



SCHRIFTENREIHE **VERLUST DER NACHT**

BAND 1

Robert Hänsch, Benjamin Könecke, Merle Pottharst, Florian Wukovitsch

# **Kosten und externe Effekte des künstlichen Lichts sowie Ansätze der ökonomischen Bewertung**

Eine Initiative des Bundesministeriums  
für Bildung und Forschung

Wissenschaftsjahr 2012

Zukunftsprojekt  
**ERDE**

**VERLUST**  
der   
**NACHT**



Robert Hänsch, Benjamin Könecke,

Merle Pottharst, Florian Wukovitsch

**Kosten und externe Effekte des künstlichen Lichts  
sowie Ansätze der ökonomischen Bewertung**

## **Verlust der Nacht**

Hrsg.: BMBF-Verbundforschungsprojekt Verlust der Nacht

### **Band 1**

Kosten und externe Effekte des künstlichen Lichts  
sowie Ansätze der ökonomischen Bewertung

Robert Hänsch  
Benjamin Könecke  
Merle Pottharst  
Florian Wukovitsch

**Kosten und externe Effekte des künstlichen Lichts  
sowie Ansätze der ökonomischen Bewertung**

Universitätsverlag der TU Berlin

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de/> abrufbar.

Der vorliegende Band wurden im Rahmen des Teilprojekt 5 „Kosten des Verlusts der Nacht – Eine ökonomische Analyse der Folgen nächtlicher Beleuchtung“ als Literaturbericht der ersten Projektphase erstellt. Der Text stellt einen Überblick über den Forschungsstand zu den direkten Kosten der zunehmenden künstlichen nächtlichen Beleuchtung sowie zu näherungsweise Bewertungen von ökonomischen Wirkungen der externen Kosten zum Stand Ende 2011 dar.

Die Herausgabe der vorliegenden Reihe wurde durch die freundliche Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Wissenschaftsjahres 2012 ermöglicht.

**Universitätsverlag der TU Berlin 2013**

<http://www.univerlag.tu-berlin.de>  
Fasanenstr. 88 (im VOLKSWAGEN-Haus), 10623 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 314 76131 / Fax: -76133  
E-Mail: [publikationen@ub.tu-berlin.de](mailto:publikationen@ub.tu-berlin.de)

**Das Manuskript ist urheberrechtlich geschützt.**

**Verfasser des Bandes**

Robert Hänsch, Benjamin Könecke, Merle Pottharst, Florian Wukovitsch  
Technische Universität Berlin (TU)  
Institut für Stadt- und Regionalplanung  
FG Stadt- und Regionalökonomie  
[www.isr.tu-berlin.de/econ](http://www.isr.tu-berlin.de/econ)  
Leitung Forschungsprojekt: Prof. Dr. Dietrich Henckel, Dr. Tim Moss

**Herausgeber der Reihe**

**BMBF-Verbundforschungsprojekt Verlust der Nacht –**

Ursachen und Folgen künstlicher Beleuchtung für Umwelt, Natur und Mensch  
Dr. Franz Hölker, Prof. Dr. Dietrich Henckel, Prof. Dr. Stefan Völker

**Layout und Satz**

Grundlayout Reihe und Satz Band: Robert Hänsch, [signtific@jpberlin.de](mailto:signtific@jpberlin.de)  
Umschlag: unicom werbeagentur gmbh, Parkaue 36, 10367 Berlin, [www.unicommunication.de](http://www.unicommunication.de)

**Druck**

mandaro mediengesellschaft mbH, Eiswerderstraße 18, 13585 Berlin, [www.mandaro.de](http://www.mandaro.de)

Zugleich online veröffentlicht auf dem Digitalen Repositorium der TU Berlin:

URL <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2013/3869/>

URN urn:nbn:de:kobv:83-opus-38691 [<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:83-opus-38691>]

**ISBN (print) 978-3-7983-2502-9**

**ISBN (online) 978-3-7983-2503-6**

# INHALT

---

<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
<b>2. DIREKTE KOSTEN</b>	<b>13</b>
2.1 Bau der Anlagen: Investitionskosten	15
2.2 Betrieb der Anlagen: Instandhaltungskosten und Systemmanagement	17
2.3 Energieverbrauch & Energiekosten	18
<b>3. INDIREKTE KOSTEN UND POSITIVE FOLGEN DES KÜNSTLICHEN LICHTS</b>	<b>22</b>
3.1 Auswirkungen auf den Menschen	23
3.2 Umweltwirkungen des künstlichen Lichts	30
3.3 Monetarisierung: Ansätze ökonomischer Bewertung indirekter Kosten	32
<b>4. ZUSAMMENFASSUNG UND FORSCHUNGSDESIDERATE</b>	<b>37</b>
4.1 Kurzüberblick zum Stand der Forschung	38
4.2 Forschungsdesiderate	40
<b>5. LITERATUR</b>	<b>42</b>



# 1. EINLEITUNG

Licht und Schatten stehen nicht nur sprichwörtlich dicht beieinander – auch in der Diskussion um die zunehmende „Lichtverschmutzung“ stehen sich zahlreiche divergierende Meinungen und Wissensstände zu den Themen „mehr Licht“ und „mehr Dunkelheit“ gegenüber. Die Forschung zum Thema der Auswirkungen künstlicher Beleuchtung ist ein eher junges Fokusthema, auch wenn natürlich in ausgewählten Einzelfeldern bereits seit vielen Jahren eine aktive Forschungslandschaft dazu vorzufinden ist. Die zunehmende Lichtimmission gewinnt in der öffentlichen Wahrnehmung an Bedeutung, auch wenn die Auswirkungen im täglichen Leben weniger intensiv wahrgenommen werden als bspw. die Folgen der Luftverschmutzung oder der Lärmimmission.

Im Rahmen des Verbundforschungsprojektes „Verlust der Nacht“ arbeiten daher Forscherinnen und Forscher verschiedener Disziplinen zusammen, um die eigenen Ergebnisse in Diskussion mit den Partnerinstitutionen in eine umfassende Forschung zu integrieren. Der Forschungsverbund konzentriert sich dabei auf die Auswirkungen der künstlichen Beleuchtung im Außenraum. Dabei ist es unstrittig, dass die verschiedenen Folgen von künstlicher Beleuchtung nicht immer eindeutig auf die Bereiche der Innen- oder

Außenbeleuchtung zurückzuführen sind. Das Licht der Außenbeleuchtung ist dabei nicht nur auf die offensichtliche Funktion der Straßenbeleuchtung zu begrenzen. In Anlehnung an Auer (1994) können folgende Lichtbereiche unterschieden werden:

- Das individuelle Licht, z.B. aus den Fenstern der Häuser,
- das merkantile Licht der Schaufenster und der Werbebeleuchtung,
- das institutionelle Licht der systematisch aufgebauten und durch öffentliche Institutionen beaufsichtigten Straßenbeleuchtung,
- das rituelle bzw. festliche Licht, also die teilweise temporäre Beleuchtung von Festen und ihren Riten,
- das mobile Funktionslicht der Verkehrsteilnehmer sowie
- das Licht von Infrastruktureinrichtungen und gewerblichen Anlagen.

Aus der vorgenannten Auflistung wird deutlich, dass es für die Vorhaltung und auch für den Ausbau der künstlichen Beleuchtung verschiedene Treiber und Auslöser gibt. Ausführlich werden diese Themen in den Literaturberichten des Teilprojektes 4 „Eine politische Situationsanalyse zur Minimierung der Lichtverschmutzung“ des Verbundforschungs-

projektes „Verlust der Nacht“ ausgeführt.<sup>1</sup> Im hier vorliegenden Literaturbericht wird der aktuelle Forschungsstand zu den Kostenaspekten der künstlichen Beleuchtung dargestellt.

Die negativen Folgen der Lichtimmissionen können, in Anlehnung an Longcore & Rich (2004), grundlegend in zwei Bereiche unterteilt werden:

- Die Folgen im Zusammenhang mit der Lichtverschmutzung des Himmels („astronomical light pollution“), also die Auswirkungen, die sich aus der abnehmbaren Sichtbarkeit der Sterne bzw. aus der fehlenden Dunkelheit ergeben.
- Die direkten Folgen der Lichtstrahlung für Lebewesen („ecological light pollution“), also bspw. Auswirkungen durch Ablenkung von Insekten, veränderten Tagesrhythmen von Tieren oder Gesundheitsfolgen bei Menschen.

Im Rahmen des Teilprojektes „Kosten des Verlusts der Nacht – Eine ökonomische Analyse der Folgen nächtlicher Beleuchtung“ werden reale Kosten und annähernde Bewertungsmöglichkeiten zur ökonomischen Wirkung der direkten und externen Kosten der vorgenannten Folgen der zunehmenden künstlichen nächtlichen Beleuchtung erarbeitet. Es ist davon auszugehen, dass im Zusammenhang mit

einer Quantifizierung der Kosten auch weitere nachfolgende Forschungsarbeiten an Gewicht gewinnen können. Ziel ist es auch, die Diskussionen zur „Lichtverschmutzung“ unter Zuhilfenahme von ökonomischen Bewertungen zu versachlichen und Grundlagen für die Abwägungen von Folgen unterschiedlicher Handlungsoptionen anzubieten. Zu erwarten ist dabei, dass insbesondere im Bereich der indirekten Kosten Quantifizierungsmöglichkeiten nur sehr begrenzt gegeben sind. Möglichkeiten von näherungsweise Abschätzungen sind daher zu suchen.

Vorliegend findet sich dazu, aufbauend auf einer umfassenden Literaturrecherche, als Grundlage der weiteren Arbeit eine Zusammenstellung des aktuellen Forschungsstandes zum Themenfeld. Zur Erstellung dieses Berichtes wurde in einem ersten Arbeitsschritt die verfügbare Literatur zum Thema künstlicher Beleuchtung recherchiert und in einer Datenbank strukturiert erfasst. Dazu wurde vorab eine abschließende Liste von Schlagworten festgelegt und die Beiträge entsprechend kodiert.<sup>2</sup> Insgesamt enthält die Datenbank nahezu 2.000 Einträge aus der einschlägigen deutschen Forschung und der internationalen Fachdiskussion.

Als ein erstes Ergebnis der Recherche wurden die Aspekte für die ökonomischen Bewertung strukturiert, was sich in der

1 Einen Überblick über die Forschung zur historischen Entwicklung der künstlichen Beleuchtung wird zudem im Rahmen des Literaturberichtes des Teilprojektes 3 „Die Karriere des künstlichen Lichts seit dem 19. Jahrhundert aus kultur- und umwelthistorischer Perspektive“ gegeben.

2 Dieser Schritt wurde in Abstimmung mit den Teilprojekten 3 und 4 des Verbundforschungsprojektes umgesetzt.

vorliegenden Gliederung des Berichtes widerspiegelt. Die sich aus der zunehmenden künstlichen nächtlichen Beleuchtung ergebenden ökonomischen Wirkungen lassen sich grob folgendermaßen unterteilen:

- Direkte Kosten für Aufbau der Infrastruktur, Erhalt der Infrastruktur und Verbrauchsgüter (hauptsächlich Elektroenergie);
- Indirekte Kosten durch individuelle Auswirkungen auf den Menschen und durch weitergehende Auswirkungen auf die Umwelt;
- Positive Folgen.

In einem ersten Kapitel werden aktuelle Forschungsergebnisse und die Aussagen in weiteren Veröffentlichungen zu den direkten Kosten der künstlichen nächtlichen Beleuchtung ausgeführt. Zu diesen Kosten gehören alle Aufwendungen, die für die Errichtung und den Betrieb von Beleuchtungseinrichtungen anfallen. Aufgrund des geringen Umfangs entsprechender Quellen sind die benannten Kennwerte v.a. als erste Orientierung für eine Kosteneinschätzung anzusehen.

Im darauf folgenden Kapitel werden die wesentlich abstrakteren externen oder indirekten Kosten und die positiven Folgen behandelt. Beide Bereiche werden zusammen besprochen, da sich die Folgen und Kostendimensionen teilweise nicht eindeutig trennen lassen (z.B. im Bezug auf den Tourismus). Die vorliegenden For-

schungsergebnisse sind in diesem Bereich in Bezug auf Häufigkeit und Tiefe sehr unterschiedlich. Unterteilt werden die indirekten Kosten dabei einerseits auf die Bereiche der Folgen für die Menschen und die Folgen für die Umwelt. Es existiert jedoch kaum Literatur, die explizit die Quantifizierung der indirekten Kosten oder positiven Folgen von Lichtverschmutzung zum Thema macht. Während der Arbeit an dem vorliegenden Bericht wurde deutlich, dass dies in erster Linie mit der großen Menge und ungenauen Kausalität der möglichen Auswirkungen künstlichen Lichts in Zusammenhang zu stehen scheint.

Abstrakte ökonomische Bewertungsmethoden, die zur Operationalisierung der unkonkreten indirekten Kosten denkbar sind, werden in einem separaten Abschnitt dieses Kapitels ausgeführt. Besonders viele Modelle, allerdings unabhängig vom „Stressor“ Licht, kommen aus der Umwelt- und Gesundheitsökonomie, so zum Beispiel die Idee der Zahlungsbereitschaft für die Erhaltung von Umweltgütern oder der Humankapital-Ansatz.

Bei der vorliegenden Literaturanalyse wurde aber auch deutlich, dass häufig eine Zuordnung der Kosten oder Folgen auf die Wirkung des künstlichen Lichts entweder gar nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand vorgenommen werden kann. So ist es unstrittig, dass die Existenz künstlicher Beleuchtung für weite Teile des heutigen gesellschaftlichen Lebens eine – wenn nicht gar die – Grundvorausset-

zung darstellt.<sup>3</sup> Die tatsächlichen indirekten Kosten oder Folgen sind überwiegend anderen Rahmenbedingungen zuzuordnen. So sind bspw. die Existenz und der Ausbau von nächtlichen Verkehrsangeboten des Güter- und Personenverkehrs zu großen Teilen auf eine globale Veränderung der Liefer- und Produktionsstrukturen der Wirtschaft zurückzuführen, auch wenn diese natürlich ohne künstliche Beleuchtung der Verkehrswege bzw. der Umschlagplätze nicht vorstellbar wäre. Eine Zuordnung der entsprechenden Belastungen zur künstlichen Beleuchtung wäre dabei unverhältnismäßig. Im Rahmen des

vorliegenden Literaturberichtes wird daher eine Zusammenstellung der indirekten Kosten der künstlichen nächtlichen Beleuchtung auf die relevanten Wirkungsbereiche beschränkt.

Im abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturanalyse strukturiert zusammengefasst und die sich daraus ergebene Forschungsdesiderate für die Weiterentwicklung des Forschungsfeldes formuliert. Ein Teil der benannten Fragestellungen soll dabei ebenfalls im Forschungsprojekt „Verlust der Nacht“ bearbeitet werden – auch darauf wird im abschließenden Abschnitt Bezug genommen.

---

<sup>3</sup> Vgl. dazu ausführlich den Literaturbericht zur Geschichtswissenschaft im Teilprojekt 3 des Verbundforschungsprojektes „Verlust der Nacht“.

## 2. DIREKTE KOSTEN

Die direkten Kosten des künstlichen Lichtes lassen sich auf der Basis von Preisen und Erfahrungswerten berechnen, allerdings ist die Datengrundlage noch sehr unvollständig bzw. einseitig auf einzelne Räume fokussiert, so dass die vorliegenden Angaben nur beschränkt als erste Orientierungswerte bzw. als erste Hinweise für weitere Untersuchungen dienen können.

