

„Die Sonne lehrt alle Lebewesen die Sehnsucht nach dem Licht. Doch ist es die Nacht, die uns alle zu den Sternen erhebt.“
(Khalil Gibran)



LICHT IM WANDEL DER ZEITEN

von Thomas Posch

ABBILDUNG 1:

Unsere Sonne ist – in Verbindung mit der Erdrotation – die Ursache des 24-stündigen Tag-Nacht-Rhythmus. (Bildquelle: SOHO-Satellit, NASA/ESA).

1.1 Warum wird es nachts überhaupt dunkel?

Im Jahre 1610 gelangte Johannes Kepler zu einer erstaunlichen Erkenntnis: er fand heraus, dass die – damals noch selbstverständliche – Dunkelheit des Nachthimmels nicht mit der Annahme eines unendlichen, gleichmäßig von Sternen erfüllten Kosmos vereinbar ist. Dem Weltbild Keplers kam diese Einsicht sehr entgegen, denn im Unterschied zu dem 1600 hingerichteten Giordano Bruno argumentierte der kaiserliche Astronom ohnehin für einen *endlichen* Kosmos.

Mehr als 200 Jahre später, in den 1820er Jahren, widmete sich der Arzt und Astronom Heinrich Wilhelm Olbers intensiver der scheinbar so trivialen Frage: Warum wird es nachts dunkel? Er arbeitete sie in einer systematischen Form auf, die heute als *Olbers' Paradoxon* bezeichnet wird. Dieses besteht in Folgendem: *Wenn* der Kosmos unendlich ausgedehnt wäre und das Licht der Sterne beliebig viel Zeit gehabt hätte, um zu uns zu gelangen, wenn darüber hinaus die Sterne seit jeher strahlten, *dann* – wäre jeder Punkt des Nachthimmels ebenso hell wie die Sonne, daher der Nachthimmel insgesamt taghell. Mathematisch ist der Beweis dieses Schlusses nicht schwer zu führen. Man muss nur berücksichtigen, dass die Intensität der Sternstrahlung (= die scheinbare Helligkeit eines Sterns) mit dem Quadrat

seiner Entfernung *abnimmt*, während die Zahl der Sterne in konzentrischen Kugelschalen mit dem Quadrat der Entfernung *zunimmt* – jedenfalls dann, wenn der ganze Kosmos gleichmäßig mit Sternen erfüllt ist.

Wie kann man das Olberssche Paradoxon auflösen? Aus heutiger Sicht ist der Schluss auf einen *natürlicherweise* hellen Nachthimmel nur dann vermeidbar, wenn man die begrenzte Lebensdauer der Sterne berücksichtigt und – wie z.B. im Rahmen der Urknall-Theorie – von der räumlichen Unendlichkeit des Kosmos *abgeht*, d.h. unseren Kosmos als endlich erkennt.

Es ist höchst erstaunlich, wie wertvoll der einfache Befund, dass der Nachthimmel natürlicherweise dunkel ist, für unsere Sicht des Kosmos und für die wissenschaftliche Kosmologie ist. Das Olberssche Paradoxon ist nur eines von vielen Beispielen für buchstäblich „weltbewegende“ Erkenntnisse, welche die menschliche Kultur vielleicht niemals erlangt hätte, wenn wir mit dem Nachthimmel immer schon so sorglos umgegangen wären bzw. hätten umgehen können wie heute. Auch Tycho Brahe und der eingangs erwähnte Kepler hätten ihre berühmten Mars-Studien – die zur Begründung der modernen Himmelsmechanik führten – nicht durchführen können, wenn der Himmel über Prag um 1600 schon so stark erhellt gewesen wäre wie er es jetzt ist. Sie hätten wohl noch den Planeten Mars in seinem strahlenden rötlichen Glanz erblickt, doch viele der zur Positionsbestimmung nötigen „Bezugssterne“ hätten ihnen gefehlt, denn sie wären vom Himmelsleuchten selbst überstrahlt worden. Der griechische Philosoph Anaximander, der sagte, das Leben habe für ihn seinen Sinn in der Betrachtung des Kosmos und der in ihm waltenden Ordnung, hätte wohl gar sein Leben in einer Welt, die sich ihren Blick in die Tiefen des Kosmos selbst „zerstrahlt“, als sinnleer empfunden.

Doch wenn wir in diesem Buch das Ende des dunklen Sternhimmels, das „Ende der Nacht“, thematisieren, so ist der staunende und forschende *Blick des Menschen zu den Sternen* nur ein winzig kleiner Aspekt davon. Ein umfassenderer, die ganze irdische Natur betreffender Aspekt ist die drohende Zerstörung des Phänomens Nacht bzw. der natürlichen Dunkelheit überhaupt. Dies ist das Thema des nächsten Abschnitts.

1.2 Der natürliche Wechsel von Hell und Dunkel

Der Mensch lebt – wie alle Organismen, die wir bis jetzt kennen – in relativer Nähe zu einem nicht wegzudenkenden lichtpendenden Stern, unserer Sonne. [Abbildung 1: Unsere Sonne] Dennoch: Ebenso allgegenwärtig wie die von der Sonne herrührende Helle des Tageslichts ist dessen Abwesenheit: das Dunkel der Nacht. Der immer wiederkehrende Wechsel von

hellem Tag und dunkler Nacht ist einer der grundlegendsten Rhythmen, die das irdische Leben prägen. Der 24-stündige Tag-Nacht-Rhythmus wird daher auch durch ein eigenes, vom lateinischen abgeleitetes Wort bezeichnet, nämlich als „zirkadianer Rythmus“ [1]. Diesen Rhythmus gibt es, seit die Erde rotiert, somit praktisch ebensolange wie unseren Planeten selbst. Als Zeitgeber für biologische Prozesse ist er so lange in Funktion wie es Leben auf der Erde gibt, mithin deutlich länger als drei Milliarden Jahre. Über diesen auch astronomisch langen Zeitraum hinweg hat sich zwar die Dauer der Erdrotation geändert (diese wird langfristig immer größer); doch für jede *einzelne* Generation von Lebewesen kann sie als eine Konstante betrachtet werden.

Von vielen frühen Hochkulturen wurde der Tag-Nacht-Rhythmus als etwas Göttliches, ja vielfach als ein Abbild der Ewigkeit angesehen. So unterschieden etwa die Ägypter zwei Arten von Ewigkeit, eine auf die Gestaltung der Welt bezogene und eine auf die Zeit-Struktur bezogene. Die letztere – mitunter auch *Heh*-Ewigkeit genannt – war durch die Aufeinanderfolge von Tagen und Nächten gegeben, die nicht nur als Naturereignis interpretiert wurde, sondern zugleich als ein beständiger Kampf zwischen göttlichen Mächten. Eine Zerstörung des Tag-Nacht-Rhythmus wäre aus der Perspektive der ägyptischen Religion ein Zurück-sinken der Welt ins Chaos gewesen. Auch im Alten Testament werden Tag und Nacht als Produkte göttlicher Schöpfung dargestellt, und zwar als eine der ersten Schöpfungen des biblischen Gottes. Speziell das Licht des Tages wurde in der jüdisch-christlichen Tradition als ein Abbild Gottes angesehen. Der frühchristliche Philosoph Dionysius Areopagita schrieb im 4. Jahrhundert – beeinflusst vom Neuplatonismus –, das Licht stamme vom Guten. Das strahlende Abbild der göttlichen Güte, die „große, durch und durch lichte, immer flammende Sonne“ gleiche einem Echo des Guten und trachte nach Erleuchtung aller Körper. Das Licht sei Maß und Zahl der Jahreszeiten, es sei das Maß der Tage und all unserer Zeit.

Die unersetzliche Bedeutung des Wechsels von Hell und Dunkel ist aber auch rein naturwissenschaftlich aufweisbar. Aus der Perspektive der Darwinschen Evolutionstheorie lässt sich sagen, dass alle bekannten Luft- und Landlebewesen – zumindest sofern sie diesseits der Polarkreise existieren – seit langem an den zirkadianen Rhythmus angepasst sind. Wie vollkommen diese Anpassung ist, kann man unter anderem dann erkennen, wenn man die Helle des Tages und das Dunkel der Nacht zahlenmäßig ausdrückt und mit dem Seh- bzw. Adaptionsvermögen von Tieren und Menschen vergleicht.

Die physikalische Einheit der Beleuchtungsstärke im sichtbaren Spektralbereich heißt *Lux*, abgeleitet vom lateinischen Wort für Licht. An sonnigen Tagen können sich Werte der Beleuchtungsstärke von über 100.000 Lux einstellen. Für die Wahrnehmung von Beleuchtungsstärken wesentlich über 100.000 Lux ist das menschliche Auge nicht ausgelegt; an der Oberfläche des Planeten Merkur, wo Beleuchtungsstärken von bis zu

800.000 Lux auftreten können, wäre das ständige Tragen von starken Sonnenschutzgläsern unerlässlich. Die indirekte (im Schatten gemessene) Beleuchtungsstärke durch die Sonne überschreitet auf der Erde kaum 10.000 Lux. Zum Vergleich: selbst für Präzisionsarbeiten werden (technisch erzeugte) Beleuchtungsstärken von „nur“ 1.000 bis 4.000 Lux, für gewöhnliche Schreibtischarbeiten gar nur 300 Lux empfohlen. Wo liegen aber die unteren Grenzen der Adaptionsbereiche menschlicher und tierischer Augen? Und wie dunkel wird es natürlicherweise in der Nacht?

