die öffentliche Straßenbeleuchtung 25 Kilowattstunden Strom pro Einwohner und Jahr. Die slowenische Stadt Maribor hat dagegen einen Stromverbrauch von mehr als 100 Kilowattstunden pro Einwohner und

Jahr. Trotz des vierfach höheren Stromverbrauchs weist Maribor noch immer mehr Verkehrsunfälle als Graz auf. Durch eine umfangreichere Beleuchtung fühlen sich die Fahrer unter Umständen sicherer und fahren schneller. Eine schnelle Fahrt ist jedoch nie eine sichere Fahrt – besonders nachts.

Verringerung des Stromverbrauchs

Auf der ganzen Welt hören wir dieselben Argumente, dass eine umweltfreundliche Beleuchtung mit null Prozent Abstrahlung in den Nachthimmel den Stromverbrauch um rund 20 Prozent erhöhen würde. Dies wird damit begründet, dass dafür Leuchten mit flachem, nicht gebogenem Glas einzusetzen sind, die wiederum geringere Lichtpunktabstände erforderlich machen würde, um eine ausreichende und sichere Beleuchtung zu gewährleisten. Dazu wird vielfach eine italienische Studie als Beleg angeführt (Soardo et al. 2008).

Die praktischen Resultate von mehreren italienischen Gemeinden zeigen aber, dass sich der Stromverbrauch nach der Einführung dieser Art Leuchten mit flachem Glas, mit null Prozent Strahlung in den Nachthimmel, um rund 40 Prozent verringert hat (Angaben einer italienischen NGO zum Schutz der Nacht: www.cielobuio.org). Die Resultate zahlreicher Gemeinden in Slowenien sind ähnlich. Mit der Einführung von Leuchten mit flachem Glas hat sich der Stromverbrauch in der Praxis in der Größenordnung von etwa 40 bis 60 Prozent verringert. Die Verringerung ist nicht die Folge der Verwendung von effizienteren Leuchten. In den meisten Fällen haben die slowenischen Gemeinden schon früher wirksame Natriumhochdrucklampen verwendet. Ein Großteil der Energieeinsparungen wird dadurch erreicht, dass die neuen Leuchten mit geringerer Leistungsstärke zum Einsatz kommen, da zuvor die Leuchten vielfach überdimensioniert waren. Einen beträchtlichen Teil zur Energieeinsparung steuert außerdem die verbesserte Optik der neuen Leuchten zu den Ersparnissen bei (vgl. Beiträge Lang zu Außenbereich, Prietze und Schneider).

Hellere Straßen und gleichzeitig weniger Lichtverschmutzung

Die slowenischen Straßen sind nach Umsetzung der Verordnung heller, weil mehr Licht auf die Flächen gerichtet ist, auf denen das Licht tatsächlich benötigt wird. Die Reflexion des Lichts von der Straße in den Himmel ist nun zwar größer, jedoch ist das im Vergleich zum direkten Licht, das die früheren, teilweise abgeblendeten Leuchten unter niedrigeren Winkeln dicht über der Waagerechten ausstrahlten, vernachlässigbar. Die Lichtverschmutzung wurde insgesamt verringert.

Soardo et al. (2008) hatten aufgrund ihrer Annahme, dass sich der Stromverbrauch erhöhen wird, behauptet, dass die Leuchten mit flachem Glas die Lichtverschmutzung im Vergleich zu teilweise abgeblendeten Leuchten erhöhen würden. Aufgrund von Messungen der Helligkeit des Himmels am astronomischen Observatorium Zaplana ergab sich gegenteilige Evidenz: Als in Ljubljana rund 40 Prozent der Leuchten mit flachem Glas ausgetauscht wurden, konnte am Observatorium Zaplana, 22 Kilometer vom Zentrum von Ljubljana entfernt gelegen, eine Verringerung der Lichtverschmutzung um etwa 20 Prozent festgestellt (eigene regelmäßige Messungen am Observatorium mit Sky Quality Meter; unveröffentlicht). In nur drei Jahren konnten wir auf Zaplana mit bloßem Auge wahrnehmen, dass sich die Größe der Lichtkuppel in der Region deutlich verringert hat. All das deutet darauf hin, dass die Beleuchtungsverordnung effektiv wirksam ist und sich die Lichtverschmutzung tatsächlich verringert.

2. Lücke in der Verordnung: weiße LED-Leuchten

Zusätzlich zu allen positiven Auswirkungen der Verordnung hat die Blendwirkung auf den Straßen Sloweniens deutlich abgenommen, vor allem in Ljubljana, wo bereits mehr als 50 Prozent der Leuchten ausgetauscht wurden. Die nächtliche Fahrt – besonders nach 24 Uhr,



Abbildung 1: Ljubljana, Tivolska cesta während der Sanierung. Alte Lampen auf der linken Seite blenden recht stark; die neuen abgeblendeten Lampen blenden weniger, verursachen weniger Lichtverschmutzung und verbrauchen 40 Prozent weniger elektrische Energie.

Foto: Andrej Mohar

wenn die Leuchtkraft reduziert wird – ist wesentlich angenehmer, da es deutlich weniger Blendung gibt als früher.

Die Verordnung hat aber auch einige Nachteile, die nicht vorhersehbar waren. Einer der Nachteile sind weniger strenge Bestimmungen im Hinblick auf eine mögliche Strahlung der Außenbeleuchtung ins Schlafzimmer. Die italienischen Gesetze weisen diesbezüglich eine Beschränkung auf, die besagt, dass das Verhältnis zwischen den Abständen der Leuchtpunkte und der Höhe der Masten mindestens 3,75 : 1 betragen muss. Damit verhindert man den absichtlichen Verkauf von überflüssigen Leuchten. Außerdem fehlt die Bestimmung, dass die Beleuchtung des einzelnen Abschnittes nicht höher als das Minimum der Richtlinie EN 13201 sein darf.

Der größte Mangel der slowenischen Verordnung ist das fehlende Verbot der Verwendung von weißem Licht. Im Jahr 2007 hat niemand die Entwicklungsexplosion der weißen LED-Beleuchtung vorhergesehen, die für die Umwelt und den Menschen schädlich sein kann.

Unter dem Druck von slowenischen Beleuchtungsexperten hat das Ministerium die Verwendung von Leuchten mit einem betonten gelben Bereich des Lichtspektrums verordnet. Die weiße Farbe ist nachts bei Beleuchtungen von unter einem Lux sehr wirksam, weshalb in der slowenischen Verordnung keine Beschränkung bezüglich weißen Lichts vorhanden ist. Was geschieht aber jetzt? Das Unternehmen Lidl hat kürzlich die weißen und teuersten LED-Leuchten auf ihren Parkplätzen installiert, wo die Beleuchtungsstärke in einigen Bereichen den Wert von 100 Lux übersteigt. Auf Autobahnraststätten, deren Hauptzweck die Übernachtung von LKW-Fahrern ist, werden massenhaft LED-Beleuchtungen mit einer maximalen Beleuchtungsstärke von 80 Lux installiert. Dies ist eine Katastrophe für die Umwelt und die

Fahrer, weil solche LED-Leuchten, trotz der Lichtblenden in den Kabinen, die Bildung von Melatonin im Schlaf wirksam unterbrechen. Bei weißen LED-Leuchten liegt die größte Ausstrahlung im blauen Bereich des Lichtspektrums bei 460 Nanometern, genau dort, wo die Empfindlichkeit der Augen auf eine Unterbrechung der Melatonin-Bildung am größten ist.

3. Aussichten für den Nachthimmel

Obwohl Slowenien als einziger Staat der Welt eine wirksame Gesetzgebung gegen Lichtverschmutzung hat – und das bereits seit fünf Jahren –, sind wir dennoch keine Optimisten. Abgesehen von wenigen Gebieten (Flagstaff, La Palma, Chile, 60 Prozent von Italien) gibt es nirgendwo auf der Welt eine ernstzunehmende Gesetzgebung, die den Nachthimmel schützt. In der EU wäre es notwendig, dass mindestens zwei bedeutende Länder, wie beispielsweise Deutschland oder Frankreich, ein Gesetz zum Schutz des Nachthimmels einführen würden.

Literatur

Pogačnik E, Mohar A (2009): Varovanje pred svetlobnim onesnaženjem v Sloveniji. Slovenija in vesolje, Fakultät für Mathematik und Physik.

Soardo P, Iacomussi P, Rossi G, Fellin L. (2008): Compatibility of road lighting with star visibility. Lighting Research & Technology 40(4): 307-322.

Links

Dark-Sky Slovenia: www.temnonebo.si

Initiative for an International Association of Dark-Sky Parks: www.darksleeparks.org

LIFE+ des Projekts „Življenje ponoči“ (Life at night): www.lifeatnight.si

Osvetljevanje objektov za oglaševanje:

http://www.temnonebo.si/images/pdf/brosura%20osvatljevanje%20objektov%20za%20oglasovanje_splet.pdf

Svetlobno onesnaženje in učinkovita zunanja razsvetljava. Dark-Sky Slovenia, 2010

http://www.temnonebo.si/images/pdf/broua_svetlobno%20onesnaenje.pdf

Sammelband „Svetlobno onesnaženje“, Nationalrat der RS (2001):

http://www.temnonebo.si/images/pdf/svetlobno_onesnazenje_zbornik.pdf

Vermeidung von Lichtverschmutzung – Schutz der Nacht: Handlungsmöglichkeiten der Raum- und Umweltplanung

Sabine Hofmeister

1. Einleitung

Das natürliche Licht hat für alle Lebewesen eine zentrale Bedeutung: Licht ist Zeitgeber für die „biologische Uhr“. Licht synchronisiert Tiere und Pflanzen in ihren Beziehungen zueinander, in ihren Entwicklungszeiten, und schließlich werden auch wir Menschen durch Licht synchronisiert – in den Funktionen unseres Organismus wie auch mit der natürlichen und sozialen Umwelt (vgl. Beiträge Bromundt, Knab, Held und Hölker).

Künstliches Licht ermöglicht uns einerseits die sozialen Synchronisationsleistungen auszuweiten: Mit Hilfe künstlicher Lichtquellen gelingt es, gegen den Hell-Dunkel-Rhythmus, gegen die Nacht „anzuleben“ – zumindest zeitweise. Andererseits leben wir, indem wir uns von den exogenen Rhythmen zu entkoppeln suchen, zugleich auch gegen die eigenen, endogenen Rhythmen an. Und wir greifen ein in die rhythmische Organisation anderer Lebewesen wie etwa Vögel, Insekten oder Pflanzen (vgl. Beiträge Eisenbeis, Helm und Partecke, Haupt).

Wir tun also gut daran, den Gebrauch von künstlichem Licht besser zu steuern, Lichtimmissionen wo möglich zu vermeiden oder wenigstens zu reduzieren. Wie aber lässt sich der Umgang mit künstlichem Licht steuern, damit azyklische Unterbrechungen der Hell-Dunkelphasen begrenzt werden und die endogenen Rhythmen von Organismen – zur Erhaltung und Erneuerung ihrer Funktionen im Gesamtgefüge des Naturhaushaltes sowie für die Orientierung in und die Wahrnehmung von landschaftlicher Eigenart und Schönheit – weitgehend ungestört bleiben?

2. Steuerung von Lichtimmissionen durch die Raum- und Umweltplanung

Diverse Steuerungsinstrumente für den Umgang mit Licht finden sich in der Raum- und Umweltplanung einschließlich der Naturschutzplanung. Diese sind vielfach beschrieben worden, so dass an dieser Stelle eine knappe Zusammenfassung genügt (ausführlich Maaß 2001).

Immissionsschutzrechtliche Regulierungsmöglichkeiten

Lichtimmissionen gehören dann zu „schädlichen Umwelteinwirkungen“, wenn sie Gefahren, erhebliche Nachteile oder Belästigungen für die Allgemeinheit verursachen. Was unter „schädliche Umwelteinwirkungen“ fällt, was also einen „erheblichen Nachteil“ oder gar eine „Belästigung“ darstellt, wird im Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. Mai 2000: „Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen“ konkretisiert (LAI 2000). Doch gibt es in Deutschland bislang noch keine verbindliche Regulierung für Lichtimmissionen in Form technischer Regelwerke (Maaß 2003: 15), entsprechend etwa der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) oder der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm). Derzeit werden die „Hinweise“ durch die Bund/ Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz überarbeitet (Entwurf Stand 27.02.2012, LAI 2012). Substanzielle Verbesserungen zum Schutz der Nacht gegenüber der Fassung von 2000 sind dabei bisher nicht absehbar.

Das Immissionsschutzrecht unterscheidet zwischen *genehmigungsbedürftigen* und *nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen*: Für die hier interessierende Frage sind die Bestimmungen zu den nicht genehmigungspflichtigen Anlagen von größerem Interesse, weil erstere zwar einem formellen Genehmigungsverfahren unterliegen, so dass Maßnahmen zur Prävention von Schäden angeordnet werden können. Aber tatsächlich sind die Lichtquellen meist nicht

Teil der Hauptanlage, also nicht direkt Steuerungszweck. Zudem fehlt ein rechtsverbindliches Regelwerk, das der Anordnung von Vorsorgemaßnahmen zugrunde gelegt werden könnte.

Für die nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen gilt das Vermeidungs- und Minderungsgebot nach dem Stand der Technik, wobei jede Lichtquelle als eigenständige nicht genehmigungsbedürftige Anlage gelten kann (Maaß 2003). Dabei ist die Anwendung des Immissionsschutzrechts nur für gewerbliche Anlagen möglich. Alle nicht gewerblichen Anlagen – das sind neben privaten auch solche von Hoheitsträgern oder eingetragenen Vereinen wie Straßenbeleuchtungen oder Flutlichtanlagen auf Sportplätzen – fallen nicht in den Anwendungsbereich des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Diesen zu erweitern, läge in der Befugnis der Länder (Maaß 2003: 19).

Für gewerbliche Anlagen gilt jedoch das Vermeidungsgebot. Das heißt, Anordnungen zur Lampen- und Leuchtenwahl sowie zu den Betriebszeiten sind (auch nachträglich) möglich, es gilt das Minimierungs- bzw. Mindestmaßgebot. Streng genommen würde das bedeuten, dass der größte Teil (gewerblicher) künstlicher Lichtquellen als unzulässig unterbunden und | oder minimiert werden könnte. Denn (fast) jede Lichtquelle stellt eine Todesgefahr für bestimmte Insekten dar, die es gegen die Interessen der Allgemeinheit abzuwägen gilt (Maaß 2003: 20).

Regulierungsmöglichkeiten im Rahmen des Baurechts und insbesondere der Bauleitplanung

Im *Bauordnungsrecht* ist die baurechtliche Genehmigungspflicht von Lichanlagen geregelt. Die materiellen baulichen Anforderungen sowie die Frage, ob und inwieweit von Lichanlagen eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes ausgeht („Verunstaltungsgebot“), werden in den Landesbauverordnungen konkretisiert (ausführlich Böttcher 2001: 131 f., Maaß 2001: 156: ff., Maaß 2003: 26 ff.). Die *Bauleitplanung* verfügt über Möglichkeiten, Lichtquellen eigenständig zu behandeln oder als Teil eines (Bau-)Vorhabens und damit den – nach Bereichen und Vorhabenprivilegien differenzierten – Anforderungen zu überantworten: Während für den unbepflanzten Innenbereich das Rücksichtnahmegebot Anwendung findet – es gilt das Merkmal des „Einfügens“ in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit, der Schutzwürdigkeit und -bedürftigkeit der Akzeptoren in der Umgebung (Maaß 2003: 27; zur Differenzierung LAI 2012) – sind die bauplanungsrechtlichen Möglichkeiten im Außenbereich für die hier angelegte Fragestellung besonders relevant, da von einer besonderen Relevanz aufgrund von größerer ökologischer Sensibilität der Umgebung ausgegangen werden kann.

Bei Auslegung des *Rücksichtnahmegebotes* wird unterschieden zwischen privilegierten Vorhaben – in diesem Fall können nur entgegenstehende Belange das Vorhaben verhindern – und nicht-privilegierten Vorhaben, die bereits aufgrund von zu erwartenden Beeinträchtigungen unzulässig werden können. In der Regel sind es die privilegierten Vorhaben, von denen Umweltbeeinträchtigungen, etwa durch Lichtimmissionen, ausgehen können. Diese unterliegen allerdings auch besonders strengen baugenehmigungsrechtlichen Anforderungen („Stand der Technik“) (Maaß 2003: 27).

Zusammenfassend lässt sich für diesen Regulierungsbereich sagen: Die Bauleitplanung bietet in besonderer Weise Möglichkeiten, Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft durch Lichtimmissionen ex ante zu vermeiden und/oder zu reduzieren. Der hier zugrunde liegende Ansatz setzt an der räumlichen Ordnung der verschiedenen Nutzungen an (Maaß 2003). Böttcher (2001) macht zudem auf die Bedeutung der Bauleitplanung im Zusammenhang mit der Umsetzung der Eingriffsregelung (Vermeidungs-, Ausgleichsgebot) aufmerksam.

Naturschutzrechtliche Regulierungsmöglichkeiten

Im Zusammenhang mit der Steuerung von Lichtimmissionen im Bereich des Naturschutzes kommt der *Eingriffsregelung* eine besondere Bedeutung zu – vorausgesetzt es liegt eine qualifizierte Eingriffshandlung vor (ausführlich Böttcher 2001: 128 ff., Maaß 2001: 150 ff., Maaß 2003: 22 ff.). Dafür müssen Erheblichkeit und Nachhaltigkeit einer Beeinträchtigung nach-

gewiesen werden. Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung bezieht nicht nur Aspekte der Beeinträchtigung der Funktionen des Naturhaushalts ein, sondern ebenso Veränderungen des Landschaftsbildes (Böttcher 2001: 133). Der Gebietscharakter einer Landschaft wird nicht nur durch räumliche Landschaftselemente geprägt, sondern ebenso durch die jahres- und tageszeitlich wechselnden Lichtverhältnisse. Auch der Hell-Dunkel-Wechsel und die Farbwahrnehmung in der Dämmerung prägen die Landschaften in ihren Eigenarten und lassen sie einzigartig werden (Böttcher 2001: 133, 136 f., Maaß 2003: 23 f., Wöbse 2001). Hier werden Beeinträchtigungen durch Lichtquellen gesehen (z.B. Lichtmasten, weiträumige Strahlungen), wenn künstliches Licht regelmäßig und/oder in sensiblen Zeiträumen emittiert wird.

Böttcher (2001: 134) zeigt, dass im Fall von Lichtimmissionen aufgrund mangelnder naturwissenschaftlicher Untersuchungen und Ungewissheiten über Art und Umfang der Beeinträchtigungen in der Regel weder Ausgleichs- noch Ersatzmaßnahmen zum Tragen kommen. Stattdessen seien jedoch Vermeidungsmaßnahmen etwa durch Variantenwahl und technische Maßnahmen effektiv und sinnvoll. Mit Nachdruck weist Böttcher auf die Notwendigkeit hin, Lichtimmissionen bei naturschutzfachlichen Begutachtungen in die Wirkungsanalyse und die -bewertung einzubeziehen und dabei sowohl Bau- als auch Betriebsphase zu berücksichtigen. Die Landschaftsplanung hat in diesem Zusammenhang eine zentrale Steuerungsfunktion.

3. Diskussion der raum- und umweltplanerischen Möglichkeiten zur Steuerung von Lichtimmissionen

Für die Fragestellung sind noch weitere Planungsbereiche relevant: *Gebietsschutz* im Rahmen von Naturschutzplanungen (dazu Maaß 2001: 150 f., Maaß 2003: 22 f.), *Umweltprüfverfahren*, wie etwa die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP, Böttcher 2001: 127 ff.) und die Verträglichkeitsprüfung gemäß der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Maaß 2001: 151, Maaß 2003: 22 f.), sowie das raumordnungsrechtliche *Planfeststellungsverfahren* (Maaß 2001: 149 f., Maaß 2003: 21 f.). Es dürfte deutlich geworden sein, dass durchaus raum- und umweltplanerische Möglichkeiten zur Steuerung im Sinn von Vermeidung und Begrenzung von Lichtimmissionen vorhanden sind. Doch reichen sie aus?

In der vorangehenden Publikation des Bundesamtes für Naturschutz zur Thematik Lichtimmissionen findet sich eine Zusammenfassung einer Untersuchung zu naturschutzfachlichen Gutachten zu Straßenbauvorhaben (Böttcher 2001: 135 f.): Zum damaligen Zeitpunkt blieben die Auswirkungen von Lichtimmissionen in der Wirkungsanalyse, -prognose und -bewertung weitgehend unberücksichtigt; bei Folgenabschätzungen fanden weder die Bau- noch die Betriebsphase ausreichend Berücksichtigung, noch wurden Nebenanlagen, wie Parkplätze und Raststätten, unter diesem Aspekt systematisch untersucht. Dasselbe gilt für die (Nicht)Berücksichtigung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Böttcher spricht daher von (bestenfalls) planerischem „Stückwerk“, das der Problemlage bei weitem nicht entspreche, da die Auswirkungen von Lichtimmissionen auf Natur und Landschaft nicht an willkürlich gesetzten Grenzen endeten. Dies hat sich bis heute nicht maßgeblich geändert.

Indirekt macht Böttcher an dieser Stelle auf eine wesentliche Lücke umweltplanerischer Steuerungsmöglichkeiten in Bezug auf Lichtimmissionen aufmerksam. Diese Lücke gerät aus der zeitökologischen Perspektive unmittelbar in den Blick: Ein grundlegendes Prinzip der raumplanerischen sowie der umwelt- und naturschutzplanerischen Regulierung besteht in der *funktionsräumlichen* Trennung, um der Vermeidung und/oder Minimierung von Nutzungskonflikten wegen. Der Trennungsgrundsatz bezieht sich auf räumliche, und nur ausnahmsweise auf zeitliche Trennungen zwischen sich (potenziell) beeinträchtigenden Nutzungen. Beispiele hierfür sind Nachtflugverbote oder Fällverbote während der Brutzeiten.

Während die *Festlegung von Flächen* zum Schutz der Natur, der Landschaft und der Umwelt zentraler Gegenstand von Planung ist, ist der *Schutz von Zeiten* – eben auch und gerade der

Schutz der Nacht – eher die Ausnahme, denn die Regel. Die Art der Leuchten und/oder passive Lichtschutzmaßnahmen, wie Wälle oder Anpflanzungen, sind in dieser Rationalität näherliegende Lösungen als z.B. die Begrenzung von Betriebszeiten. Die den Wirkungsanalysen zugrunde liegenden Kausalzusammenhänge werden zuerst räumlich, nicht zeitlich hergestellt: Es geht um räumliche Nähe | Trennung, nicht um die Synchronisation der Zeiten. Art und Umfang künstlicher Beleuchtung werden der Nutzung angepasst, nicht den Rhythmen, die den Organismen eigen ist. Auf diese Weise dominiert und konterkariert das „Raumparadigma“ in der ökologisch orientierten Planung gleichzeitig zeitökologisch begründete Steuerungserfordernisse und -handlungen. Geschützt werden primär Lebensräume, nicht Lebenszeiten.

Für den Schutz der Nacht gibt es noch keinen eigenen (planungs-)rechtlichen Ort. Bislang geht es vorrangig um Art und Ausmaß von Lichtimmissionen – nicht hingegen um Dauer, Zeitraum (Tageszeiten, Jahreszeiten) und Zeitpunkte. Um des Schutzes der Nacht wegen gilt es daher, zeitökologische Forschungen zu diesem Thema zu intensivieren und Zeitpolitik auf die Bereiche Raum-, Umwelt- und Naturschutzplanung auszuweiten.