Daten liegen dabei in erster Linie für die Straßenbeleuchtung vor, da diese von der öffentlichen Hand betrieben wird und entsprechende Kostenaufschlüsselungen gut zugänglich sind. Kosten für private Beleuchtungen lassen sich zwar ebenso berechnen, aufgrund der Diver-

sität der privaten Betreiber (von Produktionsanlagen der Industrie bis zur Gebäudeinszenierung in Städten) ist jedoch eine detaillierte Kostenauffächerung nur schwer zu realisieren. Die Kommunen handeln beim Umgang mit der Straßenbeleuchtung bzw. öffentlichen Beleuchtung sehr unterschiedlich, so dass sich die Ermittlung eines Mittelwertes für Regionen oder Länder als schwer erweist und viele einzelne Berechnungen notwendig wären.

Die Kostenstruktur ist grundsätzlich ähnlich und wurde seit Beginn dieses Jahrhunderts von verschiedenen Autoren kontinuierlich analysiert und erweitert. Sie lässt sich in die folgenden Hauptkom-

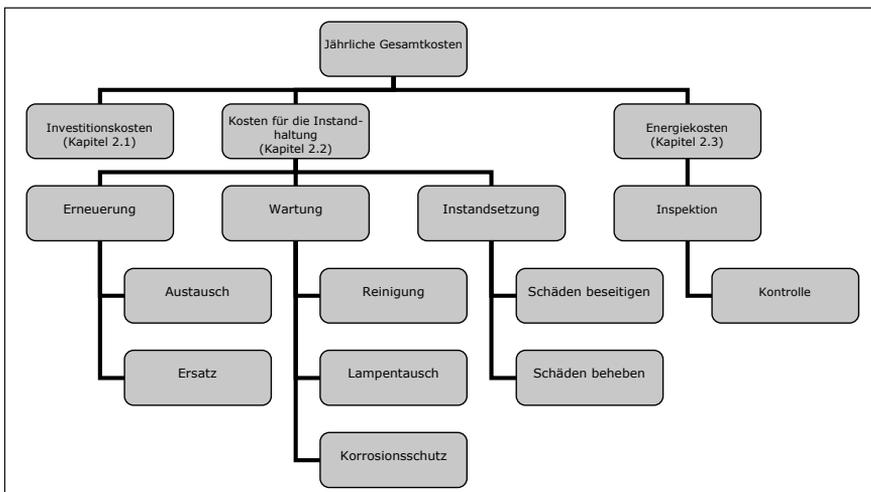


Abb. 1 Aufteilung der jährlichen Gesamtkosten der Außenbeleuchtung (TRILUX AG 2009, S.228)

Straßenbeleuchtung in Deutschland		Mittelwert
Anteil am Stromverbrauch		0,7%
Anzahl der Lichtpunkte		10 Mio.
Anschlusswert je Lichtpunkt		100 W
Brenndauer pro Jahr		4.000 h/a
Stromverbrauch je Lichtpunkt und Jahr		400 kW/h
<b>Stromkosten je Lichtpunkt pro Jahr (bei 0,15€/kWh)</b>		<b>60,00 €/a</b>
<b>Gesamtkosten je Lichtpunkt inkl. Stromkosten pro Jahr (Instandhaltungskosten und Systemmanagement nicht detaillierter aufgeführt)</b>		<b>135,00 €/a</b>
Stromkosten je Bundesbürger		7,50 €/a
Kalkulatorische Lebenserwartung		
Maste		50 a
Kabel		50 a
Leuchten		25 a
Lampen		4 a
Kosten eines Lichtpunktes inkl. Kabel und Schalteinrichtung		3.760,00 €
Gemittelte Lebenserwartung eines Lichtpunktes		40 a
<b>Abschreibungswert pro Lichtpunkt und Jahr</b>		<b>94,00 €</b>
Installations- und Investitionskosten		94,00 €
Energiekosten		60,00 €
Instandhaltungskosten und Systemmanagement		75,00 €
<b>geschätzte Gesamtkosten pro Lichtpunkt in Deutschland (Durchschnitt p.a.)</b>		<b>229,00 €</b>

Tab. 1 Orientierungswerte zur Straßenbeleuchtung in Deutschland – Durchschnittspreise errechnet anhand 2003 in acht größeren deutschen Städten erhobenen Daten (TRILUX AG 2009, S.229 nach VDN/LITG 2009)

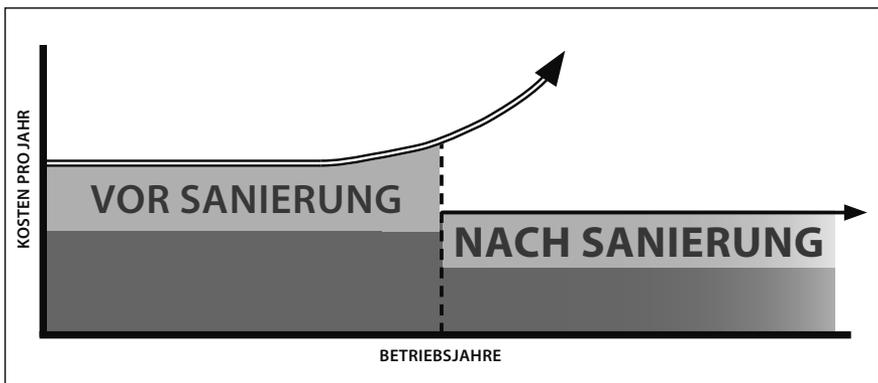


Abb. 2 Beispielhafte schematische Darstellung der Entwicklung von laufenden Kosten im Bereich der Straßenbeleuchtung (eigene Darstellung nach TRILUX AG 2009, S.229)

plexe unterteilen (Höhne/Schröter 2002, S.157; VDN/Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) 2009, S.31; TRILUX AG 2009, S.228):

- Bau der Anlagen: Neubau, Ergänzungen, Umbau, Erneuerungen;
- Betrieb der Anlagen: Instandhaltung, Steuern und Schalten der Anlagen, sowie Führungs- und Dienstleistungsaufgaben für den Bau und Betrieb der Anlagen (Systemmanagement);
- Energieverbrauch: Schaltzeiten, lichttechnische Eigenschaften.

Der Bau der Anlage, sprich die Investitionskosten, sind einmalig auftretende Kosten und werden auf mehrere Jahre angerechnet (Höhne/Schröter 2002; VDN/Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) 2009). Differenziertere Betrachtungen bzw. detaillierte Kostendefinitionen und -aspekte zu den vier in der Aufzählung genannten Kategorien lassen sich aus der zitierten Studie von Höhne und Schröter aus dem Jahr 2002 beispielhaft entnehmen. Die Kosten für den Betrieb der Anlage und die Energiekosten sind hingegen Folgen der getätigten Investition. Diese Kostenaufwände fallen somit in die jährlichen Gesamtkosten, die für die Beleuchtung getätigt werden müssen.

Eine Aufstellung der Lebensdauer und den damit verbundenen Anrechnungszeitraum sowie der verschiedenen Kostenbereiche für die einzelnen Elemente einer Anlage können der nachfolgenden Auf-

listung entnommen werden. Diese zeigt die Ergebnisse einer Studie des deutschen Leuchtenherstellers TRILUX, der damit momentan die aktuellste und umfassendste Studie bereitstellt (TRILUX AG 2009). In ihr werden vorherige Studien zusammengefasst und qualifiziert weiterentwickelt. Wiedergegeben wird darin ein Mittelwert, welcher durch einen Vergleich von acht deutschen Großstädten ermittelt wurde, die wiederum über zehn Prozent des Anlagenbestandes in Deutschland verfügen. Damit können diese Daten als erste Orientierungshilfe dienen.

## 2.1 Bau der Anlagen: Investitionskosten

Die Investitionskosten zum Bau der Anlagen erscheinen auf den ersten Blick eine sehr hohe Summe zu bilden, jedoch nehmen sie letztlich gegenüber den Betriebskosten einen geringeren Anteil der jährlichen Gesamtkosten ein. Grund hierfür ist die Anrechnung bzw. Abschreibung dieser Kostenposition auf mehrere Jahre.

Wie in der Tab. 1 dargestellt, belaufen sich die Kosten für einen Lichtpunkt in Deutschland durchschnittlich auf 3.760,00 € (inklusive Kabel und Schalteinrichtung). Bei einer Lebenserwartung von durchschnittlich 40 Jahren ergibt dies eine Summe von rund 94,00 € an Investitionskosten (TRILUX AG 2009, S.229).

Neben dem Begriff Investitionskosten, welcher sich ökonomisch orientiert, wird in technisch ausgerichteten Studien und Literaturen auch oftmals der Begriff Installationskosten verwendet. Trotz der unterschiedlichen Begrifflichkeiten beinhalten beide die gleichen Kostenpunkte.

Investitionskosten haben Betriebskosten zur Folge, welche sich aus Instandhaltungs- und Energiekosten zusammensetzen. Daher wird in vielen Literaturen und Studien eine umfassende Planung der Investitionen empfohlen. Für eine effektive Planung kann man sich beispielsweise einer von Höhne und Schröter 2002 entwickelten Methode bedienen, welche vorsieht, detaillierte Kostenpläne aufzustellen, in denen mittels Matrizen Kostenarten (Gehälter, Material, Mieten etc.) nach Kostenstellen oder -trägern aufgeführt werden. Diese Methode lässt aufgrund ihrer Ausführlichkeit auch ein Monitoring zu, welches dem Betreiber erlaubt, den wirtschaftlichsten Zeitpunkt für Sanierungsmaßnahmen zu bestimmen (vgl. Abb. 2).

Zudem eignet sich diese Methode auch zur Bestimmung und Festlegung von benötigten Mitteln aus den kommunalen Haushalten. Unterschieden wird dabei in drei Leistungsgruppen.

#### 1. Langfristig planbare Leistungen

Hierzu zählen beispielsweise Wartung, Inspektion, Erneuerung, betriebswirtschaftliche Aufgaben, Betriebssteuerung und Dokumentation. Kostenbe-

stimmende Faktoren sind zum Beispiel Lichtpunkthöhe, Befestigungsart, Leuchtmittel, Verschmutzung, Freileitung/Kabel, Korrosionsschutz. Die Kostenplanung basiert auf Pauschalen.

#### 2. Teilweise planbare Leistungen

Hierzu zählen zum Beispiel die Instandsetzung, Planung und Projektierung, Baumaßnahmen oder Systemoptimierung. Der Preis ergibt sich dabei aus Zeit und Aufwand der unterschiedlichen Leistungen. Die Kostenplanung erfolgt dabei aus Erfahrungswerten und Abrechnung.

#### 3. Nicht planbare Leistungen

Hierzu zählen beispielsweise außergewöhnliche Maßnahmen, Störungsbehebungen oder die Verfolgung von Schadensansprüchen. Die Preisbildung kann nach Fallpauschalen, Einsatzpauschalen oder nach Zeit und Aufwand erfolgen. Die Kostenplanung basiert auf Erfahrungswerten und Schätzungen.

Der Aspekt der Investitionskosten spielt in Deutschland eine große Rolle, da aktuell – wie zuvor bereits beschrieben – in vielen Kommunen ein hoher Sanierungsbedarf im Bereich der öffentlichen Beleuchtung besteht. Infolge der hohen anstehenden Investitionen und Installationen und den begrenzten bereitstehenden Mitteln in den kommunalen Haushalten werden daher zunehmend sogenannte Contractingverträge geschlossen, bei denen ein Partner

die Beleuchtungssanierung übernimmt. Unterschieden wird dabei in die zwei Modelle „Laufzeit“ und „Beteiligung“.

Das „Laufzeitmodell“ ist darauf ausgelegt, dass während der gesamten Vertragslaufzeit die eingesparten Energie- bzw. Betriebskosten dem Contractingpartner zugute kommen und somit die Kommune erst nach Vertragsende von der Sanierung profitiert. Beim Beteiligungsmodell hingegen verbleibt ein gewisser Anteil (oftmals rund 10%) bei der Kommune, während der restliche Anteil vom Contractingpartner zur Refinanzierung der Investitionskosten genutzt wird. Somit wird bei dem zweiten Modell bereits während der Vertragslaufzeit der Haushalt der Kommune entlastet (TRILUX AG 2009).

## 2.2 Betrieb der Anlagen: Instandhaltungskosten und Systemmanagement

Die Instandhaltung von Beleuchtungsanlagen ist besonders relevant. Durch eine längere Lebensdauer der Anlage bzw. einzelner Elemente der Anlage, erhält man eine Minderung des Wertverlustes, wodurch die zuvor ausgeführten Investitionskosten auf einen längeren Zeitraum angerechnet werden können. Ein guter technischer Zustand vermindert für gewöhnlich auch einen unnötigen Stromverbrauch und senkt damit die Energiekosten. Wie in Kapitel 2.3 (Energiekosten) ausgeführt wird, sind

in den letzten 20 Jahren die Kosten für die Instandhaltung, aufgrund des technologischen Fortschritts und damit einhergehende größere Wartungszyklen erheblich gesunken (TRILUX AG 2009).

Beeinflussbar sind die Instandhaltungskosten durch ein effizientes Systemmanagement. Dieses umfasst die Planung sowie die Wartung der Anlagen. Somit soll vermieden werden, dass beispielsweise Anlagen an Orten im öffentlichen Raum aufgestellt werden, wo sie leicht Vandalismus ausgesetzt sind oder die Beschädigung durch Unfälle sehr hoch sein kann (Höhne/Schröter 2002, S.24f). Die Auswirkungen durch vernachlässigte Pflege hat Keschull bereits 1986 sehr deutlich dargestellt. Danach verschmutzten Leuchten im innerstädtischen Außenbereich bei einem zweijährigen Reinigungszyklus so stark, dass sie 20-40% ihres produzierten Lichtes nicht auf die Nutzfläche transportieren können (Keschull 1986).

Für das Systemmanagement werden heutzutage, wie bereits im Kapitel 2.1 (Investitionskosten) ausgeführt, ebenfalls häufig Contractingpartner herangezogen. Oftmals umfassen ihre Verträge auch die Betreuung des Bestandes.

In der analysierten Literatur wird bislang darauf verzichtet, die mit den Ersatzinvestitionen in Zusammenhang stehenden Energieaufwendungen ausreichend in die Bilanz zur Feststellung des „richtigen“ Ersatzzeitpunktes einzuberechnen. Es ist vorstellbar, dass der sogenannte „ökologische

Fußabdruck' der Produktion dabei zu einer abweichenden Bewertung von Ersatzinvestitionen führen kann.

Zusammenfassend kann aber grundsätzlich festgehalten werden, dass sich durch eine langfristig angelegte Optimierung der anlagenbezogenen Kenngrößen und durch Anwendung von Sanierungskonzepten zum Werterhalt der Anlagen, Instandhaltungs- und Energiekosten reduzieren und die Beleuchtungsqualität insgesamt verbessern lassen. Umgekehrt gilt, dass je weniger in die Sanierung investiert wird, die Betriebskosten bei schlechter werdender Beleuchtungsqualität umso höher sind, d.h. der Betrieb der Beleuchtungsanlage wird unwirtschaftlicher (Höhne/Schröter 2002; VDN/Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) 2009).

