

Möglichkeiten der ökonomischen Bewertung des Verlusts der Nacht

Robert Hänsch, Benjamin Könecke, Merle Pottharst, Florian Wukovitsch

(Dipl.-Ing. Robert Hänsch, TU Berlin, ISR, Hardenbergstr. 40a, 10623 Berlin, r.haensch@isr.tu-berlin.de)
(BSc. Benjamin Könecke, TU Berlin, ISR, Hardenbergstr. 40a, 10623 Berlin, b.koenecke@isr.tu-berlin.de)
(Dipl.-Geogr. Merle Pottharst, TU Berlin, ISR, Hardenbergstr. 40a, 10623 Berlin, m.pottharst@isr.tu-berlin.de)
(Mag. Florian Wukovitsch, TU Berlin, ISR, Hardenbergstr. 40a, 10623 Berlin, f.wukovitsch@isr.tu-berlin.de)

1 EINLEITUNG

Im Forschungsverbund Verlust der Nacht, der vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung seit 2010 für drei Jahre gefördert wird, setzt sich ein interdisziplinäres Forscherteam aus den Natur-, Technik-, Geistes- und Sozialwissenschaften mit den Ursachen und Folgen der zunehmenden künstlichen Beleuchtung des Außenraums auseinander. Vor etwa 200 Jahren wurde die erste öffentliche Gasbeleuchtung in London installiert. Seitdem hat sich die Nutzung der städtischen Nacht, die erst durch künstliches Licht in der Breite möglich wurde, massiv verändert. Im Rückblick wurde nicht nur dem Leben im öffentlichen Raum und der Industrialisierung mehr Dynamik verliehen, sondern schlussendlich der Weg in die 24-Stunden-Gesellschaft geebnet. Die heutige Form der Urbanität in hochentwickelten Gesellschaften ist ohne Straßenbeleuchtung, Lichtwerbung und Lichtinszenierung kaum zu denken, gerade in der jüngeren Vergangenheit hat sich das Ausmaß privaten und gewerblichen Lichts im Außenraum massiv erhöht. Das wurde in den letzten Jahrzehnten auch von den planenden Professionen erkannt. So sind seit den 1990er Jahren in zahlreichen Städten Lichtmasterpläne und Lichtkonzepte entwickelt worden. Der soziale und ökonomische Fortschritt im Zuge von Modernisierungsprozessen ist jedoch meist auch mit sozialen und ökologischen Kosten verbunden. In diesem Sinne werden in unterschiedlichen Zusammenhängen zunehmend die negativen Folgen der Lichtverschmutzung diskutiert. Im Rahmen des Forschungsverbundes werden nun einzelne Aspekte des Verlusts der Nacht in insgesamt vierzehn Teilprojekten aus unterschiedlichen Blickwinkeln vertiefend betrachtet. Diese reichen von der historischen Genese künstlicher Beleuchtung im Raum Berlin-Brandenburg bis zur Untersuchung der Auswirkungen auf einzelne biologische Spezies.

Das Teilprojekt, dem das vorliegende Papier entstammt, geht der Frage nach, wie sich die positiven und negativen Auswirkungen der nächtlichen Erhellung des Außenraums ökonomisch bewerten lassen. Dabei zeigt sich, dass nur sporadisch Vorarbeiten geleistet wurden, auf die sich das Projekt berufen kann. Aufgrund der verhältnismäßig geringen externen Kosten, die als Folge von Lichtverschmutzung vermutet werden, fand das Thema in umwelt- und wohlfahrtsökonomischen Untersuchungen bisher kaum Beachtung. Bei grober Betrachtung stehen der Nutzen der Ermöglichung wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Aktivität und der Inszenierung des Stadtraums den Kosten der Beeinflussung biologischer Rhythmen und des Verlusts der Sichtbarkeit des nächtlichen Sternenhimmels gegenüber. Die Komplexität der Aufgabe besteht zunächst darin, ein disperses Feld mit ebenso heterogenen Erkenntnisständen zusammenzuführen. Die genauen Folgewirkungen der nächtlichen Beleuchtung sind dabei noch weitestgehend ungeklärt. Die ökonomische Bewertung selbst steht darüber hinaus vor nicht unerheblichen methodischen Herausforderungen. Offensichtlich ist daher, dass zumindest zum jetzigen Zeitpunkt die einzelnen Nutzen- und Kostendimensionen des Verlusts der Nacht keinesfalls abschließend monetarisiert werden können. Vielmehr ist ein notwendiger erster Forschungsschritt, die einzelnen positiven und negativen externen Effekte zu benennen, zu ordnen und zu präzisieren. Diese Taxonomie der wichtigsten Nutzen- und Kostendimensionen soll eine fundierte Grundlage für eine ökonomische Bewertung des Verlusts der Nacht schaffen. Schlussendlich sollen die Analysen im Rahmen des ökonomischen Teilprojekts einen Beitrag zur Entwicklung von Empfehlungen für einen zielgerechteren Einsatz von nächtlicher Außenbeleuchtung leisten.

In diesem Beitrag wird der derzeitige Forschungsstand im Rahmen der Erstellung der Taxonomie vorgestellt. Grundlage der vorliegenden Überlegungen ist eine strukturierte Literaturrecherche, die in eine Datenbank mit über 2000 Einträgen aus der einschlägigen deutschsprachigen und internationalen Fachdiskussion mündete. Auf der Basis der Literatúrauswertung werden der aktuelle Wissensstand diskutiert und weitere Forschungsbedarfe aufgezeigt. Der Aufbau des Beitrags orientiert sich dabei weitestgehend an der vorläufigen Gliederung der Taxonomie. Zunächst werden die Nutzendimensionen der künstlichen Beleuchtung des Außenraums besprochen und ihre Bewertungsmöglichkeiten diskutiert. Anschließend werden in der gleichen Form die relevanten Kostendimensionen besprochen. Das Papier schließt mit einem

Ausblick auf die weiteren geplanten Forschungsschritte und einer zusammenfassenden Problematisierung der Möglichkeiten einer ökonomischen Bewertung des Verlusts der Nacht.

2 NUTZEN DER KÜNSTLICHEN BELEUCHTUNG DES NÄCHTLICHEN AUßENRAUMS

Die Verwendung künstlicher Lichtquellen hob in den Städten den starken Kontrast zwischen Tag und Nacht auf. Der Nutzen der künstlichen Beleuchtung des nächtlichen Außenraums spiegelt dabei im Wesentlichen die Funktionen der einzelnen Lichtquellen wider. Auer (1997) unterscheidet als Quellen der nächtlichen Außenbeleuchtung in der Stadt die fünf elementaren Lichtmarken Ordnungslight, Werbelicht, Festlicht, Wohnlicht und Arbeitslicht, die er „den fünf Stadtfundamenten“ (S. 8) Zitadelle, Markt, Tempel, Wohnquartiere und Arbeitsstätten zuordnet. Erst in den 1990er Jahren entwickelte sich zur systematischen Ordnung dieser Lichtquellen das Planungsfeld der Lichtplanung. Als Ordnungslight lässt sich aus heutiger Perspektive das gesamte Feld der öffentlichen Straßen- und privaten Verkehrsbeleuchtung betrachten, Werbelicht dient als Denkmalillumination heute auch der Stadtwerbung und Festlicht zeigt sich zunehmend in Formen der Lichtkunst, Lichtfestivals und sonstigen temporären Lichtinstallationen. Zuvorderst dient nächtliches Kunstlicht der Ermöglichung nächtlicher Aktivität, die 24-Stunden-Gesellschaft ist nur mit künstlichem Licht denkbar. Dieser Zusammenhang muss aber anhand ausgewählter Indikatoren konkretisiert werden. Vor allem zum Beitrag der nächtlichen Außenbeleuchtung zu Sicherheit und Sicherheitsempfinden liegt eine größere Zahl an Untersuchungen vor. Von steigender Bedeutung, aber bisher nicht (wirtschafts-)wissenschaftlich untersucht, ist der Beitrag der Lichtinszenierung zur Wertschöpfung (Lichtplanung, touristische Attraktion, Werbung, etc.). Methodisch aufwendig, aber ebenso denkbar, ist eine ökonomische Untersuchung des Beitrags des künstlichen Lichts im Außenraum zur Festigung der Stadtidentität und zur Verbesserung der ästhetischen Qualität des Stadtraums. Im Folgenden wird den Möglichkeiten der ökonomischen Bewertung dieser Aspekte nachgegangen.

