

Masterarbeit

Freiraumbeleuchtung \neq Lichtverschmutzung?

Kann eine Freiraumbeleuchtung so gestaltet werden, dass sie keine Lichtverschmutzung erzeugt?

Anleitung von
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Lilli Lička
Institut für Landschaftsarchitektur

Eingereicht an der Universität für Bodenkultur, Wien
Studienrichtung Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

von

Zeno Valenti
Matrikelnummer: 0240440
Sigmundskronerstraße 6
I-39057 Frangart (BZ)
www.zenovalenti.co.cc

Wien 2012

Dank

Der größte Dank geht an meinen Eltern. Meinem Vater Franco Valenti der ohne zu zögern mein gesamtes Studium ermöglicht hat und meiner Mutter Sigrid Perntaler die mich ohne Ausnahmen unterstützt hat.

Meinen Großeltern die mich in ihrer Anwesenheit und Abwesenheit ermutigt haben nicht aufzugeben und die mir bewiesen haben, dass es keinen unüberwindbaren Grenzen gibt.

Meinem Bruder, meinen Cousinen, meinem Neffen, meinen Onkel, Tanten und alle Verwandten die mir in dieser Zeit immer nahe standen und an mich glaubten.

Meinen Freunden und Freundinnen die während meiner Studienzeit wichtig waren und ohne die es wenig Spaß gehabt hätte.

Meinen Studienkolleginnen und Studienkollegen mit denen ich zusammen gearbeitet und Zeit verbracht habe.

Meinen Professoren und Professorinnen die für Schweißtreiben gesorgt haben um mich zum Ziel zu führen. Meiner Masterarbeitsbetreuerin Lilli Licka, die den Abschluss ermöglicht hat und der BOKU welche mein Studium angeboten hat.

Grazie

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori. A mio papà Franco Valenti che mi ha reso possibile lo studio senza esitare e a mia mamma Sigrid Perntaler che mi ha sostenuto senza eccezioni.

Ai miei nonni che nella loro presenza e assenza mi hanno incoraggiato di non arrendermi e mi hanno dimostrato che non esistono confini insuperabili.

A mio fratello, alle mie cugine, a mio nipote, ai miei zii e zie e tutti i parenti che mi sono sempre stati vicini e hanno creduto in me.

Ai amici e alle amiche che durante il mio tempo di studio erano importanti e senza di loro sarebbe stato poco divertente.

Alle compagne e ai compagni di studio con i quali ho collaborato e passato tempo insieme.

Ai professori e alle professoresse che hanno provveduto di farmi sudare per portarmi alla meta. A Lilli Licka che ha assistito la mia tesi rendendo possibile in fine il diploma e alla BOKU che ha offerto il mio studio.

Vorwort

Zum Thema Lichtverschmutzung kam ich, weil mich der Umgang mit künstlichem Licht schon seit jeher interessiert, ich habe mich immer wieder gerne mit diesem Thema und den diesbezüglichen Techniken auseinandergesetzt. Im Laufe meines Studiums der Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur lernte ich dann, Dinge kritisch zu betrachten und zu hinterfragen, sie zu überprüfen und ihren Sinn zu finden, Funktionen zu ergründen und Folgewirkungen zu analysieren. Das habe ich nun auch mit dem künstlichen Licht gemacht und dabei wurde mir klar, dass das Licht auch Schattenseiten hat. Es ist immer wieder faszinierend zu entdecken, mit welcher Komplexität Dinge verbunden sind. Künstliches Licht kennt jeder, man ist täglich damit konfrontiert und es ist eine Selbstverständlichkeit geworden, dass es Kunstlicht gibt, und wenige machen sich Gedanken über dessen Auswirkung.

Es wird auch immer gesagt, Licht ist die Grundvoraussetzung für jegliches Leben, was natürlich stimmt, aber wenige kommen auf den Gedanken, diese Aussage zu hinterfragen. Und wie sieht es mit der Dunkelheit aus? Im Laufe meiner Recherchen bin ich draufgekommen, dass ohne Dunkelheit unser Leben auch nicht existieren kann. Künstliches Licht ist von unserem Alltag nicht mehr wegzudenken und es eröffnet uns eine Vielzahl von Möglichkeiten und Vorteilen. Nun stehen wir vor der Herausforderung, beleuchten zu müssen und sollen gleichzeitig die Dunkelheit bewahren. Es geht jetzt darum ein richtiges Maß zu finden. Wir brauchen eine gute Beleuchtung, die keine negativen Folgen mit sich bringt bzw. diese auf ein Minimum reduziert, damit das Kunstlicht bei Nacht keinen schädlichen Einfluss auf Mensch und Umwelt hat und damit auch die Dunkelheit ihren Platz behält.

Abstract

Diese Arbeit setzt sich mit der Lichtverschmutzung auseinander. Sie zeigt auf, inwieweit diese ein Problem für die Umwelt und den Menschen darstellt und versucht, Problemlösungen anzuregen. Die künstliche Freiraumbeleuchtung hat unterschiedlichste Funktionen, sie dient der Verkehrssicherheit, steigert das subjektive Sicherheitsempfinden und ermöglicht, in den dunklen Stunden zu arbeiten und Freizeitaktivitäten zu betreiben. Künstliches Licht in der Nacht beeinflusst aber die Fauna negativ, es stört ihre natürliche Lebensweise, ihr Fress- und Reproduktionsverhalten. Auch die Flora bleibt nicht unbeeinflusst. Nicht zuletzt wird der Mensch in seinem Schlaf und seinem Hormonhaushalt gestört, was seine Gesundheit beeinträchtigen kann. Die Astronomie, die schon seit geraumer Zeit vor zu viel Beleuchtung warnt, wird in

ihrer Forschung behindert. Es gibt jedoch Lösungen, um der Lichtverschmutzung entgegenzuwirken. Einige Punkte die zu berücksichtigen sind z.B.: einen weitreichenden Planungshorizont ansetzen, moderate Beleuchtungsstärken wählen, auf technische- und energetische Effizienz achten, präzise Lichtlenkung, Abschirmung des Lichtes Richtung Himmel, Lichtmanagement durch z.B. Halbschaltung, kurzwelliges Lichtes und UV-Strahlung meiden, naturnahen Gebiete besonderer Rücksicht beleuchten, die Bewusstseinsbildung der Entscheidungsträger fördern und gesetzliche Regelungen erlassen. Die Lösungsansätze wurden vorab theoretisch recherchiert und anschließend durch eine Befragung von Lichtplanern und anderen Fachleuten, die sich eingehend mit Beleuchtung beschäftigen, überprüft und ergänzt.

This thesis deals with light pollution. It explains how light pollution is a problem for the environment and the human, offering possible solutions to the problem. Artificial outdoor lighting of open spaces has several functions. It is used for the benefit of the traffic, it gives a sense of safety to the individual and it allows people to work and do free time activities during the dark hours. However, the artificial lighting during the night has a negative impact on fauna, disturbing its natural habitat, feeding and reproduction. The flora is also affected negatively. Human hormone behavior is disturbed by the presence of artificial light during sleep, weakening a person's general health. For years even astronomers have expressed their concern of too much illumination on our planet, having noticed

its obstruction in their research work. However there are solutions for fighting light pollution such as example: assess an extensive planning horizon; choosing moderate illumination levels; applying technical and energy efficiency; precision light control; shading the sky from the artificial illumination; applying light management for example by dimming the light between midnight and dawn; avoiding producing light with short waves and UV-rays; applying artificial light in near-natural environments with particular care; raise the awareness of the decider and develop regulations and laws. The approaches get in the first step by theoretical researches that was reviewed and complemented by interviews with planners and experts specialized in illumination.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	15
2. Wissenstand	17
3. Forschungsfrage	19
4. Methodik	21
5. Künstliches Licht im Freiraum	23
5.1. Verkehrsinfrastrukturbeleuchtung	23
5.1.1. Motorisierter Straßenverkehr	23
5.1.2. Nicht motorisierter Verkehr, Fußgänger	24
5.1.3. Weitere Verkehrsinfrastrukturen	24
5.2. Sicherheitsbeleuchtung, Beleuchtung für das Sicherheitsgefühl	25
5.3. Gewerbliche Beleuchtung	26
5.3.1. Industrieanlagen	26
5.3.2. Handelsgewerbe, Geschäfte	26
5.3.3. Gewächshäuser	27
5.3.4. Werbeanlagen	27
5.4. Stadtgestaltung, Stadtverschönerung, Imagebeleuchtung	28
5.4.1. Landmarken	28
5.4.2. Gebäude, Denkmäler und Bauwerke allgemein	28
5.4.3. Plätze	29
5.4.4. Parkanlagen und Grünräume	29
5.4.5. Permanente Kunstprojekte	29
5.5. Sportanlagen	30
5.5.1. Freizeitsportanlagen, Trainingsplätze	30
5.5.2. Berufssportanlagen	30
5.6. Temporäre Beleuchtungsinstallationen	30
5.6.1. Weihnachtsbeleuchtung	31
5.6.2. Events	31
5.6.3. Temporäre Kunstprojekte	31
5.6.4. Baustellen	31
5.7. Private Freiraumbeleuchtung	32
5.7.1. Beleuchtung privater und privatwirtschaftlicher Gebäude	32
5.7.2. Freiräume von Geschoßwohnbauten	32
5.7.3. Freiräume einzelner Privateigentümer	32
6. Auswirkungen von künstlichem Licht	35
6.1. Einfluss von nächtlicher Beleuchtung auf die Tiere	35
6.1.1. Säugetiere	35
6.1.2. Fledermäuse, Fledertiere	36
6.1.3. Vögel	38
6.1.4. Reptilien	40
6.1.5. Meeresschildkröten	41
6.1.6. Froschlurche	43
6.1.7. Schwanzlurche	44
6.1.8. Tiere aquatischer Habitate	45
6.1.9. Insekten	46
6.1.10. Falter	48
6.2. Einfluss nächtlicher Beleuchtung auf die Pflanzen	49
6.3. Einfluss von künstlichem Licht auf den Menschen	51
6.3.1. Die innere Uhr	51
6.3.2. Gesundheitliche Folgen des künstlichen Lichts	51
6.3.3. Welches Licht den Menschen beeinflusst	52

6.3.4. Von der Freiraumbeleuchtung betroffene Menschen	52	7.7.5. Horizontale und vertikale Flächen	80
6.3.5. Licht, das in die Privatsphäre eindringt	53	7.7.6. Technische Aspekte in der Planung	80
6.4. Einfluss von nächtlicher Beleuchtung auf die astronomische Forschung	53	7.8. Gesetzliche Regelungen, Richtlinien der Lichtverschmutzung	80
6.4.1. Lichtglocke (Sky glow)	54	7.8.1. Grenzen setzen	81
6.4.2. Bestimmung der Helligkeit des Himmels	54	7.8.2. Gesetzliche Regelungen und Normen der Länder	82
6.4.3. Klassifizierung von Gebieten	55	7.8.3. Organisationen und Tätigkeit der Astronomen	83
6.4.4. Kartierung der Lichtverschmutzung	56	7.9. Bildung und Information	83
6.4.5. Klassifikation von Umweltschutzgebieten	57	7.9.1. Verbreitung von Informationen durch Medien	84
7. Faktoren, Planung, Möglichkeiten, Kontroversen	59	7.9.2. Einfluss der Politik	84
7.1. Menschliches Sehen	59	7.9.3. Bildung in Schulen	85
7.2. Allgemeine Eigenschaften von Licht	60	7.9.4. Bildung der Fachleute und Planer	85
7.2.1. Farbe, Lichtfarbe, Wellenlängen	60	8. Erkenntnisse	87
7.2.2. Farbtemperatur und deren Wirkung	60	8.1. Problemlösung	87
7.2.3. Farbwiedergabe	61	8.2. Umsetzungszeitraum	88
7.2.4. Lichtfrequenz	61	8.3. Punkte, die zur Vermeidung von Lichtverschmutzung berücksichtigt werden sollen	89
7.2.5. Energieeffizienz der Lampen	62	8.3.1. Für die Lichtverschmutzung hauptverantwortliche Beleuchtungen	89
7.2.6. Lebensdauer der Lampen	62	8.3.2. Ursachen und Auswirkung der Lichtverschmutzung	89
7.3. Geometrie des Lichtes in der Freiraumbeleuchtung	62	8.3.3. Was kann berücksichtigt werden, um Lichtverschmutzung zu meiden?	90
7.3.1. Abstrahlungswinkel	62	8.3.4. Konfliktbereiche	92
7.3.2. Der Upward light ratio	63	9. Erkenntnisse aus der Befragung	95
7.3.3. Reflexion	64	9.1. Ablauf der Befragung	95
7.3.4. Blendung	65	9.2. Befragungen	95
7.3.5. Homogenität	65	9.2.1. Öffentliche Abteilung	95
7.4. Leuchtenkomponenten	66	9.2.2. Leuchtenhersteller	97
7.4.1. Tragende Struktur	66	9.2.3. Lampenhersteller	100
7.4.2. Gehäuse	66	9.2.4. Lichtplanungsbüro	102
7.4.3. Optisches System, Lichtlenkung	66	9.2.5. Landschaftsarchitekturbüro	104
7.4.4. Abdeckung	67	9.2.6. Landschaftsarchitekturbüro	105
7.4.5. Versorgungsgeräte, Elektronik	68	9.3. Zusammengefasstes Ergebnis der Befragung	106
7.4.6. Lampenfassungen	69	10. Resümee	111
7.4.7. Lampen	69	Literaturverzeichnis	115
7.4.7.1. Glühlampen, Halogenlampen	69	Abbildungsverzeichnis	119
7.4.7.2. Leuchtstoffröhren, Kompaktleuchtstofflampen	69		
7.4.7.3. Natriumdampfniederdrucklampen	70		
7.4.7.4. Natriumdampfhochdrucklampen	70		
7.4.7.5. Quecksilberdampf-hochdrucklampen	70		
7.4.7.6. Metallhalogendampf-lampen	70		
7.4.7.7. LED	71		
7.4.7.8. Weitere Lampenarten	71		
7.4.8. Schutzgrad IP (Ingress Protection)	71		
7.5. Leuchteneinteilung	72		
7.6. Betrieb von Freiraumbeleuchtungen	74		
7.6.1. Lichtsteuerung	74		
7.6.2. Halbschaltung	75		
7.6.3. Effizienz	75		
7.6.4. Kostennutzenrechnung, Kostenrechnung	76		
7.6.5. Instandhaltung	76		
7.7. Planung der Freiraumbeleuchtung	77		
7.7.1. Planungsinstrumente	78		
7.7.2. Simulationen, Planungshilfen	78		
7.7.3. Planung der Beleuchtungsanlage	79		
7.7.4. Lichtarten	80		

1. Einleitung

Das Licht ist uns Menschen vertraut und gilt als Symbol für das Leben. In der Dunkelheit hingegen fühlt sich der Mensch oft verloren und er verspürt Angst. Viele Religionen und philosophische Weltanschauungen sehen Licht als etwas Gutes und Göttliches und die Dunkelheit als Sinnbild des Bösen und des Teuflischen. Das Ewige Licht steht für Ewiges Leben. Wenn in Märchen das Schicksal besonders erbarmungslos zuschlägt, wird oft die dunkle Nacht miteinbezogen. Woher kommt wohl die Angst vor der Nacht? Wahrscheinlich aus der Angst vor dem Unbekannten, dem Unsichtbaren. Die Sinne des Menschen reichen nicht aus, die Nacht zu durchdringen und zu erfassen. Und Licht dient dazu, das Unbekannte bekannt zu machen und die Ängste zu vertreiben. (Wunderle und Maus, 2006)

Licht ist also eine der Hauptvoraussetzungen für das Leben. Die verschiedenen Organismen haben unterschiedliche Strategien entwickelt, um das Licht zu nutzen, sie brauchen es für verschiedene Zwecke, manche nutzen es direkt und andere indirekt. Die Hauptenergie- und Lichtquelle ist die Sonne. Die meisten anderen Energiequellen sind gespeicherte Energie der Sonne. Das Holz der Pflanzen, die Wasserkraft der Flüsse und die mineralischen Brennstoffe sind schlussendlich eingelagerte Sonnenenergie aus Urzeiten. Diese Energiestoffe kann der Mensch alle wieder zu Licht und Wärme transformieren. Nicht alle Energiequellen sind aber direkt vom Licht der Sonne abhängig, zum Beispiel die Geothermie, die bewegten Wassermassen

der Gezeiten oder die Kernenergie, die der Mensch ebenfalls alle zu nutzen weiß.

Spielt jedoch nur das Licht eine Rolle für das Leben auf der Erde oder auch die Dunkelheit? Die Wissenschaft hat heute die Erkenntnis gewonnen, dass permanentes Licht für viele Organismen schädlich ist. Sie kommen ohne Dunkelheit nicht zur Ruhe, sie werden im Schlaf gestört und der Schlaf ist für vieles Leben, den Menschen miteinbezogen, unentbehrlich. Wieso Lebewesen den Schlaf brauchen und was beim Schlaf genau passiert, ist zwar noch nicht eindeutig erforscht, gewiss ist jedoch, dass er lebensnotwendig ist. Die Bewahrung der Nachtruhe und der Dunkelheit ist also für unser Leben notwendig. Der Mensch ist ursprünglich ein tagaktives Wesen und mittlerweile imstande, die Nacht zum Tag zu machen. Er kann die Dunkelheit erhellen, ein Phänomen das vor allem in urbanen Gebieten stark zu beobachten ist. Der Mensch kann sich auch vor dem Licht schützen und sich die notwendige Dunkelheit und Ruhe künstlich erschaffen, indem er sich in einen verdunkelten Raum einschließt und somit zu seinem erholsamen Schlaf gelangt. Die meisten anderen Organismen sind jedoch der Lichtverschmutzung des Menschen schutzlos ausgesetzt.

Lichtverschmutzung ist ein Umweltproblem, das vom Menschen geschaffen wurde, ist jedoch ein Problem, das im Vergleich zu anderen, wie z.B. die Entsorgung von Atommüll, relativ einfach zu lösen ist. (Cinzano 2002)



◀Abb. 001: Sicht auf Europa bei Nacht. Die stark beleuchteten Gebiete sind aus dem All deutlich erkennbar.

2. Wissenstand

Lichtverschmutzung ist eine negative Beeinflussung der Umwelt durch künstliche Beleuchtung in der Nacht. Dabei kann diese Beleuchtung die Umwelt unterschiedlich beeinflussen. Beeinträchtigt werden dabei Flora und Fauna, der Mensch selbst und seine astronomische Forschung. Die Astronomen waren jene, die als erste das Phänomen der Lichtverschmutzung beobachtet haben, die auch schon seit geraumer Zeit darauf aufmerksam machen und dessen Entwicklung weltweit beobachten. Weiters wird schon seit langem beobachtet, und es ist auch allgemein bekannt, dass das Leben der Insekten vom Kunstlicht beeinflusst wird. Ein verändertes Verhalten von anderen Tierarten wurde auch beobachtet und in manchen Fällen auch erforscht. Weiters ist mittlerweile erwiesen, dass künstliches Licht während der Nacht den Zeitrhythmus von Tier und Mensch stört. Die Erkenntnisse, die ich bei meinen Recherchen darüber gewonnen habe, werden in dieser Arbeit auch erwähnt.

Allgemein ist über die Lichtverschmutzung noch nicht allzu viel bekannt, die Wissenschaft hat erst vor kurzem begonnen, diese zu erforschen. Lichtverschmutzung entsteht hauptsächlich durch schlecht geplante und schlecht installierte Freiraumbeleuchtung. (Klinkenborg, 2008) Es gibt also auch Wege und Erkenntnisse, wie die Situation verbessert werden kann.

Vorab eine kurze Entwicklungsgeschichte des künstlichen Lichts: Der Mensch erzeugte schon in der Steinzeit künstliches Licht. Steinscheiben mit einer Vertiefung wurden mit tierischen Fetten gefüllt und Flechten und Moose dienten als Docht. Später wurden auch Pflanzenöle als Brennstoff verwendet und im 5. Jahrhundert vor Christus gab es erste Lampen

aus gebranntem Ton. 1414 entstand in London eine erste Straßenbeleuchtung mit Öllaternen. 1792 wurde die viel hellere Gasbeleuchtung erfunden und zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die erste elektrische Straßenbeleuchtung mit Glühlampen in Betrieb genommen; zuvor gab es auch noch das Bogenlicht. In den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden die ersten Gasentladungslampen und Leuchtstofflampen entwickelt. In den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde die Niederdruckhalogenlampe erfunden und heute wird die Entwicklung der LED-Lampen am stärksten vorangetrieben. (Matz und Mehl, 2000) Wie aus der Entwicklungsgeschichte des künstlichen Lichtes herauszulesen ist, wird die Lichttechnik immer weiterentwickelt, um sie noch effizienter nutzen zu können. Dieser Entwicklungsprozess hat eine ständige Zunahme der Beleuchtung zur Folge, da nicht nur an ihrer Effizienz gearbeitet wird, sondern auch immer mehr Freiräume beleuchtet werden und dabei auch immer höhere Beleuchtungsstärken eingesetzt werden. Damit ist eine ständige Zunahme der Lichtverschmutzung verbunden, sofern nichts dagegen unternommen wird. Es gibt Studien, die besagen, dass die Lichtverschmutzung jährlich um 3% (Narisada und Schreuder, 2004) bis 10% (Cinzano, 2002 b, 206) zunimmt.

Langsam entsteht jedoch ein Bewusstsein, dass die Beleuchtung auch negative Auswirkungen mit sich bringen kann. Dies ist daran zu erkennen, dass es Forschungen in diese Richtung gibt, immer öfters Berichte zum Thema Lichtverschmutzung in den Medien zu finden sind und dass manche Länder sogar schon gesetzliche Regelungen erlassen haben, um der Lichtverschmutzung gezielt entgegenzuwirken.

◀Abb. 002: Sicht der Milchstraße ohne Lichtverschmutzung mit einer Vielzahl von Sternen in der Death Valley Wüste

3. Forschungsfrage

Nachdem die Lichtverschmutzung ein Problem darstellt und sie weltweit präsent ist, stellt sich nun die Frage, ob etwas dagegen gemacht werden kann. Die Freiraumbeleuchtung ist allorts präsent und wird als selbstverständlich angesehen. Die Gesellschaft möchte nicht mehr darauf verzichten, sonst würde es sie erst gar nicht geben und sie würde auch nicht eine stetige Ausbreitung erfahren. Nun stehen wir vor dem Problem, dass durch die ständige Zunahme der Freiraumbeleuchtung auch die Lichtverschmutzung permanent zunimmt.

Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage:

Kann eine Freiraumbeleuchtung so gestaltet werden, dass sie keine Lichtverschmutzung erzeugt?

Die aus der Forschungsfrage abgeleitete These lautet:

Eine umweltverträgliche Freiraumbeleuchtung ist möglich.

Um diese Frage zu beantworten und die entsprechende These zu untermauern oder zu verwerfen, stand nun die Arbeit bevor, realistische Lösungen zu finden, um der Problematik der Lichtverschmutzung zu begegnen. Die Lösungen sollten einerseits der funktionalen und gestalterischen Anforderung an die Beleuchtung gerecht werden und andererseits negative Einflüsse auf die Umwelt vermeiden. Oft widersprechen sich die Anforderung von Mensch und Umwelt, Gestaltung und Lebensqualität. Gibt es gemeinsame Lösungen oder muss ein Mittelweg gefunden werden, wo Kompromisse eingegangen werden müssen?

Die Problemlösung soll auf das Ziel der Nachhaltigkeit gerichtet sein. Ein Beleuchtungsproblem ist erst dann zufrieden stellend gelöst, wenn die Lösung keine negativen Auswirkungen mehr auf Mensch, Fauna, Flora und die astronomische Forschung hat und somit der Umwelt gerecht wird.

◀Abb. 003: Am Ground Zero Memorial in New York wurde das ‚Tribut in Light‘ installiert, das 2002 von April bis Mai und anschließend jeweils am 11. September zum Gedenken leuchtete. Tausende Zugvögel wurden von diesem Licht angezogen. Als Gegenmaßnahme wurde versucht, durch 20-minütiges Ausschalten des Lichtes die Vögel wieder zu befreien. (Anonym, 2010a)

4. Methodik

Diese Arbeit behandelt folgende Themen:

1. Aus welchen Gründen wird der Freiraum beleuchtet?
2. Welche Auswirkung hat die Freiraumbeleuchtung auf die Umwelt und den Menschen?
3. Welche Faktoren müssen bei der Freiraumbeleuchtung berücksichtigt werden, was bewirken sie, wie geht die Planung vor sich und welche Widersprüche gibt es?
4. Zusammengefasste Darstellung, was bei einer Freiraumbeleuchtung berücksichtigt werden muss, um die Lichtverschmutzung gering zu halten.
5. Überprüfung, wie tatsächlich mit dem Problem der Lichtverschmutzung umgegangen wird, durch eine Befragung von Fachleuten und Planern.

In den ersten drei Teilen wird die Theorie zur Freiraumbeleuchtung und der Lichtverschmutzung aufgearbeitet. Dabei wurde hauptsächlich Literatur recherchiert und ausgewertet. Die Texte sollten sich mit dem Umgang mit künstlichem Licht im Freiraum oder mit dessen Auswirkung befassen. Die Informationen sollten möglichst aktuell sein und aktuelle Trends aufzeigen, da der Bereich der Beleuchtung einem ständigen Wandel unterliegt, der durch rasante technische Neuerungen vorangetrieben wird. Die historische Entwicklung der Beleuchtung wurde weniger intensiv behandelt.

Im ersten Teil der Arbeit werden die Kriterien angeführt, weshalb in der Nacht der Freiraum beleuchtet wird, um die Notwendigkeit einer Beleuchtung zu verstehen. Im zweiten Teil geht es darum zu zeigen, welche negativen Auswirkungen der Freiraumbeleuchtung bekannt sind, was diese an Mensch und Umwelt bewirken und was genau die Ursachen dafür sind. Im dritten

Teil werden verschiedene Merkmale des Lichtes und der Beleuchtung allgemein gezeigt, was die Qualität einer Freiraumbeleuchtung ausmacht, wie der Planungsvorgang abläuft, welche Regelungen es gibt und welche Widersprüche es gibt. Dies alles dient dazu herauszufinden, wo es Mängel an der Freiraumbeleuchtung gibt und was genau die Ursachen der Lichtverschmutzung sind. Das ist die Voraussetzung zu verstehen, wo eingegriffen werden kann, um die Situation zu verbessern.

Im vierten Teil werden die Kriterien gelistet, die aus der Literaturrecherche hervorgehen und die berücksichtigt werden müssen, um der Lichtverschmutzung entgegenwirken zu können. Weiters werden Ansätze gezeigt, wie die Problematik gelöst werden könnte, Alternativen aufgezeigt und die Konfliktpunkte angesprochen.

Im fünften und letzten Teil werden die Erkenntnisse durch eine gezielte Befragung von Fachleuten und Planern geprüft. Das dient dazu herauszufinden, wie mit dem Thema Lichtverschmutzung in der Praxis umgegangen wird und ob schon in Richtung Lichtverschmutzungsvermeidung gehandelt wird und in welchem Ausmaß.

Um mir einen Überblick über die derzeitige Situation im Beleuchtungssektor für Außengestaltung zu verschaffen und persönliche Eindrücke zu gewinnen, habe ich die neuesten Kataloge von Lampen- und Leuchten-Herstellern durchstudiert und auch Fachmessen mit Schwerpunkt Beleuchtungstechnik besucht. So habe ich einen guten Überblick über aktuelle Trends bekommen und darüber, was der Markt anbietet und welche Produkte schlussendlich in der Praxis verwendet werden.

◀Abb. 004: In Europa gibt es nur noch wenige vor der Lichtverschmutzung verschonte Gebiete. In den Alpen sind noch einzelne Orte zu finden, in denen der natürliche Himmel beobachtet werden kann. Im Bild Admonter Reichenstein, Sparafeld, Kalbling und Riffel im Gesäuse, die zu den am wenigsten lichtverschmutzten Landteilen Zentraleuropas zählen

5. Künstliches Licht im Freiraum

In diesem ersten Kapitel möchte ich aufzeigen, was die wesentlichen Gründe sind, weswegen Freiräume überhaupt beleuchtet werden.

Die Freiraumbeleuchtung ermöglicht es, Freiräume auch in den dunklen Tagesstunden zu nutzen. Sie erfüllt dabei verschiedene Funktionen: zum Beispiel werden Straßen beleuchtet, damit sich die Verkehrsteilnehmer besser orientieren können und Freizeitanlagen werden mit Licht beflutet, damit sie auch am Abend genutzt werden können. Die nächtliche Beleuchtung von Wohngebieten dient dazu, dass sich die Menschen dort sicherer fühlen und die Stadt wird beleuchtet, damit sie auch am Abend gelebt werden kann. Nicht zuletzt wird Licht als Stadtgestaltungselement eingesetzt.

Die Beleuchtung ist das Schlüsselement, was das Nachtbild des Freiraumes betrifft. Eine natürliche oder künstliche Beleuchtung macht den Raum nachts erst optisch wahrnehmbar und es werden damit Elemente der Wiedererkennung geschaffen, die in der Regel nicht dieselben sind, wie jene am Tag. (Schmidt und Töllner, 2006) Licht hat auch die Funktion, die Raumqualitäten bei Nacht wahrnehmbar zu machen und die Individualität des jeweiligen Ortes zu stärken, was im Allgemeinen die Akzeptanz erhöht und zur Identitätsbildung eines Ortes beiträgt. (Holmes und Schmidt, 2006)

Kritisch betrachtet kann nächtliches Kunstlicht die natürlichen Rhythmen außer Kraft setzen und die Nacht zum Tage machen, somit wird eine unterschiedliche Erfahrung zwischen Tag und Nacht immer schwächer. Die Freiraumbeleuchtung hebt den dunklen, schützenden Mantel der Nacht auf. Künstliches Licht deutet auf menschliche Präsenz hin und intensive Beleuchtung wird oft als Zeichen der Modernität gesehen. (Hungerbühler und Morici, 2006)

5.1. Verkehrsinfrastrukturbeleuchtung

Die Gliederung der öffentlichen Freiräume wurde jahrzehntelang vornehmlich auf den Autoverkehr bezogen, somit überwiegt die funktionale Gliederung des öffentlichen Freiraumes nach den Anforderungen des Autoverkehrs. Daraus erfolgt, dass sich auch die Freiraumbeleuchtung an den Richtlinien der Straßenbeleuchtung orientiert, welche Beleuchtungsintensität, Lichtverteilung, Lichtfarbe, usw. bestimmen. Es ist jedoch sehr wichtig, dass die Beleuchtung auch den Anforderungen der anderen Verkehrsteilnehmer, jenen des nicht motorisierten Verkehrs, gerecht wird.

Die Beleuchtung von Straßen hat sich als effektive Methode erwiesen, um nächtliche Verkehrsunfälle zu reduzieren. Sie ist in verschiedenen Situationen hilfreich, sie dient der besseren Orientierung bei komplexen Kreuzungen, der frühzeitigen Erkennung von Kurven und Verkehrsschildern, dem Sichten von Hindernissen auf der Straße, von Kindern, Tieren und vielem mehr. Dabei muss sich die Beleuchtung nach der jeweiligen Straßenart und den jeweiligen Verkehrsteilnehmern richten (Autofahrer, Radfahrer, Fußgänger). (Narisada und Schreuder, 2004)

5.1.1. Motorisierter Straßenverkehr

Für den motorisierten Verkehr gibt es genaue Richtlinien was die Beleuchtung betrifft. Diese sind in den jeweiligen Ländern als nationale Normen vorgegeben; so sind es zum Beispiel in Deutschland die DIN-Normen, in Österreich die ÖNORM-Normen, in Italien die UNI-Normen. Heute gelten meist die Regelungen der Europäischen Union, die EN (Europäische Norm), welche von den einzelnen EU-Ländern übernommen wurden/werden sollten und in der nationalen Normung eingearbeitet sind/sein sollten. Diese Normen geben unter anderem die Beleuchtungsdichten für die verschiedenen Straßenarten je nach Verkehrsaufkommen an. Ich möchte jedoch

◀Abb. 005: Luftaufnahme von London bei Nacht



Abb. 006: Verkehrs-knotenpunkte werden zur besseren Orientierung der Autofahrer oft beleuchtet.



Abb. 007: Autobahnausfahrt der A2 in Wien



Abb. 008: Containerterminal, Beleuchtung für spezielle Infrastrukturen

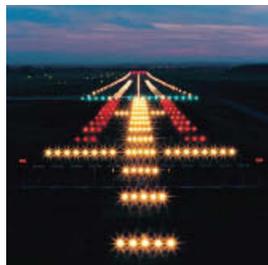


Abb. 009: Anflugbefeuerung

nicht genauer auf diese verschiedenen Normen eingehen. Die Straßen werden vor allem aus Sicherheitsgründen beleuchtet, um Verkehrsunfälle zu vermeiden. Durchschnittlich kann eine gute Beleuchtung auf den Straßen die Unfallrate um 13% senken. (Narisada und Schreuder, 2004)

Die Straßenbeleuchtung spielt in der Freiraumbeleuchtung eine wesentliche Rolle, da sie den Hauptanteil an künstlichem Licht ausmacht. In Bezug auf die Lichtverschmutzung gibt es hier große Spielräume.

Kritisch gesehen wird dem Autoverkehr allgemein ein verhältnismäßig zu großer Stellenwert eingeräumt. Dies haben Beobachtungen, vor allem in strukturschwachen Ländern gezeigt, wo die sanitäre Infrastruktur Opfer aus Verkehrsunfällen bevorzugter behandelte als Patienten mit anderen, schwerwiegenderen Gesundheitsproblemen. (Narisada und Schreuder, 2004)

5.1.2. Nicht motorisierter Verkehr, Fußgänger

Die Wege- und Straßenbeleuchtung für den nicht motorisierten Verkehr hat mehrere Funktionen. Die Fußgänger haben im Gegensatz zu den Autofahrern meist keine eigene Lichtquelle. So dient für sie die Straßenbeleuchtung dazu, Hindernisse zu erkennen, nicht vom Weg abzukommen, sich in nicht vertrauter Gegend besser zu orientieren und die eigene Position besser bestimmen zu können. Weiters erleichtert es eine Straßenbeleuchtung den Fußgängern, Personen leichter und aus weiterer Ferne zu erkennen und suspekten Personen aus dem Weg gehen zu können. (Narisada und Schreuder, 2004) Künstliches Licht ist für die Teilnehmer des nicht motorisierten Verkehrs auch wichtig, damit sie von den Autofahrern gut gesehen werden können. Licht kann auch als leitendes Element eingesetzt werden, um Fußgänger zwischen verschiedenen Brennpunkten der Stadt zu leiten und es kann einzelne Wegstrecken betonen und ihnen so eine größere Bedeutung zuteilen. (Schmidt und Töllner, 2006) Beim nicht motorisierten Verkehr sind nicht allzu hohe Beleuchtungsstärken notwen-

dig, da die Geschwindigkeit der Teilnehmer moderat ist und diese nicht so weit in die Ferne voraussehen müssen.

5.1.3. Weitere Verkehrsinfrastrukturen

Es gibt noch eine Reihe weiterer Verkehrsinfrastrukturen, die meist eigene Anforderungen an die Freiraumbeleuchtung stellen. Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs und die Infrastrukturlinien der Eisenbahnen haben oft Lichtkonzepte, die sich über das gesamte Netz oder über einzelne Linien hinweg ziehen. (Schmidt und Töllner, 2006) Weitere Verkehrsinfrastrukturen sind beispielsweise Häfen, Schleusen, Containerterminals und Flughäfen, die Beleuchtungssysteme benötigen, die speziellen Anforderungen gerecht werden müssen. Flughäfen zum Beispiel benötigen eine Anflugbefeuerung, dürfen jedoch kein Kunstlicht haben, das die Piloten beim Anflug blenden könnte.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Verkehrsinfrastrukturbeleuchtung einen wesentlichen Anteil der Freiraumbeleuchtung ausmacht und somit auch einen großen Einfluss auf die Lichtverschmutzung hat. Vorteilhaft ist, dass es Richtlinien gibt, welche die Verkehrsinfrastrukturbeleuchtung in einem gewissen Maße regelt und dass diese meist von der öffentlichen Hand verwaltet wird. Diese hält sich grundsätzlich an die vorgegebenen Richtlinien, um keine Risiken einzugehen. Sind also in den Richtlinien Empfehlungen enthalten, welche der Vermeidung von Lichtverschmutzung dienen, kann eigentlich davon ausgegangen werden, dass diese auch befolgt werden. Es ist sehr wichtig, dass es solche Richtlinien überhaupt gibt, was jedoch leider noch nicht überall der Fall ist.

5.2. Sicherheitsbeleuchtung, Beleuchtung für das Sicherheitsgefühl

Vor allem in den dunklen Stunden ziehen sich die Leute zurück und trauen sich oft nicht mehr aus ihren Häusern; das ist der Hauptgrund, wieso Freiräume beleuchtet werden.

Die Angst vor Kriminalität wird zu einem der Hauptprobleme der heutigen Gesellschaft gezählt. Es ist jedoch von Kultur zu Kultur unterschiedlich, was als Kriminalität bezeichnet wird. Allgemein wird ein zu aggressives Verhalten, das von der Gesellschaft nicht akzeptiert wird, als kriminell gewertet, wie Einbrüche, Diebstähle und körperliche Gewalttaten. Objektiv gesehen gibt es zwar mehr Verkehrsunfälle (Tote) als Kriminaltaten, jedoch ist die subjektive Angst vor Kriminalität im Allgemeinen größer als die vor Verkehrsunfällen. Beleuchtung hat den positiven Effekt, dass sie die Angst vor Kriminalität mindert und ein gewisses Sicherheitsgefühl verleiht. Wenn die Menschen Angst haben, ziehen sie sich in ihre Häuser zurück; am öftesten trifft das bei älteren Menschen und bei Frauen zu. Dieses Verhalten hat eine Schrumpfung der sozialen Kontakte und Fähigkeiten zur Folge, was wiederum Ursache von Kriminalität sein kann. Ein geringes Menschengeschehen auf den Straßen kann Straftaten begünstigen, außerdem bleibt dadurch die soziale Kontrolle aus und als Folge ist auch die Aufklärungsmöglichkeit einer Straftat gering.

Oft wird damit argumentiert, dass eine gute, helle Freiraumbeleuchtung der Kriminalitätsprävention dient. Die Beleuchtung ist jedoch keine Prävention gegen Kriminalität. Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass beleuchtete Straßen oft lediglich zu einer örtlichen Verschiebung der Straftaten führen. Das heißt an Orten, wo die Beleuchtungsintensität erhöht wird, kann zwar eine Minderung der Kriminaltaten verzeichnet werden, jedoch ist gleichzeitig an anderen Orten eine Zunahme zu verzeichnen. Dies bedeutet, dass die Beleuchtung in der gesamten Stadt übergreifend geplant werden muss. (Narisada

und Schreuder, 2004) Auch wenn die meisten Straftaten bei Dunkelheit verübt werden, ist die Dunkelheit nicht Ursache von Kriminalität und Licht löst somit auch nicht wirklich dieses Problem. Die Politik macht sich jedoch oft den Placebo-Effekt der Beleuchtung für mehr Sicherheit zunutze. Sie verspricht damit der Bevölkerung die weit verbreitete Erwartung an Sicherheit, das Recht auf Unversehrtheit und soziale Ordnung. (Hungerbühler und Morici, 2006) Die Bürger fühlen sich bei guter Beleuchtung zwar sicherer, aber die öffentliche Hand hat das Problem nach wie vor nicht gelöst.

Weiters ist anzumerken, dass in sozial schwachen Siedlungen die Beleuchtung auf die Bedürfnisse der Einwohner ausgelegt werden soll. Es darf keine Beleuchtung installiert werden, die vornehmlich auf die Polizeiüberwachung ausgerichtet ist, die an Grenzschutzanlagen erinnert. Dies provoziert Vandalismus an den Leuchten, was wiederum zu mehr Kontrolle durch Staatsgewalt führt, was wiederum Aggressionen verursacht. (Schmidt und Töllner, 2006)

Auch wenn die Beleuchtung keine Kriminalitätsprävention ist, so verleiht sie doch ein Sicherheitsgefühl und es gibt ein paar Dinge, die berücksichtigt werden sollten, damit die Beleuchtung eine gute Wahrnehmung ermöglicht. Wichtig ist zum Beispiel, dass zwischen hellen und dunklen Zonen keine zu großen Unterschiede sind, also Zonen mit Überbeleuchtung vermieden werden und dass eine durchgehend ausgeglichene, moderate Beleuchtungsstärke gewählt wird. So können sich Böswillige nicht in den Dunkelzonen verstecken, und potenzielle Opfer tappen nicht ins Dunkle, weil sich das Auge nicht schnell genug adaptiert hat. Weiters soll eine gewisse vertikale Beleuchtungsstärke gegeben sein, um die Gesichter erkennen zu können. Eine Untersuchung hat herausgefunden, dass gegen dunklen Hintergrund 17 cd/m² benötigt werden, um ein Gesicht zu erkennen und 1 cd/m², um die Gesichtszüge zu erkennen. (Narisada und Schreuder, 2004)

Laut Narisada und Schreuder (2004) gibt es fünf Kriterien für soziale Sicherheit:



Abb. 010: Typische Straßenbeleuchtung einer Wohngegend in Wien



Abb. 011: Straßenbeleuchtung im ländlichen Raum



Abb. 012: Eine lieblose Sicherheitsbeleuchtung in einem Township in Südafrika



Abb. 013: Erdölraffinerie in Wien; die Beleuchtung ermöglicht einen 24-Stunden-Betrieb der Industrie.



Abb. 014: Tankstellen sind meist sehr stark beleuchtet.



Abb. 015: Mit beleuchteten und leuchtenden Werbetafeln versucht das Handelsgewerbe Kunden anzulocken.

Vorhandensein von sozialer Kontrolle; Abwesenheit potenzieller Krimineller (Verweisung suspekter Personen); Sichtbarkeit (keine verdeckten Zonen); klare Situation (leichte Orientierung, Fluchtmöglichkeit); attraktive Umgebung (sauber, gute Erhaltung).

Licht ist jedoch nicht die einzige Lösung, um die Angst vor der Dunkelheit zu bekämpfen. Sich öfters in der Dunkelheit aufzuhalten und sich an sie zu gewöhnen, ist auch eine Möglichkeit, der Angst vor Dunkelheit vorzubeugen. Wenn die Dunkelheit die Sicht verunmöglicht, werden nämlich andere Sinne wach, vor allem der Gehörsinn und der Tastsinn. Geräusche und Empfindungen, wie eine kühle Luft, werden viel stärker wahrgenommen. (Hungerbühler und Morici, 2006)

Resümierend kann gesagt werden, dass die Beleuchtung zwar das Problem der Kriminalität nicht löst, jedoch den Bürgern das Gefühl von mehr Sicherheit verleiht, was insgesamt eine positive Wirkung hat und sich positiv auf die Psyche auswirkt. Da jedoch das Problem der Kriminalität nicht von der Beleuchtung allein gelöst werden kann, sollte auch nicht verschwenderisch mit dem Licht umgegangen und unnötige Lichtverschmutzung erzeugt werden. Es sollte nur jene Beleuchtungsstärke eingesetzt werden, die notwendig ist, damit sich die Menschen sicher fühlen, und es sollten Qualitätsaspekte der Beleuchtung berücksichtigt werden: Hell-Dunkel-Zonen sind zu vermeiden und die vertikalen Beleuchtungsstärken zu berücksichtigen; auch Blendung und unnötige Lichtstreuung in die Umgebung sollten vermieden werden.

5.3. Gewerbliche Beleuchtung

Unter diesem Titel fasse ich jene Freiraumbeleuchtungen zusammen, die in direktem Zusammenhang mit dem Gewerbe stehen. Dazu zählt auch jene, die indirekt für das Gewerbe am Tag genutzt wird, wie zum Beispiel die Beleuchtung, die dazu dient, dass Geschäfte bei Nacht beliefert werden können und ihre Abfälle entsorgt werden können. Der Zweck die-

ser Beleuchtung ist es, die Effizienz der gewerblichen Tätigkeit zu steigern, und die Arbeitszeit über die Tagstunden hinaus in die Nachtstunden verlängern zu können. (Narisada und Schreuder, 2004) Weiters bedient sich die Freizeit- und Vergnügungsindustrie der Beleuchtung und trägt entscheidend zur Ausbreitung intensiver Beleuchtungsstandards bei. Die Beleuchtung von Reklamen, Geschäften, Verkaufsf lächen, Restaurants, Vergnügungsorten und mehr soll die verschiedenen ‚city user‘ zu Konsum und Geldausgaben anregen. Dabei drängt sich das Kunstlicht oft den Bewohnern mit einer unausweichlichen Penetranz auf, die als lästig empfunden wird. (Hungerbühler und Morici, 2006)

5.3.1. Industrieanlagen

Die Industrie beleuchtet ihre Freigelände, damit auch nachts gearbeitet werden kann. Dies ermöglicht die 24-Stunden-Arbeit, damit die industriellen Betriebe effizienter sind und die Produktionsprozesse nicht unterbrochen werden müssen, wie es zum Beispiel in der Chemieindustrie, der Stahlindustrie und in den Erdölraffinerien üblich ist. Die Beleuchtungsstärken sind so gewählt, dass die Sehaufgabe für die jeweilige Arbeit bewältigt werden kann und die Effizienz und die Moral der Arbeiter gesteigert wird. Die Beleuchtung ist für eine sichere Arbeit in der Nacht notwendig, für eine bessere Sicherheit in Notsituationen und für den Transport bei Nacht. In diesem Wirtschaftsbereich wird hauptsächlich auf die physiologische Notwendigkeit des Sehens eingegangen. Exzessive Beleuchtungsstärken sollten jedoch auch hier vermieden werden. (Narisada und Schreuder, 2004)

5.3.2. Handelsgewerbe, Geschäfte

Die Geschäfte beschränken sich nicht auf die notwendigen Beleuchtungsstärken, die zum Sehen erforderlich sind, sondern wollen mit zusätzlichem Licht werben und eine künstliche Atmosphäre schaffen, die zum Kauf anregt. Die Geschäfte möchten möglichst viele Kunden anziehen und

sie dazu ermutigen, auch in den dunklen Tageszeiten einkaufen zu gehen. Dabei spielt nicht nur die Beleuchtung im Inneren des Geschäftes eine Rolle, sondern auch jene im Freien, wie die Beleuchtung der Wege zum Geschäft hin, seien es Fußwege oder Wegstrecken für die Autos. Der Weg zum Einkauf soll für den Kunden leicht, einfach und sicher sein. Weiters werden die Parkplätze der Geschäfte beleuchtet, Anzeigetafeln angestrahlt, Leuchtschriften eingesetzt, Gebäude angeleuchtet und die Überdachungen von Tankstellen grell beleuchtet. Somit trägt auch das Handelsgewerbe wesentlich zur Freiraumbeleuchtung bei. (Narisada und Schreuder, 2004) Diese Beleuchtungseinrichtungen ergeben kein homogenes Bild, da meist der jeweilige Geschäftsbetreiber entscheidet, in welchem Ausmaß er den Freiraum beleuchtet. Es kann auch vorkommen, dass es zu einem Konkurrenzverhalten zwischen den Geschäftsleuten kommt, was mitunter zu übertriebenen Beleuchtungsstärken führt.

5.3.3. Gewächshäuser

Gewächshäuser mit künstlichem Licht für die Pflanzenproduktion beschränken sich zwar auf bestimmte Gebiete, aber dort wo welche vorhanden sind, ist ihr Einfluss auf die Umgebung groß. Beleuchtete Gewächshäuser können auch als eine Art Freiraumbeleuchtung gesehen werden, da diese großteils aus lichtdurchlässigem Glas oder Folien gemacht sind. Bei der Blumenproduktion werden die Gewächshäuser mit 4.000 bis 6.000 Lux beleuchtet und solche für Früchte bis zu 10.000 Lux. Diese hohen Beleuchtungsstärken emittieren 20mal mehr Licht pro Einheit, als ein städtisches Gebiet. In den Gebieten, wo beleuchtete Gewächshäuser stehen, stellen diese ein massives Problem in Sachen Lichtverschmutzung dar. (Narisada und Schreuder, 2004)

5.3.4. Werbeanlagen

Die Werbung ist Bestandteil der gewerblichen Kommunikation und der Information, sie wird für kommerzielle

Zwecke eingesetzt und soll Bedürfnisse im Menschen wecken. Ein Teil der Werbung wird mittels Werbeanlagen im Freiraum publiziert. Diese Werbeanlagen sind in der Bauordnung geregelt, die vorschreibt, dass sie nicht erheblich belästigen dürfen, insbesondere durch Häufung, Größe, Lichtstärke und Betriebsweise. Werbeanlagen müssen so gestaltet sein, dass sie das Straßen-, Orts-, und Landschaftsbild nicht verunstalten. Sie dürfen benachbarte Wohngebäude nicht belästigen, wie beispielsweise in Schlafräume leuchten. Weiters dürfen sie keine Gefahr für den Verkehr darstellen. Mittlerweile gehört die Werbung und ihre Beleuchtung und Anstrahlung bei Nacht zum gewohnten Straßenbild. (Töllner, 2006) Trotz der Regelung sind jedoch Werbeflächen im Freiraum oft aufdringlich und in den Nachtstunden grell beleuchtet, was viel Licht in die Umgebung streut. Die Beleuchtung von Werbetafeln ist in den Industrieländern oft eines der größten Probleme was die Lichtverschmutzung betrifft. In den Zonen E1 und E2 sollten Werbetafeln vermieden werden. (Narisada und Schreuder, 2004)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Gewerbe auch einiges zur Freiraumbeleuchtung beiträgt. Da das Gewerbe privatwirtschaftlich ist, sind die Beleuchtungskonzepte eher klein strukturiert und das Ausmaß vom Ermessen des Betreibers bestimmt. Manche dieser Beleuchtungen können erheblich zur Lichtverschmutzung beitragen. Vielleicht fehlt hier noch das Bewusstsein mit dem Umgang mit Licht, was zu überproportionaler Beleuchtungsintensität führt und zu Beleuchtungsanlagen mit hoher Lichtverschmutzung. Die privatwirtschaftlichen Kunstlichtanlagen sollten außerdem so gesteuert werden, dass sie ins Gesamtbild der Stadt passen und es zu keiner Konkurrenzbeleuchtung kommt, die immer höhere Beleuchtungsstärken zur Folge hat.



Abb. 016: Nachts beleuchtete Gewächshäuser erzeugen viel Umgebungslicht.



Abb. 017: In der Werbung sollte sparsam mit Licht umgegangen werden.



Abb. 018: Belästigende Werbetafeln?



Abb. 019: Yellow Marker, Lichtinstallation des Künstlers Mischa Kuball als Landmark im Ruhrgebiet



Abb. 020: Golden Gate Bridge in New York, nicht nur die Fahrbahn ist beleuchtet sondern auch die Brückenpfeiler sind in Szene gesetzt.



Abb. 021: Das Sauschloss in Südtirol. Ruinen und historische Bauwerke werden nachts gerne beleuchtet.