Selbst bei hoch am klaren Himmel stehenden Vollmond steigt die *natürliche* nächtliche Beleuchtungsstärke kaum je über 0.25 Lux. Bei mittlerer Höhe des Vollmondes müssen Menschen und nächtlich jagende Tiere, die sich visuell orientieren, mit rund 1/10 Lux, bei *Halbmond* in mittlerer Höhe mit 1/100 Lux auskommen. Tun sie dies? Der Mensch kann sich bei Vollmond einwandfrei, bei Halbmond immer noch relativ gut in einer Landschaft fortbewegen und Hindernisse erkennen, solange seine Augen nicht geblendet werden. Was das Tierreich anlangt, so konnte erstaunlicherweise nachgewiesen werden, dass es Krötenarten wie etwa die Erdkröte (*Bufo bufo*) gibt, die sich noch bei 1/100.000 Lux visuell orientieren und gestützt auf ihren Gesichtssinn Beute fangen können [2]! Das bedeutet, dass diese Kröten gar nicht das Mondlicht, ja nicht einmal das Licht des gesamten Sternhimmels für ihren nächtlichen Beutefang benötigen. Das gesamte Licht aller Sterne, der Milchstraße usw. summiert sich nämlich bei klarem Himmel zu einer Beleuchtungsstärke von immerhin noch rund 1/1000 Lux. Hingegen entsprechen 1/10.000 Lux etwa der Beleuchtungsstärke, die Venus, der hellste aller Planeten, allein erzeugt. Außerdem treten 1/10.000 Lux dann ein, wenn der Sternhimmel durch das Blätterdach eines Waldes verdeckt *und* keine künstliche Beleuchtung vorhanden ist. (In Tabelle 1 sind die oben diskutierten Werte und einige weitere zusammengefasst.)

Es ist schon überaus bemerkenswert, dass die natürliche Helligkeit von einem Zehntausendstel bis zu Hunderttausend Lux schwanken kann und es visuelle Wahrnehmung über diesen gewaltigen Bereich (10 Zehnerpotenzen!) hinweg gibt – wenn auch längst nicht bei allen Lebewesen. Man muss sich klar machen, dass es keine andere von Lebewesen empfindbare physikalische Größe gibt, die auch nur *annähernd* so stark im Tagesrhythmus zu- und abnehmen kann wie die Beleuchtungsstärke. Die für biologische Rhythmen ebenfalls sehr bedeutsame Lufttemperatur zum Beispiel schwankt im Tag-Nacht-Verlauf an einem gegebenen Ort um maximal 10%, wenn man die Kelvin-Skala als Bezugsrahmen festsetzt (und diese Festsetzung ist die einzig sinnvolle, wenn es um den Vergleich mit anderen Grundgrößen geht). Ähnliches gilt für Luftfeuchtigkeit und Luftdruck: auch ihrer Variation sind um Welten engere Grenzen gesetzt als jene der Helligkeit. Abbildung 2 illustriert nochmals die zirkadiane Variation der *natürlichen* Beleuchtungsstärke unter verschiedenen Umständen (mit und ohne Mond, mit und ohne Bewölkung). Zum Vergleich ist dort auch schon das Niveau *künstlicher* Beleuchtungsstärke eingezeichnet, das heutzutage auf stark frequentierten Straßen und Plätzen erreicht wird.

TABELLE 1: Einige natürliche (und zum Vergleich auch künstliche) Beleuchtungsstärken, von sehr großen bis zu extrem kleinen, gerade noch wahrnehmbaren Werten [2, 3]. Vgl. dazu auch Abb. 2

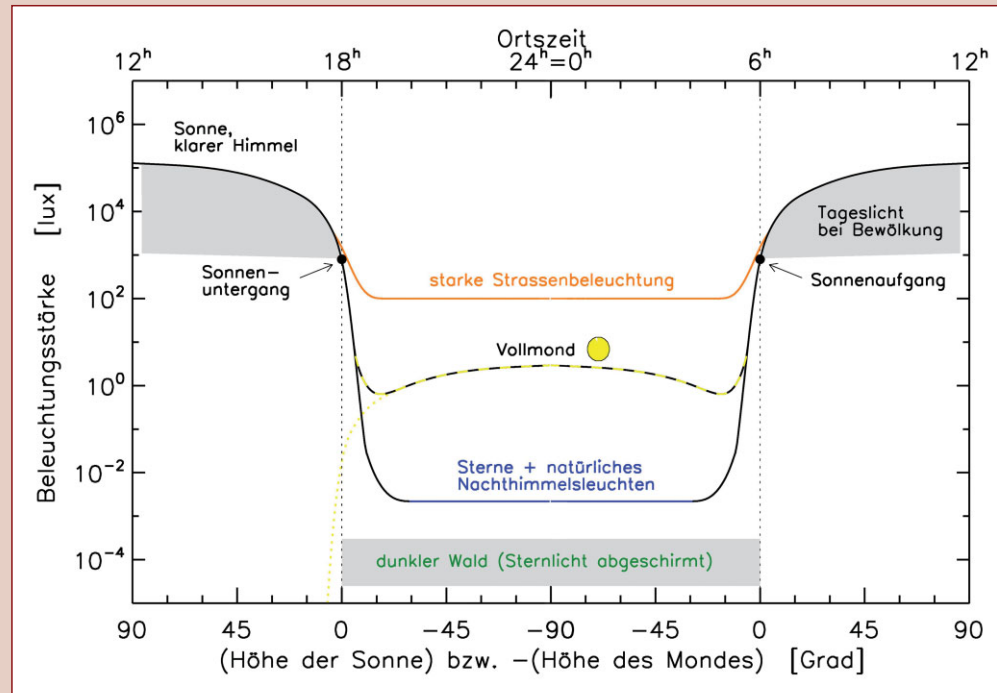
Lichtquelle/Beleuchtungssituation	Beleuchtungsstärke
Sonne (im Zenit, am klaren Himmel)	Bis zu 128.000 lux
Sonne in 20° Höhe	Bis zu 20.000 lux
Tageslicht bei Bewölkung	1.000–10.000 lux
Sonnenuntergang (klarer Himmel)	400 lux
Empfohlene Beleuchtungsstärke eines Schreibtisches	300 lux
Taghimmel vor starkem Gewitter	100 lux
Straßenbeleuchtung bei hoher Verkehrsdichte	Bis zu 100 lux
Sonne 6° unter dem Horizont	3 lux
Vollmond	< 0.25 lux
Halbmond	< 0.025 lux
Klarer Sternhimmel inkl. Milchstraße und natürlichem Nachthimmelsleuchten	< 0.001 lux
Venus in größtem Glanz	0.00017 lux
Bedeckter Nachthimmel	Ca. 0.0001 lux
Sirius	0.00001 lux
Einzelner heller Stern	0.000001 lux

In der Summe ergibt sich: Kaum etwas kann auf Organismen – einschließlich des Menschen – eine so starke *äußere* Zeitgeber-Funktion mit Tagesrhythmik ausüben wie das Licht. Dass es auch *innere* Zeitgeber in Lebewesen gibt, wie etwa die Melatonin-Ausschüttung, widerspricht dem nicht und wird in Kapitel 7 noch ausführlich diskutiert.

Im folgenden Abschnitt wird skizziert, wie der *Homo sapiens* als einzige irdische Gattung im Laufe seiner Geschichte die Nacht immer effektiver zu erhellen lernte, welche Techniken dabei zum Einsatz kamen und wie die künstlich erzeugten Beleuchtungsstärken nach und nach Werte erreichten, die in der Natur vorher nur in der Dämmerung oder tagsüber vorkamen.

ABBILDUNG 2:

Die Variation der Beleuchtungsstärke mit dem zirkadianen Rhythmus. Auf der horizontal verlaufenden Zeitachse ist ganz links und ganz rechts Mittag, in der Mitte hingegen Mitternacht (Ortszeit). Die U-förmige Kurve mit einer Amplitude von 8 Zehnerpotenzen stellt die natürliche Beleuchtungsstärke bei klarem Himmel dar. Ist es tagsüber sehr stark bewölkt und herrscht nachts intensive Beleuchtung, so reduziert sich die Veränderung der Beleuchtungsstärke auf nur 1–2 Zehnerpotenzen. Vergleichsweise sind auch die Verhältnisse bei Vollmond und unter einem dichten Blätterdach dargestellt. (Grafik: Walter Nowotny, Univ. Wien)



1.3 Von den Anfängen künstlicher Beleuchtung zur modernen Belechtungskultur

Die früheste, noch sehr kleinräumige Erhellung der Nacht waren Lagerfeuer. Wann das Feuer vom prähistorischen Menschen „gezähmt“ wurde, ist nicht genau bekannt. Vor etwa 500.000 Jahren scheint es vom Peking-Menschen schon auf kontrollierte Weise zum Einsatz gebracht worden zu sein. Lagerfeuer dienten nicht primär als Lichtspender, sondern vor allem als Kochstellen, Wärmequellen und zum Schutz vor wilden Tieren.

Manche Naturvölker machten sich sogar das nächtliche Leuchten bestimmter Insekten zunutze. So etwa fingen die Bewohner der Antillen Leuchtkäfer und sperrten sie gemäß einigen Reiseberichten in Laternengehäuse [4]. Die Ureinwohner von Java gingen noch einen Schritt weiter: sie steckten phosphoreszierende Insekten in Wachs, das sie in flache Schalen gegossen hatten, um auf diese Weise deren Licht nutzen zu können.

Die ältesten prähistorischen Lampen, die sich erhalten haben, wurden in Südfrankreich gefunden und stammen aus einer etwa 40.000 Jahre zurückliegenden Zeit. Sie bestehen aus ausgehöhlten Steinen (meist aus Kalk- oder Sandstein); chemische Analysen von darin befindlichen Rückständen legen nahe, dass darin Tierfette verbrannt wurden [4]. Die ersten Märkte, auf denen regelmäßig Brennstoff für Lampen – überwiegend Sesamöl – gehandelt wurde, entstanden um 2000 v. Chr. in Babylon. Das babylonische Lampenöl war jedoch sehr

teuer: für den Monatslohn eines Handwerkers waren nur etwa zehn Liter davon zu bekommen [4].

Die japanische Geschichtsschreibung erwähnt für das 7. Jahrhundert n. Chr. Öl für Beleuchtungszwecke unter dem Namen „brennendes Wasser“. Marco Polo wusste im 13. Jahrhundert von Ölquellen am Kaspischen Meer zu berichten, die auch genügend Brennstoff für Laternen lieferten. Öl- und Talglampen von verschiedenster Art waren in der Tat – neben Fackeln und Kerzen – die gebräuchlichsten Quellen künstlichen Lichts in der Antike, im Mittelalter und mindestens bis ins 17. Jahrhundert. Ihre Lichtausbeute blieb allerdings bescheiden; sie erreichte im Falle von Öllampen 0,15 Lumen pro Watt (im Vergleich zu etwa 100 Lumen pro Watt, die heute leicht erreicht werden können).