2.1 Ermöglichung von wirtschaftlicher Aktivität in der Nacht

Künstliches Licht im öffentlichen Raum - insbesondere die öffentliche Straßenbeleuchtung - ist ein ermöglichender Faktor für viele wirtschaftliche Betätigungsfelder in der Nacht (Henckel 2009, The Royal Commission on Environmental Pollution 2009). In ökonometrischen Analysen lässt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Lichtverschmutzung und Formen der Landnutzung, der Höhe an Direktinvestitionen und dem Bruttoinlandsprodukt pro Kopf feststellen (Gallaway et al. 2010). Obwohl bei steigendem Pro-Kopf-Einkommen auch die Beleuchtungseffizienz steigt und daher der Zusammenhang zwischen Lichtverschmutzung und dem Bruttoinlandsprodukt nicht linear ist, zeigen empirische Analysen doch eindeutig, dass Wertschöpfung und nächtliches Licht eng miteinander korrelieren und beides räumlich in großen Städten konzentriert ist (Elvidge et al. 1997a, Elvidge et al. 1997b). Erst künstliches Licht schafft die Voraussetzungen für die 24-Stunden-Gesellschaft, also Produktion, Konsum und Verkehr rund um die Uhr. Gerade mit dem Wandel von der fordistischen Massenproduktions- und Massenkonsumgesellschaft zu flexibleren postfordistischen Gesellschaftsformationen hat sich die Struktur und Organisation der städtischen Wirtschaft massiv verändert. In traditionellen Industrie- und Dienstleistungssektoren bedingten technologische Innovationen und die Internationalisierung der Wirtschaft eine Ausweitung der Arbeitszeiten. Daneben kam es zu einem Boom neuer freizeitorientierter Dienstleistungen, neuer Einzelhandelsstrukturen und gastronomischer Angebote, die insgesamt den Event zu jeder Tageszeit in den Vordergrund rücken, sich gut mit dem Wachstum des Städtetourismus fügen und auch entsprechende Planungen der Stadtverwaltungen hervorrufen (Lovatt/O'Connor 1995, Roberts/Eldridge 2009, Henckel 2009). Dies führte zu einem fundamentalen Wandel der Raum- und Zeitstrukturen des städtischen Alltagslebens. Daneben verstärkt die Ausweitung beleuchtungsintensiver Orte wie Infrastrukturknoten (Flughäfen, Bahnhöfe etc.), Stadien und Gewächshäuser den Zusammenhang zwischen ökonomischem Wachstum und Lichtverschmutzung.

Insgesamt führen die neuen Zeitrhythmen der städtischen Wirtschaft zu einer Steigerung der Wertschöpfung. Obwohl die nächtliche Beleuchtung des Außenraums dafür als *conditio sine qua non* verstanden werden kann, scheint eine Zurechnung der nächtlichen Wertschöpfung überaus komplex. Produktionsaktivitäten müssten zu diesem Zweck nicht zuletzt auch zeitlich erfasst werden, was in den aktuell bestehenden Systemen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen nicht vorgesehen ist. Gleichzeitig stellen sich in diesem Zusammenhang auch Fragen der Abhängigkeit der Produktivität von Tag-Nacht-Unterschieden, die bisher nicht abschließend geklärt werden konnten (Moore-Ede 1993, Levitt/List 2009). Daher muss vorerst zusammenfassend festgestellt werden, dass der aus der nächtlichen Beleuchtung des Außenraums

gewonnene gesellschaftliche Nutzen zwar allem Anschein nach immens ist, sich derzeit aber Möglichkeiten der ökonomischen Bewertung entzieht bzw. dafür noch erhebliche Vorarbeiten geleistet werden müssten.

2.2 Wertschöpfung durch Lichtgestaltung

Künstliches Licht in der Nacht ermöglicht nicht nur Wertschöpfung. Mit der nächtlichen Beleuchtung des Außenraums sind auch unmittelbar Wertschöpfungsaktivitäten verbunden, die selbst als Teil des gestifteten Nutzens betrachtet werden müssen. Mit der zunehmenden Bedeutung von Lichtinszenierung und -planung, Lichtfestivals und Lichtwerbung (FSU/KPK 2009, Cuttle 2009, van Santen 2006, Schmidt 2007) müsste dieser Sektor erfasst und seine Wachstumsdynamik beschrieben werden. So haben seit den Vorreitern Zürich und Lyon nicht nur zahlreiche Städte weltweit professionelle Lichtkonzepte und Lichtpläne erstellen lassen, Lichtplanung wurde in den letzten Jahren als Disziplin auch an Fachhochschulen und Universitäten akademisch verankert (bspw. FH Dortmund, Donauuniversität Krems). Viele Städte versuchen gleichzeitig, sich durch spezielle Architekturbeleuchtung und teilweise auch temporäre Lichtevents im Städtetourismus zu positionieren. Diese modernen Formen des Festlichts sind aber nicht nur auf öffentliche Initiative zurückzuführen, sondern sind vielfach auch privaten Ursprungs – wie beispielsweise die durch Einkaufstraßenvereine organisierten Weihnachtsbeleuchtungen. Zusätzlich hat Lichtwerbung eine lange urbane Tradition, Plätze wie der Londoner Picadilly Circus oder der Times Square in New York sind ohne großflächige Leuchtreklame heute kaum vorstellbar (siehe auch Wurm 2009, Beckmann 1986, Behar 2005).

Im Unterschied zu den indirekten Effekten scheint der direkte Wertschöpfungsbeitrag der künstlichen Beleuchtung des nächtlichen Außenraums im Falle der Bereitstellung entsprechender Forschungsressourcen relativ klar zu beziffern. Die Kosten der Straßenbeleuchtung sind nicht zuletzt durch die kommunalen Sparzwänge in den letzten Jahren stark in den Blickpunkt der Politik geraten (NABU o.J., siehe unten). Anders verhält es sich mit jüngeren Aspekten der öffentlichen Lichtplanung und der Wertschöpfung durch private Initiativen, wie event- und ortsbezogene Festbeleuchtungen oder private Lichtwerbung. In den bisher gesichteten Quellen spielen Fragen der ökonomischen Bewertung kaum eine Rolle. Möchte man die Wertschöpfungsleistungen erfassen, müssten Primärerhebungen in einschlägigen Unternehmen erfolgen. Erste Hinweise zur wachsenden Bedeutung der entsprechenden Branchen und Professionen könnten eventuell Expertengespräche mit Planern, Mitarbeitern von Stadtverwaltungen und Werbefachleuten bringen. Die „Lighting Urban Community International“ (LUCI) hat jüngst einen Bericht zum wirtschaftlichen Nutzen von Lichtfestivals erstellt. Anhand von zehn Fallstudienstädten auf unterschiedlichen Kontinenten wurden Besucheraufkommen und -ausgaben, Veranstaltungskosten, Wahrnehmung durch die Medien, Beitrag zum Stadtimage und geschaffene Arbeitsplätze erhoben. Dabei zeigte sich, dass die Festivals in sämtlichen Städten überaus positiv bilanzieren, die Einnahmen pro Besucher sind bis zu 35 mal höher als die Kosten (LUCI 2012). Insgesamt ist offensichtlich, dass Licht als Bestandteil stadtökonomischer Strategien verstanden werden muss, der durch entsprechende Planwerke zunehmend professionell gestaltet wird.