5.4. Stadtgestaltung, Stadtverschönerung, Imagebeleuchtung

In den vergangenen Jahrzehnten war die Freiraumbeleuchtung von den funktionalräumlichen Ansprüchen der Verkehrsplanung und der Sicherheitsbeleuchtung dominiert. Heute wird der städtebaulich-gestalterische Aspekt mehr in den Vordergrund gerückt. Der Stadtraum wird nach Rangordnung gegliedert, indem Plätze, Straßen, Boulevards, Gassen, Parks und halböffentliche Bereiche in den Vordergrund gerückt werden. (Schmidt und Töllner, 2006)

Die Beleuchtung, welche der Stadtverschönerung dient, ist eine Maßnahme, die über die Beleuchtung des mindest Notwendigen hinausgeht und an deren kreativen Einsatz sich der Stadtbewohner erfreuen sollte. Die Menschen sollten sich mit diesen Verschönerungsmaßnahmen identifizieren können, sie schätzen und etwas damit anfangen können. Die Beleuchtung sollte zudem funktionell sein, wie eine Statue erst dann funktionell ist, wenn man sich auf dessen Sockel setzen kann und die Kinder diese beklettern können. (Narisada und Schreuder, 2004) Kunstlicht, das zu den Maßnahmen der Stadtverschönerung zählt, ist zum Beispiel die Beleuchtung von Bauwerken, Monumenten und Gartenlandschaften. Diese können somit nachts auch anders in Szene gesetzt werden als bei Tag und durch verschiedene Beleuchtungswinkel und Farben anders wirken als bei Tag. Mit einer Beleuchtung kann ‚Schönes‘ hervorgehoben werden und ‚Hässliches‘ im Dunkeln versteckt werden. Kommunen und Städte wollen neuerdings die Nacht attraktiver und lebenswerter machen. In einigen Städten hat sich sogar ein Nachttourismus entwickelt, der sich nicht mehr nur auf das Nachtleben der Vergnügungsindustrie beschränkt, sondern auch nächtliche Stadtrundgänge vorsieht, um beleuchtete historische Bauwerke, Industriegelände und Vergnügungsstätten zu besichtigen, wobei die Beleuchtung selbst Protagonist ist. Die Beleuchtung von bedeutsamen Bauten soll diese ästhetisch

aufwerten und die lokale Identität fördern, was meist Akzeptanz bei den Bewohnern findet. (Hungerbühler und Morici, 2006)

5.4.1. Landmarken

Landmarken oder Landmarks sind einzelne, von der Ferne erkennbare Orientierungspunkte, die markant und Identität bildend sind. Dies können markante Punkte an Stadteingängen sein, Blickachsen in die Stadt, erhobene Objekte wie Kirchtürme und andere Bauwerke, oder Landschaftsbereiche, die akzentuiert werden. (Holmes und Schmidt, 2006) Landmarks können auch nachts geschaffen werden, indem einzelne markante Punkte beleuchtet werden, die sich aus der Dunkelheit abheben und in der Nacht als Orientierungspunkte dienen. Manche können sogar nur nachts auffallen oder gar nur nachts vorhanden sein. Landmarks sollten bewusst und mit Vorsicht beleuchtet werden, da diese durch ihr oft starkes Licht oder gar Lichtstrahlen in den Himmel negativen Einfluss auf die Lichtverschmutzung haben können.

5.4.2. Gebäude, Denkmäler und Bauwerke allgemein

Beachtenswerte Gebäude, wie historische Bauten, religiöse Bauwerke, Schlösser, Museen, Brücken usw. werden nachts oft angestrahlt, beziehungsweise beleuchtet und somit dekorativ hervorgehoben. Diese Bauwerke werden nachts durch Lichteffekte in Szene gesetzt mit dem Ziel, ein eigenes Nachtstadtbild zu erzeugen. Das Licht kann auf ausgewählte Punkte fokussiert werden, es kommt aus einer anderen Richtung als tagsüber, somit wird eine andere Wirkung erzielt als bei Tag. Bauwerke werden auch gerne als Statussymbole in Szene gesetzt, z. B. Paläste, Regierungsgebäude, Banken und Firmengebäude. Weitere Elemente wie Bäume, Teiche, Flüsse, Brunnen und Monumente werden ebenfalls nachts mit Licht inszeniert. (Narisada und Schreuder, 2004) Bei der Beleuchtung von Bauwerken und anderen Elementen kann auch viel Licht in den Himmel gestrahlt werden und sich

somit wesentlich als Lichtverschmutzung auswirken. Das Licht wird oft von Bodennähe auf das Bauwerk gerichtet oder es strahlt frontal auf das Bauwerk, dabei kann sehr viel Licht am beleuchteten Objekt vorbeistreichen und sich ungehindert in den Himmel verlaufen. Weiters kommt es durch die oft relativ hohen Beleuchtungsstärken zu viel reflektiertem Licht, das in die Umgebung gestreut wird.

5.4.3. Plätze

Bei den Plätzen sollte auf die individuellen Gegebenheiten des Ortes eingegangen werden. Hier geht es um die Sichtbarmachung des Raumes, die Definition von Raumgrenzen und um die Herausarbeitung prägender Elemente wie Brunnen, Skulpturen, topographische Kanten oder Baumgruppen. Das Funktionallicht muss dem Raum bildenden Licht untergeordnet oder in ihn integriert werden, damit die räumliche Wirkung erhalten bleibt. (Holmes und Schmidt 2006)

5.4.4. Parkanlagen und Grünräume

Grünanlagen und Parks werden meist schwächer beleuchtet als Plätze, Straßen, Fußgängerzonen und Promenaden. Die Beleuchtung der Grünanlagen beschränkt sich meist auf die Durchwegung und es kommt vor, dass einzelne Elemente angestrahlt werden. Heute gibt es vermehrt den Anspruch, öffentliche Grünanlagen auch nachts nutzen zu können und sie bei Nacht nicht mehr abzusperrern. Grünräume sind ständig im Wandel und im Wachstum. Für sie gibt es keine Standardschablone für ein Beleuchtungskonzept, jede Anlage ist individuell zu behandeln. Wichtig dabei ist, dass die Beleuchtung flexibel ist und dem Wandel und dem Wachstum angepasst werden kann. Nachts ist jedoch nicht nur das Licht die Gestaltungssprache in einer Parkanlage, sondern genauso die Dunkelheit und diese darf nicht ganz verloren gehen. In den zu hell erleuchteten Grünräumen kann man sich sonst nicht mehr am Sternenhimmel erfreuen. (Sachse, 2006 a) Die Beleuchtung in den Parkanlagen soll

so konzipiert sein, dass die Anlagen gut nutzbar sind und sich die Menschen dort sicher fühlen, aber sie soll gering gehalten werden und starke Kontraste zwischen Hell und Dunkel sollen vermieden werden, damit keine Angsträume entstehen. (Holmes und Schmidt, 2006) Wenn die Parkanlagen also moderat beleuchtet werden, was auch dem Sinn des Naturraumes entspricht, dürften diese in Sachen Lichtverschmutzung keine größeren Probleme darstellen.

5.4.5. Permanente Kunstprojekte

Lichtinstallationen sind natürlich auch in der Kunst ein wichtiger Bestandteil. Licht wird zunehmend auch als künstlerisches Gestaltungsmittel im öffentlichen Raum eingesetzt. Städte und Kommunen setzen Kunst ein, um das Stadtbild aufzuwerten oder um die Identität eines Ortes zu stärken. Licht kann in diesem Kontext auf unterschiedliche Weise eingesetzt werden: (1) Lichtinszenierung: hier werden Objekte, Raumgrenzen, Architektur, Flächen und Stadtelemente beleuchtet; (2) Lichtgestaltung: Licht wird mit andern Gestaltungsmitteln zu einem Lichtwerk zusammengeführt und als integrierendes Gestaltungsmittel genutzt; (3) Lichtobjekt: Licht ist wichtigstes oder gar einziges Gestaltungsmittel, die Nachtgestalt unterscheidet sich deutlich von der Taggestalt. (Sachse, 2006 b)

Schlussfolgernd kann zur Beleuchtung für Stadtgestaltung gesagt werden, dass auch diese die Lichtverschmutzung beeinflusst. Die Beleuchtung von Bauwerken und Objekten kann sogar einen wesentlichen Beitrag zur Lichtverschmutzung leisten, da durch ungenaues Anstrahlen viel Licht entweichen kann. Weiters können hohe Beleuchtungsstärken zu Problemen führen.



Abb. 022: Öffentlicher Platz mit beleuchteter Wasser-Installation



Abb. 023: Im Leutschenpark in Zürich wurde die Beleuchtung im künstlerischen Kontext eingesetzt.



Abb. 024: Permanente Lichtinstallation von Olafur Eliasson in Frankfurt am Main



Abb. 025: Beleuchteter Freizeitsportplatz mit gerichtetem Licht



Abb. 026: Beleuchtete Schi-abfahrtspiste

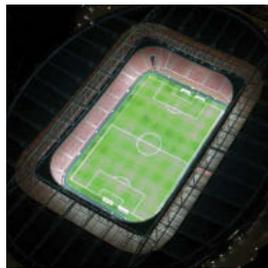


Abb. 027: Beleuchtetes Fußballstadion in London



Abb. 028: Weihnachtsbeleuchtung in der Währinger Straße in Wien



Abb. 029: Bühnenbeleuchtung beim Donauinsselfest

5.5. Sportanlagen

Sportanlagen werden nach verschiedenen Kriterien beleuchtet. An Sportanlagen für den Freizeitsport und deren Beleuchtung werden andere Anforderungen gestellt als an Sportanlagen für den professionellen Sport, beziehungsweise Berufssport, wobei es auch Überschneidungen geben kann. Je höher der Professionalitätsgrad eines Wettsports ist, umso höher sind die Anforderungen an den Sportplatz und dessen Lichtanlage, sei es für den Athleten wie für den Zuschauer. In der EN 12193 ist festgelegt, wie eine Sportplatzbeleuchtung für die jeweilige Sportart und den jeweiligen Professionalitätsgrad ausgeführt sein soll.

5.5.1. Freizeitsportanlagen, Trainingsplätze

Die Freizeitsportanlagen werden gerne auch abends genutzt und entsprechend beleuchtet, da die Menschen, die tagsüber wegen ihrem Beruf oder aus anderen Gründen nicht Sport betreiben können, dies noch abends tun können. Die Beleuchtung dieser Plätze richtet sich hauptsächlich nach den Bedürfnissen der Sportler. Die Beleuchtungsstärke ist von der Sportart bestimmt, die von der Geschwindigkeit des Sportes oder der Flughöhe, Geschwindigkeit und Art des Balles abhängig ist. Weiters muss darauf geachtet werden, dass die Spieler wenig Schatten werfen. (Narisada und Schreuder, 2004)

5.5.2. Berufssportanlagen

Berufssportanlagen werden von zwei Gesichtspunkten aus beleuchtet, einerseits damit die Athleten ausreichend sehen und andererseits damit die Zuschauer das Spiel gut verfolgen können. Dabei wird auch nach dem Professionalitätsgrad unterschieden, ob eine Anlage für internationalen/nationalen, regionalen, lokalen, Trainings- oder Freizeit-Sport ausgelegt ist. Für Fußball auf internationalem/nationalem Niveau ist die mittlere horizontale Beleuch-

tungsstärke mit 500 Lux festgelegt und eine Mindestfarbwiedergabe von R_a 60. Für Ski Alpin/Freistiel auf internationalem/nationalem Niveau liegt die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke bei 100 Lux. Werden die Spiele im Fernsehen übertragen oder aufgenommen, steigen die Anforderungen noch höher. In diesem Fall sind auch vertikale Beleuchtungsstärken, Gleichmäßigkeit, Farbtemperatur, Farbwiedergabe und Beleuchtungsniveau im Zuschauerbereich strenger festgelegt. (DIN, 2002) Diese Sportanlagen werden auch deswegen mit hohem Aufwand beleuchtet, damit eine höhere Zuschaueranzahl erreicht wird, vor allem im Fernsehen sind abends die höchsten Einschaltquoten.

Im Bezug auf Lichtverschmutzung haben die Beleuchtungen von Sportanlagen einen wesentlichen Einfluss. Dies ist auch leicht zu beobachten: wenn ein Spiel stattfindet, ist schon von der Ferne eine weiße Lichtglocke über dem Stadion zu erkennen oder eine leuchtende Schneise am Berg.

5.6. Temporäre Beleuchtungsinstallationen

Temporäre Beleuchtungen sind Installationen, die nur zeitlich beschränkt vorhanden sind, meist zu einem bestimmten Anlass, wie zum Beispiel bei einem Festival, einer Baustelle oder zur Weihnachtszeit. Meines Erachtens sind temporäre Lichtinstallationen ein wichtiger Teil der Freiraumbeleuchtung. Sie bringen Dynamik in die Nutzung des Freiraumes und machen ihn vielfältiger, sie verändern das Bild eines Raumes oder eines Geländes immer wieder aufs Neue und schaffen neue Anziehungspunkte. Werden aber dauerhafte spektakuläre Lichtinstallationen realisiert, finden diese meist nur kurze Akzeptanz. (Holmes und Schmidt, 2006)

5.6.1. Weihnachtsbeleuchtung

In der Weihnachtszeit ist es weit verbreitet, Städte, Häuser und Bäume mit Lichtern zu schmücken. Einst war dieses Licht das Symbol für Jesus Christus als Licht der Welt. Mittlerweile wird es zum Stadtmarketing eingesetzt, Geschäfte werben mit Weihnachtsbeleuchtung und die Privathaushalte bringen damit weihnachtliche Stimmung ins und ans Haus. Früher wurden Kerzenlichter verwendet, heute sind sie wohl fast ausschließlich von elektrischen Lichtern ersetzt worden. Zu diesem Thema habe ich keine Literatur hinsichtlich Lichtverschmutzung gefunden. Weihnachtsbeleuchtung bringt zwar mehr Licht in den Freiraum, doch es handelt sich meist um Lichter mit mäßiger Leuchtkraft. In der nördlichen, gemäßigten Klimazone fällt die Weihnachtszeit in die Ruheperiode der Natur, sodass angenommen werden kann, dass die Natur davon mäßig beeinflusst wird. Der Himmel wird zwar zusätzlich erhellt, dafür können sich die Menschen in dieser Zeit an einem künstlichen Sternenhimmel erfreuen.

5.6.2. Events

Viele Events, wie Musikfestivals, Kunstfestivals oder Freilichtkinos, spielen sich auch abends unter freiem Himmel ab. Bei diesen Ereignissen spielt natürlich die Beleuchtung eine wesentliche Rolle und sie setzt oft nicht nur die Bühne in Szene sondern auch die Umgebung. Inwieweit bei solchen Ereignissen die Lichtverschmutzung berücksichtigt wird, ist mir nicht bekannt und ich bin auch auf keine entsprechende Literatur gestoßen. Die einzige kritische Literatur zu diesem Thema ist jene über die Skybeamer, welche öfters kritisiert werden. Sie strahlen bewusst ein starkes Licht mit engem Abstrahlungswinkel in den Himmel, das schon von ferne erkennbar ist, eine sehr dominante wenn nicht schon invasive Art, sich bemerkbar zu machen. Skybeamer tragen zur Lichtglocke bei und können für die Vögel in den Zugperioden tödlich sein.

5.6.3. Temporäre Kunstprojekte

Permanente Kunstprojekte sind schon angesprochen worden, es gibt natürlich auch viele Lichtinstallationen im Freiraum, die temporär gezeigt werden und welche oft sehr spannend sind. Es gibt sogar verschiedene Kunstveranstaltungen, die sich speziell mit Licht und dem Licht im Freiraum auseinandersetzen. Zum Beispiel gibt es, begleitend zur light+building Messe in Frankfurt, die Kunstveranstaltung Luminale. Die Biennale für internationale Lichtkunst im Ruhrgebiet, in Lyon die 'Fête des Lumières' und auch in Österreich gibt es seit 2010 die Biennale Lichtkunst Austria.

Zum Thema Lichtverschmutzung sind mir hier ebenfalls keine Informationen untergekommen.

5.6.4. Baustellen

Baustellen werden nachts beleuchtet, damit auch in den dunkeln Tageszeiten gearbeitet werden kann. Dies wird einerseits bei Baustellen von Instandhaltungsarbeiten der Infrastrukturen angewandt, damit tagsüber der Verkehrsfluss nicht gestört wird und andererseits, dass die Bauarbeiten schneller vorangetrieben werden können. Hier werden zusätzlich zu den Lichtern der Baufahrzeuge und Baumaschinen noch mobile Beleuchtungen installiert. Diese Lichtquellen werden meist dorthin gerichtet, wo sie gerade benötigt werden, jedoch kann es durchaus vorkommen, dass viel Licht auch an die Umgebung abgegeben wird, da die Orientierung der Leuchtkörper meist ungenau eingestellt ist.

Bezüglich temporäre Beleuchtungen habe ich, wie schon erläutert, wenig zum Thema Lichtverschmutzung gefunden. Auch wenn sie meist nur für eine kürzere Zeit installiert wird, ist sie doch auch wesentlicher Bestandteil der Freiraumbeleuchtung, die wahrscheinlich in sensiblen Gebieten aber doch Einfluss auf die Lichtbelastung haben kann.



Abb. 030: 'Yellow Fog' temporäre Lichtinstallation von Olafur Eliasson in Wien



Abb. 031: Ratten von Peter Kogler 2008/09 am MUMOK in Wien



Abb. 032: Temporäre Lichtinstallation während der 'Fête des Lumières 2010' in Lyon

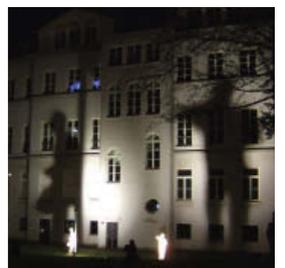


Abb. 033: Temporäre Lichtinstallation an der Luminale 2010 in Frankfurt am Main



Abb. 034: Nachtsicht einer beleuchteten Baustelle



Abb. 035: Innenbeleuchtung von Geschoßwohnbauten, die nach außen dringt



Abb. 036: Freiraumbeleuchtung einer privaten Wohnanlage



Abb. 037: Beleuchtung eines privaten Gartens, die dazu dient, Stimmungslicht zu erzeugen



Abb. 038: Ein privates, mit Licht zur Schau gestelltes Haus

5.7. Private Freiraumbeleuchtung

Zur privaten Freiraumbeleuchtung zählen all jene Kunstlichtquellen, die nicht von der öffentlichen Hand bewirtschaftet werden. Auch die des privatwirtschaftlichen Gewerbes zählen dazu, auf sie wurde schon im Kapitel 5.3. näher eingegangen. Nun möchte ich noch die private Gebäudebeleuchtung und die der privaten Gärten ansprechen.

5.7.1. Beleuchtung privater und privatwirtschaftlicher Gebäude

Ein Thema, das bei der gewerblichen Beleuchtung noch nicht angesprochen wurde, betrifft jenes Licht, dessen Hauptfunktion nicht die ist, das Gebäude zur Schau zu stellen. Es handelt sich um die Lichtstrahlung der Innenbeleuchtung von Häusern und Gebäuden im Allgemeinen und speziell jenes der Hochhäuser, das durch die Fenster ins Freie gelangt. Auch dieses Licht kann einen wesentlichen Einfluss auf das Licht im Freiraum haben und folgedessen auf die Lichtverschmutzung. (Narisada und Schreuder, 2004)

5.7.2. Freiräume von Geschoßwohnbauten

Geschoßwohnbauten, in denen mehrere Parteien wohnen, haben oft allgemeine Freiflächen, die nach Ermessen und Interesse der Eigentümer bewirtschaftet werden, und meist auch nachts beleuchtet sind oder zumindest die Wege, die zu den Eingangstüren führen. Hier wird meist nur das notwendigste Licht installiert, oft ohne Ansprüche, was eine qualitativ nicht besonders hochwertige Beleuchtung zur Folge hat. Auch wenn in diesen Bereichen eher moderate Beleuchtungsstärken installiert sind, können diese trotzdem Streulicht erzeugen, vor allem die nicht durchdachten Anlagen.

5.7.3. Freiräume einzelner Privateigentümer

Auf Freiflächen von Privaten hat der Eigentümer selbst das Sagen und er gestaltet sie meist nach eigenem Geschmack und macht das oft auch selbst. Dabei machen viele Heimwerker auch vor der Beleuchtungsinstallation nicht halt und es kommen oft nicht professionelle Baumarktlichter zum Einsatz, deren Qualität in jeder Hinsicht bescheiden ist, die jedoch wesentlich günstiger sind. Weiters gibt es eine Reihe von Ratgebern für die private Beleuchtung in der Art ‚Wie lege ich meinen Gartenteich an‘.

Bei der Beleuchtung von privaten Freiräumen geht es weniger darum, visuelle Aufgaben zu lösen, sondern um Praktisches, Beispielsweise um im Garten mit ein paar Leuten in relativer Dunkelheit beisammen zu sitzen, in Ruhe zu plaudern, zu trinken oder zu essen. Es geht nicht darum, das Glas, das Essen, das Gesicht, die Kleider der Person gegenüber oder die Pflanzen im Garten im Detail zu sehen. Es ist nur wichtig, eine angenehme Grundstimmung zu haben. Im stockdunklen Garten ohne Licht und ohne Mond, wäre der Aufenthalt nicht angenehm, außer man möchte die Sterne beobachten, dann ist Dunkelheit der ideale Fall. Das Licht im Garten hat eher eine psychologische Funktion und braucht nicht alle physiologischen Funktionen des Sehens zu erfüllen. (Narisada und Schreuder, 2004) Die funktionale Beleuchtung im Privatgarten fällt lediglich auf die Wege, welche zum Beispiel zur Hauseingangstür führen und den Eingang beleuchten oder Wege die beispielsweise zum Geräteschuppen führen.

Meist haben wir es bei der Gartenbeleuchtung mit geringeren Beleuchtungsstärken zu tun, außer jemand möchte sein Haus oder den Garten zur Schau stellen oder er ist der Meinung, mit Licht könne man Einbrecher fern halten. Weiters wird das Licht meist nur dann eingeschaltet, wenn es wirklich benötigt wird. Bei der Planung oder Installation einer Gartenbeleuchtung, glaube ich, macht sich jedoch auch kaum jemand Gedanken über Lichtverschmutzung und jene, die sich welche

machen, verzichten gerne auf eine Gartenbeleuchtung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Freiraumbeleuchtung für den privaten Bereich auch ein Thema sein kann, doch wahrscheinlich machen sich wenige Menschen Gedanken über eine mögliche Lichtverschmutzung durch die Beleuchtung ihres privaten Gartens.

Der Großteil der Freiraumbeleuch-

tung hat funktionalen Charakter. Laut CIE sind die Hauptquellen für Streulicht: die Beleuchtung von Industriegeländen, Flughäfen und Baustellen, Straßenbeleuchtung, Warnschilder, die Flutlichter von Gebäuden, Monumenten und Discos, beleuchtete Werbetafeln, beleuchtete Gewächshäuser, beleuchtete Sportanlagen, Beleuchtung von Einkaufszentren und Parkplätzen, landwirtschaftlichen Lagerplätzen, Gleisfeldern, usw. (Narisada und Schreuder, 2004)

6. Auswirkungen von künstlichem Licht

In diesem Kapitel möchte ich näher auf die Auswirkung von künstlichem Licht in der Nacht auf die verschiedenen Lebewesen eingehen. Manche reagieren sehr sensibel darauf, manche reagieren gar nicht, andere wiederum können vielleicht sogar Vorteile daraus ziehen. Es gibt einige Studien über die Beeinflussung von Lebewesen durch Kunstlicht, jedoch ist auch noch vieles unerforscht. Ziel ist es, Faktoren zu identifizieren, welche sich negativ auf die Lebewesen auswirken, um anschließend untersuchen zu können, ob diese vermieden werden können.

6.1. Einfluss von nächtlicher Beleuchtung auf die Tiere

Die Tiere haben sich im Laufe der Evolution an den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus, bzw. dem hell-dunkel Tagesverlauf angepasst. Einige Arten sind auf Aktivität am Tag spezialisiert, andere auf Aktivität bei Nacht und manche wiederum können sich bei Tag und bei Nacht zurechtfinden. Durch künstliches Licht in der Nacht wird das Leben vieler Tiere jedoch beeinflusst. Manche ziehen Vorteile daraus, für andere hat es wiederum fatale Folgen. Im folgenden Abschnitt wird versucht aufzuzeigen, welche Auswirkungen künstliches Licht im Freiraum auf die Tiere haben kann. Über manche Tierarten gibt es umfangreiche Studien, bei vielen anderen jedoch gibt es oft nur Beobachtungen oder Annahmen. Es sollen jene Faktoren gefunden werden, welche die Tiere negativ beeinflussen, um anschließend analysieren zu können, ob die negativen Auswirkungen einer Freiraumbeleuchtung vermieden werden können.

Vorab kann man sagen, dass das künstliche Licht in der Nacht „nahe“ Effekte haben kann, also bei direkter Sicht der Lampe, und „entfernte“ Effekte, wie jene der Lichtglocke eines urbanen Gebietes, die sich über hunderte Kilometer weit auswirken kann.

Licht kann unterschiedliche Störungen bei Tieren hervorrufen: Blendung, Desori-

entierung, gestörte und eingeschränkte Futtersuche, veränderte Räuber-Beutebeziehung, gestörte soziale Interaktionen (Entwicklung und Fortpflanzung), eingeschränkter Aktionsradius (Barriere Wirkung, Vertreibung), gestörte Ruhephasen. (Tiroler Umwelthanwaltschaft, 2009)

6.1.1. Säugetiere

Bei den allgemein bekannten Säugetieren (Mammalia) gibt es Vertreter, die hauptsächlich in der Nacht aktiv sind. Alle Fledertiere, die meisten kleineren Karnivoren, die meisten Nagetiere, 20% der Primaten und 80% der Beutetiere sind nachtaktiv und viele andere sind tag- und nachtaktiv. Künstliches Licht in der Nacht kann am meisten die nachtaktiven Säugetiere beeinflussen jedoch auch die anderen. Ihr Jagdverhalten kann sich ändern, das Risiko erbeutet zu werden kann höher sein, ihre innere Uhr kann beeinflusst werden, ihre Sterblichkeit auf Straßen kann erhöht sein und sie können sich in der künstlich beleuchteten Landschaft oft nicht zurechtfinden.

Das Auge der Säugetiere ist wie das vom Menschen für das Tag- und das Nachtsehen aufgebaut. Es besteht aus Zapfen (für das Tagsehen) und Stäbchen (für das Nachtsehen) und kann sich somit an die verschiedenen Lichtverhältnisse gut adaptieren. Die Augen der nachtaktiven Tiere sind jedoch mit mehr Stäbchen und weniger Zapfen besetzt, um bei geringen Beleuchtungsstärken besser sehen zu können. Diese Tiere werden wegen ihrer hohen Sensibilität jedoch leichter geblendet, ihr Grenzwert liegt bei 120 cd/m². Säugetiere, die beispielsweise von Fahrzeugen geblendet werden, benötigen ein paar Sekunden um sich ans Licht zu gewöhnen aber 10-40 Minuten um sich wieder an die Dunkelheit zurückzugewöhnen und während dieser Zeit bleiben sie inaktiv.

Nachtaktive Beutetiere ändern ihre Verhaltensweise je nach Lichtintensität. Beobachtungen zeigen, dass sich Beutetiere bei Vollmond (~0,2 lux) weniger aus ihren



Abb. 039: Igel (*Erinaceus* sp.) nachtaktiver Nager



Abb. 040: Goodman-Mausmaki (*Microcebus lehilahytsara*) in Madagaskar beheimateter nachtaktiver Primat



Abb. 041: Eule mit erbeuteter Maus; die meisten Eulen (*Strigiformes*) sind nachtaktive Jäger, die bevorzugt kleine nachtaktive Nager (*Rodentia*) erbeuten.

◀Abb. 042: Nachtfalter mit stark entwickelten Fühlern, welche bei manchen Arten zur Wahrnehmung des Ultraschalls der Fledermäuse dient oder um die Pheromone der Weibchen zu riechen.





Abb. 043: Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*)



Abb. 044: Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*)



Abb. 045: Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*)

Verstecken trauen als in dunklen Nächten, da sie von den Räubern leichter erkannt werden können. Die Räuber haben zwar bei Vollmond eine höhere Jagdeffizienz als in dunkeln Nächten, aber in Summe werden mehr oder weniger gleich viele Beutetiere getötet, da bei dunkeln Nächten mehrere aus ihren Verstecken kommen und die Räuber öfters Jagdversuche starten können. Ähnliches wurde bei künstlicher Beleuchtung beobachtet bzw. bei Vorhandensein einer Lichtglocke. Dies kann sich auf die Beutetiere negativ auswirken, da sie weniger oft aus ihren Verstecken kommen und so weniger Zeit für die Futteraufnahme haben, was sich wiederum auf ihre Entwicklung und die Populationsgröße negativ niederschlagen kann.

Es verhalten sich jedoch nicht alle Säugetiere bei Vorhandensein von künstlichem Licht gleich, bei manchen Arten wurden keine Unterschiede in ihrer Aktivität festgestellt.

Künstliches Licht kann auch die innere Uhr der Wirbeltiere und der Säugetiere beeinflussen. Bei den meisten läuft die Tagesuhr bei konstanten Lichtverhältnissen zwischen 23 und 25 Stunden, in Extremfällen zwischen 21 und 27 Stunden. Versuche zeigen, dass eine Lichtstimulation von 1.000 Lux von nur 10-15 Minuten die innere Uhr schon um 1 bis 2 Stunden verschieben kann und je nach Lichtart verschiebt sie sich nach vorne oder nach hinten. Der Versuch wurde mit Glühlampen und Leuchtstoffröhren durchgeführt. Die innere Uhr reagiert jedoch nicht auf jede Wellenlänge des Lichtes gleich sensibel, bei gelb-rottem Licht bleibt sie unbeeinflusst. Licht kann auch die Jahresuhr beeinflussen, jedoch reicht Licht alleine dafür nicht aus, es ist aber mitverantwortlich. Es wurde auch nachgewiesen, dass Licht die Produktion von Melatonin hemmt.

Zusammenfassend können wir für Säugetiere sagen, dass Licht diese nicht immer stört, jedoch auch oft sehr sensibel beeinflusst. Somit sind möglichst geringe Beleuchtungsstärken zu wählen, Lichtglocken sind zu minimieren und jenes Licht ist

zu verwenden, dessen Spektralbereich von den Stäbchen des Auges nicht wahrgenommen wird. Weniger Licht ist zudem für die bessere Orientierung der Tiere in Landschaftskorridoren wichtig. Behauptungen, dass bei vorhandener Straßenbeleuchtung weniger Tiere auf Straßen getötet werden, konnten durch keine Studien bewiesen werden. (Beier, 2006)

6.1.2. Fledermäuse, Fledertiere

Die Fledertiere (Chiroptera) repräsentieren zirka ein Viertel der Säugetierarten und sind die größte Ordnung. Um die 1.000 Arten sind bekannt. Sie werden in zwei Unterordnungen unterteilt, in Flughunde und Fledermäuse. Die Flughunde (Macrochiroptera) sind meist groß, orientieren sich nicht mit Ultraschall und ernähren sich von Früchten, Nektar und Blüten. Die Fledermäuse (Microchiroptera) orientieren sich mit Ultraschall und ernähren sich hauptsächlich von Insekten. In diesem Kapitel werden hauptsächlich Fledermäuse behandelt, welche Insektivoren sind.

Fledermäuse zu beobachten, die vom künstlichen Licht angezogene Insekten jagen, wird schon seit langem praktiziert. Erst ab den 1980ern, seit es Infrarotbildkameras und Ultraschalldetektoren gibt, können sie in ihrer natürlichen Umgebung beobachtet werden. Das Habitat unter dem künstlichen Licht, wo Fledermäuse gerne Insekten jagen, gehört heute mittlerweile bei vielen Arten schon zu ihrem normalen Lebenshabitat. Wie sich das Jagen von Insekten unter künstlichem Licht auf die Lebens-, Überlebens-, und Reproduktionsweise auswirkt, ist aber wenig erforscht.

Fledermäuse kann man, in Bezug auf das Jagen unterm künstlichen Licht, grob in 4 Gruppen einteilen:

- a) Große Fledermäuse mit schnellem Flug (30-100 g). Sie fliegen hoch und sind über beleuchteten Sportanlagen, Flugplätze und über Stadtzentren vermehrt anzutreffen. Mit freiem Auge sind sie nicht zu erkennen, man kann sie mit Ultraschalldetektoren orten.
- b) Mittelgroße Fledermäuse mit schnellem Flug (10-30 g). Sie bewegen sich

geradlinig über Straßenbeleuchtungsreihen. Diese Gruppe ist typisch für Fledermäuse, die im Straßenlicht jagen und auf der ganzen Welt anzutreffen sind.

c) Kleine schnell fliegende und wendige Fledermäuse (unter 10 g). Diese sind unter einzelnen Lichtkegeln anzutreffen.

d) Langsam fliegende, sehr wendige Fledermäuse. Sie sind in der Vegetationsdecke anzutreffen und selten oder nie im Licht zu sehen, mit Ausnahme der *Rhinolophus philippinensis*.

Fledermäuse suchen einfach strukturierte Orte aus, um zu jagen, wie über den Baumkronen, über Flüssen und an Seerändern, damit die Ortung der Beute mittels Echo einfacher ist. Dazu eignen sich auch besiedelte, vegetationsarme Gebiete. Künstliches Licht hat auch eine starke Auswirkung auf die örtliche Verteilung der Fledermäuse. In suburbanen und in ländlichen Gebieten ist die Dichte am höchsten. Wahrscheinlich weil es dort im Vergleich zu zentraleren, urbanen Gebieten mehr Futterangebot gibt. Sie sammeln sich in den besiedelten Gebieten also nicht nur wegen den Freiflächen und der Schlafplätze in den Gebäuden, sondern mehr wegen den vielen Insekten unterm Licht. Zum Beispiel wurde bei einer Beobachtung in Skandinavien die Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*) in Straßenabschnitten mit Licht zwischen 3 und 20 mal öfter gezählt als in vergleichbaren, unbeleuchteten Straßen. Andere Arten hingegen, wie beispielsweise die Große Hufeisennase (*Rhinolophus ferrumequinum*) und die Gefleckte Fledermaus (*Euderma maculatum*), werden von künstlichem Licht nicht beeinflusst. Manche Arten, wie Mausohrfledermäuse (*Myotis* spp.) und Langohrfledermäuse (*Plecotus* spp.), meiden sogar das Licht.

Fressen Fledermäuse unter Straßenlichtern mehr? Unter den Straßenleuchten häufen sich unüblich viele Insekten an, welche von Fledermäusen gejagt werden können. Typischerweise jagen Fledermäuse dort, wo es Insektenanhäufungen gibt. Es gibt Beobachtungen, dass der Jagderfolg der Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*) unter Straßenlichtern geringer ist als auf freier Flur. Die gejagte Beute ist jedoch grö-

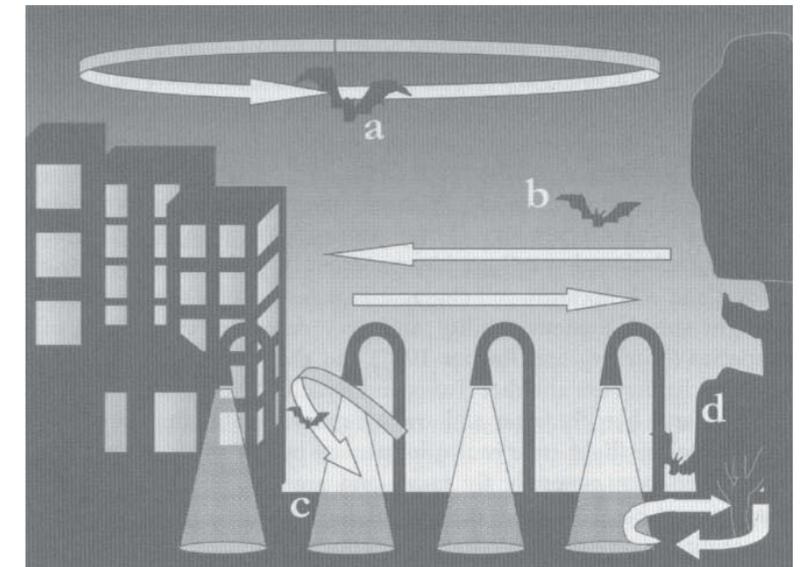


Abb. 046: Vier verschiedene Verhaltensweisen der Fledermäuse: (a) große schnell fliegende, (b) mittelgroße schnell fliegende, (c) kleine wendige und schnell fliegende, (d) wendige und langsam fliegende.

ber. Sie jagen größere Falter im Vergleich zu den üblicherweise kleineren Fliegen und Käfern. Somit kompensieren die größeren Insekten die niederere Jagderfolgsrate. Es gibt jedoch keine tiefer gehenden Untersuchungen, ob Straßenlicht den Fledermäusen zugute kommt. Generell kann man aber annehmen, dass sie dort vermehrt Futter finden. Es gibt auch keine Studien, ob sich Fledermauspopulationen mit Straßenlicht steigern. Am Fressplatz kann es zu Konkurrenzverhalten oder auch zu gemeinsamen Verhalten kommen. Ein Extrembeispiel für die Folgen von Konkurrenzverhalten gibt es in der Schweiz, wo die Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*), die nicht im Licht jagt, durch die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) verdrängt wurde. Nachdem die Straßenbeleuchtung in den Tälern in Betrieb genommen wurde, verbreitete sich die Zwergfledermaus stark, da sie im Licht die konkurrenzstärkere Art ist.

Die Anziehungskraft des künstlichen Lichtes auf Fledermäuse ist auch je nach Lampenart unterschiedlich. Lampen, die viele Insekten anziehen, ziehen auch viele Fledermäuse an.

Schlussfolgernd können wir sagen, dass bevorzugt solche Lampen eingesetzt werden sollen, die möglichst wenig Insekten anziehen. Das künstliche Licht stört eine lange Evolution, die die Falter durchgemacht haben, um die Ultraschallortung der Fledermäuse zu hören und um ihnen



Abb. 047: Weiße Fledermäuse (*Ectophylla alba*) in Mittel- und Südamerika beheimatet



Abb. 048: Blattnase (*Phyllostomidae*) beim Jagen.



Abb. 049: Zugvögelschwarm in der Abenddämmerung



Abb. 050: Lichtinstallation mit Skybeamern



Abb. 051: Zugvögel, die in einem Lichtkegel gefangen sind

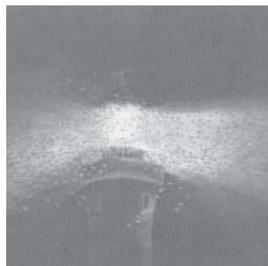


Abb. 052: Verwirrte Zugvögel im Lichtstrahl eines Leuchtturmes

zu entkommen. Diese Fähigkeit nutzt den Faltern jedoch nichts mehr, da sie vom Licht immobilisiert werden. Auf lange Sicht kann falsche Beleuchtung zur Störung der Erhaltung beider, Falter und Fledermäuse, führen. (Rydell, 2006)

6.1.3. Vögel

Bei den Vögeln (Aves) werden die Nachtzugvögel von künstlichen Lichtquellen am stärksten beeinflusst. Es gibt viele hundert Arten von Vögeln, die typischerweise in der Nacht ziehen. Manche legen fast 20.000 km zweimal im Jahr zurück. In Europa gibt es über 2 Milliarden Zugvögel. Die verschiedenen Zugvögel haben unterschiedliche Techniken entwickelt, um sich zu orientieren. Sie nutzen die Sonne, den Sternenhimmel, das Erdmagnetfeld, Landmarken und den Geruch der Landschaft als Orientierungshilfe. Bei bewölktem Wetter in der Nacht fliegen die Zugvögel tief, da sie sich nicht mehr am Sternenhimmel orientieren können. Sehen sie in so einer Situation eine Lichtquelle, steuern sie auf diese zu und das kann zu Massenkollisionen führen. Schon im 19. Jahrhundert wurde dokumentiert, dass Nachtzugvögel von künstlichem Licht angezogen werden. (Hüppop, 2010) Bei hellem, künstlichem Licht verlieren die Vögel die Orientierung zum Horizont. Das hat zur Folge, dass sie zum Beispiel um beleuchtete Türme kreisen oder im Lichtstrahl von Skybeamern gefangen werden. Auch die Lichtkuppel eines urbanen Gebietes kann zur Desorientierung der Vögel führen. Junge Vögel reagieren besonders sensibel darauf. Künstliches Licht kann also leicht fatale Folgen für die Vögel haben, Kollision mit Bauwerken, Absturz durch Erschöpfung, zusätzlicher Verbrauch wertvoller Energie, abkommen von der Zugroute und verzögerte Ankunft an den Brutgebieten oder Überwinterungsgebieten. (Sidney et al., 2006)

Kollisionen von Zugvögeln an Leuchttürmen wurden seit den Anfängen der Leuchttürme beobachtet. Es gibt unterschiedliche Studien über die verschiedenen Lichtarten

von Leuchttürmen, welche die Vögel mehr oder weniger anziehen mit unterschiedlichen Ergebnissen und Folgen. Eine Studie besagt, dass weißes Dauerlicht Zugvögel stärker anzieht als blinkendes oder rotes Licht. Eine andere Untersuchung besagt, dass blinkendes weißes Licht mehr als rotes Dauerlicht anzieht. In England wurden die Kollisionen von Zugvögeln an einem Leuchtturm nach dem Einbau eines Xenon-flash-Lichtes verhindert, welches eine Sekunde alle zehn Sekunden blinkt. Bei Einsatz des Nebelhorns wird eine Kollision von Vögeln mit Leuchttürmen wesentlich reduziert. (Sidney et al., 2006) Am Helgoländer Leuchtturm (Deutschland) wurden zum Beispiel in den 1920ern permanent leuchtende Vogelschutzlampen installiert, damit die Vögel das Hindernis erkennen und auszuweichen konnten. (Hüppop, 2010) Heute sind viele Leuchttürme durch neue Techniken wie Ultraschallsonar und GPS ersetzt worden und außer Betrieb genommen.

Ceilometer (vertikal in den Himmel strahlende Lichter) wurden verwendet, um die Dicke der Wolken zu messen. Die Anziehung dieser Strahlen wirkt sehr stark auf die Zugvögel. 1954 wurden von der Warner Robins Air Force Base in der Nähe von Macon, Georgia 50.000 Opfer in einer Nacht gezählt. Durch den Einsatz von UV-Filtern wird die Anziehung stark reduziert, noch stärker reduziert sie sich durch Rotation des Lichtes. (Sidney et al., 2006) Solche Techniken könnte man auch bei Skybeamern anwenden. Heute wird die Wolkenstärke übrigens mittels Radar ermittelt.

Zugvögel werden in der Nacht auch von Feuer angezogen und kommen diesem oft zu nahe oder fliegen durch. Das wurde schon öfters bei Fackeln von Raffinerien und an Offshore-Anlagen beobachtet. Diese Lichtquellen ziehen auch Zugvögel an, die über das Meer fliegen. Bis zu 3.000 tote Vögel wurden bei einer Gasfackel gezählt. (Sidney et al., 2006)

An Kommunikationstürmen, die nachts beleuchtet bzw. mit Warnblinkanlagen für Flugzeuge ausgestattet sind, verenden jährlich hunderttausende von Zugvögeln,

die gegen die Spannseile stoßen. (Sidney et al., 2006) Laut US Fish and Wildlifeservice verenden in den USA an den Funktürmen zwischen 4 und 40 Millionen Zugvögel. (Hüppop, 2010) Kommunikationstürme, die mit konstant leuchtenden roten Lichtern ausgestattet sind, ziehen die Vögel stärker an als jene, die mit stroboskopischem, weißem Licht versehen sind. (Sidney et al., 2006)

Beleuchtete, verglaste Hochhäuser sind für Zugvögel am gefährlichsten. In den USA fordern Gebäude und Fenster laut US Fish and Wildlifeservice 100 Millionen bis 1 Milliarde Opfer (Hauskatzen im Vergleich töten in Jahr etwa 100 Millionen). (Hüppop, 2010) Um diesem Problem beizukommen, hat das Fatal Light Awareness Program ein Bird-Friendly Building Program entwickelt, das folgende Punkte behandelt: Aufklärung der Bevölkerung; Vorschläge für verträgliche Beleuchtungssteuersysteme; Beziehungen zu Gebäudeeinhabern aufbauen; Beratung für umweltverträglicheres Bauen und Mitteilung aktueller Erkenntnisse. (Sidney et al., 2006) Am Problematischsten sind die Hochhäuser zur Hauptzugzeit von August bis November und März bis Mai, in dieser Zeit werden die meisten Opfer gezählt. (Tiroler Umweltschutz, 2009)

Künstliches Licht fordert nicht nur viele Todesopfer unter den Vögeln, sondern beeinflusst auch deren Biorhythmus. Dies wurde bei unterschiedlichen Vogelarten beobachtet, Singvögel zum Beispiel zwitschern bei Nacht. In den städtischen Gebieten, im Vergleich zu den ländlichen, beginnen manche Vogelarten frühzeitig zu brüten und hören später auf. Dies ist jedoch nicht nur vom Licht abhängig, es gibt dort auch größeres Futterangebot und es ist wärmer. (Sidney et al., 2006)

Andere Studien haben herausgefunden, dass Licht mit gewissen Wellenlängen die Rezeptoren des Magnetkompasses mancher Zugvögel beeinflusst. Es wurden 3 Sperlingsvogelarten untersucht und man stellte fest, dass diese vom blau-grünen Licht unbeeinflusst blieben und vom gelben und roten Licht desorientiert waren. Wie und wie stark die Vögel beeinflusst

werden ist noch nicht genau erforscht. (Sidney et al., 2006)

Die Augen der Vögel sind anders aufgebaut als die des Menschen. Das menschliche Auge hat ein drei-Zapfen-System, Vogelaugen haben vier verschiedene Zapfen. Vögel können also mehr Farben unterscheiden und nehmen einen breiteren Spektralbereich wahr als der Mensch, sie sehen auch UV-Licht. (Sidney et al., 2006)

Hinsichtlich der Reaktion von Zugvögeln auf verschiedene Lichtfarben gibt es unterschiedliche widersprüchliche Studien. Eine Studie besagt, dass Vögel von kurzweiligem grünen und blauem Licht unbeeinflusst bleiben und von weißem und roten Licht angezogen wurden. Eine andere besagt, dass die Vögel von weißem, grünen und blauem Licht angezogen wurden und vom roten Licht nicht. Auch die verschiedenen Lampenarten haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Vögel.

UV-emittierende Lampen wirken sich negativ auf die Zugvögel aus. (Hüppop, 2010)

Andere Studien wieder haben sich mit konstant leuchtendem und intermittierendem Licht beschäftigt. Konstant leuchtendes Licht zieht die Vögel stärker an als blinkendes oder rotierendes. Dies ist von Bedeutung bei der Planung von Warnanlagen in der Schifffahrt und der Luftfahrt. Hier sollten weiße, stroboskopische Lichter eingesetzt werden, da sie die Zugvögel viel weniger anziehen. (Sidney et al., 2006)

Künstliche Beleuchtung ist auch für nachtaktive Vögel ein Problem, wie beispielsweise bei Sturmtauchern. Etliche dieser Arten jagen Tintenfische und andere Beutetiere mit Biolumineszenz. Vielleicht ist dies der Grund, wieso sie auf dem beleuchteten Küstenland landen statt aufs Meer zu fliegen. Es gibt aber noch keine ausreichenden Studien zum Thema. Man weiß aber, dass die Jungvögel am stärksten betroffen sind, sie fallen zu Boden, verletzen sich, werden zu Opfern von Katzen und Hunden, verhungern dort oder kommen nicht mehr auf. (Hüppop, 2010) Die Abschirmung des Lichts, das gegen den Himmel gerichtet ist, reduziert jedoch



Abb. 053: Offshoreanlage mit Gasfackeln, an denen sich Zugvögel verbrennen können



Abb. 054: Forscher, der Kollidierte Vögel vor Hochhäuser einsammelt



Abb. 055: Vögel, die einem Hochhaus zum Opfer gefallen sind



Abb. 056: Fächerfußgecko (*Ptyodactylus guttatus*)



Abb. 057: Eine Jans Pfeilnatter (*Coluber rhodorachis*) verspeist einen Fächerfußgecko (*Ptyodactylus guttatus*).



Abb. 058: Goldstaub-Taggecko (*Phelsuma laticauda*)



Abb. 059: Rotkehlantilope (*Anolis carolinensis*)

die Anziehung auf diese Vögel. In Hawaii hat diese Maßnahme zu einer Reduktion von 30-50% der angezogenen Sturmvögel gebracht.

Meeresvögel werden auch von nassen, ebenen Oberflächen, die Licht reflektieren getäuscht, sie glauben es sei Wasser, landen dort und kommen nicht mehr auf. (Sidney et al., 2006)

Zusammenfassend können wir sagen, dass für Zugvögel hohe Objekte, die sie nicht sehen können und solche, von denen Licht sie angezogen werden, besonders problematisch sind. Welches Licht genau die Vögel anzieht oder nicht ist unklar, ich nehme an, dass es auch stark artenabhängig ist. Für die Freiraumplanung bedeutet dies, dass in den Himmel gerichtetes Licht grundsätzlich vermieden werden sollte. Gebiete, über die Vogelrouten ziehen, sind besonders sensibel, auch die Jahreszeit und das Wetter spielen dabei eine Rolle.

6.1.4. Reptilien

Reptilien (Reptilia) sind in den meisten Habitaten zu finden. Mit Ausnahme der Meeresschildkröten gibt es über direkte Effekte von nächtlicher Beleuchtung auf Reptilien nur wenige publizierte und unpublizierte Berichte. Einige Reptilien wie Geckos sind nachtaktiv und andere wie Leguane sind streng tagaktiv. Beide, tag- und nachtaktive Reptilien werden von künstlicher Beleuchtung beeinflusst.

Nachtaktive Reptilien wie Geckos können in der Nähe von künstlicher Beleuchtung leichter jagen, da dort viele Insekten angezogen werden. Zum Beispiel wurde beobachtet, dass die Dichte von Fächerfußgeckos (*Ptyodactylus guttatus*) in der Nähe von Gebäuden 200 mal höher ist als in den nahen natürlichen Habitaten. Von Schlangen gibt es einen Bericht der Afrikanischen Hausschlange, die beobachtet wurde, wie sie Geckos im Licht erbeutete, welche von der Beleuchtung angezogene Insekten jagten. Für Krokodile und Schildkröten (mit Ausnahme der Meeresschildkröten) sind keine Beobachtungen bekannt.

Manche tagaktive Reptilien dehnen ihre

Aktivität nachts in der Nähe von künstlichem Licht aus. Dieses Habitat hat der Forscher Gaber als „night-light niche“ benannt. In Indien wurden zum Beispiel neun tagaktive Echsenarten und eine tagaktive Schlangenart dokumentiert, die auch in künstlichem Licht aktiv sind.

Es gibt keine direkten Informationen über negative Konsequenzen des künstlichen Lichtes auf Reptilien (mit Ausnahme der Meeresschildkröten). Beobachtungen zeigen, dass die Aktivität von Wirbellosen Tieren in dunklen Nächten stärker ist und Räuber bei Vollmond aktiver sind. Es könnte sein, dass dieses Verhalten auch bei Vorhandensein von künstlichem Licht auftritt und direkt oder indirekt das Verhalten zwischen Beutetier und Räuber beeinflusst.

In Hawaii wurde eine Verhaltensbeeinflussung von künstlichem Licht bei Echsen beobachtet. Unterschiedliche Echsenarten treten normalerweise nicht in derselben Nische auf aber in Hawaii wurde beobachtet, dass der Goldstaub-Taggecko (*Phelsuma laticauda*), der Asiatische Hausgecko (*Hemidactylus frenatus*) und Rotkehlantilope (*Anolis carolinensis*) gemeinsam unter künstlichem Licht vorkommen.

Ein anderer Effekt von künstlichem Licht ist die vermehrte Futteraufnahme verschiedener Reptilienarten, was einen positiven Einfluss haben könnte. Über negative Effekte gibt es nur Vermutungen/Spekulationen, da es an Versuchen fehlt. Viele Organismen synchronisieren durch Licht wichtige physiologische Prozesse, die auch von künstlichem Licht beeinflusst werden können. Des Weiteren besitzen manche Reptilienarten extraretinale Lichtrezeptoren, die vom künstlichen Licht gereizt werden können. Auch zu einem veränderten Konkurrenzverhalten zwischen den verschiedenen Reptilienarten kann es kommen. (Perry, 2006)

Da es noch sehr wenig Wissen über die Auswirkung von künstlichem Licht auf Reptilien gibt, können nur schwer Aussagen getroffen werden, wie künstliches Licht bei Vorkommen von Reptilien eingesetzt werden soll. Pauschal kann ein sparsamer Umgang mit Licht empfohlen

werden und der Einsatz von Lichtarten, die weniger Beutetiere wie Insekten anlockt, sollte bevorzugt werden. Somit wird das natürliche Jagdverhalten der Reptilien gering beeinflusst und sie werden nicht von ihren natürlichen Habitaten abgezogen. Das schützt die Beutetiere und somit auch langfristige die Reptilien selbst.

6.1.5. Meeresschildkröten

Meeresschildkröten (Cheloniidae) sind zwar auch Reptilien, ich möchte sie jedoch hier gesondert behandeln, denn sie sind stark von der Lichtverschmutzung betroffen und es gibt einige mehrere Untersuchungen darüber. Am stärksten sind die Auswirkungen auf die Jungtiere aber auch auf die Muttertiere.