Wichtiger ist, dass von einer *allgemeinen* öffentlichen Beleuchtung in dieser ganzen, überaus langen Zeit noch nicht die Rede sein kann, auch wenn in einzelnen antiken Städten (wie Antiochia am Orontes) bereits so etwas wie eine Straßenbeleuchtung existiert hat. So kann man im Lexikon des Mittelalters [5] lesen: „Straßenbeleuchtung ist im Mittelalter überwiegend unbekannt. Ansätze dazu finden sich vor allem in italienischen Städten des 14. und 15. Jahrhunderts sowie in Großstädten Westeuropas (London, Paris 15. Jahrhundert). Mitunter wird Straßenbeleuchtung in Not- bzw. Ausnahmesituationen [...] verordnet. Grundsätzlich bedient man sich beim Betreten nächtlicher Straßen jedoch mobiler Lichtträger (Laterne, Fackel), deren Verwendung in zahlreichen Ordnungen vorgeschrieben wird.“ [5] – Sogar noch auf eine spätere Epoche bezogen, stellt Roger Ekirch fest: „Vor dem späten 17. Jahrhundert bestand die einzige künstliche Beleuchtung der meisten Straßen aus dem Licht der Fenster sowie den Handlaternen der Fußgänger.“ [6]

Tatsächlich ist der Einsatz von Öl- und Talglampen als Straßenbeleuchtung in einigen europäischen Städten für das späte 17. Jahrhundert belegt: in Paris seit 1667, in London seit 1668, in Amsterdam seit 1669, in Berlin seit 1679, in Wien seit 1688. [7] Allerdings war die Zahl der Laternen dabei anfangs noch ziemlich klein – in Wien waren es beispielsweise 1688 etwa 2000 Lampen [■]. Wie die damaligen Beleuchtungskörper aussahen, davon vermittelt Abbildung 3 einen Eindruck.

Wegen der relativen Kostspieligkeit, nicht nur der Leuchtmittel, sondern auch der Beleuchtungskörper, wurden für den Fall ihrer Beschädigung hohe Strafen angedroht. So etwa drohten in Berlin im Jahre 1720 bei Zerstörung einer Straßenlaterne zehn Jahre Landesverweisung, in Wien und Graz ging man gar so weit, das Abhacken der Hand anzudrohen, zumindest für den Fall wiederholter Zerstörung von öffentlichen Laternen [8; ■; ■].

Ein zuverlässiges Maß dafür, wie hell (oder aus heutiger Sicht: wie schwach) die Laternen der Straßenbeleuchtung um 1800 und noch bis weit ins 19. Jahrhundert hinein waren, ergibt sich daraus, dass man sie bei Mondschein *nicht* in Betrieb nahm. Dies legt nahe, dass der Mondschein – wenigstens um die Zeit des Vollmonds – gleich hell oder heller war als das vom Menschen damals im Außenraum eingesetzte künstliche Licht. Erinnern wir uns daran, dass der Vollmond bei mittlerer Höhe eine Straße nur mit 0.1 Lux beleuchten kann (vgl. oben Abschnitt 1.2), so ergibt sich, dass auch die Straßenbeleuchtung des frühen 19. Jahrhunderts Werte der Beleuchtungsstärke im *Zehntel-Lux-Bereich* nicht überschritt, also 100–1000mal schwächer (und ungleich kleinräumiger) war als die heutige.

Die nächsten beiden großen Schritte in der Geschichte der künstlichen Beleuchtung waren die Einführung der *Gasbeleuchtung* im ersten Drittel und die Einführung der *elektrischen Beleuchtung* ab dem letzten Drittel des 19. Jahrhunderts. Die gasbetriebene Beleuchtung wurde in London ab 1813, in Paris ab 1818, in Berlin ab 1826, in Wien 1834 eingeführt [4].



ABBILDUNG 3:

Illustrierte Gedenktafel zur Einführung der ersten öffentlichen Straßenbeleuchtung in Wien im Jahr 1688. Noch Anfang des 20. Jahrhunderts waren in Wien über 600 Personen als Laternenanzünder beschäftigt! (Aufnahme: Thomas Posch, Univ. Wien)

In der „Vossischen Zeitung“ vom 21. September 1826 liest man über die neue Illumination zum Beispiel Folgendes: „Gestern abend sahen wir zum ersten Male die schönste Straße der Hauptstadt [...], die Linden, im hellsten Schimmer der Gasbeleuchtung. Eine große Menge Neugieriger war durch dieses Schauspiel herbeigelockt worden und alle davon überrascht [...]. Nicht in dürftigen Flämmchen, sondern in handbreiten Strömen schießt das blendende Licht hervor, das so rein ist, daß man in einer Entfernung von 20–25 Schritten einen Brief recht gut lesen konnte [...] Bald werden auch die anderen Hauptstraßen auf gleiche Weise beleuchtet werden, und Berlin [...] wird auch bei Nacht den Fremden angenehm überraschen“ [9]. Zur Zeit der Gasbeleuchtung war es allerdings noch üblich, diese in der zweiten Nachthälfte abzuschalten. So etwa wurden die Wiener Vorstädte im Jahre 1850 durch 198 sogenannte „halbnächtige“, aber nur durch 84 „ganznächtige“ Gasflammen erhellt. Eine große Zahl von Laternenanzündern war mit dem Entzünden und Auslöschen der Gasflammen beschäftigt: unmittelbar vor dem Ersten Weltkrieg waren es in der Donaumetropole (bei inzwischen 37.000 Laternen) über 600 Mann [■]. In Berlin war die Brennzeit der Laternen bis Mitte des 19. Jahrhunderts auf 1300 Stunden festgesetzt, entsprechend einer Abschaltung zu Mitternacht, in den Sommermonaten (Mai-August) und bei Vollmond; erst 1849 erfolgte eine Beinahe-Verdopplung auf 2400 Brennstunden pro Jahr [9].

Ein entscheidendes Jahr für die Entwicklung der elektrischen Beleuchtung war 1879. In diesem Jahr präsentierte Thomas Alva Edison die erste langlebige Kohlefadenglühlampe, und auch Werner Siemens führte in seinem Haus eine Differential-Kohlebogenlampe vor. Unter „langlebig“ war im Falle der von Edison entwickelten Glühfäden eine Brenndauer von etwa 40 Stunden zu verstehen. Mit der Inbetriebnahme erster Kraftwerke Mitte der 1880er Jahre setzte in Metropolen wie Berlin die Umrüstung auf elektrische Beleuchtung ein. Auch im Zentrum von Wien entstand 1882 eine erste Probebeleuchtung mit elektrischen Bogenlampen; doch erst um die Jahrhundertwende wurden größere Bereiche der Innenstadt definitiv auf elektrische Beleuchtung umgestellt [10]. In Paris entstanden zu dieser Zeit gar utopische Entwürfe für einen Lichtturm („Colonne-Soleil“), der – als Alternative zum Eiffelturm geplant – die Stadt taghell erleuchten sollte [9]. Im 21. Jahrhundert ist der Eiffelturm tatsächlich durch Anbringung eines starken rotierenden Lichtstrahls auch zu einer Art Leuchtturm geworden, allerdings nicht mit dem Ziel, die Stadt taghell zu erleuchten, sondern um das Pariser Wahrzeichen nachts weithin sichtbar zu machen.

Kehren wir zurück in die Zeit um 1900! Die elektrische Beleuchtung hatte damals erst einen sehr kleinen Teil der Welt für sich erobert, wie Walter Hough in seiner *Histoire de l'éclairage* festhielt. Außerdem betrug die Lichtausbeute der damals eingesetzten Leuchtmittel bestenfalls ein Zehntel der heute erreichbaren Werte; die ersten Glühlampen hatten zum Beispiel Wirkungsgrade von wenigen Prozent. Dennoch kam es im Zuge der Weiterentwicklung des elektrischen Lichts erstmals in der Geschichte der Menschheit zu

einer Erhellung der Nacht und des Nachthimmels von *der* Art, dass astronomische Forscher ihre Arbeit signifikant beeinträchtigt sahen. So etwa schrieb der damals führende Beobachter an der Wiener Universitätssternwarte, Johann Palisa – der fast 100 Kleinplaneten unseres Sonnensystems an dem nur vier Kilometer vom Stadtzentrum entfernten Observatorium entdeckt hatte – in der Fachzeitschrift „Astronomische Nachrichten“:

„Hierzu [d.h. zu dem oft ungünstigen Wetter] gesellen sich in Wien die Einflüsse der Großstadt. [...] Diese Übelstände wachsen an Stärke von Jahr zu Jahr. Erst besondere Ereignisse bringen dem Beobachter die Steigerung des Übelstandes zum Bewußtsein. So z. B. wurde in Wien vor dem Weltkriege die Ringstraße mit Bogenlampen beleuchtet. Um Mitternacht wurden die Bogenlampen ausgeschaltet, und sofort konnte ich um 1,5 bis 2 Größenklassen schwächere Sterne sehen.“ [11] Wenn Palisa schreibt, dass nach der mitternächtlichen Abschaltung der elektrischen Bogenlampen um 1.5 bis 2 Größenklassen schwächere Sterne zu sehen gewesen seien, so muss man sich dazu klar machen, dass ein Helligkeitsunterschied von 1.5 astronomischen Größenklassen einem *Faktor 4* entspricht, während ein Helligkeitsunterschied von 2 astronomischen Größenklassen sogar einem *Faktor 6.3* entspricht (da diese „Größenklassen“ ein logarithmisches Maß sind). Palisa sah also nach der mitternächtlichen Abschaltung der Straßenbeleuchtung im mehrere Kilometer entfernten Stadtzentrum vier- bis sechsmal schwächere Sterne. Von den sechsmal schwächeren Sternen gibt es allerdings am Himmel bis zu zehnmal mehr als von den helleren Sternen! Das heißt, Palisa konnte an der aufwändig neu errichteten Wiener Universitätssternwarte infolge der Einführung der elektrischen Beleuchtung „vor dem Weltkriege“ in gewissen Bereichen der Milchstraße zehnmal weniger Sterne sehen als er es gewöhnt war! So ist es nicht erstaunlich, dass er in der schon zitierten Publikation fortfährt: „Nun wird jedermann begreifen, wie sehr die Arbeitsfreudigkeit herabgestimmt wird, wenn er sieht, daß der fünfmal mehr Sternlicht auffangende 27-Zöller [= Teleskop mit 68cm Durchmesser] nicht das zu leisten imstande ist, was der 12-Zöller [= Teleskop mit 30cm Durchmesser] in Heidelberg leistet. *Ich fing an zu glauben, daß meine Sehkraft nachgelassen habe*, aber auch das ist nicht der Fall, denn vergleichende Beobachtungen mit einem jüngeren Kollegen, der auch auf schwache Sterne eingeübt ist, ergaben, daß ich immer noch schwächere Sterne wahrnehmen kann.“ [11]. Palisa leitete daraus sogar ab, es sei an der Zeit, an die Verlegung seiner Sternwarte zu denken. Er nahm damit als einer der ersten Astronomen eine Tendenz vorweg, die erst mehr als 20 Jahre nach seinem Tod in großem Umfang einsetzte: die „Flucht“ astronomischer Observatorien vor der Lichterflut der Städte, von der unten noch die Rede sein wird.