2.3 Effizienzgewinne durch gleichmäßigere Auslastung von Infrastrukturnetzen

Indirekt könnte die Ausweitung der städtischen Aktivitätszeiträume sowie der Energiebedarf der Lichtkörper selbst zur gleichmäßigeren Auslastung von Verkehrsinfrastruktur- und Energienetzen beitragen und somit die Effizienz der Leistungserbringung erhöhen. Die kontinuierliche Ausdehnung der nächtlichen Produktion, des nächtlichen Konsums und des nächtlichen Handels könnte insofern durch die Entzerrung sogar Produktivitätsfortschritte bringen. Tatsächlich zeigt sich im Falle Deutschlands, dass sich die Spitzen der Verkehrsbelastung in den letzten Jahren etwas abflachen und verschieben (Lenz et al. 2010). Da das weitergehende Ansteigen der Mobilität primär auf die Verkehrsmittel des Umweltverbundes entfällt, ist zumindest bei gleichbleibenden räumlichen Verteilungsmustern von einem Rückgang der Staus im motorisierten Individualverkehr auszugehen und mithin auch von einem Sinken der damit verbundenen volkswirtschaftlichen Kosten. Aus verkehrsplanerischer Perspektive können damit unterschiedliche positive Folgewirkungen verbunden sein: Zunächst sinken bei gleichmäßiger verteiltem Verkehrsaufkommen die notwendigen Straßenbreiten und damit auch die verbundenen Erhaltungsaufwendungen. Gleichzeitig scheinen auch eine Reduktion von Lichtsignalanlagen und die Steigerung der Effizienz von Schaltsystemen möglich. Inwiefern diese Zusammenhänge allerdings monetär quantifiziert oder auch nur belegt werden können, wurde in der bisher ausgewerteten Literatur nicht diskutiert. Wie im Falle der ermöglichten Wertschöpfung in der 24-Stunden-Gesellschaft ist jedoch davon auszugehen, dass die Komplexität nur mit erheblichem Aufwand bearbeitet werden kann.

Ähnliches gilt für den Bereich der Energienetze. Tatsächlich wird erst jüngst im Zeichen der bevorstehenden Energiewende stärker über die ökonomischen und technischen Aspekte der Energiegewinnung aus alten und neuen Energiequellen diskutiert (bspw. Wissel et al. 2008). Bei konventionellen Formen der Energiegewinnung aus Kohle und Kernenergie stehen aufgrund der bedingten Speicherfähigkeit von Elektrizität noch Fragen der Nachfrageverteilung und der Grundlast im Vordergrund. Da die geringste Belastung des Stromnetzes regelmäßig in der Nacht auftritt, sollte die Straßenbeleuchtung in dieser Hinsicht einen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes leisten. Mit der Energiewende rücken aber unter dem begrifflichen Deckmantel des Smart Grid zunehmend Fragen der intelligenten Steuerung und Abstimmung von Nachfrage und Angebot in den Vordergrund (bspw. Knab/Strunz/Lehmann 2010). Inwiefern sich in diesem Zusammenhang ein positiver Beitrag der Straßenbeleuchtung ergeben wird, muss in den in naher Zukunft folgenden Forschungsschritten erörtert werden.

2.4 Objektiver und subjektiver Sicherheitsgewinn

Zumindest in Großstädten wird Straßenbeleuchtung mit Sicherheitsgewinn und sinkenden Kriminalitätsraten assoziiert, Sicherheit kann historisch als eine ihrer zentralen Funktionen betrachtet werden (der Geschichte der Stadtbeleuchtung widmet sich Teilprojekt 3). Heute wird die Frage, ob sich unter den institutionellen und sozialen Voraussetzungen in den modernen Großstädten der hochentwickelten Welt mit bestimmten Beleuchtungsqualitäten ein Zugewinn an Sicherheit im öffentlichen Raum erzielen lässt, meist im Zusammenhang mit der angestrebten Modernisierung der Straßenbeleuchtung gestellt. Richtungsweisend sind in diesem Zusammenhang britische Studien, in denen zur Begründung der Verteilung von Fördermitteln Kosten und Nutzen der Modernisierung in ausgewählten Zielräumen verglichen wurden (Painter 1996/1999, Painter/Farrington 2001, Loukaitou-Sideris et al. 2001). Obwohl die genauen Wirkungen vom räumlichen Kontext abhängen, zeigen Painter und Farrington (2001), dass die Einsparungen bei der Kriminalitätsbekämpfung die Kosten der Modernisierung regelmäßig übersteigen. Unklar ist allerdings, ob diese Effekte nicht auch den baulichen Verbesserungen der Wohnumgebung insgesamt zugerechnet werden müssten (z.B. Farrington/Welsh 2002). Pease (1999) argumentiert darüber hinaus, dass die Beteiligung der Bevölkerung an der Modernisierung der Straßenbeleuchtung das Verantwortungsgefühl stärkt und somit ebenfalls zur Reduktion von Kriminalität beiträgt. In manchen Quellen wird daher ein direkter Zusammenhang zwischen bestimmten Beleuchtungsformen und Kriminalitätsraten angezweifelt (bspw. Atkins et al. 1991, Marchant 2004), eine Studie für das US Department of Justice hält bei bestimmten kriminellen Handlungen sogar gegenteilige Effekte für denkbar (Clarke 2008).

Relativ unumstritten ist demgegenüber, dass Straßenbeleuchtung das subjektive Sicherheitsempfinden fördert. So belegen bisher ausgewertete Studien – meist durch Zahlungsbereitschaftsanalysen – den Nutzen von Straßenbeleuchtung für das Sicherheitsempfinden der Stadtbevölkerung (bspw. Atkins et al. 1991, Willis et al. 2005, Knight 2010). Die Verbesserung der Beleuchtung würde demnach zur Reduktion von Ängsten beitragen und die Bereitschaft, die eigene Wohnung zu verlassen, erhöhen. Allerdings scheint der empfundene Sicherheitsgewinn, der mit einer Verbesserung der nächtlichen Beleuchtung des öffentlichen Raums verbunden wird, im Vergleich mit anderen das Faktoren eher gering (Willis et al 2005) und stark vom räumlichen Kontext und den genauen Maßnahmen abhängig. Bei Detailbetrachtungen müssen daher auch Fragen der Lichtqualitäten und Beleuchtungssysteme berücksichtigt werden. Im Extremfall könnte eine durch schlechte Beleuchtung verursachte Blendung die positiven Effekte zunichte machen. Zusammenfassend kann man daher festhalten, dass Straßenbeleuchtung – wie in der Geschichte meist vermutet – zumindest im Regelfall einen Beitrag zum subjektiven Sicherheitsempfinden leistet. Ob sich der Zugewinn an Sicherheit allerdings auch an objektiven Daten der Kriminalitätsstatistik festmachen lässt, ist bisher nicht eindeutig geklärt.