An Floridas Küsten bzw. Stränden gibt es viele Brutgebiete für Meeresschildkröten. Einige Küstenabschnitte sind stark urbanisiert und die urbane Expansion hält dort immer noch an. Diese beiden Faktoren führten dazu, dass Floridas Küsten zu einem Labor geworden sind, um testen zu können, wie Meeresschildkröten vor Lichtverschmutzung geschützt werden können. (Salmon, 2006)

Das DNA von den Meeresschildkröten eines Strandes sind ähnlich, das heißt die dort geschlüpften Tiere kehren zur Eiablage immer wieder an den selben Strand zurück. Die jungen Schildkröten merken sich die magnetischen Landmarken, die sie dann zur Navigation verwenden, um den Geburtsort wieder zu finden. Die Schildkrötenweibchen legen ihre Eier hauptsächlich nachts ab. Beobachtungen zeigen, dass es auf Stränden, die künstlichem Licht ausgesetzt sind, weniger Nester gibt. Dafür sind aber auch andere anthropogene Einflüsse verantwortlich, wie Veränderung des Strandprofils oder Umschichtung von Sand. Ein Experiment in Costa Rica hat jedoch bewiesen, dass künstliches Licht alleine sehr wohl ausreicht, um die Meeresschildkröten vom Strand fernzuhalten. Bei Licht von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen wurden so gut wie keine Nester gebaut. Mit Natriumdampf-Niederdrucklampen oder aus-

geschaltetem Licht wurden die Anzahl der Nester wieder normal. An Floridas Küsten ist die Beleuchtung jedoch diffuser oder nicht so stark wie beim vorher erwähnten Experiment, so führt das nicht zum gänzlichen Verlust der Nester sondern zu einer Reduktion oder zu einer Verschiebung der Nestverteilung in Schattenzonen am Strand. (Salmon, 2006)

Die frisch geschlüpften Meeresschildkröten graben sich nachts aus ihren Nestern und suchen das Meer visuell auf. Sie laufen in Richtung helle offene Flächen und wenden sich von der Dunkelheit und von hohen Objekten ab. Sie werden vom reflektierten Sternen- und Mondlicht an der Meeresoberfläche angezogen. Bei Vorhandensein von künstlichem Licht im Landinneren und fehlender Silhouette (z.B. Sträucher zwischen Strand und Landinneren) werden die Jungtiere jedoch desorientiert. Sie laufen im Kreis oder landeinwärts. Dieses Verhalten kann gut an den im Sand hinterlassenen Mustern abgelesen werden. Desorientierte Tiere, die stundenlang herumirren, vergeuden viel Energie, kommen nie ans Ziel oder verdursten, vertrocknen



Abb. 060: Suppenschildkröte (*Chelonia mydas*)



Abb. 061: Karettschildkröte (*Caretta caretta*)

Abb. 062: Verhalten der frisch geschlüpften Meeresschildkröten: bei geschlossener Silhouette [(a) und (b)] gehen sie in Richtung Meer, bei einer unterbrochenen [(c) und (d)] verhalten sie sich desorientiert.

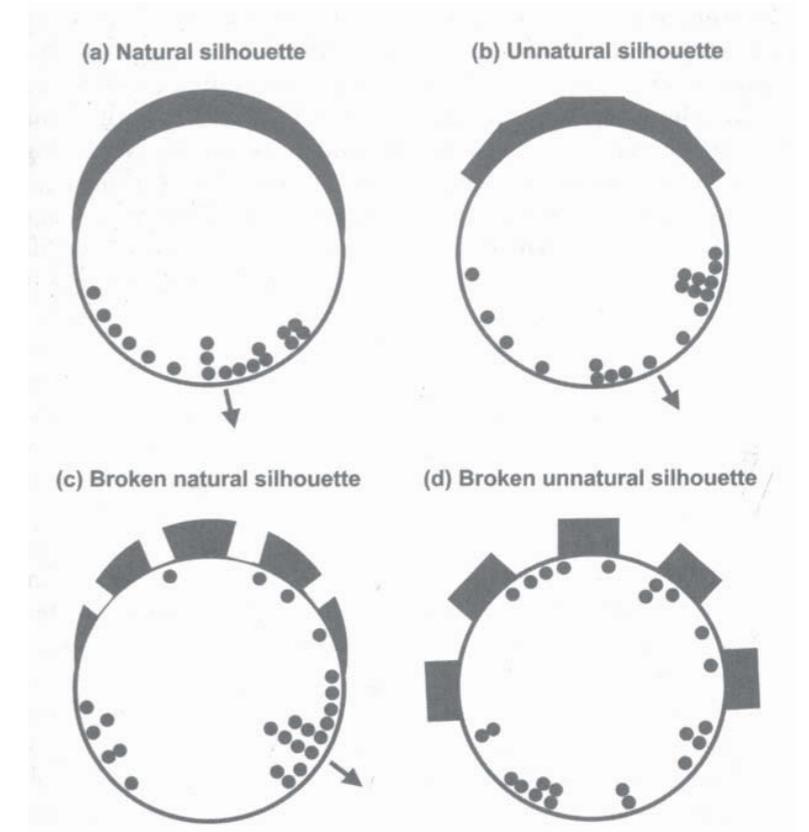




Abb. 063: Frisch geschlüpfte Karettschildkröten



Abb. 064: Im Sand hinterlassene Spuren der frisch geschlüpften Schildkröten

in der Sonne, werden von Räubern gefressen oder von Autos überfahren. (Salmon, 2006)

Um die Jungtiere zu schützen, werden manche Methoden angewandt, die jedoch kritisch zu betrachten sind. Eine ist die Übersiedelung der Nester, diese Methode sollte nur als letzter Ausweg gewählt werden, da sie sehr aufwändig ist und die Eier leicht beschädigt werden können. Die andere ist, die Brut einzuzäunen, in Käfige zu fangen und an einem dunklen Ort in Wassernähe freizulassen. (Salmon, 2006) Eine Studie hat jedoch ergeben, dass der Metallkäfig den magnetischen Kompass der Jungtiere stört. (Borgwardt, 2010)

Meeresschildkröten sprechen auf unterschiedliche Wellenlängen des Lichtes unterschiedlich an. Sie werden vom kurzwelligen Licht, sprich im violett-grünen Bereich, stärker angezogen als von langwelligem Licht. Die General Electric Lighting Systems hat somit zwei Filter entwickelt, die den kurzwelligen Bereich der Straßenlampen filtern soll. Der #2422 Filter soll angeblich Licht unter 530 nm und der NLW Licht unter 570 nm filtern. Diese werden als ‚Meeresschildkröten-freundliche‘ Filter verkauft. Versuche haben aber gezeigt, dass diese nur bedingt bzw. nur unter gewissen Umständen eine Wirkung haben. Bei einem Feldversuch an einer Küstenstraße konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden, ob Meeresschildkrötenweibchen unbeeinflusst bleiben. In einem Laborversuch wurden die Filter vor Glühlampen mit Jungtieren der Suppenschildkröte (*Chelonia mydas*) und der Unechten Karettschildkröte (*Caretta caretta*) getestet. Beim #2422 Filter wandten sich die Unechten Karettschildkröten vom Licht ab, die Suppenschildkröten jedoch nicht und beim NLW Filter genau umgekehrt.

Mit jungen Unechten Karettschildkröten wurden noch andere Versuche mit einer Natriumdampf-Hochdrucklampe, den Filtern und unterschiedlichen Lichtintensitäten durchgeführt. Der #2422 hat bei voller Lichtintensität eine Wirkung gezeigt, der NLW Filter weniger, bei gedimmtem Licht war kaum bis gar kein Unterschied

zwischen Lampen mit und ohne Filter festzustellen.

In Florida wurde in Boca Raton an einer Küstenstraße eine 1 km lange Teststrecke mit eingelassenen LED Leuchten errichtet. Diese Art von Beleuchtung hat sich als effizient erwiesen, da die bodennahen Lichter durch die Vegetationsbarriere zum Strand hin abgeschirmt wurden. Die Jungtiere haben diese Leuchten gar nicht wahrgenommen und wurden somit nicht in die Irre geleitet.

Für Floridas Küstenstraßen wurde ein Handbuch erstellt, wie man dem Problem des Lichtes entgegenwirken kann. Es werden Vorschläge dargestellt, wie eine Neupositionierung der Leuchten, eine Abschirmung der Leuchtung, geringere Beleuchtungsstärken, Anwendung von Lichtfiltern, Verwendung anderer Lampen wie z.B. Natriumdampf-Niederdrucklampen. (Salmon, 2006)

Meeresschildkröten sind weltweit verbreitet, im Mittelmeer ist die Unechte Karettschildkröte und seltener die Suppenschildkröten anzutreffen. Die Nistplätze sind jedoch durch die starke anthropogene Nutzung der Küsten sehr beschränkt. Auch andere Arten sind anzutreffen, diese brüten jedoch nicht im Mittelmeer.

Schlussfolgernd können wir sagen, dass sich manche Strategien erfolgreicher als andere erwiesen haben. Die Übersiedelung und die Einfriedung von Nestern funktioniert zwar, diese Methoden sind aber aufwändig, bringen neue Schwierigkeiten mit sich und lösen das Problem der Habitat-Degradation nicht. Lichtfilter zeigen in manchen Situationen eine positive Wirkung und alternative Beleuchtungssysteme haben auch Erfolg. Lichtmanagement ist auch ein wichtiger Faktor. Die Aufmerksamkeit der Menschen zu wecken und sie zu informieren, wie zum Beispiel mit einem Handbuch, ist eine weitere sinnvolle Maßnahme. Auch ist zu bedenken, dass nicht nur die Gebiete in unmittelbarer Küstennähe von der Lichtverschmutzung betroffen sind, auch Lichtglocken im Ländlichen können das Orientierungsvermögen der Meeresschildkröten beeinträchtigen.

6.1.6. Froschlurche

Froschlurche (Frösche und Kröten) (*Anura*) unterliegen einem globalen Rückgang an Populationsgröße und Diversität. Dafür sind unterschiedliche anthropogene Faktoren verantwortlich. Einer davon ist möglicherweise auch die Lichtverschmutzung. Es gibt mehrere Laborstudien, die sich mit den Auswirkungen von Licht auf Froschlurche auseinandersetzen, aber nur wenige, die sich mit den Auswirkungen der Lichtverschmutzung befassen.

Es gibt ca. 5.000 Froscharten, die beinahe alle Habitate der Welt besiedeln. Die meisten sind nachtaktiv und diese sind von der Lichtverschmutzung am stärksten betroffen, aber auch die tagaktiven, dämmerungsaktiven und die tag- und nachtaktiven.

Eine Studie hat festgehalten, dass sich Kröten (*Bufo Bufo*) vermehrt unter Straßenlampen aufhalten, um dort die vom Licht angezogenen Insekten zu fressen. Das damit verbundene Risiko ist, dass sie vermehrt überfahren werden. Dasselbe Verhalten wurde auch bei anderen Arten beobachtet.

Eine Untersuchung hat sich mit über 120 Froscharten befasst, um das Verhalten der Frösche gegenüber unterschiedlicher Lichtintensitäten (0,043-89,9 lux) festzustellen. Es wurde erhoben, dass 87% der untersuchten Arten photopositiv reagiert haben, 8% waren photonegativ und 5% haben auf Extreme reagiert (entweder nur vom schwachen Licht oder nur vom starken Licht angezogen).

Manche Kröten und Froscharten haben ein gutes Sehvermögen für niedere Beleuchtungsstärken entwickelt. Schon geringstes Umgebungslicht, wie das vom Mond und klarem Sternenhimmel oder die Lichtglocke eines urbanen Gebietes, reichen aus, damit sie sehen und jagen können. Durch das künstliche Licht können sie also zu Zeiten jagen, wo es unter natürlichen Bedingungen nicht möglich wäre. Licht in der Nacht kann auch andere Verhaltensweisen beeinflussen. Zum Beispiel bevorzugen *Physalaemus pustulosus* Weibchen jene Männchen die unter hellerem Licht sind und verstecken

ihre Nester in schattigen Orten. Männchen anderer Froscharten machen zum Beispiel keinen Paarungsrufe mehr, wenn sie von Licht gestört werden. Jedoch gibt es auch hier noch Unterschiede, in manchen Fällen wurde beobachtet, dass manche dieser Arten auch bei permanenter Beleuchtung trotzdem noch Paarungsrufe von sich gaben.

Künstliches Licht beeinflusst auch die Kaulquappen. Bei den Kaulquappen vom Krallenfrosch (*Xenopus laevis*) wurde eine Änderung in der Melatoninproduktion festgestellt. Weiters ändert sich auch ihr Schwimmverhalten von der Horizontalen in die Vertikale bei diffusem homogenem Licht wo keine Schatten vorhanden sind. Die Kaulquappen der Kröten (*Bufo americanus*) regulieren ihre Schwimmtiefe mit dem Licht. Bei Tag schwimmen sie im seichten Wasser und in der Nacht im tieferen wärmeren, da nachts das Wasser an der Oberfläche schneller abkühlt.

Unterschiedliche Laborversuche haben die Wirkung von konstanter Lichtstrahlung auf Frösche und Froschlarven untersucht. Festgestellt wurden langsamere Entwicklung, reduzierte Spermaproduktion, Beeinflussung der Melatoninproduktion und Schädigung der Retina. Diese Ergebnisse sind jedoch nicht auf das Freiland übertragbar, da sie unter konstanter starker Leuchtstoffröhrenbeleuchtung durchge-

THE FAR SIDE® BY GARY LARSON



"See, Frank? Keep the light in their eyes and you can bag them without any trouble at all."



Abb. 065: Kröte (*Bufo bufo*)



Abb. 066: Mittelmeer-Laubfrosch (*Hyla meridionalis*)



Abb. 067: Schmuckhornfrosch (*Ceratothryx*)



Abb. 068: Glasfrosch (*Cochranella spinosa*)



Abb. 069: Pfeilgiftfrosch (*Dendrobatidae*) mit Kaulquappen am Rücken

◀ Abb. 070: Licht blendet die Froschlurche und immobilisiert sie, aber nicht nur...



Abb. 071: Grünlicher Wassermolch (*Notophthalmus viridescens*)



Abb. 072: Larve des Flecken-Querzahnmolch (*Ambystoma maculatum*)



Abb. 073: Flecken-Querzahnmolch (*Ambystoma maculatum*)



Abb. 074: Larve der Nördlichen Kammolches (*Triturus cristatus*)



Abb. 075: Kammolch (*Triturus cristatus*)

führt wurden.

Die meisten untersuchten Frösche haben eine trichromatische Vision und möglicherweise eine tetrachromatische Vision mit Sensivität im UV-Bereich. Die Frösche reagieren je nach Beleuchtungsstärke unterschiedlich auf die Wellenlängen. Bei niedriger Beleuchtungsstärke wurde bei den aquatischen und semi-aquatischen Fröschen eine Präferenz im Blaubereich festgestellt. Eine mögliche Theorie ist, dass sie bei Gefahr Richtung Wasser und nicht Richtung Land springen, diese Theorie wurde jedoch nicht getestet. Bei einigen Froscharten wurde beobachtet, dass sie auf Blau und Rot reagieren.

Es gibt viel Literatur, die aufzeigt, dass Licht in der Nacht die Biologie der Froschlurche beeinflusst, es gibt jedoch noch wenig Wissen über die Auswirkung von Licht auf die einzelnen Arten. Nachtaktive Amphibien sind jedenfalls sensibel gegenüber Veränderungen des Lichtes. Daher ist es wichtig, sie vor Exposition an künstliches Licht zu schützen, wie zum Beispiel Reduktion der Beleuchtungsstärken, und das Licht nur dorthin zu lenken, wo es notwendig ist. Beleuchtung, die in die Habitate von Amphibien eindringt, sollte möglichst abgeschirmt werden. Die Lichtqualität nur auf einen gewissen Spektralbereich zu reduzieren, hat keine verbessernde Wirkung gezeigt, da die Froschlurche alle Farben wahrnehmen können.

6.1.7. Schwanzlurche

Schwanzlurche (Salamander und Molche) (Caudata) sind sehr sensibel gegenüber Störungen der Umwelt und leiden an einem globalen Populationsrückgang. Wie Schwanzlurche auf Licht reagieren, ist noch wenig erforscht. Manche Schwanzlurche reagieren photopositiv andere photonegativ, Unterschiede gibt es auch je nach Entwicklungsstadium, Tageszeit und Beleuchtungsstärke.

Beim Rotrücken-Waldsalamander (*Plethodon cinereus*) gibt es Versuche über die Jagderfolge bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken (10^{-3} Lux (Mondlicht) 10^{-1} Lux (Dämmerung) und 1 Lux (Licht

im dunklen Wald), jedoch konnten keine Unterschiede zwischen den 3 Bedingungen festgestellt werden.

Manche Schwanzlurcharten, wie der Flecken-Querzahnmolch (*Ambystoma maculatum*), sind im Larvenstadium bei Vorhandensein von Raubfischen im Gewässer eher nachtaktiv. Wenn in diesem Fall auch in der Nacht Licht scheint, wirkt sich das negativ auf die Entwicklung der Larven aus, da sie länger inaktiv bleiben. Generell kann man auch sagen, dass Licht in der Nacht die Präsenz von tagaktiven Räubern verlängert. Eine andere Beobachtung ergab, dass in Bereichen, wo der Wald von künstlichem Licht beeinflusst ist, die nachtaktiven Schwanzlurche ihre Aktivität erst später beginnen als unter natürlichen Lichtverhältnissen. Dies kann sich auf die Futteraufnahme negativ auswirken, da sie durch ihre verkürzte Aktivität weniger Zeit haben, um auf Jagd zu gehen.

Bei Schwanzlurchen variiert das sichtbare Lichtspektrum je nach Entwicklungsstadium, zwischen Larve und Imago aber auch zwischen Wasser- und Landstadium. Des Weiteren haben Schwanzlurche zudem extraokulare Photorezeptoren zur Lichtwahrnehmung.

Beim Grünlichen Wassermolch (*Notophthalmus viridescens*) wurde beobachtet, dass er sich visuell mit Licht orientiert. Es wurde festgestellt, dass er sich bei Licht mit vollem Farbspektrum orientieren kann, jedoch nicht bei monochromatischem langwelligem Licht, sprich bei Beleuchtungen mit Natriumdampfniederdrucklampen.

Die Hormonsteuerung von Schwanzlurchen wird ebenfalls durch Licht beeinflusst, wie sich das jedoch durch künstliche Beleuchtung auswirkt, ist nicht erforscht. Es gibt eine Untersuchung über die Beeinflussung des Stoffwechselprozesses bei unterschiedlichen Licht/Dunkelheit Zyklen. Dabei wurde festgestellt, dass der Stoffwechsel bei Dunkelheit höher ist.

Zusammenfassend können wir sagen, dass es nur einige wenige Laborstudien über Auswirkungen von Licht auf Schwanzlurche gibt, die schwer aufs Freie übertragbar sind. Es kann nur empfohlen werden,

sparsam mit Licht umzugehen wo Salamander geschützt werden sollen. Weitere Studien wären notwendig, um genauere Aussagen treffen zu können. (Wise, 2006)

6.1.8. Tiere aquatischer Habitate

Die Hälfte der menschlichen Population lebt nicht weiter als 100 km von der Küste entfernt und die meisten anderen menschlichen Entwicklungsgebiete liegen an Flüssen und Seen. Dies bedeutet, dass viele Gewässer von der Lichtverschmutzung betroffen sind. Licht dringt nur in die oberen Wasserschichten ein, somit wird hauptsächlich die trophogene Zone der Gewässer von künstlichem Licht beeinflusst. In Gewässern sind eine Vielzahl von Tieren vertreten, das Artenspektrum reicht von einzelligen Lebewesen bis zu den Säugetieren. In diesem Abschnitt werden einzelne Beobachtungen gezeigt, wie aquatische Tiere auf Licht reagieren.

Die Knochenfische (Osteichthyes) können unterschiedliche Spektralfarben wahrnehmen, ihr Auge besitzt Zapfen und Stäbchen. Untersuchungen haben gezeigt, dass die unterschiedlichen Fische sehr verschieden auf Licht reagieren und einige reagieren auch je nach Altersstadium anders auf Licht. Manche Fische sind photopositiv, andere werden nur von machen Spektralfarben angezogen und andere sind photonegativ, wie zum Beispiel die Rotaugen (*Rutilus rutilus*). Es wurde auch festgestellt, dass Fische, die in Seen und Flüssen leben, auf rote und gelbe Wellenlängen stärker reagieren und dass Fische, die in Ozeanen und offenen Gewässern leben, auf blaues Licht sensibler antworten. Schwarmbildende Fische bilden Formationen bei Vorhandensein von Licht, um sich vor Feinden zu schützen. Bei Dunkelheit lösen sie die Formation auf, um Nahrung zu suchen und zu fressen. Künstliches Licht kann jedoch eine Schwarmbildung auch in der Nacht hervorrufen. Bekannt ist auch, dass bei Vollmond Raubfische mehr jagen. Dasselbe Verhalten wurde auch beobachtet, wenn in der Nähe eines Gewässers Straßenlampen stehen oder wenn die Licht-

glocke eines urbanen Gebietes über dem Gewässer hängt. Auch wurde beobachtet, dass üblicherweise tagaktive Raubfische ihre Aktivität mit Licht in der Nacht ausdehnen und die jungen Fische jagen, die im Schutz der Dunkelheit fressen möchten. Zum Beispiel wurden an einem Marinestützpunkt in den USA bei eingeschalteter Sicherheitsbeleuchtung 39 Raubfischarten gezählt und bei ausgeschalteter nur zwei Arten. Tintenfische sind photopositiv und schwimmen somit Lichtquellen an. In der Fischerei macht man sich dies zunutze, die Fischerboote werden teilweise mit bis zu 300 KW Lampen ausgestattet, um die Tintenfische anzulocken. (Sidney et al., 2006)

Junge Lachse wandern oft nachts von ihren Laichgebieten zum Ozean und die Erwachsenen vom Ozean zum Laichgebiet. Eine Studie hat gezeigt, dass die Brut von Rotlachs bei einer Beleuchtungsstärke von weniger als 1 Lux zu wandern begann und bei künstlicher Erhellung auf 32 Lux die Wanderung zum Stillstand kam. Des Weiteren wurde beobachtet, dass bei nächtlicher Beleuchtung mehr Brut der Lachse von den Groppen gefressen wurde. (Nightingale, 2006)

Fließgewässer-Insekten im aquatischen Stadium (wie z.B. Eintagsfliegenlarven, Kriebelmückenlarven, Zuckmückenlarven, Köcherfliegenlarven) und bentische Krebstiere (Amphipoda) bleiben tagsüber getarnt bewegungslos am Gewässergrund. Nachts bei Dunkelheit lassen sie sich dann stromabwärts treiben, um sich vor visuell jagenden Räubern unbemerkt fortbewegen zu können und neue Gebiete zu besiedeln. Beobachtungen haben gezeigt, dass schon bei Vollmond dieses Verhalten stark eingedämmt wird. Einen ähnlichen Effekt haben auch Lichtglocken urbaner Gebiete, die teilweise heller sind als der Vollmond. (Moore, 2006)

Zooplankton wandert nachts an die Wasseroberfläche, um sich dort im Schutz der Dunkelheit am reicheren Futterangebot zu ernähren und um sich im wärmeren Wasser schneller entwickeln zu können. Bei Vorhandensein von Licht bleibt das Zooplankton (mache Arten reagieren



Abb. 076: Rotauge (*Rutilus rutilus*)



Abb. 077: Rotlachs (*Oncorhynchus nerka*)



Abb. 078: Flohkrebs (Amphipoda), ein Zooplankton



Abb. 079: *Clio pyramidata*, ein marines Zooplankton



Abb. 080: Eintagsfliegenlarve (*Baetis rhodani*)



Abb. 081: Borstenwurm (*Platynereid dumerilii*)



Abb. 082: Falter werden hauptsächlich von kurzwelligem- und UV-Licht angezogen.



Abb. 083: Falter haben oft stark entwickelte Fühler, damit sie sich ohne Sehsinn orientieren und fortbewegen können.



Abb. 084: Weinschwärmer (*Deilephila elpenor*)

schon auf 10-7 Lux, Sternenlicht hat im Vergleich 0.0005-0.001 Lux) im tieferen Wasser, um sich vor planktivoren Fischen zu verstecken. Dies führt jedoch wegen des geringeren Futterangebots und der geringeren Wassertemperatur in der Tiefe zu einer schlechteren Entwicklung des Zooplanktons. (Moore, 2006)

Einige marine Lebewesen, wie der Borstenwurm (*Platynereid dumerilii*) und die Meeressmücke (*Clunio marinus*), richten ihre Paarungszeit nach den Mondphasen, damit viele Paarungen zur selben Zeit stattfinden können und somit ein höherer Paarungserfolg erreicht wird. Diese Lebewesen richten sich unter anderem nach dem Vollmond. Ist jedoch künstliche, nächtliche Beleuchtung vorhanden wird dieses Verhalten gestört. (Tessmar, 2010)

Es ist hier schwierig detaillierte Aussagen zu treffen, da es sehr viele Arten gibt. Schlussfolgernd können wir jedoch sagen, dass Tiere aquatischer Lebensräume teilweise sehr sensibel auf Licht reagieren. Daher ist es zu empfehlen, möglichst die natürliche Dunkelheit zu bewahren.

6.1.9. Insekten

Viele denken vielleicht, wenn sie das Wort Insekten (Insecta) hören, an lästige Fliegen, Stechmücken und Läuse, die klebrige Ausscheidungen hinterlassen. Viele Insekten sind jedoch Nützlinge, wie Bienen oder Marienkäfer und andere faszinierende Lebewesen, wie Libellen, Schmetterlinge und Leuchtkäfer. Insekten sind außerdem ein sehr wichtiger Bestandteil der Nahrungskette terrestrischer Ökosysteme und sie zählen zu den wichtigsten Pflanzenbestäubern. Ohne Insekten gäbe es viele Pflanzen und Tiere nicht.

Insekten können sehr sensibel auf Licht reagieren, die meisten besitzen mehrere (drei oder mehr) Rezeptorzellentypen und können somit das Spektrum des sichtbaren Lichtes, des UV-Lichtes und des polarisierten Lichtes wahrnehmen. Manchen Arten reicht sogar das Licht der Gestirne um zu sehen. Der Mittlere Weinschwärmer (*Deilephila elpenor*) kann sogar noch bei einer Helligkeit von 0,0001 cd/m² Farben

wahrnehmen. (Eisenbeis, 2010)

Die Anziehung der Insekten ans künstliche Licht ist von mehreren Faktoren abhängig und je nach Lichtverhältnis unterschiedlich. Die Lichtqualität (abgestrahltes Farbspektrum), die Mondphasen und die Wetterverhältnisse sind beispielsweise maßgebende Faktoren. In warmen und windstillen Nächten sind am meisten Insekten aktiv und daher auch die Anzahl der vom Licht angezogenen Insekten am höchsten. Bei Vollmond werden die Insekten von einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe von 125 W in einem Umkreis von 50 m angezogen, bei dunklem Himmel liegt der Anziehungsradius vergleichsweise bei 400-600 m. (Eisenbeis, 2006)

Wie die Insekten von künstlichem Licht in der Nacht angezogen werden, kann in drei Klassifizierungen eingeteilt werden:

a) Insekten, die in die Nähe einer Lampe kommen, werden vom Licht angezogen und werden wie gefangen.

Diese Insekten können sich dann am heißen Glas der Lampen oder Leuchten verbrennen, sie werden zu leichter Beute, indem sie abgelenkt ums Licht schwirren oder sie können an Erschöpfung zugrunde gehen. Manche Insekten schaffen es, sich vom Licht wieder zu entfernen und in die Dunkelheit zurückzukehren. Viele lassen sich jedoch auch nieder, sind vom Licht geblendet und bleiben bewegungslos. Bei Nachtfaltern wurde beobachtet, dass 50% der angezogenen Tiere dieses Verhalten annehmen.

b) Eine Lichterreihe kreuzt die Wanderrouen der Insekten, wo sie dann vom Licht angezogen werden und von diesem nicht mehr wegkommen. Solche Lichtschneisen wirken wie eine Barriere.

c) Insekten die eigentlich inaktiv sind, werden vom Licht wie durch ein Vakuum aus ihrer Umwelt abgezogen. (Eisenbeis, 2006)

Ein Ausschlag gebender Faktor, wie stark die Insekten vom Licht angezogen werden, ist der Lampentyp bzw. dessen abgestrahlter spektraler Bereich. Viele Insekten sehen im UV-Bereich und werden vom blau-grünen Licht am stärksten angezogen. Es gibt mehrere Studien,

die besagen, dass Natriumdampf-Hochdrucklampen weniger Insekten anziehen als Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Eine Untersuchung kam beispielsweise zum Ergebnis, dass die Natriumdampf-Hochdrucklampen 55% weniger Insekten und 75% weniger Falter anziehen als Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. (Eisenbeis, 2006) Die unterschiedlichen Insektenordnungen werden aber verschieden stark von den unterschiedlichen Lampentypen angezogen. Falter werden am stärksten von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen angezogen, weniger von Metallhalogenlampen-Hochdrucklampen und noch wesentlich weniger von Natriumdampf-Hochdrucklampen und LEDs. (Eisenbeis, 2010) Eine rezente Studie von Huemer et al. (2010) hat herausgefunden, dass LED-Lampen im Verhältnis zu anderen häufig im Freiraum eingesetzten Lampen generell weniger Insekten anziehen und warmweiße (3000 K) LEDs am wenigsten.

Zweiflügler jedoch werden zum Teil von Metallhalogenlampen-Hochdrucklampen (die immer vermehrt zum Einsatz kommen) am stärksten angezogen, teilweise sogar stärker als von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Leuchtkäfer (*Lampyridae*) und Baumwanzen (*Pentatoma rufipes*) werden stärker vom gelben Licht angezogen, sprich von den Natriumdampf-Hochdrucklampen. (Eisenbeis, 2010)

Eine Lampe, die nahezu keine Insekten anzieht, ist die Natriumdampf-Niederdrucklampe. Diese hat eine monochromatische Farbwiedergabe im Orangen. Diese Art von Lampe wird jedoch kaum mehr eingesetzt und die bestehenden Anlagen werden oft durch die Natriumdampf-Hochdrucklampe ersetzt.

Weiters werden auch andere biolumineszierende Organismen wie biolumineszierende Pilze oder biolumineszierende Springschwänze negativ von künstlichem Licht beeinträchtigt. Das emittierte Licht der Organismen wirkt schwächer, das Paarungssignal wirkt schwächer, die Anziehung von Beutetieren ist abgeschwächt und das Warnsignal wirkt nicht mehr so stark. Manche Insekten kompensieren

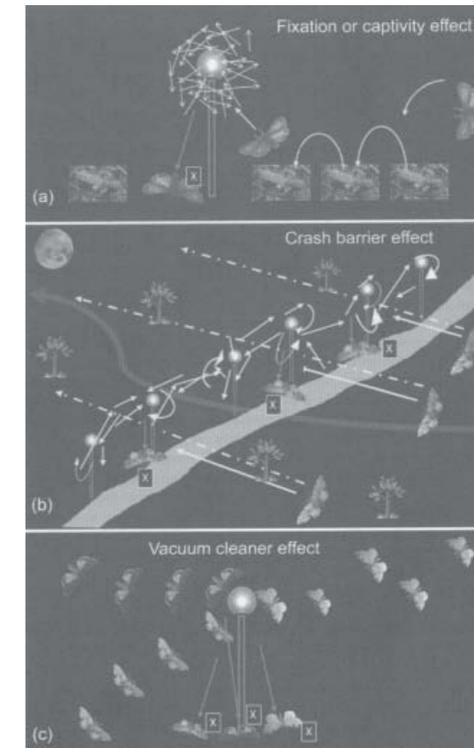


Abb. 085: Leuchtkäfer (*Lampyridae*); Licht macht dessen Leuchtsignale wirkungslos.

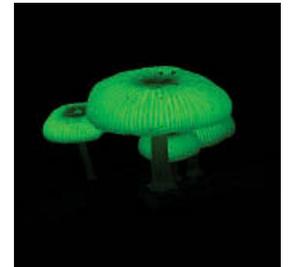


Abb. 086: Licht lässt die Biolumineszenz dieses Pilzes (*Fungi*) nicht mehr erkennen.

dies durch helleres Leuchten, jedoch geht dabei viel wertvolle Energie verloren, das sich wiederum negativ auf die Reproduktion auswirkt. (Lloyd, 2006)

Eine Weitere Problematik ist die Undichtigkeit von Leuchten. Die Insekten dringen ein und sterben dort. Zudem müssen die Leuchten dann ständig gereinigt werden. (Eisenbeis, 2010) Ich selbst habe in einer Kugelleuchte sogar schon einmal eine verendete junge Schlange entdeckt.

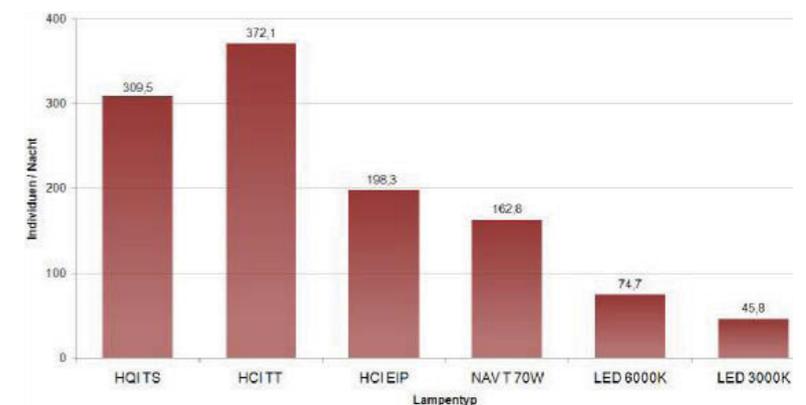


Abb. 088: Anzahl angelockter Insekten durch verschiedene Lampentypen pro Nacht, laut einer Studie in Tirol zwischen Juli und August 2010. HQI TS (Metallhalogenlampen-Hochdrucklampe, 70 W, 5600 K), HCI-TT (Metallhalogenlampen-Hochdrucklampe, 70 W, 3000 K), HCI-EIP (Metallhalogenlampen-Hochdrucklampe, 70 W, 4700 K), NAV-T (Natriumdampf-Hochdrucklampe, 70 W, 2000 K), LED6000K (LED kalt-weiß 6000 K, 2x 25W), LED3000K (LED warm-weiß 3000 K, 2x 25W). Zu bemerken ist, dass die getesteten LEDs ca. den halben Lichtstrom als die anderen Lampen erzeugten.

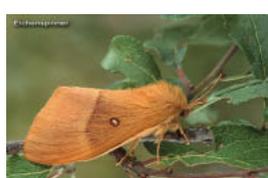
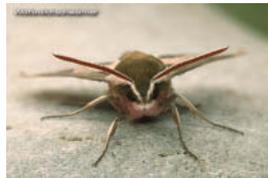


Abb. 089: Verschiedene heimische Falterarten

Die Anzahl der angezogenen Insekten pro Straßenleuchte ist je nach Ort unterschiedlich. Eine Studie in Deutschland hat im städtischen Gebiet 5, 29 und 47 Insekten pro Nacht und Leuchte gezählt und am entlegenen Land ein Maximum von 11.229 pro Falle und Nacht gezählt. (Eisenbeis, 2006) Generell wird eine Abnahme der Insektenpopulationen beobachtet. In einer Publikation wird berichtet, dass in der Nacht vom 20. auf 21. August 1949 über 50.000 Insekten an einer Lichtfalle gefangen wurden. In einem späteren Bericht ist die Rede, dass an 19 Lichtfallen zwischen 29. Mai und 29. September 1999 6.205 Falter gefangen wurden. Diese beiden Werte sind zwar statistisch nicht vergleichbar, jedoch ist ein starker Rückgang der Populationen belegt. Dafür ist aber nicht nur die Lichtverschmutzung verantwortlich sondern auch andere anthropogene Umwelteinflüsse, wie die Ausdehnung der landwirtschaftlichen Flächen, die urbane Expansion, die Klimaveränderung usw. (Eisenbeis, 2006)

Der Innsbrucker Schmetterlingsexperte Gerhard Tarmann hat berichtet, dass nach Erschließung der Täler für den Tourismus, die Beleuchtungsdichte stark zunahm mit dem Ergebnis, dass er, wenn er dann die vormals artenreichen Standorte besuchte, nur noch wenige Nachtfalterarten antraf. (Eisenbeis, 2010) Straßenleuchten kosten auch vielen schwarmbildenden Insekten das Leben. Die Populationen der Eintagsfliegen (*Ephoron virgo*) haben sich zwar mit der Verbesserung der Wasserqualität der Gewässer wieder erholt, jedoch werden ihnen nun Straßenleuchten zum Verhängnis. (Eisenbeis, 2010)

Wie viele Insekten der künstlichen Beleuchtung jährlich zum Opfer fallen, ist schwierig abzuschätzen. In Deutschland ist das Verhältnis Straßenleuchten pro Einwohner 1:10 und wahrscheinlich ist dieser Wert auch in den anderen Industrieländern oder, heute besser gesagt in den Freizeitgesellschaftsländern, nicht viel anders. Wenn wir nun bedenken, dass pro Leuchte jede Nacht mehrere Insekten verenden, ergibt das einige Dutzende bis hunderte Millionen Opfer pro Nacht und Land.

Zusammenfassend können wir sagen, dass es möglich ist, die Insektenopferzahl zu vermindern. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Ordnungen unterschiedlich auf die verschiedenen Lampenarten reagieren. Bei sensiblen Ökosystemen muss man dies also auf die zu schützenden Arten abstimmen. Generell gesagt kann jedoch gelten, dass UV-reiches Licht vermieden und langwelliges Licht bevorzugt werden sollte.

6.1.10. Falter

Falter (Lepidoptera) sind zwar Insekten, da diese aber besonders empfindlich auf Licht reagieren, die Großzahl nachtaktiv ist und es einige Studien darüber gibt, möchte ich etwas näher auf sie eingehen.

In Österreich sind 4.000 Schmetterlingsarten nachgewiesen und davon sind ca. 85% nachtaktiv. (Tiroler Umweltnaturwissenschaft, 2009)

Zur Frage, wieso Falter zum Licht hin fliegen, gibt es unterschiedliche Theorien. Eine oft zitierte Theorie ist die des Licht-Kompasses. Falter sollen mit einem konstanten Winkel zu einer weit entfernten Lichtquelle wie zum Beispiel dem Mond fliegen. Wenn die Lichtquelle weit entfernt ist, bleibt der Winkel beinahe immer gleich und der Falter kann in einer geraden Linie fliegen. Ist die Lichtquelle jedoch in der Nähe, wie beispielsweise eine Lampe, bewirkt diese Navigationstechnik ein sich annähern an die Lichtquelle bis zur Kollision. Eine andere Theorie zum Beispiel besagt, dass die Falter vom Licht geblendet werden, sie kurzzeitig blind sind und dies als offene Landschaft empfinden, in die sie hinausfliegen, effektiv aber fliegen sie ins Licht hinein. (Frank, 2006)

Künstliches Licht in der Nacht hat bei den Faltern eine Reihe von negativen Auswirkungen. Viele Falter bleiben im Licht stundenlang oder die ganze Nacht bewegungslos. Das kostet ihnen kostbare Zeit ihres Lebens, da die meisten nur eine Woche oder sogar noch kürzer leben. Schon nachdem ein Falter 1 Sekunde lang dem Licht exponiert ist, beginnt die Adaptation seines Auges ans Licht, die ca. 60-90

Sekunden dauert, die Rückadaptation an die Dunkelheit dauert jedoch dann ca. 30 Minuten. Falter lassen sich im Licht oft auf Oberflächen nieder, deren Hintergrund nicht ihrer Crypsis entspricht. Zum Beispiel landen schwarze Falter auf weißen Wänden und werden somit vom Räuber leicht erkannt. Viele nachtaktive Falter haben ein spezielles Schallsinnesorgan mit denen sie die Ultraschallrufe der Fledermäuse hören können um ihnen zu entweichen. Bei Vorhandensein von Licht sind die Falter jedoch abgelenkt und ihre akustische Abwehr funktioniert somit nicht mehr. Bei manchen Falterarten verhindert Licht die Paarung, da die Männchen nicht mehr den Pheromonen des Weibchens folgen sondern dem Licht. Auch die innere Uhr der Falter kann durch künstliches Licht gestört werden. Wenn Falter in die Nähe von heißen Lampen kommen oder in die Gehäuse der Leuchten eindringen, können sie sich dort verbrennen, überhitzen, dehydrieren, sich die Flügel beschädigen oder Gliedmaßen und Antenne verlieren. (Frank, 2006) Diese ganze Reihe von negativen Auswirkungen kann künstliches Licht auf nachtaktive Falter haben. Es reagieren jedoch nicht alle gleich auf Lampen. Viele werden stark vom kurzwelligen Licht angezogen, wie zum Beispiel das der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und weniger vom Licht der Natriumdampf-Hochdrucklampen. Manche Arten hingegen werden vom Licht der Natriumdampf-Hochdrucklampen stärker angezogen. Andere Falterarten wiederum werden gar nicht vom Licht angezogen. (Frank, 2006)

Die extreme Wirkung von künstlichem Licht hat ein Versuch auf den U.S. Virgin Islands gezeigt. 250 Lichtfallen wurden für 43 Monate aufgestellt, die eine enorme Menge an Faltern gefangen haben. Dieser Versuch hat die Falter bis an den Rand der Ausrottung von der Umwelt abgezogen.

Eine andere interessante Feststellung ist, dass manche Parasiten von Faltern durch UV-Licht sterilisiert werden. Dies kann zur Störung in der Regulierung von Falterpopulationen führen. Zwei Blitzlichter eines Fotografen reichen aus um im Umkreis von 3 Metern 100% des Parassi-

ten *Dahlbomimus fuscipennis* abzutöten. (Frank, 2006)

Eine Reihe von Versuchen hat gezeigt wie die negative Auswirkung von künstlichem Licht auf Falter reduziert werden kann: Lückenhafte Beleuchtung von Gebieten hat sich als vorteilhaft erwiesen, da auf diese Weise vor Licht geschützte Mikrohabitate entstehen. Eine andere Beobachtung hat gezeigt, dass starke Lichter im urbanen Bereich eine geringere Anzahl an Faltern anziehen als im Vergleich dazu schwächere Lichter in ruralen Gebieten. Dies bedeutet, dass ländliche Gebiete besonders sensibel sind und dass denen mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Eine weitere Studie hat ergeben, dass dieselben Lampen in einem geringeren Abstand positioniert, weniger Falter anziehen als wenn sie in einem größeren Abstand stehen (Getestet wurde mit 1.500 Lumen starken Lampen im Abständen von 46 m und 15 m). Eine mögliche Erklärung ist vielleicht, dass nahe aneinander stehende Lampen ein homogeneres Umgebungslicht erzeugen, das die Falter weniger stark anzieht.

Aus den oben gewonnen Erkenntnissen können wir folgern, dass für die Mehrzahl der Falterarten eine UV-arme Beleuchtung vorteilhaft ist. Es sollen, besonders am Land, geringe Beleuchtungsstärken gewählt werden, die Leuchten sollen homogen verteilt sein und lebenswichtige Schattenzonen sollen bewahrt werden.

6.2. Einfluss nächtlicher Beleuchtung auf die Pflanzen

Bei Pflanzen (*Plantae*) ist allgemein bekannt, dass sie Photosynthese betreiben und dass Licht dabei eine Voraussetzung ist. Licht ist jedoch auch für andere Prozesse bei den Pflanzen notwendig. Es stellt sich die Frage, ob zu viel Licht für die Pflanzen schädlich ist bzw. ob das künstliche Licht der Freiraumbeleuchtung die Pflanze in ihrer Entwicklung beeinflussen kann. Es gibt nur wenige Studien über die Auswirkungen von künstlichem Licht auf Pflanzen. In diesem Abschnitt werden einige Aspekte beschrieben.



Abb. 090: Freiraumbeleuchtung kann auch Pflanzen beeinflussen.



Abb. 091: Künstliches Licht kann im Herbst den Laubabfall verzögern.

Die Pflanzen haben verschiedene Photorezeptoren, die in vier Familien eingeteilt werden können:

- Phytochrome sind Rezeptoren, die rotes und dunkelrotes Licht messen und unterschiedliche Prozesse steuern, wie Keimung, Blütenbildung und Photoperiodismus.

- Cryptochrome nehmen UV-A bis blaues Licht wahr und steuern unter anderem die innere Uhr der Pflanzen.

- Phototropine reagieren ebenfalls auf langwelliges UV- und Blaulicht; sie sind für die Regulation des Phototropismus, der Phototaxis und für die Regulierung der Stomataöffnung zuständig.

- FKF1 Proteine sind Photorezeptoren, welche blaues Licht wahrnehmen und die Tageslänge messen.

Diese verschiedenen Photorezeptoren werden nicht nur durch natürliches sondern auch durch künstliches Licht gereizt. Zum Beispiel kann der Photoperiodismus (er steuert die Blütenbildung der Kurztag- und Langtagpflanzen) durch künstliches Licht beeinflusst werden. Bei der Pflanzenzucht macht man sich dies zunutze, um den Blühzeitpunkt vorzuverlegen oder hinauszuzögern. In den temperierten Regionen wird die Tageslänge durch die Phytochromas und die FKF1 Photorezeptoren gemessen, um physiologische und biochemische Prozesse in der Pflanze zu steuern, wie zum Beispiel die Verfärbung der Blätter und den Blattwurf im Herbst, oder auch die Knospenbildung. Es wurde beobachtet, dass Bäume bei nächtlichem Kunstlicht die Blätter im Herbst länger behalten, mitunter bis in den Winter hinein. Dies kann zur Folge haben, dass manche Baumarten wie der Amberbaum (Liquidambar) und Platane (Platanus) nicht in Winterruhe gehen und somit dem rauen Klima ausgesetzt sind. Es fehlen jedoch Daten darüber, welche Beleuchtungsstärken notwendig sind, um diese Reaktionen auszulösen. Weiters wurde bei einer Straßenbeleuchtung mit Natriumdampf-Hochdrucklampen beobachtet, dass die Platanen einen späten starken Zuwachs bekommen, der jedoch im Winter wieder zurück friert, da er nicht mehr rechtzeitig verholzt.

Es ist auch erforscht, dass bei Dunkelheit das Wachstum des Stammes und das Längenwachstum der Pflanze maximiert werden und bei Licht das Wachstum der Blätter zunimmt. Es gibt einen Versuch, bei dem verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlichen Lichtarten ausgesetzt wurden. Die Beleuchtungsstärke betrug ca. 10 Lux und die Versuche wurden bei 16-Stunden-Nächten durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass bei Kurztagpflanzen die Blüte unterdrückt blieb und bei Langtagpflanzen das Blütenwachstum gefördert wurde. Weiters hat das künstliche Licht das vegetative Wachstum einiger Baumarten gefördert, während bei anderen Arten keine messbaren Einflüsse feststellbar waren. Auch konnten bei den verschiedenen Lichtarten unterschiedliche Reaktionen der Pflanzen festgestellt werden. Am stärksten reagierten die Pflanzen auf die Glühlampe, am zweitstärksten auf die Natriumdampf-Hochdrucklampe, am drittstärksten auf die Metallhalogendampf-Hochdrucklampe, dann auf die kaltweiße Leuchtstoffröhre und am wenigsten beeinflusst waren sie von der klaren Quecksilberdampf-Hochdrucklampe.

Weiters ist zu bemerken, dass Pflanzen durch künstliches Licht auch indirekt negativ beeinflusst werden können. Pflanzenbestäuber zum Beispiel, die von künstlichem Licht abgelenkt werden, besuchen die Blüten der Pflanzen nicht mehr. Somit bleibt eine Bestäubung der Pflanze aus und sie kann keine Samen mehr produzieren; oder es findet kein genetischer Austausch mehr statt, was sich wiederum auf eine gesunde Entwicklung der Pflanzenart niederschlägt. (Briggs, 2006)

Schlussfolgernd können wir sagen, dass Pflanzen grundsätzlich auf künstliches Licht ansprechen. Die verschiedenen Photorezeptoren reagieren unterschiedlich auf die jeweiligen Wellenlängen, das heißt je nach Lampenart verhalten sich die Pflanzen anders. Auf lange Wellenlängen sprechen die meisten Pflanzen stärker an, jedoch reagieren nicht alle Arten gleich. Bei Kurztagpflanzen bleibt die Blüte aus. Am meisten Besorgnis erregend würde ich

jedoch das Ausbleiben der Bestäubung sehen. Dies kann zu Artenverlusten führen, was insbesondere jene Pflanzenarten betrifft, die sich auf die Bestäubung durch eine einzelne Tierart spezialisiert haben.

6.3. Einfluss von künstlichem Licht auf den Menschen

Künstliches Licht beeinflusst nicht nur die Tiere sondern auch den Menschen. Der Mensch, der das Licht erzeugt und für sich positiv nutzt, kann aber auch negativ von diesem beeinflusst werden. Für den Menschen ist die Dunkelheit genau so notwendig wie das Licht. Dunkelheit ist wichtig für einen gesunden Schlaf und Licht ist wichtig für die gute Laune. Dunkelheit wird oft mit Angst in Verbindung gebracht, aber ohne Dunkelheit kommen wir zu keiner vollkommenen Ruhe und haben keinen gesunden Schlaf. Im folgenden Abschnitt möchte ich ein paar Punkte aufzeigen, welche verdeutlichen, warum die Dunkelheit für den Menschen so wichtig ist.