4. Schutz der Nacht – Schutz der Nachtlandschaften

Naturschutz verpflichtet nicht nur dazu, den Naturhaushalt und seine Funktionen zu erhalten – auch *das Landschaftsbild selbst ist ein Schutzgut*. Das nächtliche Landschaftsbild wird durch künstliche Beleuchtung dramatisch verändert. In Bezug auf die Steuerung von Lichtimmissionen ist dies ein zentraler und bislang nicht ausreichend wahrgenommener Gesichtspunkt (vgl. Beitrag Haber). Wo Licht ubiquitär wird, dient es nicht mehr der Orientierung, sondern behindert sie diese sogar – beispielsweise dort, wo sich Siedlungsräume nicht mehr voneinander unterscheiden lassen, weil sie in einem großen Lichtkegel ineinander übergehen.

Der Gebrauchswert des künstlichen Lichtes nimmt in eben jenem Maße ab, wie das Licht zunimmt. Denn dort, wo es überall schon hell ist, dient uns noch mehr Licht nicht. Das Postulat „Schütze die Nacht“ sollte uns daher zu einem Anliegen werden.

Literatur

- Böttcher M (2001): Berücksichtigung von Lichtimmissionen in Vorhabenplanungen nach § 12 UVPG, § 6 (3) UVPG in Verbindung mit § 8 BNatSchG – Inhalte und Anforderungen. In: Dies. (Bearb.): Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg: 127-138.
- LAI (2000): Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen. Beschluss vom 10.05.2000. Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz.
- LAI (2012): Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen. Entwurf: Stand 27.02.2012. Bund/Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz.
- Maaß C (2001): Die rechtliche Regulierung von Lichtimmissionen in Natur und Landschaft. In: Böttcher M (Bearb.): Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. Hrsg. vom Bundesamt für Naturschutz für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg: 139-162.
- Maaß C (2003): Die rechtliche Regulierung von Lichtimmissionen in Natur und Landschaft. In: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (Hg.): Lichtökologie – Insektenfreundliche und Energie sparende Außenbeleuchtung. Beiträge der Fachtagung. Berlin: BUND: 14-31.
- Wöbse H (2001): Licht – ein Thema des Landschaftsbildes. In: Böttcher M (Bearb.): Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz für Naturschutz. Bonn-Bad Godesberg: 101-129.

Normen, Richtlinien und Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtimmissionen

Andreas Walkling und Axel Stockmar

1. Einleitung

Lichtimmissionen sind nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) schädigende Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß und Dauer Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit herbeiführen können. Lichtimmissionen können zur Aufhellung des Wohnbereichs (vgl. Beitrag Knab), Blendung von Verkehrsteilnehmern (vgl. Beitrag Neumann) sowie Aufhellung des Nachthimmels (vgl. Beitrag Hänel zu Licht-Monitoring) führen.

Bereits in den 1970er Jahren begannen in Deutschland verschiedene Landesanstalten für Umweltschutz und Forschungseinrichtungen sich mit dem Thema Lichtimmission zu beschäftigen. Ziel war es damals, störende Lichteinwirkungen von künstlichen Beleuchtungsanlagen zu bewerten und daraus Empfehlungen und Normen für den Lichtenwender abzuleiten. Davor spielte die Begrenzung der Lichtimmission nur eine untergeordnete Rolle. Lediglich die Blendung für den Kraftfahrer im Straßenverkehr galt es zu vermeiden (Gamber 1977). Ausführlichere Empfehlungen wurden in den 1990er und 2000er Jahren auf nationaler und internationaler Ebene ausgearbeitet. Es folgten europäische und nationale Normen auf dem Gebiet der Außenbeleuchtung, die erstmals Kapitel zur Begrenzung von Lichtimmissionen enthielten.

2. Empfehlungen der internationalen Beleuchtungskommission und der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft

Der Himmel wird durch das direkt abgestrahlte Licht ortsfester Außenbeleuchtungsanlagen und das von den zu beleuchtenden Flächen reflektierte Licht aufgehellt. Es entsteht ein störender Lichtschleier zwischen Himmelsbeobachter und Firmament. Die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) hat im Jahr 1997 den Technischen Bericht 126 über die Minimierung der Himmelaufhellung herausgegeben. Er geht auf die theoretischen Grundlagen ein und empfiehlt die Anwendung zulässiger Grenzwerte, an denen sich die Planung von Beleuchtungsanlagen orientieren sollte.

Weitere beeinträchtigende Lichteinwirkungen wie die Raumaufhellung und Blendung von Anwohnern werden im internationalen Technischen Bericht CIE 150 umfassend behandelt. Dieser wurde vom Technischen Komitee 5-12 der CIE-Division 5 erstellt und wird gegenwärtig überarbeitet. Der Leitfaden ist vor allem für neue Beleuchtungsanlagen gedacht, um damit von Beginn an die Störlicheinwirkungen von Beleuchtungsanlagen zu begrenzen. Daneben werden auch Vorschläge zur Verminderung der Lichteinwirkung bestehender Anlagen gegeben.

Die Publikation Nr. 12.3 der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG) aus dem Jahr 2011 ist eine nationale Empfehlung. Sie konkretisiert die im Bundes-Immissionsschutzgesetz beschriebenen Lichteinwirkungen auf die Umwelt. Belästigende Lichteinwirkungen sind danach Raumaufhellung, psychologische Blendung beim Blick ins Freie (d.h. die Störung und Belästigung durch Licht), Himmelaufhellung aus Sicht der astronomischen Beobachtung, Verschlechterung der Sehleistung von Fahrzeugführern (physiologische Blendung) und Einwirkung auf die Tierwelt.

Die Raumaufhellung wird mit Hilfe der Vertikal-Beleuchtungsstärke E_F vor dem Fenster von Wohnräumen bewertet. Die dafür zulässigen Grenzwerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst und nach Gebietsart und Tageszeit gestaffelt. Sie liegen zwischen einem und fünf Lux. Zur Beurteilung der stärkeren Störwirkung von Wechsel- und Farblichteinwirkungen ist die ermittelte Beleuchtungsstärke E_F noch mit einem Faktor zu multiplizieren.

Die psychologische Blendung einer Lichtquelle wird durch das Blendmaß k_s beschrieben. Diese hängt von der Leuchtdichte der blendenden Lichtquelle, von der Leuchtdichte der Umgebung und von dem vom Beobachter aus gesehenen Raumwinkel der Blendlichtquelle ab. Tabelle 1 zeigt ebenso die zulässigen Immissionsrichtwerte k , die das Blendmaß k_s einer Lichtquelle nicht überschreiten darf. Diese sind ebenfalls nach Gebietsart und Tageszeit eingeteilt und liegen zwischen 32 und 160.

Einwirkungsort	Beleuchtungsstärke E_F in Lux			Immissionsrichtwert k für Blendung		
	6 Uhr bis 20 Uhr	20 Uhr bis 22 Uhr	22 Uhr bis 6 Uhr	6 Uhr bis 20 Uhr	20 Uhr bis 22 Uhr	22 Uhr bis 6 Uhr
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	1	1	1	32	32	32
reine Wohngebiete allgemeine Wohngebiete besondere Wohngebiete Kleinsiedlungsgebiete Erholungsgebiete	3	3	1	96	64	32
Dorfgebiete Mischgebiete	5	3	1	160	96	32
Kerngebiete Gewerbegebiete Industriegebiete	15	15	5	-	-	160

Tabelle 1: Grenzwerte der maximal zulässigen vertikalen Beleuchtungsstärke E_F und Grenzwerte k der maximal zulässigen psychologischen Blendung. Quelle: LiTG 2011

Die durch Beleuchtungsanlagen verursachte physiologische Blendung von Verkehrsteilnehmern, wie beispielsweise Kraftfahrer oder Triebfahrzeugführer, wird nach dem in den Normen DIN EN 12464-2 und DIN EN 12193 üblichen TI-Verfahren beurteilt. Als Beurteilungsgröße wird die Schwellenwerterhöhung TI (*threshold increment*) verwendet, welche für relevante Beobachterpositionen und Blickrichtungen in Abhängigkeit einer bestimmten Adaptationsleuchtdichte 15 Prozent nicht überschreiten darf.

Die Himmelsaufhellung kann laut LiTG 12.3 mit zwei Verfahren begrenzt werden. In Anlehnung an die Normen DIN EN 12464-2 und DIN EN 12193 wird in einem Verfahren zur Bewertung der direkten Himmelsaufhellung die internationale Kenngröße ULR (*upward light ratio*) zur Anwendung empfohlen. Die zulässigen Grenzwerte für ULR, die von der vorliegenden Umweltzone abhängen, liegen zwischen null und 25 Prozent. In einem weiteren Verfahren wird die Bewertung der direkten und indirekten Himmelsaufhellung durchgeführt. Der zusätzlich bewertete indirekte Anteil resultiert aus dem reflektierten Außenlicht an Nutz- und Umgebungsflächen. Als Beurteilungsgröße dient das UFR (*upward flux ratio*). Damit lässt sich bei der Lichtplanung die Störwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen abschätzen. Je kleiner der UFR-Wert ist, desto mehr wird die künstliche Himmelsaufhellung begrenzt. Bevorzugt werden sollten Anlagen, die im Vergleich den kleineren UFR-Wert aufweisen.

Die Einwirkung auf die Tierwelt wird mit ergänzenden Maßnahmen entsprechend dem Stand von Wissenschaft und Technik beschrieben. Beleuchtungsanlagen können störende Einflüsse auf die Tierwelt haben. Irritations-, Anlock- und Kollisionswirkungen beispielsweise auf Vögel und Insekten sind bekannt (vgl. verschiedene Beiträge im Teil „Lichtverschmutzung und die Folgen für...“). Massenhaftes Anlocken kann sogar zu bleibenden Veränderungen in einem Ökosystem führen (vgl. Beitrag Hölker zu Ökosystemen und Biodiversität).

3. DIN-Normen

Die *europäische Norm zur Straßenbeleuchtung EN 13201-2* wurde von einer gemeinsamen Gruppe des *Comité Européen de Normalisation (CEN) / Technical Committee (TC) 169* und *CEN/TC226* erarbeitet, wobei für die deutsche Mitarbeit der Fachnormenausschuss Lichttechnik (FNL 11) „Außenbeleuchtung“ im Normenausschuss Lichttechnik im DIN verantwortlich war. Nach Annahme als Europäische Norm erhielt sie im Jahr 2004 den Status einer nationalen Norm. Diese beinhaltet auch die Umweltauswirkungen der Straßenbeleuchtung.

Bei den Anforderungen an die S-Beleuchtungsklassen zur Anwendung auf Fußwegen, Radwegen oder Anwohnerstraßen wird unter anderem gefordert, dass der tatsächliche Wert der mittleren Beleuchtungsstärke das 1,5fache des für die Klassen vorgesehenen Mindestwertes nicht überschreiten darf. Somit wird eine Überbeleuchtung der Nutzfläche vermieden, wodurch auch die künstliche Himmelsaufhellung reduziert wird. Darüber hinaus werden solche Lichtstärkeklassen zur Anwendung empfohlen, die ein System zur Begrenzung des Störlichts von Straßenleuchten beschreiben. Insbesondere die Klassen G4 bis G6 entsprechen stärker abgeschirmten Leuchten, womit die direkte Himmelsaufhellung im Vergleich zu teilabgeschirmten Leuchten besser begrenzt wird (vgl. Beiträge Lang zum Außenbereich, Posch).

Für die Erstellung der nationalen Norm *DIN EN 12464-2 für die Arbeitsstättenbeleuchtung* war das deutsche Gremium FNL 11 und für die *DIN EN 12193 für die Sportstättenbeleuchtung* der FNL 13 im Normenausschuss Lichttechnik im DIN zuständig. Ziel war es, Anforderungen auf Basis der CIE 150 aufzustellen, um erstmals auch die Störwirkungen von Außenbeleuchtungsanlagen normativ zu berücksichtigen.

Die maximal erlaubte Störwirkung richtet sich nach der Umweltzone E1 bis E4 und der Tageszeit oder der Straßenklassifizierung. Dabei wird zwischen mindestens vier Störaspekten unterschieden: Raumaufhellung, psychologische Blendung, Himmelsaufhellung und physiologische Blendung. Die Maximalwerte der vertikalen Beleuchtungsstärke bei der Raumaufhellung liegen nach der Geltungszeit zwischen null und fünf Lux. Bei der Begrenzung der psychologischen Blendung werden maximale Lichtstärken der Leuchte in Störrichtung zwischen null und 2.500 Candela vorgegeben.

Das nach oben gerichtete Licht, das die direkte Himmelsaufhellung verursacht, darf je nach Umweltzone einen ULR-Wert von null Prozent (E1 = dunkle Bereiche, beispielsweise Nationalparks), fünf Prozent (E2 = Bereiche mit geringer Gebietshelligkeit, beispielsweise in ländlicher Umgebung), 15 Prozent (E3 = mittlere Gebietshelligkeit, zum Beispiel Wohngebiete in Vororten) und 25 Prozent (E4 = hohe Gebietshelligkeit, beispielsweise Stadtzentren) nicht überschreiten. Zur Begrenzung der physiologischen Blendung beziehungsweise der Schwellenwerterhöhung darf der Höchstwert für Sportanlagen und Anlagen, die keine Straßenbeleuchtung darstellen, einen TI-Wert von 15 Prozent nicht überschreiten.

4. Richtlinie: LAI-Hinweise

Die aktuelle Licht-Richtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) stellt den Immissionsschutzbehörden bundesweit ein Beurteilungssystem zur Verfügung. Damit lassen sich Lichtimmissionen im Sinne des BImSchG bewerten. Die Licht-

Richtlinie besitzt in Deutschland einen bindenden Charakter. Das heißt, dass man sich als Lichtenwender daran halten muss. Daher ist sie gegenüber einer Anwendung der oben genannten Normen vorzuziehen.

Inhaltlich baut sie im Wesentlichen auf den Empfehlungen der LiTG-Veröffentlichung Nr. 12.2 von 1996 auf und umfasst die beiden Bereiche Raumaufhellung und psychologische Blendung. Die konkreten LAI-Vorgaben zur einheitlichen Messung und Beurteilung von Lichteinwirkungen ermöglichen eine Abschätzung, ob eine erhebliche Belästigung für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft im Sinne des BImSchG vorliegt.

Die aktuell als Entwurf vorliegende Licht-Richtlinie wurde vom LAI-Ausschuss „Physikalische Einwirkungen“ überarbeitet und ergänzt. Die LAI hat dem Entwurf inzwischen zugestimmt und empfiehlt den Bundesländern, die neue Ausgabe der Licht-Richtlinie bei der Beurteilung von Lichtimmissionen zu nutzen. Diese basiert im Wesentlichen auf der aktuellen LiTG-Empfehlung 12.3 aus dem Jahr 2011.

5. Fazit

Raumaufhellung, Blendung oder Lichtverschmutzung sollten grundsätzlich vermieden werden. Im Rahmen des Immissionsschutzes stehen dem Lichtenwender verschiedene Kriterien für die Messung, Beurteilung und Minderung von Störwirkungen künstlicher Lichtquellen zur Verfügung. Mit deren Anwendung ist eine verantwortungsvollere Nutzung künstlichen Lichts und damit einhergehend eine nachhaltigere Planung und Realisierung von Außenbeleuchtungsanlagen möglich.

Literatur

- BMI (1974): BImSchG, Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG).
- CIE (1997): CIE 126: Guidelines for minimizing sky glow.
- CIE (2003): CIE 150: Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations.
- DIN (2004): DIN EN 13201-2 Straßenbeleuchtung – Teil 2: Auswahl der Beleuchtungsklassen.
- DIN (2007): DIN EN 12464-2 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien.
- DIN (2008): DIN EN 12193 Licht und Beleuchtung – Sportbeleuchtung.
- Gamber A (1977): Probleme bei der Beurteilung von Lichtimmissionen. In: Arbeits- und Sozialrecht, Nr. 10.
- LAI (2000): LAI-Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen. Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 10. Mai 2000.
- Lewke H (2012): persönliche Mitteilung im April 2012. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. .
- LiTG (2011): LiTG 12.3: Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen.

Forschungsverbund „Verlust der Nacht“

Stephanie Holzhauer und Franz Hölker

1. Der Forschungsverbund

Da Licht positiv mit Werten wie Sicherheit, Wohlstand und Modernität besetzt ist, neigen wir dazu, unsere Umgebung intensiv zu beleuchten. Doch ein tagheller Nachthimmel, künstlich angestrahlt durch unzählige Lichter, hat auch eine Schattenseite. Die Lichtverschmutzung – verstanden als die Verschmutzung der natürlichen nächtlichen Dunkelheit durch künstliches Licht – nimmt zu.

In dem weltweit einmaligen interdisziplinären Projekt „Verlust der Nacht“ untersuchen Sozial- und Naturwissenschaftler, Astronomen und Lichttechniker erstmals gemeinsam die ökologischen, gesundheitlichen sowie kulturellen und sozioökonomischen Auswirkungen von künstlichem Licht in der Nacht. Unter der Leitung des *Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)* werden die Teilprojekte von sechs Instituten der Leibniz-Gemeinschaft, dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) sowie der Freien Universität Berlin und der Technischen Universität Berlin durchgeführt. In 14 eng aufeinander abgestimmten und kooperierenden Teilprojekten werden zudem die Ursachen für die zunehmende Beleuchtung erforscht. Ziel ist es, auf der Grundlage der Forschungsergebnisse ganzheitliche Lösungsansätze für moderne Beleuchtungskonzepte und nachhaltige Techniken zu entwickeln.

Der Forschungsverbund „Verlust der Nacht“ bildete sich im Frühjahr 2009 auf Initiative des IGB. Der Aufbau des Forschungsverbunds wurde durch Förderung der Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung ermöglicht. Der Forschungsverbund wird seit 2010 in großem Umfang durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und weiterhin durch die Senatsverwaltung unterstützt.

Der Forschungsverbund ist offizieller Partner im Wissenschaftsjahr 2012 – Zukunftsprojekt ERDE. Er ist zudem eingebunden in der seit 2012 bestehenden *COST Action Loss of the Night-Network (LoNNe)*, welches vom Forschungsverbund „Verlust der Nacht“ federführend aufgebaut wurde. COST ist ein europäisches Instrument der staatenübergreifenden Förderung auf Basis nationaler Fördermittel und ergänzt die Forschungsförderung im EU-Rahmenprogramm. Durch LoNNe werden Kooperationen und Synergien zwischen Akteuren aus Wissenschaft, Gesundheitswesen, Behörden und Industrie gefördert, um Richtlinien für Lichtkonzepte zu entwickeln, die ökologisch, sozial und ökonomisch nachhaltig sind.

2. Forschungsschwerpunkt Ökologie

Der Einfluss künstlichen Lichts auf die Aktivität und Orientierung von Tieren in der Nacht sowie die evolutionären Folgen des Lichts werden am Beispiel von Fledermäusen, Insekten, Fischen und Vögeln erforscht. Am IGB werden kurz- und langfristige Folgen für Fische und Insekten sowie Wechselwirkungen zwischen Land- und Wasserlebensräumen analysiert. Zum einen wird getestet, ob und wie künstliche Beleuchtung unterschiedlicher Intensität in hormongesteuerte Prozesse von Fischen eingreift. Zum anderen werden die Auswirkungen auf für Gewässerökosysteme wichtige aquatische Insekten untersucht, um deren Aufenthaltsorte unter Einfluss unterschiedlicher Lichtquellen, Veränderungen von Reproduktionserfolgen oder genetische Anpassungen an beleuchtete Lebensräume zu erfassen (vgl. Beitrag Brüning und Hölker).

Am *Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW)* werden die Auswirkungen der Lichtverschmutzung auf das Verhalten von Fledermäusen evaluiert und ermittelt, ob sich

durch die intensivere Jagd auf Insekten an Straßenlaternen die Nahrungsnetze verändern. Untersuchungen durch das *Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)*, bei denen markierte Vögel im Jahresverlauf beobachtet werden, sollen Hinweise auf Veränderungen in der Populations- und Verhaltensökologie in Abhängigkeit vom Lichtangebot liefern. Beide Institute sind dafür an Experimenten beteiligt, die in beleuchteter und unbeleuchteter Landschaft auf einer ländlichen Versuchsfläche durchgeführt werden (siehe unter 8. Transdisziplinäre Integrationsprojekte). Dabei werden die Auswirkungen von künstlichem Licht auf Prozesse und Funktionen innerhalb eines ursprünglich unbeleuchteten Ökosystems untersucht.

3. Forschungsschwerpunkt Chronobiologie

Am *Leibniz-Institut für Arbeitsforschung in Dortmund (IfADo)* werden die chronobiologischen Wirkungen künstlicher Beleuchtung in der Nacht auf den Menschen untersucht. Hier soll unter anderem erforscht werden, wie stark die Melatoninsekretion durch Lichtverschmutzung unterdrückt wird, wie stabil die zirkadiane Rhythmik ist, und inwieweit der Schlaf beeinflusst wird (vgl. Beiträge Bromundt, Knab). Die möglichen gesundheitlich relevanten Konsequenzen, die sich aus der Störung der vielfältigen Funktionen des Melatonins ergeben, sollen abgeschätzt werden.

4. Forschungsschwerpunkt Gesellschaft

Das *Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS)* sowie das *Institut für Stadt- und Regionalplanung ISR (TU Berlin)* untersuchen die gegenwärtigen gesellschaftlichen und politischen Voraussetzungen und Handlungsmöglichkeiten für eine Reduzierung der Lichtverschmutzung in der Region Berlin-Brandenburg. Dafür sind genaue Kenntnisse über die gesellschaftlichen Funktionen des künstlichen Lichts und die damit verbundenen Interessenslagen verschiedener beteiligter Gruppen erforderlich. Eine genaue Untersuchung der bestehenden institutionellen Regelungen kann ebenfalls Auskunft über Handlungsmöglichkeiten geben.

Das ISR analysiert zudem gemeinsam mit dem IGB die ökonomischen Kosten der Lichtverschmutzung, die systematisch und kumulativ erfasst werden. Dabei werden die finanziellen Verluste, die durch die negativen Folgen des künstlichen nächtlichen Lichts verursacht werden, dem Mehrgewinn durch positive Effekte von Licht gegenübergestellt.

5. Forschungsschwerpunkt Kulturgeschichte

In Abstimmung mit den Projekten aus dem Forschungsschwerpunkt „Gesellschaft“, die aus gegenwartsorientierter Perspektive den Wandel der gesellschaftlichen Funktionen, institutionellen Regelungen, Wahrnehmungen und Kosten des künstlichen Lichts betrachten, wird am *Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS)* die Entwicklung künstlicher Beleuchtungssysteme in Berlin-Brandenburg seit dem 19. Jahrhundert aus kultur-, sozial- und umwelthistorischer Perspektive untersucht. Durch die Analyse und Dokumentation positiver wie negativer Beurteilungen von Nachtlandschaften soll für historisch entstandene technische und weltanschauliche Grundorientierungen und Handlungsspielräume sensibilisiert werden. Darüber hinaus wird untersucht, ob möglicherweise althergebrachte Vorstellungen und Prinzipien selbstverstärkend weiterverfolgt und aus diesem Grund keine Alternativen entwickelt wurden.

6. Forschungsschwerpunkt Astronomie

Das *Institut für Weltraumwissenschaften der FU Berlin (FUB ISS)* untersucht in Kooperation mit dem IGB den Lichtdom über Berlin und dessen zeitliche und räumliche Veränderungen.

Die Erkenntnisse werden mit Hilfe von Luft- und Bodenmessungen in verschiedenen Spektralkanälen erlangt. Die auch wetterabhängige räumliche und spektrale Verteilung des vom Himmel zurückgeworfenen Lichts und die Intensität der Bodenlichtquellen werden kartographisch verarbeitet (vgl. Beitrag Kuechly, Kyba & Hölker).



Abbildung 1: Berliner Nachtlandschaft mit dunklem Tiergarten links unten und hell illuminiertem Potsdamer Platz rechts daneben.