2.5 Verkehrssicherheit

Ein offensichtlicher Zweck von nächtlichem Licht im öffentlichen Raum, der spätestens mit dem Beginn der Massenmotorisierung offensiv verfolgt wurde, ist die Förderung der Sicherheit im Straßenverkehr. Tatsächlich steigt das Unfallrisiko nachts immens an, wobei dies nicht nur von den Sichtverhältnissen, sondern auch von Faktoren wie Müdigkeit, Alkoholisierung und der Verkehrsgeschwindigkeit abhängt. Auch wenn die anderen Faktoren tendenziell schwerer ins Gewicht fallen, zeigen zahlreiche Untersuchungen, dass Beleuchtung einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von Unfallwahrscheinlichkeiten leisten kann (für einen Überblick siehe Elvik 1995, Beyer/Ker 2009). Die Wirkungen hängen allerdings auch in diesem Fall

vom räumlichen Kontext und der genauen Wahl der Beleuchtungsmittel ab (bspw. Meseberg 1997). Vor allem an Kreuzungspunkten im städtischen Umfeld können die Unfallkosten durch zweckdienliche Beleuchtung sicherlich reduziert werden. Die vor kurzem erfolgte Abschaltung der durchgehenden Autobahnbeleuchtung in Belgien wurde hingegen damit begründet, dass sich die Beleuchtung an den meisten Stellen nicht positiv auf die Verkehrssicherheit auswirkt (bspw. Region Wallonie 2003). Demgegenüber zeigte das Texas Transportation Institute schon in den 1980er Jahren, dass die Unfallwahrscheinlichkeit an zeitweise unbeleuchteten Straßenabschnitten zunimmt (nach Hasson /Lutkevich 2002). Ein positiver Effekt lässt sich folglich dann erzielen, wenn eine nach Lichtfarbe und Intensität adäquate Beleuchtung an einer geeigneten Stelle installiert wird. Wie diese genau ausgestaltet sein muss, bleibt eine wichtige Fragestellung der lichttechnischen Forschung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit von der Beleuchtungssituation ihr Fahrverhalten anpassen (für einen Überblick siehe u.a. Willis et al. 2005, The Royal Commission on Environmental Pollution 2009). Im Sinne einer ökonomischen Bewertung konkreter Formen der Straßenbeleuchtung können auf der Basis dieser Erkenntnisse Kosten-Nutzen-Analysen durchgeführt werden. Die Kosten der Straßenbeleuchtung werden dabei – gemessen an den Gesamtkosten des Verkehrs – als verhältnismäßig gering eingeschätzt. Diesen können die volkswirtschaftlichen Kosten von Unfällen, die sich aus dem materiellen Schaden und den direkten, indirekten und intangiblen Gesundheitskosten ergeben (siehe unten), gegenübergestellt werden.

2.6 Stadtidentität und Ästhetik

In einem vorhergehenden Punkt wurde schon angesprochen, dass das an Bedeutung gewinnende Feld der Lichtplanung, Lichtinszenierung und Lichtwerbung prinzipiell als Beitrag zur Wertschöpfung verhandelt werden kann. Neben diesem objektiv zu erhebenden Aspekt der ökonomischen Bedeutung von Lichtgestaltung im nächtlichen Stadtraum wird Lichtplanung als Beitrag zur Förderung der Stadtidentität, zur Schaffung sozialer Räume sowie als Element der architektonischen Gestaltung und Ästhetik diskutiert (bspw. FSU/KPK 2009, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011). Seit jeher gilt die Stadtbeleuchtung als Zeichen von Modernität, Wohlstand und städtischen Lebensstilen (Auer 1997). Licht trägt entscheidend zum Image einer Stadt bei, durch künstliches Licht wird das nächtliche Stadtbild erst erzeugt (Köhler 2009). Städte wie Las Vegas scheinen als Bild eines lichttechnisch inszenierten Raums bekannter als bei Tag. Tatsächlich wurde der seitens der Stadtbevölkerung gefühlte Nutzen von Aspekten wie Anmut und verbesserte Straßengestaltung schon mittels Zahlungsbereitschaftsanalysen erhoben (Willis et al. 2005). Daneben wäre auch denkbar, den Wert der Stadtbeleuchtung an Immobilienpreisdifferentialen festzumachen (Henke 2008). Zu berücksichtigen ist allerdings auch hierbei, dass die entsprechenden Wirkungen in engem Zusammenhang mit dem sozialräumlichen und baulichen Kontext betrachtet werden müssen.

3 KOSTEN DER KÜNSTLICHEN BELEUCHTUNG DES NÄCHTLICHEN AUßENRAUMS

Wie im Falle des Nutzens, für den keine Gegenleistung erbracht werden muss, spricht man von externen Kosten, wenn beim Produktionsprozess Kosten entstehen, die nicht vom Hersteller getragen werden und entsprechend bei Dritten anfallen. Im Fall der nächtlichen Außenbeleuchtung bzw. Lichtverschmutzung lassen sich die indirekten Kosten bei grober Betrachtung als negative Auswirkungen auf die terrestrischen und aquatischen Ökosysteme (ecological light pollution) und die Abstrahlung in den Nachthimmel (astronomical light pollution) beschreiben (Longcore/Rich 2004). Detaillierter werden die indirekten Kosten der künstlichen Beleuchtung des Außenraums in der Literatur in den Dimensionen glare (Blendung), light trespass (Lichtübertretung), sky glow (Himmelsleuchten), light profligacy (Lichtverschwendung), cost to the environment und absence of darkness (The Royal Commission on Environmental Pollution 2009; ähnlich Mizon 2002) gefasst. In sämtlichen Fällen ist eine gesamtwirtschaftliche Betrachtung schwierig, sind doch weder die negativen Folgen der Lichtverschmutzung noch Fragen ihrer ökonomischen Bewertung abschließend geklärt. So ist bisher nur eine geringe Zahl an Auswirkungen der nächtlichen Außenbeleuchtung auf die terrestrischen und aquatischen Ökosysteme gut erforscht. Auch die Untersuchung der Auswirkungen auf Krankheitsbilder steckt noch in den Kinderschuhen, in den meisten Fällen bestehen nur Vermutungen. Und selbst bei Kenntnis der naturwissenschaftlichen Zusammenhänge scheinen lediglich die Gesundheitsfolgen für den Menschen relativ zuverlässig – wenn auch unter ethischen Gesichtspunkten nicht unumstritten – quantifizierbar (siehe Zweifel et al. 2009, Deutscher Ethikrat 2011). Die ökonomische Bewertung negativer Effekte auf die Ökosysteme stellt die umweltökonomische Forschung hingegen vor das Problem ihrer anthropozentrischen Weltsicht (siehe Polasky 2002, Marggraf et al. 2005, Hein 2010).

Kleinere Kostendimensionen, wie jene der Lichtverschwendung, der mangelnden Sichtbarkeit des Nachthimmels oder der Blendung, lassen sich hingegen besser eingrenzen und – zumindest abstrakt – einfacher bestimmen. Im Folgenden werden die einzelnen Kostendimensionen kurz diskutiert.

3.1 Licht- und Energieverschwendung

Fragen der Energieverschwendung durch Lichtverschwendung und mangelnde Effizienz scheinen vor dem Hintergrund des zunehmenden Bewusstseins für Umweltfolgen und Ressourcenknappheit an Bedeutung zu gewinnen (bspw. NABU o.J.). In einer japanischen Studie zur Lichtabstrahlung in die Atmosphäre konnte anhand von Satellitenbildern von fünf Städten gezeigt werden, dass der Energieverlust der privaten und öffentlichen Beleuchtung zwischen 1993 und 1996 um 10 bis 20 Prozent zunahm (Isobe/Hamamura 2000). Diese Verschwendung ließe sich durch eine stärkere Nutzflächenorientierung der Beleuchtung reduzieren. Die wichtigste Quelle der Lichtverschwendung ist dabei die Straßenbeleuchtung, noch vor Werbeflächen und privaten Haushalten (Hänel 2000). Hält man sich die Kostenstrukturen der Straßenbeleuchtung vor Augen, ist das Bemühen um Effizienzsteigerungen seitens der Kommunen verständlich. In Deutschland belaufen sich die Anteile der Straßenbeleuchtung auf 0,1 Prozent am gesamten Energieverbrauch und auf 0,7 Prozent am Gesamtstromverbrauch (VDN/LiTG 2009), jedoch auf bis zu 45 Prozent an den kommunalen Stromkosten. Auch wenn das nur 0,4 Prozent des kommunalen Haushalts entspricht, ist der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten der Bereitstellung von Straßenbeleuchtung von rund 30 Prozent zu Beginn der 1990er Jahre durch den technologischen Fortschritt, der Wartungs- und Instandsetzungskosten erheblich gesenkt hat, auf 50 bis 65 Prozent im Jahr 2010 gestiegen. Die Anstrengungen, durch die Umrüstung auf effizientere Systeme Energiekosten einzusparen, ist daher in den letzten Jahren forciert worden. Laut einer Publikation des Leuchtenherstellers TRILUX (2009), der auch die angeführten Zahlen entnommen sind, könnten in Deutschland allein durch die Erneuerung der Anlagen der Straßenbeleuchtung aus den 1960er und 1970er Jahren 400 Millionen Euro bzw. 2,7 Mrd. kWh und 1,6 Mio. Tonnen CO₂ jährlich eingespart werden. Zusätzliche Einsparungspotenziale lassen sich durch die Anpassung der Nutzungszeit an den Bedarf erschließen (Höhne/Schröter 2002). Zusammenfassend sind Daten zur Licht- und Energieverschwendung für die Straßenbeleuchtung vergleichsweise gut zugänglich. Lediglich regionale Unterschiede der Kostenstrukturen wurden bisher kaum systematisch erhoben. Zur Effizienz der privaten Beleuchtung im öffentlichen Raum ist hingegen bisher insgesamt wenig veröffentlicht worden.