### 2.3 Energieverbrauch & Energiekosten

Die Diskussionen zu Energieverbrauch und energieeffizienteren Beleuchtungsmethoden nahmen in den vergangenen Jahren stetig zu und werden voraussichtlich, aufgrund der steigenden Rohstoffpreise und der zunehmenden CO<sub>2</sub>-Belastung der Umwelt, auch künftig weiter an Bedeutung gewinnen.

Eine Grundlage dieser Diskussion wird bei der Betrachtung der Zusammensetzung der direkten Kosten für öffentliche Beleuchtung (Straßenbeleuchtung) in

Deutschland deutlich. Aufgrund des technologischen Fortschritts, durch den die Wartungs- und Instandsetzungskosten in den letzten Jahren erheblich gesenkt werden könnten, nahm der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten überproportional zu. Durch diese Entwicklung rückten die Energiekosten immer stärker in den Fokus und wurden zunehmend diskutiert (TRILUX AG 2009, S.228-229).

Einen Sonderfall im Bereich der Energiekosten bildet die Gasbeleuchtung. Insgesamt sind derzeit weltweit noch rund 100.000 Gaslaternen zur öffentlichen Beleuchtung in Betrieb, wobei sich davon allein 44.000 in Berliner Stadtgebiet befinden. Die Stadt Berlin bringt gegenwärtig insgesamt rund 23 Mio. Euro jährlich für Energiekosten zur öffentlichen Beleuchtung auf. Diese Summe teilt sich dabei auf 180.000 elektrische Leuchten und 44.000 gasbetriebene Leuchten auf (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011). Obwohl der Betrieb von Gasbeleuchtung im Vergleich zu elektrischer Straßenbeleuchtung verhältnismäßig ineffizient ist, scheitern Versuche, die Gasbeleuchtung durch elektrische Beleuchtung zu ersetzen, oftmals an der Bevölkerung, die den Gaslaternen einen sehr hohen emotionalen Wert zuschreibt (Kraft 2009). Für die Kommunen ist es wiederum wünschenswert, genau diese Beleuchtungsart durch moderne LED-Leuchten zu ersetzen, welche ein zunehmend hohes Entwicklungsmaß erleben und aufgrund ihrer geringen

Energiekosten zunehmend eingesetzt werden (Spillmann 2002).

Die Autoren der Veröffentlichung „Beleuchtungspraxis – Außenbeleuchtung“ des Leuchtenherstellers TRILUX haben 2009 eine weitere Betrachtungsweise aufgezeigt, indem sie die Werte des Energie- und Stromverbrauchs für (öffentliche) Beleuchtung dem Gesamtverbrauch Deutschlands gegenübergestellt haben. Zur Erläuterung und Verdeutlichung dieser Gegenüberstellung sind folgend die wichtigsten Fakten zusammengefasst (vgl. Tab. 2).

Der Anteil der Straßenbeleuchtung beläuft sich in Deutschland auf etwa 0,1% am Gesamtenergieverbrauch (Energie für Strom, Wärme, Industrie, etc.) und auf ca. 0,7% am Gesamtstromverbrauch (VDN/Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) 2009). Betrachtet man die gesamte Aufwendung für künstliche Beleuchtung, so ergibt sich, ein Anteil am Gesamtenergieverbrauch von etwa 1,7% bzw. ein Anteil am gesamten Stromverbrauch in Deutschland von 10,8%. Somit fallen 10,1% des Stromeinsatzes auf künstliche Beleuchtung, die nicht der öffentlichen Straßenbeleuchtung dient. Einen vergleichsweise höheren Wert zu dem genannten Anteil von 0,7%

am Gesamtstromverbrauch für Straßenbeleuchtung weist beispielsweise die Schweiz mit 1,5% auf (TRILUX AG 2009). In den deutschen öffentlichen Haushalten nimmt die Straßenbeleuchtung, trotz des zuvor genannten sehr geringen Wertes einen Anteil von bis zu 45% der gesamten Stromkosten einer Kommune ein. Dies macht jedoch nur etwa 0,4% des gesamten kommunalen Haushaltes aus (TRILUX AG 2009).

Deutlich wird aus diesen Angaben und Gegenüberstellungen, dass die Beleuchtung und erst recht die Straßenbeleuchtung nur einen geringen Anteil des Gesamtverbrauchs ausmachen.

Andererseits spiegelt eine verhältnismäßig hohe Anzahl an Studien, Beiträgen in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln und Veröffentlichungen sowie Wettbewerben aus Politik und Wirtschaft das Interesse und den Bedarf an Kosteneinsparungen bei öffentlicher Beleuchtung wider (vgl. bspw. Energieagentur NRW 2008; Strahring 1954; Berliner Energieagentur GmbH/ZVEI 2008; Berliner Energieagentur GmbH 2010). Ansätze hierfür lassen sich bereits seit dem Beginn der Elektrifizierung erkennen. Schon zu jener Zeit wurden erste Berechnungen zu

	Straßenbeleuchtung in Deutschland	Beleuchtung (Innen und Außen) in Deutschland	Nicht öffentliche Beleuchtung in Deutschland
Anteil Gesamtenergieverbrauch	ca. 0,1 %	ca. 1,7 %	-
Anteil Gesamtstromverbrauch	ca. 0,7 %	ca. 10,8 %	ca. 10,1 %

Tab. 2 Zusammenfassung der Energie- und Stromkosten nach TRILUX 2009

den Kosten des Energieverbrauchs durch Beleuchtung angestellt (Royal Society of Arts 1881; Preece 1880; Strahinger 1954; Bakken/Zank 1959). Noch heute sind vor allem die Themen Energieeffizienz und Energieeinsparungen auf der Agenda vieler Kommunen, aber auch zahlreicher Betreiber von Privatbeleuchtungen zu finden.

Vielen Autoren zufolge liegt der Schlüssel zu effizienteren und energiesparenden Systemen in der Sanierung veralteter Anlagen (TRILUX AG 2009; Höhne/Schröter 2002; VDN/Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) 2009). Hierzu traf der Leuchtenhersteller TRILUX (2009) die Aussage, dass 30 bis 40% der heutigen Straßenbeleuchtung in Deutschland aus den 1960er und 1970er Jahren stammen und jährlich bis zu 400 Mio. Euro, bzw. 2,7 Mrd. kWh und 1,6 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> durch effizientere Systeme im Zuge von Sanierung eingespart werden könnten. Einsparungen beim Energieverbrauch der öffentlichen Beleuchtung können zum einen durch die Wahl der lichttechnischen Eigenschaften der Lampen und Leuchten und zum anderen durch die Brenndauer der Beleuchtung beeinflusst werden kann. Durch eine bedarfsgerechte Einschaltung und durch hohe Wirkungsgrade können Energieeinsparungen erreicht werden (Höhne/Schröter 2002). Darüber hinaus wird darauf hingewiesen, dass zusätzlich zu den Energiekosten oft auch ein Netznutzungsentgelt vom Netzbetreiber verlangt

wird (VDN/Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) 2009).

Kommunen, die keine hohen Investitionskosten aufbringen können, versuchen daher, in unterschiedlichen Formen Energiekosten einzusparen, indem sie beispielsweise die Straßenbeleuchtung in den Nachtstunden für eine gewisse Zeit abschalten oder verkehrsabhängige Stufenschaltungen integrieren. Dies führt jedoch nicht selten zu Diskussionen über das Sicherheitsgefühl der Bevölkerung und Fragen der Verkehrssicherheit (vgl. Frevel/Mock 2007 und Abschnitt 3.1.2). Die „verordnete“ Dunkelheit ist umstritten und findet sehr unterschiedliche Auslegungen in der Literatur. Zum einen wird sie befürwortet, zum anderen teils scharf kritisiert und als nicht konsistent betrachtet (licht.de – Fördergemeinschaft Gutes Licht 2007).

Zur indirekten Überprüfung des Energieverbrauchs bzw. der Energieeffizienz bedient man sich heute auch der Erhebung von Lichtverschmutzung durch Satellitenbilder. Die umfassendste Studie dieser Art wurde im Jahr 2000 in Japan durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass innerhalb der fünf untersuchten Städte der Energieverlust durch (private und öffentliche) Beleuchtung zwischen 1993 bis 1996 die auf den Satellitenbildern dargestellte Lichtintensivität zwischen 1993 und 1996 um 10-20% zunahm. Das in die Atmosphäre abgestrahlte Licht gilt dabei als unnötig aufgebrachte Energie, welche mittels Techniken nutzflä-

chenorientierter gesteuert werden könnte (Isobe/Hamamura 2000).

Der Bereich der Energiekosten zeigt zwei sehr unterschiedliche Seiten auf. Während bei der Gegenüberstellung von prozentualen Anteilen die öffentliche Beleuchtung in Deutschland nur einen geringen Anteil umfasst, liegt dennoch gerade in diesem Bereich seit einigen Jahren ein Schwerpunkt der Aktivitäten zur Energieeinsparung und Umrüstung auf effizientere Anlagensysteme.

Erhebungen von Energiekosten beruhen sich meist auf Werte, welche von Kom-

munen und Herstellern zusammengetragen und gegenübergestellt werden. Offen bleiben für den Bereich der Energiekosten vertiefende Untersuchungen und Erhebungen zur privaten Beleuchtung. Zwar werden in Studien Rückschlüsse auf den Energie- und Stromverbrauch privater Nutzer bzw. Betreiber gemacht, jedoch wurden bisher aufgrund der großen Menge und der bestehenden Diversität von Leuchten bzw. Betreibern keine Erhebungen hierzu vorgenommen bzw. ein Mittelmaß wie bei der öffentlichen Beleuchtung angenommen.

### 3. INDIREKTE KOSTEN UND POSITIVE FOLGEN DES KÜNSTLICHEN LICHTS

Indirekte bzw. externe Kosten umfassen Kosten der Produktion (in diesem Fall von Licht), die nicht exakt auf einen individuellen Herstellungsprozess bezogen werden können. Diese Kosten werden so aus dem produzierenden Unternehmen bzw. aus dem Produktionsprozess externalisiert und bspw. durch andere Kostenträger übernommen. Am Beispiel der Luftverschmutzung ist dieser Mechanismus nachvollziehbar: Wenn durch die Verbrennung von Kohle in einem Heizkraftwerk Erkrankungen der Atemwege oder Staubbiederschläge auf Gebäuden und Kraftfahrzeugen auftreten, werden die Kosten für die Behandlung bzw. Beseitigung nicht von dem produzierenden Unternehmen kalkuliert. Durch staatliche Auflagen (z.B. den Einbau von Filtern) können die Luftverschmutzung aber vermieden und die externen Kosten internalisiert werden (Pollert u. a. 2009, S.65f.).

Der Unterschied dieses Kapitels zu Kapitel 2 besteht somit in erster Linie darin, dass zunächst für die jeweiligen Auswirkungen keine konkreten Geldsummen oder Gegenwerte benannt werden können. Die Problematik liegt in allen behandelten Bereichen in der Monetarisierung der Effekte des künstlichen Nacht-Lichts. Zwar gibt es Ansätze verschiedenster

Disziplinen bestimmte Aspekte relativ exakt in monetären Werten benennen zu können (so z.B. in der Gesundheits- oder Umweltökonomie oder der Verkehrssicherheit), dennoch scheint die Bewertung vieler Teilbereiche in erster Linie subjektiver Natur zu sein (z.B. Erholungswert, ästhetische Werte).

Im Zusammenhang mit künstlicher Beleuchtung sind nicht nur Kosten, sondern auch positive Folgen feststellbar. Diese wirken beispielsweise – und dort besonders offensichtlich – im Bereich der subjektiven Sicherheit. Einige dieser Folgen, für die ebenfalls Ansätze der Monetarisierung existieren, werden nachstehend ebenso untersucht.

Dabei werden die einzelnen Bereiche, in denen relevante Wirkungsbereiche der künstlichen nächtlichen Beleuchtung zu erwarten sind, zunächst betrachtet und die kostenbezogenen Auswirkungen beschrieben. Dort, wo bereits Ansätze zur Quantifizierung dieser Effekte bestehen (z.B. in der Umwelt- und Gesundheitsökonomie), wird vertiefend darauf eingegangen.

### 3.1 Auswirkungen auf den Menschen

Die indirekten Kosten der künstlichen nächtlichen Außenbeleuchtung können bzgl. der Auswirkungen auf den Menschen in zwei Gruppen unterteilt werden:

- individuelle und körperliche Auswirkungen sowie
- allgemeine Wirkungen auf die Gesellschaft.

Im Bereich der individuellen Auswirkungen werden vorliegend insbesondere die Themenbereiche Gesundheit und Sicherheit betrachtet. Bzgl. der Wirkungen auf die Gesellschaft werden die indirekten Kosten v.a. mit Blick auf das Kulturgut Sternenhimmel und die touristische Nutzung ausgeführt.

#### 3.1.1 Gesundheitsfolgen

Mit nächtlichem Licht werden verschiedene gesundheitliche Schäden in Verbindung gebracht: Krebs, Schlafstörungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und auch Fettleibigkeit werden beschrieben. Zu Krebserkrankungen gibt es bspw. mehrere Untersuchungen zur sog. LAN- (Light-at-Night)-Hypothese. Vertiefende Betrachtungen finden sich u.a. in Fonken u. a. 2010; Kloog u. a. 2010; Stevens 2009; Kantermann/Roenneberg 2009; Kloog u. a. 2008; Blask u. a. 2005; Pau-

ley 2004; Stevens/Davis 1996. Zu klären bleibt allerdings noch, welche Bedeutung in diesem Bereich tatsächlich der künstlichen nächtlichen Beleuchtung im Außenraum zukommt (Zweifel u. a. 2009).<sup>4</sup>

Ähnlich wie die Umweltökonomie versucht auch die Gesundheitsökonomie, Nutzen und Kosten bestimmter (Gesundheits-)Güter zu bewerten. Nutzen und Kosten einer Gesundheitsleistung können dabei sowohl direkter, indirekter als auch intangibler bzw. psychosozialer Art sein. Beispiele für indirekten Nutzen sind gewonnene symptomfreie Tage, Anzahl vermiedener Tumore etc. Die Kosten lassen sich in direkte Kosten (für Medikamente, Personal, Verwaltung, Behandlung), indirekte Kosten (z.B. Verdienstaustausch) und intangible Kosten (nicht direkt monetär messbar, z.B. Angst, Schmerz, Lebensqualität etc.) unterteilen. Indirekte Kosten werden häufig mit dem Humankapital-Ansatz abgeschätzt, intangible Kosten werden ansatzweise mit dem QALY-Ansatz gemessen. Krankheitskostenanalysen bilden eine Möglichkeit, Kosten für bestimmte Krankheiten möglichst konkret abzuschätzen.

#### *Krankheitskostenanalysen*

Anhand von Krankheitskostenanalysen lassen sich die direkten Kosten in Form von tatsächlichen Gesundheitsausgaben und die

<sup>4</sup> Die Wirkungen der Lichtverschmutzung auf den Menschen werden in Teilprojekt 6 „Lichtverschmutzung – Wirkung auf den Menschen“ des Verbundforschungsprojektes „Verlust der Nacht“ untersucht.

indirekten Kosten als Verlust an Wertschöpfung definieren und für bestimmte Krankheiten ermitteln (Henke/Martin 2006).