Foto: Christopher Kyba

Weiterführend charakterisiert das *Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)* in Kooperation mit dem IGB die natürliche und künstliche Nachthimmelshelligkeit an einem Standort mit ländlich-urbaner Übergangszone (Stadtrand und Zentrum von Berlin) und einem entlegenen Standort (Stella-Observatorium, Teneriffa). Auf diese Weise soll quantifiziert werden, inwiefern das gewählte Farbspektrum, das Auflösungsvermögen eines das Lichtspektrum erfassenden Sensors und die Helligkeit in der Umgebung die Möglichkeiten astronomischer Beobachtungen beeinflussen.

7. Forschungsschwerpunkt Lichttechnik

Beim *Fachgebiet Lichttechnik des Instituts für Energie- und Automatisierungstechnik der TU Berlin* stehen die öffentliche Straßenbeleuchtung und der Einsatz innovativer Leuchtmittel im Vordergrund. Unterschiedliche Beleuchtungssituationen werden realisiert, gezielt variiert und quantitativ charakterisiert. Die Grundlagen für die Beleuchtungssituationen wurden mit den ökologischen und chronobiologischen Teilprojekten abgestimmt. Ziel ist es, Konzepte für eine ökologisch-innovative Straßen- und Gehwegbeleuchtung zu entwickeln, die der Sicherheit dient, energieeffizient ist und gleichzeitig einen geringen Einfluss auf in unmittelbarer Nähe befindliche Ökosysteme haben soll.

Lichtquellen für nachhaltige Beleuchtungssysteme werden am *Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie in Greifswald (INP)* erforscht. Seine zentrale Aufgabe im Projekt ist die Konzeption und Vermessung von Beleuchtungssystemen für die ökologischen Projekte, für die Modellierung von Beleuchtungsszenarien sowie für die Integrationsprojekte im Labor und in Feldversuchen. Aus den gemeinsamen Ergebnissen sollen Vorschläge zur verbesserten Lichtverteilung und Lichtqualität sowie zur zeitgesteuerten und dimmbaren Beleuchtung erarbeitet werden.

8. Transdisziplinäre Integrationsprojekte

Die Mitglieder des Forschungsverbunds arbeiten darüber hinaus in zwei übergreifenden Experimenten zusammen: Im sozial-ökologischen *Integrationsprojekt IP Kom* werden mit Hilfe von Fragebögen für Anwohner und gleichzeitig erfassten ausgewählten physiologischen, sozialwissenschaftlichen und ökologischen Parametern die Auswirkungen einer veränderten Beleuchtungstechnik auf Mensch und Umwelt untersucht. Die Untersuchungen finden dort statt, wo zumindest teilweise Veränderungen an der kommunalen Beleuchtung vorgenommen werden. Die Auswirkungen der veränderten Beleuchtungstechnik in der Großstadt werden denen in der Kleinstadt gegenübergestellt und verglichen.

Im *Integrationsprojekt IP Feld* sollen strukturelle und funktionelle Auswirkungen von künstlichem Licht auf ein ursprünglich unbeleuchtetes Ökosystem untersucht werden. Hierzu wurde eine experimentelle Straßenbeleuchtung, deren Lichtstärke und Spektralzusammensetzung manipuliert werden kann, am Ufer eines Gewässers installiert. In Freilandexperimenten und begleitenden Laborversuchen sollen langfristige Effekte untersucht und auch neue, innovative Leuchtmittel und Farbspektren auf ihre ökologische Wirkung getestet werden.

9. Ausblick

Der Forschungsverbund „Verlust der Nacht“ stellt das weltweit einzige Konsortium dar, das in dieser Breite auf nachhaltige Beleuchtung eingeht und das auf aktuelle und zukünftige Probleme zeitnah Antworten zu geben versucht.

Die interdisziplinäre Herangehensweise des Forschungsverbunds „Verlust der Nacht“ ermöglicht den Abbau von Sprachbarrieren zwischen den Disziplinen, die Vernetzung von Ergebnissen unterschiedlicher Forschungsrichtungen und auf diese Weise die Entwicklung von effizienten Lösungsansätzen und Konzepten für weniger Lichtverschmutzung auf einem breiten Fundament. Darüber hinaus werden Grenzen und Chancen verschiedener Ansätze offengelegt, und die Aufgabenverteilung unter Einbeziehung von Politik und Industrie beispielsweise zur Entwicklung von Richtlinien, Definitionen, Entwicklung von Managementplänen oder zur Beantwortung klassischer Grundlagenfragen zum Thema Lichtverschmutzung benannt.

Der Forschungsverbund „Verlust der Nacht“ wird bereits jetzt europaweit als Ansprechpartner für Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik betrachtet und sein Informationsangebot genutzt. Diese Expertise an Kommunen, Industrie und Bevölkerung zu kommunizieren wird auch weiterhin Bestandteil der Aktivitäten sein. In diesem Zusammenhang hat die im Wissenschaftsjahr 2012 – Zukunftsprojekt ERDE gestartete BMBF-Öffentlichkeitskampagne „Verlust der Nacht“ zum Ziel, ein Bewusstsein für die Thematik in der breiten Öffentlichkeit zu schaffen, die aktuelle Forschung bekannt zu machen und dazu Kontakte mit Schülern, Bürgern, Kommunen und Industrie herzustellen.

Links

www.verlustdernacht.de

www.zukunftsprojekt-erde.de/mitmachen/weitere-wettbewerbe-und-aktionen/verlust-der-nacht.html

Initiativen zum Schutz der Nacht

Andreas Hänel

1. International Dark Sky Association

Da das Phänomen Lichtverschmutzung am meisten die beobachtenden Astronomen beeinträchtigt, ist es nicht verwunderlich, dass sie sich als erste zur Behandlung des Problems organisiert haben. Der Astronom Dr. David Crawford vom Kitt Peak Observatorium und der Arzt und Amateurastronom Dr. Timothy Hunter hatten das Ziel, die Nacht und den Sternenhimmel durch eine zielgerichtete Beleuchtung zu schützen. Sie gründeten im Jahr 1988 in Tucson, Arizona, die *International Dark Sky Association* (IDA). Inzwischen hat die Vereinigung rund 5.000 Mitglieder in 70 Ländern. In verschiedenen Ländern gibt es Sektionen oder Kooperationspartner. Zudem gibt es internationale Büros: eines in Belgien, das für Europa zuständig ist, und eines in Australien, das für Asien und den Pazifischen Raum zuständig ist.

IDA verleiht ein Siegel für Leuchtenmodelle, die kein Licht nach oben abgeben. Gemeinsam mit der Vereinigung der amerikanischen Beleuchtungsingenieure (IESNA) hat die IDA eine Modell-Beleuchtungssatzung erarbeitet. Unterschiedliche Kategorien von Kommunen, Parks oder Reservaten, die mit gerichteter und umweltfreundlicher Beleuchtung einen dunklen Sternenhimmel schützen wollen, können Auszeichnungen erhalten. Zudem wird umfangreiches Informationsmaterial auf der Internetseite zur Verfügung gestellt.

2. Europäische Initiativen

Annähernd zeitgleich haben sich auch in Europa nationale Gruppen gebildet, die sich gegen die zunehmende Lichtverschmutzung einsetzen.

Großbritannien

Die British Astronomical Association (BAA) ist die größte astronomische Vereinigung in Großbritannien. Ihre Mitglieder haben bereits im Jahr 1989 eine Initiative, die *Campaign for Dark Skies* (CfDS) gebildet, der inzwischen einige hundert Unterstützer angehören. Es gibt über das Land verteilt etwa 140 freiwillig arbeitende Ansprechpartner, die vor Ort beratend tätig sind. Eine der zentralen Personen ist Bob Mizon, der auch ein Buch über die Lichtverschmutzung geschrieben hat. Die CfDS findet immer wieder breites Medienecho in Großbritannien, wie beispielsweise über die Zusammenarbeit mit der *Campaign to protect Rural England* im Jahr 2003.

Zusammen mit Beleuchtungsingenieuren der für den Straßenbau zuständigen Behörde und anderen Einrichtungen wurden Hinweise für Beleuchtungen erarbeitet, die den nächtlichen Himmel möglichst wenig stören. Die Initiative arbeitete an einem Bericht zur Lichtverschmutzung des Parlamentarischen Wissenschafts- und Technologieausschusses mit. Auch die Einrichtung von Schutzgebieten, wie der *Dark Sky Park* im Galloway Forest, die *Dark Sky Community* auf der Kanalinsel Sark oder der Nationalpark *Dark Sky Reserve Exmoor* wurden von der CfDS unterstützt.

Italien

In Italien formierte sich *CieloBuio*, eine Gruppe von Amateurastronomen, die Gesetze zur Reduzierung der Lichtverschmutzung für die Lombardei vorschlug. Dies unterstützten 25.000 Bürger, weshalb im Jahr 2000 ein Gesetz erlassen wurde, das dann in weiteren Regionen Italiens in ähnlicher Form übernommen wurde, zuletzt in Südtirol im Jahr 2012. Die Gruppe hat inzwischen eine hohe Kompetenz in technischen Fragen und veranstaltet Fortbildungen für Beleuchtungsingenieure und berät Kommunen in Beleuchtungsfragen.

Frankreich

In Frankreich hat sich innerhalb der Société Astronomique de France die Vereinigung *Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes* gebildet. Sie hat inzwischen einige hundert Mitglieder und Ansprechpartner in fast allen französischen Départements. Eine erfolgreiche Aktion der französischen Gruppe ist die Auszeichnung *Ville et Village Étoilés* von Städten und Dörfern. Sie können mit bis zu fünf Sternen ausgezeichnet werden, entsprechend ihrem Einsatz zum Schutz des nächtlichen Himmels durch Begrenzung der Lichtmenge, Ausrichtung des Lichts auf die Straße, Farbabstimmung der Lampen und Energieverbrauch. Zudem ist die Vereinigung in die Erarbeitung von Ausführungsbestimmungen eingebunden, da Lichtverschmutzung ein Thema im neuen Umweltgesetz in Frankreich (» Grenelle «) ist.

Spanien

In Spanien setzt sich der Verein *Cel Fosc* seit vielen Jahren gegen die Lichtverschmutzung ein.

Schweiz

In der Schweiz ist die Vereinigung *Dark Sky Switzerland* aktiv. Seit der Diplomarbeit von Rene Kobler (2002) über die Lichtverschmutzung in der Schweiz und der darauffolgenden Publikation „Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen“ (BAFU 2005; vgl. Beitrag von Fellenberg) durch das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft ist das Thema dort verankert.

Österreich

In Österreich gibt es eine Sektion der IDA an der Wiener Kuffner-Sternwarte, die das Projekt *Wie viele Sterne sehen wir noch?* im Jahr 2001 ins Leben rief. Besonders aktiv ist die Initiative *Die helle Not*, die von der Tiroler Umwelthanwaltschaft und den Tiroler Landesmuseen getragen wird (vgl. Beitrag Kostenzer) und finanziell von der österreichischen Bundesregierung und der Europäischen Union unterstützt wird.

Slowenien

Die slowenische Dark Sky Gruppe um Andrej Mohar ist so aktiv, dass in Slowenien als erstem Land der Europäischen Gemeinschaft im Jahr 2007 ein Gesetz gegen die Lichtverschmutzung erlassen wurde (vgl. Beiträge Mohar).

Niederlande

In den Niederlanden, die durch ihre dichte Besiedlung besonders stark durch künstliche Beleuchtung beeinflusst werden, ist Wim Schmidt besonders aktiv. Er hat Lichtverschmutzungskarten von vielen Regionen der Niederlande erstellt und ist zugleich Vorsitzender der Vereinigung *Platform Lichthinder* (vgl. Beitrag Sabelis).

Belgien

Die belgische Gruppe *Preventie Lichthinder* besteht aus der Arbeitsgruppe *Lichthinder der Vereniging voor Sterrenkunde* und dem *Bond Beter Leefmilieu* und hat mehrere Kommunen und das Land bei der Leuchtenplanung beraten. Besonders erfolgreich ist sie mit der jährlich stattfindenden *Nacht van der Duisternis*. An diesem Abend werden Beleuchtungen und Anstrahlungen abgestellt, und es werden verschiedene Veranstaltungen zum Thema durchgeführt. Von Jahr zu Jahr schließen sich mehr Kommunen (vor allem im flämischen Teil) an.

Deutschland

In Deutschland gründeten einige Amateurastronomen im Jahr 1995 während des jährlichen Teleskoptreffens am Vogelsberg auf Anregung von Winfried Kräling und Rainer Bulnois die

Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde. Sie hat etwa ein Dutzend aktive Mitglieder, deren Ziel es ist, über das Problem der Lichtverschmutzung zu informieren und Maßnahmen dagegen vorzuschlagen. Zudem unterstützt die Fachgruppe Regionen, die sich für den Schutz des Nachthimmels einsetzen und ein entsprechendes Anerkennungsverfahren anstreben.

3. Symposien

Seit 1998 organisieren die europäischen Gruppen auf ehrenamtlicher Basis das *European Symposium for the Protection of the Night Sky*, das von der IDA unterstützt wird. Die Vorträge werden meist auf den Internetseiten der Symposien als Download angeboten.

Weiterhin gibt es seit 2008 das *International Symposium for Dark-sky Parks*. Bislang fand das Symposium immer in dunklen Regionen (Adriainsel Lastovo oder Montsec in den spanischen Pyrenäen) statt, damit die Teilnehmer nicht nur über den dunklen Himmel diskutieren, sondern ihn auch vor Ort in einem Dark-Sky Camp erleben können.

4. Starlight Initiative

Die Starlight Initiative wurde 2007 vom Astrophysikalischen Institut der Kanarischen Inseln und der spanischen UNESCO mit einer Tagung auf La Palma ins Leben gerufen. Dort wurde auch die *Starlight Deklaration* verkündet und von mehreren internationalen Organisationen unterzeichnet. Ziel der Initiative ist es, besonders schützenswerte Gebiete mit ungetrübtem Sternenhimmel von der UNESCO anerkennen zu lassen. Mit der Welttourismus-Organisation WTO wurde das *Siegel Dark Sky Designation* für touristische Orte geschaffen, die einen möglichst ungetrübten Sternhimmel haben und sich für dessen Erhalt einsetzen. Weiterhin gibt es im Rahmen der CO₂-Reduzierung eine Zusammenarbeit mit dem europäischen Bündnis der Bürgermeister (*covenant of mayors*).

Literatur

- BAFU (Hg.) (2005): Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Ausmass, Ursachen und Auswirkungen auf die Umwelt. herausgegeben vom Schweizer Bundesamt für Umwelt. (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00847/index.html?lang=de>)
- Kobler R. (2002): Lichtverschmutzung in der Schweiz. Muttenz. (http://www.darksky.ch/downloads/artikel/rlkobler_dipl.pdf)
- Mizon B (2002): Light Pollution – Responses and remedies. Springer, London. Neuauflage 2012.

Links

- International dark Sky Association (IDA): www.darksky.org
- Großbritannien: Campaign for Dark Skies (CfDS): www.britastro.org/dark-skies/
- Italien: Cielo Buio: www.cielobuio.org
- Frankreich: Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes: www.anpcen.fr
- Spanien: Cel Fosc: www.celfosc.org
- Schweiz: Dark Sky Switzerland: www.darksky.ch
- Österreich: Die helle Not: www.hellenot.org
- Niederlande: Platform Lichthinder: www.platformlichthinder.nl und www.sotto.nl
- Belgien: Preventie Lichthinder: www.preventielichthinder.be
- Deutschland: Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde: www.lichtverschmutzung.de
- Starlight Initiative: www.starlight2007.net

Europäisches Symposium zum Schutz der Nacht / European Symposium for the Protection of the Night Sky

12th Symposium, 2012, Bielsko-Biala (Polen):

http://www.ciemnieniebo.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=204&Itemid=35

11th Symposium, 2011, Osnabrück (Deutschland):

http://www.lichtverschmutzung.de/symposium_2011/

10th Symposium, 2010, Kaposvár (Ungarn): <http://www.astro-zselic.hu/symposium.html>

9th Symposium, 2009, Armagh (Nordirland): <http://www.lightpollution2009.eu/>

8th Symposium, 2008, Wien (Österreich): <http://darksky2008.kuffner-sterne.at/>

7th Symposium, 2007, Bled (Slowenien): <http://www.darksky2007.si/>

6th Symposium, 2006, Portsmouth (Großbritannien): <http://www.britastro.org/dark-skies/cfds2006/>

5th Symposium, 2005, Genk (Belgien): http://www.astrosurf.com/anpcn/congres/GENK_2005/

4th Symposium, 2004, Paris (Frankreich):

http://astrosurf.com/anpcn/congres/IAP_2004/appel_prog.en.pdf

3rd Symposium, 2003, Stuttgart (Deutschland): http://www.home.uni-osnabrueck.de/ahaenel/darksky/declaration_stuttgart_03.pdf

2nd Symposium, 2002, Luzern (Schweiz): <http://ens.ch/ens/sterne/lichtverschmutzung/ds2002/>

1st Symposium, 1998 in Paris (Frankreich): <http://www.home.uni-osnabrueck.de/ahaenel/darksky/kongress98.htm>

International Symposium for Dark-sky Parks and International Dark-sky Camp

4th Symposium, 2011 Parque Astronómico Montsec, Àger (Lleida) (Spanien)

3rd Symposium, 2010 Insel Lastovo (Kroatien)

2nd Symposium, 2009 Insel Lastovo (Kroatien)

1st Symposium, 2008 Insel Lastovo (Kroatien)

Lichtverschmutzung als Handlungsfeld von Natur- und Umweltschutzverbänden

Carsten Wachholz

1. Einführung

Wenn die Beleuchtung von Straßen, Plätzen und Brücken in Deutschland mehr Strom verbraucht als eine Million private Haushalte zusammen, dann wird sie zu einem dringenden Handlungsfeld des kommunalen Klima- und Ressourcenschutzes. Und wenn durch unnötige Lichtverschmutzung zahlreiche Vögel und Fledermäuse in ihrem natürlichen Verhalten massiv gestört oder bedroht sowie Millionen von Insekten von nächtlicher Beleuchtung angezogen und getötet werden, dann wird das Thema auch zum Anliegen des Naturschutzes. Aus diesen Gründen hat sich der Naturschutzbund Deutschland (NABU) schon sehr frühzeitig mit den Auswirkungen der Lichtverschmutzung auseinandergesetzt: Unter dem Titel „Überbelichtet“ fasste das NABU-Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz in Bühl bereits im Jahr 1996 seine Forschungsergebnisse und Handlungsempfehlungen zum Umgang mit künstlicher Beleuchtung im Außenbereich in einer ausführlichen Broschüre zusammen.

Schließlich konnte der NABU-Bundesverband auf dieser Expertise aufsetzen und – gefördert durch das Umweltbundesamt aus Mitteln des Bundesumweltministeriums – von Juli 2008 bis März 2011 bei der Modernisierung und Sanierung der Stadtbeleuchtung in zahlreichen Kommunen beraten und unterstützen. Im Rahmen dieses Projektes konnten wir interessierten NABU-Gruppen, Kommunen, Stadtwerken, Kirchengemeinden und Bürgerinitiativen ein umfangreiches und kostenloses Informations- und Beratungsangebot anbieten. Inhaltlich ging es dabei nicht nur um den Austausch oder die Neuinstallation einzelner Lampen und Leuchten, sondern auch um eine strategische und räumlich differenzierte Lichtplanung. Werden gezielt Leitlinien aufgestellt sowie konkrete Anforderungen an die Energieeffizienz und ökologische Verträglichkeit berücksichtigt, kann die Integration verschiedener Ansprüche an die Stadtbeleuchtung besser gelingen.

Vom Ausmaß des Interesses am Thema Stadtbeleuchtung und dem damit verbundenen Handlungs- und Beratungsbedarf war das NABU-Projektteam dann doch überrascht: Im Projektzeitraum erreichten uns Anfragen aus über 70 Orten in ganz Deutschland. Dabei ging es um ganz unterschiedliche Anliegen: Mal standen Fragen zur Unterstützung bei der Bestandsaufnahme der installierten Beleuchtung oder der Planung von Sanierungsmaßnahmen im Vordergrund, mal ging es um die Bewertung und Überprüfung von vorliegenden Beleuchtungskonzepten oder bereits beschlossenen Austauschprogrammen. Häufig werden wir auch angesprochen, wenn zunächst noch politische Überzeugungs- oder Öffentlichkeitsarbeit für eine energieeffiziente und ökologisch vorteilhafte Stadtbeleuchtung erforderlich ist.

Neben der umfangreichen Beratungsarbeit während der Projektlaufzeit am Telefon und vor Ort bieten wir weiterhin zwei kostenlos ausleihbare Ausstellungen zum Thema „Ökologische Stadtbeleuchtung“ an. Diese sind fast ununterbrochen im Lande unterwegs und werden häufig um ein fachliches Begleitprogramm mit Vorträgen und Diskussionen ergänzt. Dabei wird das Thema Lichtverschmutzung fast immer mit der örtlichen Beleuchtungssituation und bereits umgesetzten Sanierungsmaßnahmen in Verbindung gebracht oder neue Erkenntnisse aus Forschung und Praxis diskutiert.

Im Internet haben wir eine bundesweite Fachtagung sowie drei Regionalworkshops in Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein und Sachsen zum Thema kommunale Lichtplanung und Modernisierung der Stadtbeleuchtung dokumentiert. Zudem war der NABU als Vertreter der

deutschen Umwelt- und Naturschutzverbände in der Fachjury zum Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ vertreten.



Abbildung 1: Auszug aus der NABU-Ausstellung „Ökologische Stadtbeleuchtung“

Fotos: Carsten Wachholz

2. Erfahrungen aus der Beratungsarbeit des NABU

Einige Erfahrungen aus unserer Beratungsarbeit sind möglicherweise auch für andere laufende oder geplante Vorhaben zur Verringerung der Lichtverschmutzung hilfreich. Warum wenden sich Kommunen und interessierte Gruppen an uns? In unseren Kontakten haben wir vor allem folgende Motive und Anlässe für die Modernisierung der Stadtbeleuchtung ausgemacht:

- das enorme Einsparpotenzial bei Kosten, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen: denn nach der energetischen Gebäudesanierung ist die öffentliche Straßenbeleuchtung der wirkungsvollste Ansatz für den kommunalen Klimaschutz;
- vielfältige Bestrebungen und Konzepte zur Aufwertung des öffentlichen Raums mit Hilfe von Licht, bei denen Energie- und Kosteneffizienz aber vor allem ökologische Aspekte bisher viel zu wenig Beachtung finden;
- die Berichterstattung über den erfolgreichen Einsatz von LED-Technik in der Straßenbeleuchtung;
- die Existenz von Förderprogrammen auf Bundes- oder Landesebene;
- die Fortsetzung von laufenden Modernisierungsprogrammen, die vor allem vor dem Hintergrund des „EU-Verkaufsverbots“ von ineffizienten Quecksilberdampf-Hochdrucklampen ab 2015 überprüft, angepasst oder beschleunigt werden müssen.

In unseren Gesprächen haben wir immer wieder festgestellt, dass Fragen der Stadtbeleuchtung oder gar das negativ besetzte Thema Lichtverschmutzung häufig keine politische Priorität oder Lobby haben. Auf die öffentliche Agenda gelangt das Thema meist nur dann, wenn es um das Sicherheitsempfinden der Bevölkerung oder die Verschönerung des Stadtbildes geht.

Thematisch Interessierte wenden sich dagegen meist mit dem Anliegen der Energie- und Kosteneinsparung sowie Klimaschutz an den NABU. Rund ein Drittel der Anfragen an das Projektteam betrafen zudem gezielt Aspekte der Lichtverschmutzung und der Insektenverträglichkeit von Beleuchtungsanlagen. Während auch im ländlichen Raum ein großes Interesse an moderner, kostengünstiger und funktionaler Beleuchtung überwiegt, entstehen die meisten „Leuchtturmprojekte“ eher in den Ballungsräumen und größeren Städten. Hier dient der Einsatz von Licht zunehmend der gezielten Inszenierung von Urbanität und dem Stadtmarketing.