6.3.1. Die innere Uhr

Die innere Uhr des Menschen und auch die der anderen Lebewesen tickt autonom. In den 1960er Jahren hat ein Höhlenforscher ein Experiment durchgeführt und zwar blieb er für 50 Tage in einer Höhle ohne je das Tageslicht zu Gesicht zu bekommen. Er besaß keine Zeitinformation, aber sein Tagesrhythmus hat sich auf 24,5 Stunden eingependelt. Dies ist bei den meisten Menschen typisch, jedoch nicht bei allen gleich, man nimmt an, dass bei 80% der Menschen der endogene Zeitrhythmus länger als 24 Stunden ist. Im Gehirn sind die superchiasmatischen Kerne für die Zirkadianrhythmik verantwortlich, diese Nervenzellen geben alle 24 Stunden einen Impuls, welcher die innere Uhr aller Zellen des Körpers miteinander synchronisiert. Der Körper benötigt diese innere Uhr um physiologische und biochemische Prozesse zeitlich zu organisieren. Licht ist der Zeitgeber für unsere innere Uhr. Bei Menschen und auch bei blinden Menschen, die nicht dem Tageslicht-dun-

kel-Wechsel ausgesetzt sind, läuft sie nicht nach einem 24 Stunden Rhythmus. Selbst bei geschlossenen Augen eicht das Licht die innere Uhr. Zu schwaches Licht, wie zum Beispiel das eines nur mit künstlichem Licht beleuchteten Büroraums, reicht nicht aus, um die innere Uhr zu eichen. Starkes Licht bei Dunkelheit kann die innere Uhr ebenfalls stören und sie um zwei Stunden verstellen, dabei sind die Wachheit und das Stresshormon Cortisol erhöht, was zu Schlafstörungen führen kann. (Cajochen, 2010)

6.3.2. Gesundheitliche Folgen des künstlichen Lichts

Das künstliche Licht hat es dem Menschen ermöglicht, rund um die Uhr tätig zu sein. Die Natur des Menschen kann sich jedoch nur schwer ans Wachbleiben in der Nacht gewöhnen. Selbst an Nachtarbeit gewohnte Schichtarbeiter können sich auch nach jahrelanger Arbeit bei Nacht nicht ganz an diesen künstlichen Rhythmus gewöhnen. Abgesehen von gesundheitlichen Folgen hat die Nachtarbeit auch soziale Folgen, da sich der gesellschaftliche Rhythmus am Tag orientiert und Nachtarbeiter oft in ein zeitliches „Ghetto“ geraten. (Cajochen, 2010) Menschen, die dauernd in Nachtschicht arbeiten, haben eine um 6 Jahre geringere Lebenserwartung. (Narisada und Schreuder, 2004)

Forscher aus den USA haben festgestellt, dass mit Licht die Melatoninproduktion unterdrückt wird, welches ein wichtiges körpereigenes Antioxidans ist, und der Körper dadurch geschwächt wird. (Cajochen, 2010) Melatonin ist nicht nur ein Grundbaustein für einen gesunden Schlaf, sondern es hat auch einen bedeutsamen Einfluss auf die Produktion von Hormonen und trägt wesentlich zur Funktionsfähigkeit des Immunsystems bei. (Tiroler Umweltschutz 2009) Die unterdrückte Melatoninproduktion wirkt sich auch auf die Entwicklung von Krebskrankheiten aus. Eine Studie hat belegt, dass bei Frauen der Brustkrebs zunahm und dass auch bei Nagetieren eine Zunahme von unterschiedlichen Krebsarten festzustellen



Abb. 092: Sicht aus dem All auf Europa in der Nacht

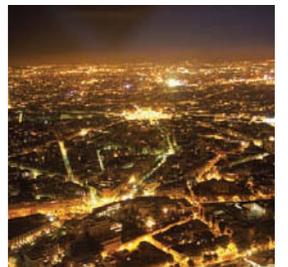


Abb. 093: Paris bei Nacht



Abb. 094: Skyline von Hong Kong in der Nacht

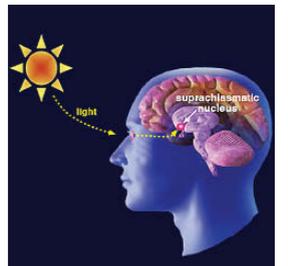


Abb. 095: Lage des suprachiasmatischen Kerns im menschlichen Gehirn, der über den Tageslicht-Dunkel-Wechsel auf den 24-Stunden-Rhythmus geeicht wird

war. Weiters wurde erforscht, dass Licht (zur falschen Zeit) eine circadiane Störung (Störung der Tagesrhythmik) hervorruft und sich ebenfalls auf die Entwicklung von Brustkrebs auswirkt. (Bullough, 2006)

Eine andere Studie an der Universität von Pennsylvania hat 500 Kinder auf Kurzsichtigkeit untersucht. Die Studie ergab, dass bei den Kindern, welche in vollkommener Dunkelheit schliefen nur 10% kurzsichtig waren, bei jenen, die mit einem Nachtlicht schliefen 34% und bei denen, die mit vollem Licht schliefen, 50% kurzsichtig waren. Weiters wird angenommen, dass die Zunahme des Hintergrundlichtes (Lichtglocke) ein Ergebnis der Industrialisierung und Urbanisierung ist und dies für die in den letzten zwei Jahrhunderten zunehmend kurzsichtige Bevölkerung verantwortlich ist. (Narisada und Schreuder, 2004)

Umgekehrt ist Licht bei Tag ebenfalls ein wichtiger Faktor für die Gesundheit. Menschen, die in fensterlosen Gebäuden arbeiten, leiden unter Konzentrationsstörungen und Aufmerksamkeitsstörungen (Narisada und Schreuder, 2004) Licht kann als Antidepressivum wirken, wenn es zur richtigen Zeit in der richtigen Menge aufgenommen wird. Bei saisonalen Depressionen wird zum Beispiel die Lichttherapie angewandt, wo der Patient morgens eine halbe Stunde lang 10.000 Lux ausgesetzt wird. Es wurde auch beobachtet, dass in Psychatriekliniken Patienten, die an Südzimmern stationiert waren, durchschnittlich nach 20 Tagen entlassen werden konnten und jene, die in Nordzimmern waren, erst

nach 23,5 Tagen. (Cajochen, 2010)

6.3.3. Welches Licht den Menschen beeinflusst

Der Mensch reagiert nicht auf jedes Licht gleich. Es wurde erforscht, dass die Unterdrückung der Melatoninproduktion durch Licht in einer Wellenlänge von 446-477 nm am stärksten ist. (Jasser, 2006) Dieses Licht wird von photopositiven Ganglienzellen in der Netzhaut über Photopigmente (Melanopsin) wahrgenommen. Dieser Spektralbereich liegt im blauen Bereich, das heißt die Melatoninproduktion und die Zeitrhythmik wird von blauem Licht gesteuert. (Cajochen, 2010)

Die Unterdrückung der Melatoninproduktion ist bei den unterschiedlichen Lebewesen verschieden. Bei den Nagetieren wird sie schon nach 15 bis 20 Minuten Lichtexposition unterdrückt, beim Menschen nach 60 Minuten. Auch die Reaktion auf die Beleuchtungsstärken ist je nach Art unterschiedlich. Bei den Nagetieren wurde je nach Art eine Reaktion schon bei $0.1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ festgestellt und bis über $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Beim Menschen liegt sie in der Größenordnung zwischen 100 und $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Bei der Verschiebung vom Zeitrhythmus wurde bei Nagetieren eine Reaktion schon ab einer Strahlung von $0.05 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ festgestellt, beim Menschen ab 50 bis $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Es wurden auch unterschiedliche Reaktionen bei unterschiedlichem Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen festgestellt, Tageslicht mit 6500K wirkte sich am stärksten aus. (Bullough, 2006)

6.3.4. Von der Freiraumbeleuchtung betroffene Menschen

Für 93% der US-Amerikaner und 90% der Europäer wird der Himmel nie dunkler als bei Halbmond auf 15° . Für 25% der Weltbevölkerung wird der Himmel nie dunkler als die nautische Dämmerung (Sonnenstand zwischen 6° und 12° unter dem Horizont). In diesem Fall sind nur die hellsten Sterne sichtbar, die Milchstraße sieht man nicht. (Narisada und Schreuder, 2004) Zirka die Hälfte der Bevölkerung,

die in Europa lebt, kann die Milchstraße nicht mehr sehen. In Europa und den USA leben 99% der Bevölkerung und zwei Drittel der Weltbevölkerung in Gebieten, die für astronomische Beobachtungen als lichtverschmutzt eingestuft sind. (Cinzano, 2002 a) In den Niederlanden wurde eine Befragung von 4000 Einwohnern über verschiedene störende Umwelteinflüsse durchgeführt und nur 4% gaben das künstliche Licht im Freien als störend an. (Narisada und Schreuder, 2004)

6.3.5. Licht, das in die Privatsphäre eindringt

Das eindringende Licht ist jenes der Freiraumbeleuchtung, das zum Beispiel auf Grundstücke oder durch Fenster in Wohnungen scheint. Bei einer Freiraumbeleuchtung sollte dies berücksichtigt werden. Das Licht darf nur in beschränktem Ausmaß in die Lebensräume der Anrainer eindringen. Exzessive Beleuchtung wird als überflüssig betrachtet, als Eingriff in die häusliche Intimsphäre und als Verweigerung der erholsamen Nachtruhe. (Hungerbühler und Morici, 2006) Die Niederlande haben beispielsweise Richtlinien mit Maximalwerten für eindringendes Licht erlassen. Die Beleuchtungsstärke (Lux) bezieht sich dabei auf die vertikalen Beleuchtungswerte, welche auf die Fassade eines lichtgestörten Gebäudes trifft, und die Lichtstärke (cd) betrifft die maximale Stärke der Lampe, welche auf die Fenster ausgerichtet ist. (Narisada und Schreuder, 2004)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Freiraumbeleuchtung auch sehr negative Folgen für den Menschen haben kann. Dabei spielen nicht nur subjektive Empfindungen eine Rolle, sie kann de facto physische Folgen haben. Für die menschliche Gesundheit ist es das Wichtigste, dass der Mensch einen natürlichen Tag-Nacht Zyklus durchmacht und dem Körper die Möglichkeit für einen erholsamen Schlaf bietet.

6.4. Einfluss von nächtlicher Beleuchtung auf die astronomische Forschung

Der Sternenhimmel ist das Fenster ins All. Die astronomische Forschung (Sternenforschung) gibt es zwar erst seit ein paar Jahrhunderten, zuvor gab es jedoch schon die Astrologie (Sternendeutung).

Schon im Jungpaläolithikum wurden Sternbilder in Höhlenmalereien festgehalten. In der Höhle von Lascaux in Frankreich gibt es zum Beispiel ein Abbild eines Teiles des Sternenhimmels. In vielen Bereichen hat sich der Mensch nach den Sternen gerichtet. Zum Beispiel in der Landwirtschaft bei der Aussaat und Ernte, bei der Jagd und beim Holzfällen. Man nutzte den Stand der Sternbilder auch, um die Jahreszeit abzulesen. In der Navigation hat die Orientierung nach den Sternen bis ins 20. Jahrhundert eine ausschlaggebende Rolle gespielt. Die Ägypter haben die Pyramiden exakt nach den Sternen ausgerichtet und in Peking ist die Urbanistik nach der Aufteilung des Himmels geplant. (Romano, 2002) Die Beobachtung des Sternenhimmels war in der Menschheitsgeschichte auch wesentlich für fundamentale physikalische und mathematische Erkenntnisse. Durch die Zunahme der künstlichen Beleuchtung wird jedoch die Sternbeobachtung immer schwieriger, nicht nur für die Wissenschaftler sondern auch für die laienhaft interessierten Personen. Die künstliche Beleuchtung des Freiraumes hat eine Aufhellung des Himmels zur Folge, sodass die schwach leuchtenden Sterne nicht mehr sichtbar sind. Am durchschnittlichen Himmel von Österreich sind nur mehr wenige dutzende Sterne zu sehen, dies ist jedoch in allen industrialisierten Ländern so. Am natürlichen Himmel sind etwa 3.000 Sterne fürs freie Auge sichtbar. (Tiroler Umweltschutz, 2009) Für die Allgemeinheit sind die Sterne nicht nur aus ästhetischer Sicht wichtig, sie sind auch ein wichtiges Element der menschlichen Bildung und der Bewusstseinsbildung, dass wir auf einem Planeten leben, der nur einen ganz kleinen Platz im Universum einnimmt. Um in den



Abb. 096: Jagdbeschwörung aus der Steinzeithöhle von Lascaux, die nach den Gestirnen des Sommerdreiecks gezeichnet ist



Abb. 097: Schematische Darstellung der Jagdbeschwörung



Abb. 098: Von der Ferne sichtbare Lichtglocke über einem städtischen Gebiet

Zone	E1	E2	E3	E4
Eindringendes Licht von Sportanlagen und Allgemeinbel.				
[lux] Abend	2	5	10	25
[lux] Nacht	1	1	2	4
[cd] Abend	2500	7500	10000	25000
[cd] Nacht	0	500	1000	2500
Eindringendes Licht von Straßenbeleuchtung				
[lux] Hauptstraßen Abend und Nacht	5	10	10	15
[lux] Nebenstraßen Abend und Nacht	0	5	5	15
[cd] Abend und Nacht	200	400	400	1000
Auf Fassaden auftretendes Licht durch Flutlichtern				
[cd/m²] Abend und Nacht	5	5	10	25

Tab. 001: In der Tabelle sind die empfohlenen Maximalwerte für eindringendes Licht gelistet, welche von der Niederländischen Stiftung für Beleuchtung NSV (Niederländische Stichting voor Verlichtingskunde) festgelegt wurden.

[mag]	Sterne
+7	zirka 7000
+6	zirka 2500
+5	zirka 800
+4	unter 400
+3	unter 50
+2	unter 25

Tab. 002: Leuchtkraft verschiedener Objekte und entsprechende Magnitude



Abb. 099: Das Paranal-Observatorium in Chile wird von der ESO (European Southern Observatory) betrieben und zählt zu den Weltklasseobservatorien

Leucht-Quelle	[cd/m ²]	[mag]
Sonnenoberfläche	1,6 · 10 ⁹	
Mondoberfläche	2500	
typischer Tageslichthimmel	3000	
bedeckter Tageslichthimmel	300	
Zenit bei Sonnenuntergang	100	
typischer Himmel über einer Großstadt	3	11,3
Zenit bei der bürgerlichen Dämmerung	0,3	
typischer Himmel bei Vollmond	0,03	16,8
Himmel beim 10 Tage Mond	5 · 10 ⁻³	18,5
Zenith bei der nautischen Dämmerung	1 · 10 ⁻³	20,2
Horizont eines dunklen Himmels	8 · 10 ⁻⁴	20,3
Zenit mäßig dunkler Gebiete zur Himmelsbeob.	6 · 10 ⁻⁴	20,7
Zenit gut dunkler Gebiete zur Himmelsbeob.	4 · 10 ⁻⁴	21,1
dunkelster Himmel der jemals gemessen wurde	2 · 10 ⁻⁴	22,0

Tab. 003: Leuchtkraft verschiedener Objekte und entsprechende Magnitude

Quelle	Mag. [mV]	Bel.stärke [lux]
Sonne	-26,7	1,2 · 10 ⁵
Vollmond	-12,7	2,9 · 10 ⁻¹
Venus	-4,6	1,6 · 10 ⁻⁴
60 W Lampe in 1 km Entfernung	-3,6	6,4 · 10 ⁻⁵
Sirius	-1,5	9 · 10 ⁻⁶
Polarstern	2	4 · 10 ⁻⁷
typisches Limit des freien Auges	6	9 · 10 ⁻⁹
typisches Limit eines Fernglases (Binocular)	9	6 · 10 ⁻¹⁰
hellster Quasar (Kern einer aktiven Galaxie)	13	2 · 10 ⁻¹¹
ungefähres Limit des Hubble Space Telescope	28	1 · 10 ⁻¹⁷

Tab. 004: Beleuchtungsstärke und entsprechende Magnitude verschiedener Lichtquellen

Genuss dieser Erfahrung zu kommen, reicht es, das Auge zum Nachthimmel zu erheben; aber je nach Wohnort muss man mittlerweile schon recht weit fahren, um eine dunkle Insel zu finden, wo man diese Erfahrung erleben kann. (Hungerbühler und Morici, 2006)

Die Astronomen warnten als erste vor den Folgen der Lichtverschmutzung. (Eisenbeis, 2010) Da die astronomische Forschung stark von der Lichtverschmutzung beeinträchtigt wird, die diese systematisch beobachtet und klassifiziert, möchte ich in diesem Abschnitt ein paar Problematiken und Erkenntnisse aufzeigen.

6.4.1. Lichtglocke (Sky glow)

Die Lichtglocke ist ein Hintergrundlicht

über dem Himmel. Sie entsteht durch ein ohne Richtung gestreutes Licht im Welt-raum und in der Atmosphäre. Teile dieses Lichtes sind natürlicher Herkunft, andere menschlicher Herkunft. In dieser Arbeit ist die Lichtglocke gemeint, die durch künstliche Beleuchtung entsteht. Die Helligkeit des Himmels wird in Magnitude angegeben. Künstliches Licht, welches in den Himmel gelangt, kommt entweder direkt von schlecht geplanter Beleuchtung, von schlecht installierten Leuchten, von bewusst nach oben gerichtetem Licht oder auch von an Objekten reflektiertem Licht. Die Ursache der Lichtglocke ist das Licht, das gegen den Himmel gestrahlt wird und sich an den Luftmolekülen, kleinen Partikeln und schwebenden Tröpfchen in der Atmosphäre streut. Die Folge ist eine Verminderung des Kontrastes zwischen dem Himmel und den Sternen und andern Objekten am Himmel. Das Ausmaß der Lichtglocke ist je nach Ort unterschiedlich intensiv und sie ist auch am selben Ort nicht immer konstant. Sie ändert sich während der Nacht, ist auch jahreszeitlich bedingt und vom Sonnenzyklus beeinflusst. Auch die meteorologisch bedingte Trübung, also der Wassergehalt der Luft, beeinflusst die Lichtglocke. Sie ändert sich auch mit der Höhe und dem Azimut und hat keine konstante Wellenlängenfunktion. (Narisada und Schreuder, 2004) Die künstliche Beleuchtung kann die Lichtglocke bis in weite Ferne beeinflussen und sich auf bis zu 200 km weit entfernte astronomische Beobachtungsstationen auswirken. Ist die entfernte Beleuchtung jedoch korrekt installiert, kann die Störung verringert werden. (Cinzano, 2002 b)

6.4.2. Bestimmung der Helligkeit des Himmels

Die natürliche Hintergrundradiation liegt bei 22 Magnitude. Es gibt verschiedene Beurteilungsmethoden, um die Helligkeit des Himmels zu bestimmen:

- (1) Drei einfache Methoden sind: (a) das limit star assessment: die Leuchtkraft der einzelnen Sterne ist in Magnitude klassifiziert und der Himmel wird nach

dem schwächsten mit dem freien Auge noch sichtbaren Stern klassifiziert, schon Hipparchus um 120 v. Chr. hat die Sterne in Magnitude klassifiziert; (b) die Sternenzählung: die Anzahl der mit freiem Auge sichtbaren Sterne wird gezählt; (c) die fotografische Erhebung: mit normalen Fotoapparaten wird der Himmel mit fix vorgegeben Einstellungen fotografiert und der Kontrast des Films ausgewertet.

- (2) Dauerhafte Erhebung oder Monitoring: dies wird mit Skyscannern gemacht, welche die Leuchtkraft des Himmels messen.

- (3) Bewertung von Orten: mit transportierbaren Weitwinkel-Teleskopen werden die Orte bewertet.

- (4) Akkurates Monitoring: von den existierenden Observatorien werden routinemäßig Messungen mit der standard telescopic photometry durchgeführt.

- (5) Globale Messungen: mit dem DMPS Satelliten (Defense Meteorological Satellite program) werden weltweite Messungen durchgeführt.

(Narisada und Schreuder, 2004)

6.4.3. Klassifizierung von Gebieten

Um die verschiedenen Orte auf der Welt auf den Einfluss von künstlicher Beleuchtung und auf Lichtglockenstärke klassifizieren zu können, wurde ein Zonierungssystem erstellt. Je stärker die Licht-

glocke ist, um so ineffizienter werden die Teleskope und um so größere Spiegel werden benötigt, was die Kosten der Teleskope in die Höhe treibt. Der Preis eines Teleskopes nimmt mit der dritten Potenz des Teleskop-Radius zu. Die CIE hat eine Klassifikation von E1...E4, sie ist von den meisten Ländern anerkannt und kann noch in Subzonierungen unterteilt werden. In der nachfolgenden Tabelle 005 werden die Zonen aufgezeigt. (Narisada und Schreuder, 2004, 72)

Eine weitere Klassifikation der Eignungsstätten für astronomische Forschung ist die ALCoR (Astronomical Lighting Control Region) Alcor ist auch der Name eines Sternes neben Mizar im Großen Bären (Großer Wagen).

- ALCoR 0: Keine Art der Astronomie ist praktikierbar. (Entspricht E4)

- ALCoR 1: Gelegentliche Himmelbeobachtung (Entspricht E3)

- ALCoR 2: Übungen für Studierende ohne Abschluss oder gleichwertige öffentliche Übungen in Observatorien auf Universitäten oder Museen. (Entspricht E3)

- ALCoR 3: Amateurbesichtigungen in Berufs-Basen in ausgewählten, günstigen Lagen (Entspricht E2)

- ALCoR 4: Professionelle Beobachtungen in einer ausgewählten, entfernten Lage. (Entspricht E1)

- ALCoR 5: Professionelle Beobachtung-

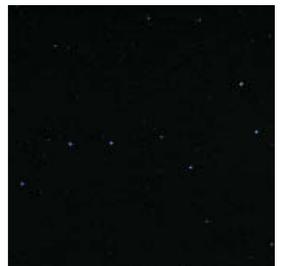


Abb. 100: Sternbild des Großen Bären



Abb. 101: Sicht mit dunklem Himmel



Abb. 102: Sicht mit lichtverschmutztem Himmel

Zone	Subz.	Umgebungslicht	Umgebung/ Beispiel	Klasse der Observatorien
E1		wirklich dunkel	natürlich	
	E1a		strenges Naturreservat	Weltklasse
	E1b		Nationalpark	(inter)nationaler Bedeutung
	E1c		geschützte Landschaft	akademischen Grades, 1 m Klasse
E2		gering	ländlich	
			landwirtschaftliches Gebiet	graduierte, 1 m Klasse
E3		mittel	suburban	
	E3a		vorstädtisches Wohngebiet	nicht graduierte, 50 cm Klasse
	E3b		innerstädtisches Wohngebiet	Freizeitbeobachtung, 30 cm Klasse
E4		hoch	urban	
	E4a		urban gemischtes Wohn-, Industrie- und Gewerbegebiet mit bedeutender Nachtaktivität	Beobachtung mit freiem Auge
	E4b		Hauptstadtgebiete mit gemischter Freizeit- und Gewerbenutzung mit hoher Nachtaktivität	hellste Himmelskörper sichtbar

Tab. 005: Verschiedene Umweltzonen nach der CIE und dessen Subzonierung mit Beispiel eines typischen Gebietes und Zuteilung der möglichen astronomischen Beobachtung

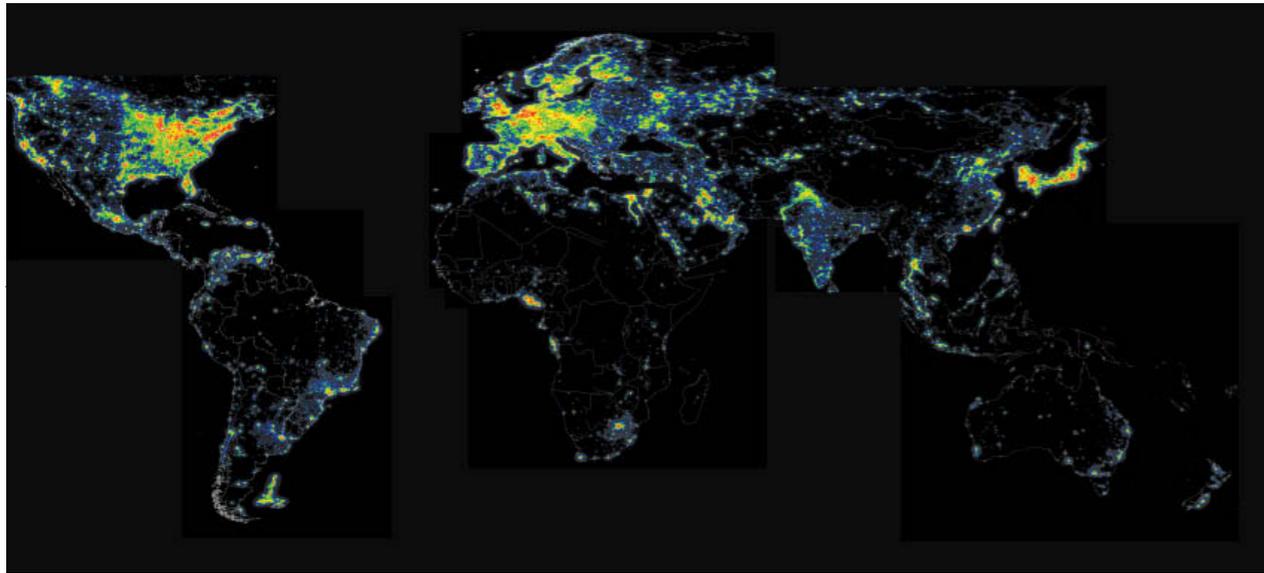


Abb. 103: Weltatlas der Lichtverschmutzung von 1996-1997. Die Farben geben das Verhältnis zwischen künstlichem Himmelslicht und natürlichem Himmelslicht an: schwarz: <0,01 - grau: 0,01-0,11 - blau: 0,11-0,33 - grün: 0,33-1 - gelb: 1-3 - orange: 3-9 - rot : 9-27 - weiß: >27

gen in optimal ausgewählter Lage, in einer Qualität, die selten auf der Welt zu finden ist. (Liegt über den CIE Klassifikationen)

(Narisada und Schreuder, 2004)

6.4.4. Kartierung der Lichtverschmutzung

Die Lichtglocke ist das am besten erforschte Phänomen der Lichtverschmutzung, da sie in der Astronomie schon seit Langem beobachtet wird. Sie wurde auch schon beobachtet, als sie noch nicht so stark ausgeprägt war wie heute. (Cinzano, 2002 a) Dabei ist die Entwicklung der Lichtglocke an den unterschiedlichen Orten der Welt verschieden, jedoch ist überall eine Zunahme zu verzeichnen, sei es in Stadtnähe wie auch in abgelegenen Orten. Im Durchschnitt nimmt die Lichtglocke um 3% pro Jahr zu. (Narisada und Schreuder, 2004)

Die Kartierungen der Lichtverschmutzung werden mit Satelliten-Fernkundung durchgeführt. Die hochsensiblen Sensoren ermöglichen es, die Lichtemissionen in ihrer zeitlichen Veränderung zu erfassen. Die Bilder sind zwar nicht punktgenau, sodass die einzelnen Lichtquellen erkennbar sind, jedoch ergeben sie ein Flächen deckendes Bild, wo das Licht ausgebreitet ist und wo es zunimmt. Für die nächtliche Betrachtung der Erdoberfläche beschränkt sich die Auswahl der Satellitendaten auf die des Sensors Operational Linescan System des DMPS (Defense Meteorological Satellite Program des US Air Force). Konzipiert wurde dieser Satellit zur Überwachung der Wolken und Wolkenbewegung am Tag und in der Nacht für das US-amerikanische Militär. Mit diesem Satelliten werden Lichtmissionen und thermale Infrarotstrahlung aufgezeichnet. Die Lichtmenge wird dabei in Grauwerten von 0 bis 63 angegeben, 0= schwarz 63= weiß, bei 63 ist die Lichtsättigung erreicht. Betrachtet man die unterschiedlichen Kartierungen der verschiedenen Jahre, sieht man, dass nicht nur die Größe der beleuchteten Flächen zugenommen hat sondern auch die Intensität. (Wunderle und Maus, 2006) Stadtzentren übersteigen eigentlich den Wert von 63, jedoch können hellere Werte vom Satelliten nicht gemessen werden.

IUCN Kategorie	Subzone
I Strenges Naturreiservat/ Wildnisgebiet	E1a
II Nationalpark	E1b
III Naturdenkmal	E1b
IV Biotop/ Artenschutzgebiet	E1c
V Geschützte Landschaft/ geschütztes marines Gebiet	E1c

Tab. 006: Die unterschiedlichen Naturschutzgebiete nach den IUCN Kategorien und Zuweisung der Subzonen laut CIE

Die ersten Satellitenbilder der Erde bei Nacht wurden schon Anfang der 1970er mit den DMSP gemacht. Seit 1998 wurden die Satellitenbilder vom Militär verfügbar gemacht, welche quantitative Angaben über den Lichtfluss in Richtung Himmel beinhalteten. Aus diesen Satellitenbildern wurden Karten erstellt, von denen man ablesen konnte, wie viele Sterne von den verschiedenen Punkten auf der Erde noch sichtbar sind. (Cinzano, 2002 a)

6.4.5. Klassifikation von Umweltschutzgebieten

Es gibt verschiedene Klassifikationen von Naturparks oder geschützten Gebieten, die von der IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) erlassen wurden. Für die jeweilige Klasse gibt es Auflagen, die sie erfüllen muss, um als solche eingestuft zu werden. Jeder Klasse wurde auch die maximale Lichtmission zugewiesen. In der angeführten Tabelle 006 werden diese gezeigt. Die Klassifizierung richtet sich nach jener der CIE. (Narisada und Schreuder, 2004)

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass die astronomische Forschung sehr stark von der Lichtverschmutzung betrof-

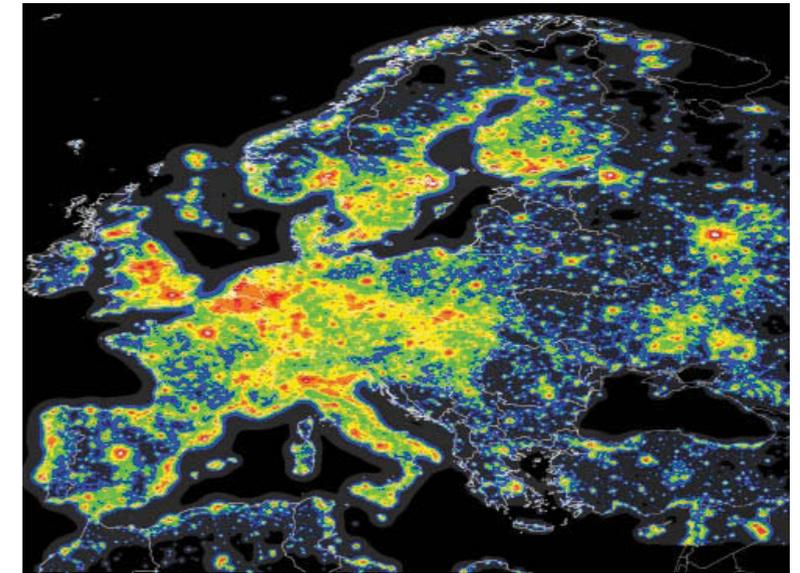


Abb. 104: Europateil des Weltatlases der Lichtverschmutzung von 1996-1997.

fen ist und dass sie jener Forschungsbereich ist, der als erster auf dieses Problem hingewiesen hat. Die Astronomen und die Lichttechniker und Lichtplaner sind oft nicht einer Meinung, was das Problem Freiraumbeleuchtung betrifft. Die ‚zivilisierte‘ Bevölkerung mit ihrem hohen Energieverbrauch und ihren 24-Stunden-Tagen lässt jedenfalls der Nacht und der Dunkelheit wenig Spielraum. Doch auch die astronomische Forschung ist Teil unserer Zivilisation, sie trägt zum Verständnis des Universums bei, von dem wir ein Teil sind und kein isoliertes Dasein darstellen.

7. Faktoren, Planung, Möglichkeiten, Kontroversen

In den beiden vorhergehenden Kapiteln wurde auf die Funktion der Freiraumbeleuchtung eingegangen und auch auf etwaige negative Auswirkungen der Beleuchtung auf Mensch und Umgebung. In diesem Kapitel möchte ich nun über allgemeine Eigenschaften des Lichtes und über grundlegende Aspekte der Beleuchtung informieren, um anschließend aufzuzeigen, welche Lösungen für eine gut funktionierende Freiraumbeleuchtung mit möglichst wenig negativen Nebenwirkungen gefunden werden können.

7.1. Menschliches Sehen

Der Mensch kann nur einen gewissen Spektralbereich des Lichtes, das so genannte sichtbare Licht (ca. 380 nm - 780 nm), mit dem Auge wahrnehmen. An dieser Stelle möchte ich kurz darauf eingehen, wie das menschliche Auge auf Licht reagiert.

Das menschliche Auge kann sich in unterschiedlicher Weise an die Helligkeit adaptieren, und zwar durch die Veränderung der Pupillengröße, die Adaptation der Sehsensitivität der Rezeptoren und durch die Umschaltung der so genannten Stäbchen und Zäpfchen. Durch diese drei Arten von Adaptation ist das menschliche Auge extrem anpassungsfähig und kann sich vom absoluten Schwarz 10^{-6} cd/m^2 bis zur absoluten Blendung 10^4 cd/m^2 anpassen. (Narisada und Schreuder, 2004)

Die Zäpfchen sind für das Tagsehen (photopische Vision) in heller Umgebung und das Farbsehen zuständig. Davon gibt es drei Typen und zwar jene die auf Blau, Grün und Rot ansprechen. Die sensibleren Rezeptoren, die Stäbchen, sind für das Nachtsehen (scotopische Vision) in dunkler Umgebung zuständig. Mit diesen sieht man nur in Schwarz-weiß, das sichtbare Spektrum verschiebt sich etwas in den kurzwelligeren Bereich und das Sensitivitätsmaximum verschiebt sich von 555 nm auf 507 nm. Dies hat zur Folge, dass man rote Gegenstände schwarz wahrnimmt und blaue Gegenstände weiß. Dazu gibt

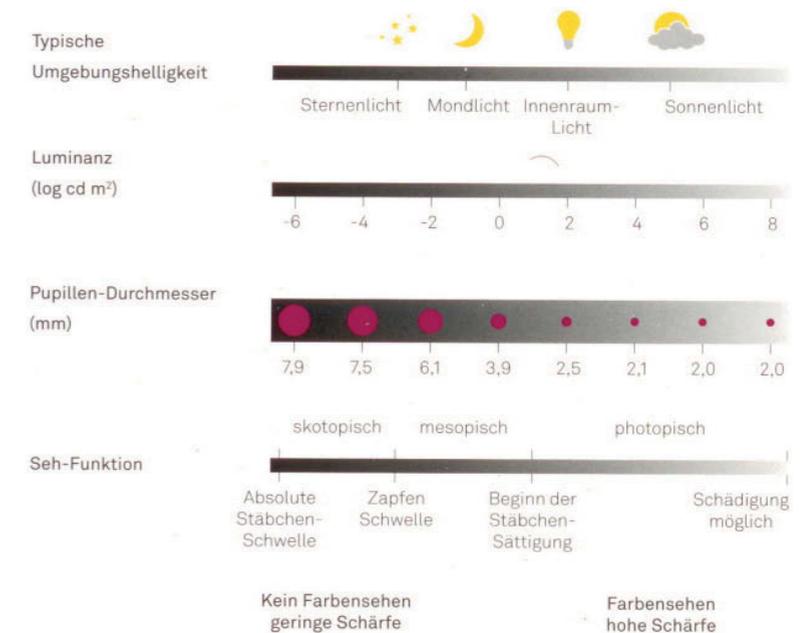


Abb. 105: Sehfunktion des Menschen unter typischen Lichtbedingungen

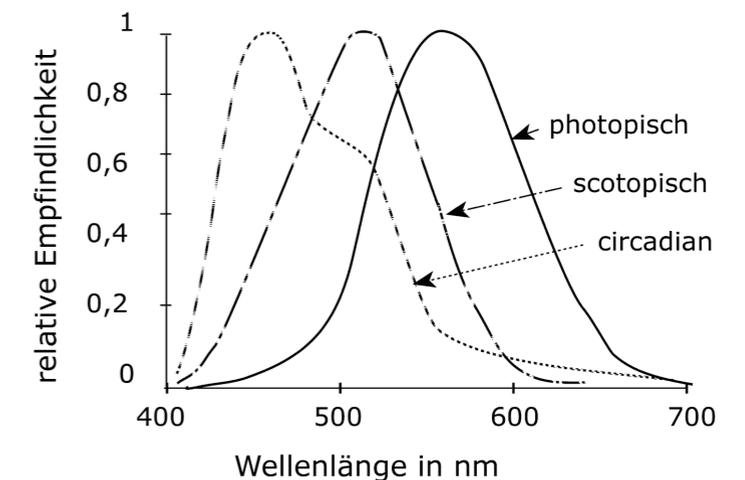


Abb. 106: Vom Menschen wahrnehmbares Spektrum in scotopischer und photopischer Vision und das Spektrum, welches den circadianen Rhythmus beeinflusst

es eine Anekdote über den Wissenschaftler Purkinje, der auf dieses Phänomen aufmerksam wurde, als er bei schwachem Mondlicht in seinen Garten schaute und ausrief: „Who stole my beautiful red roses and what are those stupid white flowers doing where my beautiful blue irises ought to be?“

Weiters gibt es die mesopische Vision, wo Zäpfchen und Stäbchen aktiv sind, da keine abrupte Umschaltung geschieht. Die mesopische Vision liegt zwischen 3 cd/m^2 und $0,01 \text{ cd/m}^2$. (Narisada und Schreuder,

◀Abb. 107: Kofferleuchte mit einer Natriumdampfiederdrucklampe



Photopische Leuchtkraft (cd/W)		10	1	0,5	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³
Lichtquelle	Watt	sichtbare Lampeneffizienz (lm/W)					
Natriumdampf-Niederdruck	90	151	145	139	108	52	37
Natriumdampf-Hochdruck	250	109	107	105	94	74	68
Quecksilberdampf-Hochdruck	400	55	55	56	57	59	60
Metallhalogendampf	400	80	82	84	93	110	115

Tab. 007: Sichtbare lm/W (Lampeneffizienz) der unterschiedlichen Lampen bei unterschiedlichen Lichtstärken

2004)

An dieser Stelle gibt es in Bezug auf die Lichtverschmutzung eine interessante Erkenntnis, und zwar dass bei geringen Beleuchtungsstärken, wie sie in Wohngebieten großteils üblich sind, die weniger energieeffizienten Halogenmetalllampen (weniger lm/W) für das Sehen besser geeignet sind als die energieeffizienteren (mehr lm/W) Natriumdampfniederdrucklampen und Natriumdampfhochdrucklampen. Aufschluss darüber gibt die Tabelle 007, wo dargestellt wird, wie viel lm/W bei den unterschiedlichen Lichtstärken für den Menschen sichtbar sind. (Narisada und Schreuder, 2004) Ich nehme an, dass es deswegen Unterschiede gibt, weil bei geringen Beleuchtungsstärken das kurzwellige Licht beim Sehen eine wesentliche Rolle spielt. Im Gegenzug ist jedoch zu bemerken, dass das Licht der Natriumdampflampen in Bezug auf die Bildung der Lichtglocke einen nachweisbar geringeren Einfluss hat. (Narisada und Schreuder, 2004)

7.2. Allgemeine Eigenschaften von Licht

7.2.1. Farbe, Lichtfarbe, Wellenlängen

Der Eindruck von Farbe beim Sehen wird durch die Farbe, die Sättigung und die Helligkeit erzeugt. Die Wahrnehmung von Farben ist zwar nicht lebensnotwendig, hat jedoch ihre Wichtigkeit. Das menschliche Gemüt wird von Farben beeinflusst, in der Ästhetik zum Beispiel spielen Farben eine wichtige Rolle. Bei der Betrachtung von Bildern kann der Mensch fehlende Farben rekonstruieren, doch nicht immer, so ist es zum Beispiel nicht möglich, auf einem schwarz-weiß Foto die Farben eines

Kleides zu rekonstruieren. (Narisada und Schreuder, 2004)

Die unterschiedlichen Lampentypen geben unterschiedlich viele und verschiedene Farben wieder. Die meisten Lampen, welche im Freiraum eingesetzt werden, decken nicht das gesamte Farbspektrum des sichtbaren Lichtes ab. Für jede Lampe gibt es photometrische Daten, die darüber Auskunft geben, wie viel Licht sie von jeder Wellenlänge abstrahlen. Natriumdampfhochdrucklampen, die oft in der Freiraumbeleuchtung eingesetzt werden, haben beispielsweise sehr hohe Werte im gelb-orangen Spektralbereich und geben somit ein gelbes Licht.

In Bezug auf Lichtverschmutzung spielt die Verteilung des Lichtes in verschiedene Wellenlängen insofern eine Rolle, dass gewisse Tiere und auch die Menschen auf unterschiedliche Wellenlängen unterschiedlich reagieren. Das heißt, fallen gewisse Spektralbereiche aus, beeinflusst dies die Lebewesen nicht. Das klassische Beispiel ist jenes der Natriumdampfniederdrucklampe, deren monochromatisch oranges Licht von den meisten Insekten nicht wahrgenommen wird und sie somit von diesem Licht unbeeinflusst bleiben. Leider wird diese Lichtqualität kaum mehr eingesetzt, da deren Farbwirkung meist unerwünscht ist und als unästhetisch eingestuft wird. Außerdem ist die sperrige Bauform dieser Lampe etwas umständlich und erschwert die Lenkung des Lichts.

7.2.2. Farbtemperatur und deren Wirkung

Der Farbeindruck einer Lampe wird als Farbtemperatur in der Maßeinheit Kelvin angegeben. Die Farbtemperatur ist als Temperatur eines schwarzen Körpers definiert. Je kälter die Temperatur ist, umso

wärmer wirkt das Licht und je höher die Temperatur ist, um so kälter wirkt das Licht. So wird das Licht unter 3300 K als warmweiß empfunden und das Licht zwischen 3300 K und 5000 K als neutralweiß. Die Empfindung des Lichtes ist jedoch auch von der Intensität des Lichtes abhängig. Tageslicht hat über 5000 K (bis 20000 K tiefblauer Himmel). (Mueller, 2005) Natürliches Tageslicht ist sehr hell und wirkt neutral, hat man jedoch eine geringere Beleuchtungsstärke mit zum Beispiel 6500 K, wirkt es als kalt-blaues Licht. Da wir es in der Freiraumbeleuchtung meist mit geringen Beleuchtungsstärken zu tun haben, wirkt kaltes bis neutrales Licht eher blau.

7.2.3. Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe spielt in der Beleuchtung eine wichtige Rolle, da die verschiedenen Lampen unterschiedlich gute Farbwiedergaben haben. Die Farbwiedergabe wird mit dem Farbwiedergabeindex (Abkürzung ist R_a) angegeben. Glühlampen haben beispielsweise R_a 100, das bedeutet sie können 100% der Farben wiedergeben. Alle anderen Lampen, wie Entladungslampen, Leuchtstofflampen und LEDs haben eine geringere Farbwiedergabe, die von monochromatischem Licht bis zu über 90% reicht. Eine Farbwiedergabe ab R_a 80 wird als gute Farbwiedergabe angenommen und der Großteil der Lampen für die Innenraumbeleuchtung erreicht auch diesen Wert. Für die Freiraumbeleuchtung werden jedoch viele Lampen mit geringerer Farbwiedergabe eingesetzt, aus dem einfachen Grund, dass diese günstiger und oft auch energieeffizienter sind. Bei Prestigebeleuchtungen werden oft auch kostspieligere Lampen mit guter Farbwiedergabe eingesetzt.

Beispiele verbreiteter Farbwiedergaben verschiedener Lampen:

- Natriumniederdruckdampflampen: monochromatisches Licht
- Natriumhochdruckdampflampen: um R_a 25
- Metallhalogendampflampen: um R_a 80
- Standardleuchtstofflampen und

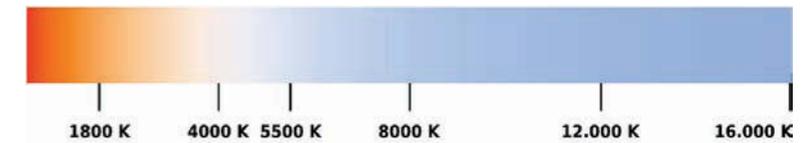


Abb. 108: Farbeindruck der unterschiedlichen Lichttemperaturen.

- Kompaktleuchtstofflampen: um R_a 80
- Qualitativ hochwertige LEDs: um R_a 80
- Glühlampen und Halogenlampen: R_a 100

Es gibt auch Entladungslampen und Leuchtstofflampen, die nahe dem R_a 100 kommen, jedoch schlägt sich das auch in deren Preis, Lebensdauer und Energieeffizienz nieder.

7.2.4. Lichtfrequenz

Blinkendes Licht wird ab einer gewissen Frequenz als stabil wahrgenommen, der Schwellwert wird Flimmerverschmelzungsfrequenz genannt und liegt oberhalb 50 Hz (50 Bilder pro Sekunde) wo das Großflächenflimmern verschwindet. Außerhalb des Normalbereiches kann noch bei 80 Bildern pro Sekunde ein Flimmern wahrgenommen werden, erst ab 100 Bildern pro Sekunde ist kein Flimmern mehr zu erkennen. (Mueller, 2005)

Die Frequenz hat in der Beleuchtungstechnik deshalb Bedeutung, da die Leuchtstofflampen und die Entladungslampen allgemein mit einer bestimmten Frequenz betrieben werden. Sichtbar ist das zum Beispiel bei älteren Leuchtstoffröhren mit konventionellen Vorschaltgeräten (die werden mit 100 Hz betrieben), wenn sie zu flackern beginnen. Die unbewusste Wahrnehmung einer niederen Frequenz kann auch gesundheitliche Folgen haben und beispielsweise Kopfschmerzen hervorrufen. Manche Tiere, wie Fliegen, reagieren sogar noch sensibler darauf als der Mensch, da sie höhere Frequenzen wahrnehmen können. Entladungslampen mit elektronischen Vorschaltgeräten arbeiten mit sehr hohen Frequenzen (liegt im kHz-Bereich) und geben somit ein viel stabileres und angenehmeres Licht und sind zudem energieeffizienter.

Hochfrequenzsysteme sollten also bevorzugt verwendet werden, was mittler-

weile auch meistens der Fall ist, da elektronische Vorschaltgeräte Vorteile haben, auf die später noch im Kapitel 7.4.5. eingegangen wird.

7.2.5. Energieeffizienz der Lampen

Bei den Lampen wird nur ein Bruchteil der elektrischen Energie in sichtbares Licht umgewandelt, der Rest ergibt unsichtbare Wärme-, Infrarot- und UV-Strahlung. Die Wärme ist für die Lampe teilweise notwendig, um den physischen und chemischen Brennprozess in der Lampe aufrecht zu erhalten. (Narisada und Schreuder, 2004) Leuchtstofflampen nehmen zum Beispiel mit zunehmender Kälte stark an Leuchtkraft ab. Die Energieeffizienz der Lampen wird in lm/W angegeben. Ihre Nachhaltigkeit ist auch von der Bauart und der Stärke der Lampe abhängig. Prinzipiell ist eine stärkere Lampe energieeffizienter als mehrere schwächere.

Typische Energieeffizienz von verschiedenen Lampen laut Philips (2011):

- Glühlampe: 10-15 lm/W
- Halogenlampe: 15-30 lm/W
- Leuchtstofflampen (T5) 80-90 lm/W
- Metallhalogenlampen: 90-110 lm/W
- Natriumdampfhochdrucklampen: 100-150 lm/W
- LED: 40-65 lm/W

Im Bezug auf die Lichtverschmutzung spielt die Energieeffizienz der Lampe keine direkte Rolle. Jedoch kann sie als gutes Argument für die Planung herangezogen werden. Eine gut geplante Beleuchtungsanlage mit neuer, bewährter Technologie ist nämlich energieeffizienter als etwa eine alte, bestehende Anlage und sie bringt längerfristig gesehen eine Ersparnis durch geringere Betriebskosten. Dies ist oft das ausschlaggebende Argument für die Erneuerung einer Anlage.

7.2.6. Lebensdauer der Lampen

Ein wichtiger Aspekt einer Lampe ist auch deren Lebensdauer. Da eine Freiraumbeleuchtung viele Stunden pro Tag in Betrieb ist, ist es sinnvoll, dass die Lampen

lange funktionieren, da diese sonst ständig ausgetauscht werden müssen, was hohe Instandhaltungskosten der Beleuchtungsanlage zur Folge hat. Somit sollen Lampen für die Freiraumbeleuchtung eine Lebensdauer von mindestens 10.000 Stunden haben. Die Lebensdauer einer Lampe wird nicht nur durch ihren kompletten Ausfall bewertet sondern auch durch die Abnahme der Leuchtkraft. Die meisten Lampen nehmen mit zunehmendem Alter an Leuchtkraft und Farbwiedergabe ab, manche stärker manche weniger stark, das ist vom Typ, der Qualität, der Betriebsart und von den Schaltzyklen der Lampe abhängig. Die Lebensdauer in Stunden mit 50% Ausfallsrate laut Philips (2011) variieren je nach Lampenmodell:

- Glühlampe: 1.000 h
- Halogenlampe: 2.000-5.000 h
- Leuchtstofflampe: 10.000-79.000 h
- Metallhalogenlampen: 12.000-30.000 h
- Natriumdampfhochdrucklampen: 20.000-32.000 h
- LED: 20.000-50.000 h

7.3. Geometrie des Lichtes in der Freiraumbeleuchtung

7.3.1. Abstrahlungswinkel

Der Abstrahlungswinkel gibt an, in welche Richtung (nach oben, seitlich, nach unten) das Licht einer Leuchte abgestrahlt wird. Die Einteilung der Abstrahlungswinkel ist wie folgt:

- U1: Vom Zenith abwärts bis 15° über dem Horizont
- U2: Von 15° über den Horizont zum Horizont
- D1: (= I90) gerade in die horizontale Richtung
- (I80)
- D2: von Horizont bis 15° unterhalb des Horizontes
- D3: von 15° unter dem Horizont bis 45° unter dem Horizont
- D4: von 45° unter dem Horizont bis zum Nadir (gerade unter der Leuchte).

(Narisada und Schreuder)

In der Abbildung 109 wird ersichtlich

welche Bereiche die unterschiedlichen Abstrahlungswinkel abdecken.

Das Licht der unterschiedlichen Abstrahlungswinkel hat bestimmte Eigenschaften und unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt. U1 ist der Hauptverursacher der Lichtglocke durch direkte Strahlung. U2 beeinflusst die astronomische Beobachtung stark, auch die entfernter Observatorien. D1 und I90 mit Toleranz ist für die Blendung verantwortlich. D2 und I80 mit Toleranz ist für die Beleuchtungseffizienz einer Straßenbeleuchtung von Bedeutung. Das flach auf die Straßen einfallende Licht wird stärker reflektiert als das steil einfallende Licht. Dies bedeutet, das Licht, das in diesem Winkel auf die Straße einfällt, hat eine besonders große Ausbeute. D3 und D4 ist relevant für das Licht in der Nähe der Leuchte. Dieses Licht bewirkt die Lichtglocke durch indirekte Strahlung, ist aber auch von der Oberfläche bedingt, auf die das Licht fällt.

Die Leuchten können auch nach ihrem Abschirmungsgrad klassifiziert werden, laut CIE (Internationale Beleuchtungskommission) gibt es folgende Einteilung:

- FCO: Full cut off, über 90° dürfen 0 cd abgestrahlt werden und über 80° dürfen nicht mehr als 100 cd (10%) pro 1000 lm abgegeben werden.
- CO: Cut off, über 90° dürfen nicht mehr als 25 cd (2,5%) pro 1000 lm abgestrahlt werden und über 80° dürfen nicht mehr als 100 cd (10%) pro 1000 lm abgegeben werden.
- SCO: semi cut off, über 90° dürfen nicht mehr als 50 cd (5%) pro 1000 lm abgestrahlt werden und über 80° dürfen nicht mehr als 200 cd (20%) pro 1000 lm abgegeben werden.
- NCO: Non cut off, die cd sind in keine Richtung beschränkt. (Narisada und Schreuder, 2004)

Laut Cinzano (2002 b) wird damit gerechnet, dass das Licht einer Leuchte in über 20 km Entfernung aus den kleinen Winkeln über 90° abstammt. Eine Beispielrechnung ergibt, dass wenn nur 2% des Lichtes einer Leuchte über 90° abgestrahlt wird, das Licht in der Atmosphäre um 212% zunimmt, im Verhältnis zu jenem,

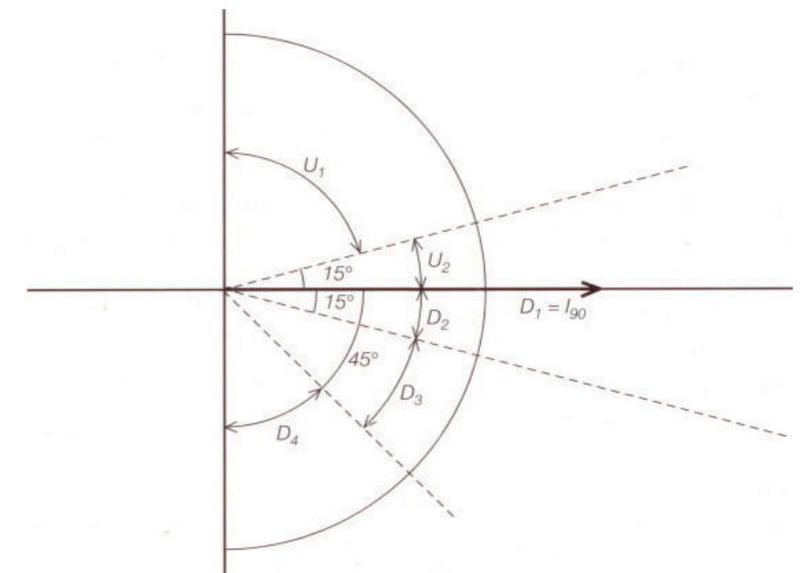


Abb. 109: Deckungsbereiche der unterschiedlichen Abstrahlungswinkel.

das auf der Straße reflektiert wird. Somit kann gesagt werden, dass die Kontrolle der Abstrahlungswinkel ein Schlüssel zur Regulierung der Lichtverschmutzung ist.