### *Humankapital-Ansatz*

Der Humankapital-Ansatz legt zur Berechnung des Produktivitätsverlustes durch Behandlung oder Krankheit das Einkommen des Patienten zu Grunde. Dies erfolgt unter der Annahme, dass das Einkommen einer Person dem Gegenwert seiner Arbeitsleistung entspricht. Als Indikator wird daher das durch die Krankheit entgangene Arbeitsentgelt betrachtet. Bei Erwerbsunfähigkeit und Tod wird das gesamte zukünftige Arbeitseinkommen bis zum durchschnittlichen Renteneintrittsalter berücksichtigt (Henke/Martin 2006 ; Leidl 1998).

### *QALY-Ansatz*

Ein QALY ist ein qualitätsgleiches Lebensjahr (Quality adjusted Lifeyear). Der Ansatz geht davon aus, dass der Erfolg einer Therapie nicht nur anhand der erzielten Lebensverlängerung zu bestimmen ist. Ebenso wichtig ist die Lebensqualität des Patienten in dieser Zeit. Das QALY kombiniert die Lebenserwartung mit einem Faktor  $q$ , der einen Qualitätsindex darstellt (1 für vollständiges Wohlbefinden und 0 für Tod). Durch Addition der mit dem jeweiligen Qualitätsmaß  $q$  bewerteten Zeiten lassen sich dann gesundheitsbezogene Effekte als QALYs bestimmen (Zweifel u. a. 2009).

Zur ökonomischen Bewertung der Gesundheitsfolgen durch künstliche nächtliche Beleuchtung sind bislang keine Untersuchungen bekannt. Eine ansatzweise Ausnahme bildet ein Vortrag von Prof. Henke bei einem Symposium über Licht und Gesundheit 2008, in dem dieser das Thema Licht aus gesundheitsökonomischer Perspektive betrachtet (Henke 2008). Henke stellt dabei das Licht als Heilkraft in Form der Lichttherapie auf die Nutzen-Seite und die Lichtallergie und das Melanom durch zu viel Strahlung auf die Kosten-Seite. Damit analysiert er zwar die häufigsten Assoziationen zu dem Zusammenhang von Licht und Gesundheit, ist allerdings als Startpunkt für die Analyse der in dem vorliegenden Projekt interessanten Problematik der Gesundheitsbelastung durch Lichtverschmutzung eher ungeeignet.

Als eine weitere Kostenkategorie können die Kosten, die sich aus der auf Müdigkeit – etwa durch Schichtarbeit (Khaleque 1991; Khaleque 1999; Rajaratnam/Arendt 2001) und evtl. indirekt durch zu viel Licht in der Nacht – zurückzuführende vermehrte Zahl an Unfällen ergeben, berücksichtigt werden (Zulley/Knab 2009, S.182 ff.; Moore-Ede 1993, S.64 ff.).

### 3.1.2 Sicherheit

Eine verbesserte Sicherheit ist ein wichtiger Anreiz für den Auf- und Ausbau künst-

licher Beleuchtung. Wenig überraschend ist daher die umfassende Literatursammlung zu den Themenbereichen Sicherheit/Kriminalität („crime“) und Sicherheit im Verkehr („safety“).

Überraschend ist die immer wiederkehrende Erkenntnis verschiedener Studien, dass ein Ausbau der künstlichen Beleuchtung oft nur zu geringen Zuwächsen in der objektiven Sicherheit führt. Auch eine Handreichung des US Department of Justice mit Ausführungen zum Einsatz künstlichen Lichts zur Verbrechenseindämmung benennt einfühend, dass entsprechende Maßnahmen Verbesserungen bewirken können, aber es gleichzeitig durchaus auch zu gegenteiligen Effekten kommen kann (Clarke 2008, S.5ff). Demgegenüber haben Painter & Farrington (2001) in zwei Einzeluntersuchungen Kosteneinsparungen bei verbesserter nächtlicher Beleuchtung vom bis zum zehnfachen Wert der Installationskosten pro Jahr festgestellt. Inwieweit die Sicherheitszuwächse auch grundsätzlich mit baulichen Verbesserungen der Wohnumgebung einhergehen, ist dabei nicht sicher abgegrenzt (vgl. z.B. Farrington/Welsh 2002). Die Ergebnisse weiterer Studien und Untersuchungen kommen in einigen Fällen zu (vermeintlich) klaren, in anderen Fällen zu keinen wahrnehmbaren Zusammenhängen (vgl. u.a. Clarke 2008, S.12f; Marchant 2004, S.442ff; Atkins u. a. 1991, S.19).

Übereinstimmender sind die Untersuchungen im Bereich der subjektiven Sicherheit durch künstliche Beleuchtung. Immer wieder weisen die analysierten Studien darauf hin, dass in diesem Betrachtungsfeld tatsächlich eine Reduzierung von Ängsten und eine höhere Bereitschaft zum Verlassen der eigenen Wohnung festzustellen ist (vgl. u.a. Willis u. a. 2005, S.2295; Gstach 2004, S.99ff; Atkins u. a. 1991, S.19). Die o.g. Handreichung des US Department of Justice weist dabei aber auch auf die Problematik hin, dass die Kostenwirkungen bisher kaum untersucht wurden. Während sich Wertverluste in Folge von Diebstählen oder gar Menschenleben beziffern lassen, sind Ängste oder Vereinsamung eher nicht belastbar eingeschätzt. In einer der wenigen Arbeiten, die sich mit dieser Materie vertiefend auseinandersetzen, führt Matthew D. Adler verschiedene Ansätze zur Bewertung von Ängsten auf und schlägt einen Ansatz für ein „fear assessment“ vor (Adler 2004). Willis u. a. (2005, S.2297f) stellten fest, dass ‚crime‘ nahezu der einzige Bereich ist, bei dem eine statistisch belegbare zusätzliche Zahlungsbereitschaft der Bürger – in diesem Fall für eine verbesserte Sicherheitssituation – festzustellen ist. Zu ergänzen ist zudem, dass die Bedeutung, die einer verbesserten künstlichen nächtlichen Beleuchtung beigemessen wird, im Vergleich mit anderen Dienstleistungen als eher gering eingeschätzt wird (statistisch untersucht bspw. auch bei Willis u. a. 2005, S.2294).

Insgesamt ist festzuhalten, dass eine Verbrechensreduzierung durch künstliche Beleuchtung nicht belastbar feststellbar ist, während die subjektive Sicherheit ggf. verbessert werden kann. Gerade aber im Bereich der ökonomischen Bewertung der subjektiven Sicherheit besteht weiterer Forschungsbedarf.

Vor kurzem wurde die nächtliche Autobahnbeleuchtung in Belgien abgeschaltet, begründet mit Datenauswertungen und Studien der lokalen Behörden (vgl. z.B. Region Wallonie 2003), die zum klaren Ergebnis kamen, dass die Beleuchtung keinen Sicherheitsvorteil brachte. Andererseits zeigten Untersuchungen des Texas Transportation Institutes von 1981 (TTI nach Hasson/Lutkevich 2002), dass die Unfallrate auf einem zeitweise von der Beleuchtung ausgenommenen Abschnitt erheblich anstieg, während sie insgesamt rückläufig war.

Künstliche Straßenbeleuchtung dient bei Dunkelheit der Orientierung, aber besonders auch der Sicherheit der verschiedenen Verkehrsteilnehmer. Die Tiefe, mit der dieses Thema bereits bearbeitet wurde, zeigt sich auch darin, dass es vergleichende Untersuchungen bestehender Einzelstudien gibt. Verschiedene Untersuchungen – z.B. Studien der Region Wallonie 2003 oder des Texas Transportation Institutes (TTI nach Hasson/Lutkevich 2002) – zeigen dabei sehr unterschiedliche Ergebnisse, so dass eine Gesamteinschätzung besser nach Betrachtung einer ausreichend gro-

ßen Zahl von Studien gegeben werden kann. In zwei Metaanalysen (Elvik 1995; Beyer/Ker 2009) wurden zahlreiche (d.h. 37 bzw. 17) vorhandene Studien zur Sicherheit in Abhängigkeit von der Straßenbeleuchtung analysiert. Beide kommen zur grundsätzlichen Aussage, dass die Beleuchtung durchaus einen positiven Einfluss auf ein rückläufiges Unfallgeschehen hat, auch wenn andere Faktoren (Müdigkeit, Alkohol, Geschwindigkeiten,...) tendenziell eine höhere Bedeutung aufweisen. Deutlich wurde, dass eine Reduzierung der Unfallkosten v.a. im städtischen Umfeld und an Kreuzungssituationen erreicht werden kann (vgl. bspw. Uschkamp u. a. 1994).

Die direkten Kosten der Straßenbeleuchtung als Anteil der Gesamtkosten des Verkehrs werden als sehr niedrig bewertet, genannt werden z.B. Werte von 1,5% bis 3% (vgl. Meseberg 1997, S.42). Die Einsparpotentiale werden daher als eher gering eingeschätzt – allerdings sind die Beleuchtungskosten als lokale Belastungen für manche Gemeinden von erheblicher Bedeutung (vgl. auch Ausführungen zu den Kosten der Energie im öffentlichen Gesamthaushalt im Abschnitt 2.3). Für die zusätzlichen externen Kosten durch vermehrte Unfälle und Verkehrsoffer sind Abschätzungen möglich. Meseberg (1997, S.42) hat fünf Studien dazu ausgewertet und führt darauf ausbauend aus, ab wann – entweder beziffert nach der Verkehrsleistung je Tag oder nach der Unfallrate je Jahr – sich die künstliche Beleuchtung

von Straßen volkswirtschaftlich ‚lohnt‘. In diesem Fall können also – falls die Unfallverhütung im Zusammenhang mit den anderen Randbedingungen tatsächlich auftritt – Kosten beziffert werden, die gespart werden, wenn die künstliche nächtliche Beleuchtung weiter ausgebaut wird.

### 3.1.3 Astronomische Forschung und das Kulturgut Sternenhimmel

Der Sternenhimmel stellt für die Menschen seit Jahrtausenden einen sehr besonderen Teil der Lebensumwelt dar. War er anfangs vor allem ein magischer bzw. spiritueller und sehnsuchtsgeladener Ort, so wuchs zunehmend seine praktische und wissenschaftliche Bedeutung. Im Zusammenhang mit den fortschreitenden Erkenntnissen der Astronomie bekam er ebenso eine herausragende Bedeutung für die Navigation und Kalendererstellung, aktuell ist die Astrophysik weiterhin ein wichtiges Feld der Grundlagenforschung.

Der abstrakte Wert wurde von zahlreichen Philosophen, Dichtern und Schriftstellern in ihrer Beschäftigung mit der Nacht und dem Sternenhimmel betont. Für den Sternenhimmel wurde in diesem Zusammenhang sowohl ein emotionaler sowie spiritueller Wert beschrieben. So wurde die Wahrnehmung und Wertung von Nacht und Tag schon früh thematisiert, z.B. in der Bibel (Genesis 1,14ff)

oder bei Shakespeare (z.B. im *Mittsommernachtstraum*) (Bronfen 1992; Bach/Kuhn 1999). In van Gogh's berühmtem Gemälde „Terrasse des Cafés an der Place du Forum in Arles am Abend (September 1888)“ werden Sterne und künstliche Beleuchtung nebeneinander dargestellt, mal harmonisierend, mal konkurrierend.<sup>5</sup>

Die astronomische Wissenschafts- und Hobby-Gemeinde war ihrerseits eine der ersten, die die zunehmende künstliche Beleuchtung in der Nacht kritisierte (z.B. Riegel 1973). Der Begriff ‚Lichtverschmutzung‘ wurde von Astronomen geprägt. Erst später wurde Lichtverschmutzung auch mit anderen Disziplinen in Verbindung gebracht. Longcore und Rich (2004) unterscheiden daher in „astronomical light pollution“, welche die klare Sicht auf den Sternenhimmel verhindert, und „ecological light pollution“, die mit Auswirkungen auf Flora und Fauna in Verbindung gebracht wird. Vor allem die älteren Sternwarten, die vormalig in abgelegenen Regionen erbaut wurden und nun aber in Agglomerationsräumen liegen, haben mit der zunehmenden „Lichtverschmutzung“ zu kämpfen. Neue Beobachtungsstationen werden daher in möglichst abgelegenen Regionen erbaut bzw. in einzelnen Fällen in der Erdumlaufbahn instal-

<sup>5</sup> Die Verknüpfung zwischen Kultur und natürlichem bzw. künstlichem Licht in der Nacht wird im Verbundforschungsprojekt „Verlust der Nacht“ im Teilprojekt 3 „Karriere des künstlichen Lichts in Berlin-Brandenburg seit dem 19. Jahrhundert“ untersucht. Kooperiert wird dabei mit den Literatur- und Kulturwissenschaftlern Prof. Dr. Susanne Bach und Dr. Folkert Degenring von der Universität Kassel.

liert. Einige Regionen haben in den letzten Jahren die Ausweisung von „Dark Sky Parks“ vorangetrieben, die neben dem Eigenzweck des Erhalts einer dunklen Nacht auch der astronomischen Forschung zugute kommen können.

Die Auswirkungen des zunehmenden künstlichen Lichtes in der Nacht haben auf die astronomische Forschung zwei Kostendimensionen. Klar benennbare Kosten entstehen aufgrund des Wertverlustes, dem viele Sternwarten ausgesetzt sind und der eine Verlegung oder gar Stilllegung der Beobachtungsstationen bedingt. Da an den verbleibenden Standorten die Erfassung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse häufig nur noch eingeschränkt möglich ist, bringt dies auch weitere externe Kosten mit sich (Mizon 2002).

Die Bewertung des Kulturgutes Sternenhimmel und damit der Ansatz einer Quantifizierung seines Verlustes ist dabei bisher kaum erfolgt. Vergleichbare Studien wurden in den 1980er Jahren zur ökonomischen Relevanz der verminderten Sicht durch Luftverschmutzung in Nationalparks durchgeführt (Brookshire u. a. 1983; Rowe 1983). Dass der Sternenhimmel bisher nicht Inhalt derartiger ökonomischer Studien war, beklagt auch Terrel Gallaway (2010), der in seinem Artikel „On Light Pollution, Passive Pleasures, and the Instrumental Value of Beauty“ im *Journal of Economic Issues* versucht, die Bewertung der Schönheit des Nachthimmels in ein ökonomisches Konzept

zu übertragen. Gallaway sieht die Problematik der bisher unterbliebenen Bewertung des Nachthimmels darin, dass Wirtschaftswissenschaftler bisher die Werte „passiver Genüsse“ vernachlässigt haben. Er betont, dass Schönheit durchaus einen instrumentellen Wert habe und die Berücksichtigung dieses Wertes für die Erhaltung der klaren Sicht auf den Nachthimmel und die Vermeidung von Lichtverschmutzung von großer Bedeutung ist.

### 3.1.4 Nachthimmel und künstliche nächtliche Beleuchtung als Wirtschaftsfaktor

Bei der Betrachtung der Auswirkungen künstlicher nächtlicher Beleuchtung auf die Wirtschaft sind zwei divergierende Richtungen zu unterscheiden. Auf der einen Seite gilt es die Wirkungen der Dunkelheit bzw. der Kosten ihres Verlusts zu betrachten, auf der anderen Seite sind direkte wirtschaftliche Wirkungen der Nutzung künstlicher nächtlicher Beleuchtung zu bewerten.