Vor allem in kleineren Kommunen ist der technische Sachverstand für Betrieb und Modernisierung der Stadtbeleuchtung häufig weitgehend an externe Dienstleister ausgelagert. Daraus entsteht bei Sanierungsentscheidungen eine hohe Abhängigkeit von Empfehlungen des lokalen Energieversorgers oder einzelner Anbieter von Beleuchtungstechnik. Bei den Entscheidungen über Modernisierungsmaßnahmen bleibt zudem oft zu wenig Raum für notwendige Diskussionen über zentrale Fragen einer bedarfsgerechten Auslegung der Stadtbeleuchtung, also wie viel Licht wo in welcher Qualität benötigt wird. Meistens werden lediglich die jeweils gerade anstehenden Einzelmaßnahmen je nach aktueller Haushaltslage beschlossen. Daher mangelt es häufig an inhaltlich begründeten Prioritätensetzungen für die Sanierungsplanung und einer räumlich-funktionalen Differenzierung der Beleuchtungsanforderungen.

Bei der Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen werden qualitative Aspekte wie Blendung, Lichtfarbe und Naturschutz häufig ebenso vernachlässigt wie zusätzliche Einsparpotenziale durch Lichtsteuerung. Wenn dann das Beleuchtungsniveau noch pauschal an die höheren Werte der geltenden Norm DIN 13201 angepasst wird, können die möglichen Energie- und Kosteneinsparungen durch die Bereitstellung von deutlich mehr Licht schnell wieder kompensiert werden. Es ist auch kein Geheimnis, dass kommunale Haushalte oft keine großen Spielräume für investive Maßnahmen aufweisen. Lösungswege über ein so genanntes Energie-Einspar-Contracting bei der Sanierung der Straßenbeleuchtung, die diese Hürden überwinden können, sind nur wenigen bekannt und mangels Erfahrungen gerade in kleineren und mittleren Kommunen mit erheblichen Unsicherheiten in der rechtlichen und praktischen Handhabung verbunden.

3. Wofür sich der NABU einsetzt

Der NABU hat im Rahmen seiner Projektaktivitäten rund um das Thema Stadtbeleuchtung versucht, gemeinsam mit seinen Gruppen und anderen Initiativen vor Ort die Anstrengungen zu bündeln, um die dringend notwendige Sanierung veralteter Techniken und eine kommunale Lichtplanung zunächst auf die politische Agenda und dann in die praktische Umsetzung zu bringen. Einerseits gibt es häufig Vorbehalte und Argumente gegen eine umfassende Modernisierung der Stadtbeleuchtung, vor allem hinsichtlich geeigneter Finanzierungsmodelle. Andererseits können moderne Beleuchtungstechnik und die Gestaltung des öffentlichen Raumes durch ein intelligentes Lichtmanagement Image und Lebensqualität in der jeweiligen Kommune positiv prägen.

Gleichzeitig sollten aus Sicht des NABU die Möglichkeiten zum Erhalt der Dunkelheit in Naturräumen in der Stadt und im Umland sowie für die Reduzierung des Lichteinsatzes in Abhängigkeit von der jeweiligen Nutzung konsequent umgesetzt und genutzt werden. Doch die Realität sieht häufig anders aus: In vielen deutschen Städten herrscht das blanke Lichtchaos! Das Tiefbauamt, die Stadtwerke oder ein anderer Energiedienstleister versuchen mühsam, die funktionale Beleuchtung im öffentlichen Raum an Straßen, Plätzen und Brücken schritt-

weise zu optimieren. Hinzu kommen Architekturbeleuchtungen und Lichtinszenierungen, die weder mit anderen Beleuchtungen im Umfeld abgestimmt sind noch geeignete Lichttechnik einsetzen. Statt lediglich Akzente und Eigenarten des angestrahlten Objektes durch Kontraste zwischen Helligkeit und Dunkelheit effektiv und ästhetisch in Szene zu setzen, werden Fassaden flächenhaft überbeleuchtet. Störlicht strahlt am Objekt vorbei in Wohn- und benachbarte Naturräume sowie in den Nachthimmel.

Weitere Quellen solcher Lichtverschwendung finden sich vor allem im Bereich von Handel und Werbung, in Gewerbe- und Industriearealen oder zunehmend auch bei der privaten Außenbeleuchtung an Wohngebäuden. Diese Überlagerung verschiedener Lichtarten und Mehrfachbeleuchtungen ist nicht nur ineffizient und wegen des hohen Stromverbrauchs besonders kostenintensiv. Sie führt auch zu immer mehr Belästigungen durch Blendung und Störlicht.

Der NABU sieht bisher die besten Voraussetzungen für eine effektive Begrenzung der Lichtverschwendung in der Stadtbeleuchtung auf Ebene der Kommunen gegeben und unterstützt daher die Entwicklung und Umsetzung von so genannten Licht(master)plänen und Beleuchtungskonzepten (vgl. Beiträge von Kardorff, Demme). Mit diesem Instrument können die verschiedenen Anforderungen an die Stadtbeleuchtung untereinander abgewogen und besser integriert werden. Gleichzeitig wird eine qualifizierte Diskussion über erforderliche Beleuchtungsniveaus und Lichtqualitäten ermöglicht. Neben der Beleuchtung von Fassaden, Brücken, Industriearealen, Sport- oder Freizeitanlagen sollten auch Leuchtreklame und temporäre Anlagen (Eventbeleuchtung) einbezogen werden.

Beleuchtungen im öffentlichen Raum müssen dabei eine Vorbildfunktion für den privaten Bereich erfüllen. Gleichzeitig sollten Verfahren zur Bewilligung von Beleuchtungsanlagen eingeführt werden, wenn die nächtliche Situation durch deren Lichtwirkungen wesentlich verändert wird. Im Rahmen der kommunalen Lichtplanung können auch „Dunkelgebiete“ an Gewässern, in Stadtparks, Randgebieten und in der freien Landschaft festgesetzt werden. Für diese ökologisch sensiblen Gebiete können verbindliche Maximalwerte und Zeitkorridore für die Absenkung des Beleuchtungsniveaus bis hin zu einer Komplettabschaltung von Lichtquellen vorgeschrieben werden.

4. Verfügbare Materialien

Zum Projektabschluss hat der NABU verschiedene Empfehlungen und Arbeitshilfen für die Erstellung und Umsetzung von Lichtplanung und Beleuchtungskonzepten auf kommunaler Ebene in Form einer kommentierten Materialsammlung zu Verfügung gestellt. Die verschiedenen Aspekte und Anforderungen an eine „Ökologische Stadtbeleuchtung“ sind unter anderem in einem Flyer und einer ausleihbaren Ausstellung aufbereitet.

Link

www.NABU.de/stadtbeleuchtung

**Schutz der Nacht –
Lichtverschmutzung, Biodiversität
und Nachtlandschaft**

Beispiele guter Praxis

Lichtmasterpläne – der Weg einer Stadt zu besserem Licht

Volker von Kardorff

1. Licht im Wandel

Wir erleben einen dramatischen Wandel von der rein funktionalen Beleuchtung der Straße für Autos hin zu einem Licht für die Menschen im urbanen Raum unter Berücksichtigung der Ökologie. Die Argumente zu einem „noch heller“ sind abzuwägen gegen die ebenso nachvollziehbaren Aspekte des „sehr viel weniger Licht“. Getrieben wird die Diskussion zusätzlich durch die Notwendigkeit, den Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂) zu verringern, und die öffentlichen Ausgaben zu reduzieren. So jung diese Diskussion ist, so unterschiedlich sind die Wege, auf die sich die Städte zu einem besseren Licht begeben. Durch die Tätigkeiten in den Lichtbeiräten der Städte Zürich und Berlin konnte das Lichtplanungsbüro Kardorff Ingenieure unterschiedliche Wege mitverfolgen und aktiv begleiten.

2. Lichtmasterplan Zürich: Plan Lumière

Der Plan Lumière für die Stadt Zürich (vgl. Beitrag Demme) wurde im Jahr 1999 im Auftrag des Amtes für Städtebau und weiterer städtischer Stellen erarbeitet. Das Konzept wurde 2004 genehmigt. Bereits im darauf folgenden Jahr konnten erste Projekte umgesetzt werden.



Abbildung 1: Realisiertes Teilprojekt des Plan Lumière Zürich

Der Tessinerplatz im Enge-Quartier, Zürich. Lichtplanung Priska Meier.

Foto: Juliet Haller, Amt für Städtebau, Zürich

Neben der Strukturierung des Lichts sollte die stadträumliche Lichtqualität verbessert werden. Die Stadt Zürich hat daraufhin Einzelprojekte gestartet, die von freien Lichtplanern in Zu-

sammenarbeit mit dem Elektrizitätswerk Zürich (EWZ) umgesetzt wurden. Die Betreuung, Kontrolle und Nachverfolgung der Lichtprojekte hat die Stadt Zürich vor neue Aufgaben gestellt, bei der sie sich externe Unterstützung durch einen Lichtbeirat gesucht hat. Dieser bereitet Entscheidungen und Stellungnahmen zu den verschiedenen Lichtentwürfen und der Umsetzung von Einzelaspekten des Lichtmasterplanes vor, leitet Lichtbemusterungen und achtet auf die Einbindung des Einzelprojekts in den gesamten Stadtraum.

In regelmäßigen Treffen werden die laufenden Projekte evaluiert und innerhalb des multidisziplinären Beirats gegebenenfalls korrigiert. Neben Vertretern der Elektrizitätswerke Zürich sind dies externe Lichtplaner, Architekten und Vertreter des Grünflächenamtes und der Denkmalpflege. Die Leitung des Beirats obliegt dem Stadtplanungsamt Zürich. Durch die kontinuierliche Betreuung des Lichtbeirates in der Umsetzung des Lichtmasterplanes konnte eine hohe Qualität der umgesetzten Projekte und eine Durchgängigkeit des Lichtkonzeptes gewährleistet werden.

Lichtmasterpläne, deren Umsetzung über viele Jahre oder gar Jahrzehnte angelegt sind, müssen gegebenenfalls eine Korrektur und Anpassung durch neue Erkenntnisse und Stadtentwicklungstendenzen erfahren. Dies erfordert einen offenen und kontroversen Dialog, damit die Entscheidungen nachhaltig sind und auf einem breiten Fundament stehen.

3. Lichtmasterplan Berlin

Im Jahr 2000 ließ die Stadt Berlin einen Lichtmasterplan für die historische Innenstadt vom Brandenburger Tor bis zur Schlossbrücke durch das Büro Kardorff Ingenieure Lichtplanung erstellen (vgl. Beitrag Reich-Schilcher).

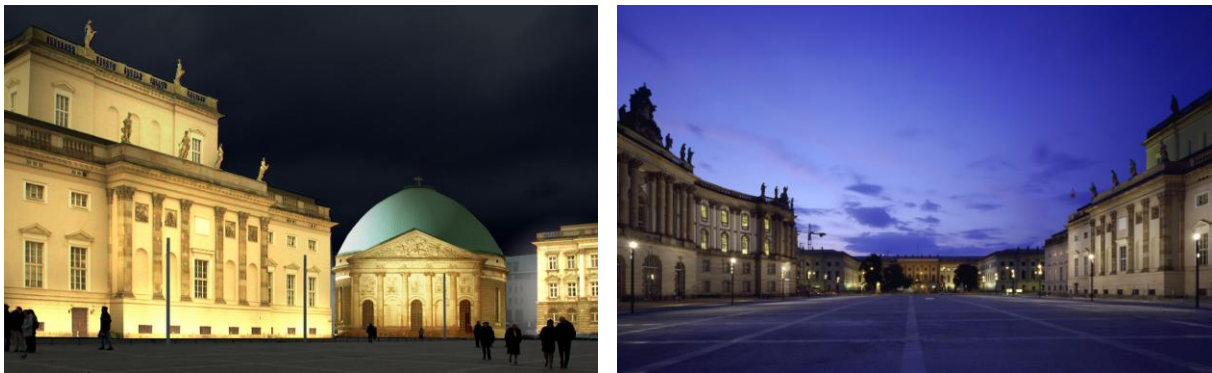


Abbildung 2: Der Bebelplatz in Berlin

Visualisierung der Lichtplanung und Realisierung durch Kardorff Ingenieure Lichtplanung.

Foto: Linus Lintner

Dieser Masterplan wurde in den vergangenen zwölf Jahren nahezu vollständig umgesetzt. Es hat sich gezeigt, dass die Vorgabe einer präzisen Leitlinie für ein begrenztes Stadtgebiet zu einer einheitlichen Umsetzung führen kann. Das einmal gedachte Gesamtbild stellt sich dann nach Jahren auch tatsächlich ein. Die im Masterplan festgelegten Leuchtenpositionen, Lichtpunkthöhen und Lichtfarben hat die Stadt Berlin über diesen langen Zeitraum konsequent eingehalten (Abbildung 3).

Je großflächiger das Gebiet, welches der Lichtmasterplan umfasst, desto weniger detailliert können die Vorgaben ausfallen. Solche ganzheitlichen Masterpläne formulieren das Grundsätzliche und Strukturelle und können keine Lösungen in konkreten Straßenräumen definieren. Um diesem Anspruch dennoch gerecht zu werden, hat die Stadt Berlin einen großange-

legten Masterplan entwickeln lassen, der nicht nur den Sanierungsbedarf und Grundsätze der Beleuchtung in Hinblick auf Lichtfarbe und Beleuchtungsstärken festgelegt hat, sondern eine in Deutschland einmalige Besonderheit aufweist: *Die Stadt Berlin hat sich eine eigene Empfehlung für das Beleuchtungsniveau ihrer Straßen gegeben.*



Abbildung 3: Pariser Platz (links) und Brandenburger Tor (rechts) in Berlin

Beleuchtungskonzept und Umsetzung von Kardorff Ingenieure Lichtplanung.

Fotos: Linus Lintner

Das Lichtplanungsbüro Kardorff Ingenieure hat die Grundlagen für die Lichtniveaus auf Basis einer aufwändigen Analyse der bestehenden Beleuchtungssituation in Berlin erarbeitet, um für Berlin angemessene Lichtniveaus für die Zukunft festzuschreiben. Dies war der entscheidende Hebel, um einer Überbeleuchtung der Stadt Berlin entgegenzutreten und die ehrgeizig gesteckten Ziele für Energieeinsparung überhaupt erfüllen zu können. Es hat sich gezeigt, dass die strenge Übernahme der Beleuchtungsvorgaben aus der EU-Norm in vielen Stadtteilen zu einer Überbeleuchtung geführt hätte.

Es bleibt zu hoffen, dass ein solches Vorgehen auch anderen Städten zum Beispiel wird. So können individuelle Erfahrungen und gewohnte Helligkeiten der eigenen Stadt zur Leitlinie für die Dimensionierung ihrer Leuchten werden.

4. Lichtmasterplan Leipzig

Der Lichtmasterplan der Stadt Leipzig, erstellt im Jahr 1999 durch das Lichtplanungsbüro Dinnebier, wird seit 2011 durch das Lichtplanungsbüro Kardorff Ingenieure evaluiert und fortgeschrieben. Die Stadt Leipzig ist Mitglied im Städteverbund *Lighting Urban Community International* (LUCI), der weltweit Städte verbindet, um sich in Fragen der öffentlichen Beleuchtung auszutauschen und voneinander zu lernen.

In dem EU-Projekt PLUS (*Public Lighting Strategies for Sustainable Urban Spaces*) erarbeiten Leipzig und neun europäische Partnerstädte Lichtmasterpläne und Strategien für ihre zukünftigen Investitionen in die öffentliche Beleuchtung. In einem vorgegebenen Ablauf beginnen die Städte jeweils mit einer quantitativen und qualitativen Analyse ihres Leuchtenbestandes und legen diese nach komplexen Fragestellungen in einem Self-Assessment-Report nieder. In internationalen Lichtforen wird sowohl der Expertenrat der Partnerstädte eingeholt als auch über Lösungsansätze diskutiert. Ergänzt werden sie durch regionale Lichtforen, die eine Integration der stadtspezifischen Aspekte in die Aktionspläne ermöglichen. Das Ergebnis ist ein Aktionsplan, der Detailprojekte benennt, budgetiert und zeitlich einordnet.

Die Prinzipien, nach denen die Projekte ausgewählt und hierarchisiert werden, sind in der LUCI-Charta für besseres urbanes Licht festgeschrieben, die die Stadt Leipzig unterzeichnet hat. Darin sind 15 Punkte genannt, denen die öffentliche Beleuchtung zu entsprechen hat:

1. Sicherung eines gleichberechtigten und freien Zugangs zur Stadtbeleuchtung
2. Schaffung einer sicheren und komfortablen Umgebung
3. Einsatz der Beleuchtung bei der Schaffung einer städtischen und kulturellen Identität unserer Städte
4. Verstärkung der kulturellen und sozialen Identitäten
5. Erhaltung und Schutz des kulturellen Erbes und der historischen Stadtkerne
6. Unterstützung einer umweltfreundlichen Mobilität
7. Verbesserung der lokalen und wirtschaftlichen Entwicklung
8. Optimierung des Energieverbrauchs
9. Optimierung der Energiequellen
10. Optimierung der Betriebsenergie
11. Minimierung der Umweltbelastung bei allen Aspekten des Betriebs und der Produktion
12. Wartung und Qualitätskontrolle
13. Reduzierung der Lichtimmission
14. Gesundheit und Artenreichtum
15. Bewahrung der Dunkelheit des Himmels

Die Punkte der LUCI-Charta können für jede Stadt als Leitlinie dienen, um Projekte in ihrer Auswirkung zu untersuchen und nach ihrer Wichtigkeit und Dringlichkeit zu ordnen.

5. Fazit

Die Erfahrung des Autors mit den Städten Leipzig und Berlin sowie als Mitglied des Lichtbeirats Zürich führen zu der Erkenntnis, dass die Einbindung von externen Wissensträgern bei der Erarbeitung von Lichtmasterplänen hilfreich und beschleunigend wirkt.

Auch wenn die grundsätzlichen Fragestellungen der Städte ähnlich sind, unterscheiden sich die zu ergreifenden Maßnahmen durchaus und müssen individuell erarbeitet werden. Es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft immer mehr beispielhafte Projekte entstehen. Vorbildliche Städte – auch kleine und mittelgroße – ringen bereits heute in einem positiven Wettstreit um Lösungen auf dem Weg zu einem besseren Licht in der Stadt.

Links

www.kardorff.de

www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/staedtebau_u_planung/plan_lumiere.html

www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/beleuchtung/de/karten.shtml

www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/beleuchtung/de/download.shtml

www.leipzig.de/de/buerger/stadtentw/planwerk/

www.luciassociation.org/luci-charter-on-urban-lighting.html

Ins rechte Licht gerückt – Plan Lumière Zürich

Gabriele Demme

1. Von der Vision zum Plan

Im Sommer 1999 reisten zwei Zürcher Gemeinderatskommissionen nach Lyon. Die französische Stadt hatte den Ruf, erfolgreich in die Gestaltung und Beleuchtung des öffentlichen Raums zu investieren. Die Mitglieder waren begeistert von der Wirkung der umgesetzten Beleuchtungsprojekte. Nach ihrer Rückkehr nahm der Gemeinderat die zündende Idee auf und erteilte dem Stadtrat den Auftrag, ein Beleuchtungskonzept zu erarbeiten, damit auch die Stadt Zürich ins rechte Licht gerückt werden kann.

Der Plan Lumière wurde daraufhin im Auftrag des Amtes für Städtebau und weiterer städtischer Amtsstellen vom Planungsbüro Feddersen & Klostermann in enger Zusammenarbeit mit dem Lichtgestalter Roland Jéol erarbeitet. Externe Experten und Fachverbände wurden unterstützend hinzugezogen. Der Stadtrat genehmigte das Konzept im Mai 2004. Im Februar 2005 wurden erste Projekte in Betrieb genommen und im März 2006 bewilligte der Gemeinderat einen Rahmenkredit für weitere Umsetzungen in den darauffolgenden Jahren.

2. Zürichs unterschiedliche Stadtgesichter

Der Lichtplan (Abbildung 1) bildet die Grundlage des Plan Lumière. Er zeigt die Eingriffsgebiete auf, für welche unterschiedliche Beleuchtungsszenarien gelten. Individuelle Lichtprojekte ordnen sich in diesen Gebieten dem Plan Lumière unter. Dem Lichtplan ging eine sorgfältige städtebauliche Analyse voraus. Ziel war es, Hierarchien im Stadtraum zu schaffen und Aufwertungspotenziale zu erkennen. Ergänzend zum Lichtplan beschreibt ein Handbuch die ausgewählten Stadtgebiete und Themen und bietet konkrete Hilfestellungen, da Zürichs unterschiedliche Gesichter auch nachts erlebbar sein sollen (Beispiel Abbildung 2).

3. Grundsätze und Empfehlungen

Ein wichtiges Rückgrat des Plan Lumière bilden die darin formulierten Grundsätze. Sie bieten konkrete Handlungsanweisungen für die Umsetzung von Beleuchtungsprojekten. Die nachfolgende Auswahl einiger dieser Grundsätze zeigt die Vielfalt an Themen und Interessen auf, die berücksichtigt werden:

- mit Licht Stadt gestalten,
- Raum erleuchten statt Leuchten inszenieren,
- Lichtverschmutzung vermeiden,
- neue Technologien prüfen,
- Energieverbrauch niedrig halten,
- Sicherheit gewährleisten,
- mit Privatpersonen und Firmen zusammenarbeiten.

Mit der Formulierung von Grundsätzen und Empfehlungen gibt der Plan Lumière Leitlinien und zeigt auf, mit welchen Maßnahmen ein bewusster und sparsamer Einsatz der künstlichen Beleuchtung erreicht und Lichtemissionen durch unnötig abstrahlendes Licht vermieden werden können. Im konkreten Fall können das generelle Verbote, beispielsweise von Skybeamern oder Hochhausbeleuchtungen sein, saisonale Maßnahmen zum Schutz von Tieren, die Begrenzung der Beleuchtungsdauer oder die Bevorzugung von warmweißen Lichtfarben.



Abbildung 1: Lichtplan der Stadt Zürich. Der Lichtplan zeigt die Eingriffsgebiete auf. Für diese gelten unterschiedliche Beleuchtungsszenarien.

Quelle: Plan Lumière, Amt für Städtebau Stadt Zürich

Plan Lumière Projekte setzen auch gezielt auf neue Technologien, die eine energieeffiziente und emissionsarme Beleuchtung ermöglichen. So konnten bereits mehrere exemplarische Anlagen mit der neuen Lichtprojektions-Technologie (vgl. Beitrag Lang zur Außenbeleuchtung) ausgeführt werden. Auch für die Sanierung bestehender Anlagen wurde diese Technologie erfolgreich eingesetzt (Abbildung 3).

4. Qualität bis ins Detail

Um die im Plan Lumière formulierten Ziele zu erreichen, ist in der Umsetzung eine kontinuierliche Qualitätskontrolle nötig. Der Beirat Plan Lumière, ein Kollegium aus städtischen und externen Fachexpertinnen und -experten berät und unterstützt den Steuerungsausschuss und die Projektteams in ihrer Arbeit (vgl. Beitrag von Kardorff). Ein weiteres Instrument der Qualitätssicherung ist die Bewilligungspflicht. Die Beleuchtung von Bauten und Anlagen bedarf

einer Bewilligung, wenn die nächtliche Situation durch die Lichtwirkung umgestaltet wird, Veränderungen an Bauten oder neue Bauten wie beispielsweise Beleuchtungsmasten vorgesehen sind. Dies gilt bei privaten wie auch bei öffentlichen Projekten.