7.3.2. Der Upward light ratio

Der Upward light ratio gibt an, wie viel Licht eines Beleuchtungssystems unter den gegebenen Bedingungen gegen den Himmel, beziehungsweise über den Horizont abstrahlt. Dieses Licht verursacht zum großen Teil die Lichtglocke, dessen Folge die Erhellung der nächtlichen Umgebung ist, und die folglich die Umwelt ungünstig beeinflusst und die astronomische Beobachtung erschwert. Dies wurde jedoch schon im Kapitel 6.4. näher erläutert. Der Upward light ratio dient also der Beurteilung, wie viele Lichtanteile in den Himmel strahlen. Das ist von mehreren Faktoren abhängig und nicht nur auf die Konstruktionsart der Leuchte zurückzuführen. Auch die Reflexion der beleuchteten Oberflächen und die korrekte Montage der Leuchte beeinflusst diesen Wert. Weiters gibt es den Upward light output ratio, der angibt, wie viel Licht eine Leuchte unter Standardbedingungen über den Horizont abstrahlt, sagt aber wenig über die Lichtqualität aus, die von einem installierten System ausgestrahlt wird. (Narisada und Schreuder, 2004)

In Bezug auf die Lichtverschmutzung ist der Upward light ratio sehr hilfreich, um ein Beleuchtungssystem zu beurteilen. Mit diesem Wert kann festgestellt werden, wie viel Licht in die Umgebung gelangt, was eine Kontrolle darüber erst ermöglicht. Weiters gibt es in manchen Ländern eine Klassifikation von Umweltzonen, bei denen vorgeschrieben ist, wie viel Licht emittiert werden darf, und die Grenzwerte dafür werden mit dem Upward light ratio gesetzt. Die Umweltzonen sind im Kapitel 6.4.3. beschrieben.

7.3.3. Reflexion

Das Licht der Freiraumbeleuchtung wird nicht nur direkt von der Lampe an die Umwelt abgegeben, sondern auch von den Oberflächen, auf denen es auftrifft und reflektiert wird. Die Oberflächen reflektieren einen Teil und absorbieren den anderen Teil des Lichtes. Der Reflexionsgrad ist je nach Oberfläche sehr verschieden. Die meisten Flächen im Freiraum haben eine Reflexion von weniger als 25%, dies entspricht der Reflexion einer Betonoberfläche. Bei Straßen hat auch die Beschaffenheit des Straßenrandes einen wesentlichen Einfluss auf den Grad der

Reflexion. In der Abbildung 110 werden ein paar Beispiele von Reflexionswerten unterschiedlicher Straßenausführungen gezeigt. In der Tabelle 008 hängen wird verdeutlicht, wieviel Licht die unterschiedlichen Leuchtentypen direkt und indirekt in den Himmel abstrahlen, im Verhältnis zum Lichtstrom (lm) welcher notwendig ist, um dieselbe Beleuchtungsstärke auf der Straße zu erreichen. Leuchten mit schlechter Abschirmung haben einen hohen Anteil an direkter Abstrahlung des Lichtes gegen den Himmel. Bei Leuchten mit gerichtetem Licht überwiegt die indirekte Abstrahlung des Lichtes gegen den Himmel. Die Leuchten mit flachen Abdeckgläsern verursachen zwar keine direkte Strahlung gegen den Himmel, haben jedoch eine starke Reflexion. Dies bedeutet in Summe, dass Leuchten mit hoch effizienten Reflektoren nicht schlechter abschneiden als jene mit flachen Abdeckgläsern. Das Licht, das in der Nähe der Leuchte gegen den Himmel abgestrahlt beziehungsweise reflektiert wird, ist nämlich für die Lichtglocke hauptverantwortlich.

Um also die Lichtverschmutzung in den Griff zu bekommen, muss auch das reflektierte Licht mitberücksichtigt werden. Um das reflektierte Licht gering zu halten, sollte eine Überbeleuchtung vermieden werden und nicht stärkere Beleuchtungskörper installiert werden, als für den jeweiligen Funktionstyp vorgeschrieben ist. (Cinzano, 2002 b, 216) Oft werden höhere Beleuchtungsstärken gewählt, damit später bei älteren Lampen, die an Leuchtkraft verloren haben, die minimalen Beleuchtungsstärken doch noch gewährleistet sind. Diese vorbeugende Maßnahme kann durch eine korrekte Wartung vermieden werden (rechtzeitiger Austausch der Lampen und Reinigung der Leuchten). Die Beleuchtung von stark reflektierenden Oberflächen sollte vermieden werden und spiegelnde Fassaden sollten aus größerer Entfernung angeleuchtet werden, damit die Spiegelung des Lichtes verringert wird. Weiters kann reflektiertes Licht durch Baumaßnahmen und Pflanzen abgeschirmt beziehungsweise vermindert werden.

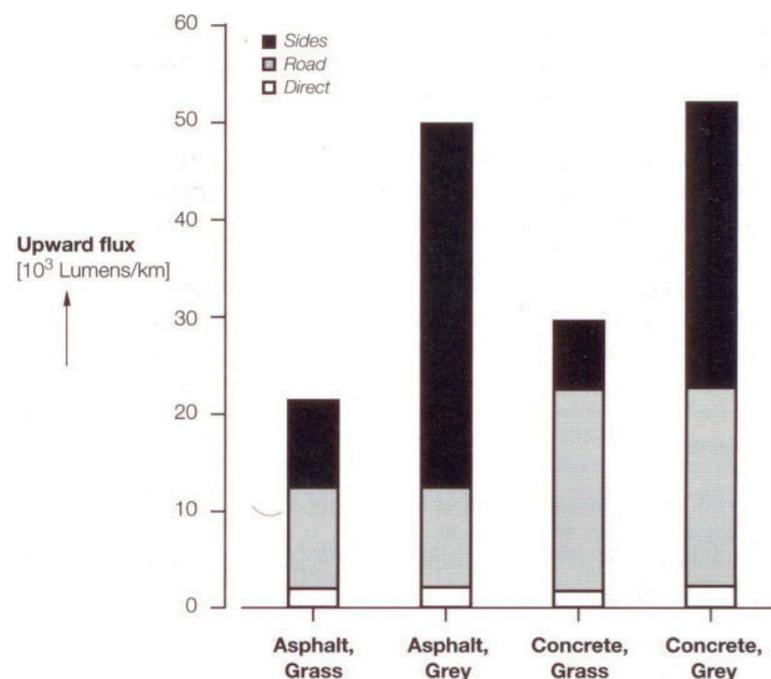


Abb. 110: Anteile des reflektierten Lichtes einer Straßenbeleuchtung bei unterschiedlichen Straßenbelägen und Straßenrandausführungen

Lampentyp	Notwendige lm/km	Ges. nach oben abgestrahlte lm	Anteile [lm]	
			direkt	indirekt
Kugelleuchte ohne optische Lenkung	789.000	103.368		
Sphärische Abdeckung mit schwach effizientem Reflektor	276.000	16.469	7.200	12.300
Flachglasabdeckung mit hoch effizientem Reflektor	192.000	8.195	0	8.200
Glaswannenabdeckung mit hoch effizientem Reflektor	171.000	7.555	500	7.100
Polycarbonatwannenabdeckung mit hoch effizientem Reflektor	205.000	9.193	900	8.300
Hoch effizienter Refraktor	136.000	9.152	2.600	6.600

Tab. 008: Notwendiger Lichtstrom (lm) pro km unterschiedlicher Leuchtentypen, um dieselbe Beleuchtungsstärke zu erreichen und dessen Anteile an direktem und indirektem gegen den Himmel abgestrahltem Licht

(Narisada und Schreuder, 2004)

7.3.4. Blendung

Bei der Freiraumbeleuchtung muss darauf geachtet werden, dass eine Blendung des Betrachters vermieden wird. Dabei kann die Blendung in objektive oder auch physiologische Blendung und in subjektive oder auch psychologische Blendung eingeteilt werden. Physiologische Blendung ist zum Beispiel, wenn man von einem dunklen Raum in die Sonne geht oder wenn man sich bei Sonnenschein im Schnee befindet. Bei der psychologischen Blendung wird die Sehaufgabe zwar nicht beeinflusst, jedoch hat sie eine störende Wirkung auf die Person. Die Blendempfindung ist auch vom Alter und der Sehkraft des Menschen abhängig, mit zunehmendem Alter nimmt sie zu. (Narisada und Schreuder, 2004)

Weiters wird bei der Blendung zwischen Direktblendung, bei der die Blendlichtquelle selbst im Sehfeld liegt, und Reflexblendung unterschieden, bei der das Licht am Objekt, das im Sehfeld liegt, reflektiert wird. (Schielke und Hofmann, 2006, 164) Die Blendung ist außerdem von der Beleuchtungsstärke abhängig. Bei schwacher Beleuchtung wirkt die Blendung viel stärker als bei heller Beleuchtung, da das Auge an die Dunkelheit adaptiert ist. (Barthenbach, 2006, 132)

Blendung und Lichtverschmutzung stehen in engem Zusammenhang. Die Blendung ergibt sich durch den Lichtfluss nahe dem Horizont und dieses blendende Licht ist auch jenes, das bis weit in die Umgebung gestreut wird. (Narisada und

Schreuder, 2004) Auch stark reflektierende Objekte, die Blendung verursachen, erzeugen ein unvorteilhaftes Umgebungslicht.

7.3.5. Homogenität

Homogenität bedeutet, dass es keine großen Unterschiede zwischen Hell- und Dunkelzonen gibt. Und dass das Licht gleichmäßig im Gelände verteilt ist. Dies hat insofern Relevanz, als dass das Auge immer eine gewisse Zeit braucht, um sich zwischen hellen und dunklen Zonen zu adaptieren. Geht man von einer hellen Zone in eine dunkle, tappt man ins Dunkle. Dies verursacht ein Unsicherheitsgefühl, da der Überblick über etwaige Gefahrenzonen verloren geht. Solche Situationen sind hauptsächlich vor Hauseingängen, Geschäften und U-Bahnstationen zu vermeiden.

In den Richtlinien für korrekte Beleuchtung wird deshalb oft eine Uniformität der Beleuchtung empfohlen, um innerhalb eines Beleuchtungsbereiches hell-dunkel Zonen zu vermeiden. Das Verhältnis zwischen so genanntem Emin/Emax oder Emin/Eave ist vorgegeben, Emin ist der Minimalwert, Emax der Maximalwert und Eave ist der Durchschnittswert der Beleuchtungsstärke. (Narisada und Schreuder, 2004)

Um die oben angeführten Probleme zu vermeiden, wäre es am besten, allgemein moderate Beleuchtungsstärken zu wählen, die homogen im Gelände verteilt sind und die keine überbeleuchteten Zonen schaffen. Werden die Beleuchtungsstärken niedrig gehalten, dient das auch zur Vermeidung der Lichtverschmutzung.

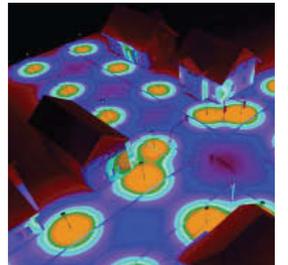


Abb. 111: Darstellung der Lichtverteilung in einem digitalen Modell zur Überprüfung der Homogenität

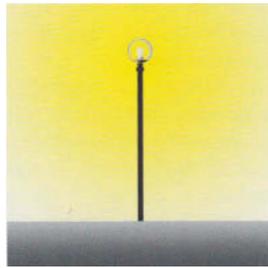


Abb. 112: Leuchten ohne Lichtlenkung streuen das Licht in alle Richtungen.

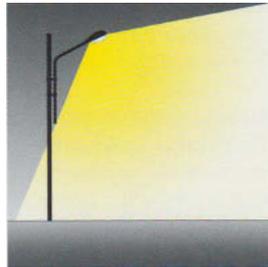


Abb. 113: Schlechte Lichtlenkung: Licht gerät in den Himmel und in die Umgebung.

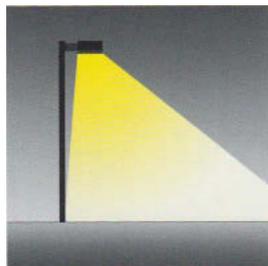


Abb. 114: Full-cut-off Leuchten haben eine präzise Lichtlenkung

7.4. Leuchtenkomponenten

Die Leuchte als Teil einer Freiraumbeleuchtung dient einmal dem Schutz der Lampe, dann der Lichtlenkung und der Lampenfixierung und außerdem beinhaltet sie alle zur Funktion notwendigen Schaltkreise. Leuchten bestehen aus mehreren Komponenten: dem Gehäuse, dem optischen System, der Lampe, der Fassung, der Elektronik und der transparenten Abdeckung. Eine weitere Komponente, die im direkten Zusammenhang mit der Leuchte steht, ist die tragende Struktur. Wie eine Leuchte schlussendlich gestaltet ist, welche und wie viele Komponenten sie beinhaltet, ist von deren Funktion und den Anforderungen abhängig. Manche Komponenten können mehrer Funktionen übernehmen, zum Beispiel kann ein Refraktor gleichzeitig Abdeckung und optisches System sein oder es kann im Fall von offenen Leuchten die Abdeckung wegfallen. Was die Dichtheit betrifft, werden Leuchten nach dem so genannten IP- Faktor klassifiziert, welcher den Schutzgrad der Leuchte angibt.

7.4.1. Tragende Struktur

Im Freiraum werden hauptsächlich Bodenflächen beleuchtet, das Licht muss meist von oben kommen und somit werden die Leuchten auf einer gewissen Höhe installiert. Die tragenden Strukturen, an denen die Leuchten befestigt werden, müssen außerdem verschiedenen Einflüssen standhalten wie Wind, Schnee, Beben und Schläge. Außerdem dürfen sich die Leuchten durch äußere Einflüsse nicht verstellen und Instandhaltungsarbeiten müssen möglichst rasch, einfach, sicher und ökonomisch durchgeführt werden können.

Die Leuchten können an Bauwerken, wie Fassaden, Dächer oder Umzäunungen befestigt werden oder an zwischen Fassaden gespannte Seile. Leuchten an Abspannungen pendeln jedoch bei Wind und bei Tag sind die Seilgespanne nicht immer ansehnlich. Eine weitere, etwas aufwändigere Art der Befestigung von Leuchten ist die Montage auf Masten. Diese

können unterschiedlich geformt sein und aus verschiedensten Materialien bestehen, wie Stahl, verzinktem Eisen, Aluminium, Beton, Holz und auch aus eingefärbtem Material. Masten werden heute bevorzugt eingesetzt, da sie einerseits die Leuchten stabiler halten und andererseits von den Bauwerken unabhängig sind. (Narisada und Schreuder, 2004) Nachteilig sind die Vielzahl an Masten die dabei benötigt werden und den Freiraum verstellen.

Es gibt auch Leuchten, die in Bodennähe installiert werden, die jedoch im öffentlichen Freiraum seltener zum Einsatz kommen, da sie anfälliger auf Beschädigungen und somit sehr wartungsintensiv sind. Ein Beispiel dafür sind Pollerleuchten. Eine weitere Möglichkeit der Leuchteninstallation ist der Einbau im Boden oder in Bauwerken, dies sind dann die so genannten Einbauleuchten.

Für die Vermeidung der Lichtverschmutzung ist es wichtig, dass die Leuchten gut an der tragenden Struktur fixiert sind und dass die Struktur stabil ist, damit sich die Leuchte nicht verstellen kann und somit verhindert wird, dass Licht in die falsche Richtung abgestrahlt wird und dadurch Lichtverschmutzung und Blendung entsteht.

7.4.2. Gehäuse

Das Gehäuse ist der geschlossene lichtundurchlässige Teil der Leuchte. Es kann aus verschiedenen Materialien bestehen, wie Kunststoff, Aluminiumguss oder Stahl. Es dient zur Beherrschung der Elektronik und der Lampe. Ist in der Leuchte keine Lichtlenkung vorhanden, übernimmt das Gehäuse die Funktion der Abschirmung der Lampe und verhindert somit das Abstrahlen des Lichtes in eine ungewünschte Richtung.

7.4.3. Optisches System, Lichtlenkung

Die Lichtlenkung ermöglicht es, das Licht in die gewünschte Richtung zu lenken und in den ungewünschten Bereichen abzu-

schirmen. Weiters kann die Leuchtstärke und die Lichtfarbe beeinflusst werden. Dabei macht sich die Lichtplanung die einfachen, physikalischen Eigenschaften des Lichtes zunutze. Lichtstrahlen sind gerade Strahlen, bei der Spiegung ist der Einfallswinkel gleich dem Ausfallwinkel und wenn das Licht von einem Medium geringerer Reflexion in ein Medium stärkerer Reflexion eindringt, wird der Strahl in Richtung Normale gebrochen und umgekehrt. (Narisada und Schreuder, 2004) Wird nur eine Lampe ohne Lichtlenkung eingesetzt, so ist die Lichtverteilung jene von der Lampe selbst. Die Halterung und das Gehäuse schirmen lediglich einen Teil davon ab, was zum Beispiel bei Kugelleuchten und Laternen der Fall ist. Dabei gerät viel Licht in den Himmel und in ungewünschte Richtungen. Eine effektive Lichtlenkung erreicht man mit Reflektoren. Generell können die Reflektoren in diffuse und in spiegelnde Reflektoren eingeteilt werden. Bei letzteren wird die Lampe genau gespiegelt und der Rest des Reflektors erscheint dunkel. Bei den diffusen Reflektoren sieht man nur ein diffuses Abbild der Lampe und das Licht wird unabhängig vom Winkel gestreut reflektiert und erscheint von jedem Winkel aus konstant hell. Diffuse Reflektoren verhindern das Entweichen des Lichtes in die ungewünschte Richtung, können es jedoch nicht so genau lenken. Weiters gibt es unterschiedliche Formen von Reflektoren, und zwar parabolische Reflektoren (Reflexion von einem Brennpunkt in die Parallele), elliptische Reflektoren (Reflexion von einem Brennpunkt zu einem andern) und sphärische Reflektoren (Reflexion zum selben Brennpunkt hin). Das Licht der Lampen mit einem kleinen Lichtpunkt kann genauer gelenkt werden als das von Lampen mit einem großen, dessen breit gestrahltes Licht nicht auf einen Punkt konzentriert werden kann. Die Reflektoren können auch aus unterschiedlichen Materialien besehen, oft sind sie aus Aluminium oder Edelstahl gefertigt. Aluminium ist leicht zu verarbeiten und hat einen guten Reflexionsgrad, meist um die 80-85%, kann aber auch 95% erreichen. Diese Lampen sind jedoch empfindlich und

müssen im Gehäuse geschützt werden. Edelstahlreflektoren haben einen geringeren Reflexionsgrad, um die 60%, sind aber unempfindlicher und können auch in offenen Leuchten verwendet werden.

Eine weitere Möglichkeit der Lichtlenkung ist die mittels Refraction mit Linsen und Prismen. Hier wird die Eigenschaft ausgenutzt, dass das Licht in unterschiedlichen Medien unterschiedlich gebrochen wird. Bei den anfänglichen Straßenbeleuchtungen kamen diese häufig zum Einsatz, heute werden sie teilweise auch noch installiert. Sie sind einfach in der Herstellung, die Pressglasabdeckung übernimmt hier gleichzeitig die Funktion der Abdeckung und die optische Funktion der Lichtlenkung der Leuchte. Refraktoren werden auch eingesetzt, um eine schmale Lichtverteilung zu erzielen, das wird zum Beispiel bei der Sportplatzbeleuchtung angewandt. Linsen kommen in der Straßenbeleuchtung seltener vor, sie werden aber bei Verkehrsampeln verwendet. (Narisada und Schreuder, 2004)

Die Lichtlenkung ist also das Werkzeug, um den Abstrahlungswinkel zu kontrollieren. Durch die korrekte Lenkung des Lichtes kann viel Lichtverschmutzung vermieden werden. Spiegelnde Reflektoren ermöglichen eine sehr präzise Lichtlenkung, auch die diffusen Reflektoren gewährleisten eine gute Lenkung. Refraktoren sind in Bezug auf Lichtverschmutzung kritischer zu beurteilen, da sie viel Streulicht erzeugen.

7.4.4. Abdeckung

Die Abdeckung ist der lichtdurchlässige Teil von geschlossenen Leuchten und kann unterschiedliche Formen und Eigenschaften haben. Die Abdeckung kann als flaches Glas, als flache Wanne oder als tiefe Wanne gestaltet sein. Die dazu verwendeten Materialien sind meist Glas oder Polycarbonat, welche auch Einflüssen von außen und Schlägen standhalten. Durchsichtiges Glas hat einen Transmissionsgrad von 90-92%, einen Absorptionsgrad von 2-4% und einen Reflexionsgrad von 6-8%. Je flacher das Licht jedoch auf Glas

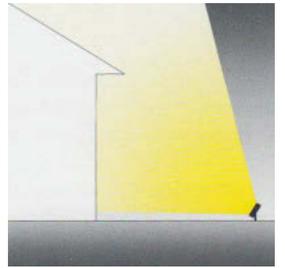


Abb. 115: Falsche Lichtlenkung; Licht wird in den Himmel abgestrahlt.

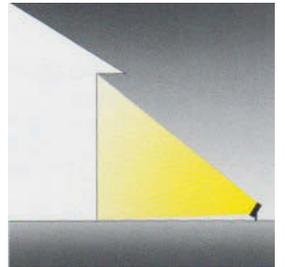


Abb. 116: Das Licht muss gezielt aufs Objekt gerichtet werden.

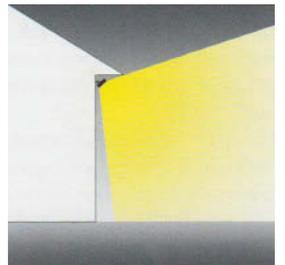


Abb. 117: Falsche Lichtlenkung, Licht wird über den Horizont abgestrahlt



Abb. 118: Korrekte Lichtlenkung, das Licht wird nur in Richtung Boden gestrahlt

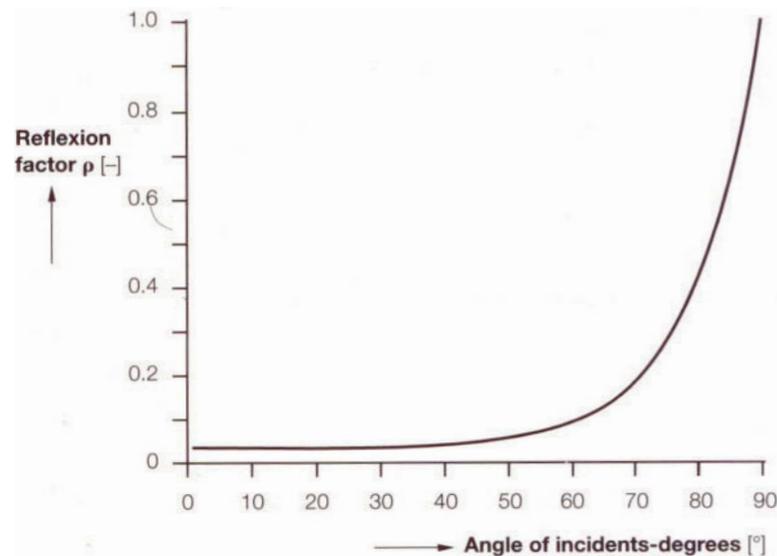


Abb. 119: Der Reflexionsgrad von Glas nimmt mit steigendem Lichteinfallswinkel zu.



Abb. 120: Magnetisches (konventionelles) Vorschaltgerät einer Entladungslampe



Abb. 121: Zündgerät zum Starten des Brennprozesses in der Entladungslampe



Abb. 122: Elektronisches Vorschaltgerät, das alle notwendigen Funktionen für eine Entladungslampe beinhaltet, inklusive Zusatzfunktionen wie Dimmen und Fehlerückmeldung

einfallt umso stärker ist die Reflexion, was auf Abbildung 119 ersichtlich ist. Dies bedeutet, dass bei Leuchten mit flacher Verglasung das flach austretende Licht am stärksten zurück ins Gehäuseinnere reflektiert wird und in die Senkrechte geleitet wird. Das Licht, das senkrecht auf den Boden auftrifft wird wiederum am stärksten in den Himmel zurückreflektiert. Das flach ausdringende Licht zwischen 70° und 80° ist ein für die Straßenbeleuchtung gutes Licht, da es eine hohe Leuchtdichte aufweist und noch nicht blendet. Bei den Abdeckungen mit Wannen treten die Lichtstrahlen an den Rändern steiler auf, die Reflexion ist innen geringer und somit dringt mehr Licht an den flachen Winkeln aus der Leuchte. Bei den Leuchten mit Wannenabdeckung ergibt sich oft das Problem, dass die Lampe oder ein Teil der Lampe unterhalb des Gehäuses liegt und somit einen Teil des Lichtes über den Horizont hinaus strahlt. Weiters entsteht an diesen Abdeckungen ein Streulicht am Glas selbst, das Licht gegen den Himmel leitet. Sind diese jedoch als Full cut off-Variante ausgeführt, wird dies verhindert. Eine Untersuchung hat gezeigt, dass die Leuchtdichte zwischen Leuchten mit flachem Glas und jenen mit Wannenabdeckung in Full cut off-Variante kaum Unterschiede aufwies. (Narisada und Schreuder, 2004)

Eine weitere Abdeckungsmöglichkeit

ist jene mit Refraktoren, dessen Vor- und Nachteile schon im vorigem Kapitel 7.4.3. besprochen wurden.

In Bezug auf Lichtverschmutzung gibt es bei den Abdeckungen einen Zwiespalt. Leuchten mit Abdeckungen in Full cut off-Variante haben eine starke Konzentration des Lichtes in die Senkrechte, das an den auftreffenden Oberflächen stark in den Himmel reflektiert wird und wesentlich zur Himmelaufhellung beiträgt. Die Abdeckungen mit Wannen, die nicht als Full cut off-Variante ausgeführt sind, haben einen hohen Anteil an Licht, das direkt über den Horizont abgestrahlt wird, was für die astronomische Beobachtung als Störfaktor gilt. In der Fachliteratur wird meistens empfohlen, Leuchten mit flachen Abdeckgläsern zu verwenden oder allgemein Full cut off-Leuchten.

7.4.5. Versorgungsgeräte, Elektronik

Viele Lampen können nicht direkt an die Netzspannung angeschlossen werden und benötigen zum Betrieb zusätzliche Geräte. Diese sind meistens lampenspezifisch und müssen auf die Lampenart und -stärke abgestimmt sein. Dabei kann zwischen konventionellen und elektronischen Bauformen unterschieden werden. Entladungslampen benötigen Vorschaltgeräte, welche die Spannung, den Stromfluss und die Frequenz regeln und für die Lampe eine Zündspannung liefern, die oft einige 1000 V beträgt, um den Brennprozess zu starten. Niedervoltlampen benötigen Transformatoren, welche die Spannung herabsetzen und LEDs benötigen wiederum Netzteile, die Konstantstrom liefern.

Konventionelle Bauformen, wie Drosseln mit kupferdrahtbewickeltem Eisenkern oder Wickeltransformatoren, kommen heute immer weniger zum Einsatz, da sie nicht so energieeffizient, schwer und umständlich sind und die Lampen nicht so konstant betreiben können. Sie haben jedoch den Vorteil, dass sie wegen ihrer einfachen Komponenten robust sind. Elektronische Vorschaltgeräte, Transfor-

matoren und Netzteile sind mittlerweile gut entwickelt und haben eine Reihe von Vorteilen und Zusatzfunktionen. Sie sind energieeffizient, betreiben die Lampen konstanter, sorgen für gleich bleibendere Farbwiedergabe, die Lampe hat weniger Verlust der Leuchtkraft mit zunehmendem Alter usw. Weiters gibt es auch Modelle mit integrierten Zusatzfunktionen wie Dimmer, Adressierung der Geräte mit Rückmeldefunktion über Leuchtmittelstatusangabe und Brennstunden zur Fernüberwachung und Fernschaltung. (Osram, o.J.)

Mit der Lichtverschmutzung steht die Elektronik insofern in Zusammenhang, als dass die richtige Elektronik Voraussetzung dafür ist, wie eine Lampe, beziehungsweise eine Anlage, betrieben werden kann und ob diese flexibel betrieben werden kann. Eine verbreitete geforderte Funktion ist die Halbschaltung und das Dimmen von Freiraumbeleuchtungsanlagen in den ruhigeren Nachtstunden, was nur durch geeignete Elektronik möglich ist. Weiters gibt es auch Unterschiede in der Energieeffizienz der unterschiedlichen Versorgungsgeräte.

7.4.6. Lampenfassungen

Die Fassung der Lampe ist ebenfalls eine Komponente der Leuchte, es gibt eine Vielzahl davon und sie sind lampenspezifisch. Dieses Detail möchte ich der Vollständigkeit halber erwähnen, jedoch nicht näher darauf eingehen.

7.4.7. Lampen

Es gibt unterschiedlichste Arten und Formen von Lampen. Sie alle zu beschreiben, würde über das behandelte Thema hinausführen. Jede Lampe hat unterschiedliche Eigenschaften und kann nach verschiedenen Kriterien beurteilt werden, wie Energieeffizienz, Farbwiedergabe, Lebensdauer, mögliche Bauformen und Kosten. Jede Lampe hat eine spezifische Bezeichnung, damit sie eindeutig klassifizierbar ist, es gibt jedoch keine allgemein gültige Standardbezeichnung, sondern

lediglich die Bezeichnungen der jeweiligen Herstellerfirmen. Diese Bezeichnungen sind leider oft unterschiedlich, obwohl sie äquivalente Produkte benennen. Ich werde aber doch einige Lampengruppen kurz ansprechen, da diese auch speziell in Bezug auf die Lichtverschmutzung unterschiedliche Auswirkungen haben. Ich fasse also ähnliche Lampen mit ähnlichen Eigenschaften zusammen. Die nachfolgenden Wertangaben stammen aus Philips (2011).

7.4.7.1. Glühlampen, Halogenlampen

Halogenlampen sind nur eine weiterentwickelte Form der Glühlampen. Die Glühlampen erzeugen durch den glühenden Wolframdraht das Licht, das eine Lichttemperatur zwischen 2500 K und 3000 K hat, was auch die gewohnte ‚Farbe‘ des Lichtes ist. Glühlampen sind zwar keine energieeffizienten Lampen (10-30 lm/W) und sie haben eine relativ kurze Lebensdauer (1.000 h bis 5.000 h), aber sie haben viele positive Eigenschaften. Die Farbwiedergabe ist 100% (Ra 100), sie können vielseitig eingesetzt werden und haben eine große Auswahl an Formen. Sie können direkt an den Strom angeschlossen werden, können leicht gedimmt werden und sie sind sehr preiswert. Trotz ihrer guten Eigenschaften wurden diese wegen ihrer energetischen Ineffizienz in der EU verboten. Effizientere Bauarten der Halogenlampen sind jedoch noch zugelassen. Im Freiraum werden Glühlampen kaum eingesetzt, da sie nicht energieeffizient sind und eine kurze Lebensdauer haben. Für die Lichtverschmutzung haben sie kaum positive Aspekte, außer dass sie gedimmt werden können.

7.4.7.2. Leuchtstoffröhren, Kompaktleuchtstofflampen

Diese Lampen können auch als Quecksilberdampf-niederdrucklampen zusammengefasst werden. Im Volksmund werden sie auch als Neonröhren oder Energiesparlampen bezeichnet. Sie kom-



Abb. 123: E27 Fassung.



Abb. 124: G5 Fassung.



Abb. 125: R7s Fassung.



Abb. 126: Glühlampe.

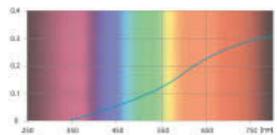


Abb. 127: Spektrum einer Glühlampe.



Abb. 128: Leuchtstoffröhre

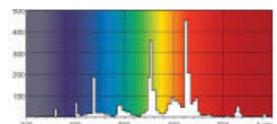


Abb. 129: Spektrum einer T5-Leuchtstoffröhre 830



Abb. 130: Natriumdampf-niederdrucklampe

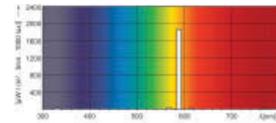


Abb. 131: Spektrum einer Natriumdampfniederdrucklampe



Abb. 132: Natriumdampf-hochdrucklampe

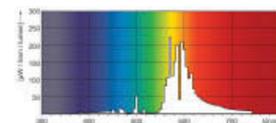


Abb. 133: Spektrum einer Natriumdampfhochdrucklampe



Abb. 134: Quecksilberdampf-hochdrucklampe.

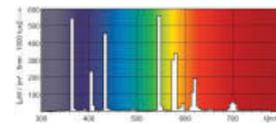


Abb. 135: Spektrum einer Quecksilberdampfhochdrucklampe.

men auf vielen Gebieten zum Einsatz und es gibt auch eine Vielzahl an Formen mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Generell sind es energieeffiziente Lampen (bis 100 lm/W) mit langer Lebensdauer (um die 10.000 h - 20.000 h bis 79.000 h), mit mittlerer bis sehr guter Farbwiedergabe (R_a 60 bis $R_a > 90$) und unterschiedlichen Farbtemperaturen (2700 K bis 6500 K). Die Preise sind eher günstig und variieren je nach Art und Qualität. Nachteilig ist, dass sie verhältnismäßig große Bauformen haben und somit die Lichtlenkung nicht ganz einfach ist.

In der Freiraumbeleuchtung kommen diese Lampen nicht selten zum Einsatz, sie sind jedoch temperaturempfindlich und bei Kälte nimmt ihre Leuchtkraft stark ab. Bezüglich der Lichtverschmutzung ist es keine ideale Lampe, da eine Lichtlenkung eher schwierig ist und das Licht auch UV-Anteile aufweist.

7.4.7.3. Natriumdampfniederdrucklampen

Es handelt sich hier um eine schon lang bekannten Technologie, die ein oranges, monochromatisches Licht ausstrahlt. Die Energieausbeute ist sehr gut (bis 150 lm/W), die Lebensdauer lang (18.000 h), die Farbwiedergabe ist monochromatisch und die Lichttemperatur liegt bei 1800 K. Diese Lampen werden kaum noch für neue Anlagen eingesetzt, da die Bauform der Lampe groß und umständlich ist und ihre Lichtfarbe und fehlende Farbwiedergabe selten erwünscht sind.

Die Natriumdampfniederdrucklampen werden jedoch im Bereich der Lichtverschmutzung gelobt, da sie kaum bis keine Insekten anziehen, die astronomische Forschung am wenigsten beeinträchtigen und zudem als besonders energieeffizient gelten.

7.4.7.4. Natriumdampfhochdrucklampen

Diese Lampen geben ein intensiv gelbes Licht ab. Sie sind sehr energieeffizient (100-150 lm/W), haben eine lange Lebens-

dauer (bis 32.000 h), die Farbwiedergabe ist schlecht und nur in gelb-rot Tönen ($R_a \sim 25$), die Farbtemperatur liegt bei 2000 K bis 2150 K. Ihr Hauptverbreitungsgebiet ist die Straßenbeleuchtung, wofür sich ihre Energieeffizienz und lange Lebensdauer besonders eignet.

Durch den Hauptanteil an langwelligem Licht weist diese Lampe im Bereich der Lichtverschmutzung mehr positive Eigenschaften auf als die meisten anderen Lampenarten.

7.4.7.5. Quecksilberdampf-hochdrucklampen

Es handelt sich hier um eine alte, überholte Technologie mit nicht besonders guten Eigenschaften, die vermieden werden sollte. Quecksilberdampf-hochdrucklampen haben eine schlechte Farbwiedergabe ($R_a < 60$), einen hohen UV-Anteil, die Energieeffizienz ist zwar gut (90-110 lm/W), sie ziehen aber am meisten Insekten an und in der EU sollen sie ab 2015 verboten werden. Diese Lampen mit kaltweißem Licht wurden und werden viel in der Freiraumbeleuchtung eingesetzt. Vom Gesichtspunkt der Lichtverschmutzung weisen sie nur Nachteile auf.

7.4.7.6. Metallhalogendampflampen

Diese Lampen haben sich in den letzten Jahren stark entwickelt und kommen immer vermehrt zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch gute Energieausbeute aus (bis 100 lm/W), durch gute bis sehr gute Farbwiedergabe (bis $R_a > 90$), warm bis kaltweiße Farbtemperatur (2800 K bis 4500 K) und durch ihre mittlere bis lange Lebensdauer (10.000 h bis 30.000 h). Die Metallhalogendampflampen kommen sei es in der Innenraumbeleuchtung wie in der Freiraumbeleuchtung immer stärker zum Einsatz, da sie durch ihre Entwicklung lichttechnisch gute Eigenschaften aufweisen. Bezüglich der Lichtverschmutzung sind sie etwas kritisch zu sehen, da sie teilweise hohe UV-Anteile aufweisen.

7.4.7.7. LED

Leuchtdioden haben in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung durchgemacht und sie werden auch immer noch weiter entwickelt. Sie gelten als zukunfts-trächtige Technologie und werden auf Messen und bei Präsentationen stark gefördert. Derzeit ist ihre Energieeffizienz gut, jedoch noch verbesserungswürdig (um die 40- 65 lm/W), bei der Farbwiedergabe ist auch achtzugeben; es gibt mittlerweile LEDs mit $R_a > 90$ aber in vielen Fällen liegt sie auch weit darunter. Ihre relativ lange Lebensdauer (um die 50.000 h) übertrifft nicht wesentlich andere Lampenarten und die Preise dieser Technologie sind noch stolz. Jeder möchte jedoch die neue LED Beleuchtung als erster einsetzen und es laufen viele Pilotprojekte. Im Einsatzgebiet der leitenden Beleuchtung behaupten sich LEDs mittlerweile. Weitere Einsatzgebiete, wo diese Beleuchtungstechnik immer öfter zu finden ist, betreffen die Beleuchtung von Prestigeprojekten, wie Bauwerke, Fassaden, Brücken, auch Tunnels, sowie vereinzelt Fußgängerbereiche. LED-Leuchten eröffnen neue Möglichkeiten in der Beleuchtungstechnik, da sie speziell als dynamische Beleuchtung eingesetzt werden können und mit wechselnden Farben und Intensitätsregelung multimediale Effekte erzielen können.

Bezüglich der Lichtverschmutzung kann gesagt werden, dass LEDs grundsätzlich noch wenig Licht abgeben, dass sie meist mit Linsen ausgerichtet werden und sehr gezielt eingesetzt werden können. Der abgestrahlte Spektralbereich kann sehr unterschiedlich sein und von monochromatisch bis zur guten Farbwiedergabe reichen. Wie schon in Kapitel 6.1.9. erwähnt, ist ihre Insektenanziehung gering, vor allem bei warmweißen LEDs.

7.4.7.8. Weitere Lampenarten

Es gibt noch weitere Lampenarten, die nicht oft und nur in Spezialanwendungen vorkommen, entweder noch in anfänglicher Entwicklungsphase stecken oder aus anderen Gründen keine besondere Verbreitung gefunden haben. Das sind zum

Beispiel OLED, Xenonlampen, Induktionslampen und Neonröhren.

7.4.8. Schutzgrad IP (Ingress Protection)

Der IP-Wert gibt den Schutzgrad der Leuchte an. Erstens vor eindringenden Fremdkörpern (die erste Kennziffer) und zweitens vor eindringendem Wasser (zweite Kennziffer). In der Tabelle 009 werden die Kennziffern erläutert. (Zumtobel, 2006)

Nach heutigem Standard müssen die Leuchten für Freiraumbeleuchtung einen Schutzgrad von mindestens IP 65 aufweisen. Oft wird jedoch schon IP 54 als ausreichend angenommen. Wichtig für einen hohen Schutzfaktor ist die Wartung der Leuchten durch geschultes Personal, da bei der Instandhaltung die Dichtungen sorgfältig eingelegt und sauber gehalten und die Leuchten korrekt verschlossen werden müssen. Sonst dringt Schmutz und Feuchtigkeit in die Leuchte ein, sie korrodiert, die Kontakte oxidieren und die Reflektoren werden matt. Wo es an geschultem Personal mangelt, werden oft offene Leuchten, sprich IP 23 empfohlen, da diese leichter zu warten sind. Sie bringen aber eine Reihe von Nachteilen mit sich, wie schnellere Abnutzung und eine



Abb. 136: Metallhalogendampflampe.

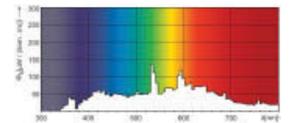


Abb. 137: Spektrum einer Metallhalogendampflampe.



Abb. 138: Leuchtdiode

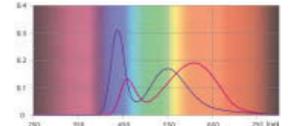


Abb. 139: Spektrum einer 6000 K LED (blaue Linie) und einer 3000 K LED (rote Linie).

Fremdkörperschutz gemäß erster Kennziffer

IP 0X	Ungeschützt gegen Fremdkörper
IP 1X	Schutz gegen Fremdkörper > 50 mm
IP 2X	Schutz gegen Fremdkörper > 12 mm
IP 3X	Schutz gegen Fremdkörper > 2,5 mm
IP 4X	Schutz gegen Fremdkörper > 1 mm
IP 5X	Staubschutz (Eindringen von Staub nicht ausgeschlossen)
IP 6X	Staubdicht (kein Eindringen von Staub)

Feuchtigkeitsschutz gemäß zweiter Kennziffer

IP X0	Ungeschützt gegen Feuchtigkeit
IP X1	Schutz gegen Tropfwasser
IP X2	Schutz gegen Tropfwasser unter 15°
IP X3	Schutz gegen Sprühwasser bis 60°
IP X4	Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen
IP X5	Schutz gegen Strahlwasser
IP X6	Schutz gegen schwere See (Überflutung)
IP X7	Schutz gegen Eintauchen (unter Angabe von Zeit und Druck)
IP X8	Schutz gegen Untertauchen (mit Hinweis vom Hersteller)

Tab. 009: Schutzarten von Leuchten; IP 65 bedeutet zum Beispiel, dass die Leuchte staubdicht und vor Strahlwasser geschützt ist.

stärkere Abnahme der Effizienz mit zunehmendem Alter der Leuchtkörper, da die Licht lenkenden Elemente und die Lampe selbst den äußeren Einflüssen ausgesetzt sind. (Narisada und Schreuder 2004, 659)

Aus lichtverschmutzungstechnischem Gesichtspunkt sind geschlossene Leuchtkörper zu bevorzugen, sprich Leuchten mit einer hohen IP - Schutzklasse. Bei diesen können sich die Insekten weder an den Lampen verbrennen noch können sie in die Leuchten eindringen und dort verenden, außerdem verschmutzt das Innere der Leuchte nicht so schnell. Die Leuchten können eine präzisere und effizientere Lichtlenkung ermöglichen und ihre Leuchtkraft nimmt mit zunehmendem Alter nicht so stark ab.

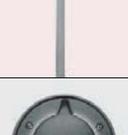
7.5. Leuchteneinteilung

Da es unüberschaubar viele Leuchtenmodelle gibt, ist es für die Planung hilfreich, wenn die Leuchten klassifiziert werden. Eine Klassifikation ist jedoch nicht

einfach und es gibt keinen allgemeinen Standard. Jeder Leuchtenhersteller erstellt Gruppen nach seinem Ermessen. Die Leuchten können zum Beispiel nach ihrer Bauform oder nach ihrem Einsatzgebiet eingeteilt werden, wobei es auch immer Überschneidungen und fließende Übergänge geben kann. Alle einzelnen Klassifikationen an dieser Stelle zu erläutern, wäre zu umfangreich. Ich habe hier eine eigene Einteilung erstellt und tabellarisch dargestellt und die Leuchten in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Lichtverschmutzung bewertet. Dabei habe ich Folgendes berücksichtigt: den Abstrahlungswinkel über dem Horizont (>90°) oder unter dem Horizont (<90°), ob eine gute Lichtlenkung möglich ist, wie stark die Lichtverschmutzung beeinflusst wird (- negativ, starke Beeinflussung, + positiv, schwache Beeinflussung), und schließlich habe ich eine kurze Beschreibung des Leuchtentypes erstellt. Die Bewertung habe ich nach den Erkenntnissen erstellt, die ich aus den unterschiedlichen Recherchen gewonnen habe.

Tab. 010: Unterschiedliche Leuchtentypen. S. 72-74.

Beispiel	Leuchtentyp	Abstrahlungswinkel	Lichtlenkung	Lichtverschmutzung	Beschreibung
	Kofferleuchten	>90°	mäßig-gut	-	Abdeckung erzeugt Lichtstreuung, Lampe ist teilweise nicht abgedeckt. Auch in Kombination mit Refraktorabdeckung.
	Reflektorleuchten mit gewölbter Glasabdeckung	>90°/ <90°	gut	+/-	Abdeckung erzeugt Lichtstreuung, Lampe ist teilweise nicht abgedeckt. Die Full-cut-off-Variante ist gut geeignet!
	Reflektorleuchten mit flacher Glasabdeckung	<90°	gut	+	Lampe sitzt ganz im Inneren, erzeugt kein direktes Streulicht, erzeugt nur indirektes Streulicht.
	Refraktorleuchten	>90°	mäßig	-	Erzeugt viel Streulicht durch wenig kontrollierte Lichtlenkung des Refraktors.

Leuchtentyp	Abstrahlungswinkel	Lichtlenkung	Lichtverschmutzung	Beschreibung	Beispiel
Direkt- indirekte Leuchten	>90°/ <90°	gut	+/-	Gute Lichtlenkung, jedoch muss darauf geachtet werden, dass das gesamte Licht auf den Reflektor auftrifft.	
Bodennahe Straßenleuchten Montagehöhe <1m	>90°/ <90°	gut	+/-	Strahlt durch die geringe Montagehöhe zwar nur im niederen Bereich Licht in die Umgebung, die Lichtabstrahlung nahe dem Horizont ist jedoch groß.	
Kugelleuchten	>90°	nicht vorhanden	--	Unkontrollierte Lichtabgabe; der schlechteste Leuchtentyp; über 50% des Lichtes ist in den Himmel gerichtet.	
Kugelleuchte mit Reflektor	>90°	mäßig	+/-	Die Lichtlenkung ist durch den auf die Lampe gesetzten Reflektor teilweise kontrolliert.	
„Klassische“ Laterne	>90°	sehr schlecht	--	Eine Lichtlenkung ist kaum vorhanden, erzeugt sehr viel Streulicht.	
„Klassische“ Laterne mit Lichtlenkung	<90°	gut	+	Falls ein Laternenimitat installiert werden soll, sollte ausschließlich diese Variante gewählt werden, die Lampe sitzt im oberen Bereich und ist nach oben hin ganz abgeschirmt.	
„Moderne“ Laterne mit Lichtlenkung	>90°	mäßig	-	Das Licht wird durch einen über die Lampe gestülpten Reflektor teilweise gelenkt. Es sollten ausschließlich Varianten mit besserer Lichtlenkung gewählt werden.	
Pollerleuchten	>90°	mäßig	+/-	Meist Abstrahlung in alle Richtungen; Modelle mit stark nach unten gerichtetem Licht bevorzugen.	
Bodennahe Wegeleuchten	>90°/ <90°	mäßig-gut	+/-	Durch die niedere Montagehöhe erzeugen sie mäßiges Umgebungslicht; die Richtung des Lichtes ist stark modellabhängig; Modelle mit nach unten gerichtetem Licht bevorzugen.	
Orientierungsleuchten	>90°/ <90°	mäßig-gut	+/-	Meist schwache Beleuchtungsstärken, oft Modelle mit vertikal nach oben gerichtetem Licht; Modelle mit horizontaler Abstrahlung bevorzugen siehe Abbildung.	
Deckenleuchten Deckeneinbauleuchten	>90°/ <90°	mäßig-gut	+/-	Licht nach oben meist von Decke abgeschirmt, horizontale Lichtabstrahlung jedoch oft vorhanden, Modelle mit nach unten gerichtetem Licht bevorzugen.	
Fassadenleuchten	>90°	mäßig-gut	+/-	Modelle, welche Licht nur nach unten abstrahlen bevorzugen; nach oben gerichtetes Licht wird vom Gebäude nur teilweise abgeschirmt.	

Beispiel	Leuchtentyp	Abstrahlungs-winkel	Licht-lenkung	Lichtver-schmut-zung	Beschreibung
	Wandleuchten Wandeinbau- leuchten	>90°	mäßig	+/-	Modelle mit horizontaler Abstrahlung meiden.
	Wandleuchten mit Abschirmung	>90°/ <90°	gut	+/-	Modelle mit nach unten gerichtetem Licht bevorzugen, erzeugen weniger Blendung und Umgebungslicht.
	Bodeneinbau- leuchten symmetrisch	>90°	gut	-	Durch die Abstrahlung in alle Richtungen geht meist der Großteil des Lichtes in den Himmel, nur ein Teil trifft das zu beleuchtende Objekt; solche Leuchten meiden.
	Bodeneinbau- leuchten asymmetrisch	>90°	gut	+/-	Durch die asymmetrische Optik bessere Lichtlenkung, sparsamer Umgang ist geraten, da nach oben gerichtetes Licht immer problematisch ist.
	Scheinwerfer, Fluter, Strahler, Projektoren symmetrisch	>90°	gut	-	Durch die symmetrische Optik wird das Licht in alle Richtungen verteilt und meist ein Teil über den Horizont abgestrahlt.
	Scheinwerfer, Fluter, Strahler, Projektoren asymmetrisch	<90°	gut	+	Die asymmetrische Lichtlenkung kann das Licht leicht zu 100% unter die Horizontale beschränken.
	Lichtobjekte	>90°	nicht vorhan- den	-	Dienen meist nicht der Beleuchtung sondern sind Gestaltungsobjekte; keine starken Beleuchtungsstärken wählen, da das Licht meist unkontrolliert abgegeben wird.
	Fahrzeuglichter	>90°	gut	+/-	Kann nicht direkt kontrolliert werden, eine Abschirmung ist nur durch Maßnahmen am Straßenrand möglich.

Zusammengefasst kann an dieser Stelle gesagt werden, dass die Lichtlenkung den Anteil an Lichtverschmutzung bestimmt, die eine Leuchte erzeugt. Dabei ist dies einerseits vom Leuchentyp sowie von dessen Ausführung abhängig. Das bedeutet, dass jene Leuchten ausgewählt werden sollten, welche die beste Lichtlenkung erlauben, damit das Licht gezielt eingesetzt werden kann und eine unnötige Abstrahlung in den Himmel und in die Umgebung minimiert wird. Dabei ist auch auf eine korrekte Installation, die präzise Ausrichtung der Leuchten sowie auf die Wahl der richtigen Optik zu achten. Dies ist vor allem wichtig

wenn es um die Anstrahlung von Objekten geht, wo das Licht leicht in die Umgebung vorbeistrahlen kann.

7.6. Betrieb von Freiraumbeleuchtungen

7.6.1. Lichtsteuerung

Die Leuchten einer Freiraumbeleuchtung können auf verschiedene Weisen geschaltet werden. Es gibt Systeme, welche alle Leuchten zentral schalten und andere, die lokal schalten. Bei der zentralen Schaltung werden alle Leuchten einer

Stadt oder Gemeinde gleichzeitig gesteuert und ein zentraler Dämmerungsschalter gibt über Steuerleitungen, Rundsteueranlagen oder über Funkrundsteuertechnik den Schaltbefehl. Bei der dezentralen Schaltung, schalten zum Beispiel Dämmerungsschalter gezielt nur einzelne Leuchtengruppen. Eine weitere Möglichkeit sind Zeitschaltuhren oder auch so genannte astronomische Zeitschaltuhren, die auch die Tageslängen berücksichtigen. Ein anderes System, das hauptsächlich im privaten Bereich eingesetzt wird, schaltet über Bewegungsmelder. Weiters gibt es komplexere Steuerungssysteme, welche aber weniger im öffentlichen Bereich sondern eher im privaten und privatwirtschaftlichen Sektor zum Einsatz kommen, die mit der Gebäudetechnik verbunden sind. Die Vielfalt der Schaltsysteme reicht bis hin zur dynamischen Beleuchtungssteuerung, wo Beleuchtungsszenarien programmiert werden können, zur Medienfassadenbeleuchtung und zu den interaktiven Fassaden. (Schielke in Schmidt und Töllner, 137)

Die Lichtsteuerung hat zur Lichtverschmutzung deswegen einen Bezug, da ein Steuerungssystem einer Beleuchtungsanlage bestimmt, wie eine Anlage betrieben werden kann, sprich, ob zum Beispiel eine stufenlose Helligkeitsregelung oder eine Halbschaltung von der Steuerung unterstützt wird.