Der Sternenhimmel und die besonderen Reize der Dunkelheit werden seit einigen Jahren in zunehmendem Maße für den Tourismus entdeckt. Ein wichtiges Thema ist dabei der so genannte „Astrotourismus“, der die Beobachtung von Sternen und Himmelskörpern in besonders dunklen Regionen propagiert

und verkauft. Damit einher geht auch die Etablierung der sog. „Dark Sky Parks“. Im Zusammenhang mit effizienteren und effektiveren Beleuchtungstechniken nimmt die Bedeutung des Verlusts der Dunkelheit auch für historische Stätten, wie beispielsweise mittelalterliche Stadtkerne, zu. Entsprechend haben bspw. Austin und Hearnshaw (2010) festgestellt, dass etwa ein Viertel aller Besucher der Region um den Mount John in Neuseeland explizit zur Sternenbeobachtung angereist sind. Die finanzielle Gefährdung des Tourismus zu den Naturschauspielen der „Leuchten Buchten“ in Puerto Rico durch die steigende künstliche Beleuchtungskraft führte die dortige Regierung sogar zur Verabschiedung eines Gesetzes gegen Lichtverschmutzung (vgl. Claudio 2009).

Demgegenüber wird Licht und Beleuchtung häufig auch mit positiven kulturellen Aspekten in Verbindung gebracht, wie zum Beispiel in Bezug auf Stadtgestaltung, Nutzung der Nachtstunden, Identität oder der Inszenierung von Räumen. So versuchen viele Städte mit besonderen Lichtevents im touristischen Wettbewerb zu punkten. Die Nutzung von Licht für Werbezwecke ist eine weitere Facette der ökonomischen Betrachtungen. Lichtevents, wie z.B. die zahlreichen „Festivals of Lights“ werden dabei allgemein als förderlich für den Tourismus angesehen (vgl. z.B. licht.de – Fördergemeinschaft Gutes Licht 2002). Allerdings wird in keiner Quelle eine finanzielle Bewertung

von Aufwand und Nutzen vorgenommen, so dass die Kosten des Verlusts der Nacht keinem messbaren Nutzen gegenüber stehen. Mit einer Studie der „Lighting Urban Community International“ (LUCI) wird an einer Bewertung der genannten Lichtfestivals gearbeitet. Die Ergebnisse dieser Studie wie auch weitere wissenschaftliche Betrachtungen stehen derzeit noch aus, erscheinen aber durchaus als wichtig, um eine Bewertung über den Sinn bzw. die Akzeptanz der umfangreichen Lichtmissionen vorzunehmen.

Die ökonomische Bedeutung der werbenden Beleuchtung ist offensichtlich – nicht nur die direkte Laufkundschaft wird mit Leuchtplakaten und Geschäftsbeschriftungen angesprochen; sekundär wird eine erhebliche Steigerung der Werbewirkung erreicht, wenn die auffällige und eingängige Werbung auf Fotos oder Fernsehbeiträgen millionenfach vervielfältigt wird. Bekannte Beispiele sind der Times Square in NYC oder der Piccadilly Circus in London. Einen guten Überblick über die ökonomische Bedeutung der Lichtwerbung bieten beispielsweise Wurm & Hempel (2009) oder Beckmann (1986), aber auch Behar (2005) und in Teilen Böcker (1990). Im Zusammenhang mit der Leuchtwerbung gibt es zudem einige Studien, die andere in diesem Bericht bereits genannte Folgen der künstlichen nächtlichen Beleuchtung explizit aus diesem Blickwinkel betrachten: z.B. zu Ablenkung im Straßenverkehr (vgl. z.B. Urteil 10 A 4188/01 des OG NRW) oder

Stadtbildveränderungen (vgl. z.B. Heiden 2009), aber auch der hohe und ‚unnötige‘ Energieverbrauch (vgl. z.B. Bachner 2004) oder die Gefahr für die Tierwelt (vgl. z.B. Brombach 2000).

### 3.2 Umweltwirkungen des künstlichen Lichts

Zu den verschiedenen Effekten von zunehmendem künstlichem Licht in der Nacht auf die Umwelt gibt es zahlreiche, meist überblicksartige Zusammenfassungen, die unterschiedliche Aspekte aufgreifen und benennen, vgl. dazu insb. Rich & Longcore (2006) (sehr umfassend bzgl. den Einflüssen auf die Tierwelt), Böttcher (2001) (Tagungsdokumentation zur Auswirkungen von planerischen Eingriffen) oder Burkert (1995) (Übersicht und Systematisierung). Häufig finden sich auch Empfehlungen für umweltfreundliche Beleuchtung, so z.B. bei Claudio (2009); Klaus u. a. (2005); Lewis (2006) oder Walkling (2010).

#### 3.2.1 Auswirkungen auf Flora und Fauna

Die wohl umfangreichste und am häufigsten zitierte Publikation zu den Umweltauswirkungen künstlicher Beleuchtung in der Nacht auf die Tier- und Pflanzenwelt

ist das 2006 erschienene Buch „Ecological Consequences of Artificial Night Lighting“ herausgegeben von Catherine Rich und Travis Longcore (Rich/Longcore 2006).

Die verschiedenen Folgen auf Flora und Fauna werden nachfolgend kurz skizziert, auf Ansätze der ökonomischen Bewertung insbesondere auch für die Umweltfolgen wird weiter unten im Abschnitt 3.3 ausführlich eingegangen:<sup>6</sup>

- **Säugetiere:** Die Auswirkungen sind recht spärlich erforscht; Arbeiten gibt es v.a. zu Fledermäusen (Stone u. a. 2009; Rydell 1991), aber auch zu übergreifenden Themen wie Artenrivalität durch veränderte Tageszyklen (zunehmende Gefahren durch Fressfeinde). Außerdem kann Licht bei verschiedenen Säugern auch die Thermoregulation, das Immunsystem und die Fortpflanzung negativ beeinflussen und auf diese Weise sogar zum Tod von betroffenen Individuen und Veränderungen von Populationsdynamiken führen (z.B. Haim u. a. 2005; Bedrosian u. a. 2011).
- **Vögel:** Einige Untersuchungen beschäftigen sich mit den Auswirkungen auf Zugvögel (vgl. z.B. Gauthreaux Jr./

<sup>6</sup> Der Einfluss von Lichtverschmutzung auf die Tierwelt wird in mehreren Teilprojekten des Verbundforschungsprojektes „Verlust der Nacht“ untersucht. Die Wirkungen auf Vögel werden in Teilprojekt 7 „Lichtverschmutzung – Wirkung auf Vögel“, der „Einfluss von Lichtverschmutzung auf eine obligat nachtaktive Säugetiergruppe (Fledermäuse)“ wird in Teilprojekt 8, die Folgen für Fische werden im Teilprojekt 9 „Lichtverschmutzung – Wirkung auf Fische“ und die Auswirkungen auf Mücken werden im Teilprojekt 10 „Die Auswirkung von Lichtverschmutzung auf die Evolutionsökologie von Stechmücken und Tanzmücken“ bearbeitet.

Belser 2006; Evans Ogden 1996; J. Jones/Francis 2003). Bspw. kann das Verweilen an Lichtquellen dazu führen, dass die Vögel ihre Brut- oder Überwinterungsgebiete zu spät erreichen. Auswirkungen auf einheimische Vögel betreffen bspw. das Brutverhalten und die steigende Gefahr durch Fressfeinde aufgrund veränderter Zeiten der Nahrungssuche (vgl. Outen 2002; de Molenaar u. a. 2006).

- *Reptilien und Amphibien*: Besonders umfangreich sind die Auswirkungen auf Meeresschildkröten erforscht, die in mehreren Dimensionen bei der Fortpflanzung durch künstliche Lichtquellen beeinflusst werden (vgl. Teikari 2007; Salmon 2006; Witherington/Martin 2000; McFarlane 1963). Vereinzelt gibt es auch Untersuchungen zu anderen Tieren, bei denen Auswirkungen bzgl. des Paarungsverhaltens aber auch positive Wirkungen zum Futtersvorkommen erforscht wurden (z.B. Perry u. a. 2008; Buchanan 1993; Baker/Richardson 2006)
- *Fische*: Die Auswirkungen künstlichen Lichts auf Fische ähneln den Effekten auf andere aquatische Lebewesen (z.B. Amphibien). Die nächtliche Beleuchtung kann Einflüsse auf das Nahrungsverhalten, die Fortpflanzung, das Wanderungsverhalten oder die Schwarmbildung hervorrufen (vgl. z.B. Nightingale u. a. 2006; Tabor u. a. 2001; Brüning u. a. 2010).
- *Wirbellose Tiere und Insekten*: Ein breit erforschtes Feld der Umweltauswirkungen künstlicher Beleuchtung ist das der wirbellosen Tiere, speziell der Insekten (vgl. z.B. Eisenbeis 2009; Frank 1988; Steck 1997). Beobachtungen zeigen, dass Insekten stark von künstlichen Lichtquellen angezogen werden. Viele Insekten sterben an den heißen Lampen, bei anderen führt die helle Beleuchtung zu einer Inaktivität, die vermutlich entweder auf Entkräftung, auf starke Blendung oder die Nachtaktivität der Insekten zurückzuführen ist. Der Rückgang der Insekten, der regelmäßig auch mit künstlicher Beleuchtung begründet wird, hat neben dem Rückgang der Artenvielfalt auch für die Landwirtschaft konkrete Folgen, wenn wichtige Bestäuber ausfallen.
- *Pflanzen*: Die Auswirkungen von nächtlicher Außenbeleuchtung auf Pflanzen ist ein bisher sehr selten untersuchtes Thema, dennoch werden bestimmte Effekte aufgrund der Physiologie der Pflanzen vermutet (vgl. z.B. Briggs 2006; Roman u. a. 2000). Als relevant werden insbesondere die Fotorezeptoren der Pflanzen betrachtet. Es wird jedoch angenommen, dass die Intensität der meisten künstlichen Lichtquellen zu gering ist, um wildlebende Pflanzen massiv zu beeinträchtigen (Health Council of the Netherlands 2000). Beobachtet wurde bisher aber, dass Bäume, die in unmittelbarer

Nähe von Straßenlaternen stehen, Teile ihrer Blätter nicht abwerfen, d.h. die Fotosynthese bleibt aktiv, und der Baum, der noch physiologisch aktiv ist, wird dem kalten Winterwetter ausgesetzt.

### 3.2.2 Auswirkungen auf die Luftverschmutzung

In einer Studie aus dem Jahr 2010 der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) des US Wirtschaftsministeriums wurde herausgefunden, dass zunehmende nächtliche Beleuchtung in Städten zu einer Zunahme der Luftverschmutzung in jenen Städten führen kann (ESRL 2011). Der Effekt tritt durch die Unterdrückung der natürlichen Reinigungsfunktion der Luft auf. Bestimmte Stickoxide können schädliche Chemikalien, die durch Straßenverkehr und Fabriken in die Luft entweichen, neutralisieren. Dieser Prozess findet i.d.R. in der Dunkelheit statt, da die Stickoxide durch Sonnenlicht zerstört werden. Obwohl die nächtliche Stadtbeleuchtung weitaus weniger hell ist als das Sonnenlicht, haben Forscher nun nachgewiesen, dass auch das künstliche Licht Stickoxide zerstören kann (Amos 2010; Castelvechi 2010). Auf eine ökonomische Bewertung der damit zusammenhängenden Folgen wurde in der Studie verzichtet. Grundsätzlich

kann erwartet werden, dass entsprechende Kosten im Rahmen der Forschung zur Luftverschmutzung inkludiert sind und über Korrekturansätze in diesem Bereich in der ökonomischen Bewertung bereits ausgeglichen sein sollten. Daher wird dieser Ansatz hier nicht weiter berücksichtigt.

### 3.3 Monetarisierung: Ansätze ökonomischer Bewertung indirekter Kosten

Neben den direkten Kosten, die mit Licht in der Umwelt einhergehen (z.B. für die Reinigung der Leuchten von toten Insekten), rufen die Auswirkungen nächtlicher Beleuchtung auf die Umwelt in erster Linie externe Kosten hervor. Die Bewertung externer Umweltkosten ist ein in Wissenschaft und Praxis wachsendes Interessensfeld, in dem bereits verschiedene Ansätze entwickelt wurden. In Deutschland hat beispielsweise das Umweltbundesamt eine Methodenkonvention erarbeitet, anhand derer die Bewertung von Umweltschäden (sowie der vermiedenen Umweltschäden) an Maßstäben ausgerichtet werden soll. Zu diesem Zweck betrachtet die Konvention verschiedene Kostenkategorien und Bewertungsmethoden und stellt schließlich Empfehlungen zur Vorgehensweise für die Schätzung externer Umweltkosten zusammen (Umweltbundesamt 2007).

Besonders weit sind Bewertungen für die externen Kosten der Energieerzeugung, zum Beispiel im Rahmen des EU-Projektes ExterneE (European Commission 1997; European Commission 2005) und des Verkehrs (Banfi u. a. 2000; Schreyer u. a. 2004). Prinzipiell erstreckt sich das Anwendungsgebiet der ökonomischen Umweltbewertung aber auf alle Maßnahmen, die mit Umweltwirkungen verbunden sind, sofern diese vom Bürger als positiv oder negativ empfunden werden (Marggraf/Streb 1997).

Die Frage nach den Umweltkosten öffentlicher Beleuchtung lässt sich aus unterschiedlichen Perspektiven beantworten: beispielsweise können die Folgen für die Gewinne der Unternehmen oder die Auswirkungen einer geplanten Maßnahme auf die Einnahmen und Ausgaben der öffentlichen Haushalte berechnet werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die gesamtwirtschaftlichen Nutzen und Kosten zu berechnen (Marggraf/Streb 1997). In der Politik wird das Ergebnis einer derartigen Nutzen-Kosten-Analyse als Entscheidungshilfe verwendet. Ungefähr seit den 1950er Jahren wird versucht, Umweltwirkungen bewertbar zu machen und somit in der Nutzen-Kosten-Analyse bestimmter Maßnahmen berücksichtigen zu können. Seitdem ist die ökonomische Bewertung der natürlichen Umwelt ein wichtiges Thema für Akteure der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung geworden, z.B. bei der Entwicklung der Umweltökonomischen

Gesamtrechnung (UGR). Problematisch ist die ökonomische Umweltbewertung in erster Linie aufgrund des Eigenwertes der Natur, der auch unabhängig von ihrer direkten Nutzung besteht und nur schwer in der Gesamtrechnung abgebildet werden kann.

Unterschiedliche Bewertungsmethoden wurden entwickelt und werden entsprechend in der Literatur diskutiert: Eine Methode besteht darin, die durch die Umweltverschmutzung verursachten Einkommenseinbußen und Produktionsverluste zu betrachten. Eine zweite Methode betrachtet Vermeidungs-, Reparatur- oder Reinigungskosten als Grundlage für die Bewertung von Umweltschäden. Schließlich ist die Erhebung der Zahlungsbereitschaft der Konsumenten für eine Verbesserung der Umweltsituation als dritte Bewertungsmethode zu nennen (Marggraf/Streb 1997). Die Methode der Zahlungsbereitschaft wird nachfolgend weiter ausgeführt, sie wird in einer ersten einfachen Umsetzung auch in der Forschung des Teilprojekts zu den „Kosten des Verlusts der Nacht“ eingesetzt.