Wie entwickelte sich die künstliche Beleuchtung im Außenraum im 20. Jahrhundert weiter? Der Historiker Joachim Schlör stellt in seinem Buch „Nachts in der großen Stadt“ fest, dass zwischen 1900 und 1930 unter den europäischen Städten ein „regelrechter Wettbewerb um den Ehrentitel ‚Lichtstadt‘“ ausbrach [9]. Während traditionell Paris den Anspruch erhob, die „ville lumière“ Europas zu sein, wollte auch Berlin keineswegs zurückstehen und

beanspruchte ebenfalls den Titel „Lichtstadt“. Eine Gruppe australischer Elektroingenieure, die 1912 Europa besuchte, hielt in ihrem Reisebericht fest, Berlin sei „electrically the most important city“ – im Hinblick auf die Elektrizität die bedeutendste Stadt.

Der Erste Weltkrieg unterbrach kurzzeitig das Wettstreiten um die größte nächtliche Helligkeit. Merkwürdigerweise gab es in der frühen Zwischenkriegszeit auch Autoren (und zwar nicht bloß Astronomen), die dem erzwungenen Innehalten im Lichtbetrieb positive Seiten abgewinnen konnten. „Das allzu helle Licht hatte“ – so schreibt dazu wiederum Schlör – „den Blick auf die nächtliche Stadt eher verstellt als erleichtert; als die Lichter nach dem Ersten Weltkrieg wieder angingen, heller noch als zuvor, gab es viele, die ihre Nacht vermißten“ [9]. Doch die Tendenz zu immer hellerer Straßenbeleuchtung setzte sich in weiterer Folge fort. Berlin feierte Mitte Oktober 1928 die Illuminations-Aktion „Berlin im Licht“. Alle Mittel, die dazu geeignet waren, einen Zusammenhang von Licht und Fortschritt bzw. Modernität zu beweisen, wurden aufgeboten: Lichtreklame, Beleuchtung von Schaufenstern und öffentlichen Gebäuden, Straßen- und Fahrzeugbeleuchtung – kurzum: fast alles, was wir heute an „Lichtwundern“ aus den Metropolen der industrialisierten Welt kennen [9]. Nur wenige reagierten darauf so kritisch wie Max Epstein, der aus diesem Anlass folgende Verse dichtete:

„Kriegskrüppel läßt man auf den Straßen frieren,
Aber man läßt die Straßen illuminieren.
Das ist das schrecklich wahre Gesicht:
Berlin im Licht.“ [12]

Später, zur Zeit des Nationalsozialismus, wurde Licht gar zur Untermauerung und zur breitenwirksamen Inszenierung eines buchstäblich totalitären Machtanspruchs verwendet. „Das Licht läßt sich in den Dienst der Macht stellen, seine Helligkeit blendet“: so kommentiert Schlör eine Aufnahme der hell erleuchteten Prachtstraße Unter den Linden aus dem Jahre 1936. Derselbe Autor nennt die „Eroberung der Nacht“ ein explizites Ziel nationalsozialistischer Politik [13]. Doch es blieb bekanntlich nicht bei Metaphern: Hitlers favorisierter Architekt Albert Speer entwarf für die Nürnberger Reichsparteitage einen „Lichtdom“, wo der Himmel mittels 150 Flakscheinwerfern erhellt wurde, wenn der „Führer“ ans Rednerpult trat. Der Schriftsteller Siegfried Kracauer bemerkte als einer der Ersten, daß diese Licht-Inflation auch zu einer „Vermehrung der Dunkelheit“ führte.

Der nationalsozialistische Lichtwahn blieb jedoch nicht lange im Gedächtnis der Menschen. Eher schon prägten sich die Bombennächte ins allgemeine Bewusstsein ein, und zwar nicht zuletzt als Nächte, in denen alle Lichter gelöscht wurden – als *Verdunklungsnächte* also. Deshalb erschien das nächtliche Wieder-Erstrahlen der Städte sowie die Ausbreitung elektrischer Beleuchtung auch in kleine Städte und Dörfer in der Nachkriegszeit als ein



ABBILDUNG 4:

Die Millionenstadt bei Nacht zu Beginn des 21. Jahrhunderts. Schon 1912 war Berlin von einer Gruppe australischer Elektroingenieure „electrically the most important city“ genannt worden. Auch damals schon war die Prachtstraße Unter den Linden – hier im Bild von links unten nach rechts oben verlaufend – sehr hell beleuchtet. Im Hintergrund ist der Tiergarten als ‚-Insel der Dunkelheit‘ zu erkennen.

(Foto: Erik Krambeck)

Symbol für Wirtschaftsaufschwung und für den Weg in eine bessere Zukunft. Noch heute, im 21. Jahrhundert, ist diese Empfindung verbreitet.

Technisch gesehen waren folgende Faktoren – auf die unten Punkt für Punkt eingegangen wird – für die rasante Erhellung der Nacht entscheidend:

- Steigende Lumen/Watt-Ausbeute (=Lichtausbeute)
- Stark fallende Kosten des künstlichen Lichts
- Stark steigende Anzahl von Laternen
- Mangel an gesetzlichen Bestimmungen gegen exzessiven Gebrauch künstlichen Lichts in den meisten Staaten und Regionen



Wachsende Lichtausbeute:

Die unterschiedlichen Typen von Leuchtmitteln, die im Laufe der Geschichte zum Einsatz kamen, nutzen das zugrundeliegende Energiepotential mit sehr verschiedener Effizienz. Das Maß dafür ist die sogenannte Lumen-pro-Watt-Zahl, die angibt, wie viel Licht pro investierter Energie pro Zeit freigesetzt wird. Öl, Kerzen und Gas ließen nur sehr kleine Lichtausbeuten zu (weniger als ein Lumen pro Watt), während einige Typen elektrischer Beleuchtung Lichtausbeuten über 100 Lumen pro Watt erreichen (vgl. Tabelle 2). Wie William Nordhaus gezeigt hat, wuchs die Lichtausbeute von den babylonischen Öllampen bis ins frühe 19. Jahrhundert nur um 0.04 Prozent pro Jahr; doch dann wurde das Wachstum wesentlich größer: zwischen 1800 und 1992 betrug es im Jahresdurchschnitt 3.6 Prozent.

Natürlich ist wachsende Lichtausbeute nicht unmittelbar mit mehr Lichtemissionen gleichzusetzen, denn theoretisch besteht die Chance, durch sich verbessernde Leuchtmittel-Effizienz eine gleichbleibende Lichtmenge bei ständig sinkendem Stromverbrauch zu

ABBILDUNG 5:

Berlin bei Nacht, aufgenommen 2008 – 80 Jahre nach der im Text beschriebenen Illuminations-Aktion „Berlin im Licht“. (Foto: Anja Freyhoff)

erzeugen. In der Praxis werden jedoch effizientere neue Leuchtmittel im Außenraum meist nicht so eingesetzt, dass die Beleuchtungsstärken gleich bleiben (und dabei der Stromverbrauch drastisch sinkt), sondern es wird bei nur geringfügig reduzierter oder gar gleichbleibender Anschlussleistung *immer mehr Licht von immer effizienteren Leuchten* freigesetzt. Unter dieser Voraussetzung bedeutet wachsende Lichtausbeute meist auch wachsende Erhellung der Nacht und wachsende Lichtverschmutzung.

Die Lichtausbeute kann jedoch nicht beliebig gesteigert, sondern nur bis zu einem physikalischen Maximalwert von 683 Lumen pro Watt gebracht werden. Dieser Wert kann von keiner – weder von einer natürlichen noch von einer künstlichen – Lichtquelle überschritten werden. Darin liegt aus astronomischer und ökologischer Sicht ein gewisser Hoffnungsschimmer.

TABELLE 2: Lichtausbeute verschiedener Lampentypen [14].

Lampentyp und Jahr	Lichtausbeute in Lumen pro Watt
Steinzeitliche Tierfett-Lampe 38000 v.Chr.Geb.	0.015
Babylonische Sesamöl-Lampe um 1750 v.Chr.Geb.	0.06
Kerze um 1800	~0.1
Gasbeleuchtung um 1827	0.13
Kohlefadenglühlampe nach Edison um 1880	2.6
Verbesserte Kohlefadenglühlampe um 1910	6.5
Wolfram-Glühlampe um 1930	12
Kompakt-Leuchtstoffröhre um 1992	70
Leuchtdioden um 2007	Bis zu 100
Natriumdampf-Hochdrucklampe um 2007	Bis zu 120
Natriumdampf-Niederdrucklampe um 2007	Bis zu 200
Obergrenze der Lichtausbeute für tageslichtähnliches künstliches Licht	~225
Physikalische Höchstgrenze der Lichtausbeute	683

Fallende Kosten des künstlichen Lichts:

Noch dramatischer als die Veränderung der Lichtausbeuten gestaltete sich jene der Kosten der künstlichen Beleuchtung. Nordhaus entwickelte ein besonders instruktives Maß für die schier unglaubliche ökonomische Entwertung einer gegebenen Lichtmenge, nämlich die

Zahl der Arbeitsstunden, die ein Individuum aufbringen muss, um diese Lichtmenge finanzieren zu können. Allein im Zeitraum 1883 bis 1992 ergibt dieses Maß eine Deflation des Lichtpreises um das *Sechstausendfache!*