7.6.2. Halbschaltung

Halbschaltung bedeutet, dass eine Beleuchtungsanlage mit zwei Beleuchtungsstufen betrieben werden kann. Dabei gibt es den Abendbetrieb und den Nachtbetrieb, was auch von den Richtlinien empfohlen wird. Im Nachtbetrieb wird die Leuchtintensität um 50% herabgesetzt. Dies geschieht durch Ausschaltung einer Lampe bei zweiflammigen Leuchten oder durch Dimmen der Lampe auf 50% der Lichtleistung. Das Hauptargument für diese Betriebsart ist ihre Energieersparnis. Bei der Dimmung auf 50% wird ca. 30% der Energie gespart, da das System an Effizienz verliert. Beim Ausschalten einer

Lampe bei zweiflammigen Leuchten wird in etwa die Hälfte der Energie gespart, da generell eine starke Lampe energieeffizienter ist (mehr Lumen pro Watt) als zwei schwächere. (Helle Not 16) Eine falsche Betriebsart ist das Ausschalten jeder zweiten Leuchte in einer Lichterreihe. In diesem Fall ist nämlich die Beleuchtungshomogenität nicht mehr gewährleistet, da ein starker hell-dunkel Zonenwechsel entsteht. Die Beleuchtung von Bauwerken wird in der Nacht üblicherweise ganz ausgeschaltet. Eine typische Betriebsweise der Halbschaltung ist der Abendbetrieb mit voller Lichtleistung, von Einbruch der Dunkelheit bis 23:00 Uhr, und anschließend der Nachtbetrieb mit halber Lichtleistung. Dies ist die Betriebsart, die zum Beispiel auch in Wien praktiziert wird.

In Bezug auf die Lichtverschmutzung hat die Halbschaltung teilweise positive Wirkungen. Bei Halbschaltung wird nämlich der Himmelskontrast größer und die Lichtglocke kleiner, das hat eine positive Wirkung auf den Schlaf der Menschen und auch auf die astronomische Forschung. Für die nachtaktiven Tiere ist es hingegen nicht optimal, da diese hauptsächlich in den Abendstunden und in den Morgenstunden aktiv sind und weniger in den Nachtstunden.

7.6.3. Effizienz

Die Effizienz eines Beleuchtungssystems ist das Verhältnis zwischen der brauchbaren, visuellen Information und der verbrauchten Energie. Die Energie durchfließt mehrere Elemente eines Beleuchtungssystems, der elektrische Strom wird dabei in sichtbares Licht und in andere unsichtbare Wellen umgewandelt, wie zum Beispiel Wärmestrahlen und UV-Strahlen. Bis die Energie aufs Auge trifft, durchfließt sie das Vorschaltgerät, gegebenenfalls den Dimmer, die Lampe, die Leuchte, die Lichtlenkung, die transparente Abdeckung und schlussendlich den beleuchteten Körper, welcher das Licht ans Auge reflektiert. Bei jeder dieser Stufen geht Energie verloren, wobei es für jede Stufe mehr oder

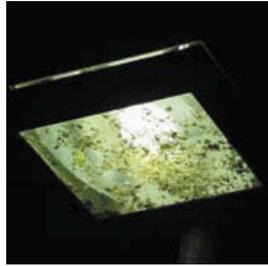


Abb. 140: Undichte Leuchten stellen Fallen für Insekten dar und verschmutzen stark.

weniger effiziente Systeme gibt. (Narisada und Schreuder, 2004) Beispielweise sind konventionelle Vorschaltgeräte weniger effizient als elektronische, Aluminiumreflektoren absorbieren weniger Licht als Edelstahlreflektoren und zwischen den Lampenmodellen gibt es auch Effizienzunterscheide.

Die Effizienz ist wesentlich von der Leuchtengestalt und von der Installation abhängig aber auch von den Bedingungen der Umgebung. Effizienz bedeutet auch, dass das Licht dort hin gelenkt wird, wo es benötigt wird.

Eine effiziente Anlage ist prinzipiell für die Vermeidung von Lichtverschmutzung vorteilhaft, da nicht nur Ressourcen gespart werden, sondern auch mit dem Licht sparsamer umgegangen wird, weil es gezielter eingesetzt wird.

7.6.4. Kostennutzenrechnung, Kostenrechnung

Um bewerten zu können, ob sich eine Freiraumbeleuchtung rechnet oder nicht, wird eine Kostennutzenrechnung erstellt. Dabei werden alle Vor- und Nachteile monetär betrachtet, gegenübergestellt und eine Reihung der Nutzen zu Kosten-Verhältnisse der unterschiedlichen Varianten erstellt. Falls keine monetäre Bewertung möglich ist, gibt es auch die Möglichkeit einer Kosteneffizienz-Rechnung. Bei Straßenbeleuchtungen werden zum Beispiel die Unfälle gezählt und so bewertet, dass ein Unfall halb so schlimm ist wie zwei und so weiter. In den Niederlanden wurde zum Beispiel erhoben, dass bei beleuchteten Autobahnen die Unfallrate um 21% sinkt und auf Hauptstraßen um 41%. Die Unfallkosten und die Beleuchtungskosten wurden dabei gegenübergestellt und es wurde ausgerechnet, auf welchen Verkehrsabschnitten sich eine Beleuchtung rechnet. (Narisada und Schreuder, 2004 502)

Aus der Kostenrechnung wird ersichtlich, wieviel eine neue Beleuchtungsanlage oder die Erneuerung einer Anlage kostet. Dabei werden sowohl die Herstellungskosten als

auch die Instandhaltung berücksichtigt. Es können auch unterschiedliche Anlagentypen berechnet und dann gegenübergestellt werden. Manche Anlagen haben geringe Herstellungskosten und hohe Wartungs- und Energiekosten, andere hingegen sind teurer in der Herstellung und günstiger im Betrieb.

In Bezug auf die Lichtverschmutzung sollten auch die Folgekosten der negativen Auswirkungen von Licht berücksichtigt werden. Bei der monetären Bewertung ist das Problem, dass man dabei glaubt, sich damit von der Schuld freikaufen zu können, zum Beispiel für ausgerottete Tierarten, die nicht ersetzt werden können. Eine Kostenrechnung kann zur Argumentation für die Erneuerung einer Beleuchtungsanlage herangezogen werden, ältere Anlagen sind oft ineffizient und haben hohe Betriebskosten. Neuere, gut geplante mit gut entwickelter Technologie haben geringere Betriebskosten und erzeugen weniger Lichtverschmutzung. An dieser Stelle kann argumentiert werden, dass neue Anlagen durch die Betriebskostensparnisse amortisiert werden können. (Helle Not 17-21)

7.6.5. Instandhaltung

Die Instandhaltung und Wartung der Leuchten in der Freiraumbeleuchtung spielt eine bedeutende Rolle. Mit der Zeit nimmt die Leuchtkraft ab. Dies ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie von der Ansammlung von Schmutz in der Leuchte und von der Verschmutzung der optischen Oberflächen, Schutzgläser und Reflektoren, sowie von der Abnahme der Leuchtkraft der Lampe mit dem Alter. Weiters kann die Leuchtkraft einer Leuchte dadurch abnehmen, dass Reflektoren und Gläser mit der Zeit matt werden. Damit trotzdem die minimalen Beleuchtungsstärken gewährleistet sind, werden bei der Planung meist höhere Beleuchtungsstärken berechnet als vorgeschrieben. Da durch die regelmäßige Reinigung der Leuchten und den rechtzeitigen Ersatz der Leuchtmittel jedoch eine konstante Beleuchtungsstärke beibehalten werden

kann, muss bei der Kostenberechnung die Wartung berücksichtigt werden, und - je kürzer die Wartungsintervalle umso höher die Wartungskosten. Hat man einen konstanteren Lichtfluss, reichen geringere Beleuchtungsstärken und die Energiekosten sind niedriger, was die Beleuchtung wiederum effizienter macht.

Es gibt unterschiedliche Strategien der Wartung einer Beleuchtungsanlage. Eine ist der Tausch der ausgefallenen Lampen, was hohen Personalaufwand mit sich führt, da die Leuchten individuell betreut werden müssen. Eine andere, weniger wartungsintensive und somit eine weniger personalaufwendige Variante ist der Gruppentausch in festgelegten Intervallen, wo alle Lampen ersetzt werden, unabhängig davon, ob sie funktionieren oder nicht. Dabei ist die Zeit der Gruppentauschintervalle nicht einfach festzulegen und kann auch nicht pauschal angegeben werden, da die unterschiedlichen Lampentypen unterschiedliche Ansprüche und Lebensdauer haben. Jedoch kann gesagt werden, je länger die Tauschintervalle, desto höher müssen die anfänglichen Beleuchtungsstärken sein. Wenn die Intervalle kürzer gehalten werden, können niederere Beleuchtungsstärken gewählt werden, da die Lampen nicht so alt werden und somit weniger an Leuchtkraft abnehmen, oder die Leuchten werden öfters gereinigt. (Narisada und Schreuder, 2004)

Die regelmäßige Instandhaltung und kürzere Wartungsintervalle wirken sich positiv auf die Lichtverschmutzung aus. Es können nämlich geringere Beleuchtungsstärken gewählt und trotzdem die Mindestbeleuchtungsstärken gewährleistet werden, somit wird weniger Licht an die Umgebung abgegeben.

7.7. Planung der Freiraumbeleuchtung

Die Planung einer Freiraumbeleuchtung unterscheidet sich wesentlich von der Planung einer Innenbeleuchtung, es sind ganz andere Ansätze anzuwenden. Ein Innenraum hat Wände und eine Decke, wo das

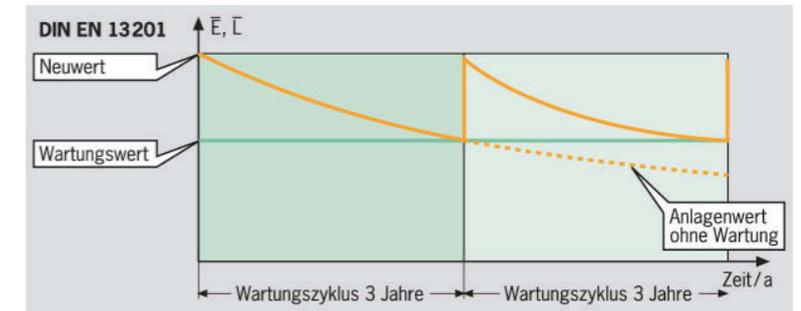


Abb. 141: Darstellung der Abnahme der mittleren Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte im Laufe der Betriebszeit einer Anlage am Beispiel eines dreijährigen Wartungszyklus.

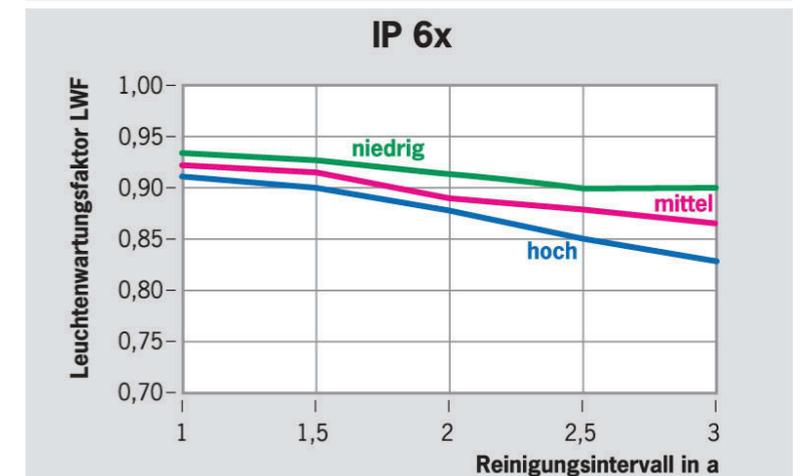
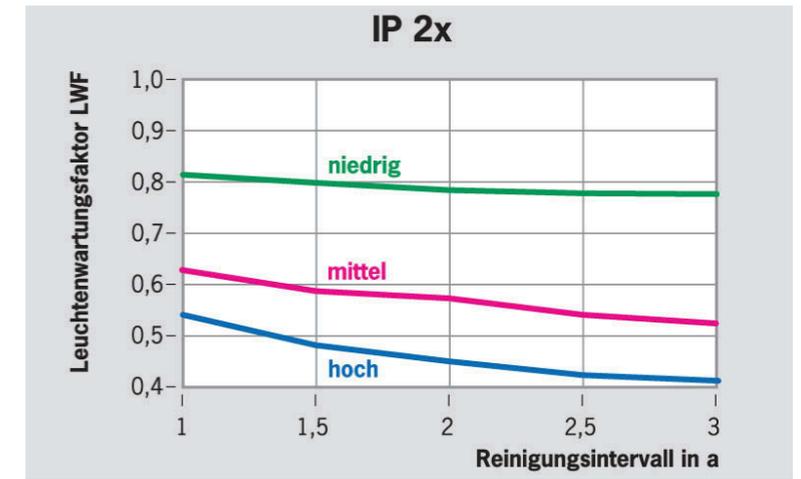


Abb. 142: Der Leuchtenwartungsfaktor gibt an, um wie viel die Beleuchtungsstärke einer Leuchte durch Verschmutzung in der Zeit abnimmt. Dabei wird auch nach niedriger, mittlerer und hoher Rauch- und Staubemission unterschieden.

Licht reflektiert wird. Im Freiraum hingegen strahlt das Licht meist ungehindert in den Himmel und in die Umgebung und Reflexionen gibt es nur oder hauptsächlich am Boden. Beleuchtungsstandards, Produkte, Herstellungsart, Berechnung und Bemessung sind zwischen Innen- und Freiraumbeleuchtung ganz unterschiedlich. Bei der Freiraumbeleuchtung wird das Hauptau-

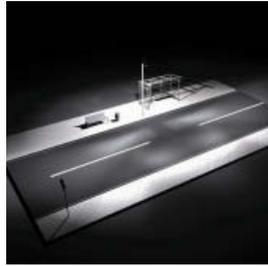


Abb. 143: Visualisierung des Beleuchtungsszenarios eines Straßenabschnittes.

genmerk auf die Leuchtenverteilung und die Ausrichtung des Lichtes gelegt im Gegensatz zur Innenraumbelichtung, die großen Wert auf indirekt reflektiertes Licht legt. (Narisada und Schreuder, 2004)

Bei der Planung des öffentlichen Raumes wird die Beleuchtung oft erst im Nachhinein geplant. Der Planer befasst sich meist hauptsächlich mit den Tagesaspekten und ein Beleuchtungsingenieur für die Beleuchtung wird oft erst später hinzugezogen. Dieser berücksichtigt dann oft nur technische Aspekte, wie das möglichst gleichmäßige und hinreichend helle Beleuchten und er folgt den Richtlinien, gestalterische Aspekte bleiben dabei meist unberücksichtigt. (Schmidt und Töllner, 2006, 119)

Für die Erstellung eines Lichtkonzeptes für einen öffentlichen Stadtraum gibt es eigentlich keine Regeln, die Vorhergehensweise richtet sich nach den Anforderungen des betreffenden Ortes. Ein Lichtkonzept kann jedoch in folgenden Schritten aufgebaut werden: (1) Bestandsaufnahme und Bewertung; (2) Ziele und Leitidee für die Stadtgestaltung bei Nacht; (3) Konzept für die Gesamtstadt und ihre Teilbereiche. (Holmes und Schmidt, 2006 a, 121)

Der erste Schritt, um der Lichtverschmutzung entgegenzuwirken, ist die dafür richtige Planung. Falsch geplantes und falsch installiertes Licht im Freiraum, das in den dunkeln Himmel strahlt, ist für den nahen Betrachter unsichtbar, genau so wie die CO₂-Konzentration nicht sichtbar ist. Also wird der Mensch erst dann darauf aufmerksam, wenn er darüber informiert ist.

7.7.1. Planungsinstrumente

Die Lichtgestaltung fällt unter die weichen Standortfaktoren und die Lichtplanung hat nur informellen Charakter. Jedoch auch die informellen Planungen mit Master- und Rahmenplan sind in der städtebaulichen Planung ein unverzichtbarer Bestandteil geworden. Der Lichtmasterplan kann ein Teil des Gesamtkonzeptes eines informellen Master- oder Rahmenplans sein. Licht-

planung ist immer auf lange Sicht angelegt und wird meist im Zuge von Stadterneuerung und Stadtentwicklung umgesetzt. Die Leuchtenlebensdauer beträgt durchschnittlich 30 Jahre, ein Zeitraum in dem sich in Geschmack, Bewusstsein und Technik viel ändern kann. Das Gesamtregelwerk muss also flexibel genug sein, damit es auch angepasst werden kann. Detailplanungen müssen sich immer an der übergeordneten Gesamtidee orientieren. Ein Beispiel eines Lichtmasterplanes ist der ‚Plan Lumiere‘ von Zürich, in dem ein Gesamtkonzept für die Stadt entwickelt wurde. (Töllner, 2006 a, 149) Auch für Wien wurde ein ‚Masterplan Licht‘ erstellt, der in Zusammenarbeit mit einem Lichtplanungsbüro, der Magistratsabteilungen 33 und 19 und einem Beratungsbüro entwickelt wurde. (Kaiser, 2011)

In die Masterpläne können Aspekte eingebracht werden, welche die Lichtverschmutzung berücksichtigen und die schon in die Idee des Konzeptes eingearbeitet werden.

7.7.2. Simulationen, Planungshilfen

Wie in vielen Bereichen ist auch bei der Lichtplanung der Computer ein hilfreiches Werkzeug. Es können Modelle simuliert, Auswertungen gemacht und genaue Berechnungen erstellt werden. Photorealistische Visualisierungen dienen als Entscheidungshilfe und vereinfachen die interdisziplinäre Arbeit. Sie präsentieren ein Beleuchtungskonzept leicht verständlich und dienen zudem der Planungssicherheit. Die Planungsprogramme sind so entwickelt, dass nicht nur die einzelnen Parameter, wie Beleuchtungsstärke, Lichtverteilung, Lichttemperatur usw. der Leuchten eingegeben werden können, sondern es können die Leuchtenmodelle samt Parameter, welche oft von den Leuchtenherstellern zur Verfügung gestellte werden, direkt ins Programm hochgeladen werden. Weiters kann auch der Reflexionsgrad der unterschiedlichen Oberflächen bei einer Simulation bestimmt werden, und somit auch das indirekte Licht dargestellt

werden. Simulationen können einerseits in der Entwurfsphase als Diskussionsgrundlage benutzt werden, andererseits auch zur anschließenden Überprüfung der Planungsparameter und der gewünschten Lichteindrücke. Eine weitere wichtige Planungshilfe sind auch einfachere Methoden, wie Photocollagen oder Methoden aus dem Modellbau, welche auch vom ambitionierten Laien angewandt werden können, um Eindrücke und gewünschte Stimmungen darzustellen. Sie eignen sich sehr gut als Diskussionsgrundlage. (Zeile et al., 2006, 144)

Durch die Computer gestützte Simulation könnte auch leicht berechnet werden, wie viele Lichtanteile einer Beleuchtung an die Umwelt abgegeben werden, da die genauen Lichtverteilungsparameter der Leuchten eingegeben werden können und die Reflexionsgrade der angestrahlten Oberflächen. Durch Hinzufügen einer Atmosphäre könnte zum Beispiel auch die Lichtglocke simuliert werden. Virtuelle Darstellungen zeigen jedoch nur einen Standardfall, der nicht unbedingt mit der Wirklichkeit übereinstimmen muss, da nie alle Faktoren berücksichtigt werden können, wie zum Beispiel nicht korrekt montierte Leuchten.

7.7.3. Planung der Beleuchtungsanlage

Ohne Licht gibt es keine visuelle Wahrnehmung des Freiraumes, beziehungsweise der Landschaft. Das natürliche Licht bringt die Landschaft hervor und macht die Formen und Strukturen sichtbar. Das künstliche Licht ist ein Medium, das sich in die Landschaft einmischt und sie verändert. (Hungerbühler und Morici, 2006, 166)

Bei der Planung einer Freiraumbelichtung müssen die Erfordernisse und die Gegebenheiten des betreffenden Freiraumes berücksichtigt werden. Das Licht muss überlegt und gezielt eingesetzt werden, da man mit großen Flächen konfrontiert ist und kaum mit indirektem Licht arbeiten kann. Es gibt wenige vertikale Flä-

chen, die angestrahlt werden können und keine Decken, an denen das Licht reflektiert werden kann. Das Licht, das nicht irgendwo auftrifft, entweicht unnötig in den Himmel. Das Licht sollte ausschließlich in die gewünschte Richtung gelenkt werden, genau orientiert und die Lichtquellen korrekt installiert sein.

Es ist auch zu berücksichtigen, dass nicht alles beleuchtet werden muss, die Bewahrung von Dunkelzonen spielt nämlich eine wesentliche Rolle in der Gestaltung einer Beleuchtung.

Bei der Planung einer Straßenbeleuchtung ist verschiedenen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, wie der Umweltzone, in der sich die Straße befindet, welche den Upward Light Ratio begrenzt, der Klassifizierung der Straße nach Verkehrsaufkommen, der dafür notwendigen Beleuchtungsstärke, der Straßenbreite sowie der Montagehöhe, den Abständen und der Lichtverteilung der Leuchten. (Narisada und Schreuder, 2004)

Die Beleuchtung für Fußgängerwege hat wiederum andere Erfordernisse, hier geht es meist um Beleuchtung für das Sicherheitsempfinden und darum, zu sehen und gesehen zu werden. Hierbei darf nicht nur den horizontalen Beleuchtungsstärken Rechnung getragen werden sondern auch den vertikalen Beleuchtungsstärken in Gesichtshöhe, die der Personenerkennung dient. Weiters muss die homogene Lichtverteilung gewährleistet werden, damit keine Hell-Dunkel-Zonen entstehen wo man ins Dunkle tappt. Dies wird erreicht, indem die Leuchten im richtigen Abstand montiert werden. (Frauenbüro, 1995, 52) Dabei sind die photometrischen Daten der Leuchten bei der Planung hilfreich. Mit diesen kann der notwendige Abstand in Abhängigkeit von der Montagehöhe kalkuliert werden und eine Simulation der Lichtverteilung erstellt werden.

Das gesamte Licht einer Freiraumbelichtung, welches nicht irgendwo auftrifft, trägt wesentlich zur Lichtverschmutzung bei, da es ungehindert in die Umgebung und in den Himmel gelangt. (Narisada und Schreuder, 2004) Dies bedeutet, dass

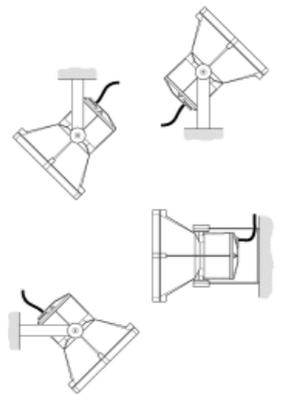


Abb. 144: Der Computer ist ein hilfreiches Werkzeug sei es für die Entwicklung von Leuchten wie für die Planung von Beleuchtungsanlagen.

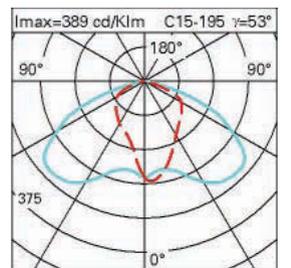


Abb. 145: Die photometrischen Daten der Leuchten geben genaue Angaben über deren Lichtverteilung, die für eine genaue Planung unumgänglich sind.

die Planung akkurat sein muss, um eine Lichtverschmutzung zu verhindern. Durch eine falsche Orientierung des Lichtes oder durch die falsche Leuchtenwahl können leicht unerwartete Fehler entstehen.

7.7.4. Lichtarten

Es kann zwischen verschiedenen Lichtarten unterschieden werden. Das Licht zum Sehen: Es ermöglicht uns, das Umfeld wahrzunehmen und wird als Funktionallicht bezeichnet, das Licht ist gleichmäßig verteilt und es gibt keinen Anspruch an Lichtwirkung. Das Licht zum Hinsehen: Es dient dazu, Akzente zu setzen, um zum Beispiel Architektur, Bäume und Skulpturen zu beleuchten. Es wird zur Gestaltung des nächtlichen Raumes eingesetzt, um den Raum visuell wahrnehmbar zu machen. Licht zum Ansehen: Die vorrangige Funktion dieses Lichtes ist es, den Blick auf sich zu lenken, wie zum Beispiel Leuchtreklamen oder Lichtelemente, wie Leuchtkugeln oder Lichtlinien. Es dient dazu, Akzente zu setzen und auch Raumgliederungen zu erzeugen. Keylights sind Schlüssellichter, welche emotionale Wahrnehmung hervorrufen, dabei sollten diese Lichtquellen gering gehalten sein, damit der Effekt größer ist. (Holmes und Schmidt, 2006 a, 121)

7.7.5. Horizontale und vertikale Flächen

Der Freiraum kann in horizontale und vertikale Flächen gegliedert werden. Horizontale Flächen sind zum Beispiel Straßen, Gehwege, Plätze, Parks und so weiter. Vertikale Flächen sind Fassaden, Bäume, Brunnen, Denkmäler und dergleichen. Vertikale Elemente sind wichtig in der Gestaltung. Damit diese wahrnehmbar werden, müssen sie extra beleuchtet werden. Das Grundlicht und dessen reflektiertes Licht reichen dafür nicht aus. Bei Skulpturen wird zum Beispiel der vierfache Wert der Bodenleuchtdichte angenommen. Gebäude mit viel Glas leuchten oft von innen. (Bartenbach, 2006, 132) Die vertikale Beleuchtung dient nicht so sehr als

Funktionsbeleuchtung, sondern sie macht Raumgrenzen und Proportionen sichtbar. Da sich das Sehfeld des Menschen nach vorne richtet, unabhängig davon ob er geht, fährt oder sitzt, spielt die Gestaltung der vertikalen Umgebung eine wichtige Rolle. (Schielke, 2006, 137)

Bei der Beleuchtung der vertikalen Flächen ist dabei besonderes Augenmerk darauf zu lenken, dass das Licht gut gerichtet ist und nur die Objekte trifft, ohne dass es in die Umgebung gestrahlt wird und somit zur Lichtverschmutzung beiträgt.

7.7.6. Technische Aspekte in der Planung

Um eine Freiraumbeleuchtung effizient gestalten zu können, ist es ebenfalls notwendig, sich mit allen technischen Möglichkeiten auseinanderzusetzen, um qualitativ gute und auch alternative Varianten erarbeiten zu können. Dabei spielen die Lampenarten eine wesentliche Rolle, die verschiedenen Möglichkeiten der Lichtverteilung und der Lichtlenkung und die Montage der Leuchten, alles Faktoren, welche die Wirkung des Lichtes bestimmen. Dabei sind auch das technische Wissen und die Erfahrung von Fachleuten, die sich intensiv mit dem Thema Licht auseinandersetzen, eine wichtige Informationsquelle. Vorsicht ist aber bei nicht wissenschaftlichen Versuchen geboten, die zu unerwarteten Resultaten führen können und ökonomische Verluste zur Folge haben könnten. (Narisada und Schreuder, 2004)

7.8. Gesetzliche Regelungen, Richtlinien der Lichtverschmutzung

Wie in vielen Bereichen gibt es auch bei der Beleuchtung Regelungen und Richtlinien, wie sie sein soll. Es sind jedoch nicht alle Aspekte genau geregelt, wobei ich hinzufügen möchte, dass Regelungen einerseits eine Hilfe darstellen, um bei einem Bauvorhaben die notwendigen Erfordernisse zu erfüllen, andererseits auch eine Einschränkung der Planungsfreiheit

mit sich bringen. Für die Freiraumbeleuchtung gibt es unterschiedliche Richtlinien, die von unterschiedlichen Institutionen auf verschiedenen Ebenen erlassen wurden.

Die CIE (Internationale Beleuchtungskommission) gibt zum Beispiel eine Reihe von Richtlinien für Straßenbeleuchtung vor, berücksichtigt jedoch nicht die Lichtverschmutzung. (Narisada und Schreuder, 2004) Für die Verkehrsfreiräume gibt es ausführliche Richtlinien und Normen der verschiedenen Länder, welche den Planern als Grundlage dienen sollen. Andere Freiräume sind weniger berücksichtigt, da der motorisierte Verkehrsteilnehmer meist im Mittelpunkt steht. Auch die EU hat in der EN (Europäische Norm) ihre Richtlinien erlassen.

Für Sportanlagen gibt es, wie schon in Kapitel 5.5. behandelt, ebenfalls ausführliche Richtlinien für die unterschiedlichen Sportarten.

Allgemein kann gesagt werden, dass in der Mehrzahl der Fälle nur die minimalen Beleuchtungsstärken geregelt sind und keine Maximalwerte vorgesehen sind.

7.8.1. Grenzen setzen

Um einer übermäßigen Beleuchtung entgegenzuwirken, müssen Obergrenzen gesetzt werden. Natürlich wäre die einfachste Lösung, das Licht auszuschalten, um die Lichtverschmutzung zu verhindern, aber das ist keine realistische Lösung, da die Gesellschaft, wie im Kapitel 5. erläutert, die Beleuchtung für notwendig erachtet. Es gibt jedoch zu bedenken, dass die Lichtverschmutzung jährlich um bis zu 7% - 10% zunimmt (Cinzano, 2002 b, 206) bzw. 3% laut (Narisada und Schreuder, 2004). Es gibt also weltweit eine jährliche Zunahme der künstlichen Beleuchtung. Um diesem Trend entgegenzuwirken, müssten mehrere Parameter die Beleuchtung mit maximalen Obergrenzen regeln, wie die maximal zulässige Abstrahlung nach oben und die maximale Beleuchtungsstärke überhaupt, damit auch die Reflexion reduziert wird.

Es gibt erfreulicherweise vermehrt auch eine andere Denkweise. Den Einwohnern

Zonen	Maximaler ULR (%)		Lichtverteilung	
	Abend			
	urban	rural	Nacht	
E1a	-	-	-	keine Beleuchtung
E1b	+	1	0	full cut-off
E1c	+	3	0	full cut-off
E2	5	3	1	full cut-off
E3a	5	3	2	cut-off
E3b	10	5	5	cut-off
E4a	15	+	10	semi-cut-off
E4b	25	+	15	semi-cut-off

Tab. 011: Begrenzung der Lichtimmission laut CIE in den unterschiedlichen Umweltzonen; - kein Licht; + keine Relevanz da E1 immer rural ist und E4 immer urban ist.

Zonen	max. vertikale lux		max. cd	
	Abend	Nacht	Abend	Nacht
E1	2	0	2500	0
E2	5	1	7500	500
E3	10	2	10000	1000
E4	25	5	25000	2500

Tab. 012: Maximal zulässige Beleuchtungsstärken (lx) und maximal zulässige Intensitäten (cd) von Leuchten in den unterschiedlichen Umweltzonen, um eindringendes Licht (intrusive light) zu beschränken, laut CIE.

ist mittlerweile bewusst, dass vor allem die Stadtzentren exzessiv beleuchtet sind und dass die künstlichen Lichtquellen abgeschwächt werden sollten, um die Wahrnehmung der nächtlichen Stimmung wieder zu ermöglichen, um den Stromverbrauch zu reduzieren und um einen ökologischen Ansatz zu wählen, der die Umwelt respektiert und die Wahrnehmung des nächtlichen Himmels bewahrt. (Narbone, 2006, 55)

Städte und Gemeinden sehen Kunstlicht jedoch oft als ‚Wundermittel‘, das sie zur Selbstdarstellung und zur Aufwertung ihrer Siedlungen bei Nacht einsetzen können. Zu viel Licht ist jedoch nicht Ziel führend, da zu viel Licht die Eleganz des Lichtes schlicht zerstört. (Holmes und Schmidt, 2006, 127)

Die CIE hat neuerdings eine Richtlinie erstellt, um der Lichtverschmutzung und der Entwicklung der Himmelsaufhellung Grenzen zu setzen. Dabei gibt sie für die unterschiedlichen Umweltzonen E1...E4 Maximalwerte des Upward Light Ratio an. Siehe Tabelle 011 und Tabelle 012 (Narisada und Schreuder, 2004)



Abb. 146: Das EU-Parlament ist für die Erlassung der EN-Normen verantwortlich.



Abb. 147: Geltungsbereich der EN 13201 im Jahr 2005.

7.8.2. Gesetzliche Regelungen und Normen der Länder

In der EU sind, in der EN 13 201, seit 2004 die Mindestanforderungen an Straßenbeleuchtung festgelegt, welche nun in den nationalen Normen der einzelnen Länder eingearbeitet worden sind oder noch werden. Jedoch sind dort keine Maximalwerte festgelegt und auch keine Regelungen der Lichtverschmutzung vorgesehen. Lediglich bei den Vorschriften der Blendungsbegrenzung über die Richtung und Stärke des abgestrahlten Lichtes. (Trilux, 2005) (Tabelle 013) Am 5. Europäischen Symposium zum Schutz des nächtlichen Himmels im belgischen Genk wurden deshalb Regelungen für höchste Beleuchtungsstärken gefordert. (Unger, 2006, 86)

In manchen Staaten gibt es bereits diesbezügliche nationale oder regionale Gesetze. Tschechien war die erste Nation, welche die Lichtverschmutzung gesetzlich geregelt hat. Sie ist seit 2002 im 'The Clean Air Act' enthalten. (Hollan, 2002, 275) Slowenien hat ebenfalls seit 2007 ein Gesetz erlassen, das die Lichtverschmutzung regelt. (Hänel, o.J.)

In Italien gibt es drei Normen, die sich direkt oder indirekt auf die Lichtverschmutzung beziehen und zwar die UNI10819, UNI10439 und UNI9316. Die Einhaltung dieser gesetzlichen Regelung ist jedoch den Regionen überlassen und somit gibt es keine Einheit über das gesamte Staatsgebiet. Die Region Venetien war die erste Italiens, welche schon 1997 die Lichtverschmutzung gesetzlich geregelt hat. Die Regelung besagt, dass reflektiertes Licht gering gehalten werden soll, eine Überbeleuchtung vermieden und nicht höhere

Beleuchtungsstärken, als für den jeweiligen Funktionstyp vorgeschrieben, installiert werden sollen. (Cinzano, 2002 b)

In Deutschland gibt es keine generelle Pflicht zur Beleuchtung von Straßen, es gilt lediglich die Verkehrssicherungspflicht. Die DIN EN 13201 schreibt die lichttechnischen Anforderungen der Straßenbeleuchtung fest, bestimmt jedoch nicht die Art der Straßenbeleuchtung, sondern fordert lediglich, dass Sie nach der Regel der Technik ausgeführt sein soll. Die Lichtverschmutzung selbst ist nicht geregelt. (Töllner, 2006, 154)

Es gibt auch Regelungen in kleinem Maßstab, wie in der Gemeinde Großmugl in Niederösterreich, welche sich bereit erklärt hat, den nächtlichen Himmel zu schützen. Sie wurde deswegen von der UNESCO als Gemeinde mit schützenswertem Nachthimmel aufgenommen. (Anonym, 2010) Die Gemeinden haben also auch die Möglichkeit, Lichtkonzepte mittels Satzungen durchzusetzen, in dem sie örtliche Bauvorschriften für die Gestaltung des Ortsbildes vorgeben. Eine weitere Möglichkeit ist eine vertragliche Regelung mit dem Betreiber, die wesentlich vorteilhafter ist, da sie individuell auf die einzelnen Projekte eingehen kann und einfacher verläuft. (Töllner, 2006, 156)

Es gibt jedoch noch keine gesetzliche Regelung der Lichtverschmutzung, die für ganz Österreich gilt, auch keine auf Landesebene. Beleuchtungspflicht gibt es zwar in den meisten Fällen nicht, aber die Freiraumbeleuchtung ist sehr wohl genormt. Einige Normen sind die ÖNORM EN 12193 Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung, ÖNORM EN 12464-2 Beleuchtung von Arbeitsstätten/Arbeitsplätzen im Freien, ÖNORM EN 13201 Straßenbeleuchtung und ÖNORM O 1051 Straßenbeleuchtung- Beleuchtung von Konfliktzonen. (LTG, 2009) Derzeit wird aber an der ÖNORM O 1052 gearbeitet, welche die Lichtverschmutzung zum Thema hat.

Wenn die Lichtverschmutzung in den gesetzlichen Normen berücksichtigt ist, ist dies ein effektiver Weg ihr entgegenzuwir-

ken, da diese verpflichtenden Charakter haben und bei Verstoß Sanktionen verhängt werden können.

7.8.3. Organisationen und Tätigkeit der Astronomen

Verschiedene Organisationen aus unterschiedlichen Bereichen, wie jene der Bewahrung des Welterbes, der Astronomie und des Umweltschutzes, beschäftigen sich mit der Problematik der Lichtverschmutzung und rufen dazu auf, zu agieren. Zum Beispiel wurde das Jahr 2009 zum internationalen Jahr der Astronomie erklärt, an dem 148 Länder teilnahmen. Es wurde von der IAU (International Astronomical Union) und der UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation) initiiert und von der UN (United Nations) und der ICSU (International Council of Science) befürwortet. Der Anlass dazu war, dass 400 Jahre zuvor Galileo Galilei und andere Gelehrte zum ersten Mal den Himmel mit einem Teleskop beobachtet hatten. Eines der Hauptziele des Astronomiejahres war unter anderem die Erhaltung und der Schutz des Naturdenkmals Nachthimmel und der natürlichen nächtlichen Umwelt. (Russo und Lindenberg Christensen, o.J.) Die IAU hat schon im Jahre 1973 zur Bewahrung des astronomischen Himmels aufgerufen und 1995 wurde in Italien das erste internationale Meeting zum Thema 'Light pollution: measures and possibility of action' gehalten. Die UN hat in der UNISPACE III (III Conference for the Pacific Uses of Outer Space) den Mitgliedsstaaten empfohlen, die Verschmutzung des Himmels durch Licht zu kontrollieren und dementsprechend zu agieren. Mit Vorteilen für die Energieeinsparung, für die natürliche Umwelt, nächtliche Sicherheit und Komfort, für die nationale Ökonomie und Wissenschaft. (Cinzano, 2002 a)

Die ISTIL ('Istituto di Scienza e Tecnologia dell'inquinamento Luminoso' Institut der Wissenschaft und Technologie der Lichtverschmutzung) hat ein monitoring Programm von der Erde und von Satelliten aus zur globalen Emission von Licht in die

Atmosphäre gestartet. (Cinzano 2002 a)

Es gibt noch eine Vielzahl von weiteren, meist von Astronomen unterstützten Organisationen, welche bemüht sind, die Problematik der Himmelsaufhellung publik zu machen, da professionelle und Freizeit-Astronomen stark davon betroffen sind.

Von der IUCN (International Union for Conservation of Nature) und die CIE (International Commission on Illumination) sind sogar Richtlinien erarbeitet worden, die den Grad an Lichtverschmutzung in Naturparks und in verschiedenen Umweltzonen einschränken sollen, die in Kapitel 6.4.3. beschrieben wurden.

Die oben angeführten Vereine und Organisationen tragen viel zur Aufarbeitung der Problematik Lichtverschmutzung bei. Sie können selbständig Informationen verbreiten und zur Bewusstseinsbildung beitragen. Dabei werden diese Informationen, je nach Ansehen der Organisation, als mehr oder weniger wichtig eingestuft, jedoch hat jede ihre Berechtigung. Die Vereine können zwar von den Medien unabhängig handeln, wobei aber anzumerken ist, dass die Medien zu einer Verbreitung dieser Informationen wesentlich beitragen könnten.

7.9. Bildung und Information

Was ich nicht weiß, macht mich nicht heiß! Wenn ein Problem aber erkannt wurde, muss es auch publik gemacht werden. Solange Informationen nicht unter die Menschen gebracht werden, bleiben sie unbeachtet. Die Medien dienen dazu, Nachrichten einer breiten Menschenmasse zu übermitteln. Dabei wird den veröffentlichten Themen, unabhängig davon ob sie wichtig sind oder nicht, große Priorität zugeteilt, sie bilden dadurch eine breite, öffentliche Meinung und werden folglich in der Politik bevorzugt behandelt. Informationen können auch nur an bestimmte Zielgruppen weitergegeben werden, wie zum Beispiel neue Erkenntnisse, die nur in spezifischen Fachzeitschriften erscheinen.



United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Abb. 148: Die UNESCO zeichnet Orte, in denen der natürliche nächtliche Himmel beobachtet werden kann, als Welterbe aus.



International Astronomical Union

Abb. 149: Die IAU ruft dazu auf, den natürlichen nächtlichen Himmel zu bewahren.



Abb. 150: Das Jahr 2009 wurde als Astronomiejahr ausgerufen, bei dem die Lichtverschmutzung ein Hauptthema war.

Lichtstärke- klasse	Maximale Lichtstärke in cd/klm			Lichtstärke I im oberen Halbraum oberhalb des Aus- strahlungswinkels γ
	bis 70°	bis 80°	bis 90°	
G1		200	50	-
G2		150	30	-
G3		100	20	-
G4	500	100	10	I = 0 cd ab $\gamma = 95^\circ$
G5	350	100	10	I = 0 cd ab $\gamma = 95^\circ$
G6	350	100	0	I = 0 cd ab $\gamma = 90^\circ$

Tab. 013: Lichtstärkeklassen laut DIN EN 13201-2 zur Beurteilung der physiologischen Blendung und zur Vermeidung störender Lichtimmission.



Abb. 151: Die Universumdokumentation über die Lichtverschmutzung

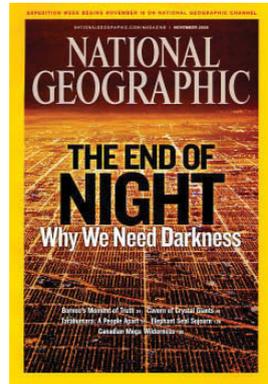


Abb. 152: Die National-Geographic-Ausgabe mit der Lichtverschmutzung als Hauptthema

7.9.1. Verbreitung von Informationen durch Medien

Die größte Personenmenge erreicht man über Fernsehen und Printmedien. Probleme, welche in den Medien behandelt werden, sollten jedoch kritisch betrachtet werden, da einige oft überspitzt werden und andere als uninteressant eingestuft werden. Eines von vielen Beispielen ist die Krankheit SARS, welche in den Medien als panisches Problem behandelt wurde. Weltweit sind in einem Jahr 800 Menschen daran gestorben, relativiert man dies mit den 20.000 Menschen, die jährlich alleine in den USA an der seit jeher existierenden Influenza sterben, stellt SARS mehr ein Randproblem dar. (Narisada und Schreuder, 2004) Andere Probleme werden nur für eine beschränkte Zeit behandelt, wie zum Beispiel die rezente vom Menschen verursachte Ölpest im Golf vom Mexiko, welche schlussendlich durch Dispergatoren (eine Art Spülmittel, eine zusätzlich hinzugefügte Chemie dessen Langzeitwirkung nicht eindeutig ist) im Meerwasser gelöst wurde, damit das Öl nicht mehr unansehnlich an der Meeresoberfläche schwimmt und somit das Problem offiziell als gelöst betrachtet werden konnte. Die verseuchten Meerestiefen, in denen das Öl jetzt weiterhin schwebt, kümmert nur mehr wenige. Nach dem Reaktorfall in Fukushima wird auch weiterhin fleißig der CO₂-neutrale Atomstrom konsumiert.

Wissenschaftliche Themen werden in den Medien oft nur wenig oder am Rande behandelt. (Favaro, 2002, 174) Zum Thema Lichtverschmutzung habe ich trotzdem verschiedene Berichte in unterschiedlichen Medien gefunden, welche in den vergangenen Jahren veröffentlicht wurden. Zum Beispiel war die Ausgabe des Magazins National Geographic vom November 2008 mit 'The end of night' betitelt, die Dokumentationsserie Universum hat eine Sendung mit den Titel 'Die dunkle Seite des Lichts' herausgegeben und die Zeichentrickserie 'Simpsons' hat die Folge 16 der Staffel 14 aus dem Jahr 2003 mit 'Scuse Me While I Miss the Sky' herausgebracht, welche die Lichtverschmutzung zum Thema hat. Auch in den Printmedien

gibt es hie und da einen Artikel über das Thema.

Weiters gibt es auch unterschiedliche Broschüren zum Thema Lichtverschmutzung. Die Tiroler Umweltschutzbehörde hat zum Beispiel die Broschüre „Die Helle Not“ schon in mehrfacher Auflage publiziert. Bei der Wiener Umweltschutzbehörde liegen Faltschichten zum Thema auf.

Die Massenmedien erreichen die meisten Menschen, somit können sie zur Verbreitung einer Problematik und zur Bewusstseinsbildung wesentlich beitragen. Würde das Thema Lichtverschmutzung immer wieder angesprochen, könnte ein besseres Verständnis dafür erzielt werden.

7.9.2. Einfluss der Politik

Ein Großteil der Freiraumbeleuchtung wird öffentlich verwaltet. Der öffentliche Haushalt wird von Politikern und Politikerinnen bestimmt und diese entscheiden, welche Maßnahmen in den unterschiedlichen Bereichen getroffen werden sollen. Sie bestimmen also wesentlich auch die Freiraumbeleuchtung. Da Politiker meist keine Fachkenntnisse haben, ist es wichtig, dass sie die Empfehlungen der Planer und Fachleute befolgen. Gut durchdachte Beleuchtungen kosten zwar Geld aber schlecht geplante Beleuchtungen kosten ebenfalls Geld und langfristig gesehen sind letztere meist teurer. Somit ist es wichtig, dass bei der Entscheidung, welche Maßnahmen getroffen werden sollen, die Bedürfnisse von Mensch und Umwelt und die technischen Anforderungen berücksichtigt werden, die an eine gute Beleuchtung gestellt werden. (Narisada und Schreuder, 2004) Die Politik, die für die Gesetze zuständig und verantwortlich ist, kann sich auf erforschte Erkenntnisse stützen, um die notwendigen Regelungen zu erlassen.

Es ist also wichtig, dass Politiker und Politikerinnen und öffentliche Verwalter und Verwalterinnen über die positiven und negativen Auswirkungen einer Freiraumbeleuchtung informiert sind, damit

sie nachhaltige Entscheidungen treffen können. Langfristiges Denken und auch die notwendige Gesetzgebung sind dazu nötig.

7.9.3. Bildung in Schulen

Oft wird die Bildung in Schulen als Lösungsvariante von Problemen vorgeschlagen. Es ist zwar wichtig, dass Kinder und Jugendliche sensibilisiert werden, jedoch sollten besser die Erwachsenen als Vorbilder dienen und es richtig vormachen.

7.9.4. Bildung der Fachleute und Planer

Die Fachleute und Planer sind jene Berufsgruppe, die oft über die Art der Beleuchtung mitentscheiden. Zumindest sind sie es, welche die Bauherren, sei es in privaten wie in öffentlichen Bereichen, beraten. Sie sind die Fachkräfte, die über das Problem der Lichtverschmutzung Bescheid wissen sollten und denen bewusst sein muss, wie man sie verhindern kann und was man dabei alles berücksichtigen muss. Sie sollten laufend über die neuesten Erkenntnisse der Lichtverschmutzung informiert werden, was in der Fortbildung eingebracht werden kann.

Eine nachhaltige Entwicklung sollte nicht nur rein technische Aspekte berücksichtigen, sondern über energiesparende Kriterien hinausgehen und auch Einflüsse auf die Umwelt berücksichtigen. Weiters sollten Fachleute, Planer und Techniker gezielt über legislative Neuerungen im Bereich der Beleuchtung und Lichtverschmutzung informiert werden. Dies kann durch die Veröffentlichung der entsprechenden Gesetze über Pressemitteilungen, eine gezielte Informierung der Wiederverkäufer, Rundschreiben an öffentliche und private Einrichtungen, sowie an die Berufskammern erreicht werden, alles sinnvolle Schritte, um die neuen Ziele zu erreichen. (Di Sora, 2002, 182) Weiters können neue wissenschaftliche Erkenntnisse nicht nur in Fachzeitschriften publiziert werden, die in Fachkreisen zirkulieren, sondern auch in allgemein verbreiteten Publikationen.

Fachleute und Planer sind die eigentliche Schlüsselgruppe, welche darüber Bescheid wissen sollte, wie mit der Lichtverschmutzung umgegangen werden soll. So können unadäquate Anlagen leicht vermieden werden. Ziel meiner Arbeit ist es, dann auch herauszufinden, inwiefern diese Personengruppe darüber Bescheid weiß und inwieweit die Vermeidung der Lichtverschmutzung angewandt wird.

8. Erkenntnisse

In den vorhergehenden Kapiteln wurde versucht aufzuzeigen, welche Anforderungen an eine Freiraumbeleuchtung gestellt werden, welche Probleme eine Freiraumbeleuchtung durch die Lichtverschmutzung hervorruft und es wurden verschiedene Faktoren aufgezeigt, die eine Beleuchtung beeinflussen. In diesem Abschnitt wird jetzt aufgezeigt, welche Punkte zu berücksichtigen sind, um Lichtverschmutzung zu vermeiden. Dabei gibt es Anforderungen an Licht selbst, welche von der Lampe abhängig sind, Anforderungen an die Lichtverteilung, die von der Leuchte und dessen Installation abhängig sind, Strategien zur Umsetzung der Erkenntnisse und Strategien zur Verbesserung von bestehenden Situationen, welche durch Regelung und Bewusstseinsbildung erreicht werden können.

8.1. Problemlösung

Der erste Schritt ist es, das Problem zu erkennen und abzuwägen, ob dieses Problem vermeidbar ist und welche Konsequenzen es nach sich zieht. Eine kritische Betrachtung ist zu bevorzugen, jedoch darf aus einer Mücke nicht ein Elefant gemacht werden.

Sucht man nach Problemlösungen, wie mit der Umwelt umgegangen werden soll, ist darauf zu achten, dass die Beziehung zwischen Mensch und Umwelt immer von drei Faktoren geregelt ist: (1) von der Notwendigkeit, auf die Bedürfnisse des Menschen einzugehen; (2) vom Wissensstand; (3) vom Wert, den der Mensch am jeweiligen Ort und Abschnitt der Geschichte seiner Umwelt beimisst. Diese drei Faktoren bestimmen, wie der Mensch über die Umwelt herrscht. Es besteht immer noch oft der allgemeine Glaube, dass die Luft, das Wasser, die Landschaft und die Nahrung Güter sind, welche die Umwelt in fast unendlicher Menge liefert, solange wir einen ausreichenden technologischen Standard haben, der uns erlaubt, diese zu bewegen, umzuwandeln, zu konservieren, züchten und zu verwalten. Wir müssen

hingegen lernen, die Umwelt zu pflegen, um alle notwendigen Bedingungen zu erhalten, damit sich die Umwelt auch auf lange Frist selbst regenerieren kann, also eine nachhaltige Entwicklung betreiben. (Ghetti, 2002, 118)

Lichtverschmutzung kann Probleme verursachen und die Umwelt beeinflussen, was in Kapitel 6 erläutert wurde. Sie ist ein weltweites, länderübergreifendes Problem, das in den industrialisierten und dicht besiedelten Ländern am stärksten ausgeprägt ist. Anderen Problemen der Umweltverschmutzung wird oft Vorrang gegeben, aber in Naturparks und astronomischen Beobachtungsstätten wird durchaus Interesse an der Reduktion der Lichtverschmutzung gezeigt. (Narisada und Schreuder, 2004, 885)

Die Lichtverschmutzung zu lösen ist jedoch nicht immer ganz einfach. Manche Möglichkeiten, die Lichtverschmutzung zu vermindern, würden nicht den heutigen Anforderungen an die Freiraumbeleuchtung gerecht werden, zum Beispiel ist die Farbwiedergabe und Ästhetik des monochromatischen, orangen Lichtes der Natriumdampfniederdrucklampen, welches wenig Lichtverschmutzung erzeugt, meist nicht erwünscht. Weiters sind Problemlösungen meist nur problemspezifisch und können somit nicht auf andere übertragen werden, da das Licht die Umwelt in vielen unterschiedlichen Bereichen beeinflusst. Zudem kann die Lösung eines Problems ein anderes hervorrufen, zum Beispiel reduziert man durch stark gerichtetes Licht die direkte Lichtstreuung, was jedoch eine stärkere indirekte Lichtstreuung durch die höhere Reflexion ergibt.

Die Beleuchtung wird in vielen Fällen von Fachleuten geplant und installiert, was bedeutet, dass auch die Lichtverschmutzung gewissermaßen Berücksichtigung findet. Weiters handelt es sich oft um alte Anlagen, die mangelhaft sind und dies aus dem einfachen Grund, dass zur Zeit, als sie errichtet wurden, noch das heute geltende Bewusstsein fehlte. Es sollten öfters gute

◀Abb. 153: Eine Lösung wäre, das Licht einfach auszuschaalten. Dies ist jedoch keine realistische Lösung.