### *Umweltökonomische Gesamtrechnung*

Einen Ansatzpunkt der Quantifizierung von Umweltschäden bieten die umweltökonomischen Gesamtrechnungen des Statistischen Bundesamtes in Deutschland. Diese haben das Ziel, die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft und Umwelt, d.h. die Umweltbelastungen, den

Umweltzustand und die Umweltschutzmaßnahmen, darzustellen. Dabei wird eine Monetarisierung der Umweltbelastungen und des Umweltzustandes jedoch vermieden. Diese beiden Größen werden stattdessen in physischen Einheiten dargestellt, z.B. in Tonnen CO<sub>2</sub>. Außerdem werden so genannte Umweltproduktivitäten errechnet, die angeben, wie effizient die Umwelt als Produktionsfaktor genutzt wird (Statistisches Bundesamt 2010; Bartelmus u. a. 2003).

### *Zahlungsbereitschaftsanalysen*

Mit Zahlungsbereitschaftsanalysen wird „der Wert einer Umweltänderung aus den geäußerten Wertschätzungen der von einem Umweltprojekt betroffenen Individuen ermittelt“ (Wagner 2000, S.VII). Da Umweltgüter öffentliche Güter sind und somit niemand von ihrer Nutzung ausgeschlossen werden kann und sie von vielen Personen gleichzeitig konsumiert werden können (z.B. Schönheit des sommerlichen Sternenhimmels), können sie prinzipiell nicht auf Märkten gehandelt werden. Ihr Wert kann daher nicht durch Angebot und Nachfrage bestimmt werden. Stattdessen können indirekte und direkte monetäre Bewertungsmethoden zum Einsatz kommen. Bei den indirekten Bewertungsmethoden wird der Wert eines Umweltgutes aus den zeitlichen und monetären Aufwendungen für seine Nutzung abgeleitet, z.B. „wird ein Nationalpark danach bewertet, was Touristen

für ihre Aufenthalte an Kosten für die Anreise, für Eintrittspreise usw. aufwenden, sowie danach, wieviel Zeit sie in ihre Ausflüge investieren.“ (Wagner 2000, S.6). Zu den direkten Methoden gehören die Zahlungsbereitschaftsanalysen. Dabei werden Umweltgüter auf einem „konstruierten Markt“ bewertet. Durch Befragung wird das potentielle Marktverhalten der Marktteilnehmer ermittelt. Dazu werden verschiedene Befragungsformate verwendet, zum Beispiel werden die Befragten bei der Zahlkartenmethode gebeten, den Geldbetrag, den sie bereit sind zu zahlen, auf einer vorbereiteten Zahlkarte anzukreuzen (Wagner 2000). Zahlungsbereitschaftsanalysen erheben entweder die so genannte „willingness to pay“ (WTP) für Umweltverbesserungen oder die „willingness to accept“ (WTA) für eine Umweltverschlechterung, wobei die WTA in vielen Fällen deutlich höher ausfällt als die WTP (Perman u. a. 2003).

In den letzten Jahren sind erste Studien zur ökonomischen Bewertung der Lichtverschmutzung als Umweltbelastung erarbeitet worden. Beispielhaft sind die Studien von B. A. Jones (2011), Simpson & Hanna (2010), Willis u. a. (2005) und Muramatsu u. a. (2004) zu nennen.

B. A. Jones (2011) untersuchte in einer sehr kleinen Studie (29 Befragte) die Zahlungsbereitschaft von Personen, die mit der texanischen Sektion der International Dark Sky Association in Verbindung stehen. Er erhob den jährlichen Betrag für einen von

der örtlichen Sternwarte geführten Fonds zur Unterstützung „himmelfreundlicher“ Außenbeleuchtung (Ergebnis: ca. 70 \$), sowie den monatlichen Betrag für einen ähnlichen Fonds, der vom lokalen Stromanbieter geführt wird (Ergebnis: ca. 12 \$). Außerdem fragte er danach, ob die Befragten dazu bereit wären, monatlich 3 oder 6 Dollar zusätzlich zu ihrer Stromrechnung für die Modernisierung der Straßenbeleuchtung zu zahlen.

Simpson & Hanna (2010) befragten in einer Arbeit Studierende des Rochester Institute of Technology nach ihrer Zahlungsbereitschaft für Maßnahmen zur Verbesserung der Sichtbarkeit des Sternenhimmels (in zwei Stufen) sowie für Maßnahmen zur Verhinderung einer Verschlechterung. Die Illustration der möglichen Verbesserung bzw. Verschlechterung geschah anhand von künstlich modifizierten Fotos des Nachthimmels. Die Angabe der Zahlungsbereitschaft erfolgte auf einer vorbereiteten „payment card“, auf der Werte zwischen 0 und über 750 \$, die einmalig zu zahlen wären, angegeben werden konnten. Die Autoren konnten verdeutlichen, dass eine Zahlungsbereitschaft besteht – diese sich aber sowohl für weniger als auch für mehr künstliche Beleuchtung nachweisen lässt, wobei die Reduzierung des Lichts stärker favorisiert wird. Da die Arbeit aber grundsätzlich zum testweisen Einsatz der Willingness-To-Pay-Methode allein im Universitätsumfeld angewandt

wurde, erscheint eine Übertragbarkeit auf breitere Bevölkerungsschichten nicht ohne weiteres möglich.

Willis u. a. (2005) haben in einer umfangreichen Studie (über 1.200 Befragte in ca. 20 strukturell unterschiedlichen Orten) mit einem sehr umfassenden Fragebogen die Einstellung und Zahlungsbereitschaft von britischen Bürgern in persönlichen Befragungen erforscht. Neben Aussagen zu den Bedeutungseinschätzungen verschiedener Themenbereiche (persönliche Sicherheit, Verkehrssicherheit, Himmelsbeobachtung) wurde die Bereitschaft zur Zahlung erhöhter jährlicher Steuern (1 bis 25 Pfund) befragt. Etwa ein Drittel der Befragten gab an, keinerlei Kosten für die Verbesserung der Beleuchtungssituation tragen zu wollen. Die Bereitschaft zur Zahlung war dabei in den städtischen Bereichen höher ausgeprägt als im ländlichen Raum. Dabei ist deutlich geworden, dass eine Zahlungsbereitschaft v.a. aus Gründen der persönlichen Sicherheit besteht.

Muramatsu u. a. (2004) lassen in ihrer Studie Auswirkungen der Lichtverschmutzung umfassend auf acht Einzelfeldern (Astronomie, Energieverbrauch, Tier- und Pflanzenwelt, Landwirtschaft, Ästhetik, Anwohner, Fußgänger sowie Verkehr) durch Bewohner der großen Städte Tokyo und Osaka bewerten. Nachdem die Problematik kurz erläutert wird, wird den Befragten in dieser Studie eine mögliche politische Maßnahme vorge-

schlagen (zum Beispiel zur Verbesserung der Bedingungen für astronomische Forschungen) und daran anknüpfend erfragt, ob eine Steuererhöhung um einen bestimmten Wert für die Befragten akzeptabel sei oder nicht. In einem zweiten Schritt wird je nach Antwort dieser Wert erhöht oder vermindert. Die erhobenen Werte lagen zwischen 5000 (ca. 40 Euro) und 8000 Japanischen Yen (ca. 70 Euro), je nach betroffenem Bereich.

Insgesamt wird deutlich, dass die bisher durchgeführten Studien nur erste Anwendungen der ökonomischen Bewertungstheorien darstellen können. Verallgemeinerbare und belastbare Aussagen zu den externen Kosten des „Verlusts der Nacht“ können noch nicht getroffen werden. Die Ergebnisse der Literaturrecherche verdeutlichen jedoch gut die aktuellen Entwicklungstendenzen und bieten Anknüpfungspunkte für weitere Forschungen.

## 4. ZUSAMMENFASSUNG UND FORSCHUNGSDESI- DERATE

Nachfolgend werden die Kerninhalte des vorliegenden Berichtes zusammengefasst und die sich aus der Recherche ergebenden Forschungsdesiderate ausgeführt.

Die „Kosten des Verlusts der Nacht“ können in zwei grundsätzliche Kostenbereiche unterteilt werden. Während die direkten Kosten unmittelbar in Geld bemessen werden können (z.B. Wirtschaftlichkeit der Bereitstellung von nächtlicher Beleuchtung, Energiekosten der kommunalen Haushalte), ist dies bei den indirekten Kosten nur durch komplexere Erhebungen und Schätzungen (z.B. Baukosten neuer Sternwarten, Einsparungen durch Verbrechensreduktion oder zunehmende Verkehrssicherheit) sowie subjektive Bewertungsverfahren wie Zahlungsbereitschaftsanalysen möglich (z.B. Glücksgefühl bei Betrachtung der Milchstraße, gefühlte Sicherheit in der Stadt, Bewertung von Fragen der städtischen Ästhetik). Daneben besteht auch die Möglichkeit, anstelle von monetären Werten physische Größen anzusetzen (z.B. erhöhter CO<sub>2</sub>-Ausstoß).

Die vorhergehende Ausführung verdeutlicht, dass eine ökonomische Betrachtung des „Verlusts der Nacht“ immer eine Mischung unterschiedlicher Wirkungen beinhaltet und daher eine komplexe Er-

hebung mit unterschiedlichen Methoden erfordert, in der zunächst zumindest anrechenbare Kosten und Nutzen bewertet werden. Darüber hinaus ist es denkbar, ökologische Wirkungen, die nicht als Ökosystemleistungen monetär bewertet werden können, in Form von physischen Einheiten zu erheben oder als verlorene Artenvielfalt qualitativ zu beschreiben. Zusammenfassend ergeben sich die folgenden Möglichkeiten einer ökonomischen Bewertung des Verlusts der Nacht: Neben klassischen ökonomischen Analysen, z.B. durch Analyse von Produktionsprozessen oder Wirkungen in den öffentlichen Haushalten, werden insbesondere folgende Methoden eingesetzt:

- klassische Input-Output-Rechnungen für die „Produktion von nächtlicher Beleuchtung“;
- Zahlungsbereitschaftsanalysen zur Erhebung von Nutzenaspekten;
- Bewertung von Einsparmöglichkeiten, insb. in kommunalen Haushalten;
- Bewertung von Umweltgütern in physischen Einheiten;
- Qualitative Beschreibung der Auswirkungen auf Ökosysteme und Artenvielfalt;
- Analyse von Reparaturkosten für die Beseitigung der negativen Folgen.

#### 4.1 Kurzüberblick zum Stand der Forschung

Der Forschungsstand zu Kosten- und Nutzendimensionen des „Verlusts der Nacht“ ist bisher sehr heterogen. Während einige Dimensionen wie die Produktion von Sicherheit in Stadt und Verkehr bereits seit einigen Jahrzehnten beforscht werden, sind andere Dimensionen wie die Auswirkungen auf die Ökosysteme erst in den letzten Jahren in den Blick der wissenschaftlichen Analyse gekommen. Dementsprechend unterschiedlich sind die Wissensstände zu Nutzen und Kosten.

Im Bereich der direkten Kosten gibt es zahlreiche Untersuchungen aus dem Blickwinkel der Infrastrukturbereitstellung der öffentlichen Hand. Zur Bewertung von Fragen der Energie- und Lichteffizienz werden sowohl die technischen Aspekte und Kosten der Bereitstellung von nächtlicher Beleuchtung wie auch der Nutzen unterschiedlicher Beleuchtungssysteme analysiert. Zum Einsatz privater Lichtquellen gibt es bisher allerdings noch kaum entsprechende Untersuchungen. Dies betrifft neben privaten Straßenbeleuchtungen auch zahlreiche andere Lichtquellen, die z.B. für Zwecke der Lichtkunst, der Werbung oder der Sicherheit eingesetzt werden. Zwar werden die Kosten der öffentlichen Beleuchtung teilweise auf die private Beleuchtung hochgerechnet; diese Abschätzung ist jedoch bisher noch sehr unscharf.

In der Effizienzdiskussion ist allerdings zu berücksichtigen, dass neben dem Thema „Stromsparen durch eine Anpassung der Beleuchtung an unterschiedliche Zeiten und Orte“ Fragen der Energieeffizienz bei der Bereitstellung von Lichtinfrastruktur umfassender betrachtet werden müssten. Immerhin führt die Anpassung oder Ersatz bestehender Anlagen nicht nur zu geringeren Energieaufwendungen im Betrieb; daneben ist auch für die Herstellung und den Umbau der Anlagen ein Energieeinsatz nötig, der bisher in den Analysen kaum berücksichtigt wird. Dieser „Produktions-Footprint“ wäre entsprechend hinzuzurechnen und könnte die Effizienzdebatte in einigen Fällen maßgeblich beeinflussen und zu sog. Rebound-Effekten führen. Eine entsprechende Integration in Modelle zur Schätzung der Energieeffizienz wäre entsprechend noch umzusetzen.

Zu den indirekten Kosten wurde aus der Literaturanalyse deutlich, dass viele Folgewirkungen der künstlichen nächtlichen Beleuchtung mehr oder weniger umfassend erhoben und beschrieben wurden. Auf eine Operationalisierung der Kosten wurde jedoch zumeist (noch) verzichtet. Ein sehr auffallendes Beispiel ist dabei der Lichteinsatz im Rahmen von Stadtgestaltung und Stadtmarketing. In zahlreichen Untersuchungen und Veröffentlichungen wird auf die hohe Bedeutung für das Stadtmanagement und den Tourismus hingewiesen, ohne

jedoch den tatsächlich messbaren Vorteil des Lichteinsatzes nachzuweisen. Im Zuge der Recherche konnte keine einzige Studie gefunden werden, die nachgewiesen hat, dass den direkten und indirekten Kosten der Beleuchtung zu diesen Zwecken ein relevanter wirtschaftlicher Ertrag oder gesellschaftlicher Nutzen gegenüberstehen, die diesen Einsatz rechtfertigen können.

Der Nutzen nächtlicher Beleuchtung ist besonders gut bzgl. der Sicherheit untersucht. Allerdings ist dabei ein Paradox anzutreffen, weil einerseits der objektiv ermittelbare Zugewinn an städtischer Sicherheit – beispielsweise anhand von sinkenden Kriminalitätsraten – bisher nur begrenzt nachgewiesen werden konnte. Andererseits konnte eine Zunahme des subjektiven Sicherheitsempfindens im Zusammenhang mit künstlicher nächtlicher Beleuchtung in der Stadt schon mehrfach belegt werden. Hier sind jedoch noch einheitliche Bemessungsgrundlagen zu entwickeln. Im Bereich der Verkehrssicherheit gibt es hingegen zahlreiche Untersuchungen und gute Kostenabschätzungen. So gibt es beispielsweise bereits Studien, die die Relevanz des Einsatzes von Straßenbeleuchtung im Zusammenhang von Sach- wie Personenschäden bemisst. Dabei zeigt sich, dass der Nutzen der Straßenbeleuchtung stark vom räumlichen Kontext abhängig ist.

Weitere offene Fragen gibt es im Bereich der Wirkungen auf die menschliche

Gesundheit. Obwohl es seitens der Naturwissenschaften für die Gesundheitsfolgen von Tag-/Nacht-Verschiebungen relativ klare Ergebnisse gibt. Sie führen zu einem erhöhten Risiko an bestimmten Krebsarten, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Adipositas zu leiden – und auch die Gesundheitsökonomie für die monetäre Bemessung der Kosten entsprechende Ansätze bereitstellt, ist noch unsicher, welche Gesundheitsfolgen tatsächlich auf die Außenbeleuchtung zurückzuführen sind.