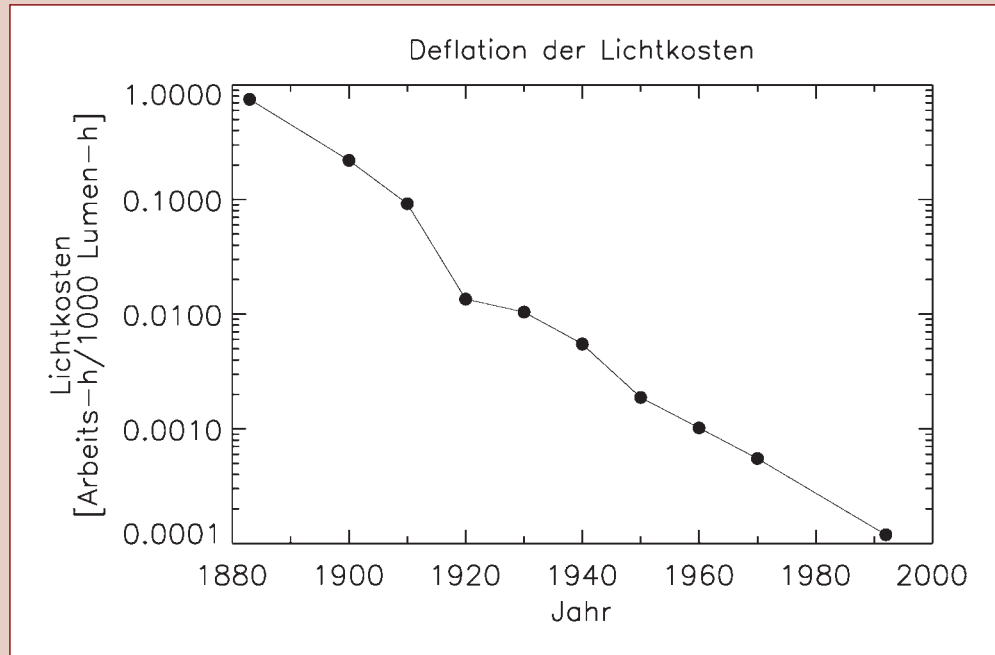
Betrachten wir dazu folgende exemplarische Entwicklung im Bereich der Innenraumbeleuchtung. Eine konventionelle 100 Watt-Glühbirne mit einer Lichtausbeute von 14 Lumen pro Watt setzt einen Lichtstrom (=Lichtmenge pro Raumwinkeleinheit) von etwa 1400 Lumen frei. Den gleichen Lichtstrom setzt eine kompakte Leuchtstoffröhre („Energiesparlampe“) bei 20 Watt Leistung und 70 Lumen pro Watt frei. Betreibt man nun eine solche Lichtquelle jeden Abend drei Stunden lang, so ergibt dies jährlich rund 1100 Betriebsstunden und somit 1.54 Millionen „Lumenstunden“ pro Jahr. Ende des 20. Jahrhunderts musste ein durchschnittlicher US-amerikanischer Arbeiter nur *10 Minuten* lang (pro Jahr!) arbeiten, um sich die Strommenge leisten zu können, die den 1.54 Millionen Lumenstunden – freigesetzt von einer Energiesparlampe – entsprechen. Wieviel Arbeitszeit hätte hingegen ein durchschnittlicher US-amerikanischer Arbeiter im Jahre 1883 investieren müssen, um mittels der damals eben erst erfundenen, noch viel mehr Elektrizität verbrauchenden elektrischen Beleuchtung denselben Lichtstrom über dieselbe Zeit hinweg erhalten zu können? Die überraschende Antwort lautet: *mehr als 1000 Stunden*, also 50 Arbeitswochen – ein ganzes Jahr lang! Mit anderen Worten: 6000-mal länger als zu Ende des 20. Jahrhunderts. Dabei ist natürlich die allgemeine Einkommenssteigerung im Zeitraum von 1883 bis 1992 bereits in Rechnung gestellt [14]; sie ist aber weniger entscheidend als die Fortschritte in der Beleuchtungstechnologie im selben Zeitraum. (Die angeführten Überlegungen zur extrem starken Abnahme des arbeitsbezogenen Lichtpreises gelten auch dann, wenn man berücksichtigt, dass elektrische Beleuchtung um 1883 noch nicht die Standardbeleuchtung war.)

Diese gewaltige Deflation der Lichtkosten (vgl. Abb. 6) hatte entscheidenden Einfluss nicht nur auf die Praxis der (meist privaten) Innenraumbeleuchtung, sondern auch auf die Beleuchtung öffentlicher Straßen und Plätze. Licht wurde, ähnlich wie viele Kunststoffe (Plastik), zu einer so günstigen Ware, dass zu jeglichem Nachdenken über sorgfältigen Umgang damit aus rein *ökonomischen* Gründen in der industrialisierten Welt immer weniger Anlass und Anreiz bestand. Nur durch diese Deflation der Kosten, in Verbindung mit dem allgemeinen Vorurteil „je heller, desto besser“, konnte künstliches Licht im 20. Jahrhundert zu einer Art von allgegenwärtigem *Lichtmüll* werden – in allen Jahrhunderten davor wäre es dazu viel zu kostbar gewesen.

Trotz der Tatsache, das Licht heute nur mehr sehr wenig kostet, kam allerdings eine slowenische Expertengruppe 2007 zu dem Schluss, dass EU-weit jährlich 1.7 Milliarden Euro allein für jenen Teil der öffentlichen Beleuchtung ausgegeben werden, der zu Lichtemissionen in Richtung Weltraum führt.

ABBILDUNG 6:

Zur Entwicklung der arbeitszeitbezogenen Kosten elektrischer Beleuchtung zwischen 1883 und 1992. Die Bedeutung der Einheit „Lumen-Stunden“ wird im Text an einem Beispiel erklärt. (Grafik: Walter Nowotny, Univ. Wien)



Steigende Anzahl von Laternen:

Parallel zu wachsender Lichtausbeute und Deflation des Lichtpreises bzw. durch diese beiden Faktoren maßgeblich unterstützt stieg in allen Städten der industrialisierten Welt die Zahl der für die Außenbeleuchtung eingesetzten Lampen. Abbildung 7 zeigt dieses in der Nachkriegszeit besonders ausgeprägte Anwachsen für die Stadt Wien, deren Beleuchtungsgeschichte über einen sehr langen Zeitraum hinweg dokumentiert ist. Zu beachten ist, dass das parallele Wachstum der Einwohnerzahl im entsprechenden Zeitraum zwar auch groß, aber dennoch bei weitem geringer war. Die wachsende Zahl der Beleuchtungskörper im Außenraum ist vor allem in Stadtrandgebieten, auch durch die Flächenversiegelung mit bedingt. Einkaufs- und Industriezentren, aber auch Wohngebiete, die an die Stelle von vordem unbebautem Land treten, bringen in der Regel auch ein Anwachsen suburbaner Lichtglocken mit sich (vgl. dazu Kap. 2, Abschn. 2.4).

Mangel an gesetzlichen Bestimmungen:

Durch die Kombination von wachsender Lampenzahl und wachsender Lichtausbeute jeder einzelnen Lampe entstand eine noch viel stärkere regelrechte „Explosion“ des Lichtvolumens der großen Städte, als es die auf nur einen ursächlichen Faktor (die Lampenzahl) bezogene Abbildung 7 vermuten ließe. Das ungebremste Wachstum der Lichterflut wurde im 20. und zu Anfang des 21. Jahrhunderts auch dadurch unterstützt, dass es in den meisten Ländern an diesbezüglichen gesetzlichen Regelungen fehlte. So etwa schreibt die maßgebliche europäische Norm EN-13201 für die durch die Straßenbeleuchtung zu

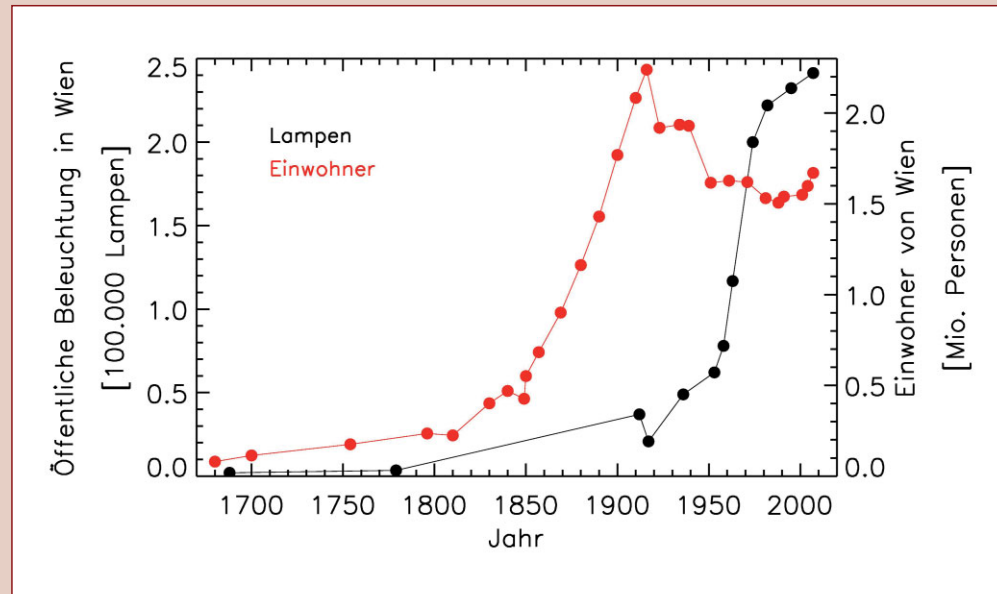


ABBILDUNG 7:

Wachstum der Zahl der für die öffentliche Beleuchtung in Wien eingesetzten Lampen vom 17. Jahrhundert bis heute. Zum Vergleich wird auch die Entwicklung der Einwohnerzahl gezeigt. (Grafik: Walter Nowotny, Univ. Wien)

erzielenden Fahrbahn-Helligkeiten nur *untere* Grenzwerte (Mindestwerte), hingegen keine *oberen* Grenzwerte vor. Nur wenige Staaten – darunter Slowenien – erließen gesetzliche Regelungen zur Eindämmung der Lichterflut.