3.2 Mangelnde Sichtbarkeit des Nachthimmels

Lichtverschwendung beeinträchtigt in Form der Lichtverschmutzung auch die Stellung des Sternenhimmels als Kulturgut und Orientierungshilfe. Von Urzeiten an entwickelte die Menschheit eine metaphysische und eine praktische Beziehung zum Sternenhimmel, bis heute werden viele Kunst- und Kulturschaffende und Wissenschaftler von ihm inspiriert. Durch Lichtverschmutzung ist die Beziehung des Menschen zum Nachthimmel jedoch zunehmend gestört. Vor allem die Lichtkuppeln großer Städte strahlen weit aus, in hell erleuchteten europäischen Städten hat die Sichtbarkeit der Sterne von 3.000 möglichen auf 100 abgenommen (Hänel 2010). Um den Sternenhimmel als Kulturgut zu schützen, beschloss die UNESCO im Jahr 2009, astronomische und archäoastronomische Stätten als Weltkulturerbe anzuerkennen. In manchen Regionen der Welt wurden bereits eigene Dark Sky Parks eingerichtet (Kolláth 2010), der Astrotourismus zwecks Sternenbeobachtung nimmt seit Jahren zu (Ruggles/Cotte 2010). Kosten der mangelnden Sichtbarkeit des Nachthimmels wurden bisher jedoch kaum analysiert. Gallaway (2010) beklagt, dass die traditionellen Methoden der neoklassischen, aber auch der institutionellen und ökologischen Ökonomie mit passiven Vergnügungen nicht umgehen können. Allerdings wurden schon Zahlungsbereitschaftsanalysen zur Bewertung des Sternenhimmels als Kulturgut durchgeführt, die zeigen, dass zumindest in einschlägigen Kreisen die Bereitschaft besteht, für Dunkelheit zu zahlen (vgl. Simpson/Hannah 2010, Willis et al. 2005). Daneben müssten auch die Kosten, die der astronomischen Forschung durch die eingeschränkte Funktionsfähigkeit, Stilllegung oder Verlagerung von Sternwarten entstehen, sowie die mangelnde Nutzbarkeit des Sternenhimmels für Zwecke der Navigation berücksichtigt werden. Studien dazu sind jedoch bisher nicht bekannt. Ebenso wenig ist bisher geklärt, ob die Fragen nach der Verlagerung von Sternwarten und der Sternennavigation heute unter technologischen Aspekten überhaupt noch relevant sind.

3.3 Auswirkungen auf die Ökosysteme

Die Wirkungen der Lichtverschmutzung auf Fauna und Flora erwecken zunehmend die Aufmerksamkeit der Biologie. In der Tierwelt können sich die Veränderung des Lebensraums und die Störung biologischer Rhythmen verhaltens- und populationsökologisch auf die Orientierung, Anziehung, Reproduktion und Kommunikation auswirken, gemeinschaftsökologisch kann die Balance von Konkurrenz und Prädation aus dem Gleichgewicht kommen (Longcore/Rich 2004, Health Council of the Netherlands 2000, The Royal Commission on Environmental Pollution 2009). Bisher wurden besonders die Folgen für Vögel (bspw. Evans Ogden 1996, Jones/Francis 2003), Fledermäuse und andere ausgewählte Säugetierarten (bspw. Boldogh et al. 2007, Stone et al. 2009, Bedrosian et al. 2011), Meeresschildkröten und andere Amphibien (bspw. Perry et al. 2008, Baker/Richardson 2006), Fische (bspw. Brüning et al. 2011) und Insekten (bspw. Eisenbeis 2009) beforscht (zu sämtlichen genannten Spezies siehe auch die Beiträge in Rich/Longcore 2006). Säugetiere sind vor allem von veränderten Tageszyklen und Artenrivalität betroffen, Folgen für das Immunsystem, die Thermoregulation und die Fortpflanzung sind möglich. Bei Vögeln kann es zu veränderten Zeiten der Nahrungssuche und einem veränderten Brut- und Zugverhalten kommen, das künstliche Licht führt zu Ablenkung, Entkräftung und steigendem Risiko, gefressen zu werden. Bei Amphibien und Fischen sind vor allem die Fortpflanzung, das Wanderungsverhalten und die Schwarmbildung betroffen. Insekten drohen, entweder an heißen Lampen zu verbrennen oder im Licht zu entkräften und gefressen zu werden. Fehlen Insekten infolge der Lichtverschmutzung als Bestäuber, sind auch Folgen für die Landwirtschaft denkbar.

Im Vergleich zur Tierwelt ist jedoch zu den Auswirkungen auf die Pflanzenwelt insgesamt noch relativ wenig Wissen vorhanden. Die Lichtstärke von Straßenlaternen dürfte nicht ausreichen, um das Wachstum von Pflanzen zu beeinflussen (Health Council of the Netherlands 2000). Manche Bäume werfen jedoch als Folge der nächtlichen Beleuchtung ihre Blätter nicht oder verspätet ab, wodurch sie dem Winterwetter unmittelbar ausgesetzt sind (Briggs 2006). Daneben werden auch negative Auswirkungen auf die Luftverschmutzung vermutet, weil bestimmte Stickoxide, die bei Dunkelheit zur Reinigung der Luft beitragen, durch die Helligkeit nicht mehr wirken können (Castelvecchie 2010). Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass sich Lichtverschmutzung aus ökologischer Perspektive auf Fauna und Flora sowie die Luftqualität negativ auswirken kann. Ungeklärt ist allerdings die Frage nach Möglichkeiten der ökonomischen Bewertung dieser Effekte. Biodiversität wird prinzipiell als öffentliches Gut betrachtet, das als Stabilitätsfaktor in ökologischen Systemen, als Ressource für genetische Information, als Rohstofflieferant sowie zur Befriedigung ästhetischer, kultureller und wissenschaftlicher Bedürfnisse Nutzen stiftet (Klauer 2001). Schwierig ist die Bewertung von Biodiversität deshalb, weil die Zusammenhänge einerseits überaus komplex sind, Biodiversitätsverluste aber andererseits irreversibel sind, stark eingeschränkte Substitutionsmöglichkeiten bestehen und die Auswirkungen eines starken Verlusts größtenteils unbekannt sind. Aus diesem Grund wird vielfach anstelle von Kosten-Nutzen-Analysen die Gewährleistung eines "safe minimum standard" vorgeschlagen. Auf dieser Grundlage kann die ökonomische Bewertung einen Beitrag zur Diskussion effizienter Schutzstrategien und zur Schaffung von Anreizsystemen liefern (bspw. Loomis/White 1996, Montgomery et al. 1999, Stevens et al. 1991). Die Bewertung der Luftverschmutzung aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive erfolgt prinzipiell in den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (Statistisches Bundesamt 2010). Kosten für die Landwirtschaft könnten bei Kenntnis der genauen Zusammenhänge auch sektoral betrachtet werden.