Auch bei der Bemessung des Wertes des Sternenhimmels stellen sich noch zahlreiche offene Fragen: Die Kosten aus Sicht der astronomischen Fach- und Laienwelt wurden bisher bestenfalls ansatzweise beziffert, während die abstrakten Werte der Schönheit und der religiösen Bedeutung bisher kaum in monetären Werten gefasst wurden.

Die Auswirkungen auf Umwelt und Ökosysteme sind derzeit ein breites Forschungsfeld, ökonomische Bewertungen dieser Wirkungen der nächtlichen Beleuchtung fehlen jedoch weitestgehend. Darüber hinaus wurden bisher meist nur Folgen für einzelne Tierarten tiefgehend untersucht, während die Darstellung größerer Zusammenhänge noch zu leisten ist. Insbesondere die Auswirkungen auf die Pflanzenwelt sind bisher kaum untersucht.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass insbesondere bei der monetären Betrachtung der zunehmenden

künstlichen Beleuchtung und damit einhergehend mit dem „Verlust der Nacht“ mehrfach darauf hingewiesen wurde, dass die entstehenden Kosten im Vergleich zum Gesamtaufwand (Aufwand für Energieerzeugung, Aufwand für Stromerzeugung) und im Vergleich zu anderen Umweltbelastungen eine relativ untergeordnete Rolle spielen. Die steigende Bedeutung in der fachlichen Diskussion beruht dabei auch auf der Tatsache, dass einerseits die Kommunen aufgrund der Einsparerfordernisse in den öffentlichen Haushalten ein stärkeres Interesse an dem Thema entwickelt haben und andererseits Forschungsvorhaben in den Naturwissenschaften die Öffentlichkeit zunehmend für das Thema sensibilisieren.

## 4.2 Forschungsdesiderate

Als Folge der zuvor ausgeführten Ergebnisse der Literaturanalyse ergibt sich konkreter Bedarf für weitere Forschungsarbeit, der hier kurz ausgeführt werden soll:

- *Direkte Kosten:* Die Kosten für private Beleuchtungen sind bisher sehr unzureichend erhoben. Eine Detaillierung bzw. bessere Kostenabschätzung ist für eine gesamthafte Bilanzierung sehr wünschenswert. Die Einbeziehung des Energieaufwands der Anfangsinvestitionen in die Bilanzierung der Energieeffizienz der technischen Anlagen wird
- bisher nicht umgesetzt, obwohl er die Effizienzberechnung entscheidend beeinflussen würde.
- *Auswirkungen auf den Menschen:* Obwohl nachgewiesen wurde, dass die subjektive Sicherheit durch künstliche nächtliche Beleuchtung positiv beeinflusst wird, sind bisher nur unzureichende Studien zur monetären Bemessung vorliegend. Die Konkretisierung der Gesundheitsfolgen, die der künstlichen Beleuchtung im Außenraum zugerechnet werden können, steht bisher noch aus. Für eine angemessene Abwägung der Vorteile der nächtlichen Beleuchtung in der Stadt wäre es ebenfalls nötig, dass die Kosten des Lichteinsatzes aus Gründen der Stadtgestaltung und des Stadtmarketings eindeutig bemessbarem Nutzen gegenüber stehen.
  - *Auswirkungen auf die Umwelt:* Im Bereich der Tierwelt ist es wünschenswert, die bisher bestehenden Einzelergebnisse zu systematisieren und zu abstrahieren, um so über die Beschreibung zahlreicher Einzelfolgen eine zumindest qualitative Bewertung der Folgen für (städtische) Ökosysteme zu ermöglichen. Im Bereich der Auswirkungen auf die Pflanzenwelt besteht noch erheblicher grundlegender Forschungsbedarf, der in der Folge auch für eine ökonomische Bewertung der Folgen aufbereitet werden müsste.

Im Rahmen des Teilprojekts „Kosten des Verlusts der Nacht – Eine ökonomische Analyse der Folgen nächtlicher Beleuchtung“ als Teil des Verbundforschungsprojektes „Verlust der Nacht“ wird, aufbauend auf der vorliegenden Literaturübersicht, in den nächsten Monaten nun im Mittelpunkt stehen, bestehende

und darüber hinaus zusätzlich denkbare Bewertungsansätze für die einzelnen Kostenaspekte zu untersuchen. In einem ersten Ansatz wird bei einer Befragung in zwei unterschiedlichen Siedlungsräumen die Zahlungsbereitschaft der Anwohner untersucht.<sup>7</sup>

.....  
7 Diese Befragung wurde zusammen mit dem Teilprojekt 4 „Eine politische Situationsanalyse zur Minimierung der Lichtverschmutzung“ des Verbundforschungsprojektes durchgeführt. Erste Auswertungen sind im Frühjahr 2013 verfügbar.

## 5. LITERATUR

- ADLER, Matthew D. (2004):** Fear Assessment: Cost-Benefit Analysis and the Pricing of Fear and Anxiety. In: U Penn. Law School, Public Law Working Paper 44; Chicago-Kent Law Review, Vol. 79, p. 977, 2004; U of Penn, Inst for Law & Econ Research Paper No. 03-28; AEI-Brookings Joint Ctr Working Paper No. 03-12. Verfügbar unter [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=466720](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=466720), zugegriffen am 17. Dezember 2010.
- AMOS, Jonathan (2010):** BBC News – City lighting „boosts pollution“ – Artikel. Verfügbar unter <http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-11990737>, zugegriffen am 15. Dezember 2010.
- ATKINS, Stephen; Sohail, Husain und Storey, Angele (1991):** The Influence of Street Lighting on Crime and Fear of Crime. London.
- AUER, Gerhard (1994):** Das vierte Licht der Stadt. Über Stadtlcht im allgemeinen. In: Flagge, I. (Hrsg.): Jahrbuch für Licht und Architektur 1993 (Annual of Light and Architecture). Berlin, S. 9-19.
- AUSTIN, Margaret und Hearnshaw, John (2010):** Case Study 16.1: Lake Tekapo – Aoraki - Mount Cook Starlight Reserve, New Zealand. In: Ruggles, C. und Cotte, M. (Hrsg.): Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention – A Thematic Study. Paris, S. 246-249. Verfügbar unter <http://www.astronomicalheritage.org/images/content/astroherit/WHC-internal/ch16cs1.pdf>, zugegriffen am 8. November 2010.
- BACH, Susanne und Kuhn, Christoph (1999):** Sterne leuchten mir wie Sonnen. Eggingen.
- BACHNER, John Philip (2004):** The Lighting Equation. In: Gourmet Retailer, Jg.25, Heft 8, S.190-192.
- BAKER, Brad J. und Richardson, Jean M. L. (2006):** The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melanota*. In: Canadian Journal of Zoology, Jg.84, Heft 10, S.1528-1532.
- BAKKEN, Henry Harrison und Zank, Elmer Eugene (1959):** Light and Power: Rates and Costs of Service in Wisconsin R.E.A. Cooperatives. Madison.
- BANFI, Silvia; Doll, Claus; u. a. (2000):** External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe. Zürich, Karlsruhe. Verfügbar unter <http://www.infra.ch/e/projekte/displayprojectitem.php?id=6>.
- BARTELMUS, Peter; Albert, Jörg und Tschochohei, Heinrich (2003):** Wie teuer ist (uns) die Umwelt – Zur umweltökonomischen Gesamtrechnung Deutschland Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen – Institut Arbeit und Technik und Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH – Kulturwissenschaftliches Institut (Hrsg.): Verfügbar unter [http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitrag/WP128.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/WP128.pdf), zugegriffen am 23. November 2010.
- BECKMANN, Friedrich-Wilhelm (1986):** Die Botschaft der Lichtwerbung. Leuchtende Geschäftskennzeichnungen im Bild der Stadt. In: LICHT, Jg.38, Heft 7, S.466-468.
- BEDROSIAN, Tracy A.; Fonken, Laura K. u. a. (2011):** Chronic exposure to dim light at night suppresses immune responses in Siberian hamsters. In: Biology Letters. Verfügbar unter <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21270021>, zugegriffen am 4. Mai 2011.
- BEHAR, Hank (2005):** When the Light is Right. In: Convenience Store News, Jg.41, Heft 14, S.113-120.
- BERLINER Energieagentur GmbH (2010):** Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“. Verfügbar unter <http://www.bundeswettbewerb-stadtbeleuchtung.de/>, zugegriffen am 15. Oktober 2010.
- BERLINER Energieagentur GmbH und ZVEI (Hrsg.) (2008):** mehr Licht - gleichzeitig weniger Kosten. Verfügbar unter [http://en-q.de/media/presse/2008/2008.06.19\\_PR\\_94\\_Mehr\\_Licht\\_und\\_gleichzeitig\\_weniger\\_Kosten.pdf](http://en-q.de/media/presse/2008/2008.06.19_PR_94_Mehr_Licht_und_gleichzeitig_weniger_Kosten.pdf).
- BEYER, Fiona R. und Ker, Katharine (2009):** Street Lighting for Preventing Road Traffic Injuries. In: The Cochrane Collaboration (Hrsg.): Cochrane Database of Systematic Reviews. Chichester, UK Verfügbar unter <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD004728.pub2>, zugegriffen am 11. Mai 2011.
- BLASK, David E.; Brainard, George C. u. a. (2005):** Melatonin-Depleted Blood from Premenopausal Women Exposed to Light at Night Stimulates Growth of Human Breast Cancer Xenografts in Nude Rats. In: Cancer Research, Jg.65, Heft 23, S.11174-11184.
- BÖCKER, Werner (1990):** Mit Licht verkaufen: Verkaufsförderer Licht. Köln.
- BÖITCHER, Marita (Hrsg.) (2001):** Auswirkungen von

- Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen in Natur und Landschaft: Analyse, Inhalte, Defizite und Lösungsmöglichkeiten – Referate und Ergebnisse der gleichnamigen Fachtagung auf der Insel Vilm vom 06. bis 09. Dezember 1999. In: Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz – Heft 67. Bonn – Bad Godesberg Verfügbar unter <http://www.gbv.de/dms/bs/toc/342958151.pdf>.
- BRIGGS, Winslow R. (2006):** Physiology of Plant Responses to Artificial Lighting. In: Rich, C. und Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington, D.C., S. 389-411.
- BROMBACH, Hermann (2000):** Industrieunternehmen schaltet Lichtreklame zum Schutz von Zugvögeln ab. In: Charadrius, Jg.36, S.131.
- BRONFEN, Elisabeth (1992):** Die Nacht: ein Lesebuch von Träumen, Gewalt und Ekstase. München.
- BROOKSHIRE, David S.; Walther, Eric G. u. a. (1983):** The Benefits of Preserving Visibility in the National Parklands of the Southwest. In: Natural Resources Journal, Jg.23, S.149-165.
- BRÜNING, Anika; Hölker, Franz und Wolter, Christian (2010):** Artificial light at night: implications for early life stages development in four temperate freshwater fish species. In: Aquatic Sciences, Jg.73, Heft 1, S.143-152.
- BUCHANAN, Bryant W. (1993):** Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. In: Animal Behaviour, Jg.45, Heft 5, S.893-899.
- BURKERT, Fried M. (1995):** Licht als Last. Wie künstliche Lichtquellen aus Sicht des Naturschutzes zu bewerten sind. In: Landschaftsarchitektur, Jg.25, Heft 5, S.28-30.
- CASTELVECCHI, Davide (2010):** Observations: Dimming city lights may help reduce smog. Verfügbar unter <http://www.scientificamerican.com/blog/post.cfm?id=dimming-city-lights-may-help-reduce-2010-12-16>, zugegriffen am 5. Januar 2011.
- CLARKE, Ronald V. (2008):** Improving Street Lighting to Reduce Crime in Residential Areas. Verfügbar unter <http://www.cops.usdoj.gov/files/RIC/Publications/e1208-streetlighting.pdf>.
- CLAUDIO, Luz (2009):** Switch On the Night: Policies for Smarter Lighting. In: Environmental Health Perspectives, Jg.117, Heft 1, S.28-31.
- EISENBEIS, Gerhard (2009):** Insekten und künstliches Licht. In: Posch, T.; Freyhoff, A. und Uhlmann, T. (Hrsg.): Das Ende der Nacht: Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen. Weinheim, S. 61-80.
- ELVIK, Rune (1995):** Meta-analysis of Evaluations of Public Lighting as Accident Countermeasure. In: Transportation Research Record, Jg.1485, S.112-123.
- ENERGIEAGENTUR NRW (Hrsg.) (2008):** Mehr Licht ... weniger Strom! Stromsparen ohne Komfortverlust. Wuppertal. Verfügbar unter [http://www.ea-nrw.de/\\_database/\\_data/dainafopool/Mehr\\_Licht.pdf.pdf](http://www.ea-nrw.de/_database/_data/dainafopool/Mehr_Licht.pdf.pdf).
- ESRL (2011):** Night Lights. Verfügbar unter <http://www.esrl.noaa.gov/news/quarterly/ESRL-Quarterly-Winter-2011.pdf>, zugegriffen am 24. Oktober 2011.
- EUROPEAN Commission (1997):** Externe Vol. 7, Methodology 1998. Luxembourg. Verfügbar unter <http://www.externe.info/>, zugegriffen am 5. Mai 2011.
- EUROPEAN Commission (2005):** Externe – Externalities of Energy – Methodology 2005 Update. Luxembourg. Verfügbar unter <http://www.externe.info/brussels/methup05a.pdf>, zugegriffen am 5. Mai 2011.
- EVANS Ogden, Lesley J. (1996):** Collision Course: The Hazards of Lighted Structures and Windows to Migrating Birds. Lincoln. Verfügbar unter <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=flap>, zugegriffen am 8. März 2011.
- FARRINGTON, David P. und Welsh, Brandon C. (2002):** Effects of Improved Street Lighting on Crime: a Systematic Review. Verfügbar unter <http://rds.homeoffice.gov.uk/rds/pdfs2/hors251.pdf>, zugegriffen am 25. Oktober 2010.
- FONKEN, Laura K.; Workman, Joanna L. u. a. (2010):** Light at night increases body mass by shifting the time of food intake. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Jg.107, Heft 43, S.18664-18669.
- FRANK, Kenneth D. (1988):** Impact of Outdoor Lighting on Moths: An Assessment. In: Journal of the Lepidopterists' Society, Jg.42, Heft 2, S.63-93.
- FREVEL, Bernhard und Mock, Florian (2007):** Angstram Stadt Rheine? Welche Auswirkungen hat die Abschaltung der Strassenbeleuchtung in Rheine auf das Sicherheitsempfinden? Rheine.
- GALLAWAY, Terrel (2010):** On Light Pollution, Passive Pleasures, and the Instrumental Value of Beauty. In: Journal of Economic Issues, Jg.44, Heft 1, S.71-88.
- GAUTHREAUX Jr., Sidney A. und Belsler, Carroll G. (2006):** Effects of Artificial Night Lighting on Migrating Birds. In: Rich, C. und Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington, D.C., S. 67-93.
- GSTACH, Doris (2004):** Spot an – Frauen erobern die nächtliche Stadt/ In the spotlight: women take posses-