1.4 Auswirkungen auf den Nachthimmel

Die Summe aller oben angeführten Faktoren bewirkte eine immer stärkere Emission künstlichen Lichts in Richtung Sternenhimmel. Besäße die Erde keine Atmosphäre, so könnte unsere Zivilisation vom Boden aus noch so viel Licht emittieren – der Himmel bliebe dennoch stets dunkel. Da unser Planet jedoch eine dichte Lufthülle besitzt, wird das von Straßen, Plätzen, Fenstern, Fassaden, Lichtreklamen usw. ausgestrahlte Licht in dieser Lufthülle *gestreut* (ähnlich wie das Sonnenlicht bei Tag und in der Dämmerung), sodass der Himmel aufgehellt wird, und zwar umso mehr, je mehr Strahlung nach oben entweicht.

Schon im Jahre 1988 wurde in Arizona die „International Dark Sky Association“ (IDA) gegründet – mit dem Ziel, der energieverwendenden und auch ökologisch bedenklichen Emission von künstlichem Licht nach „oben“ Einhalt zu gebieten. Die IDA plädiert für den Einsatz von Beleuchtungskörpern, die nur nach unten strahlen (sog. „Full-cutoff-Leuchten“), sowie allgemein für einen sorgsamen Umgang mit künstlicher Beleuchtung. Nach über 20-jährigem Bestehen hat die IDA heute weit über 10.000 Unterstützer und konnte in vielen Ländern immerhin das Bewusstsein dafür schärfen, was „Lichtverschmutzung“ bedeutet und wie sie vermieden werden kann.

Dennoch schreitet die Aufhellung des Nachthimmels schier unaufhaltsam fort. Im Jahre 2000 publizierte der Astronom Pierantonio Cinzano eine Studie über die Zunahme der Himmelhelligkeit über der norditalienischen Po-Ebene. Seine Ergebnisse zeigen ein beinahe exponentielles Wachstum der nächtlichen Himmelhelligkeit seit den 1960er Jahren (vgl. Abbildung 8). Cinzano leitete aus seinen Forschungen für Norditalien Wachstumsraten der Himmelsaufhellung von rund *10 Prozent pro Jahr* ab. Dies entspricht einer Verdopplung innerhalb eines Zeitraums von sieben Jahren! Natürlich hängt das genaue Ausmaß der künstlichen Aufhellung des Nachthimmels immer auch von meteorologischen Bedingungen und vom Aerosolgehalt der Luft ab. Cinzanos Ergebnisse beziehen sich aber auf mittlere atmosphärische Bedingungen und gelten insofern unabhängig von kurzzeitigen, durch Wetter und Luftverschmutzung verursachte Schwankungen. In anderen europäischen Ländern geht man von Wachstumsraten der Nachthimmelshelligkeit von mindestens fünf Prozent pro Jahr aus, in Mexiko hingegen von bis zu 15 Prozent in den 1990er Jahren [15]

Im Jahre 2001 wurde von Cinzano auch der erste Atlas zur Aufhellung des Nachthimmels über allen Ländern der Erde veröffentlicht. Als Datengrundlage dienten Satellitenaufnahmen der Erde bei Nacht. Nur schlaglichtartig seien Implikationen dieses Atlas genannt: Für 93% der Bevölkerung der USA und für 90% der Einwohner Europas wird der Himmel nie dunkler als bei einem mindestens 15° hoch stehenden Halbmond; 25% der Weltbevölkerung leben gar unter einem Himmel, der nachts so hell und sternarm ist wie im Falle der sogenannten ‚nautischen Dämmerung‘, d.h. wenn die Sonne nur 6–12° unter dem Horizont steht. In den Niederlanden – einem der am stärksten beleuchteten Staaten der Welt – erleben 85% der Menschen eine Erhellung der Nacht, die jener bei Vollmond entspricht [16].

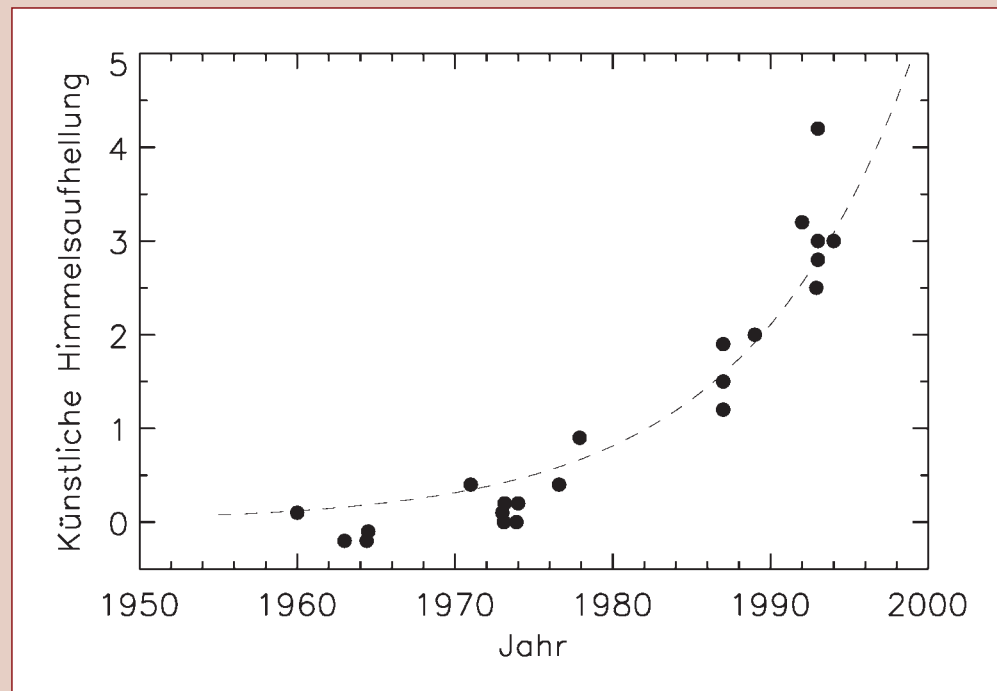


ABBILDUNG 8:

Zur Zunahme der künstlichen Himmelsaufhellung in Norditalien zwischen 1960 und 1995. Die Himmelsaufhellung ist in Einheiten der natürlichen Nachthimmelshelligkeit angegeben. (Grafik Walter Nowotny, Univ. Wien, nach Daten von Pierantonio Cinzano [17])

Die Abbildungen auf den folgenden Seiten zeigen Ausschnitte aus Cinzanos Atlas, und zwar als sogenannte Falschfarbendarstellungen: die unterschiedlichen Farben entsprechen unterschiedlichen Intensitäten der Nachthimmelsaufhellung.