3.4 Physiologische Blendung

„Von physiologischer Blendung spricht man bei Blendungsereignissen, die eine messbare Herabsetzung der Sehleistung oder des Sehvermögens verursachen. Ursächlich hierfür kann eine Minderung der Unterschiedsempfindlichkeit, der Sehschärfe, des Form- und Gestalterkennungsvermögens, der Tiefenwahrnehmung und der Wahrnehmungsgeschwindigkeit sein“ (IFA 2010: 3). Kosten physiologischer Blendung sind vor allem ein Thema der Verkehrssicherheit, insbesondere im Fall von großflächiger Lichtwerbung, aber auch von entgegenkommenden oder hinterher fahrenden Fahrzeugen oder Grundstücks- und Gebäudebeleuchtung. Studien zu den verursachten Unfallkosten sind bisher nicht bekannt. Insgesamt dürfte die Zahl an Unfällen, die auf Blendung zurückzuführen sind, eine vergleichsweise nachrangige Rolle spielen und darüber hinaus in den meisten Fällen durch Sonnenlicht und nur in Ausnahmefällen durch künstliches Licht in der Nacht verursacht werden (vgl. Rönsch-Hasselhorn 2003). Neben der Gefährdung der

Verkehrssicherheit kann Blendung auch kriminelle Handlungen begünstigen bzw. selbst als kriminelle Handlung betrachtet werden, beispielsweise wenn Piloten bei Abflug oder Landung mit Laserpointern gezielt geblendet werden. Zu diesen Aspekten sind aber bisher keine wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt.

3.5 Lichtüberschreitung durch psychologische Blendung

„Im Gegensatz zur physiologischen Blendung ist die psychologische Blendung messtechnisch weder quantifizierbar noch optisch-visuell nachweisbar. Sie kommt häufig in Innenräumen vor und liegt dann vor, wenn ein aufgrund des qualitativen Urteils eines Beobachterkollektivs ermittelter Grenzwert von gerade noch annehmbarer hin zu gerade unannehmbare Blendung überschritten wird. Es muss betont werden, dass es sich um rein subjektive Eindrücke handelt“ (IFA 2010: 5). Lichtüberschreitung durch psychologische Blendung soll hier also verstanden werden als Fall, in dem die Beleuchtung des nächtlichen Außenraums unbeteiligten Dritten Nutzeneinbußen verursacht. Bisher sind keine Studien bekannt, die versuchen, diese Lichtkonflikte ökonomisch zu bewerten. Denkbar wären auch hier Zahlungsbereitschaftsanalysen. Daneben können in Deutschland die Lichtinweise der Lichttechnischen Gesellschaft, mit denen das Bundesimmissionschutzgesetz für Fragen der Lichtverschmutzung konkretisiert wird, erste Hinweise zur Bewertung von Lichtüberschreitung und mögliche Kompensationen geben (siehe LiTG 2011).

3.6 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Bekannt ist heute aus der medizinischen Forschung, dass sich verschobene Zeitrhythmen auf die menschliche Gesundheit auswirken (Zulley/Knab 2009, Griefahn 2009), Nacht- und Schichtarbeit werden als Störgröße der zirkadianen Rhythmik angesehen und gelten als potentiell krebsregend (Straif et al. 2007). Der ‚shiftlag‘ bei Schichtarbeit kann zu Schlafschwierigkeiten, Stimmungsschwankungen bzw. Depressionen und Herz- Kreislauferkrankungen beitragen (Thorne et al. 2010). Insofern müssten die Kosten der 24-Stunden-Gesellschaft anteilig der nächtlichen Beleuchtung zugerechnet werden. Neben direkten Gesundheitswirkungen entstehen dabei auch gesellschaftliche Kosten durch indirekte Auswirkungen auf zwischenmenschliche Beziehungen und die individuelle Konzentrationsfähigkeit (Moore-Ede 1993). Die Zusammenhänge sind jedoch – wie im Fall der Ermöglichung wirtschaftlicher Aktivität – keinesfalls trivial. Inwiefern sich die Erhellung des Außenraums direkt auf den Rhythmus der Einnahme von Mahlzeiten, Alkoholkonsum, Schlafverhalten und Stress auswirkt, muss allerdings erst erforscht werden. Der am meisten diskutiert direkte Zusammenhang zwischen nächtlichem Licht und Krankheitsbildern betrifft derzeit die Wahrscheinlichkeit an Brustkrebs zu erkranken (Stevens et al. 2007, Stevens 2009). Nächtliches Licht dürfte demnach hormongesteuerte Krebsarten besonders stark beeinträchtigen. Allerdings sind den Studien zufolge vor allem Schichtarbeiterinnen betroffen, eine Korrelation mit Licht im Außenraum wurde bisher eher selten nachgewiesen (Kloog et al. 2010, Chepesiuk 2009). Ein Zusammenhang von Licht und Körpermasse konnte bereits bei männlichen Mäusen nachgewiesen werden, die sowohl bei dauerhaftem Einwirken von Licht als auch bei ständiger Dunkelheit ihre Nahrungsaufnahme ändern und Gewicht zulegen (Fonken et al. 2010).

Sollten die Gesundheitswirkungen der Lichtverschmutzung in naher Zukunft besser erforscht sein, lassen sich prinzipiell auch die gesellschaftlichen Kosten gesundheitsökonomisch ermitteln. Dabei bestehen unterschiedliche Zugänge. Direkte Kosten lassen sich aus den Ausgaben für Medikamente und die Gesundheitsdienste ermitteln, indirekte Kosten ergeben sich volkswirtschaftlich durch die Krankentage und mögliche Verdienstaussfälle bei den Betroffenen, bei intangiblen Kosten müssen die verminderte Lebensqualität und eventuelle Schmerzen bewertet werden. Zur Bewertung der indirekten Kosten kann der Humankapital-Ansatz herangezogen werden, intangible Kosten werden mit dem QALY-Ansatz als Ausdruck der in einer bestimmten Qualität verbrachten Lebensjahre qualifiziert (bspw. Zweifel et al. 2009). Allerdings sind bisher keine einschlägigen Studien bekannt. Erste Gedanken zur ökonomischen Betrachtung von Licht und Gesundheit machte sich Henke (2008) in einem Vortrag, in dem er sich primär mit der Heilkraft von Licht und direkten Gesundheitsschädigungen beschäftigte.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Diskussion der Nutzen und Kosten des Verlusts der Nacht hat gezeigt, dass die Forschung zu vielen der besprochenen Dimensionen noch in den Kinderschuhen steckt. Die ökonomische Betrachtung erfordert dabei prinzipiell ein kreatives Vorgehen, das zumindest zu Fragen der Auswirkungen auf die Ökosysteme nicht ohne eine (ergänzende) qualitative Beschreibung oder Bewertung in physischen Einheiten auskommen wird (siehe TEEB 2010). Grundlegender Forschungsbedarf besteht noch zu Kosten und Nutzen der meisten