Abbildung 2: Viaduktbögen in Zürich bei Nacht. Mit dem Ausbau der Viaduktbögen durch Gewerbebauten sind nun auch die Untersichten des städtebaulich markanten Bahnviadukts angeleuchtet. Die lichtgestalterische Inszenierung verleiht den Viaduktbögen einen attraktiven nächtlichen Auftritt und stärkt die Orientierung und das Sicherheitsgefühl im öffentlichen Raum.

Foto: Amt für Städtebau Zürich, Juliet Haller

Im Bewilligungsverfahren wird die Vereinbarkeit des Projekts mit den Bau- und Umweltschutzvorschriften geprüft. Überprüft werden unter anderem auch die Umweltverträglichkeit, die Lichtemissionen, der Energieverbrauch und die tägliche Beleuchtungsdauer. Aufgrund des Plan Lumière ist auch eine Beurteilung der Gesamtwirkung und Einordnung innerhalb des Gesamtkonzepts möglich. In Gebieten, in denen keine zusätzliche Beleuchtung vorgesehen ist, kann unter Umständen eine Bewilligung verweigert werden. Beleuchtungsanlagen zu Reklamezwecken erfahren ein spezielles Bewilligungsverfahren. Die Vorschriften in Bezug auf Größe und Helligkeit der Anlage müssen eingehalten werden.

5. Ausblick

Der Plan Lumière der Stadt Zürich trägt dazu bei, dass der öffentliche Raum nachts sicherer und attraktiver wird. Das Gesamtkonzept regelt erstmals stadtübergreifend den Umgang mit künstlichem Licht und thematisiert den Schutz der Dunkelheit. Nicht „mehr Licht“ sondern „anderes Licht“ heißt die Devise der Umsetzung. Dabei werden verschiedene Interessen unterstützt und ökologische Aspekte berücksichtigt. Die Umweltverträglichkeit und der schonende Umgang mit Energieressourcen werden ernst genommen und bei der Beurteilung von Anträgen für Beleuchtungsprojekte mit einbezogen.



Abbildung 3: Projektionsbeleuchtung der reformierten Kirche in Zürich Wipkingen. Bei der reformierten Kirche in Zürich Wipkingen wurde die bestehende Flutlichtanlage durch eine Projektionsbeleuchtung ersetzt. Damit wurde nicht nur eine markante Einsparung von Betriebsenergie erreicht, sondern zusätzlich auch Blendung und Lichtverschmutzung eliminiert.

Foto: opticalight GmbH, Zürich

Seit im Jahr 2005 die Umsetzung des Plan Lumière startete, konnten verteilt über das ganze Stadtgebiet zahlreiche Anlagen in Betrieb genommen oder mit einer Sanierung auf den aktuellen technischen Stand gebracht werden. Nicht nur die Stadt, sondern auch Unternehmen und Privatpersonen haben einen Beitrag zur erfolgreichen Realisierung des Plan Lumière geleistet. Weitere Projekte sind in Planung und werden in Zukunft Zürichs nächtliches Erscheinungsbild prägen.

Link

Plan Lumière Zürich: www.stadt-zuerich.ch/plan-lumiere

Berliner Stadtbeleuchtung

Claudia Reich-Schilcher

Seit über 300 Jahren prägt die Straßenbeleuchtung das Berliner Stadtbild. Markante Straßenzüge wurden mit repräsentativen Leuchten ausgestaltet, Stadtgebiete durch die Ausstattung mit besonderen Leuchten als Quartier charakterisiert. Platzanlagen wurden durch Beleuchtung und Anstrahlen der angrenzenden oder darauf befindlichen Bauwerke inszeniert und aus dem Stadtgefüge hervorgehoben.

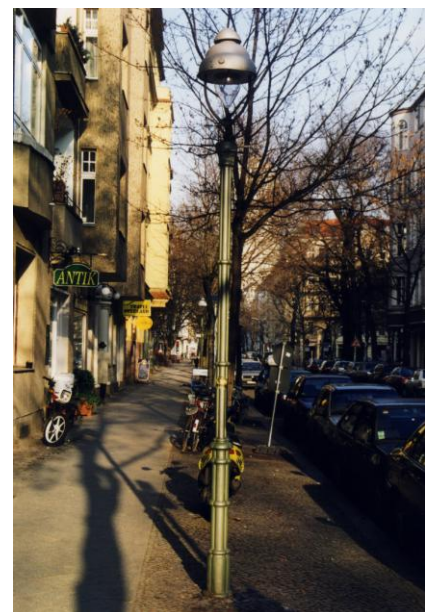
Diese Tradition zu erhalten, zu pflegen und weiterzuentwickeln war einer der Schwerpunkte bei der Erarbeitung des Lichtkonzepts für Berlin. Die Arbeit daran begann im Jahr 2008. Unter Leitung von Senatsbaudirektorin Regula Lüscher wurden alle Grundsätze der öffentlichen Beleuchtung in Berlin zusammen mit einem aus sechs Personen bestehenden Lichtbeirat, unter Hinzuziehung zahlreicher weiterer Experten, diskutiert und festgelegt.

1. Entwicklung der Berliner Straßenbeleuchtung

Im zweiten Weltkrieg wurden 80 Prozent der Berliner Straßenbeleuchtung zerstört, darunter viele formschöne und repräsentative, mehrarmige Kandelaber. Da die finanziellen Mittel sowie die technischen und fachlichen Voraussetzungen fehlten, war eine originalgetreue Rekonstruktion nicht möglich. Außerdem widersprach eine aufwändige Wiederherstellung dem damals vorherrschenden Zeitgeist. Die Straßenbeleuchtung wurde in den ersten Nachkriegsjahrzehnten auf wenige Typen reduziert und formal sachlich im Stil der 50er und 60er Jahre gestaltet.

Vor allem an Schnell- und Ausfallstraßen wurde die Beleuchtung vorrangig unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit und der Kostenreduzierung gestaltet. Durch hohe Lichtpunkthöhen konnte die Leuchtenanzahl reduziert werden. Einen besonderen Stellenwert unter den reinen Verkehrsleuchten nimmt die nach einem Entwurf des von 1960 bis 1966 amtierenden Senatsbaudirektors Werner Düttmann gestaltete *Langfeldleuchte* ein. Sie setzt die geschwungene Form des Peitschenmastes, an dem sie angebracht wurde, in einem eleganten Bogen fort. Die sachlich elegante Formsprache der Peitschenmaste prägt noch heute das Bild bedeutender Verkehrsstraßen. Das warmweiße Licht der Leuchtstoffröhren wird wegen der gleichmäßigen Lichtverteilung und der guten Sichtverhältnisse geschätzt. Dieser Leuchtentyp soll langfristig erhalten und technisch weiterentwickelt werden (Quelle Bilder: Reich-Schilcher).

Während im Westteil Berlins das Netz der Gas-Straßenbeleuchtung in Wohn- und Wohnsammelstraßen instandgesetzt und mit moderner Technik ertüchtigt wurde, fand im Ostteil der Stadt eine Umstellung auf Stromenergie statt. Die gasbetriebene, vierflämmige *Bamag-U7-Leuchte*, mit ihrem Dach aus Aluminiumblech, ist mit einer Anzahl von etwa 30.000 die im ehemaligen Westberlin am weitesten verbreitete Leuchte. Sie ersetzte die in den 30er Jahren



entworfene zweiflammige Modellleuchte und gehört zum Stadtbild der im 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts entstandenen Siedlungs- und Wohnquartiere. Aus energetischen und ökonomischen Gründen ist längerfristig der Austausch durch Strom betriebene Leuchten geplant. Lediglich in ausgewählten Denkmalbereichen soll die Leuchte im Originalzustand erhalten bleiben.

Einen vergleichbaren Verbreitungsgrad im ehemaligen Ost-Berlin hat die Rippenglas-Straßen-Leuchte (RS-Leuchte) mit etwa 27.000 Stück. Der nach unten offene Leuchtenkopf ist wartungsintensiv und überwiegend in technisch desolatem Zustand. In den seit den 1950er Jahren entstandenen Siedlungsgebieten wird dieser Leuchtentyp mit moderner Technik ausgestattet erhalten bleiben.



2. Berliner Lichtkonzept

Das Stadtbild und die Lebensqualität in Städten werden wesentlich von den öffentlichen Räumen und deren Erscheinungsbild insbesondere auch durch die Anmutung bei Nacht geprägt. Für die Unverwechselbarkeit und Einzigartigkeit einer Stadt spielen gerade das Nachtbild und die Lichtatmosphäre eine entscheidende Rolle und dies sowohl für Bewohner und Bewohnerinnen als auch für Touristen. Daher haben viele Städte Lichtkonzepte erarbeitet. So auch Berlin (vgl. Beitrag von Kardorff).

Auch wenn die Beleuchtung der Straßen und Plätze vorrangig der Sicherheit und Orientierung dient, werden das Stadtbild und die Atmosphäre der Stadträume bei Dunkelheit in hohem Maß von der öffentlichen Beleuchtung geprägt. Dazu zählt auch das Anstrahlen bedeutender Bauwerke und Denkmale. Anlass für das Lichtkonzept war die Modernisierung des überalterten Leuchtenbestandes. Damit kann nicht nur die Umwelt geschont, sondern es können auch im beträchtlichen Maße Energie und Kosten eingespart werden.

Um zu neuen Grundsätzen und Vorgaben für die öffentliche Beleuchtung zu kommen, wurde im Jahr 2008 ein Lichtbeirat eingerichtet mit dem Ziel, in regelmäßigen Sitzungen zusammen mit weiteren Experten die Erarbeitung des Lichtkonzeptes kompetent und fachlich breit abgestützt zu begleiten. Das im Februar 2011 erlassene Berliner Lichtkonzept ist wegweisend in seiner Art, da es neue Wege geht, um die Ansprüche an Lichtintensität, Sicherheit, Energieeffizienz, Umweltgerechtigkeit und schöner Lichtstimmung zusammenzuführen.

Das Lichtkonzept legt die städtebaulich relevanten Parameter fest, die Entwicklung der Leuchtenbestände und der Anstrahlungen. Zentraler Bestandteil ist das Aufzeigen von Orten besonderer Lichtbedeutung. So werden Straßen und Plätze, touristisch bedeutsame Bauwerke und Orte, die das Stadtbild Berlins prägen, bezeichnet.

Einige gute Beispiele nächtlicher Lichtakzentuierung konnten bereits ausgeführt werden (vgl. Beitrag von Kardorff), viele weitere sollen in den nächsten Jahren folgen, um die Stadt auch nachts erstrahlen zu lassen, jedoch umweltgerecht und energiesparend.

Das Lichtkonzept ist Grundlage und verbindliche Vorgabe für alle Lichtplanungen in den öffentlich gewidmeten Straßen und Plätzen der Stadt. Seine Anwendung wird einen Beitrag zur Reduzierung der Lichtverschmutzung leisten und dabei helfen, die Attraktivität des Stadtbildes von Berlin zu steigern.

Grenzüberschreitende Lichtplanung – Plan Lumière beider Rheinfelden

Ekkehart Lindner

1. Der Anlass

Grenzüberschreitende Zusammenarbeit zweier Kommunen hat immer experimentellen Charakter. Insbesondere dann, wenn nur eine dieser Kommunen der Europäischen Union angehört. Öffentlichkeitswirksame Projekte, die einerseits genügend individuellen Spielräume lassen und andererseits ein hohes Aufmerksamkeitspotenzial beinhalten, bieten sich für eine gemeinsame Stadtentwicklung geradezu an. Den konkreten Anlass für die Initiierung eines solchen Projektes fanden die Stadtoberhäupter von Rheinfelden/Baden und Rheinfelden/Schweiz mit der Schließung der beide Rheinfelden verbindenden Rheinbrücke für den motorisierten Individualverkehr und dem bevorstehenden 100-jährigen Brückenjubiläum. Diese Brücke war die ideale Metapher für eine grenzüberschreitende Zusammenarbeit. Da die Brückenbeleuchtung erneuert und die Brücke mittelfristig lichttechnisch in Szene gesetzt werden sollte, lag es nahe, das Thema Licht zum Projekt zu machen.

2. Das Procedere

Anfang des Jahres 2008 wurde die Lichtplanerin Priska Meier aus Turgi in der Schweiz aufgefordert, ein Angebot für ein Beleuchtungskonzept beider Rheinfelden abzugeben. Im Hinterkopf die effektvolle Beleuchtung der Rheinbrücke, erhielt der Projektbegriff „Plan Lumière“ die nötige Strahlkraft. Als Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit der Stadtverwaltungen unter Einbeziehung von externen Interessensvertretern und nach zahlreichen Workshops wurde Ende 2009 das Beleuchtungskonzept beider Rheinfelden im Gemeinderat von Rheinfelden/Schweiz beschlossen und im Ausschuss für Stadtentwicklung und Wirtschaftsförderung in Rheinfelden/Baden zustimmend zur Kenntnis genommen.

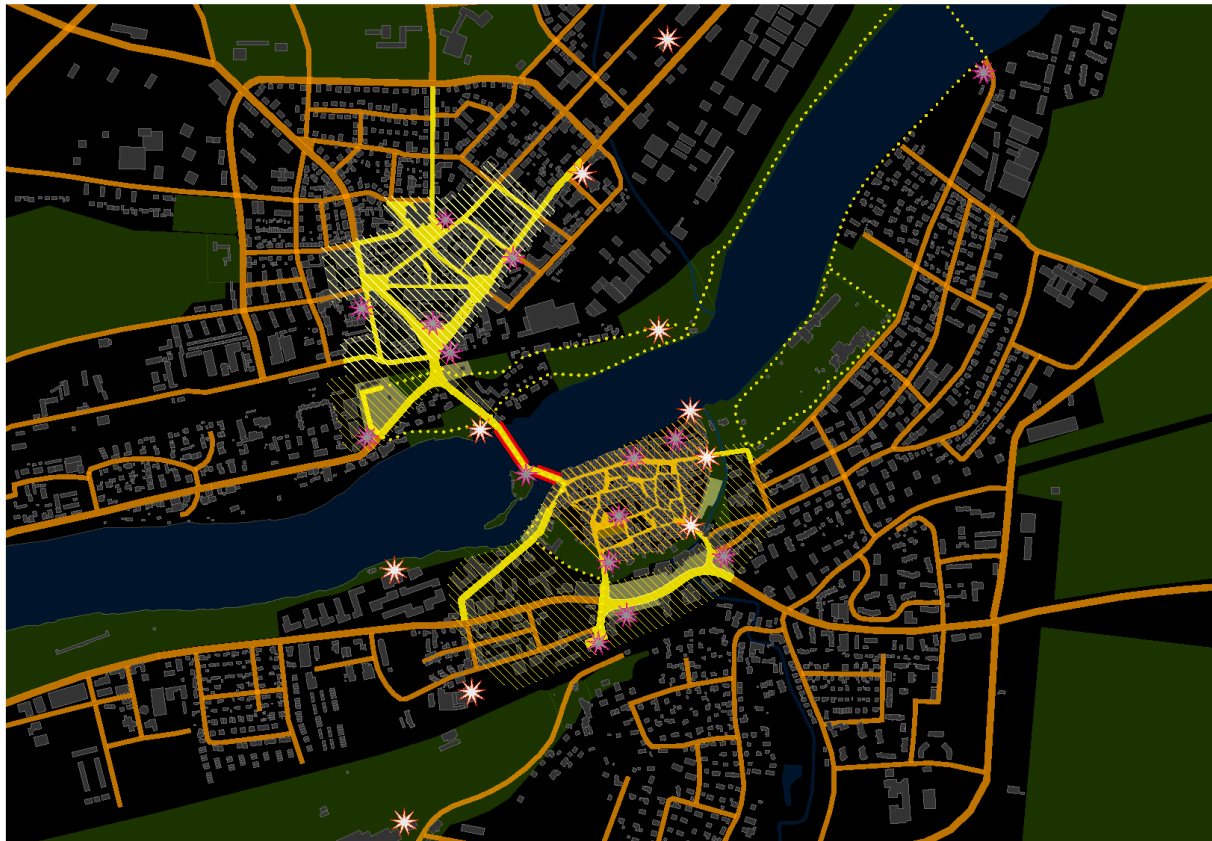
3. Das Ziel

Aufbauend auf modulartigen Projektierungs- und Realisierungsschritten wollen beide Rheinfelden in Zukunft die Beleuchtung im Außenraum bewusster gestalten, um die unverwechselbaren Stadtcharaktere auch nachts erlebbar und einen zusammenhängenden Stadtraum besser wahrnehmbar zu machen. Unter Einbeziehung ökonomischer, ökologischer, sicherheitstechnischer und gestalterischer Anforderungen soll der Plan Lumière beiden Städten als verbindliche Grundlage dienen, um Planungs- und Investitionsentscheidungen im Bereich Beleuchtung prinzipiell abzuleiten. Neben der Straßenbeleuchtung der Rheinbrücke kam der Plan Lumière in Rheinfelden/Baden vor allem im Ersatz alter Leuchtmittel durch LED-Leuchten zur Anwendung.

4. Die Konzeptbestandteile

Das Beleuchtungskonzept besteht aus vier unabhängig voneinander zu betrachtenden Teilen:

- verkehrstechnische Beleuchtung des Straßennetzes;
- Hervorhebung beider Innenstädte inklusive Steuerung der Fassaden- und Schaufensterbeleuchtung insbesondere in der Adventszeit;
- lichttechnische Absicherung der grenzüberschreitenden Hauptfußwege;
- Akzentbeleuchtung von städtebaulichen Merkzeichen mit Lokal- und Fernwirkung.



Plan Lumière Beleuchtungskonzept beider Rheinfelden, Stand 03.07.2009

Mst. ca. 1 : 5000 / Planformat A2

Abbildung 1: Plan Lumière – Beleuchtungskonzept beider Rheinfelden

Quelle: Stadt Rheinfelden (Baden)

Die Abbildung zeigt das Gesamtkonzept. Rotbraun gekennzeichnet ist das Haupt- und Nebenstraßennetz beider Rheinfelden. Hiervon orange abgesetzt ist das schweizerische innerstädtische Straßennetz und gelb abgesetzt das deutsche innerstädtische Straßennetz. Die Innenstadtbereiche sind auf schweizerischer Seite orange und auf deutscher Seite gelb schraffiert. Hiervon abgesetzt sind die jeweiligen mittelfristigen Planungszonen durch eine dünnere Schraffur. Der grenzüberschreitende Rheinferrundweg ist als gelb gepunktete Linie markiert. Die Sterne stellen die Akzentbeleuchtung dar, wobei die weiß hinterlegten Sterne die fernwirksamen und die grau hinterlegten Sterne die lokal wirksamen Akzente hervorheben.

Straßennetz

Da bei Nacht die Orientierung im Außenraum viel schwieriger ist als bei Tageslicht, soll die Straßenhierarchie gefühlsmäßig auch über die Beleuchtung ablesbar sein. Angestrebt wird ein harmonisches Gesamtbild beider nächtlicher Rheinfelden mit einem ortsspezifischen, jedoch einheitlichen Leuchtensortiment, welches die Lichtwirkung und nicht das Leuchtendesign zum Prinzip erhebt. Hierbei ist die Energieeffizienz unter Berücksichtigung des Sicherheitsaspektes besonders hervorzuheben.

Der Plan Lumière fordert insbesondere, die Lichtabstrahlung nach oben zu vermeiden, die Lichtfarben zu vereinheitlichen, die Anzahl der Leuchtentypen zu beschränken, die Anzahl der Lichtpunkte und die Lichtpunkthöhe den Straßenbreiten und -funktionen anzupassen und eine Nachtabenkung vorzunehmen.

Die Fokussierung auf die Lichtwirkung ist vor dem Hintergrund der unterschiedlichen rechtlichen Anforderungen an die Straßenbeleuchtung in Deutschland und der Schweiz der ideale gemeinsame Nenner für eine grenzüberschreitende Gemeinsamkeit.

Innenstädte

Die Innenstadt von Rheinfelden/Baden und die Altstadt von Rheinfelden/Schweiz sollen in ihrem individuellen Charakter auch nachts deutlich erkennbar sein. Licht als Teil des Stadtmarketings soll zwar wahrnehmbar, aber trotzdem nur bewusst und zurückhaltend eingesetzt werden. Damit hat hier auch das Leuchtendesign seine unterstützende Funktion. Der Plan Lumière fordert insbesondere für die deutsche Innenstadt freistehende Mastleuchten mit einer bestimmten Lichtpunkthöhe und einer warmweißen Lichtfarbe (3.000 Kelvin) einzusetzen und die Anzahl der Leuchtentypen zu beschränken.

Für die Schweizer Altstadt fordert er insbesondere, den bestehenden Mix aus freistehenden Altstadtlaternen und Wandleuchten weiterzuentwickeln, auf eine warmweiße Lichtfarbe (2.800 Kelvin) mit besserer Abblendung umzurüsten, Haupt- und Nebengassen im Beleuchtungsniveau zu differenzieren und die Tiefenwirkung der Gassen durch Beleuchtung der Fassaden am Gassenende zu verbessern.

Die zunehmende Lichtvermüllung sowohl im privatwirtschaftlichen als auch privaten Bereich, wie beispielsweise Lichtinstallationen in der Adventszeit in Schaufenstern oder Vorgärten, soll reduziert werden. Bei größeren privaten Anlagen und Überbauungen soll eine Public-Private-Partnership angestrebt werden, zum Beispiel indem die Stadt ein Beleuchtungskonzept für den Außenraum nach den Kriterien des Plan Lumière je nach Situation verlangt, fördert oder mitfinanziert.

Rheinuferrundweg

Der beide Rheinfelden verknüpfende Rheinuferrundweg ist der zentrale Verbindungs- und Freizeitweg für Fußgänger und Radfahrer. Als Projekt der Internationalen Bauausstellung IBA Basel 2020 soll er gebührend in Szene gesetzt werden. Ein Thema hierbei ist die Installation einer angemessenen Beleuchtung. Neben ökologischen und Sicherheitsaspekten spielt der Umgang mit Vandalismus eine große Rolle. Der Plan Lumière fordert insbesondere eine an die Örtlichkeit angepasste Lichtpunkthöhe und Leuchtenanzahl, situationsangepasste Betriebszeiten und eine warmweiße Lichtfarbe (3.000 Kelvin). Im Plan sind die angesprochenen Wege mit einer gelben, gepunkteten Linie gekennzeichnet (Abbildung 1).

Akzentbeleuchtung

Die jeweils am anderen Rheinufer gelegene Stadt soll durch „Akzentbeleuchtung mit Fernwirkung“ und durch „Akzentbeleuchtung mit Lokalwirkung“ auch aus der Distanz interessant und attraktiv wahrgenommen werden, so dass Touristen, Kurgäste sowie Einheimische motiviert werden, beide Städte auch bei Nacht zu erkunden. Die Beschränkung auf die wichtigsten Objekte und die ausgewogene Berücksichtigung der beiden sehr unterschiedlichen Städte unter Einbeziehung bereits bestehender Beleuchtungen war hierbei die Hauptschwierigkeit. Im Plan sind die Akzentbeleuchtungen mit Fernwirkung als weiße Sterne und die Akzentbeleuchtungen mit Lokalwirkung als graue Sterne dargestellt (Abbildung 1).

5. Das Fazit

Der Willen beider Rheinfelden, sich lichttechnisch anzunähern, war Vorbild für weitere grenzüberschreitende Experimente, zum Beispiel im Kulturbereich. Leider bremsen die finan-

Grenzüberschreitende Lichtplanung – Plan Lumière beider Rheinfelden

ziellen Investitionsmöglichkeiten und der eingeschliffene Verwaltungsalltag die konsequente und kontinuierliche Umsetzung und Fortentwicklung des Plan Lumière beider Rheinfelden.

Literatur

Bauverwaltung Rheinfelden/CH und Stadtverwaltung Rheinfelden (Baden) (2007): Plan Lumière – Beleuchtungskonzept beider Rheinfelden. Stand 03.07.2009. Bearbeitung: Priska Meier Lichtkonzepte.