Beispiele von Anlagen, welche positive Auswirkungen gegen die Lichtverschmutzung haben, gezeigt werden als negative, da gute Beispiele gerne nachgeahmt werden. Eine gute Möglichkeit, die Nachahmung zu fördern ist es, Auszeichnungen von gut gelungenen Projekten zu verleihen, da jeder Preis für den Professionisten eine Honorierung ist. (Narisada und Schreuder, 2004, 886)

8.2. Umsetzungszeitraum

Die Umsetzung einer Idee oder in diesem Fall die Verwirklichung einer neuen Beleuchtungsanlage geschieht nicht von einem Tag auf den anderen. Bei der Realisierung einer geplanten Beleuchtung, wo bereits eine existiert, beträgt der Umsetzungszeitraum 5 - 10 Jahre. Wirtschaftlich betrachtet hat eine Freiraumbeleuchtung eine Lebensdauer von 30 - 35 Jahren (Narboni, 2006, 56). Der günstigste Zeitpunkt eine Beleuchtung zu erneuern, die den Anforderungen zur Vermeidung der Lichtverschmutzung entsprechen soll, ist,

wenn eine Anlage am Ende ihrer Lebensdauer angelangt ist. Natürlich kann nicht garantiert werden, dass die neuen Anlagen den Anforderungen bis in 30 Jahren noch gerecht werden, vor allem weil die Entwicklung der Beleuchtungstechnologie rasant ist und eine Anlage schnell veraltet. Speziell Trendmodelle können nach wenigen Jahren altmodisch erscheinen. Es sollten somit bewährte Systeme gewählt werden, welche jedoch nicht veraltet sind und die der Vermeidung von Lichtverschmutzung dienen. Es wird selten der Fall sein, dass eine Kommune eine funktionierende Anlage aus gestalterischer Erwägung oder Gründen, die nicht als schwerwiegend betrachtet werden, erneuern wird. So sollten die Firmen, die beauftragt werden, eine Straßenbeleuchtung zu erstellen und zu betreuen, vertraglich verpflichtet werden, das vorliegende Lichtkonzept zwingend zu berücksichtigen. Meistens ist es aber der Fall, dass nur technische Beratungsleistung vom Unternehmen bei der Erneuerung einer Anlage an die Gemeinde erbracht wird. (Töllner, 2006, 154)

8.3. Punkte, die zur Vermeidung von Lichtverschmutzung berücksichtigt werden sollen

In diesem Abschnitt möchte ich nun die Punkte zusammenfassen, die zur Vermeidung der Lichtverschmutzung berücksichtigt werden sollten. Es ist schwierig, allgemein gültige Aussagen zu treffen, da, wie bereits gesagt, eine Lösung ein neues Problem hervorrufen kann und weil eine Problemlösung nicht in jeder Situation anwendbar ist.

8.3.1. Für die Lichtverschmutzung hauptverantwortliche Beleuchtungen

- Verkehrsinfrastrukturbeleuchtung → Hauptanteil der Freiraumbeleuchtung, erzeugt gestreutes und reflektiertes Licht mit unterschiedlichen Spektralbereichen.
- Sicherheitsbeleuchtung zwecks Sicherheitsgefühl → erzeugt gestreutes und reflektiertes Licht mit unterschiedlichen Spektralbereichen.
- Objektorstrahlung → erzeugt gestreutes Licht, oft mit kurzwelligen Lichtanteilen.
- Sportplätze → erzeugen Streulicht, oft mit kurzwelligen Lichtanteilen.
- Skybeamer → stellen Fallen für Zugvögel dar und erzeugen gestreutes Licht.
- Baustellen → erzeugen temporär gestreutes Licht und können in sensiblen Gebieten problematisch sein.
- Gewerbliche Beleuchtung → erzeugt oft viel Streulicht durch exzessive Beleuchtung, oft mit kurzwelligen Lichtanteilen.
- Private Beleuchtung → bei nicht korrekter Ausführung und Überbeleuchtung erzeugt sie gestreutes Licht, oft mit kurzwelligen Lichtanteilen.

8.3.2. Ursachen und Auswirkung der Lichtverschmutzung

- Höhere Beleuchtungsstärke als notwendig → erzeugt mehr reflektiertes Licht, trägt vermehrt zum Lichtlockeneffekt bei, beeinträchtigt manche Tierarten, da es sie desorientiert und ihr natürliches Verhalten stört.
- Überproportionale Beleuchtung von Objekten → bildet übermäßiges Umgebungslicht.
- Stark beleuchtete urbane Gebiete → desorientieren Zugvögel.
- Leuchten, die Streulicht erzeugen → erzeugen unnötiges Umgebungslicht und sind oft ineffizient, zum Beispiel Kugelleuchten, ‚Laternen‘ und Refraktorreuchten.
- Ineffiziente Beleuchtungsanlagen → erzeugen langfristig betrachtet hohe Betriebskosten und wirken sich durch unkontrollierte Lichtemission negativ auf die Umwelt aus.
- Licht, das direkt in die Umgebung abgestrahlt wird → beeinflusst die natürlichen Habitate und stört die astronomische Forschung, dringt in die Privatsphäre des Menschen ein und ist für die Lichtglocke mitverantwortlich.
- Lichtglocke → erschwert die astronomische Forschung erheblich und beeinträchtigt sensible, nachtaktive Lebewesen in der näheren Umgebung.
- Indirektes Licht durch Beleuchtung stark reflektierender Flächen und konzentriertes Licht → erzeugt viel reflektiertes Licht, das in die Umgebung gestreut wird und für die Lichtglocke mitverantwortlich ist.
- Blendende Beleuchtung → blendet nicht nur den Menschen sondern ist auch für schädliches Umgebungslicht verantwortlich.

- Hohe vertikale Beleuchtungsstärke → kann bei zu viel und zu flach abgestrahltem Licht zur Bildung von Umgebungslicht beitragen.
- Beleuchtung hoher Objekte und gebündelte Lichtstrahlen in den Himmel → sind Fallen für Zugvögel.
- Hell-dunkel Zonen und hohe Lichtkontraste → beeinträchtigen die Orientierung des Menschen; sie entstehen oft bei zu hohen Beleuchtungsstärken und belasten auch zusätzlich die Umwelt.
- Kurzwelliges Licht → spricht viele Lebewesen nachts stark an und stört deren Ruhephase, das Reproduktionsverhalten und das Beutetier-Jäger-Verhalten; sogar die Bestäubung von Pflanzen durch Insekten wird vermindert; nicht zu letzt stört es die Ruhephase des Menschen.
- Kurzwelliges Licht, das die „Stäbchen“ anspricht → stört die innere Uhr (Zerhythmik), beeinflusst den Hormonhaushalt (Melatoninproduktion) und ruft Schlafstörungen hervor.
- UV- Licht → beeinflusst das Verhalten einiger nachtaktiver Lebewesen, vor allem Vögel und Insekten, die dieses Licht wahrnehmen können.

8.3.3. Was kann berücksichtigt werden, um Lichtverschmutzung zu meiden?

- Weitreichender Planungshorizont → Fachplanung der Beleuchtungsanlagen, die langfristige Auswirkungen beachtet ist zukunftssträftig.
- Lichtmasterplan bzw. Gesamtkonzept erstellen und befolgen → ermöglicht die Gestaltung eines einheitlichen Beleuchtungsbildes des öffentlichen Raumes, das auch im privatwirtschaftlichen Bereich berücksichtigt werden sollte.
- Unterschiedliche Varianten durchdenken → durch Simulationen kann die Wir-

kung von Beleuchtungsanlagen bewertet und ihre Wirkung auf die Umwelt besser eingeschätzt werden.

- Sparsamer Umgang mit Licht, d. h. nur beleuchten, wo es notwendig ist und Schattenbereiche bewahren → das wirkt sich auf die Umwelt und auf die Erhaltung des natürlichen Nachtbildes positiv aus und ist zusätzlich Energie sparender.
- Moderate Beleuchtungsstärken wählen → sich auf das Notwendige beschränken, ohne Überbeleuchtung zu erzeugen, schützt die Umgebung vor Kunstlichtbelastung.
- Straßen homogen beleuchten und Hell-dunkel Zonen meiden → führt zu einer wirkungsvollen Beleuchtung und zu besserem Sehen in der Nacht.
- Licht gut richten, mit Reflektoren präzise lenken und Full-cut-off-Leuchten wählen → dadurch kann Kunstlicht sparsam eingesetzt werden, denn es trifft nur dort auf, wo es notwendig ist.
- Kontrolle des Anstrahlungswinkels und Berücksichtigung der Maximalwerte in Richtung Himmel → dadurch bleiben Streulicht und Lichtglocke unter Kontrolle.
- Bei Objektanstrahlung nur das Objekt treffen → dadurch kann Umgebungslicht vermieden werden.
- Anstrahlung von stark reflektierenden Flächen und stark konzentriertes Licht meiden → dadurch kann die Lichtglocke vermindert werden.
- Blendung meiden → durch die Vermeidung von flach abgestrahltem Licht wird das Umgebungslicht vermindert.
- Bodennahes Licht → vermindert die Abgabe des Lichtes in die Umgebung und schont die Tierwelt.
- Effiziente Anlagen wählen → durch die

Wahl effizienter Lampen, Reflektoren, Elektronik und langlebiger Gehäuse ist die Anlage wirkungsvoller und bringt langfristig Kosteneinsparungen.

- Energieeffiziente und langlebige Lampen → ermöglichen günstige Betriebskosten.
- Effiziente Reflektoren → lenken das Licht präzise und nutzen es besser.
- Effiziente und flexible Elektronik → dient der Energieeinsparung durch flexiblen Betrieb der Beleuchtungsanlagen mit Halbschaltung und vereinfacht das Lichtmanagement.
- Leuchten mit hohem IP-Schutzfaktor → haben eine konstantere Leuchtkraft in der Zeit, sind langlebiger und es dringen weniger Insekten ein.
- Korrekte und stabile Montage der Leuchten → vermindert schlecht orientiertes Licht und Streulicht.
- Regelmäßige Wartung und Instandhaltung von Beleuchtungsanlagen → dadurch können, wegen der konstanteren Leuchtkraft der Anlage, geringere Beleuchtungsstärken gewählt werden.
- Halbschaltung in der Nacht → wirkt sich positiv auf den Schlaf aller aus und auch auf die astronomischen Forschung.
- Lichtmanagement, Verminderung des Lichtes in gewissen Jahreszeiten → bei Zugperioden der Vögel oder allgemein in sensiblen Jahreszeiten der nachtaktiven Tiere, wie mancher Reptilien und Insekten, reduziert es die Todesfallen.
- Naturschutzgebiete mit großer Vorsicht beleuchten, Schutzgebietkategorien berücksichtigen und die jeweiligen geschützten Tierarten berücksichtigen → individuelle Behandlung der einzelnen Gebiete, da die Tiere unterschiedlich auf künstliches Licht reagieren.

▪ Direktes Licht auf Gewässer vermeiden → es beeinflusst das natürliche Verhalten der aquatischen Lebewesen.

- Lampen meiden, die kurzwellige Lichtanteile haben → Leuchtstofflampen, Metallhalogendampflampen, Quecksilberdampfhochdrucklampen können sich auf Mensch und Tier negativ auswirken.
- Lampen mit langwelligem Licht bevorzugen → Natriumdampfhochdrucklampen und Natriumdampfniederdrucklampen erzeugen eine schwächere Lichtglocke und beeinflussen die Lebewesen weniger.
- LEDs scheinen auch weniger Insekten anzulocken → LEDs gelten zur Zeit als zukunftssträftigste Beleuchtungstechnologie, die Anziehung von Insekten ist relativ gering, warmweiße LEDs ziehen am wenigsten an.
- Anforderungen der Schutzgebiete für astronomische Forschung einhalten → damit eine ungestörte Himmelsbeobachtung ermöglicht wird, zum Beispiel Lichtglocke meiden und langwelliges Licht einsetzen.
- Ländliche Gebiete sensibler behandeln → Beleuchtung beeinflusst dort die Umwelt stärker, da die Umgebung natürlicher ist als in städtischen Gebieten, somit muss Licht sparsamer eingesetzt werden.
- Maximalwerte festlegen für Licht, das in die Privatsphäre eindringt → Licht in einer Wellenlänge von 446-477nm und 50-100müW/cm² beeinflusst den Menschen.
- Richtlinien zur Lichtverschmutzung erlassen → Regeln für die öffentliche wie die privatwirtschaftliche Beleuchtung.
- Gesetzliche Regelungen auch für maximale Beleuchtungsstärken, nicht nur für Mindestbeleuchtung erlassen → eine wirkungsvolle Methode um der Lichtver-

schmutzung entgegenzuwirken, manche Länder haben eine solche Regelung bereits.

- Bewusstseinsbildung durch verschiedene Organisationen → gemeinnützige Organisationen, die sich mit dem Thema Lichtverschmutzung beschäftigen, tragen zur Aufarbeitung und zur Bekanntmachung des Problems bei.
- Behandlung des Themas in den Massenmedien → trägt zur Verbreitung und Bewusstseinsbildung der Problematik bei.
- Beratung der öffentlichen Entscheidungsträger → Politiker entscheiden oft über das Ausmaß und die Art der öffentlichen Freiraumbeleuchtung.
- Konfrontation der Fachleute und Planer mit der Lichtverschmutzung → sie müssen sich der Problematik bewusst sein und über mögliche Lösungen Bescheid wissen.

8.3.4. Konfliktbereiche

Es gibt natürlich auch ein paar Punkte, die nicht so einfach zu lösen sind, da sie den Anforderungen der verschiedenen Bereiche widersprechen.

- Kurzwelliges Licht, Lampen mit breitem Lichtspektrum → eine oft geforderte Lichteigenschaft bei Beleuchtungen ist eine hohe Farbwiedergabe, also auch die Wiedergabe von kurzwelligem (blauem)

Licht, was aber wie schon gesagt Tier, Mensch und Forschung beeinträchtigt.

- Höhere Beleuchtungsstärken für längere Wartungsintervalle → durch längere Wartungsintervalle fallen weniger Instandhaltungskosten an, die höheren Beleuchtungsstärken haben jedoch mehr Energiekosten.
- Hohe Beleuchtungsstärken zur Vermeidung starker Hell-dunkel-Zonen in gebäudenahen Bereichen → in Gebäuden sind die geforderten Beleuchtungsstärken um ein Vielfaches höher als im Freiraum, um Kontraste zu vermeiden wird im gebäudenahen Bereich oft stark beleuchtet.
- Auffällige Beleuchtungen → um auffällig zu beleuchten, werden oft sehr hohe Beleuchtungsstärken gewählt, was wiederum viel Umgebungslicht bedeutet.
- Beleuchtungsstärken in der Vertikalen zur Gesichtserkennung → können problematisches Umgebungslicht erzeugen.
- Meinungsverschiedenheiten zwischen Beleuchtungstechnikern und Naturwissenschaftlern → kann zu Konflikten führen, da diese unterschiedliche Interessen vertreten.
- Für das Nachtsehen sind Beleuchtungsstärken im kurzwelligen Bereich für das menschliche Sehen vorteilhafter → die Nachtruhe des Menschen und die nachtaktiven Lebewesen werden dabei jedoch stärker beeinträchtigt.

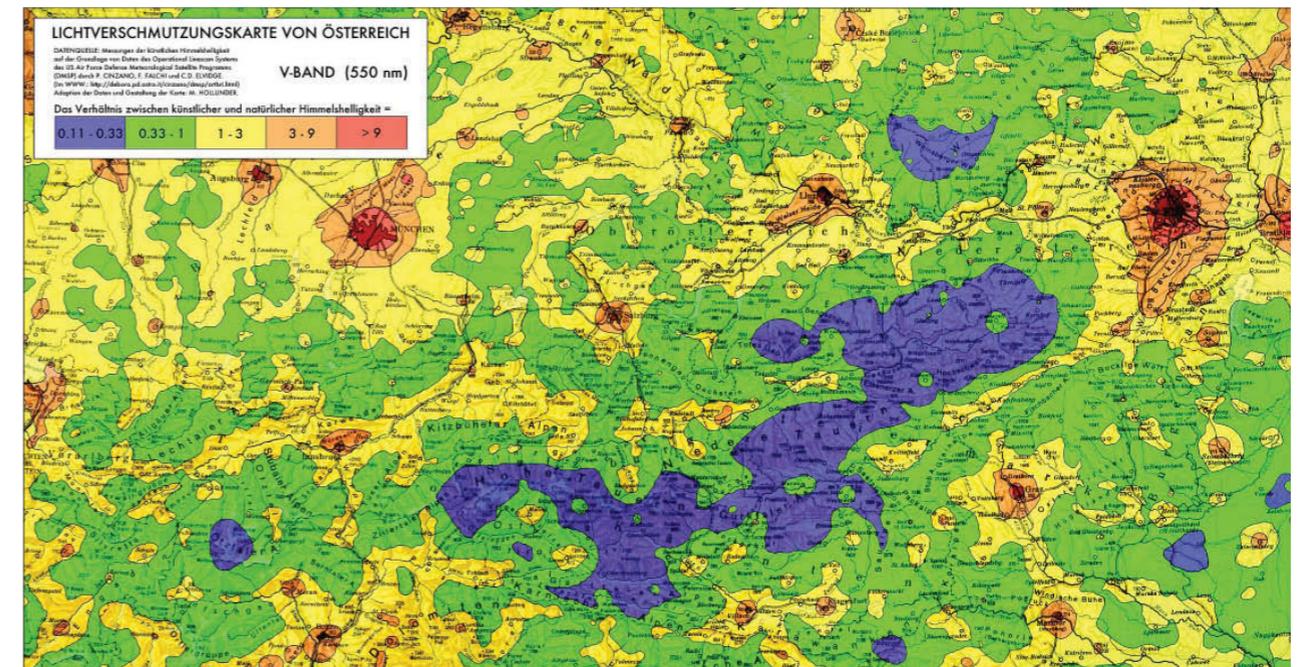


Abb. 154: Lichtverschmutzungskarte von Österreich. In den Alpen gibt es Gebiete, die von der Lichtverschmutzung verschont sind; die Städte hingegen sind stark von der Lichtverschmutzung beeinträchtigt.

9. Erkenntnisse aus der Befragung

Als Abschluss der Arbeit habe ich nun geprüft, wie mit dem Thema Lichtverschmutzung in der Praxis umgegangen wird. Mit mehreren Planern, Planerinnen und Fachleuten, welche mit dem Thema Freiraumbeleuchtung direkt konfrontiert sind, wurde ein Gespräch vereinbart. Bei diesen Interviews ging es nicht darum, die jeweiligen Firmen oder Personen zu werten, sondern herauszufinden, wie geläufig das Thema Lichtverschmutzung überhaupt ist. Folgende Fachkreise wurden interviewt:

- Öffentliche Abteilung
- Leuchtenhersteller
- Lampenhersteller
- Lichtplanungsbüro
- Landschaftsarchitekturbüro

9.1. Ablauf der Befragung

Als erster Schritt wurden Fragen für ein Leitfadeninterview vorbereitet. Dabei gab es allgemeine Fragen, welche für jeden Befragten gleich waren und andere, die speziell den jeweiligen Fachgebieten angepasst waren. Die Fragen für das Interview wurden von den zuvor ausgearbeiteten Punkten zur Vermeidung von Lichtverschmutzung abgeleitet, um zu überprüfen, ob sich die recherchierten Punkte bestätigen. Nach der Auswahl geeigneter Unternehmen und Fachleute erfolgte ein erstes Telefongespräch zur Kontaktaufnahme. Nach kurzer Erläuterung meines Anliegens, wurde vorab eine E-Mail mit einer kurzen Beschreibung und mit den Fragen für das Leitfadeninterview zugesendet. Mit den interessierten Fachleuten wurde anschließend ein Termin für ein persönliches Gespräch vereinbart. Sieben Firmen wurden angesprochen. Von diesen haben sich vier Personen für ein persönliches Gespräch in den jeweiligen Büros bereit erklärt, eine für ein telefonisches Interview, eine hat die Fragen kurz per E-Mail beantwortet und bei einer Person kam es zu keiner Terminvereinbarung.

9.2. Befragungen

An dieser Stelle werden nun die Fragen und Antworten der jeweiligen Interviews aufgezeichnet.

9.2.1. Öffentliche Abteilung

Das Interview fand im Jänner 2012 statt, dauerte ca. eine Stunde und wurde mit drei Beamten geführt.

1A Sind Sie in der Praxis mit Fragen zur Lichtverschmutzung konfrontiert?
Immer mehr.

2A Wie wichtig wird sie eingestuft?
Sie wird wichtig eingestuft.

3A Was wird aus Ihrer Sicht durch Lichtverschmutzung alles beeinflusst?

Die Umwelt, Fauna, Flora, Astronomie und die Bürger, vor allem jene, welche unterhalb des 2. Stockes wohnen, werden am stärksten von der Straßenbeleuchtung beeinflusst.

1B Wird im Lichtmasterplan der Stadt Wien die Lichtverschmutzung berücksichtigt? Falls ja, welchen Stellenwert hat diese?

Die Lichtverschmutzung wird indirekt behandelt und zwar durch den Einsatz effizienterer Technik, die durch ihre bessere Ausbeute weniger Lichtverschmutzung erzeugt. Dazu ist zu sagen, dass Lichtverschmutzung erst in den letzten Jahren berücksichtigt wird.

2B Gibt es im Masterplan unterschiedliche Zonen, die verschieden behandelt werden und wodurch unterscheiden sich diese Zonen?

Der Masterplan gilt für das gesamte Stadtgebiet, und die unterschiedlichen Zonen orientieren sich an den Anforderungen der Richtlinien.

3B Gibt es Zonen, bei denen der Lichtverschmutzung besonderes Augenmerk gewidmet wird?

Es gibt Bereiche, wo sie speziell berück-

◀ Abb. 155: Durch die Wolkendecke ersichtliche Beleuchtungen

sichtigt wird, z.B. auf der Donauinsel, in den Parkanlagen und am Stadtrand. Weiters werden historische Gebiete gesondert behandelt, z.B. in Grinzing wird historisch bedingt gelbes Licht bevorzugt und es gibt auch unterschiedliche Anforderungen vom Bundesdenkmalamt.

4B Wie wird in Wien die Halbschaltung betrieben?

In Wien wird zwischen 23:00 und 5:00 Halbschaltung betrieben, jedoch nur im unterrangigem Straßennetz, im überrangigen ist das nicht möglich, da sonst die Anforderungen der Richtlinien nicht erfüllt werden können. Die Anstrahlungen werden ab 24:00 abgeschaltet und morgens auch nicht mehr eingeschaltet.

5B Gibt es auch ein Lichtmanagement für verschiedene Jahreszeiten?

Die Beleuchtung wird bei Dämmerung eingeschaltet, die Zeit ist somit jahreszeitlich abhängig, sonst gibt es nichts. Es wird jedoch darüber nachgedacht, ob in manchen Orten, wie z.B. auf der Donauinsel, die Beleuchtung im Winter ausgeschaltet werden sollte.

6B Wie lange sind die Wartungszyklen der Beleuchtungsanlagen in Wien? Wird eine Strategie des Gruppentausches der Lampen verfolgt?

Die Wartungszyklen orientieren sich an den Angaben der Lampenhersteller und es wird Gruppentausch gemacht.

7B Werden die Leuchten nur bei Tausch der Lampe gewartet oder z.B. zusätzlich nach Verschmutzung geprüft und gereinigt?

Bei langen Wartungszyklen ist es schon sinnvoll, die Leuchten nach spätestens 5 Jahren zu reinigen. Die Verschmutzung ist jedoch auch vom Standort der Leuchte abhängig, innerstädtisch z.B. gibt es kaum Verschmutzung der Leuchten. Durchschnittlich jedoch liegt die Lebensdauer der meisten Lampen bei 3-4 Jahren somit wird praktisch nur beim Lampentausch gereinigt.

8B Mit welcher Lebensdauer einer Beleuch-

tungsanlage rechnen Sie, bzw. wie lange dauert es, bis sie erneuert wird?

Grundsätzlich wird mit 30 Jahren gerechnet, aber es kann auch anders sein.

9B Was wird bei einer Neuerrichtung oder Erneuerung einer Freiraumbeleuchtung berücksichtigt, welche Faktoren spielen dabei eine Rolle?

Man orientiert sich an dem Stand der Technik, dabei werden wirtschaftliche, ökonomische aber auch ökologische Faktoren berücksichtigt, welche aber von den Richtlinien vorgegeben sind.

10B Gibt es Leuchtentypen, die von vorneherein ausgeschlossen werden?

Es scheiden all jene aus, welche nicht die Vorschriften erfüllen.

11B Welche Leuchten werden eingesetzt? Wäre Ihres Erachtens ein ausschließlicher Einsatz von Full-cut-off-Leuchten sinnvoll?

Full-cut-off-Leuchten haben das Problem, dass sie kein Streulicht erzeugen und somit ausschließlich den Weg beleuchten und außerhalb des Weges entstehen Dunkelzonen, welche Angstzonen erzeugen. Weiters sind bei dieser Leuchtenart die Lichtpunkte nicht erkennbar und somit gibt es keine subjektive Orientierung mehr.

12B Gibt es in Wien eine Regelung, welche das Eindringen von Licht in die Privatsphäre beschränkt?

Es wird nach der Regel „andere dürfen andere nicht beeinflussen“ verfahren. Es wird versucht, die Beeinträchtigung gering zu halten. Gewisse Dinge müssen akzeptiert werden, aber wir gehen offen auf die Bürger zu und es wird immer versucht, einen Konsens zu finden. Natürlich gibt es Beeinträchtigungen in den unteren Geschoßen. Es ist aber noch nie zu einem gerichtlichen Verfahren gekommen.

13B Gibt es in Wien ein Monitoring-Programm betreffend die Lichtverschmutzung oder die Entwicklung der Lichtglocke über der Stadt?

Wir führen keines, es liegt auch nicht in unserem Aufgabenbereich, dafür ist die

Umweltanwaltschaft zuständig, die etwas in diese Richtung macht.

14B Gibt es sonstige Maßnahmen um Lichtverschmutzung zu vermeiden?

Die MA 46 beschäftigt sich mit den Beleuchtungen von Schaufenstern und Reklametafeln, die mit ihren hohen Beleuchtungsstärken eine große Auswirkung haben.

4A Wird Ihrer Meinung nach genügend gegen die Lichtverschmutzung unternommen?

Aus persönlicher Sicht nicht, da immer noch die Meinung vertreten ist, dass mehr Licht für mehr Sicherheit sorgt. Weiters gibt es nur Regelungen von Mindestbeleuchtungsstärken, die Obergrenze wird hauptsächlich durch den wirtschaftlichen Faktor begrenzt. Aber die öffentliche Beleuchtung ist nur für 10-12% der Lichtverschmutzung verantwortlich. Problematisch sind private Beleuchtungen, wie jene von Schaufenstern und Werbetafeln, weiters tragen auch die Autoscheinwerfer zur Lichtverschmutzung bei.

5A Glauben Sie, es ist diesbezüglich genügend Bewusstsein vorhanden?

Es wird immer besser, durch die Veröffentlichung der Problematik, aber auch die effizientere Technik trägt indirekt zu einer Verbesserung bei, welche aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen (Stromsparen) vorangetrieben wird.

6A Würden Sie es als sinnvoll erachten, wenn es genaue Richtlinien und eine gesetzliche Kontrolle der Lichtverschmutzung gäbe?

Grundsätzlich ja, uns betrifft das aber weniger, da wir nach den Normen und dem Stand der Technik arbeiten, aber im privaten Bereich wäre eine Regelung sinnvoll.

7A Wird in Schulungen für Fachleute das Thema Lichtverschmutzung behandelt? Wenn ja in welchem Ausmaß? Gibt es spezifische Schulungen dafür?

Es gibt Schulungen, Messen, Kongresse und Vorträge, welche einen auf den letzten Stand bringen. Weiters werden auch

Lichtberechnungen gemacht, um die Lichtverschmutzung zu beurteilen, z.B. mit DIALUX.

Sonstiges:

Es ist noch hinzuzufügen, dass wir uns in einem Umbruch der Technologie befinden, wir nähern uns der LED Technik, die eine immer bessere Lichtausbeute erzielt. Im untergeordneten Straßennetz kommt diese auch schon zum Einsatz, dabei werden Lichttemperaturen von 4.200-4.500 K bevorzugt eingesetzt (dem Mondlicht ähnliche Lichttemperatur). Der heutige Standard sind jedoch noch die Entladungslampen, sie sind derzeit effizienter, haben eine geprüfte Lebensdauer und es gibt Long-life-Lampen, die bis zu 12 Jahre Lebensdauer haben. Bis 2015 werden sicherlich Entladungslampen noch Stand der Technik bleiben. Weiters ist die LED-Technik noch viel zu teuer, ihre Effizienz wird oft mit den schlechtesten Entladungslampen konfrontiert, sodass dessen Pay-back-Zeit nicht wirklich der Realität entspricht, außerdem ist ihre Lebensdauer noch nicht geprüft.

9.2.2. Leuchtenhersteller

Das Interview wurde im November 2011 telefonisch geführt, dauerte ca. 45 Minuten und wurde mit einem Techniker einer führenden Leuchtenherstellerfirma geführt.

1A Sind Sie in der Praxis mit Fragen zur Lichtverschmutzung konfrontiert?

Ja.

2A Wie wichtig wird sie eingestuft?

Es ist Standard, sich mit Lichtverschmutzung zu befassen, aber schlussendlich ist der Kunde, der wählt, ob er den Standard befolgt oder nicht.

3A Was wird aus Ihrer Sicht durch Lichtverschmutzung alles beeinflusst?

Es gibt kaum etwas, das nicht durch Lichtverschmutzung beeinflusst wird. Das gesamte soziale Umfeld ist davon betroffen.

1C Welche Faktoren werden bei der Entwicklung von Leuchten als wichtig erachtet?

Die Leuchten werden nach den Normen entwickelt. Dabei orientiert man sich an allen Normen weltweit, wo die Firma ihre Standorte hat und wir sind in 44 Ländern vertreten. Berücksichtigt werden z.B. die Lichtverteilung, Lichtstärke, Blendung, Homogenität der Ausleuchtung, die Montagehöhe... In Europa ist die Standardnorm die EN 13 201 und in Österreich ist sie noch durch die O 1051 ergänzt und im Regelwerk für Verkehrsregeln 512 geregelt. In Deutschland ist die Beleuchtung regional rechtlich verankert.

In Österreich gibt es keine Pflicht zu beleuchten, wenn aber beleuchtet wird, gibt es eine Norm dafür. Der Weghalter hat die Pflicht, Wege und Straßen so zu halten, damit nichts passiert und er entscheidet, wie und in welchem Ausmaß beleuchtet wird und trägt dann die Verantwortung.

2C Laut vielseitiger Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtverschmutzung sollten ausschließlich Full-cut-off-Leuchten eingesetzt werden. Ist diese Empfehlung Ihres Erachtens sinnvoll?

Eine Straßenbeleuchtung muss auch die optische Führung erfüllen, d.h. der Straßenverlauf muss leicht zu erkennen sein. Leuchten mit geringer Montagehöhe bis 5 m Höhe sollten ein bauchiges Glas haben, damit der Lichtpunkt sichtbar ist, jedoch darf er nicht zu dominant sein, damit er nicht blendet. Ab 6 m Montagehöhe der Leuchten sollten dann 100% Full-cut-off Leuchten eingesetzt werden, da durch die hohe Montagehöhe der Lichtpunkt auch von der Ferne noch erkennbar ist. Dieses Schema wird auch praktiziert, jedoch hat dies einen Effizienz hintergrund.

3C Weiters gibt es Empfehlungen, gewisse Lampentypen für die Freiraumbeleuchtung zu meiden. Wäre es Ihres Erachtens positiv, Leuchten mit fraglichen Leuchtmitteln aus dem Programm zu nehmen?

Natürlich sind z.B. ineffiziente Quecksilberdampflampen, die in Zukunft auch verboten werden, nicht sinnvoll, aber es

gibt Kunden, welche diese trotzdem noch kaufen und wir führen Produkte mit diesen Lampen auch noch, da sonst der Kunde einfach zu einem anderen Hersteller geht, der sie anbietet. Leider müssen solche Dinge gesetzlich geregelt werden. Wichtig ist, dass nicht überbeleuchtet wird und ab 22 - 23 Uhr die Beleuchtung reduziert wird. LEDs sind auch nicht der einzige Weg zu beleuchten. Die Tiroler Umweltschutzgesellschaft gibt die Broschüre „Die helle Not“ heraus, wo Empfehlungen für verschiedene Lampen gegeben werden. Die 2. Auflage war die beste Auflage, da hier nicht im Alleingang gearbeitet wurde, sondern auch Lichttechniker herangezogen wurden. Es gibt auch eine rezente Studie aus Innsbruck, jedoch ist diese wenig aussagekräftig, da sie nur über einen Monat lief. Eine sehr umfangreiche Studie hingegen wurde vor ca. 7- 8 Jahren in der Lobau durchgeführt.

4C Gibt es Leuchtenmodelle, die aus Ihrem Programm genommen wurden, weil sie zu viel Lichtverschmutzung erzeugt haben?

Nein, es gibt zwar Modelle, die aus dem Programm genommen wurden, aber nicht wegen ihrer Lichtverschmutzung, sondern weil sie obsolet waren. Wir vertreiben auch noch Kugelleuchten und Stelenleuchten, welche in alle Richtungen Licht abstrahlen, die jedoch als Lichtobjekte gesehen werden und weniger als Beleuchtung. Wir haben natürlich Leuchten mit effizienter Lichttechnik, wo das Licht auch genau gelenkt wird, ohne dass es in die Umwelt gelangt, jedoch entscheidet der Kunde, welche Leuchten er nimmt und wohin wie viel Licht gelangen soll.

5C Gibt es eine Klassifikation für Leuchten, welche wenig Lichtverschmutzung erzeugen?

In der EN 13 201 im Anhang von Teil 2 gibt es eine Klassifikation nach Blendungsbewertung in den D0...D6 Klassen. Es gibt auch Ausschreibungen, welche die Blendungsklassen berücksichtigen und hier gilt: je geringer die Blendung desto geringer die Lichtverschmutzung.

Die Einteilung der CIE E1...E4 Zonen ist

nur verbal definiert und kann rechtlich eigentlich nicht erfasst werden, da die Begriffe wie Land, Stadt und Naturraum örtlich immer unterschiedlich definiert werden und somit leicht anders ausgelegt werden können. Lediglich bei Überschreitung von z.B. zwei Klassen kann hier rechtlich vorgegangen werden, d.h. bei eindeutiger Überschreitung.

6C Oft haben die Leuchtenhersteller/Vertreiber auch beratende Funktion. Machen Sie bei der Präsentation Ihrer Produkte auf das Problem der Lichtverschmutzung aufmerksam?

Ich bin täglich mit der Beratung konfrontiert, es ist ein Service, den unsere Firma bietet und wir haben auch verschiedene Personen, welche für spezielle Bereiche im Außendienst tätig sind, wie z.B. für die Behörden oder die Asfinag. Es werden bei den Beratungen aber immer viele Kompromisse geschlossen. In Österreich ist auch 50% der Freiraumbeleuchtung nicht normgerecht, wie z.B. die über 100.000 Pendelleuchten in Wien. In Wien werden auch alte Modelle neu installiert, wie die ‚Maiglöckchen‘, die nicht lichtverschmutzungsverträglich sind. Solche Modelle werden jedoch in der Innenstadt zwischen den Häusern montiert, wo die Hausfassaden das Licht seitlich abschirmen.

4A Wird Ihrer Meinung nach genügend gegen die Lichtverschmutzung unternommen?

Nein, die Bestände sind kritisch, jedoch gibt es auch nicht die finanziellen Mittel dazu, diese zu erneuern. Weiters wird auch bei Erweiterungen und Ergänzungen von Anlagen, wie z.B. bei neuen Wohnsiedlungen, nicht darauf geachtet, dass effiziente Modelle installiert werden, sie werden an den Bestand angepasst. Bei einer Gesamtplanung wird jedoch sehr wohl auf die Lichtverschmutzung Rücksicht genommen.

5A Glauben Sie, es ist diesbezüglich genügend Bewusstsein vorhanden?

Nein, nicht überall. In Großstädten wie Wien oder anderen Städten, welche sich

zuständige Fachleute für die Beleuchtung leisten, ist schon ein Bewusstsein vorhanden. Jedoch am Land, in Gemeinden und Orten, wo der Bürgermeister entscheidet, welche Beleuchtungen installiert werden und dann einem Elektriker die Planung und Installation übergeben wird, wird kaum was gegen die Lichtverschmutzung unternommen, obwohl die ländliche Gegend viel sensibler ist als die innerstädtische.

6A Würden Sie es als sinnvoll erachten, wenn es genaue Richtlinien und eine gesetzliche Kontrolle der Lichtverschmutzung gäbe?

Seit mittlerweile 3 Jahren wird an der Önorm O 1052 gearbeitet, die voraussichtlich 2012 fertig gestellt werden soll. Diese Norm ist sehr umfangreich und es arbeiten Fachleute aus unterschiedlichen Bereichen mit, wie jene der Umweltschutzgesellschaft, Augenärzte, Umweltschützer und Lichtplaner. Ich arbeite auch mit.

7A Wird in Schulungen für Fachleute das Thema Lichtverschmutzung behandelt? Wenn ja in welchem Ausmaß? Gibt es spezifische Schulungen dafür?

In Österreich gibt es verschiedene Möglichkeiten sich auszubilden. Das Österreichische Norminstitut AS bietet lichttechnische Ausbildungen an, in Krems an der Donauuniversität gibt es einen Lehrgang zur Lichtplanung und die private Lichtakademie in Tirol ist sehr gut. Die AS (Austrian Standards) bietet auch eine 15-tägige Ausbildung für Innen- und Außenbeleuchtung an, mit jährlich 20-30 Absolventen/innen. Die LTG (Lichttechnische Gesellschaft Österreich) organisiert auch jährlich eine Tagung, welche jedoch nicht so einen hohen technischen Wert hat. Alle zwei Jahre gibt es eine europäische Gesamtveranstaltung mit lichttechnischen Gesellschaften aus verschiedenen Ländern, 2010 war sie in Wien. In Deutschland gibt es Lehrgänge zur Lichtplanung in Ilmenau, Karlsruhe und Berlin.

Bei Ausbildungen ist die Lichtverschmutzung Thema, ohne dieses Thema geht es gar nicht.

9.2.3. Lampenhersteller

Das Interview wurde im Dezember 2011 abgehalten, dauerte ca. eine Stunde und wurde mit einem Techniker einer führenden Lampenherstellerfirma geführt.

1A Sind Sie in der Praxis mit Fragen zur Lichtverschmutzung konfrontiert?

Ja, immer wieder und immer mehr.

2A Wie wichtig wird sie eingestuft?

Dies ist regional abhängig. In der Stadt ist sie weniger wichtig und am Land wichtiger. Es hängt aber auch von den Ländern ab, wie wichtig das Thema der Lichtverschmutzung eingestuft wird. Im Land Tirol, welches auch die Broschüre „die helle Not“ herausgibt, wird sie z.B. als wichtig eingestuft.

3A Was wird aus Ihrer Sicht durch Lichtverschmutzung alles beeinflusst?

Diese Frage ist sehr umfangreich. Die Lichtverschmutzung kann von den biologischen Faktoren der Tiere bis hin zu den biologischen Faktoren der Menschen vieles beeinflussen. Wobei ich persönlich die Himmelsaufhellung, so dass die Sterne nicht mehr sichtbar sind, als stärkste Beeinträchtigung sehe. Weniger problematisch finde ich die Beeinflussung der Insekten.

1D Wie ist der Trend der Entwicklung von Lampen für Freiraumbeleuchtung, welche Lampentypen werden am meisten eingesetzt?

Generell gesagt werden hauptsächlich Hochdruck-Entladungslampen eingesetzt. Viel werden die Natriumdampfhochdrucklampen bis zu 400W eingesetzt. Wo stärkere Leistungen - wie bei Sportplätzen - benötigt werden, kommen Metallhalogendampflampen bis 2000W zum Einsatz. Die Tendenz ist, Lampen zu verwenden, die eher weißes Licht mit besserer Farbwiedergabe haben und auch LEDs kommen zunehmend zum Einsatz. Leuchtstofflampen zur Straßenbeleuchtung werden eigentlich nur in Wien eingesetzt. Natriumdampfniederdrucklampen sind in der Straßenbeleuchtung problematisch, da keine Farben erkannt werden können

und der Rettungsdienst z.B. nicht farblich zwischen einer Blutlacke und einer Öllacke unterscheiden kann.

2D Auf was wird bei der Entwicklung von Lampen geachtet? Spielt dabei das Thema Lichtverschmutzung eine Rolle?

Bei der Lampenentwicklung spielt die Lichtverschmutzung keine Rolle, dies ist bei der Entwicklung von Leuchten Thema. Am stärksten wird an der Energieeffizienz gearbeitet, weiters an der Farbwiedergabe. Neues gibt es eigentlich nichts, es wird eigentlich nur an der Verbesserung bestehender Technologien gearbeitet.

3D Werden neue Lampen auf Lichtverschmutzung überprüft, welche Faktoren spielen dabei eine Rolle?

Die Lampen werden zwar auf deren Spektralbereiche vermessen aber speziell in Hinsicht der Lichtverschmutzung wird nichts gemacht. Dazu ist zu sagen, dass auch die Natriumdampfhochdrucklampen einen UV-Anteil haben, der aber über dem abgebildeten Spektralbereich der Vermessung liegt, und dass die Metallhalogendampflampen mit Keramikbrenner einen vergleichbaren UV-Anteil haben, aber ein weißes Licht abgeben und eine bessere Farbwiedergabe haben.

4D Führen Sie ein lichtverschmutzungsverträgliches Lampenprogramm? Gibt es Empfehlungen, welche Lampen gemieden werden sollen?

Im Prinzip werden Lampen für alle Leuchten gehandelt, wir geben schon Empfehlungen ab, jedoch spielt dabei die Energieeffizienz eine entscheidende Rolle. Ineffiziente Technologien werden nicht empfohlen, wie z.B. Quecksilberdampfhochdrucklampen.

5D Viele Studien besagen, dass hauptsächlich kurzwelliges Licht und UV-Licht in der Nacht am schädlichsten sind. Sollte die Entwicklung von Lampen, welche sich nicht negativ auf die Umwelt auswirken, gefördert werden?

Eigentlich ist von der Bevölkerung das Licht erwünscht und auch der Zeitrythmus der Menschen hält sich nicht mehr an

den Tag. Der Mensch ist auch nicht nur der Straßenbeleuchtung ausgesetzt sondern auch dem kurzweiligem Licht der Autoscheinwerfer.

6D Heute werden LEDs propagiert, als ob diese die Zukunft zur Lösung aller Lichtprobleme seien, sehen Sie das auch so?

Nein, LEDs sind definitiv nicht die Lösung, die Energieeffizienz ist nicht so gut, bei den professionellen liegen wir bei 75 lm/W sonst auch wesentlich weniger. Eine Natriumdampfhochdrucklampe hat im Vergleich 120 lm/W, auch ist die Lebensdauer der LEDs noch nicht geprüft. Vom Gesetz her müssen LEDs und deren Elektronik 10 Jahre lang halten, eine Straßenbeleuchtung wird jedoch mit einer Lebensdauer von 25 Jahren kalkuliert, wobei nicht selten Anlagen auch für 40 Jahre betrieben werden. Auch die Elektronik der Entladungslampen ist noch nicht geprüft, konventionelle Vorschaltgeräte mit Eisenkern halten im Vergleich dazu ewig, es gibt nur manchmal Ausfälle bei den Zündgeräten.

7D Wie ist der Status quo, wie gut entwickelt sind LED-Lampen heute schon und was sind die Alternativen dazu?

LED-Lampen, welche als Ersatz von Lampen gehandelt werden, sind keine Alternative und haben keinen Sinn. Sie werden auch nur von Händlern, die aus dem Kofferraum verkaufen, empfohlen. Es gibt jedoch Module, welche sich nach einem Normierungssatz orientieren, die auch zwischen den Herstellern tauschbar und kompatibel sind. Solche Elemente sind dann sehr wohl eine Alternative zu den Lampen. Auch komplette LED-Leuchten sind eine Alternative zu den Lampen.

8D Ist die Glühbirne wirklich so schädlich, dass sie verboten werden musste?

Schädlich sind diese nicht, sie wurden wegen ihrer Ineffizienz von der EU verboten.

4A Wird Ihrer Meinung nach genügend gegen die Lichtverschmutzung unternommen?

Nein, aber das Thema ist sehr ausbaufähig.

hig.

5A Glauben Sie, es ist diesbezüglich genügend Bewusstsein vorhanden?

Bewusstsein ist nicht genug vorhanden, es ist aber im Kommen.

6A Würden Sie es als sinnvoll erachten, wenn es genaue Richtlinien und eine gesetzliche Kontrolle der Lichtverschmutzung gäbe?

Es gibt z.B. die RVS- Verordnung, welche die Beleuchtung von Reklametafeln regelt, jedoch ist diese hauptsächlich entstanden, damit der Straßenverkehr nicht abgelenkt wird.

In Slowenien z.B. gibt es die gesetzliche Regelung, dass nur Full-cut-off Leuchten in der StraÙebeleuchtung eingesetzt werden dürfen. Für z.B. Fassadenbeleuchtung gibt es hier dann noch Sonderregelungen.

Das größte Thema ist jedoch die Effizienz von Beleuchtungen und dazu ist zu sagen, dass durch die Effizienz auch die Lichtverschmutzung sinkt, da Licht nur effizient werden kann, wenn es gezielt eingesetzt wird.

In Österreich gibt es eigentlich keine Pflicht zu beleuchten, aber sobald beleuchtet wird, muss man sich an die Normen halten. Weiters gibt es eine Regelung bei der Beleuchtung von Konfliktzonen wie z.B. von Kreuzungen, die doppelt so hell beleuchtet werden müssen. Oft werden Konfliktzonen auch noch zusätzlich in einer anderen Farbe beleuchtet, damit sie besser hervorgehoben werden.

7A Wird in Schulungen für Fachleute das Thema Lichtverschmutzung behandelt? Wenn ja in welchem Ausmaß? Gibt es spezifische Schulungen dafür?

Lichtverschmutzung wird in den Schulungen am Rande behandelt aber sie ist Thema. Die LTG (Lichttechnische Gesellschaft) möchte eine Institution sein, an die man sich für alle lichttechnischen Probleme wenden kann und sie behandelt dieses Thema auch in ihren Vorträgen.

9.2.4. Lichtplanungsbüro

Das Interview wurde im Dezember 2011 geführt, dauerte ca. eine Stunde und wurde in einem Wiener Lichtplanungsbüro gehalten.

1A Sind Sie in der Praxis mit Fragen zur Lichtverschmutzung konfrontiert?

Ja, dabei geht es um Lichtimmission (Licht das z.B. durch die Fenster in Wohnungen eindringt) und Lichtemission (Licht das frei in den Himmel strahlt).

2A Wie wichtig wird sie eingestuft?

Sehr wichtig.

3A Was wird aus Ihrer Sicht durch Lichtverschmutzung alles beeinflusst?

Durch Lichtverschmutzung wird die visuelle Qualität des nächtlichen Raumes beeinflusst z.B. durch blendendes Licht. Die Natur, Tiere und Menschen werden beeinflusst. Die Astronomie wird auch stark beeinflusst, nicht nur für die wissenschaftliche Forschung auch die persönlich emotionalen Erfahrungen des Himmels. Die Lichtverschmutzung ist aber auch von den atmosphärischen Gegebenheiten abhängig, dunstige Luft verstärkt die Lichtverschmutzung.

Es ist jedoch auch zu sagen, dass Licht positive Seiten hat, wie Verleihung von Sicherheitsgefühl und bessere Orientierung in der Nacht.

1E Erstellen Sie Lichtmasterpläne?

Ja, derzeit haben wir den Lichtmasterplan von Wien erstellt aber wir haben auch noch andere in Arbeit.

2E Welches sind hier die Hauptthemen? Ist dabei Lichtverschmutzung auch ein Thema?

Lichtverschmutzung ist bei den Masterplänen Thema. Weitere Themen sind z.B. kulturelle Aspekte und Sicherheitsaspekte.

3E Werden bei der Erarbeitung von Lichtkonzepten unterschiedliche Varianten durchdacht und - falls ja - durch was unterscheiden sich diese?

Ja, anfangs auf jedem Fall, aber meistens kristallisiert sich schon bald am Anfang

die beste Lösung heraus, welche dann ausgearbeitet wird. Es gibt kein Standard-schema nach dem vorgegangen wird, die Planung einer Beleuchtung ist meist sehr individuell auf den Ort bezogen und es ist schwierig, ein Schema auf einen anderen Ort zu übertragen.

4E Spielt die Bewahrung der Dunkelheit in Ihrer Planung eine Rolle?

Ja, spielt eine Rolle.

5E Gibt es bei der Beleuchtungsplanung unterschiedliche Ansätze für ein städtisches Gebiet im Vergleich zu einem ländlichen Gebiet?

Ja, es gibt Unterschiede. In der Stadt wird viel dichter und flächendeckender beleuchtet, am Land wird geringer beleuchtet und man kann mit wenig Mitteln mehr erreichen. Am Land wird mit Licht dezent gearbeitet und gewisse Punkte eines Ortes können somit mit wenig Mitteln gut wirken.

6E Erstellen Sie Simulationen von Beleuchtungen?

Ja.

7E Kann dabei auch deren Lichtverschmutzung berechnet werden? Falls ja - wird das gemacht?

Die Lichtverschmutzung kann nicht direkt berechnet werden bzw. es gibt kein Tool, das die gesamte Lichtverschmutzung am Ende zeigt, welche eine Anlage erzeugt. Es können aber auf verschiedenen Ebenen (sei es horizontal wie vertikal) die Leuchtdichten gemessen werden und daraus kann abgelesen werden, wie groß die Leuchtdichte über den Leuchten ist. Die Messung der Leuchtdichte auf den Ebenen ist eigentlich dazu da, die Mindestbeleuchtungsstärken zu ermitteln. An Fassaden wird jedoch z.B. die Leuchtdichte gemessen um die Lichtimmission an den Fenstern zu bewerten.

8E Kennen Sie eine Klassifikation von Umweltzonen, welche maximale Grade an Lichtverschmutzung vorgeben? Wurden Sie schon einmal damit konfrontiert?

Naturschutzgebiete werden schon anders

behandelt, dort wird eher dezent beleuchtet.

9E An welchen Richtlinien orientieren Sie sich bei der Wahl der Beleuchtungsstärken?

Man orientiert sich an den Normen, wobei diese für Straßenbeleuchtungen gelten. Fassadenbeleuchtungen werden mehr nach Gefühl bewertet. Im ländlichen Gebiet muss man jedoch die Beleuchtungen kritischer bewerten.

10E Spielt bei Ihrer Wahl der Leuchten die Lichtverschmutzung eine Rolle?

Ja, bei der Leuchtenwahl spielt die Lichtverschmutzung eine Rolle. Wobei eigentlich der langfristig gesehene wirtschaftliche Faktor dabei die Hauptrolle spielt, effiziente Leuchten erzeugen weniger Lichtverschmutzung, somit stehen diese beiden Dinge in Zusammenhang.

11E Spielt bei der Wahl der Lichtart/Lampenart die Lichtverschmutzung eine Rolle?

Eigentlich spielt mehr die Leuchtenwahl eine Rolle und weniger die Lampenart. Natürlich gibt es Lampen, die gemieden werden sollen, wie die Quecksilberdampflampen, diese werden aber ohnehin bald verboten.

12E Bei Objektanstrahlungen geht oft viel Licht in den Himmel verloren. Treffen Sie besondere Maßnahmen, um das zu verhindern?

Ja, dabei wird geachtet, dass eine gebäudenahe Beleuchtung gewählt wird und das Licht gut gelenkt wird.

13E Sehen Sie ein gravierendes Problem in der Bildung einer Lichtglocke über einem Gebiet? Falls ja, was glauben Sie wird dadurch beeinflusst?