privaten Beleuchtungsquellen im öffentlichen Raum, zu den Folgen für die Infrastrukturnetze und zu den Folgen für die Pflanzenwelt. Ob eine Bewertung der Ermöglichung der 24-Stunden-Gesellschaft letztendlich möglich sein wird, muss aus heutiger Sicht bezweifelt werden. Unabhängig davon kann die Taxonomie aber Hinweise zu einer nüchterneren Betrachtung der künstlichen Beleuchtung im Außenraum liefern.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- Atkins, Stephen, Husain, Sohail, Storey, Angele (1991): The Influence of Street Lighting on Crime and Fear of Crime. Crime Prevention Unit Paper No. 28, London: Home Office.
- Auer, Gerhard (1997): Die Verlichtung der Stadt (Overexposed cities), *Topos - the international review of landscape architecture and urban design*. München: Callwey, *Topos* 20, 6-14.
- Baker, B.J., Richardson, J.M.K. (2006): The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melanota*, *Can. J. Zool.* 84, 1528-1532.
- Beckmann, Friedrich-Wilhelm (1986): Die Botschaft der Lichtwerbung. Leuchtende Geschäftskennzeichnungen im Bild der Stadt, *Licht* 38(7), 466-472.
- Bedrosian, TA et al. (2011): Chronic exposure to dim light at night suppresses immune responses in Siberian hamsters, *Bio. Lett.* 7(3), 468-471.
- Behar, Hank (2005): When the Light is Right, *Convenience Store News* 41(14), 113-120.
- Beyer, Fiona R., Ker, Katharine (2009): Street lighting for preventing road traffic injuries, *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2009, Issue 1. Chichester: John Wiley & Sons.
- Boldogh, Sandor, Dobrosi, Dénes, Samu, Péter (2007): The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences, *Acta Chiropterologica* 9(2), 527-534.
- Briggs, Winslow R. (2006): Physiology of Plant Responses to Artificial Lighting, in Rich, Catherine, Longcore, Travis (Eds.) *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington: Island Press, 389-411.
- Brüning, Anika, Hölker, Franz, Wolter, Christian (2011): Artificial light at night: implications for early life stages development in four temperate freshwater fish species. *Aquatic Sciences* 73, 143-152.
- Castelvecchie, Davide (2010): Dimming city lights may help reduce smog, *Scientific American* December 17 2010.
- Chepesiuk, Ron (2009): Missing the Dark. Health Effects of Light Pollution. *Environmental Health Perspective* 117/1, A20-A27.
- Clarke, Ronald V. (2008): Improving Street Lighting to Reduce Crime in Residential Areas. *Problem-Oriented Guides for Police, Response Guides Series Guide No. 8, Center for Problem-Oriented Policing*, December 2008.
- Cuttle, Barry A. J. (2009): Towards the third stage of the lighting profession, *Lighting Res. Technol* 42, 73-93.
- Deutscher Ethikrat (2011): Nutzen und Kosten im Gesundheitswesen - zur normativen Funktion ihrer Bewertung. Berlin.
- Eisenbeis, Gerhard (2009): Insekten und künstliches Licht, in Posch, Thomas, Freyhoff, Anja, Uhlmann, Thomas (Hrsg.): *Das Ende der Nacht: Die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen*. Weinheim: Wiley-VCH, 61-80.
- Elvidge, C.D. et al. (1997a): Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption, *International Journal of Remote Sensing* 18(6), 1373-1379.
- Elvidge, C.D. et al. (1997b): Mapping City Lights With Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 63(6), June 1997, 727-734.
- Elvik, R. (1995): Meta-analysis of Evaluations of Public Lighting as Accident Countermeasure, *Transportation Research Record* 1485, 112-123.
- Evans Ogden, Lesley J. (1996): Collision Course: The Hazards of Lighted Structures and Windows to Migrating Birds. A special report for World Wildlife Fund Canada and the Fatal Light Awareness Program (FLAP) Lincoln: University of Nebraska.
- Farrington, David P., Welsh, Brandon C. (2002): Effects of improved street lighting on crime: a systematic review, Home Office Research Study 251, Home Office Research, Development and Statistics Directorate, August 2002.
- Fonken, Laura K. et al. (2010): Light at night increases body mass by shifting the time of food intake. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, Early edition. 107 (43), p. 18664-18669.
- FSU (Fédération suisse des urbanistes)/Organ der Kantonsplanerkonferenz (KPK) (Hrsg.) (2009): *Plan Lumière, Collage 1/09, Zeitschrift für Planung, Umwelt und Städtebau*, Rheinfelden.
- Gallaway, Terrel (2010): On Light Pollution, Passive Pleasures, and the Instrumental Value of Beauty, *Journal of Economic Issues* Vol. XLIV, No. 1, March 2010, 71-88.
- Gallaway, Terrel, Olsen, Reed N., Mitchell, David M. (2010): The economics of global light pollution. *Ecological Economics* 69 (2010), 658-665.
- Griefahn, B. (2009): Chronobiologische Erkenntnisse zum Tag-Nacht-Wechsel, *Zeitpolitisches Magazin* (Thema: Stille Nacht?), Jg. 6, Nr. 15, Dezember 2009: 10-11.
- Hänel, Andreas (2000): The Situation of Light Pollution in Germany. *Memorie Della Società Astronomica Italiana - Journal of the Italian Astronomical Society* 71/1 (Measuring and Modelling Light Pollution), 153-158.
- Hänel, Andreas (2010): Lichtverschmutzung in Mitteleuropa, in Posch, Thomas, Freyhoff, Anja, Uhlmann, Thomas (Hrsg.): *Das Ende der Nacht – die globale Lichtverschmutzung und ihre Folgen*. Weinheim: Wiley-VCH, 41-60.
- Hasson, Patrick, Lutkevich, Paul (2002): Roadway Lighting Revisited, *Public Roads* 65(6), May/June 2002.
- Health Council of the Netherlands (Ed.) (2000): *Impact of outdoor lighting on man and nature*. Den Haag: Gezondheidsraad.
- Hein, Lars (2010): *Economics and Ecosystems. Efficiency, Sustainability and Equity in Ecosystem Management*. Cheltenham: Edward Elgar.
- Henckel, Dietrich (2009): Stad(t)nacht?, *Zeitpolitisches Magazin* (Thema: Stille Nacht?), Jg. 6, Nr. 15, Dezember 2009, 4-5.
- Henke, Klaus-Dirk (2008): Gesundheitsökonomische Betrachtung des Lichts, in Kaase, Heinrich; Serick, Felix (Hrsg.): *Sechstes Symposium Licht und Gesundheit - Eine Sondertagung der TU Berlin und der DGP mit DAfP und LiTG*, 13. und 14.03.2008, 3-18.
- Höhne, Lothar, Schröter, Heinz Georg (2002): *Straßenbeleuchtung. 2. Auflage, Anlagentechnik für elektrische Verteilungsnetze Band 10*. Berlin: VDE Verlag.

- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - IFA (2010): Blendung – Theoretischer Hintergrund. Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der DGUV, Mai 2010.
- Isobe, Syuzo, Hamamura, Shiomu (2000): Monitoring Light Energy Loss Estimated by the DMSP Satellites, *Memorie Della Società Astronomica Italiana - Journal of the Italian Astronomical Society* 71/1 (Measuring and Modelling Light Pollution), 131-137.
- Jones, Jason, Francis, Charles M. (2003): The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses, *Journal of Avian Biology* 34, 328-333.
- Klauer, Bernd (2001): Welchen Beitrag können die Wirtschaftswissenschaften zum Erhalt der Biodiversität leisten?, in Spehl, Harald, Held, Martin (Hrsg.): *Vom Wert der Vielfalt. Diversität in Ökonomie und Ökologie*. Berlin: Analytica Verlag, 59-70.
- Kloog, Itai et al. (2010): Nighttime light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide, *Cancer Causes & Control* 21(12), 2059-2068.
- Knab, Sebastian, Strunz, Kai, Lehmann, Heiko (2010): Smart Grid – The Central System for Power Supply, *Schriftenreihe Innovationszentrum Energie Band 2* (<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2010/2565>, 16.01.2012).
- Knight, Colette (2010): Field surveys of the effect of lamp spectrum on the perception of safety and comfort at night, *Lighting Research and Technology* 42(4), 313-329.
- Köhler, Dennis (2009): Artificially enlightened urban spaces at night - A matter of special importance for liveable cities, in Széll, György, Széll, Ute (Eds.): *Quality of Life & Working Life in Comparison*. Frankfurt/Main: Peter Lang, 323-339.
- Kolláth, Zoltán (2010): Measuring and modelling light pollution at the Zselic Starry Sky Park. 5th Workshop of Young Researchers in Astronomy & Astrophysics, *Journal of Physics: Conference Series* 218 (2010).
- Lenz, Barbara et al. (2010): *Mobilität in Deutschland 2008*. Forschungsbericht von infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. im Auftrag vom BMVBS, Bonn und Berlin.
- Levitt, Steven D., List, John A. (2009): Was there Really a Hawthorne Effect at the Hawthorne Plant? An Analysis of the Original Illumination Experiments, NBER Working Paper 15016, National Bureau of Economic Research, May 2009, Cambridge.
- Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) (2011): Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. LiTG-Publikation 12, Berlin.
- Longcore, Travis, Rich, Catherine (2004): Ecological light pollution, *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(4), 191-198.
- Loomis, John B., White, Douglas S. (1996): Economic Benefits of Rare and Endangered Species - Summary and Meta-Analysis, *Ecological Economics* 18, 197-206. (Chapter 12 in Polasky 2002)
- Lovatt, Andy, O'Connor, Justin (1995): Cities and the night-time economy, *Planning Practice and Research*. 10 (2), 127-134.
- Lighting Urban Community International (LUCI) (2012): *The Cities of Light Newsletter* 16, February 2012, Lyon: LUCI Association.
- Marchant, Paul R. (2004): A demonstration that the claim that brighter lighting reduces crime is unfounded, *British Journal of Criminology* 44(3), 441-447.
- Marggraf, Rainer et al. (Hrsg.) (2005): *Ökonomische Bewertung bei umweltrelevanten Entscheidungen. Einsatz von Zahlungsbereitschaftsanalysen in Politik und Verwaltung. Ökologie und Wirtschaftsforschung Band 55*. Marburg: Metropolis.
- Meseberg, Hans-Hubert (1997): Straßenbeleuchtung - Verkehrssicherheit contra Wirtschaftlichkeit, in *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (Hrsg.): Deutscher Straßen- und Verkehrskongress Düsseldorf 1996*, Köln: FGSV, 39-44.
- Mizon, Bob (2002): *Light Pollution. Responses and Remedies*. London: Springer.
- Montgomery, Claire A. et al. (1999): Pricing Biodiversity, *Journal of Environmental Economics and Management* 38, 1-19. (Chapter 15 in Polasky 2002)
- Moore-Ede, Martin C. (1993): *The 24-hour Society: The Risks, Costs and Challenges of a World that Never Stops*. London: Piatkus.
- NABU (o.J.): Informationen zum Projekt „Effiziente Beleuchtung im öffentlichen Raum“ (http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/oekologischesstadtleuchtung/nabu_stadtleuchtung.pdf, 18.01.2012)
- Painter, Kate (1996): The influence of street lighting improvements on crime, fear and pedestrian street use, after dark, *Landscape and Urban Planning* 35(2-3), 193-201.
- Loukaitou-Sideris, Anastasia et al. (2001): Measuring the effects of built environment on bus stop crime, *Environment and Planning B – Planning and Design* 28(2), 255-280.
- Painter, Kate (1999): *A guide for crime and disorder reduction through a public lighting strategy*. Rugby: Institution of Lighting Engineers.
- Painter, Kate A., Farrington, David P. (2001): The financial benefits of improved street lighting, based on crime reduction, *Lighting Resource Technology* 33(1), 3-12.
- Pease, Ken (1999): A Review of Street Lighting Evaluations: Crime Reduction Effects', in Painter, Kate, Tilley, Nick (Eds.): *Surveillance of Public Space: CCTV, Street Lighting and Crime Prevention*. Monsey, New York: Criminal Justice Press, 47-76.
- Perry, Gad et al. (2008): Effects of Artificial Night Lighting on Amphibians and Reptiles in Urban Environments, in Mitchell, J.C., Jung Brown, R.E., Bartholomew, B. (eds.): *Urban Herpetology*, 239-256.
- Polasky, Stephen (Ed.) (2002): *The Economics of Biodiversity Conservation*. Aldershot: Ashgate.
- Région Wallonie (2003): *Trafic et sécurité sur les routes et autoroutes de Wallonie*. Namur.
- Rich, Travis, Longcore, Catherine (eds.) (2006): *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Washington: Island Press.
- Roberts, Mario, Eldridge, Adam (2009): *Planning the Night-time City*. London: Routledge.
- Rönsch-Hasselhorn, Barbro (2003): Sichtbeeinträchtigung für Autofahrer durch Sonnenblendung, *Forschungsstelle Mensch-Verkehr der Eugen-Otto-Butz-Stiftung am Institut ASER*, Wuppertal.
- Ruggles, Clive, Cotte, Michel (2010): *Heritage Sites of Astronomy and Archaeoastronomy in the context of the UNESCO World Heritage Convention - A Thematic Study*. Paris: ICOMOS & International Astronomical Union.
- Schmidt, J. Alexander (2007): *Licht in der Stadt. Leitbilder und Strategien für innovative Lichtkonzepte*. Materialien für die Arbeit vor Ort 36. Konrad Adenauer Stiftung.

- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.) (2011): *Stadtbeeld Berlin - Handbuch*, Berlin.
- Simpson, S.N., Hanna, B.G. (2010): Willingness to pay for a clear night sky: use of the contingent valuation method, *Applied Economics Letters* 17(11).
- Statistisches Bundesamt (2010): *Umweltnutzung und Wirtschaft. Bericht zu den umweltökonomischen Gesamtrechnungen*. Wiesbaden: Destatis.
- Stevens, Thomas H., et al. (1991): Measuring the Existence Value of Wildlife: What Do CVM Estimates Really Show?, *Land Economics* 67, 390-400. (Chapter 13 in Polasky 2002)
- Stevens, Richard G. et al. (2007): Meeting Report: The Role of Environmental Lighting and Circadian Disruption in Cancer and Other Diseases. *Environmental Health Research*, Vol. 115, No. 9: 1357-162.
- Stevens, Richard G. (2009): Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence, *International Journal of Epidemiology* 38(4), 963-970.
- Stone, Emma L., Jones, Gareth, Harris, Stephen (2009): Street Lighting Disturbs Commuting Bats, *Current Biology* 19, 1123-1127.
- Straif, Kurt et al. (2007): Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting, *The Lancet Oncology* 8(12), 1056-1066.
- TEEB (2010): *The Economics of Ecosystems and Biodiversity - Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis*. (http://www.teebweb.org/Portals/25/TEEB%20Synthesis/TEEB_SynthReport_09_2010_online.pdf, 19.11.2011).
- The Royal Commission on Environmental Pollution (2009): *Artificial Light in the Environment*. Norwich: TSO.
- Thorne, Helen C. et al. (2010): Returning from night shift to day life: Beneficial effects of light on sleep. *Sleep and Biological Rhythms* 2010(8), 212-221.
- TRILUX (2009): *Beleuchtungspraxis - Außenbeleuchtung*. Berlin: Beuth-Verlag.
- Van Santen, Christa (2006): *Light Zone City. Light Planning in the Urban Context*. Basel: Birkhäuser.
- Verband der Netzbetreiber (VDN)/Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) (2009): *Straßenbeleuchtung: Leitfaden für Planung, Bau und Betrieb*. 5. Auflage. Frankfurt/Main: VWEW-Energieverlag.
- Willis, K.G., Powe, N.A., Garrod, G.D. (2005): Estimating the Value of Improved Street Lighting: A factor Analytical Discrete Choice Approach, *Urban Studies* 42(12), 2289-2303.
- Wissel, S., Rath-Nagel, S. Blesl, M., Fahl, U., Voß, A. (2008): *Stromerzeugungskosten im Vergleich. Arbeitsbericht Nr. 4, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Stuttgart*.
- Wurm, Fabian (Red.) (2009): *Signaturen der Nacht - Die Welt der Lichtwerbung*. Ludwigsburg: AV Edition.
- Zulley, Jürgen, Knab, Barbara (2009): *Unsere Innere Uhr. Natürliche Rhythmen nutzen und der Non-Stop-Belastung entgegen*. Frankfurt am Main: Mabuse.
- Zweifel, Peter, Breyer, Friedrich, Kifmann, Mathias (2009): *Health Economics. Second Edition*. Springer: Berlin.