Umweltfreundliche und effiziente öffentliche Beleuchtung in Augsburg

Sándor Isépy

1. Die Fragestellung

Häufig wird nach einer Faustregel gefragt: Wie viel Geld soll für umweltfreundliche und effiziente Beleuchtung verwendet werden? Die Antwort ist zielorientiert: Alle Ressourcen, die für Erneuerung, Bau und Unterhalt der öffentlichen Beleuchtung zur Verfügung stehen, werden für umweltschonende und gleichzeitig wirtschaftliche Beleuchtungslösungen eingesetzt. Die Pflichtaufgabe der Gemeinde bezüglich nächtlicher Aufhellung mit den *wirtschaftlichsten Mitteln* zu erfüllen und mit den Belangen des *Umweltschutzes* in Einklang zu bringen, ist die anspruchsvolle Zielsetzung der Verantwortlichen für die öffentliche Beleuchtung.

Die langfristige und nachhaltige Wirtschaftlichkeit ist der Dreh- und Angelpunkt bei der umweltorientierten Optimierung der öffentlichen Beleuchtung. Es wird nicht unterschieden zwischen „Normalausführungen“, also weniger umweltfreundlichen aber wirtschaftlichen Anlagen und „anspruchsvollen Exklusivlösungen für umweltsensitive Feinschmecker“, die eventuell nicht ganz so wirtschaftlich sein müssen.

Die optimierten Lösungen müssen flächendeckend eingesetzt werden. Wirklich umweltschonende Beleuchtungslösungen umfassen alle Bereiche der öffentlichen Beleuchtung: Planung, Auswahl der verwendeten Leuchten und Leuchtmittel, aber auch die bedarfsgerechte Regelung der Betriebszeit und der angeschlossenen Leistung. Eine Grundlage und Voraussetzung der Verwirklichung von umweltschonenden Beleuchtungslösungen ist eine respektvolle Haltung gegenüber der Natur und die Anerkennung ihrer Gesetze.

2. Das Hauptproblem

Seit Jahrzehnten gibt es die technischen Mittel, um umweltschonende Beleuchtungsanlagen zu errichten. In unseren Tagen hat die LED ihren Siegeszug auch in der Außenbeleuchtung begonnen. Schon vor vierzig Jahren war es möglich, Natriumdampf-Hochdrucklampen als Standardlösung einzuplanen. Und wie sieht die Wirklichkeit heute aus?

In Deutschland sind immer noch etwa ein Drittel der Straßenbeleuchtungsanlagen mit Quecksilberdampf-Hochdrucklampen bestückt, die bekanntlich etwa 25 Prozent mehr Energie verbrauchen als die Natriumdampf-Hochdrucklampen. Und was noch spannender ist: Je effizienter die Lichtquellen werden, desto mehr Licht erfüllt unsere öffentlichen Plätze und Straßen. Tabelle 1 enthält abgerundete Werte über die Entwicklung von Parametern in Augsburg innerhalb der letzten drei Jahrzehnte, die für die öffentliche Beleuchtung einer Großstadt charakteristisch sind.

Gesamtlichtstrom [lm]	angeschlossene Leistung [kW]	Lichtausbeute [lm/W]	Energieverbrauch [kWh]	Anzahl der Leuchten	Straßenlänge [km]
Wachstum 1981-2011					
120%	60%	40%	25%	70%	50%

Tabelle 1: Entwicklung verschiedener Parameter der öffentlichen Beleuchtung in Augsburg in den Jahren 1981 bis 2011

Quelle: eigene Daten Stadt Augsburg, Tiefbauamt

In den letzten 30 Jahren erhöhte sich die Anzahl der Leuchten um 70 Prozent. Die angeschlossene elektrische Leistung wuchs um 60 Prozent, der Stromverbrauch aber nur um 25 Prozent, da wirtschaftliche Lichtquellen wie die Natriumdampf-Hochdrucklampen eingesetzt werden konnten, und das Beleuchtungsniveau der Straßenbeleuchtung stufenweise geregelt wird. Eine der Folgen der technischen Entwicklung ist, dass der für die Beleuchtung der öffentlichen Verkehrsflächen zur Verfügung stehende Lichtstrom in diesem Zeitraum sogar um 120 Prozent größer geworden ist.

Selbstverständlich hat die höhere Lichtmenge auch mit der ständigen Zunahme der Verkehrsdichte und mit dem erhöhten Sicherheitsbedarf zu tun. Und gerade die technischen Möglichkeiten der immer genaueren Lichtregelung ebnen den Weg, die vorhandene Lichtmenge bedarfsgerecht und nur kurzzeitig einzusetzen. Die Zahlen weisen aber darauf hin, dass die Störung durch übermäßige Beleuchtung ein Problem unseres eigentlich außerordentlich effizienten Zeitalters ist: Wir werden immer wirtschaftlicher und effektiver, und doch verbrauchen wir immer mehr Energie. Und leider gehen wir mit der Verwendung des künstlichen Lichts im Außenbereich nicht selten verschwenderisch, ja maßlos um.

Weshalb fällt es uns so schwer, im Besitz der modernsten Technik diese Schieflage zu beseitigen? Es handelt sich weniger um ein technisches Problem. Wirksame umweltschonende Beleuchtungslösungen werden meist dort eingesetzt, wo es den Verantwortlichen gelingt, einen maßvollen und sensiblen Ausgleich zwischen den sicherheits- und umweltrelevanten Verpflichtungen der Kommune und den Wirtschaftsinteressen der beteiligten Unternehmen herbeizuführen.

3. Die technischen Möglichkeiten und ihre Grenzen

Bei der *Planung* von neuen Straßenbeleuchtungsanlagen ist es möglich, mit Hilfe der entsprechenden Software die vorgeschriebenen lichttechnischen Gütemerkmale nach der europäischen Norm DIN EN 13201 mit optimierter geometrischer Anordnung und elektrischer Leistung zu erreichen. Die einmal errichtete Straßenbeleuchtungsanlage wird voraussichtlich mehrere Jahrzehnte in Betrieb bleiben (müssen). Daher gilt es, auf langfristige Folgen der gewählten Lösungen zu achten.

Es dürfen ausschließlich *lichttechnisch hochwertige Leuchten* mit optimierten Lichtlenkungssystemen und Blendungsbegrenzung, die eine effiziente Lichtverteilung ermöglichen, installiert werden. Flache Wannen und eine Leuchtenkonstruktion, die keinen Lichtaustritt nach oben erlaubt, sollten zur Standardlösung gehören. Bei der Auswahl der Leuchtmittel gilt es, *warmweiße Lichtfarbe* (etwa 3.000 Kelvin) zu bevorzugen. Die LEDs, die Licht emittierenden Dioden, erobern immer mehr Bereiche der Lichttechnik. Auch die Zukunft der öffentlichen Beleuchtung wird durch diese innovative und immer noch in der intensiven Entwicklungsphase befindliche Lichtquelle geprägt. Die LED-Technik bietet folgende Vorteile:

- *Lebensdauer* der LED-Lichtquellen von etwa zehn Jahren. Die herkömmliche Technik kann maximal vier bis sechs Jahre erreichen.
- Neue Möglichkeiten bei der *Lichtverteilung*: Gezielt ausgerichtete LEDs mit sehr kleiner Abmessung können ausreichende Gleichmäßigkeit sichern.
- LEDs enthalten *kein Quecksilber*.
- Es ist eine problemlose elektronische *Dimmung* zwischen null und 100 Prozent möglich.
- Gute *ökologische Eigenschaften*: Warmweiße LEDs ziehen besonders wenig nachtaktive Insekten an (Eisenbeis und Eick 2011).

In Augsburg wurden in allen möglichen Einsatzbereichen der Straßenbeleuchtung LED-Musterleuchten oder Versuchsanlagen errichtet: auf autobahnähnlicher zweispuriger Verkehrsstraße, auf Sammelstraßen, in Wohngebieten, als Gehwegbeleuchtung und innerstädti-

sche Platzbeleuchtung. Auch ehemalige Gaslaternen wurden auf LED umgerüstet. Mit den laufenden Versuchen wird die flächendeckende Einführung der LED-Technik vorbereitet. Die bisherigen Erfahrungen weisen auf einen *Entwicklungsbedarf* hin, dessen wichtigste Kriterien die folgenden Bereiche betreffen:

- *Temperaturempfindlichkeit* des Lichtstromes; Optimierung der Kühlung, dadurch Stabilisierung des Lichtstroms bzw. Verlängerung der Lebensdauer;
- *Effizienz* des Gesamtsystems, insbesondere die Lichtausbeute der warmweißen LEDs soll erhöht werden;
- Weiterentwicklung von *austauschbaren LED-Einsätzen*;
- *Standardisierung*, um die Vergleichbarkeit diverser Systeme zu ermöglichen;
- Optimierung der *Lichtverteilung* und der Blendung;
- Herstellung von *elektronischen Betriebsgeräten* mit einer Lebensdauer von mehr als zehn Jahren;
- wesentlich niedrigere *Anschaffungskosten*.

Zur Änderung der angeschlossenen Leistung stehen die folgenden Möglichkeiten zur Verfügung: Die *Halbnachtschaltung* bedeutet eine 50-prozentige Ersparnis durch Abschaltung einer Lampe in zweiflammigen Leuchten zu fest programmierten Zeitpunkten. Danach wird die Leistung der noch weiter brennenden Lampe in den Nachtstunden meistens in zwei Stufen um weitere zehn bis 30 Prozent reduziert. Die *Reduzierschaltung* wird in einflammigen Leuchten eingesetzt: Mit Hilfe eines in der Leuchte installierten Gerätes wird die angeschlossene Leistung der Lampe reduziert. Zentrale *Lichtsteuergeräte* können die Leistung ganzer Straßenzüge zu verkehrsarmen Zeiten bedarfsgerecht regeln. Mit *Lichtmanagementsystemen* können auch die einzelnen Leuchten über das Internet von einer zentralen Leitstelle, aber auch von beliebigem Standort aus kontrolliert und bedarfsgerecht geschaltet und gesteuert werden. Wenn alle Sparstufen wirken, können etwa 35 bis 40 Prozent der angeschlossenen Leistung außer Betrieb genommen werden.

Weiteres Sparpotenzial kann durch die *bedarfsgerechte Änderung der Betriebszeiten* erschlossen werden. Die Optimierung der Dauer der oben beschriebenen Leistungsreduzierungen bestimmt den erreichbaren Spareffekt des gesamten Betriebs. Die tägliche Absenkung des Beleuchtungsniveaus läuft in mehreren Schritten zwischen 19:45 Uhr und 24:00 Uhr ab. Bei der Ein- und Ausschaltung der öffentlichen Beleuchtung wird auch zwischen den Stadtteilen mit überwiegend niedriger Bebauung und Wohnstraßen mit hoher Bebauung und engen Straßen unterschieden. Im Sommer sowie samstags und sonntags früh, wird nur die Sparstufe eingeschaltet.

4. „Mehr Licht!“

Die überwiegende Mehrheit der Bürgeranfragen in Augsburg ist auf mehr Licht und dadurch auf mehr Sicherheit gerichtet. Die wenigen Sparwünsche richten sich fast ohne Ausnahme auf Straßen und Wege, die durch die Antragsteller selbst nicht oder eher selten benutzt werden. Daher ist die Aufgabe der Verantwortlichen, sich um Aufklärung des Sachverhalts und insbesondere um Ausgleich zu bemühen. In fast allen Stadtteilen gibt es hilfsbereite Partner – aktive Bürger, Vereine, Polizei usw. –, die aktuelle Beobachtungen oder Mängel an der öffentlichen Beleuchtung aus Sicht der dortigen Anwohner melden. Aufgrund dieser vielschichtigen Zusammenarbeit entstehen konstruktive lichttechnische Lösungen, die Umwelt- und Sicherheitsaspekte nach Möglichkeit in Einklang bringen.

So können meistens auch individuelle Anfragen aufgrund von *Lichtimmissionen* in Wohnungen, Schlafzimmern oder Gärten konstruktiv gelöst werden. Anträge von Bürgern oder Schulen, die aus dem Stadtbereich astronomische Beobachtungen durchführen wollen und sich

dabei eine möglichst geringe Lichteinwirkung durch die öffentliche Beleuchtung wünschen, können durch den Einsatz von Lichtquellen mit warmweißer oder gelblicher Lichtfarbe und durch die Verwendung von intensiven Entblendungstechniken erfüllt werden.

5. Das rechte Maß

Bei der vorherigen Beschreibung der technischen Optimierungen ging es grundsätzlich immer um das rechte Maß an künstlicher Beleuchtung. Allerdings kann man sich bei der Suche nach dem rechten Maß kaum allein auf die Errungenschaften der Technik verlassen oder sich nur durch die Wirtschaftlichkeitsberechnung leiten lassen. Vielmehr sollen sich Spitzentechnik und vorteilhafte Amortisation auch in Hinblick auf den Sinn der künstlichen Beleuchtung bewähren. Einen Sinn kann sie aber nur als eine harmonische Ergänzung unserer naturgegebenen Umwelt erfüllen.

Daher hat die kommunale Aufgabe „für gutes Licht zu sorgen“, eine auf die technischen und wirtschaftlichen Daten gegründete menschen- und naturorientierte Dimension. Bei den Überlegungen über das rechte Maß hilft uns auch die Erkenntnis, dass die Natur – auch unsere menschliche Natur – ihre Rechte und Gesetze hat. Diese sind immanent, grundlegend und unveränderbar, während Gesetze, die durch gesellschaftliche Kompromisse und Konventionen entstehen, sich jederzeit ändern und auch abgeschafft werden können. Das Ignorieren der Gesetze der Natur hat Folgen, die immer auch wirtschaftlich negative Auswirkungen nach sich ziehen. Demgegenüber wirkt sich die Beachtung umwelt- und naturbezogener Aspekte durch ihre Nachhaltigkeit auch volkswirtschaftlich vorteilhaft aus.

Daher lohnt es sich, den Mut aufzubringen und maßlosen lichttechnischen Forderungen mit vernünftigen Lösungen zu begegnen. Es lohnt sich, statt mit Scheinwerfern eine Scheinwelt zu bauen, die wirkliche Welt zum Leuchten zu bringen. Es lohnt sich, den Versuchungen lukrativer Trends zu widerstehen. Es lohnt sich, die weit verbreitete Angst vor Verzicht mit Fleiß und viel Phantasie zu überwinden und dazu beizutragen, kommunale Interessen im Sinne des Gemeinwohls zu verwirklichen.

Literatur

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) (2011): Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. 12.3. Berlin.

Eisenbeis G, Eick K (2011): Studie zur Anziehung nachtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. *Natur und Landschaft* 86(7): 298-301.

VWEW Energieverlag (Hg.) (2009): Straßenbeleuchtung. Leitfaden für Planung, Bau und Betrieb 2009. Frankfurt/Main.

Sternenparks in Deutschland?

Sabine Frank, Kordula Isermann und Andreas Hänel

1. Sternenparks zum Schutz der Nacht

Da es im dicht besiedelten Mitteleuropa nur noch wenige Regionen gibt, in denen ein Sternhimmel erlebt werden kann, der nicht durch künstliche Lichtquellen gestört wird, ist deren Schutz besonders wichtig. Dabei geht es auch darum, dass noch eine natürliche Nachtlandschaft erlebt werden kann (vgl. Beitrag Haber).

Um in solchen Gebieten die Qualität des Sternhimmels zu erhalten oder gar zu verbessern, gibt es verschiedene Möglichkeiten, ihn durch eine Anerkennung als Sternenpark zu schützen. Erste Voraussetzung ist ein dunkler Himmel und daneben die Bereitschaft, durch wirkungsvolle Maßnahmen den Einfluss des künstlichen Lichts auf die Aufhellung des Himmels einzudämmen. Solche Maßnahmen sind unter anderem: Einsatz von Leuchten, die kein Licht nach oben abgeben, Vermeidung von Lichtquellen mit hohen Blauanteilen oder Reduktion der Leuchtdauer, etwa durch Abschalten in den späten Abendstunden. Aber auch Veranstaltungen, in denen auf die Problematik der Lichtverschmutzung und die Möglichkeiten der Reduzierung aufmerksam gemacht werden, gehören dazu.

Ein Hauptproblem stellt die Reichweite des künstlichen Lichtes dar, das in der Atmosphäre bis in Höhen von zehn Kilometern gestreut wird. So ist die Lichtkuppel Berlins beispielsweise bis 100 Kilometer Entfernung sichtbar. Lokale Lichtquellen haben daran meist nur einen geringen Anteil. Es sind vor allem die Lichtglocken größerer Ansiedlungen, die über weite Entfernungen hinaus streuen und nur schwierig zu reduzieren sind.

2. Zertifizierte Sternenparks

Erstmals wurde im Jahr 1999 das Schutzgebiet *Torrance Barrens* in Ontario/Kanada von der Königlichen Astronomischen Vereinigung Kanadas (Royal Astronomical Society of Canada) als besonders dunkles Gebiet ausgezeichnet. Bis zum Jahr 2011 wurden in Kanada 14 Gebiete als Dark Sky Preserves anerkannt.

Die International Dark Sky Association hat 2006 das *Natural Bridges National Monument* in Utah als ersten International Dark Sky Park anerkannt. Bis zum Jahr 2012 gab es zehn solcher Parks, darunter auch in Europa den schottischen *Galloway Forst Park* und in Ungarn das *Zselic Landschaftsschutzgebiet* und Teile des *Hortobagy Nationalparks*. Zusätzlich gibt es International Dark Sky Reserves mit höheren Anforderungen auch an die umliegenden Gebiete. Anerkannt wurden bis 2012 vier Reserves, darunter der englische *Nationalpark Exmoor*.

International Dark Sky Communities sind Städte, die ihre Lichtverschmutzung reduzieren. In Europa gehört die *Kanalinsel Sark* dazu, auf der es kaum künstliche Beleuchtung gibt.

Die Starlight Initiative hat Kriterien für Dark Sky Reserves erstellt. Diese Kriterien werden angewendet, um mit der Welttourismus-Organisation WTO Starlight Destinations auszuzeichnen. Als erstes wurde im Jahr 2011 die *Alqueva Dark Sky Reserve* in Portugal anerkannt.

Ohne eine internationale Anerkennung arbeitet bislang der binationale *Izera Dark-Sky Park*, der sich auf der tschechisch-polnischen Grenze im Izera Gebirge befindet. Abgeschildert durch umliegende Gebirge bieten die dazwischen liegenden Täler einen dunklen Himmel, dessen Helligkeit bei 21.35 mag/arcsec² liegt (vgl. Artikel Hänel Lichtmonitoring).

3. Mögliche Sternenparks in Deutschland

Da der Begriff eines dunklen Himmels in Deutschland eher negativ besetzt ist, erscheint es sinnvoller für solche Schutzgebiete den Begriff Sternenpark zu verwenden. Potenzielle Gebiete können mit Hilfe des ersten Lichtverschmutzungsatlas von Cinzano et al. (2001) identifiziert werden. Zu seiner Erstellung wurden die kalibrierten Daten des nach oben gerichteten Lichts, wie es die amerikanischen DMSP-Satelliten messen, mit aufwändigen Atmosphärenmodellen bearbeitet, um die Aufhellung des Himmels zu modellieren. Aktuellere Daten (bislang bis 2010) mit einem höheren Auflösungsvermögen liefern die Originaldaten der DMSP-Satelliten, die aber nur das nach oben gerichtete Licht darstellen und nicht die Streuung in der Atmosphäre berücksichtigen. Trotzdem helfen sie, auf kleinräumigen Skalen dunkle Gebiete zu identifizieren. Diese Methode wurde zur Auswahl dunkler Beobachtungsplätze genutzt, deren Eignung dann durch Messungen vor Ort überprüft wurde.

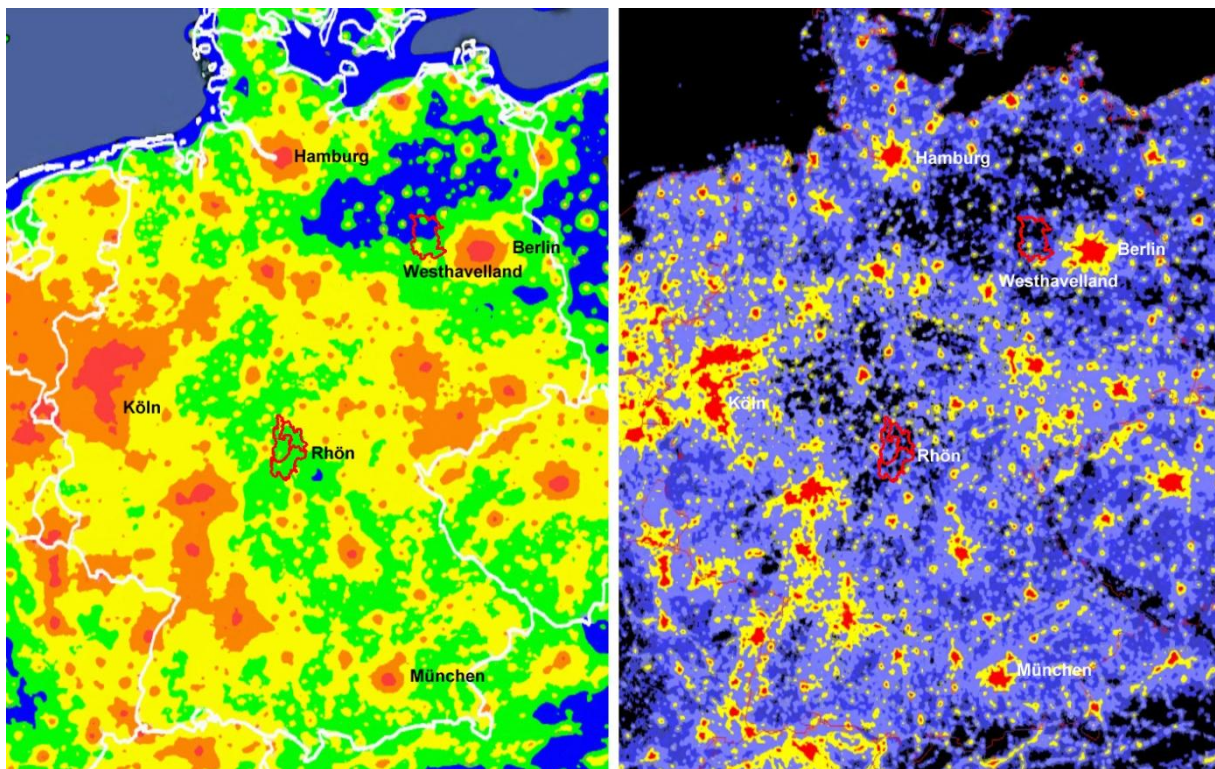


Abbildung 1: Lichtverschmutzung und mögliche Sternenparks in Deutschland

Links: Deutschlandkarte mit den Daten für gestreutes Licht (Cinzano et al. 2001). Rechts: Deutschlandkarte mit DMSP-Daten des direkt nach oben gerichteten Lichts von 2010. Die Umrisse des Naturparks Westhavelland und des Biosphärenreservats Rhön sind eingezeichnet. Die Farbskala der Karten ist so gewählt, dass rot und gelb viel Licht, blau wenig Licht darstellt.

Abbildungen: Andreas Hänel, basierend auf Daten des NOAA National Geophysical Data Center. DMSP-Daten von US Air Force Weather Agency gesammelt.