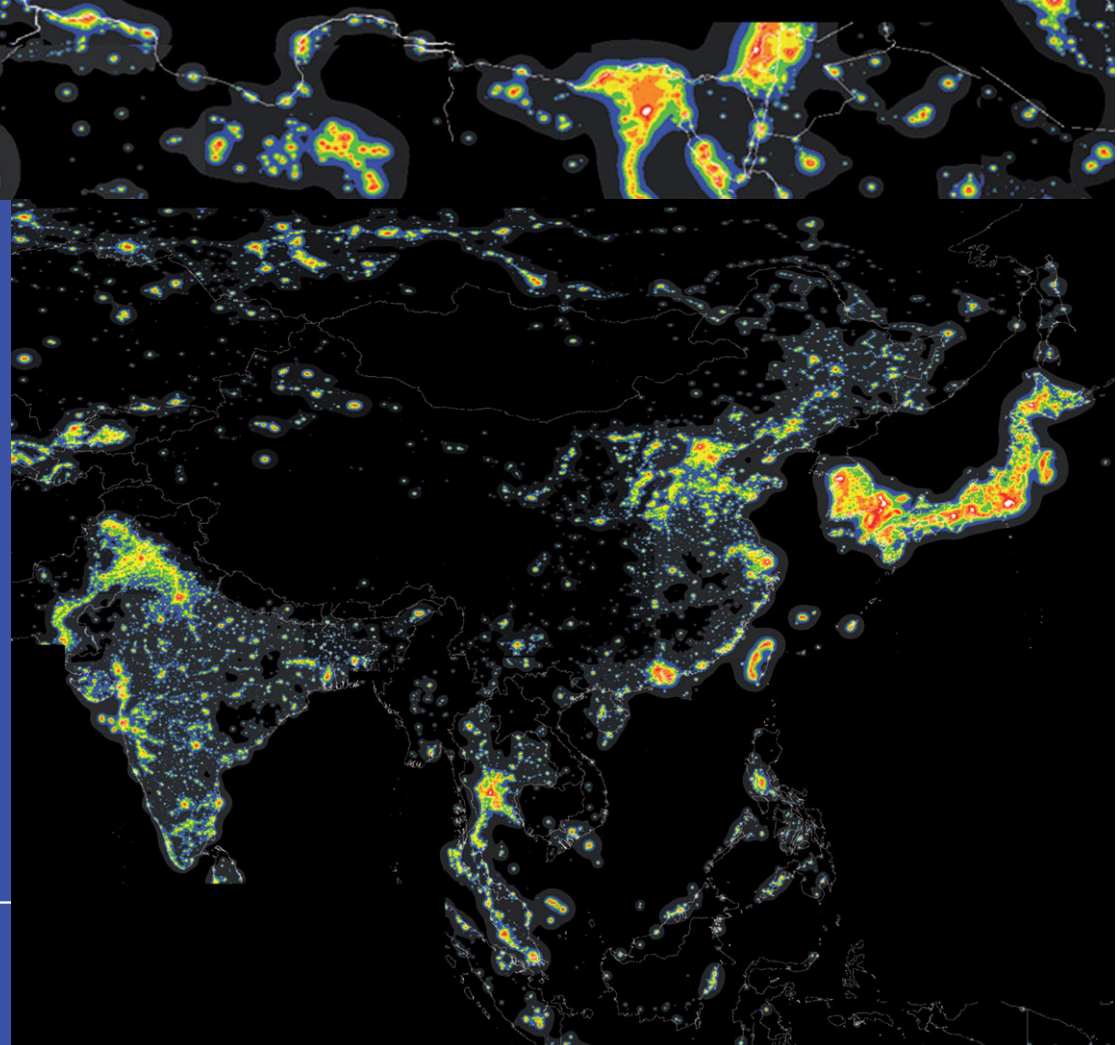
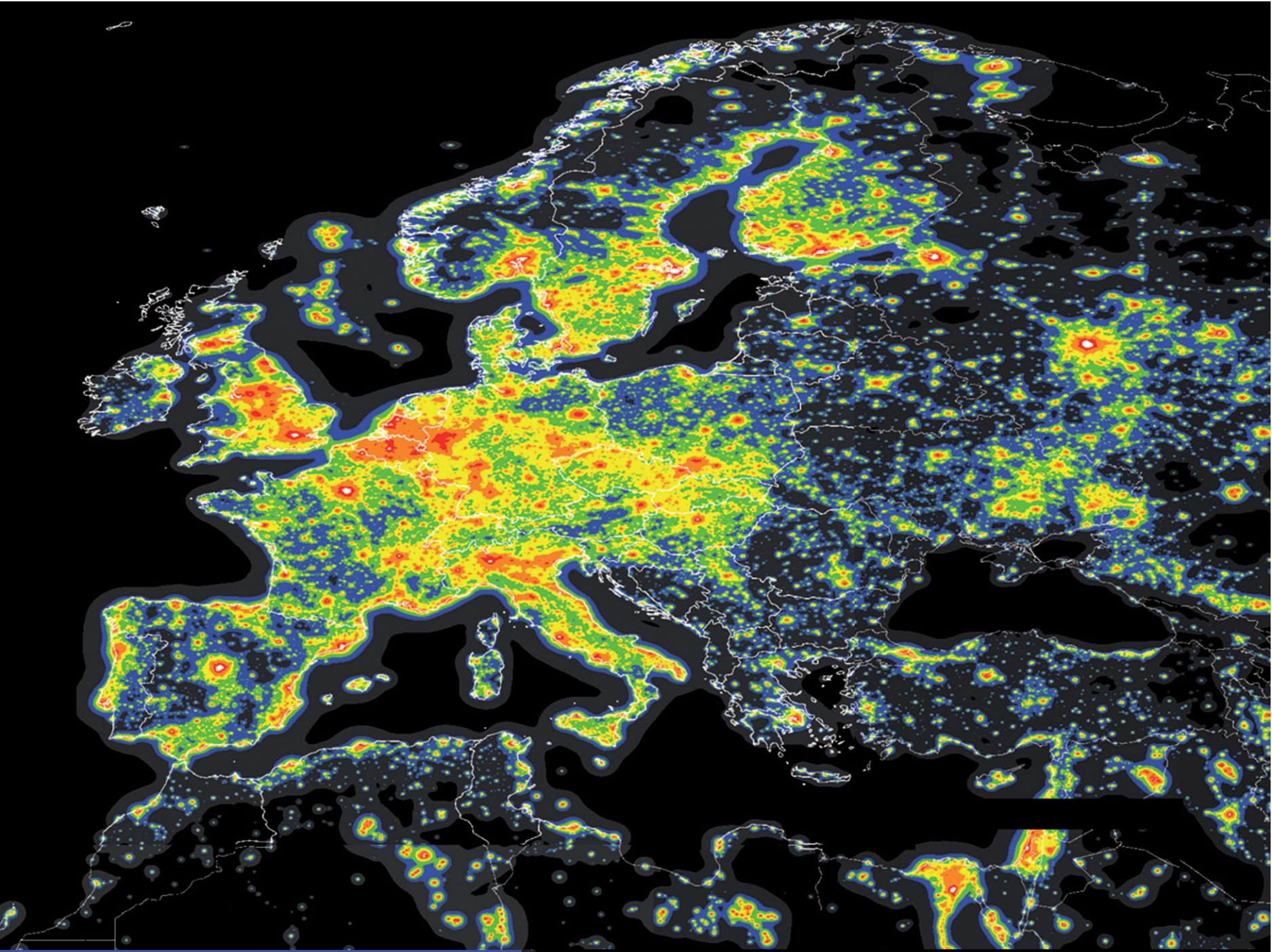
Noch viel besorgniserregender als die auf die Situation zur Jahrtausendwende bezogenen Forschungsergebnisse sind die gleichfalls von Cinzano erstellten Prognosen für die weitere Entwicklung. Wie wird, wenn wir weiterhin ganz ungehemmt und achtlos künstliches Licht in die Nacht und in den Weltraum abstrahlen, der Nachthimmel über unseren Köpfen im Jahre 2025 aussehen? Abbildung 12 gibt eine Antwort auf diese Frage am Beispiel der Vereinigten Staaten von Amerika.

Es zeigt sich: Die Gegenden, in denen weniger als 100 Sterne (statt natürlicherweise 2000–3000) am Nachthimmel zu sehen sind, werden bei Fortsetzung der bisherigen Entwicklung noch weiter an Fläche gewinnen. Die Regionen, in denen man noch das schimmernde Band der Milchstraße sehen kann, werden noch viel weiter zurückgedrängt werden. In all den Regionen, die in den Abbildungen orange, rot, weiß oder hellgrau dargestellt sind, können die Milchstraße sowie die überwiegende Mehrzahl der Sterne nicht mehr gesehen werden. Bei weitem ist dies nicht nur ein Problem derer, die sich am Anblick des Sternhimmels erfreuen: die damit einhergehenden Folgen für die Tierwelt und für die Qualität des Schlafes werden in den übrigen Kapiteln dieses Buches aufgezeigt. Im Folgenden soll jedoch noch genauer darauf eingegangen werden, was die zunehmende Himmelsaufhellung für die astronomische Forschung bedeutet.

1.5 Astronomische Observatorien auf der Flucht vor der Lichterflut

Die zuletzt beschriebene Entwicklung schränkte den Beobachtungsbetrieb in großstadtnahen astronomischen Observatorien in den letzten Jahren und Jahrzehnten immer mehr ein. Es trugen jedoch auch klimatische und topographische Gründe maßgeblich dazu bei, dass die modernen Großsternwarten zunehmend auf Berggipfeln oder Hochplateaus fernab der menschlichen Zivilisation errichtet wurden. Denn nur dort, wo man mindestens 200–300 klare Nächte pro Jahr erwarten und den Großteil der tiefliegenden feuchten Luftschichten unter sich lassen kann, ist es sinnvoll, die extrem aufwändigen und kostspieligen Teleskope aufzustellen, welche die astronomische Forschung seit dem Zweiten Weltkrieg prägen.

Die Instrumente traditionsreicher Sternwarten wie Greenwich bei London, Observatoire de Paris, später auch der 5m-Spiegel auf Mount Palomar in den Bergen südöstlich von Los



ABBILDUNGEN 9–11:

Zur Himmelsaufhellung über verschiedenen Erdteilen.

(Quelle: © 2001 P. Cinzano, F. Falchi, C.D. Elvidge [17])

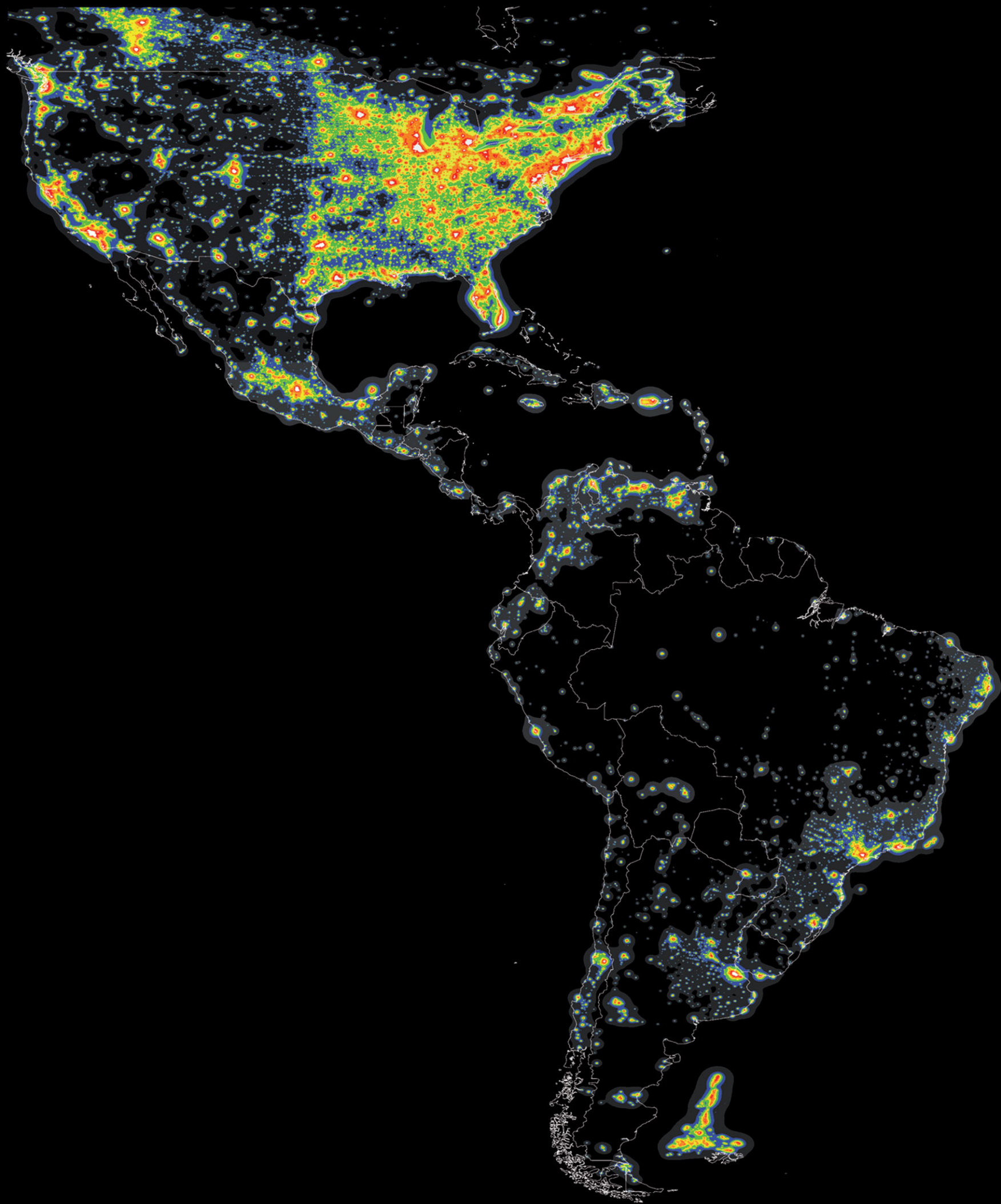
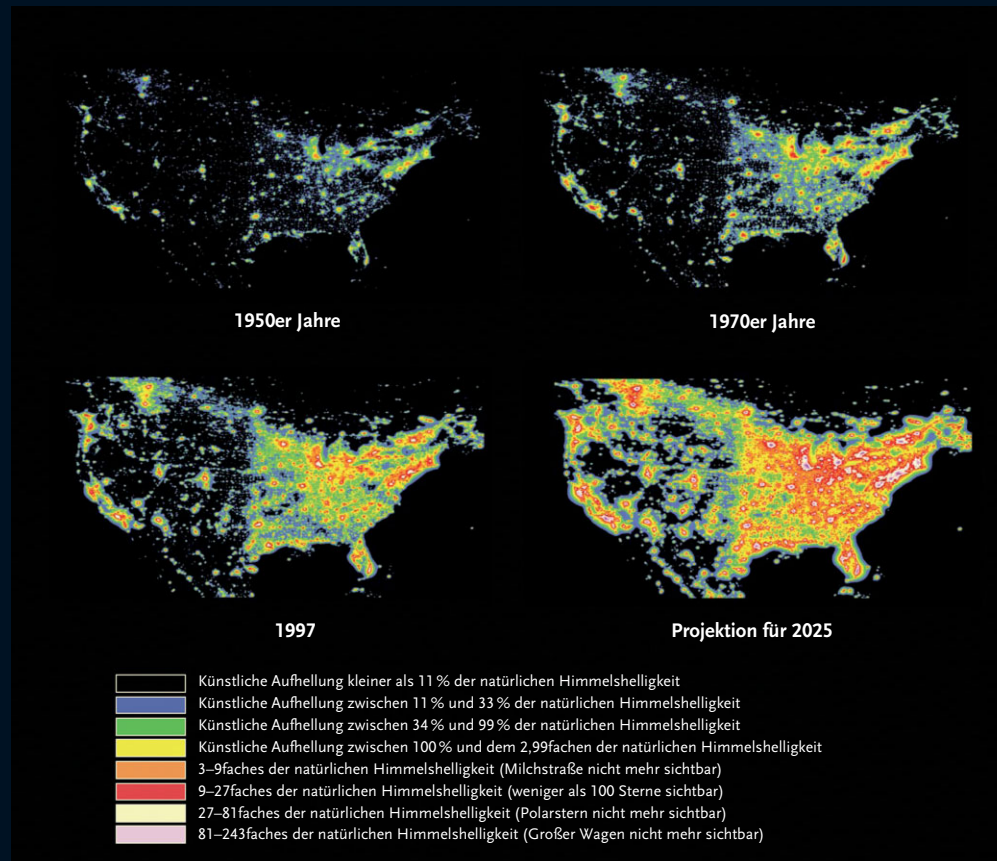