- sion of the city at night. In: *Topos*, Heft 46, S.97-102.
- HAIM, Abraham; Shanas, Uri; u. a. (2005)**: Seasonality and seasons out of time - the thermoregulatory effects of light interference. In: *Chronobiology International*, Jg.22, Heft 1, S.59-66.
- HASSON, Patrick und Lutkevich, Paul (2002)**: Roadway Lighting Revisited. In: *Public Roads*, Jg.65, Heft 6, S.32-36.
- HEALTH Council of the Netherlands (Hrsg.) (2000)**: Impact of outdoor lighting on man and nature. Den Haag. Verfügbar unter <http://www.gezondheidsraad.nl/en/publications/impact-outdoor-lighting-man-and-nature>.
- HEIDEN, Sigrun (2009)**: Medienfassaden: Die Stadt als Bildschirm – Medienfassaden verändern mehr als nur das Bild unserer Städte. In: *Licht: Planung, Design, Technik, Handel*, Jg.61, Heft 5.
- HENKE, Klaus-Dirk (2008)**: Gesundheitsökonomische Betrachtung des Lichts. In: Kaase, H. und Serick, F. (Hrsg.): *Sechstes Symposium Licht und Gesundheit – Eine Sondertagung der TU Berlin und der DGP mit DAfP und LiTG*, 13. und 14. März 2008. Berlin, S. 3-18.
- HÖHNE, Lothar und Schröter, Heinz Georg (2002)**: Straßenbeleuchtung. Berlin; Offenbach; Frankfurt/Main.
- ISOBE, Syuzo und Hamamura, Shiomu (2000)**: Light Pollution and its Energy Loss. In: *Astrophysics and Space Science*, Jg.273, Heft 1-4, S.289-294.
- JONES, Benjamin A. (2011)**: Economic Valuation of the Night-Sky. Verfügbar unter [http://www.texasida.org/Onlinesurvey\\_paper.pdf](http://www.texasida.org/Onlinesurvey_paper.pdf), zugegriffen am 7. Februar 2011.
- JONES, Jason und Francis, Charles M. (2003)**: The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses. In: *Journal of Avian Biology*, Jg.34, Heft 4, S.328-333.
- KANTERMANN, Thomas und Roenneberg, Till (2009)**: Is Light-at-Night a Health Risk Factor or a Health Risk Predictor? In: *Chronobiology International*, Jg.26, Heft 6, S.1069-1074.
- KEBSCHULL, Werner (1986)**: Wirtschaftliche Straßenbeleuchtung. In: *LICHT*, Jg.38, Heft 3, S.218-220.
- KHALEQUE, Abdul (1991)**: Effects of diurnal and seasonal sleep deficiency on work effort and fatigue of shift workers. In: *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Jg.62, Heft 8, S.591-593.
- KHALEQUE, Abdul (1999)**: Sleep Deficiency and Quality of Life of Shift Workers. In: *Social Indicators Research*, Jg.46, Heft 2, S.181-189.
- KLAUS, Gregor; Kägi, Bruno; u. a. (2005)**: Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Bern. Verfügbar unter [http://www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?action=show\\_publ&lang=de&id\\_thema=19&series=VU&n\\_r\\_publ=8010](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?action=show_publ&lang=de&id_thema=19&series=VU&n_r_publ=8010), zugegriffen am 29. September 2010.
- KLOOG, Itai; Haim, Abraham; u. a. (2008)**: Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel. In: *Chronobiology International*, Jg.25, Heft 1, S.65-81.
- KLOOG, Itai; Stevens, Richard G. u. a. (2010)**: Night-time light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide. In: *Cancer Causes & Control*, Jg.21, Heft 12, S.2059-2068.
- KRAFT, Michael (2009)**: Kulturgut Gaslicht: Zwischen Wirtschaftlichkeit und Milieuschutz – Zur Situation der Berliner öffentlichen Beleuchtung. In: *Licht: Planung, Design, Technik, Handel*, Jg.61, Heft 1/2, S.54-58.
- LEWIS, Christina S. N. (2006)**: Eco-Friendly Outdoor Lamps. In: *Wall Street Journal – Eastern Edition*, Jg.248, Heft 23, S.W8.
- LICHT.DE – Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hrsg.) (2007)**: Straßen, Wege und Plätze. Frankfurt/Main. Verfügbar unter [http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen03\\_Strassen\\_Wege\\_Plaetze.pdf](http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen03_Strassen_Wege_Plaetze.pdf).
- LICHT.DE – Fördergemeinschaft Gutes Licht (Hrsg.) (2002)**: Stadtmarketing mit Licht. Frankfurt/Main. Verfügbar unter [http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen16\\_Stadtmarketing\\_mit\\_Licht.pdf](http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen16_Stadtmarketing_mit_Licht.pdf).
- LONGCORE, Travis und Rich, Catherine (2004)**: Ecological light pollution. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, Jg.2, Heft 4, S.191-198.
- MARCHANT, Paul R. (2004)**: A Demonstration that the Claim that Brighter Lighting reduces Crime is Unfounded. In: *British Journal of Criminology*, Jg.44, Heft 3, S.441-447.
- MARGGRAF, Rainer und Streb, Sabine (1997)**: Ökonomische Bewertung der natürlichen Umwelt. Theorie, politische Bedeutung, ethische Diskussion. Heidelberg; Berlin.
- MCFARLANE, Robert W. (1963)**: Disorientation of Loggerhead Hatchlings by Artificial Road Lighting. In: *Copeia*, Jg.1963, Heft 1, S.153.
- MESEBERG, Hans-Hubert (1997)**: Straßenbeleuchtung – Verkehrssicherheit contra Wirtschaftlichkeit. In: *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Deutscher Straßen- und Verkehrskon-*

- gress Düsseldorf 1996. Köln, S. 39-44.
- MIZON, Bob (2002):** Light Pollution: Responses and Remedies.
- DE Molenaar, Johannes G.; Sanders, Maria E. und Jonkers, Dick A. (2006):** Road Lighting and Grassland Birds: Local Influence of Road Lighting on a Black-Tailed Godwit Population. In: Rich, C. und Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, D.C., S. 114-136.
- MOORE-EDE, Martin C. (1993):** The 24-hour Society: The Risks, Costs and Challenges of a World that Never Stops. London.
- MURAMATSU, Rikuo; Nakamura, Yoshiki und Takanono, Masahiko (2004):** Evaluation of Light Pollution Using Contingent Valuation Method. In: *Journal of Light & Visual Environment*, Jg.28, Heft 1, S.58-64.
- NIGHTINGALE, Barbara; Longcore, Travis und Simenstad, Charles A. (2006):** Artificial Night Lighting and Fishes. In: Rich, C. und Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, D.C., S. 257-276.
- OUTEN, A. R. (2002):** The ecological effects of road lighting. In: Sherwood, B.R.; Cutler, D. und Burton, J. (Hrsg.): *Wildlife and Roads: The Ecological Impact*. London, S. 133-155.
- PAINTER, Kate und Farrington, David P. (2001):** The Financial Benefits of Improved Street Lighting, Based on Crime Reduction. In: *Lighting Research and Technology*, Jg.33, Heft 1, S.3-10.
- PAULEY, Stephen M. (2004):** Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. In: *Medical Hypotheses*, Jg.63, Heft 4, S.588-596.
- PERMAN, Roger; Common, Michael; u. a. (2003):** *Natural Resource and Environmental Economics*. Harlow, England.
- PERRY, Gad; Buchanan, Bryant W. u. a. (2008):** Effects of artificial night lighting on reptiles and amphibians in urban environments. In: Mitchell, J.C.; Jung Brown, R.E. und Bartholomew, B. (Hrsg.): *Urban Herpetology*. Utah, S. 239-256. Verfügbar unter <http://www.rw.ttu.edu/perry/Reprints/08%20lights%20chapter.pdf>.
- POLLERT, Achim; Kirchner, Bernd und Polzin, Javier Morato (2009):** *Das Lexikon der Wirtschaft – Grundlegendes Wissen von A-Z*. Bonn.
- PREECE, W.H. (1880):** The economy of the electric light. In: *Journal of the Society of Arts*, Jg.29, S.453.
- RAJARATNAM, Shantha M. W. und Arendt, Josephine (2001):** Health in a 24-h society. In: *Lancet*, Jg.358, Heft 9286, S.999-1005.
- REGION Wallonie (Hrsg.) (2003):** *Trafic et securite sur les routes et autoroutes de Wallonie*. Namur. Verfügbar unter <http://routes.wallonie.be/listePublication.do?action=1&shortId=4>.
- RICH, Catherine und Longcore, Travis (Hrsg.) (2006):** *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, D.C.
- RIEGEL, Kurt W. (1973):** Light Pollution: Outdoor Lighting is a Growing Threat to Astronomy. In: *Science*, Jg.179, Heft 4080, S.1285-1291.
- ROMAN, Andrea; Cinzano, Pierantonio; u. a. (2000):** Light Pollution and Possible Effects on Higher Plants Cinzano, P. (Hrsg.): In: *Measuring and Modelling Light Pollution*, Jg.71, Heft 1, S.59-69.
- ROWE, Robert (1983):** *Managing Air Quality and Scenic Resources at National Parks and Wilderness Areas*. Boulder, CO.
- ROYAL Society of Arts (1881):** Cost of electric lighting. In: *Journal of the Society of Arts*, Jg.29, S.491.
- RYDELL, Jens (1991):** Seasonal Use of Illuminated Areas by Foraging Northern Bats *Eptesicus nilsoni*. In: *Holarctic Ecology*, Jg.14, Heft 3, S.203-207.
- SALMON, Michael (2006):** Protecting Sea Turtles from Artificial Night Lighting at Florida's Oceanic Beaches. In: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington, D.C., S. 141-168.
- SCHREYER, Christoph; Schneider, Christian; u. a. (2004):** *External Costs of Transport: Update Study*. Zürich, Karlsruhe. Verfügbar unter <http://www.infras.ch/e/projekte/displayprojectitem.php?id=6>.
- SENATSV ERWALTUNG für STADTENTWICKLUNG (2011):** *Stadtbild Berlin – Lichtkonzept*. Berlin.
- SIMPSON, Stephanie N. und Hanna, Brid Gleeson (2010):** Willingness to Pay for a Clear Night Sky: Use of the Contingent Valuation Method. In: *Applied Economics Letters*, Jg.17, Heft 11, S.1095-1103.
- SPILLMANN, Thomas (2002):** LED – Die neue Lichtquelle: Nahezu wartungsfreie Beleuchtung: Lichterzeugung im Rekombinationsprozess. In: *TAB. Technik am Bau*, Heft 4, S.83-86.
- STATISTISCHES Bundesamt (Hrsg.) (2010):** *Umwelt-nutzung und Wirtschaft – Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2010*. Wiesbaden. Verfügbar unter <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Fachveroeffentlichungen/Umwelt-ökonomischeGesamtrechnungen/Querschnitt/UmweltnutzungundWirtschaftBericht5850001107004.property=file.pdf>, zugegriffen am 23. November 2010.

- STECK, Bernhard (1997):** Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. Berlin.
- STEVENS, Richard G. (2009):** Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. In: *International Journal of Epidemiology*, Jg.38, Heft 4, S.963-970.
- STEVENS, Richard G. und Davis, Scott (1996):** The melatonin hypothesis: electric power and breast cancer. In: *Environmental Health Perspectives*, Jg.104, Heft Suppl 1, S.135-140.
- STONE, Emma Louise; Jones, Gareth und Harris, Stephen (2009):** Street Lighting Disturbs Commuting Bats. In: *Current Biology*, Jg.19, Heft 13, S.1123-1127.
- STRAHRINGER, Wilhelm (1954):** Straßenbeleuchtung: eine energiewirtschaftliche Studie. Frankfurt/Main.
- TABOR, Roger A.; Brown, Gayle S. u. a. (2001):** The Effect of Light Intensity on Predation of Sockeye Salmon Fry by Cottids in the Cedar River, Washington. Lacey, Washington. Verfügbar unter <http://www.fws.gov/wafwo/fisheries/Publications/FP140.pdf>, zugegriffen am 17. März 2011.
- TEIKARI, Petteri (2007):** Light Pollution: Definition, legislation, measurement, modeling and environmental effects. Verfügbar unter [http://users.tkk.fi/~jteikari/Teikari\\_LightPollution.pdf](http://users.tkk.fi/~jteikari/Teikari_LightPollution.pdf), zugegriffen am 8. März 2011.
- TRILUX AG (Hrsg.) (2009):** Beleuchtungspraxis – Außenbeleuchtung. Arnsberg.
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2007):** Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Verfügbar unter <http://www.umweltdaten.de/publicationen/fpdf1/3193.pdf>, zugegriffen am 15. Oktober 2012.
- USCHKAMP, Gerhard; Hecker, Rolf; u. a. (1994):** Straßenbeleuchtung und Verkehrssicherheit. Bergisch Gladbach.
- VDN, Verband der Netzbetreiber und Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) (Hrsg.) (2009):** Straßenbeleuchtung: Leitfaden für Planung, Bau und Betrieb. Frankfurt/Main u.a.
- WAGNER, Ralf (2000):** Monetäre Umweltbewertung mit der Contingent Valuation-Methode. Frankfurt/Main.
- WALKLING, Andreas (2010):** Neue LiTG-Stellungnahme Nr. 12.3:2010 „Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtmissionen künstlicher Lichtquellen“. In: *Licht 2010 Wien: Vorträge der 19. Gemeinschaftstagung vom 17. bis 20. Oktober 2010*. Wien, S. 2.
- WILLIS, Kenneth G.; Powe, Neil A. und Garrod, Guy D. (2005):** Estimating the Value of Improved Street Lighting: A Factor Analytical Discrete Choice Approach. In: *Urban Studies*, Jg.42, Heft 12, S.2289-2303.
- WITHERINGTON, Blair E. und Martin, R. Erik (2000):** Understanding, Assessing, and Resolving Light-Pollution Problems on Sea Turtle Nesting Beaches. St. Petersburg, FL. Verfügbar unter <http://aquaticcommons.org/115/>.
- WURM, Fabian und Hempel, Jörg (2009):** Signaturen der Nacht: Die Welt der Lichtwerbung. Ludwigsburg.
- ZULLEY, Jürgen und Knab, Barbara (2009):** Unsere Innere Uhr. Natürliche Rhythmen nutzen und der Non-Stop-Belastung entgehen. Frankfurt/Main.

In der Reihe „**Verlust der Nacht**“ werden Diskussionsanregungen und Ergebnisse der einzelnen Forschungsinitiativen des Forschungsverbundes veröffentlicht.

**Forschungsverbund „Verlust der Nacht“  
Leibniz-Institut für Gewässerökologie  
und Binnenfischerei**

Müggelseedamm 301, 12587 Berlin  
Projektleiter PD Dr. Franz Hölker

[www.verlustdernacht.de](http://www.verlustdernacht.de)

Universitätsverlag der TU Berlin

ISBN 978-3-7983-2502-9 (Print)

ISBN 978-3-7983-2503-6 (Online)

**Gefördert von:**



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**



**FONA**  
Forschung für nachhaltige  
Entwicklungen  
BMBF



**Berlin**  
Senatsverwaltung für Wirtschaft,  
Technologie und Forschung

**Beteiligte Institute:**



*Institut für Stadt- und  
Regionalplanung*