4. Beantragte Sternenparks in Deutschland

Naturpark Westhavelland

Der Naturpark Westhavelland ist ein überwiegend landwirtschaftlich genutztes Gebiet mit kleinen Ortschaften. Während die südlichen und östlichen Teile des Naturparks durch die Lichtglocken von Brandenburg und Berlin/Potsdam aufgehellt sind, ist der Teil nördlich der Stadt Rathenow noch relativ dunkel, wobei eine graduelle weitere Abnahme in nordwestlicher Richtung zu beobachten ist. Es konnten Gebiete identifiziert werden, die die Anforderungen

an einen Dark Sky Park erfüllen könnten. Sie haben keinerlei künstliche Lichtquellen, sind aber trotzdem frei zugänglich. Obwohl auch hier die Lichtglocken von Berlin und Rathenow markant sind, liegen die gemessenen Himmeshelligkeiten im Frühjahr bei $21.7 \text{ mag/arcsec}^2$, im Herbst durch den Einfluss der Milchstraße bei $21.4 \text{ mag/arcsec}^2$. Die Helligkeit in Richtung der Ortschaften nimmt nur geringfügig zu, ihr Einfluss ist also gering. Trotzdem wirken die Lichter der Orte, die vorwiegend öffentliche Straßenbeleuchtung sind, teilweise durch Blendung störend. Sie erfüllen die Anforderungen voll abgeschirmter Leuchten überwiegend noch nicht.

Dem Kuratorium des Naturparks als beratendes Gremium wurde das Konzept für einen Sternenpark im Jahr 2010 vorgestellt und einstimmig die Verfolgung des Ziels einer Anerkennung als Sternenpark beschlossen. Um den Einfluss durch die Lichtquellen der Kommunen weiter zu reduzieren, wurde eine Leuchtenempfehlung erarbeitet, zu deren Einhaltung sich alle betroffenen Kommunen bekannt haben. Das Konzept des Sternenparks wurde der Bevölkerung und interessierten Amateurastronomen vermittelt, als im August 2011 und September 2012 auf dem Sportplatz von Gülpe Teleskoptreffen veranstaltet wurden. Dabei wurden auch zukünftige Sternführer für den Naturpark ausgebildet.

Obwohl die Kriterien für Dark Sky Parks oder Reserves in Deutschland schwer erfüllbar sind, wurde im Oktober 2011 ein Antrag auf Anerkennung als Dark Sky Park bei der International Dark Sky Association gestellt.



Abbildung 2: Fischaugenaufnahmen des Nachthimmels

Links: Sternwarte des Naturwissenschaftlichen Vereins Osnabrück ($21.1 \text{ mag/arcsec}^2$), Mitte: Naturpark Westhavelland ($21.45 \text{ mag/arcsec}^2$), rechts: in der Rhön ($21.53 \text{ mag/arcsec}^2$). Während die Sternwarte in einem dicht besiedelten landwirtschaftlichen Gebiet des Naturparks Terra.vita steht, ist der nächtliche Himmel im Naturpark Westhavelland und in der Rhön sehr viel dunkler.

Fotos: Andreas Hänel

Biosphärenreservat Rhön

Das Biosphärenreservat Rhön im Zentrum Deutschlands erscheint auf den Satellitenkarten relativ hell, daher war nur ein etwa $21.0 \text{ mag/arcsec}^2$ heller Himmel zu erwarten. Es erstreckt sich über drei Bundesländer und wird von den Städten Fulda im Westen und Meiningen im Osten begrenzt. Der Titel „Land der offenen Fernen“ lässt gute Beobachtungsplätze mit Ausichten erwarten.

Eine studentische Initiative um Sabine Frank der Hochschule Fulda hat das Projekt eines Sternenparks in der Rhön entwickelt und vorangetrieben. Erste Messungen im Frühjahr 2011 zeigten, dass der Himmel abseits der Dörfer durchaus noch fast natürliche Dunkelheit aufweist und kaum Lichtglocken zu sehen waren. Im September 2011 wurde der Arbeitsgemeinschaft ARGE Rhön, in der die Biosphärenverwaltungen der Bundesländer Bayern, Hessen

Sternenparks in Deutschland?

und Thüringen sowie die Vertreter der fünf beteiligten Landkreise vertreten sind, das Konzept des Sternparks und die Eignung für die Rhön vorgestellt. Die weitere Verfolgung des Ziels einer Anerkennung als Sternpark wurde einstimmig beschlossen.

Besonders dunkel ist das Gebiet um das *Naturschutzgebiet Lange Rhön*. Öffentlich zugänglich sind die Parkplätze um das Schutzgebiet. Ähnlich dunkel ist es in den *Schwarzen Bergen* im Süden und um die Hohe Geba im Osten. Zwischen diesen Kernzonen konnten allerdings einige helle störende Lichtquellen identifiziert werden, die bis zu einer Antragstellung zum Sternpark reduziert werden müssten.

5. Weitere Interessenten für einen Sternpark in Deutschland

Nachdem die Pläne vom Naturpark Westhavelland und Biosphärenreservat Rhön zum Schutz des Sternhimmels breite Presseresonanz fanden, haben weitere Regionen ihr Interesse bekundet, eventuell als Schutzgebiete für einen dunklen Himmel anerkannt zu werden.

Der Verein *Sternwarte St. Andreasberg* im Harz setzt sich zum Schutz des dortigen Himmels für die Einrichtung eines Sternparks ein, wobei eine Kooperation mit dem Nationalpark Harz angestrebt wird. Tatsächlich konnten in der Gegend einerseits an mehreren Stellen Himmelshelligkeiten nahe der natürlichen Hintergrundhelligkeit gemessen werden. Andererseits gibt es am Rande des Nationalparks und teilweise sogar innerhalb starke Lichtquellen, die störend wirken. Zudem gibt es Pläne, beleuchtete Skipisten am Wurmberg bei Braunlage zu errichten, was zu einer verstärkten Himmelsaufhellung führen würde.

Eine Gruppe Amateurastronomen um Matthias Engel aus Stuttgart möchte um den ehemaligen Truppenübungsplatz Münsingen im *Biosphärengebiet Schwäbische Alb* einen Sternpark einrichten. Die Himmelshelligkeit liegt im Gebiet um das Gelände herum bei $21.2 \text{ mag/arcsec}^2$, was für das dicht besiedelte Baden-Württemberg ein recht guter Wert ist. Etwas weiter südlich bei Ittenhausen wurde sogar $21.7 \text{ mag/arcsec}^2$ gemessen, was nahezu einem natürlich dunklen Himmel entspricht. Die Gruppe engagiert sich bislang vor allem in der Öffentlichkeitsarbeit und Beratung der regionalen Kommunen für den Einsatz möglichst voll abgeschirmter Leuchten.

Im *Nationalpark Eifel* gab es bereits kurz nach der Gründung im Jahr 2008 den Vorschlag, insbesondere für Vogelsang eine Beleuchtung zu verwenden, die den Himmel nicht aufhellt. Das Gelände der Burg Vogelsang befindet sich im Zentrum des Nationalparks Eifel, ist aber aus dem Schutzgebiet herausgenommen und soll touristisch genutzt werden. Messungen zeigten, dass in der Gegend Helligkeiten bis $21.3 \text{ mag/arcsec}^2$ erreicht werden – eine Himmelshelligkeit, die für die nahen hellen Städten Aachen, Bonn, Köln und dem Ruhrgebiet als sehr gut angesehen werden kann und noch verbessert werden sollte.

Seit dem Jahr 2000 wird nahe der Stadt *Herzberg im Elbe-Elster-Kreis* jährlich im September ein Teleskoptreffen veranstaltet. Beim Ort Jeßnigk wurde eine Sternwarte errichtet. Hier konnte eine Himmelshelligkeit von $21.40 \text{ mag/arcsec}^2$ (mit Milchstraße) gemessen werden. Doch gibt es hier bislang noch keine organisatorische Struktur für ein Schutzgebiet.

Literatur

Cinzano P, Falchi F, Elvidge CD (2001): The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Mon Not R Astron Soc* 328: 689-707.

Hänel A (2007): Schutzgebiete für den Sternhimmel. *Nationalpark* 4/2007: 12.

Hänel A, Reinboth C (2012): Wo Sternlicht unter Naturschutz steht – Dark Sky Parks und ihre Ausweisung. *Interstellarum* 80: 12-17.

Leuchtende Hänge, lange Schatten – Nachtskilauf in Tirol

Johannes Kostenzer

1. Ausgangslage – Zunahme des Nachtskilafs in Tirol

Nach Jahrzehnten der Hochkonjunktur im Wintertourismus hat sich seit einigen Jahren Stagnation breitgemacht. Rückläufige Nächtigungszahlen in Tirol um etwa drei Prozent zwischen den Jahren 2008 und 2010, Diskussion über das Aufgeben von Skigebieten wegen Rentabilität und der Klimawandel verlangen nach neuen Nischen im Wintertourismus. Und so konnte sich in den letzten Jahren der Nachtskilauf als Verlängerung des Tagesvergnügens des Tiroler Winters in die Nacht hinein etablieren. Sei es für Trainingszwecke für die Jugend, als zusätzliches Angebot für die arbeitende Bevölkerung oder als weitere Attraktion für Gäste. Nachtskilauf wurde zu einer wichtigen Ergänzung des touristischen Angebots, das vielerorts mit Nachtrodeln und Nachtwanderungen erweitert wird.

Das ganze soll natürlich nicht im Dunkel der Nacht stattfinden, sondern bedarf einer ordentlichen Beleuchtung. Und mit der nächtlichen guten Sichtbarkeit geht zudem noch ein Werbeeffekt einher. Auch der Konkurrenzdruck und der Nachahmungseffekt tun ihr Übriges, dass immer mehr Liftgesellschaften eine Pistenbeleuchtung errichten möchten. Die Konsequenz daraus wären bis tief in die Nacht hinein erhellte Täler mit allen negativen Auswirkungen der Lichtemissionen auf den Naturraum, die Wildtiere und den Menschen selbst.

2. Folgen des Nachtskilafs

Durch den Nachtskilauf verschieben sich die Pistenpräparierungszeiten bis spät in die Nacht, so dass nicht nur während des Skibetriebs bis meist 22:00 Uhr sondern oft bis 1:00 Uhr in der Nacht mit Pistenpräparier-Geräten gearbeitet und entsprechend beleuchtet wird. Vielfach bringt eine ungeeignete Auslegung der Nachtbeleuchtung eine extrem starke Abstrahlung mit sich, die weithin sichtbar ist (Abbildungen 1 und 2).

Damit ist natürlich auch die Umgebung für die Tierwelt durch das Licht und den Lärm beeinträchtigt. So ist bekannt, dass nächtliche Beleuchtungen, die nicht ausschließlich den unmittelbaren Pistenbereich ausleuchten, Zugvögel und andere Flugtiere irritieren und gefährden (Schweizerische Vogelwarte Sempach 2005). Weiterhin können nachtaktive Insekten – je nach Winter – bereits im Februar in den Alpen aktiv werden und durch die Skipistenbeleuchtung angelockt werden. Durch den Nachtskilauf entstehen somit zeitliche und räumliche Barrierewirkungen. Diese werden noch dadurch verstärkt, dass durch den Nachtskilauf sich insgesamt die Aktivitäten der Touristen und Bewohner in die Nacht verschieben, mehr Verkehr produziert wird und dergleichen.

Aber nicht nur für Tiere ist die nächtliche Beleuchtung von Tourismuseinrichtungen problematisch, auch der Mensch reagiert empfindlich auf Störungen durch Licht. So ist es wissenschaftlich erwiesen, dass nächtliche Beleuchtung Einfluss auf unseren Hormonhaushalt hat und zu Schlafstörungen führen kann (vgl. Beiträge Bromundt, Knab). Zudem stellt sich auch die Frage des sorgsamsten Umgangs mit elektrischer Energie. Während gerade in den alpinen Landschaften zunehmend die bisher noch unverbauten Bäche für Wasserkraftnutzungen genutzt werden, bestrahlen die Wintersportbetriebe energieaufwändig immer größere Flächen. Ein weiterer Punkt ist der Nachthimmel: Nicht nur Astronomen, sondern auch viele andere Menschen möchten den Nachthimmel in seiner Pracht erleben, was aber durch die nächtliche Ausleuchtung von Skipisten beeinträchtigt wird.



Abbildung 1: Übungshang Patscherkofel bei Innsbruck. Ein Beispiel für ungeeignete Pistenbeleuchtung mit starker Abstrahlung. Diese ist bis in das weit entfernte Inntal am Nachthimmel sichtbar.

Foto: Stefanie Suchy, Tiroler Umweltschutz



Abbildung 2: Pistenbeleuchtung in Tulfes/Tirol. Ein weiteres Beispiel für eine sehr stark abstrahlende Pistenbeleuchtung. Mit Full-Cut-Off-Leuchten wäre die Beleuchtung optimierbar.

Foto: Stefanie Suchy, Tiroler Umweltschutz

3. Erste Empfehlungen für die Beleuchtung von Skipisten

Bereits im Jahr 2004 hat das Österreichische Institut für Schul- und Sportstättenbau Empfehlungen für die Beleuchtung von Skipistennutzungen herausgegeben (siehe Tabelle 1). Trotz dieser Grundlage wird jedoch in den meisten Fällen wesentlich stärker beleuchtet. Hinweise auf die Einschränkung, dass die Beleuchtung nicht die Umgebung stören darf, finden sich darin aber nicht.

Art der Anlage	Beleuchtungsstärke (Lux) (mittlere, horizontale = Emh)	Gleichmäßigkeit
Publikumslauf	mind. 30	1:3
Training	mind. 100	1:3
Wettkampf	mind. 300	1:2

Tabelle 1: Empfehlung der Ausleuchtung von Skipisten nach Art der Nutzung. Wettkampfstrecken bedürfen aufgrund der hohen Geschwindigkeiten einer sehr starken Ausleuchtung mit großer Gleichmäßigkeit, was für Pisten für den allgemeinen Skilauf nicht erforderlich ist.

Quelle: Österreichisches Institut für Spiel- und Sportstättenbau (2004)

4. Positionspapier Nächtliche Skipistenbeleuchtung der Tiroler Umweltschutzgesellschaft

Allein in den Jahren 2008 bis 2011 wurden in Tirol 26 neue Beleuchtungseinrichtungen für Tourismusanlagen wie Skipisten, Rodelbahnen oder Golfplätze genehmigt. Aufgrund des zunehmenden Trends nächtlicher Aktivitäten suchte die Tiroler Umweltschutzgesellschaft daher gemeinsam mit Experten verschiedenster Fachrichtungen Lösungen, um die negativen Auswirkungen der Pistenbeleuchtungen auf die Umwelt möglichst abzumildern. Als Ergebnis publizierte sie im Jahr 2008 ein *Positionspapier zur nächtlichen Skipistenbeleuchtung* (Tiroler Umweltschutzgesellschaft 2008), das derzeit überarbeitet wird. Von den Behörden wird es mittlerweile als Standard herangezogen.

Folgende Kriterien sind aus Sicht der Tiroler Umweltschutzgesellschaft wichtig, um die negativen Umweltauswirkungen zu reduzieren:

- Die Beleuchtung darf nur vom 1. Dezember bis zum 15. März und sollte dabei nur maximal an vier Tagen pro Woche bis maximal 22:00 Uhr in Betrieb sein. Grundsätzlich muss die Beleuchtung *an den Liftbetrieb gekoppelt* sein, der entsprechend früher einzustellen ist.
- Für den *Publikumsskillauf* sind ausschließlich LED-Lampen mit warm-weißem Licht oder Natriumdampflampen mit gelbem Licht zu installieren.
- Bei ausgewiesenen *Trainings- und Rennstrecken* sollen LED-Lampen mit warm-weißem Licht mit etwa 3.000 Kelvin verwendet werden. Bisher eingesetzte Metaldampflampen, die weißes Licht ausstrahlen, werden aus Umwelt- und Naturschutzgründen nicht empfohlen. Es ist ein Nachweis zu erbringen, dass es sich tatsächlich um eine Trainings- oder Rennstrecke gemäß den Vorgaben des Österreichischen Skiverbands handelt.
- Die verwendeten Leuchten dürfen lediglich die Pistenfläche ausleuchten und *kein Licht in die Umgebung abgeben*. Der Lichtkegel darf keinesfalls geschützte Lebensräume beleuchten. Es sind Leuchten zu installieren, die das Licht nur auf den auszuleuchtenden Bereich konzentrieren, möglichst so genannte *Full-Cut-Off-Leuchten*.
- Wenn technisch möglich, ist eine Variabilität in Bezug auf die *Leuchtintensität* und die Anzahl der eingeschalteten Lampen vorzusehen. Es sollte nur die für den jeweiligen

Zweck, beziehungsweise der aktuellen Wettersituation entsprechende Lichtintensität eingestellt werden.

- Wenn Aufzeichnungen für das Fernsehen stattfinden, ist das erforderliche Licht durch eine temporäre Zusatzbeleuchtung bereitzustellen.
- Grundsätzlich ist die naturschutzrechtliche Bewilligung auf *maximal fünf Jahre* zu befristen, um allenfalls notwendige Anpassungen an den Stand der Technik aber auch hinsichtlich der skitouristischen Entwicklung zu ermöglichen.

Bei Erfüllung der hier angeführten Kriterien kann davon ausgegangen werden, dass die Tiroler Umweltschutzbehörde im Rahmen eines naturschutzrechtlichen Bewilligungsverfahrens im Allgemeinen keinen Einwand gegen die Erteilung einer Bewilligung erhebt. Jedoch muss jeder Fall für sich betrachtet werden, so dass im Einzelfall Ergänzungen oder auch eine restriktivere Haltung möglich sein können. Die Entscheidung über eine naturschutzrechtliche Bewilligung für eine Beleuchtungseinrichtung trifft in Tirol die Bezirksverwaltungsbehörde (Bezirkshauptmannschaft).

5. Fazit

Mit dem Positionspapier der Tiroler Umweltschutzbehörde ist es gelungen, eine Hilfestellung auf dem Weg zu einer möglichst naturverträglichen Lösung nächtlicher Skipistenbeleuchtung zu geben und gleichzeitig ein Mindestmaß an Naturverträglichkeit zu gewährleisten.

Literatur und Link

Österreichisches Institut für Spiel- und Sportstättenbau (2004): Beleuchtungsguide Skipisten. Wien.

Schweizerische Vogelwarte Sempach (2005): Störung nächtlich ziehender Vögel durch künstliche Lichtquellen. Sempach.

Tiroler Umweltschutzbehörde (2008): Positionspapier zur Beleuchtung von Skipisten. Innsbruck. Aktueller Stand: Februar 2011 (www.hellenot.org/fileadmin/user_upload/PDF/WeiterInfos/11_Positionspapier_Skipistenbeleuchtung.pdf)

Die Helle Not: www.hellenot.org

Lichtverschmutzung durch Gewächshäuser in den Niederlanden

Ida Sabelis

1. Einleitung

Die Niederlande sind aus dem Weltraum durch ihre fast durchgängige Beleuchtung während der Nacht eindeutig zu erkennen. Das zeigen die aktuellen Fotos von Astronaut und Lichtverschmutzungsaktivist Andre Kuipers (vgl. <http://www.projectnachtwacht.nl>). Waren wir bis vor kurzem vor allem bekannt für die hell erleuchteten Gewächshäuser, so sollen es jetzt vor allem die Lichter von Häfen, Flughäfen, Städten und Autobahnen sein (Zeitung *De Telegraaf*, 9. April 2012). Ist es möglich, dass der Abbau von Lichtverschmutzung in den Niederlanden bei den Gewächshäusern anfängt?



Abbildung 1: Beleuchtetes Gewächshaus in den Niederlanden. Die Gewächshäuser sind zum Teil viele hunderte Meter lang.

Foto: Sotto le Stelle

Quelle: <http://www.platformlichthinder.nl/thema/glastuinbouw/>

2. Unterschiedliche Interessen

Die Niederlande sind ein Handels- und Agrarland. Daher haben deren Interessen eine starke Stellung. In den Agrarbetrieben mit zum Teil extrem großen Gewächshäusern verglichen mit Gewächshäusern in Gärtnereibetrieben in Deutschland, scheint die Bekämpfung von Lichtverschmutzung momentan weniger wichtig zu sein als das Motiv Energiesparen. Bei den Provinzen geht es eher um ihren Ruf als Tourismusdestinationen, erst in zweiter Linie auch um die Bekämpfung von Lichtverschmutzung und damit letztlich auch um Naturschutz.

Eine vom Umweltministerium initiierte *Taskforce Verlichting* sammelte in den Jahren 2007 bis 2011 viele Beispiele intelligenter Beleuchtung. Im 2011 vorgelegten Abschlussbericht stellte die Taskforce für Beleuchtung diese Beispiele zusammen mit entsprechenden Empfehlungen. Dabei wurden die Gewächshäuser allerdings nicht ausdrücklich angeführt. Da aufgrund der Bemühungen um Energiesparen im Beleuchtungsbereich weniger Lichtverschmutzung die Folge ist, ist bei den Gewächshäusern trotzdem ein positiver Effekt beim Abbau der Lichtverschmutzung festzustellen. Dennoch ist festzuhalten, dass Agrarwirtschaft, Politik und Naturschutz bezüglich von Maßnahmen zum Nachtschutz deutlich differieren.

3. Gesetze, Politik und Umweltschutz

Die einzelnen Berichte und Forschungsprojekte des vergangenen Jahrzehnts zeigen ein Bündel von unterschiedlichsten Möglichkeiten auf, um über gesetzliche und politische Maßnahmen Lichtverschmutzung zu bremsen. Davon wurden jedoch nur Teile, vielfach mit zeitlicher Verzögerung umgesetzt. Dies führt dazu, dass in der Praxis nicht alle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten auch tatsächlich genutzt werden. Allerdings sind die Veränderungen in den letzten zehn Jahren zum Abbau der Lichtverschmutzung trotz allem bemerkenswert. Dabei ist vor allem die Ebene der Provinzen (Oerlemans et al. 2010) von Bedeutung. Hier spielt eine typisch niederländische Form der Zusammenarbeit von Vertretern von Behörden und Interessens- und Aktionsgruppen (wie etwa Umweltverbände) in Form von Foren eine Rolle, die *poldern* genannt wird. Daraus entstanden dann Initiativen, die den Nachtschutz fördern.

In einer Veröffentlichung des Zentrums für Umweltrecht aus dem Jahr 2002 (Universität Amsterdam 2002) wird Lichtverschmutzung (*lichthinder*) bereits als Umweltproblem benannt. Bis 1998 gab es kaum Regelungen zur Beschränkung von Licht im öffentlichen Raum. In den Jahren 2004 und 2005 fing man dann langsam an, vor allem in ländlichen Gebieten, Lichtverschmutzung als Problem zu sehen und dies entsprechend anzugehen. Im Jahr 2004 wurde von der Umweltvereinigung *Stichting Natuur en Milieu*, die auch auf Provinzebene organisiert ist, zusammen mit der nationalen Vertretung der sogenannten „Glasbauern“ (*LTO Glastuinbouw*), die die großen Gewächshäuser betreiben, ein Übereinkommen erreicht. Danach wird die Abschirmung von Gewächshäusern zunehmend als eigenständige Aufgabe angesehen und die Beleuchtung dementsprechend geplant.

Zunächst geht es um eine Art von „Dunkelzeit“, d.h. um das Abschirmen von Licht aus den Gewächshäusern von sechs Stunden zum Schutz der Dunkelheit. Das Zeitfenster der Verdunkelung ist im Winter von 18.00 – 24.00, im Zeitraum von April bis Oktober von 20.00 bis 02.00 Uhr. Weiter ist angesagt, die Dunkelheit zu gewährleisten soweit „keine Komplikationen für die Zucht“ zu erwarten seien. Am 3. Juli 2009 wurde die Regelung gesetzlich erweitert (Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 2009). Dabei ging es um eine Erweiterung des Zeitfensters indem mehr Monate einbezogen wurden und gefordert wird, auch in der restlichen Nacht durch Abschirmen der Gewächshäuser Dunkelheit zu gewährleisten. Die Vorgabe ist, 95% des Lichts abzuschirmen. Neue Gewächshäuser sind sofort mit neuen Techniken zu versehen mit der doppelten Zielsetzung: Licht abzuschirmen und gleichzeitig Energie einzusparen. Vorgegeben wird, dass alle Neubauten von Gewächshäusern ab dem Jahr 2014 zu 98% für die Außenwelt abzudunkeln sind und ab dem Jahr 2018 dann zu 100%. Es dauert also eine längere Übergangszeit, aber es ist dennoch eine lohnende Zielsetzung.