Ja, ist aber von den atmosphärischen Gegebenheiten stark abhängig, sprich von der Luftfeuchtigkeit und vom Smog. Schon aus einem wirtschaftlichen Gesichtspunkt sollte darauf geachtet werden, dass die Lichtglocke gering gehalten wird, da das Licht, welches sie erzeugt, ohnehin Licht ist, das in den Himmel verloren geht.

14E Gibt es generell Faktoren, die Sie immer berücksichtigen um Lichtverschmutzung zu vermeiden?

Ja, vor allem die Ausblendung von Licht, das nach oben hin abgestrahlt wird, und die präzise Lichtlenkung.

4A Wird Ihrer Meinung nach genügend gegen die Lichtverschmutzung unternommen?

Nein, das Problem ist jedoch, dass die Beleuchtung von Fachleuten gemacht werden sollte, denn ihnen ist die Problematik der Lichtverschmutzung geläufig. Eine Beleuchtung, die nicht von einem Lichtplaner gemacht wurde, ist vergleichbar mit einem Haus, das nicht von einem Architekten geplant wurde. Das Problem darf aber auch nicht als Religion angesehen werden, wenn z.B. Politiker entscheiden, dass nur mehr gelbes Licht von Natriumdampflampen verwendet werden darf, ist dies nicht Ziel führend, da es nur zu Einschränkungen führt, wodurch die Qualität leidet.

5A Glauben Sie, es ist diesbezüglich genügend Bewusstsein vorhanden?

Nicht wirklich. Es gibt zwar hie und da in den Medien etwas, aber in den Medien werden die Probleme oft realitätsfremd und schreiend dramatisch dargestellt.

6A Würden Sie es als sinnvoll erachten, wenn es genaue Richtlinien und eine gesetzliche Kontrolle der Lichtverschmutzung gäbe?

Heikles Thema. Eigentlich nicht, da dies nach hinten losgehen kann. Das Problem ist, dass Gesetze nicht von Fachleuten durchdacht werden, sondern von Leuten, die sich nicht in dem Fach auskennen. Besser wäre, wenn die Beleuchtungen von Fachleuten geplant würden. Es gibt schon Dinge, welche mit Gesetzen geregelt werden können, wie z.B. die Regelung Blendung zu vermeiden. In diese Richtung gibt es auch bereits Vorschriften, z.B. dass Licht die Piloten nicht blenden darf. Ein problematisches Thema sind die Werbetafeln, hier wird viel falsch gemacht.

7A Wird in Schulungen für Fachleute das

Thema Lichtverschmutzung behandelt? Wenn ja in welchem Ausmaß? Gibt es spezifische Schulungen dafür?

Ja, in Schulungen wird die Lichtverschmutzung schon behandelt. In Fachkreisen ist es schon lange Thema. Das Normungsinstitut bietet auch Schulungen für Freiraumbeleuchtungen an, wo es auch immer neue Kurse gibt, um am laufenden zu bleiben.

9.2.5. Landschaftsarchitekturbüro

Das Interview wurde im Dezember 2011 geführt, dauerte ca. 45 Minuten und wurde in einem Garten- und Landschaftsarchitekturbüros in Wien geführt.

1A Sind Sie in der Praxis mit Fragen zur Lichtverschmutzung konfrontiert?

Eigentlich nicht, man weiß zwar, dass es die Lichtverschmutzung gibt, aber man setzt sich nicht wirklich damit auseinander.

2A Wie wichtig wird sie eingestuft?

Die Problematik der Lichtverschmutzung wird eigentlich als unwichtig eingestuft. Mir persönlich ist das Thema aber schon wichtig.

3A Was wird aus Ihrer Sicht durch Lichtverschmutzung alles beeinflusst?

Die Stimmung des Umfeldes wird durch die Lichtverschmutzung zerstört. Der Sternenhimmel ist nicht mehr oder nur mehr teilweise sichtbar, welcher einen Qualitätsfaktor der Landschaft ausmacht. Das Licht fließt in der Landschaft immer mehr auseinander, früher waren von der Ferne nur konzentrierte Lichtpunkte zu sehen, heute haben sie sich zu großflächigen Lichtfeldern ausgebreitet. Die Lichtglocke ist oft deutlich schon von der Ferne erkennbar. Licht wirkt sich auf die Tierwelt aus und ist ein ökologisches Problem.

1F Wird bei einer Freiraumplanung manchmal auch ein Beleuchtungskonzept von Ihnen gefordert?

Ja, bei der Gartenplanung ist die Beleuchtung schon ein Teil der Planung. Auch temporäre Beleuchtungen fallen dabei ins Gewicht.

2F Machen Sie die Lichtplanung selbst oder greifen Sie auf externe Hilfe zurück?

Wenden Sie sich dabei an spezialisierte Lichtplanungsbüros oder an Produkthersteller?

Ich wende mich an einen externen Spezialisten, den DI Franz Gruber, ein nun schon pensionierter Elektriker, der sich auf Lichtplanung spezialisiert hat. Er kennt sich sehr gut bei der Planung privater Bereiche aus. Bei der Planung eines Platzes, wo eine Beleuchtung nach Norm gefragt war, habe ich mich einmal an einen Produkthersteller gewandt. Meist bin ich im privaten Bereich tätig. Ich befasse mich aber auch mit temporären Beleuchtungen für Feste, hier wird viel Licht eingesetzt, um Orte in der der Dunkelheit zu inszenieren, im Dunkeln würde man sonst nichts sehen und keine Farben erkennen.

3F Wurden Sie bei einer Beratung jemals auf das Problem der Lichtverschmutzung angesprochen?

Nein, auf die Lichtverschmutzung wurde ich dabei nie aufmerksam gemacht. Bei den Beratungen geht es eigentlich immer darum, wo überall Licht installiert werden könnte und schön wäre.

4F Wurden Sie anderweitig auf die Thematik aufmerksam gemacht?

Ja, von der MA 22 (Wiener Umweltschutzabteilung) wurde ich darauf aufmerksam gemacht.

5F Wenn Sie sich mit Lichtverschmutzung auseinander gesetzt haben, um welche Faktoren ging es dabei?

Eigentlich ärgert man sich über eine schlechte Beleuchtung, die ein Ortsbild verunstaltet, Ortsbildverschmutzung sozusagen, Beleuchtung mit schlechten Leuchten z. B., welche das Licht in alle Richtungen abstrahlen oder zu starke Beleuchtungen. Auch überflüssiges Beleuchten, wie die Autobahnbeleuchtung in Belgien fällt mir als negatives Beispiel ein.

6F Was berücksichtigen Sie bei der Planung einer Beleuchtung? Geht es dabei

mehr um eine funktionale oder um eine ästhetische Wirkung?

Es geht sei es um die funktionale wie die ästhetischen Wirkung. Dabei wird auf die Leuchte selbst geachtet, also deren Gestalt, die Farbe und das Licht, das sie abgibt, bis hin zur Leuchtmittelwahl. Dies sind jedoch immer Dinge, die gemeinsam mit dem Lichttechniker geplant und diskutiert werden.

7F Spielt die Bewahrung der Dunkelheit in ihrer Planung eine Rolle?

Ja, aber es kommt auch immer darauf an, wie ein Garten benutzt wird. Sinnvoll ist eine Beleuchtung, wenn Menschen ihren Garten abends in den dunklen Stunden benutzen. In Gärten, welche nur tagsüber oder gar nicht benutzt werden, sollte die Dunkelheit bewahrt werden. Ich arbeite auch gerne mit temporärem Licht und mit dem natürlichen Licht des Feuers.

8F Gibt es Richtlinien, an denen Sie sich bei der Planung einer Freiraumbeleuchtung orientieren?

Ich selbst orientiere mich an keinen Richtlinien, das macht der Lichttechniker, mit dem ich zusammenarbeite. Bei öffentlichen Anlagen in Wien wendet man sich am besten an die MA 33 Wien Leuchtet.

9F Kennen Sie eine Klassifikation von Umweltzonen, welche maximale Grade an Lichtverschmutzung vorgeben? Wurden sie schon einmal damit konfrontiert?

Nein, kenne ich keine.

4A Wird Ihrer Meinung nach genügend gegen die Lichtverschmutzung unternommen?

Nein, es wird nichts dagegen unternommen, außer die MA 22 unternimmt was, vielleicht. Privat schaue ich aber schon darauf.

5A Glauben Sie, es ist diesbezüglich genügend Bewusstsein vorhanden?

Nein, sicher nicht.

6A Würden Sie es als sinnvoll erachten, wenn es genaue Richtlinien und eine

gesetzliche Kontrolle der Lichtverschmutzung gäbe?

Ja, es wäre schon gut wenn es eine Regelung gäbe. Die Lichtverschmutzung ist jedoch auch ein kulturpolitisches Problem. Licht ist heute selbstverständlich und überall soll es Licht geben. Durch Licht werden aber Unorte wichtig gemacht. Es werden Orte beleuchtet, wo Licht einfach überflüssig ist.

7A Wird in Schulungen für Fachleute das Thema Lichtverschmutzung behandelt? Wenn ja in welchem Ausmaß? Gibt es spezifische Schulungen dafür?

Persönlich kenne ich nichts, aber weiß dass es was gibt.

9.2.6. Landschaftsarchitekturbüro

Die Fragen wurden im November 2011 per E-Mail von einem Landschaftsarchitekturbüro aus Wien beantwortet.

1A Sind Sie in der Praxis mit Fragen zur Lichtverschmutzung konfrontiert?

Nein.

2A Wie wichtig wird sie eingestuft?

Nicht wichtig.

3A Was wird aus Ihrer Sicht durch Lichtverschmutzung alles beeinflusst?

Tiere, Ökosystem.

1F Wird bei einer Freiraumplanung manchmal auch ein Beleuchtungskonzept von Ihnen gefordert?

Immer.

2F Machen Sie die Lichtplanung selbst oder greifen Sie auf externe Hilfe zurück? Wenden Sie sich dabei an spezialisierte Lichtplanungsbüros oder an Produkthersteller?

Konzepte machen wir selber, in der Durchführung arbeiten wir mit Lichtplanerern (z.B. Bartenbach, Tropp Lighting Design GmbH) oder Elektroplanern zusammen.

3F Wurden Sie bei einer Beratung jemals auf das Problem der Lichtverschmutzung angesprochen?

Nein.

4F Wurden Sie anderweitig auf die Thematik aufmerksam gemacht?

Nur durch die Medien, Umweltberichte.

5F Wenn Sie sich mit Lichtverschmutzung auseinandergesetzt haben, um welche Faktoren ging es dabei?

Hab ich nicht.

6F Was berücksichtigen Sie bei der Planung einer Beleuchtung? Geht es dabei mehr um eine funktionale oder um eine ästhetische Wirkung?

Beides natürlich, der Effekt ist wichtig. Stimmungslichter sind anders zu planen, als Wegbeleuchtungen, wo es um Sicherheit geht.

7F Spielt die Bewahrung der Dunkelheit in ihrer Planung eine Rolle?

Nein, nie, weil das Licht sowieso so oft eingespart wird. Licht ist für mich ganz wichtig. Spannender dabei finde ich nach alternativen Energiequellen zu suchen.

8F Gibt es Richtlinien, an denen Sie sich bei der Planung einer Freiraumbeleuchtung orientieren?

Die gängigen Önormen.

9F Kennen Sie eine Klassifikation von

Umweltzonen, welche maximale Grade an Lichtverschmutzung vorgeben? Wurden sie schon einmal damit konfrontiert?

Nein.

4A Wird Ihrer Meinung nach genügend gegen die Lichtverschmutzung unternommen?

Das erachte ich ehrlich gesagt in dem kleinen Bereich, in dem wir arbeiten, für unwichtig.

5A Glauben Sie, es ist diesbezüglich genügend Bewusstsein vorhanden?

Weiß nicht.

6A Würden Sie es als sinnvoll erachten, wenn es genaue Richtlinien und eine gesetzliche Kontrolle der Lichtverschmutzung gäbe?

Nein, nicht für Landschaftsarchitektur.

7A Wird in Schulungen für Fachleute das Thema Lichtverschmutzung behandelt? Wenn ja in welchem Ausmaß? Gibt es spezifische Schulungen dafür?

Weiß ich nicht.

Als Landschaftsarchitekt ist es vorerst einmal wichtig, sich alles mögliche Wissen über Licht anzueignen, und damit in der Gestaltung umzugehen.

9.3. Zusammengefasstes Ergebnis der Befragung

Prinzipiell kann gesagt werden, dass Fachleute und Planer, welche sich spezifisch mit Licht auseinandersetzen, über die Problematik der Lichtverschmutzung bescheid wissen, damit konfrontiert sind und diese auch zu berücksichtigen wissen. Grundsätzlich orientieren sich die Planer nach den Normen und dem Stand der Technik. Hinzuzufügen ist jedoch, dass die Hauptthematik meist die Effizienz einer Beleuchtungsanlage betrifft, welche sich gleichzeitig positiv auf die Lichtverschmutzung auswirkt, da eine effiziente Technik mit einer präzisen Lichtlenkung und einem sparsameren Umgang mit Licht in Verbindung steht. Dies bedeutet, dass mehr die Effizienz und weniger die Lichtverschmutzung thematisiert wird. Bewegt man sich außerhalb der Fachkreise, die sich nicht direkt mit Beleuchtung beschäftigen, wird Lichtverschmutzung als unwichtig eingestuft und findet wenig Berücksichtigung, außer es ist jemandem ein persönliches Anliegen. Schlussendlich entscheidet aber der Kunde/Auftraggeber wie eine Beleuchtung gestaltet wird, welcher jedoch oft nicht mit dem Thema vertraut ist und vorrangig nach ökonomischen Aspekten wertet.

Bei der Frage, was alles durch Lichtverschmutzung beeinflusst wird, wurden viele Faktoren genannt. Einerseits die negative Auswirkung auf die gesamte Umwelt, andererseits jene auf den Menschen. Unter der Lichtverschmutzung leidet die visuelle Qualität des Freiraumes, das Licht breitet sich unkontrolliert in der Landschaft aus, der Sternenhimmel wird unsichtbar, die Tier- und Pflanzenwelt wird beeinflusst und der Mensch wird gestört. Sozusagen wird das gesamte menschliche Umfeld beeinflusst.

Allgemein ist auch die Meinung vertreten, dass Überbeleuchtung nur negative Auswirkungen mit sich bringt. Wenn nicht notwendig, soll auch nicht beleuchtet werden und die Dunkelheit bewahrt werden.

Als wichtigste Möglichkeit der Lichtverschmutzung entgegenzuwirken wird die präzise Lichtlenkung genannt, das Licht soll nur dort hin orientiert werden, wo es

notwendig ist. Dies wird erreicht, indem man einen korrekten Leuchtentyp wählt. Man orientiert sich an den Normen und an den Wünschen der Kunden, die jedoch nicht alle Systeme ausschließen, welche Lichtverschmutzung erzeugen. Es werden auch nicht jene Lampen ausgeschlossen, die zwar erlaubt sind, denen aber zugeschrieben wird, dass sie Lichtverschmutzung erzeugen. Bei der Wahl der Lampen liegt das Hauptaugenmerk auf der Qualität des Lichtes, wie Lichttemperatur und Farbwiedergabe. Die ökologischen Aspekte der Lichtart werden nachrangig behandelt. Ausgeschlossen wird nur das, was vom Gesetz oder von den Richtlinien nicht erlaubt ist.

LED gilt zwar als Zukunftstechnologie aber dessen Technik, Effizienz und Lebensdauer sind noch nicht ausgereift. Stand der Technik sind Entladungslampen und diese werden auch noch eine Zeit lang Stand der Technik bleiben, vor allem in jenen Bereichen, wo höhere Beleuchtungsstärken notwendig sind. Weiters geht der Trend zu weißem bis warmweißem Licht und zu guter Farbwiedergabe, was als Folge von guter Lichtqualität gesehen wird.

Die Meinung nur Full-cut-off-Leuchten zu benutzen wird nicht vertreten. Hingegen sollen die etwas Streulicht erzeugenden Leuchten die Funktion übernehmen, genügend Umgebungslicht zu erzeugen, damit keine dunklen Stellen außerhalb der Wege entstehen, um Angstzonen zu vermeiden. Weiters sollen die Lichtpunkte der Leuchten sichtbar bleiben, damit sie eine orientierende Funktion übernehmen und damit sie das subjektive Empfinden von Licht stärken. Bei Montagehöhen über 6 m werden jedoch Full-cut-off-Lösungen als Ziel führend gesehen.

Es ist die Meinung vertreten, dass die ländlichen, sensibleren Gebiete anders behandelt werden sollen als die städtischen. Jedoch wird gerade in ländlichen Bereichen weniger von Fachleuten geplant als notwendig.

Weiters ist die Meinung verbreitet, dass generell zu wenig gegen die Lichtverschmutzung unternommen wird und dass ein großer Handlungsbedarf besteht. Es

gibt einerseits viele bestehende, veraltete Anlagen und andererseits werden neue Anlagen zu selten von Fachleuten geplant. Allgemein ist noch zu wenig Bewusstsein betreffend die Lichtverschmutzung vorhanden, was sich jedoch in den letzten Jahren gebessert hat und was die Zuversicht vermittelt, dass es sich weiterhin verbessern wird.

Eine zusätzliche Regelung der Lichtverschmutzung wird als ambivalent betrachtet. Einerseits wird eine Regelung von den Fachleuten als überflüssig beurteilt, da diese zu problematischen Einschränkungen der Planungsfreiheit führen kann, andererseits würde sie helfen, schlechte, nicht fachgerechte und exzessive Beleuchtungen einzudämmen, vor allem im privaten Bereich. Auch wird die private Beleuchtung als Hauptverursacher der Lichtverschmutzung genannt, vor allem

jene für Werbezwecke wird stark kritisiert. Derzeit gibt es in Österreich nur Regelungen von Mindestbeleuchtungsstärken aber es wird an einer Regelung gearbeitet, welche die Lichtverschmutzung beinhaltet und die bald in Kraft treten soll. Im Moment zieht man die Regelung der Blendungsbegrenzung heran, um den Grad an Lichtverschmutzung zu beurteilen.

Was die Schulungen betrifft, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten sich auszubilden und fortzubilden, wobei auch immer die Lichtverschmutzung thematisiert wird.

Zum Abschluss kann hier gesagt werden, dass sich das Thema Lichtverschmutzung im allgemeinen Bewusstsein zwar erst durchsetzen muss, dass sich die Fachleute jedoch schon ernsthaft mit den Auswirkungen der Lichtverschmutzung auseinandersetzen.

10. Resümee

Kommen wir auf die Forschungsfragen zurück: Kann eine Freiraumbeleuchtung so gestaltet werden, dass sie keine Lichtverschmutzung erzeugt?

Nach meinen Recherchen kann diese Frage nicht mit einem 100%igen „Ja“ beantwortet werden. Es scheint in der Praxis nicht möglich zu sein, eine künstliche Beleuchtung in der Nacht so zu gestalten, dass deren Licht die natürliche Umwelt in keiner Weise beeinflusst. Sehr wohl möglich ist es aber, eine Lichtverschmutzung in Grenzen zu halten und die derzeitige Situation kann mit Gewissheit verbessert werden. Zu dieser angestrebten Verbesserung sollten Zonen gebildet werden, die unterschiedliche Grade an Beleuchtung zulassen. Die stark vom Menschen geprägten Gebiete, wie Großstädte, könnten einer weniger strengen Regelung der Lichtverschmutzung unterzogen werden als die natürlicheren Gebiete, wie die Randzonen der Städte oder die ländlichen Orte, wo das Kunstlicht näher an der natürlicheren Umwelt liegt. Besonderes Augenmerk ist den Schutzgebieten zu widmen, wie Naturparks oder den astronomischen Beobachtungsstätten. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass sich das Licht von bis zu 200 km entfernten Beleuchtungsanlagen noch auf diese Gebiete auswirken kann. Mit entsprechenden Maßnahmen kann man es schaffen, Orte zu erhalten, welche von den Auswirkungen des künstlichen Lichts verschont bleiben.

Wie sieht nun der Status quo laut Recherche aus?

Die Problematik der Lichtverschmutzung ist zweifellos vorhanden, aber sie scheint nicht dramatisch aussichtslos zu sein. Es gibt diesbezüglich ein wachsendes Bewusstsein, das vor allem in Fachkreisen vorhanden ist, darüber hinaus machen sich wenige Leute Gedanken dazu. Teilweise wird auch effektiv gehandelt, um der Lichtverschmutzung entgegenzuwirken, das geschieht aber erst seit kurzer Zeit und es gibt diesbezüglich noch einen großen Handlungsbedarf. Viele Beleuchtungsan-

lagen werden immer noch falsch geplant, vor allem in den ländlichen Gebieten und in den privaten Bereichen, wo kaum Fachleute zu Rate gezogen werden. Hier wird oft kurzfristig gehandelt und der ökonomische Aspekt hat mehr Gewicht als der ökologische. Der Trend zu immer effizienteren Technologien ist in der Beleuchtungsbranche stark bemerkbar, die Entwicklung aber noch im Laufen. Verschafft man sich einen Überblick am Markt, so sieht man, dass überall mit energieeffizienten Lösungen geworben wird, dass diese Versprechen aber auch kritisch beurteilt werden müssen. Die LED-Technik ist stark im Kommen, wobei diese noch mit Vorsicht eingesetzt werden sollte, da sie noch nicht ausgereift ist wie andere Technologien und denen noch hinten ansteht. Trotz des spürbaren Trends zu Effizienz und Sparsamkeit wird immer noch mehr und heller beleuchtet als notwendig und die Lichtverschmutzung nimmt jährlich zu. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Entscheidungsträger oft nicht Fachleute sind und auch auf die gängige, nicht ganz korrekte Meinung, dass mehr Licht mehr Sicherheit bedeutet.

Wie sind die Aussichten für die Zukunft?

Wir stehen erst an den Anfängen einer effektiven Handhabung der Lichtverschmutzung. Es wird bereits an der Lösung des Problems gearbeitet, aber es steht noch viel weitere Arbeit an. In erster Linie sollte das Bewusstsein um die Problematik der Lichtverschmutzung gesteigert werden. Es ist wichtig, dass die Medien immer wieder darüber berichten, damit ein höherer Bekanntheitsgrad des Themas bewirkt wird. Weiters gilt es, den Trend zu energieeffizienten Lösungen zu steigern, die zu Recht als ökonomisch und ökologisch beworben werden können. Das kann dann zur erwünschten Folge führen, dass Beleuchtung sparsamer eingesetzt wird und sie präziser dorthin gerichtet wird, wo sie erwünscht ist, ohne künstliches Licht unnötig in den Himmel zu streuen. An dieser Stelle ist auch anzumerken, dass in der

◀Abb. 156: Nachtaufnahme von Wien

Praxis die Vermeidung der Lichtverschmutzung sozusagen als Nebeneffekt erreicht wird. Es wird eine Energieeinsparung beworben und angestrebt und als Begleiterscheinung eine Verminderung der Lichtverschmutzung erreicht, was dem positiven Resultat keinen Abbruch tut. Ein Punkt, der weniger beachtet wird ist jener der Auswirkung der unterschiedlichen Lichtarten auf die Umwelt und den Menschen. Bei der Lichtart liegt heute das Hauptaugenmerk vor allem auf deren visueller Qualität. In

diesem Bereich sollten noch eingehende Studien gemacht werden, die von Fachleuten aus unterschiedlichen Wissensgebieten interdisziplinär erforscht werden und über einen repräsentativen Zeitraum ausgeführt werden sollten.

Als Schlusswort würde ich sagen, man kann definitiv was gegen die Lichtverschmutzung unternehmen und trotzdem beleuchten.



Literaturverzeichnis

ANONYM (2010): Großmugl macht fürs Weltkulturerbe dunkel. <http://noe.orf.at/stories/438624/> (08.2011)

ANONYM (2010a): 9/11 Tribute Traps 10,000 Birds. http://blogs.discovery.com/animal_news/2010/09/should-the-911-tribute-of-light-be-shut-down-to-save-birds.html (03.2012)

BARTENBACH, C. (2006): Realisierung von Lichtmilieus. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 132-136.

BARTENBACH, C. (2006): Realisierung von Lichtmilieus. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 132-136.

BEIER, P. (2006): Effects of Artificial Night Lighting on Terrestrial Mammals. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 19-42.

BRIGGS, W. R. (2006): Physiology of Plant Responses to Artificial Lighting. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 389-411.

BUCHANAN, B.W. (2006): Observed and Potential Effects of Artificial Night Lighting on Anuran Amphibians. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 192-220.

BULLOUGH, J. D. et al. (2006): Of mice and woman: light as a circadian stimulus in breast cancer research. In: COLDITZ, G. A. (ed.): Cancer Causes & Control: An International Journal of Studies of Cancer in Human Populations. Volume 17, Number 4, Niederlande: Springer, 375-383.

CAJOCHEN, C. (2010): Licht auf die innere Uhr. In: POSCH T.; FREYHOFF A.; UHLMANN T. (Hrsg.): Das Ende der Nacht: Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim: Wiley-VCH, 135-145.

CINZANO, P. (2002 a): Inquinamento luminoso e stato del cielo notturno in Europa, in Italia e nel Veneto. In: CINZANO, P. (ed.): Light pollution and protection of the night environment. Thiene: ISTIL- Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, 103-114.

CINZANO, P. (2002 b): Requisiti tecnici per una efficace limitazione degli effetti dell'inquinamento luminoso. In: CINZANO, P. (ed.): Light pollution and protection of the night environment. Thiene: ISTIL- Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, 206-218.

DI SORA, M. (2002): Inquinamento luminoso e risparmio energetico: eccellenti risultati ottenuti dall'applicazione di regolamenti. In: CINZANO, P. (ed.): Light pollution and protection of the night environment. Thiene: ISTIL- Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, 181-184.

◀Abb. xxx: Literatur über künstliche Beleuchtung und Lichtverschmutzung

DIN (2002): DIN Taschenbuch 134: Sporthallen, Sportplätze, Spielplätze. Berlin, Wien, Zürich: Beuth.

EISENBEIS, G. (2006): Artificial Night Lighting and Insects: Attraction of Insects to Streetlamps in a Rural Setting in Germany. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 281-304.

EISENBEIS, G. (2010): Insekten und künstliches Licht. In: POSCH T.; FREYHOFF A.; UHLMANN T. (Hrsg.): Das Ende der Nacht: Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim: Wiley-VCH, 6.

FAVARO, A. (2002): Divulgare il problema dell'inquinamento luminoso. In: CINZANO, P. (ed.): Light pollution and protection of the night environment. Thiene: ISTIL- Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, 174-175.

FRANK, K. D. (2006): Effects of Artificial Night Lighting on Moths. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 305-344.

FRAUENBÜRO – MA 47 (Hrsg.) (1995): Richtlinien für eine sichere Stadt! Beispiele für die Planung und Gestaltung sicherer öffentlicher Räume. Wien: Typographische Anstalt.

GHETTI, P. (2002): Inquinamento luminoso e qualità della vita. In: CINZANO, P. (ed.): Light pollution and protection of the night environment. Thiene: ISTIL- Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, 117-118.

HÄNEL, A. (o.J.): Gesetze gegen Lichtverschmutzung. <http://www.lichtverschmutzung.de/seiten/gesetze.php> (08.2011)

HOLLAN, J. (2002): Light pollution as a recognized Degradation of Environment: the experience in Czchia. In: CINZANO, P. (ed.): Light pollution and protection of the night environment. Thiene: ISTIL- Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, 275-282.

HOLMES, A; SCHMIDT, J. A. (2006): Methoden, Instrumente, Umsetzung: Methodik und Arbeitsschritte für Lichtkonzepte. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 121-126.

HOLMES, A; SCHMIDT, J. A. (2006): Mit Licht entwerfen. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 127-131.

HOLMES, A; SCHMIDT, J. A. (2006a): Methodik und Arbeitsschritte für Lichtkonzepte. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 121-126.

HUEMER, P; KÜHTREIBER, H.; TARMANN, G. (2010): Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten: Ergebnisse einer Feldstudie in Tirol. Innsbruck: Tiroler Landesmuseen-Betriebsgesellschaft m.b.H. http://www.hellenot.org/fileadmin/user_upload/PDF/WeiterInfos/10_AnlockwirkungInsektenFeldstudie_TLMFundLUA.pdf (10.2011)

HUNGERBÜHLER, R.; MORICI, L. (2006): Soziologische Beobachtung zur Wahrnehmung nächtlicher Landschaften. In: ZUMTHOR, P. et. all. (Hrsg.): Wieviel Licht braucht der Mensch, um leben zu können, und wieviel Dunkelheit?. Zürich: vdf Hochschulverlag, 162-184.

HÜPPOP, O. (2010): 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, 83-98.

JASSER, S. A. et al. (2006): Light during darkness and cancer: relationship in circadian photoreception and tumor biology. In: COLDITZ, G. A. (ed.): Cancer Causes & Control: An International Journal of Studies of Cancer in Human Populations. Volume 17, Number 4, Niederlande: Springer, 515-523.

KAISER, G. (2011): Licht gestalten. Profil extra Juni 2011: 112-118.

KLINKENBORG, V. (2008): Our Vanishing Night. National Geographic vol. 214 no. 5: 102-123.

KÖHLER, D.; WALZ, M.; HOCHSTADT, S. (2010): LichtRegion: Positionen und Perspektiven im Ruhrgebiet. Essen: Klartext Verlag.

LICHTTECHNISCHE GESELLSCHAFT ÖSTERREICHS (Hrsg.) (2009): Licht im öffentlichen Raum: Recht und Vorschriften. Neulengbach: Eigner Druck.

LLOYD, J. E. (2006): Stary Light, Fireflies, and Fireflyers. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 345-364.

MATZ, J.; MEHL, H. (2000): Vom Kienspan zum Laserstrahl: zur Geschichte der Beleuchtung von der Antike bis heute. Husum: Husum.

MOORE, M.V. et al. (2006): Artificial Light at Night Freshwater Habitats and Its Potential Ecological Effects. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 365-384.

MUELLER, J. (2005): Handbuch der Lichttechnik: Formeln, Tabellen und Praxiswissen. Bergkirchen: PPVMEIDIEN.

NARBONI, R. (2006): Strategien zur Gestaltung mit Licht. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 55-58.

NARISADA K.; SCHREUDER D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer.

NIGHTINGALE, B. et al. (2006): Artificial Night Lighting and Fishes. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 257-276.

OSRAM (o.J.) (Hrsg.): Vorteile durch den Einsatz von EVG. http://www.osram.de/osram_de/Professionals/EVG/EVG_fuer_HID-Lampen/Vorteile_PT/index.html (08.2011)

PARRY G.; FISHER R. N. (2006): Night Lights and Reptiles: Observed and Potential Effects. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 169-191.

PHILIPS (2011) (Hrsg.): Bildpreisliste Lampen & Leuchten: Österreich 2011/2012. http://www.lighting.philips.at/pwc_li/at_de/connect/tools_literature/Assets/Philips_Bildpreisliste_Lampen_u_Leuchten_UVPE_Austria_2011.pdf (08.2011)

ROMANO, G. (2002): Importanza del cielo stellato per l'uomo nei secoli. In: CINZANO, P. (ed.): Light pollution and protection of the night environment. Thiene: ISTIL- Istituto di scienza e tecnologia dell'inquinamento luminoso, 84-90.

RUSSO, P.; LINDBERG CHRISTENSEN, L. (ed.) (o.J.): International Year of Astronomy 2009: Final Report Executive Summary. http://www.astronomy2009.org/resources/brochures/detail/iya2009_summary/ (08.2011)

RYDELL, J. (2006): Bats and Their Insect Prey at Streetlights. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 43-60.

SACHSE, R. (2006 a): Das Städtische Licht: Parks und Grünräume. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 46-50.

SACHSE, R. (2006 b): Das Städtische Licht: Lichtkunst im öffentlichem Raum. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 51-54.

SALMON, M. (2006): Protecting Sea Turtles from Artificial Night Lighting at Florida's Oceanic Beaches. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 141-168.

SCHIELKE, T. (2006): Lichtkonzepte für Fassaden. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 137-143.

SCHIELKE, T., HOFMANN, H. (2006): Licht – Physikalische Grundlagen. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 161-164.

SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (2006): Das Städtische Licht: Straßen und Platzräume. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 42-45.

SIDNEY, A. et al. (2006): Effects of Artificial Night Lighting on Migrating Birds. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 67-93.

TESSMAR, K. et al. (2010): Vögel: Mondlicht als natürlicher Zeitgeber für die Meeresfauna. In: POSCH T.; FREYHOFF A.; UHLMANN T. (Hrsg.): Das Ende der Nacht: Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim: Wiley-VCH, 119-132.

TIROLER UMWELTANWALTSCHAFT (Hrsg.) (2009): Die Helle Not: Künstliche Lichtquellen - ein unterschätztes Umweltproblem. 3. Aufl., Innsbruck: Tiroler Repro Druck GmbH.

TÖLLNER, A. (2006): Methoden, Instrumente, Umsetzung: Rechtsinstrumente zur Qualitätssicherung. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 154-159.

TÖLLNER, A. (2006a): Instrumente zur Umsetzung: Rechtsinstrumente zur Qualitätssicherung. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 149-150.

TRILUX (2005) (Hrsg.): 13 201 Licht für Europas Straßen: Beleuchtung von Straßen, Wegen und Plätzen nach DIN EN 13 201. http://www.trilux.de/tx/export/download/de.plan_net.trilux/Downloads/Lichtplanung/05_15-D.pdf (08.2011)

UNGER, C. (2006): Licht und Insekten. Perspektiven 1_2: 85-86.

WISE, S.E.; BUCHMANAN, B.W. (2006): Influence of Artificial Illumination on the Nocturnal Behavior and Physiology of Salamanders. In: RICH, L.; LONGCORE, T. (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press, 221-251.

WUNDERLE, M.; MAUS, K. (2006): Die Nachtlandschaft im Satellitenbild. In: ZUMTHOR, P. et. all. (Hrsg.): Wieviel Licht braucht der Mensch, um leben zu können, und wieviel Dunkelheit? Zürich: vdf Hochschulverlag, 186-206.

ZEILE, P. et al. (2006): Simulation von Lichtkonzepten. In: SCHMIDT, J. A.; TÖLLNER M. (Hrsg.): StadtLicht: Lichtkonzepte für die Stadtgestaltung. Stuttgart: Frauenhofer IRB Verlag, 144-148.

ZUMTOBEL (2006) (Hrsg.): Licht-Handbuch für den Praktiker: Ihr kompaktes Nachschlagewerk immer griffbereit. Dornbirn: o.A.

Abbildungsverzeichnis

Abb. Schmutztitelseite: Stuard A. Snodgrass; Robert Simmon; Craig Mayhaw. NASA/ Goddard Space Flight Center, Scientific Visualization Studio

Abb. 001: <http://www.savethenight.eu/Lights%20in%20Europe.html> (08.12.2009)

Abb. 002: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Deathvalleysky_nps_big.jpg (08.12.2009)

Abb. 003: <http://www.flickr.com/photos/1987porsche944/3911658673/sizes/o/in/photostream/> (08.09.2011)

Abb. 004: <http://www.flickr.com/photos/andreasresch/4684328967/in/photostream> (13.10.2011)

Abb. 005: <http://londontopia.net/site-news/featured/pics-beautiful-and-colorful-pictures-of-london-at-night/> (13.10.2011)

Abb. 006: http://www.boston.com/bigpicture/2008/08/london_from_above_at_night.html (08.09.2011)

Abb. 007: <http://www.flickr.com/photos/wien1130/2336629089/sizes/l/in/photostream/> (16.09.2011)

Abb. 008: http://www.joshushund.com/fotos/hamburg_03/01_Eurogate_Container_

Terminal_1280.jpg (02.06.2011)
 Abb. 009: <http://www.itusozluk.com/gorseller/approach+lighting+system/47471> (05.06.2011)
 Abb. 010: <http://www.majors-welt.net/daily/index.php?showimage=90> (26.09.2011)
 Abb. 011: <http://www.flickr.com/photos/deve/5290302611/> (16.09.2011)
 Abb. 012: <http://www.flickr.com/photos/jan-blom/3435551536/> (08.09.2011)
 Abb. 013: http://fotowettbewerb.hispeed.ch/original/370169/stadt_in_der_stadt_1/stadt_omv_schwechat_raffinerie_fabrik_nacht.jpg (17.05.2011)
 Abb. 014: <http://www.vol.at/news/vorarlberg/artikel/omv-tankstelle-in-hard-ueberfallen/cn/news-20081106-06400034> (16.09.2011)
 Abb. 015: <http://www.flickr.com/photos/didbygraham/1809722197/sizes/l/in/photo-stream/> (16.09.2011)
 Abb. 016: <http://www.flickr.com/photos/markotarvainen/5317822521/sizes/l/in/photo-stream/> (16.09.2011)
 Abb. 017: <http://artschoolvets.com/blog/xaver/files/2009/06/eskom-billboard-753431.jpg> (04.06.2011)
 Abb. 018: http://hypervocal.com/wp-content/uploads/2011/05/interbest_male_stripper.jpg (04.06.2011)
 Abb. 019: http://www.foerderturm-boenen.de/wEnglisch/text/yellow_marker.php (08.09.2011)
 Abb. 020: <http://www.flickr.com/photos/40366935@N00/2348238715/sizes/l/in/photo-stream/> (16.09.2011)
 Abb. 021: <http://www.photographie.de/page.php?modul=Gallery&op=showimg&iid=54390> (16.09.2011)
 Abb. 022: <http://www.flickr.com/photos/22193699@N04/3968639421/sizes/z/in/photo-stream/> (16.09.2011)
 Abb. 023: <http://www.cth.ch/projekte/leutschenlicht/index.html> (26.09.2011)
 Abb. 024: Foto: Zeno Valenti (2010)
 Abb. 025: <http://www.astronomyknowhow.com/light-pollution.htm> (15.06.2011)
 Abb. 026: <http://www.photographie.de/page.php?modul=Gallery&op=showimg&iid=54390> (15.06.2011)
 Abb. 027: http://www.boston.com/bigpicture/2008/08/london_from_above_at_night.html (08.09.2011)
 Abb. 028: http://diepresse.com/home/leben/mode/weihnachten/343457/index.do?direct=343302&vl_backlink=/home/panorama/oesterreich/weihnachten/343302/index.do&selChannel= (10.01.2009)
 Abb. 029: <http://oe4.com/donauinselfest2011.php?nav=20&page=4&pic=30&start=24&did=13945&tag=> (16.09.2011)
 Abb. 030: <http://artwranglers.com.au/wp-content/uploads/2008/10/olafur-2.jpg> (04.06.2011)
 Abb. 031: http://derstandard.at/1225358683009/Nachlese-bAnsichtssacheb-Weisse-Riesenratten-am-MUMOK?_slideNumber=1&_seite= (04.06.2011)
 Abb. 032: <http://www.luminapolis-fotografie.de/start.html> (21.01.2010)
 Abb. 033: Foto: Zeno Valenti (2010)
 Abb. 034: <http://www.beton.org/service/news/news/der-tausendfuessler-von-frankfurt/newsid/3521.html> (05.06.2011)
 Abb. 035: Foto: Jim Richardson (2008): National Geographic Vol. 214 - No. 5.
 Abb. 036: <http://www.bega.com/inhalte/anwendungsbilder.php?artnr=8669> (26.09.2011)
 Abb. 037: <http://catalog.iguzzini.com/Details.aspx> (26.09.2011)
 Abb. 038: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.) (2005): Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Bern: BUWAL.

Abb. 039: <http://www.fotoplatforma.pl/fotografia/de/5644/> (14.01.2010)
 Abb. 040: http://www.zoo.ch/pictures/Mausmaki_1.jpg (14.01.2010)
 Abb. 041: <http://petcaregt.com/blog/wp-content/uploads/2008/11/owlmouse.jpg> (14.01.2010)
 Abb. 042: <http://www.flickr.com/photos/22084572@N07/3528064033/sizes/o/in/photo-stream/> (08.09.2011)
 Abb. 043: http://www.bogon-naturfoto.de/Fotogalerie/Fledermause_Spezial/Zweifarbflledermaus/zweifarbflledermaus.html (15.01.2010)
 Abb. 044: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rhinolophus_hipposideros.jpg&filetimestamp=20070728135934 (15.01.2010)
 Abb. 045: <http://www.virginmedia.com/digital/science/pictures/nature-june.php?ssid=12> (15.01.2010)
 Abb. 046: Rich, L.; Longcore, T. (2004) (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press.
 Abb. 047: <http://portfolio.fotowelt.chip.de/konrad-wothe-die-liebe-zum-regenwald-20090505/> (23.01.2010)
 Abb. 048: <http://www.abdn.ac.uk/~nhi708/classify/animalia/chordata/mammalia/chiroptera/chiroptera.html> (15.01.2010)
 Abb. 049: <http://www.tobiaspfau.de/de/media-00001457-00000509.html> (15.01.2010)
 Abb. 050: http://www.flap.org/flap_home.htm (15.01.2010)
 Abb. 051: http://www.flap.org/flap_home.htm (15.01.2010)
 Abb. 052: Rich, L.; Longcore, T. (2004) (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press.
 Abb. 053: <http://www.flickr.com/photos/27366846@N03/3231502964/sizes/o/> (15.01.2010)
 Abb. 054: Foto: Jim Richardson (2008): National Geographic Vol. 214 - No. 5.
 Abb. 055: Foto: Jim Richardson (2008): National Geographic Vol. 214 - No. 5.
 Abb. 056: http://www.flickr.com/photos/divinorum_/1846023445/ (23.01.2010)
 Abb. 057: http://www.treknature.com/gallery/Middle_East/Israel/photo89003.htm (23.01.2010)
 Abb. 058: <http://fireflyforest.net/firefly/2009/06/24/gold-dust-day-gecko/> (23.01.2010)
 Abb. 059: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Anolis_carolinensis_by_Jeff_Heard.jpg (23.01.2010)
 Abb. 060: <http://www.wildlifenorthernamerica.com/Reptile/Green-Turtle/Chelonia/mydas.html> (23.01.2010)
 Abb. 061: <http://guzelresimlerr.com/img451.htm> (23.01.2010)
 Abb. 062: Rich, L.; Longcore, T. (2004) (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press.
 Abb. 063: http://www.portoceneziv.com/images/caretta_caretta.gif (23.01.2010)
 Abb. 064: http://research.myfwc.com/features/view_article.asp?id=2156 (23.01.2010)
 Abb. 065: <http://www.rotholl.at/archiv/amphibien-1/erdkroete/10381.html> (23.01.2010)
 Abb. 066: <http://www.natur-lexikon.com/Texte/HWG/002/00174-Mittelmeer-Laubfrosch/HWG00174-Mittelmeerlaubfrosch.html> (26.09.2011)
 Abb. 067: http://www.zoo.ch/pictures/sf_Schmuckhornfrosch.JPG (23.01.2010)
 Abb. 068: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/Cochranella_spinosa.jpg (23.01.2010)
 Abb. 069: <http://portfolio.fotowelt.chip.de/konrad-wothe-die-liebe-zum-regenwald-20090505/> (23.01.2010)
 Abb. 070: Rich, L.; Longcore, T. (2004) (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press.
 Abb. 071: http://www.livescience.com/php/multimedia/imagedisplay/img_display.php?pic=071101-redspotted-newt-02.jpg&cap=For+the+red-spotted+newt+%28Not

ophthalmus+viridescens%29 (08.12.2009)
 Abb. 072: [http://fwie.fw.vt.edu/VHS/amphibians/salamanders/spotted-salamander/Spotted%20Salamander%20\(Ambystoma%20maculatum\)%20larvae.jpg](http://fwie.fw.vt.edu/VHS/amphibians/salamanders/spotted-salamander/Spotted%20Salamander%20(Ambystoma%20maculatum)%20larvae.jpg) (23.01.2010)
 Abb. 073: <http://ilherps.tripod.com/id274.html> (23.01.2010)
 Abb. 074: <http://animals.howstuffworks.com/amphibians/amphibian-pictures17.htm> (23.01.2010)
 Abb. 075: <http://animals.nationalgeographic.com/animals/amphibians/warty-newt.html> (23.01.2010)
 Abb. 076: http://en.academic.ru/pictures/enwiki/66/Blausteinsee_Tierwelt_03.jpg (23.01.2010)
 Abb. 077: <http://www.livt.net/Clf/Ani/Cho/Ost/Sal/sal019.jpg> (23.01.2010)
 Abb. 078: <http://de.academic.ru/pictures/dewiki/104/hyperia.jpg> (23.01.2010)
 Abb. 079: http://www.newscientist.com/data/images/ns/cms/dn9108/dn9108-1_600.jpg (23.01.2010)
 Abb. 080: http://www.royal-flyfishing.com/cms/upload/bilder/Berichte/Entomologie/Eintagsfliegen/Eintagsfliege_Baetis_Bild3.jpg (23.01.2010)
 Abb. 081: <http://www.eb.tuebingen.mpg.de/research-groups/gaspar-jekely> (23.01.2010)
 Abb. 082: http://www.digimakro.de/Bilder/Falter/1b6_Nachtfalter_Licht.jpg (15.01.2010)
 Abb. 083: http://www.digimakro.de/Bilder/Falter/1b2_naechtlicher_Besuch.jpg (15.01.2010)
 Abb. 084: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4b/Deilephila_porcellus_04.jpg (21.01.2010)
 Abb. 085: <http://wandererlesheim.twoday.net/stories/4014612/> (23.01.2010)
 Abb. 086: <http://www.flickr.com/photos/ancelb/2080720528/> (06.01.2010)
 Abb. 087: Rich, L.; Longcore, T. (2004) (ed.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington: Island Press.
 Abb. 088: http://www.hellenot.org/fileadmin/user_upload/PDF/WeiterInfos/10_AnlockwirkungInsektenFeldstudie_TLMFundLUA.pdf (01.10.2011)
 Abb. 089: Tiroler Umweltnachrichtendienst (Hrsg.) (2009): Die Helle Not: Künstliche Lichtquellen - ein unterschätztes Umweltproblem. 3. Aufl., Innsbruck: Tiroler Repro Druck GmbH.
 Abb. 090: <http://www.flickr.com/photos/kinetic-lensman/2336803997/sizes/l/in/photo-stream/> (08.09.2011)
 Abb. 091: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.) (2005): Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Bern: BUWAL.
 Abb. 092: <http://www.savethenight.eu/Lights%20in%20Europe.html> (23.01.2009)
 Abb. 093: <http://blog.rv.net/2008/12/light-pollution/> (23.01.2010)
 Abb. 094: <http://hotdogjam.files.wordpress.com/2009/06/city-lights-building-night.jpg> (23.01.2010)
 Abb. 095: <http://guaranteedtosleep.com/blog/2010/08/the-natural-sleep-aid-melatonin/> (14.06.2011)
 Abb. 096: <http://timothystephany.com/stone.html> (07.06.2011)
 Abb. 097: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/9/99/Lascaux-Astrojagd.png> (19.05.2011)
 Abb. 098: <http://sites.google.com/site/orioloromanoobservatory/lightpollution> (15.06.2011)
 Abb. 099: http://www.eso.org/public/images/paranal_16-nov1999/ (15.06.2011)
 Abb. 100: http://de.wikipedia.org/wiki/Gro%C3%9Fer_B%C3%A4r (15.06.2011)
 Abb. 101, 102: http://hotdogjam.files.wordpress.com/2009/06/light_pollution_its_not_pretty.jpg (23.01.2010)
 Abb. 103, 104: <http://www.lightpollution.it/worldatlas/pages/fig1.htm> (15.06.2011)
 Abb. 105: Köhler, D.; Walz, M.; Hochstadt, S. (2010): LichtRegion: Positionen und

Perspektiven im Ruhrgebiet. Essen: Klartext Verlag
 Abb. 106: <http://www.lichtundgesundheit.de/cyberlux/?p=112> (22.09.2011)
 Abb. 107: <http://www.flickr.com/photos/derek/2442991107/sizes/o/in/pool-63743519@N00/> (16.09.2011)
 Abb. 108: <http://de.wikipedia.org/wiki/Farbttemperatur> (18.06.2011)
 Abb. 109: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 663.
 Abb. 110: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 677.
 Abb. 111: <http://www.dial.de/DIAL/de/dialux.html> (22.09.2011)
 Abb. 112-118: Centro Studi e Ricerca iGuzzini (1999): Contro l'inquinamento luminoso. Rozzano: Editoriale Domus.
 Abb. 119: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 667.
 Abb. 120: <http://www.tridonic.com/com/de/products/302.asp> (22.09.2011)
 Abb. 121: <http://www.tridonic.com/com/de/products/343.asp> (22.09.2011)
 Abb. 122: <http://www.tridonic.com/com/de/products/2512.asp> (22.09.2011)
 Abb. 123: http://www.elv.de/E27-Fassung,-230V,-15cm-Kabel/x.aspx/cid_74/detail_10/detail2_23149 (22.09.2011)
 Abb. 124: <http://www.luconda.com/artikel/details/27/11/08/3012036-1-Vossloh-108660.html?ShopID=1> (22.09.2011)
 Abb. 125: http://www.m-s-v.eu/ebizz/sh/a_einzel.aspx?SP=1&ANR=DLESP-03&lc=AT (22.09.2011)
 Abb. 126: http://www.ecat.lighting.philips.com/l/professionelle-lampen/ep01_gr_at_lp_prof_atg/cat/at/ (01.08.2011)
 Abb. 127: http://www.osram.com/_global/pdf/Consumer/General_Lighting/LED_Lamps/59909_PI_LED_Lampen_GB_2FS.pdf (01.08.2011)
 Abb. 128-137: http://www.ecat.lighting.philips.com/l/professionelle-lampen/ep01_gr_at_lp_prof_atg/cat/at/ (01.08.2011)
 Abb. 138: http://www.messefrankfurt.com/frankfurt/de/media/technologyproduction/light_building/frankfurt/aussteller-news/sharp.html (01.08.2011)
 Abb. 139: http://www.osram.com/_global/pdf/Consumer/General_Lighting/LED_Lamps/59909_PI_LED_Lampen_GB_2FS.pdf (01.08.2011)
 Abb. 140: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.) (2005): Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Bern: BUWAL.
 Abb. 141, 142: Trilux (2005) (Hrsg.): 13 201 Planungshilfe. Arnsberg: o.a.
 Abb. 143: <http://www.led-strassenlampe.de/kontakt.html> (26.09.2011)
 Abb. 144, 145: <http://catalog.iguzzini.com/Product.aspx?id=IGZ5617> (01.08.2011)
 Abb. 146: <http://www.derwesten.de/nachrichten/politik/Betrugs-Affaere-trifft-Bruessel-mit-Wucht-id1522617.html> (31.08.2011)
 Abb. 147: Trilux (2005) (Hrsg.): 13 201 Planungshilfe. Arnsberg: o.a.
 Abb. 148: <http://www.internationales-buero.de/de/831.php> (31.08.2011)
 Abb. 149: http://www.iau.org/public_press/images/detail/iau0809a/ (31.08.2011)
 Abb. 150: <http://www.astronomy2009.org/resources/branding/> (31.08.2011)
 Abb. 151: ORF (o.J.) (Hrsg.): Film: Die dunkle Seite des Lichts.
 Abb. 152: Foto: Jim Richardson (2008): National Geographic Vol. 214 - No. 5.
 Abb. 153: Zeno Valenti (2011)
 Abb. 154: <http://www.nightsky.at/Obs/LP/> (13.10.2011)
 Abb. 155: <http://www.aaanything.net/40572/pictorial/nature/nice-photography/> (13.10.2011)
 Abb. 156: <http://www.flickr.com/photos/brainzina/7081119793/> (16.04.2012)
 Abb. 157: Zeno Valenti (2011)

Tabellenverzeichnis

- Tab. 001: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 161. Modifiziert.
- Tab. 002: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 823. Modifiziert.
- Tab. 003: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 825. Modifiziert.
- Tab. 004: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 824. Modifiziert.
- Tab. 005: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 72-73. Modifiziert.
- Tab. 006: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 81. Modifiziert.
- Tab. 007: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 207.
- Tab. 008: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 675. Modifiziert.
- Tab. 009: Zumtobel (2006) (Hrsg.): Licht-Handbuch für den Praktiker: Ihr kompaktes Nachschlagewerk immer griffbereit. Dornbin: o.A. Modifiziert
- Tab. 010: Zeno Valenti (2011)
- Tab. 011: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 157.
- Tab. 012: Narisada K.; Schreuder D. (2004): Light Pollution Handbook. Niederlande: Springer, 143-144. Modifiziert