Wo Industrie und Handel konzentriert sind, kommt der Abbau der Lichtverschmutzung nur langsam voran. Das zeigt sich in den Detailformulierungen des Gesetzes und unterschiedlichen Auslegungen dieser generellen Vorgaben (siehe Hinweise Websites): Wann sollte nun endgültig die Dunkelheit eintreten? Tatsächlich enthält auch das Gesetz vom 3. Juli 2009 (Staatsblad 322) noch diverse Ausnahmeregelungen.

4. Doch nicht so einfach

Die beschriebene Entwicklung hat stark damit zu tun, dass sich bereits seit den 1970er Jahren in den Niederlanden Aktivisten dafür eingesetzt haben, weniger Licht und mehr Dunkelheit zu fordern. Die Umweltbewegung hat sich schon lange für den Abbau der Lichtverschmutzung stark gemacht. Dabei sind zwei größere Akteure in den Niederlanden zu nennen: Eine Initiative, die man ins Deutsche mit „Nacht muss Nacht bleiben“ übersetzen kann, ist aus der Umweltvereinigung *Natuur & Milieu* hervorgegangen. Daneben gibt es eine lokale Initiative, die man mit „Licht aus!“ übersetzen kann. Diese Aktion findet in verschiedenen Kommunen jährlich am letzten Samstag im Oktober statt. Die Initiative organisiert auch Veranstaltungen zur

Thematik für Schulen. Daneben ist die bereits angesprochene Plattform *Lichthinder* zu nennen, die in der Öffentlichkeit mit Initiativen zum Schutz der Nacht auftritt.



Abbildung 2: Die Aalsmerschen Lichter der Blumenindustrie (Gewächshäuser, Blumenverteilzentren und -verladung) von Amsterdam aus gesehen.

Foto: Tjibbe Donker

Quelle: <http://www.plattformlichthinder.nl/images/kas01.jpg>

Einerseits hat aufgrund der genannten Maßnahmen und Gesetze die Lichtabstrahlung in ländlichen Gebieten schon erheblich abgenommen. Andererseits wurden bei der Ausarbeitung der Gesetze wiederum so viele Ausnahmen ausgehandelt, dass in der Praxis zuerst kleine(re) Gewächshäuser tatsächlich die Lichtabstrahlung nach außen wirksam reduzieren. In der Öffentlichkeit ist nach dem Inkrafttreten der Gesetzgebung in den Niederlanden im Jahr 2009 weniger der Abbau der Lichtverschmutzung zum Schutz der Nacht als Thema präsent, als vielmehr Maßnahmen im Rahmen von Energiesparmaßnahmen künstlicher Beleuchtung (Leaflet *Glastuinbouw* 2012).

Die Straßenbeleuchtung liegt in den Niederlanden in der Verantwortung von Gemeinden und Provinzen. Daher ist es folgerichtig, dass die Nachtlandschaft der Niederlande zum Teil die politische Landschaft widerspiegelt. Allerdings ist es auffallend, dass sich Provinzen im Osten der Niederlande, wie etwa die Provinzen Overijssel und Gelderland, große Mühe geben, um noch dunkler zu werden. Dagegen ist und bleibt das Licht in den Provinzen Süd-Holland und Nord-Holland, die seit jeher reicher sind und dichter besiedelt sind mit den relativ meisten Einwohnern per km², stark sichtbar. Rotterdam als Hafenstadt, Den Haag als Regierungssitz, die großen Gewächshausgebiete zwischen diesen beiden Stadttagglomerationen, Amsterdam als Landeshauptstadt mit dem Flughafen Schiphol im benachbarten Polder, und weiter nördlich der Hafen IJmuiden. In den Agrargebieten von Nord-Holland, in denen wie beschrieben die Gewächshäuser über die Jahre hinweg langsam dunkler werden und damit zumindest zu bestimmten Zeiten nicht mehr so starke Lichtglocken produzieren, sind es dagegen Autobahnen, Fabrikgeländen und Straßenbeleuchtung in den Kommunen, die für nächtliche Abstrahlung und damit den Verlust der Dunkelheit sorgen.

Fassen wir zusammen: Lichtverschmutzung ist in den Niederlanden vielen Bürgern als Problem bewusst. Allerdings sind die Abhilfemaßnahmen entweder zu kleinteilig (was widersprüchliche Effekte haben kann, so wie bei den Gewächshäusern) oder sie schlagen fehl. Das

hat damit zu tun, dass Maßnahmen zur Reduktion der Lichtverschmutzung durch neue Lichtquellen konterkariert werden. Dies ist etwa am Beispiel des Flughafens Schiphol und seiner Umgebung sichtbar. Dort werden zwar Sparlampen installiert, aber immer mehr und stärker leuchtende. Zugleich ist nach wie vor auch in den Niederlanden bei vielen Bürgern eine Angst vor Dunkelheit festzustellen, insbesondere in städtischen Gebieten. Gerade wenn es um die Straßenbeleuchtung geht, sind Forderungen nach Nachtschutz nicht einfach anzubringen. Derzeit kann man sich jedoch den Umstand zunutze machen, dass Energiesparen auch bei der Beleuchtung ein Thema ist.

Literatur

- Langers F, de Boer TA, Buijs AE (2005): Donkere nachten. De beleving van nachtelijke duisternis door burgers. Wageningen: Alterra – rapport 1137.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012): Leaflet Glastuinbouw. Fiscale aftrek voor milieu-investeringenvoor de glastuinbouw. Den Haag.
- Oerlemans B, de Kok D, IPO Interprovinciaal Overleg – i.s.m. Ministerie van VROM (2010): Handboek Licht – Donker: Beleid – en Uitvoeringsinstrumenten voor Provincies. Arnhem, januari 2010.
- Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden (2009): No 322 – Besluit van 3 juli 2009, houdende wijziging van het Besluit glastuinbouw en wijziging van het Besluit landbouw milieubeheer. Den Haag (<https://zoek.officiëlebekeendmakingen.nl/stb-2009-322.html>).
- Taskforce Verlichting (2011): Zuinig licht; Heldere keuze; Eindrapportage Taskforce Verlichting. Den Haag: Agenschap NL.
- Uylenburg R, van der Wilt CJ (2002): Regulering van lichthinder, Amsterdam: Centrum voor Milieurecht, UVA.

Links

- LTO Nederland (<http://www.lto.nl/nl/25222797-5Bviewitem2%5D.html?path=10359102>): Dutch Federation of Agriculture and Horticulture, eine Unternehmer- und Arbeitgeberorganisation.
- Ministerie voor Infrastructuur en Milieu [= Ministerium für Raumplanung und Umwelt]: Regelung für Agrarwirtschaft: Flyer Glas-Agrarwirtschaft – 2012 (<http://www.agenschapnl.nl/>).
- Plattform Glas-Agrarwirtschaft und Nachhaltigkeit: (<http://www.agenschapnl.nl/programmas-regelingen/platform-duurzame-glastuinbouw>). Für den Zeitraum 2011 – 2015 sind die wichtigsten Ziele: Akzeptanz bei der Bevölkerung, Energie und Wasser zu sparen. Das Forum funktioniert breiter in Form einer *Taskforce*; wird aber direkt vom Ministerium koordiniert. Am Forum sind auch die Provinzen beteiligt.
- Plattform Lichthinder: (<http://www.platformlichthinder.nl/>) Die Plattform ist seit 2000 der niederländische Zweig der IDA, der *International Dark Sky Association*. Nacht der Nacht: (<http://www.laathetdonkerdonker.nl/>) Dies ist eine seit einigen Jahren gestartete Initiative der Umweltvereinigung *Natuur & Milieu*. Schulmaterialien; jährliche Aktion „Licht aus“, am letzten Samstag in Oktober; 2011 im Internet die Aktion „Lichtkarte“: interaktive, individuelle Meldungen von Bürgern über Lichtverschmutzung.
- Taskforce Verlichting: (<http://www.agenschapnl.nl/>) Eine *Taskforce* vom Ministerium Wirtschaft, Landwirtschaft und Innovation. Sie war von 2007 bis 2011 tätig. Zwischenbericht 2008; 2011: Abschlussbericht – mit ,est Practic-Beispielen, vor allem von Städten und Betrieben.
- Projekt Nachtwacht: (<http://www.projectnachtwacht.nl/>).

Autorinnen und Autoren

Brinkmeier, Michael, Dr., Physiker – Breedeweg 19, 33397 Rietberg, Tel.: 0177/3360566. Mail: michael-brinkmeier@web.de
2000-2012 Mitglied des Landtages NRW, dort wissenschaftspolitischer Sprecher der CDU-Fraktion.

Bromundt, Vivien, Dr. – Promovierte Wissenschaftlerin, Zentrum für Chronobiologie, Universitäre Psychiatrische Kliniken Basel, Wilhelm Klein-Str. 27, CH-4012 Basel. Tel.: ++41/+61 325 54 58. Mail: vivien.bromundt@upkbs.ch

Brüning, Anika, Dipl.-Biol. – Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Abt. Ökophysiologie und Aquakultur, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin. Tel.: 030/64 181 632. Mail: bruening@igb-berlin.de
Doktorandin im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Demme, Gabriele, Dipl. Architektin ETH, Lichtdesignerin SLG – freischaffende Architektin und Lichtplanerin, deplus architekten eth/fh, Grubenstrasse 37, CH-8045 Zürich. Tel.: ++41/+43 960 27 34. Mail: gabriele.demme@deplus.ch
Projektleiterin für das Amt für Städtebau Zürich im Rahmen des Plan Lumière Zürich.

Eisenbeis, Gerhard, Prof. Dr. – Zoologe, vormals Institut für Zoologie der Johannes Gutenberg-Universität, Becherweg 13, 55099 Mainz. Mail: geisenbe@uni-mainz.de
Aktuelle Adresse: Weidenweg 6, 55270 Essenheim. Tel.: 06136/9262522. Mail: Gerhard_Eisenbeis@Kabelmail.de

von Fellenberg, Laurence, Dipl. Forsting. ETH – wissenschaftliche Mitarbeiterin, Bundesamt für Umwelt; Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften, CH-3003 Bern. Tel.: ++41/+31 322 80 83. Mail: laurence.vonfellenberg@bafu.admin.ch
Verantwortlich für das Thema Licht und die Auswirkungen auf die Landschaft und die Artenvielfalt.

Frank, Sabine – Initiative zum Schutz der Nacht vor Ort, An der Röthe 8, 36145 Hofbieber. Tel.: 0160/6537171. Mail: sfrank27@yahoo.com

Haber, Wolfgang, Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. – 1966-1994 Inhaber des Lehrstuhls für Landschaftsökologie der Technischen Universität in Weihenstephan, 85350 Freising. Tel.: 08167 8778. Mail: wethaber@aol.com
Arbeitsgebiete: Ökologie der Landnutzung und des Naturschutzes. Langjährige Zusammenarbeit mit der Evangelischen Akademie Tutzing.

Hänel, Andreas, Dr. – Planetariumsleiter, Museum am Schölerberg, Klaus-Strick-Weg 10, 49082 Osnabrück. Tel.: 0541/5600326. Mail: ahaenel@uos.de
Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde und assoziiertes Mitglied im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Haupt, Heiko, Dipl.-Biol. – Bornheimer Straße 100, 53119 Bonn. Tel.: 0228/633436. Mail: heiko_haupt@t-online.de
Autor von Veröffentlichungen zu den Auswirkungen von Beleuchtungsanlagen auf Zugvögel.

Held, Martin, Dr. – Studienleiter für Wirtschaft und nachhaltige Entwicklung, Evangelische Akademie Tutzing, Schloss-Str. 2+4, 82327 Tutzing. Tel.: 08158/251-116 (126). Mail: held@ev-akademie-tutzing.de
Mitorganisator der Tagung „Es werde Nacht ...“ und Initiator sowie Mitglied Team Tutzinger Projekt „Ökologie der Zeit“.

Helm, Barbara, Dr. – Lecturer, Institute of Biodiversity, Animal Health and Comparative Medicine, University of Glasgow, Graham Kerr Building, Glasgow G12 8QQ, UK. Tel.: ++44/+141 330 2797. Mail: Barbara.Helm@glasgow.ac.uk

Henckel, Dietrich, Prof. Dr. – Professor für Stadt- und Regionalökonomie, Institut für Stadt- und Regionalplanung, TU Berlin, Hardenbergstr, 40a, 10623 Berlin. Tel.: 030/31428090. Mail: d.henckel@isr.tu-berlin.de
Projektleiter eines Teilprojektes im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Hofmeister, Sabine, Prof. Dr. – Leiterin des Lehr- und Forschungsgebietes Umweltplanung in der Leuphana Universität Lüneburg, Fakultät Nachhaltigkeit. Scharnhorststr. 1, 21335 Lüneburg. Tel.: 04131/677-2950 (-2307). Mail: hofmeister@uni.leuphana.de
Vizepräsidentin Akademie für Raumforschung und Landesplanung sowie Mitglied Team Tutzinger Projekt „Ökologie der Zeit“.

Hölker, Franz, PD Dr. – Stellvertretender Leiter Abt. Ökohydrologie, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin. Tel.: 030/64 181 665. Mail: hoelker@igb-berlin.de
Projektleiter Forschungsverbund „Verlust der Nacht“ und Berater des Berliner Lichtbeirats.

Holzhauser, Stephanie I. J., Dr. – Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Abt. Ökohydrologie, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin. Tel.: 030/64 181 717. Mail: holzhauer@igb-berlin.de
Wissenschaftliche Koordinatorin Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Höppner, Michael, Dipl.-Soz. – Geschäftsführung Forschungs- und Planungsgruppe Stadt und Verkehr (FGS), Regensburger Straße 3, 10777 Berlin. Tel.: 030/390 670 11 oder 0163/864 3121. Mail: hoepfner@fgsberlin.de
Mitarbeit Unfallstudie Berliner Lichtkonzept 2010-2011, Mitautor Ausführungsvorschrift Öffentliche Beleuchtung der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin und Initiator der Aktion LOLA (Lichttechnische Optimierung von Leuchten Standorten).

Isépy, Sándor, Dipl. Ing. – Leiter der Abteilung Öffentliche Beleuchtung und Verkehrstechnik, Stadt Augsburg, Tiefbauamt, Annastr. 16, 86150 Augsburg. Tel.: 0821/324-8210. Mail: Isepy@stawa.de

Isermann, Kordula – Naturparkleiterin, Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Naturpark Westhavelland, Pareyer Dorfstr. 5, 14715 Havelaue. Tel.: 033872/74310. Mail: kordula.isermann@LUGV.Brandenburg.de

Jessel, Beate, Prof. Dr. – Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz (BfN), Konstantinstraße 110, 53179 Bonn. Tel.: 0228/8491-1000. Mail: beate.jessel@bfm.de
Mitorganisatorin der Tagung „Es werde Nacht...“ und fachliche Betreuung der Projektkooperation mit der Evangelischen Akademie Tutzing sowie dem Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

von Kardorff, Volker, Prof., Dipl.-Ing. Architektur – Geschäftsführer der Kardorff Ingenieure Lichtplanung GmbH, Hölderlinstraße 11, 14050 Berlin. Tel.: 030/3699904-0. Mail: berlin@kardorff.de
Mitglied in den Lichtbeiräten Berlin und Zürich.

Knab, Barbara, Dr. – Wissenschaftspublizistin und Psychologische Psychotherapeutin, Ismaninger Straße 84, 81675 München. Tel.: 0179/271552. Mail: info@barbara-knab.de
Vorstandsmitglied Deutsche Akademie für Gesundheit und Schlaf sowie Dozentin zum Thema Schlaf und Schlafstörungen für Psychologische Psychotherapeuten.

Kostenzer, Johannes, Mag. – Umweltschutzanwalt des Landes Tirol, Meranerstr. 5, A-6020 Innsbruck. Tel.: ++43/+512 508-3490. Mail: johannes.kostenzer@tirol.gv.at
Verantwortlich für die Initiative „Die helle Not“ für einen sorgsameren Umgang mit Licht.

Krenz, Peter, Dipl.-Ing. – Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Lichttechnik der Fakultät Energie- und Automatisierungstechnik, Technische Universität Berlin, Einsteinufer 19, 10587 Berlin. Tel.: 030/314-22536. Mail: peter.krenz@tu-berlin.de
Doktorand im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Kuechly, Helga U., Dipl.-Geoökol. – Wissenschaftliche Mitarbeiterin Abt. Ökohydrologie, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin. Tel.: 030/64 181 795. Mail: kuechly@igb-berlin.de
Projektassistentin im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Kümmerer, Klaus, Prof. Dr. – Direktor des Instituts für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie, Leuphana Universität Lüneburg, Scharnhorststraße 1 C13, 21335 Lüneburg. Tel.: 04131/677 2394. Mail: Klaus.Kuemmerer@uni.leuphana.de
Professor für Nachhaltige Chemie und Stoffliche Ressourcen, Mitglied im Management Board der EU-Technologieplattform SusChem und langjähriges Mitglied Team Tutzingen Projekt „Ökologie der Zeit“.

Kyba, Christopher C. M., Dr. – Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Weltraumwissenschaften, Freie Universität Berlin. Tel.: 030/ 838 711 40. Mail: christopher.kyba@wew.fu-berlin.de
Postdoc im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Lang, Dieter – Principal Key Expert. OSRAM AG, Corporate Technology - Research and Innovation. Hellabrunner Str. 1, 81543 München. Tel.: 089/6213-3321. Mail: dieter.lang@osram.com
Verantwortlicher für das OSRAM Forschungsprogramm „Licht und Lebensqualität“ und Obmann des Normenausschusses FNL 27 „Wirkung des Lichts auf den Menschen“.

Lewanzik, Daniel, Dipl. Biol. – Doktorand bei PD Dr. Christian C. Voigt in der Forschungsgruppe „Evolutionäre Ökologie“, am Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW), Alfred-Kowalke-Str. 17, 10781 Berlin. Tel.: 030/5168-326. Mail: Lewanzik@izw-berlin.de
Doktorand im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Lindner, Ekkehart, RBM – Stadtplanungs- und Umweltausschuss, Stadtverwaltung Rheinfelden, Kirchplatz 2, 79618 Rheinfelden (Baden). Tel: 07623/95361. Mail: e.lindner@rheinfelden-baden.de

Projektgruppe Plan Lumière – Beleuchtungskonzept beider Rheinfelden.

Mohar, Andrej – Member of Executive Committee, Dark-Sky Slovenia, Teslova 30, SI-1000 Ljubljana. Tel.: 00386 41/738 411. Mail: andrej.mohar@euromix-lj.si
Technischer Leiter LIFE+ Projekt "Life at Night".

Neumann, Cornelius, Prof. Dr. rer. nat. – Universitätsprofessor und Institutsleiter, Lichttechnisches Institut des KIT, Engesser Str 13, 76131 Karlsruhe. Tel.: 0721/60846052
Mail: cornelius.neumann@kit.edu

Partecke, Jesko, Dr. – Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Max-Planck-Institut für Ornithologie, Vogelwarte Radolfzell, Am Obstberg 1, 78315 Radolfzell. Tel.: 07732/150167. Mail: partecke@orn.mpg.de

Pauen-Höppner, Ursula, Dipl.-Soz. – Geschäftsführung Forschungs- und Planungsgruppe Stadt & Verkehr, Regensburger Straße 3, 10777 Berlin. Tel.: 030/390 670 13. Mail: uph-berlin@t-online.de

Mitglied im Lichtbeirat der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin.

Posch, Thomas, PD Dr. Dr. – Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Astrophysik der Universität Wien, Türkenschanzstraße 17, A-1180 Wien. Tel.: ++43/+ 1 4277 538 00. Mail: thomas.posch@univie.ac.at

Mitherausgeber des Buches „Das Ende der Nacht“ (Wiley-VCH Verlag).

Prietze, Oliver – Leiter Energieeffizienzlösungen, OSRAM AG, Hellabrunner Straße 1, 81543 München. Tel.: 089/6213-3534. Mail: o.prietze@osram.de

Reich-Schilcher, Claudia, Architektin – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Am Köllnischen Park 3, 10179 Berlin. Tel.: 030/9025 1511. Mail: claudia.reich-schilcher@senstadtum.berlin.de

Projektleitung Lichtkonzept, Koordination Lichtbeirat der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Berlin.

Sabelis, Ida, Dr. – Betriebsethnologin, Dept. Organisationswissenschaften, Freie Universität Amsterdam, De Boelelaan 1085, NL-1081HV Amsterdam. Tel.: ++31/+20 598 6711. Mail: i.sabelis@vu.nl

Mitglied Team Tutzing Projekt „Ökologie der Zeit“.

Schindler, Jörg, Dipl. Kfm. – Autor, Schopenhauerstr. 13, 85579 Neubiberg. Tel.: 089/6011 553. Mail: schindler@lbst.de

Vorstandsmitglied von ASPO Deutschland (Association for the Study of Peak Oil and Gas).

Schneider, Karl, Dipl. Ing. (FH) – Application Business Development Außenbeleuchtung, Siteco Beleuchtungstechnik GmbH, Georg Simon Ohm Straße 50, 83301 Traunreut. Tel.: 08669/33/578. Mail: k.schneider@siteco.de

Stockmar, Axel, Hon.-Prof. Dipl.-Ing. – Freischaffender Gutachter auf dem Gebiet Licht und Beleuchtung, speziell Bahn-, Straßen- und Tunnelbeleuchtung sowie Lichtimmission, Light Consult International, Lindenallee 21a, 29227 Celle. Tel.: 05141/83069. Mail: a.stockmar.lci@t-online.de

Vice President Standardization (VPS) of the International Commission on Illumination (CIE) und Obmann des DIN Fachnormenausschusses „Außenbeleuchtung“.

Voigt, Christian C., PD Dr. – Arbeitsgruppenleiter im sowie stellvertretender Leiter des Department Evolutionary Ecology (www.batlab.de), Leibniz Institut für Zoo- und Wildtierforschung, Alfred-Kowalke-Str. 17, 10781 Berlin. Tel.: 030/5168-517. Mail: voigt@izw-berlin.de

Projektleiter eines Teilprojektes im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Völker, Stephan, Prof. Dr.-Ing. habil. – Fachgebietsleiter Lichttechnik, Technische Universität Berlin, Fakultät IV, Sekretariat E6, Einsteinufer 19, 10587 Berlin. Tel.: 030/31479170. Mail: stephan.voelker@tu-berlin.de

Projektleiter des Teilprojektes „Innovative Beleuchtung bei Nacht“ im Forschungsverbund „Verlust der Nacht“.

Wachholz, Carsten – Stellvertretender Fachbereichsleiter Naturschutz und Umweltpolitik, Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU-Bundesverband), Charitéstr. 3, 10117 Berlin. Tel.: 030/284984-1617. Mail: carsten.wachholz@nabu.de

Projektleiter „Ökologische Stadtbeleuchtung“ (Juli 2008 – März 2011).

Walkling, Andreas, Dipl.-Ing. – Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, Prof.-Schmidt-Straße 26, 98693 Ilmenau. Tel.: 03677 69-3743. Mail: andreas.walkling@tu-ilmenau.de

Mitglied im CIE TC 5-28: Minderung von Lichtimmissionen sowie Mitglied im CIE TC 4-21: Minderung der Himmelsaufhellung.

Zittel, Werner, Dr. – Mitarbeiter der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Daimlerstr. 15, 85521 Ottobrunn. Tel.: 089-60811020. Mail: werner.zittel@lbst.de

Vorstandsmitglied von ASPO Deutschland (Association for the Study of Peak Oil and Gas).