ABBILDUNG 12:

Himmelsaufhellung über den USA. Man beachte vor allem die Bedeutung der Farben orange, rot, weiß und zartrosa (Quelle: <http://www.light-pollution.it/> © 2001 P. Cinzano, F. Falchi, C.D. Elvidge)



Angeles wurden durch die stetig anwachsende Lichterflut massiv entwertet. Auch Observatorien, die auf hohen Bergen fernab von Millionenstädten errichtet wurden, bedürfen heute des Schutzes vor Lichtverschmutzung in Form von gesetzlichen Bestimmungen. Die Aufhellung des Nachthimmels durch die Zivilisation ist nämlich ein Phänomen mit enormer Fernwirkung. Die Lichtglocken großer Städte hellen den Himmel – mindestens im Horizontbereich – auch noch in Dutzenden, mitunter sogar in Hunderten Kilometern Entfernung auf. Um diese Beeinträchtigung astrophysikalischer Forschungen zu verhindern, wird die Helligkeit des Himmelshintergrundes zum Beispiel am Observatorio del Teide – Teil des renommierten Astrophysikalischen Instituts der Kanarischen Inseln – regelmäßig gemessen. Mit Photometern messen Wissenschaftler die Intensität des Lichts, das von den Küstenstädten der Kanarischen Inseln nach oben abgestrahlt wird. Zu helle Lichtquellen werden zudem vor Ort untersucht und durch solche ersetzt, die weniger Lichtemissionen Richtung Sternhimmel bewirken. Dies ermöglicht ein Gesetz, das seit 1988 den Nachthimmel über den Kanarischen Inseln unter Schutz stellt (siehe Kasten 1). Eine ähnliche Situation hat sich in Chile im Umfeld der Großteleskope der Europäischen Südsternwarte eingestellt. Die Berge La Silla und Paranal, auf denen diese Großteleskope stehen, liegen zwar ohnehin weit entfernt von großen Städten. Doch durch die extreme Fernwirkung der Lichtverschmutzung und durch deren besorgniserregende Wachstumsraten erweist es sich als nötig, auch in chilenischen Städten Regelungen zum Schutz des Nachthimmels zu erlassen. Außerdem ist die Entwicklung der Nachthimmelshelligkeit

inzwischen zum Gegenstand zahlreicher Fachpublikationen geworden und geht entscheidend in die Auswahl der Standorte gegenwärtiger und zukünftiger Großteleskope ein. Schließlich kostet eine einzige Beobachtungsnacht an einem Teleskop mit 8 Metern Spiegeldurchmesser heute etwa 120.000 Euro – und wer könnte es rechtfertigen, dass das so kostbare Licht der Galaxien, das vielfach Millionen bis Milliarden Jahre bis zur Erde unterwegs war, auf den letzten Kilometern durch achtlos erzeugten irdischen „Lichtmüll“ in seinem Informationsgehalt beeinträchtigt wird?

Nur selten erledigt sich das Problem des von unten nach oben strahlenden Lichts auf eine so einfache (und zugleich ästhetisch reizvolle) Weise wie in Abbildung 13 gezeigt: durch eine Wolkendecke, die leuchtende Städte unter sich verbirgt. Damit dies der Fall sein kann, müssen spezielle meteorologische Bedingungen eintreten, auf die nur die wenigsten Observatorien hoffen können.

Bislang ist kein Fall bekanntgeworden, wo infolge der Reglementierung der nächtlichen Außenbeleuchtung für astronomische Forschungsinteressen negative Folgen wie etwa mehr Einbrüche, mehr Verkehrsunfälle oder auch nur geringere subjektive Zufriedenheit der Anwohner eingetreten wären. Dies ist auch nicht erstaunlich, denn die Annahme, wonach mehr – etwa gar: unkontrolliert abgestrahltes – Licht mehr Sicherheit und Wohlbefinden bringe, ist ohnehin unter Fachleuten höchst umstritten.

1.6 Zukunftsperspektiven

„Wo Licht totalitär wird wie in den Metropolen der Moderne, da herrscht in der Tat Lichtverschmutzung“: dieser Satz stand 2002 in der Hamburger Wochenzeitung *Die Zeit* zu lesen. Er wurde nicht etwa von einem Astronomen oder einem Umweltaktivisten geschrieben, sondern von einem Philosophen – Ludger Lütkehaus, der selbigen Orts auch die These aufstellte, es gebe ein Menschenrecht auf Dunkelheit wie auf Stille.

Bezüglich der Stille hat sich diese Erkenntnis längst durchgesetzt: die Abwesenheit von Lärm ist zum Beispiel auf dem heutigen Wohnungsmarkt ein fest etabliertes Qualitätskriterium. Bezüglich der Dunkelheit sieht die Sache noch ganz anders aus. Tief ist in uns allen die Angst vor der Abwesenheit des Lichts verankert. Ein italienisches Sprichwort sagt: „In der Nacht ist jede Katze ein Leopard“. Dies drückt sehr anschaulich das allgemeine Empfinden aus, wonach Dunkelheit gefährlich, ja, vielleicht gar das Element des Bösen sei. Dass dem Menschen auch durch ein *Zuviel* an Licht Gefahren drohen können, ist eine relativ neue Erkenntnis. Noch in den 1980er Jahren gingen amerikanische Forscher davon aus, dass sehr hohe Beleuchtungsstärken (etwa 2500 Lux) notwendig wären, um die Hormonproduktion



ABBILDUNG 13:

Blick vom 4200 Meter hohen Vulkangipfel des Mauna Kea auf Hawaii über eine Wolkenschicht zum Sternhimmel und zur aufgehenden Milchstraße. In der linken Bildhälfte erkennt man rötliche Nebel, Sterne und Staubwolken rings um das Zentrum unserer Milchstraße. Die Stadtbeleuchtung von Hilo erzeugt ein gelbliches Leuchten in den Wolken. Ohne die Wolkendecke würde der Lichtkegel dieser Stadt den Himmel merklich aufhellen. Ganz rechts im Bild die Kuppel des Gemini North Teleskops. (Quelle: Wally Pacholka/Astro-Pics.com)

Javier Diaz Castro, „Lichtinspektor“ auf Teneriffa

Die Kanarischen Inseln bieten – neben Hawaii und den chilenischen Anden – ideale Standorte für moderne Hochleistungs-Observatorien: klare Luft, keine Großstädte in weitem Umkreis. Je dunkler die Umgebung, desto besser sind die Sterne zu erkennen. Sternwarten mit langer Tradition müssen weltweit ihren Beobachtungsbetrieb einschränken. Paris, Berlin, Rom und Wien sind nachts nicht mehr dunkel genug. Die Lichterflut jener Städte beeinträchtigt die wissenschaftliche Arbeit. Anders ist es auf der Sternwarte auf dem Pico del Teide, einem 3200 Meter hohen Gipfel im Zentrum der Atlantikinsel Teneriffa. Hier stehen den Astronomen neun Hochleistungsteleskope zur Verfügung. Sie kommen Wissenschaftlern aus Europa und der ganzen Welt zugute, parallel zu den Fernrohren auf der Nachbarinsel La Palma. Javier Diaz Castro, ein Mitarbeiter des Instituto Astrofisico de las Canarias (IAC), erzählt:

„Als ich klein war, zeigte mir mein Vater die Sterne. Heute geht das kaum noch. Und deshalb ist es gut, dass man auf Teneriffa Licht immer vernünftiger einsetzt. Wenn ich mit meinen Kindern auf das Dach steigen und ihnen die Sterne zeigen kann – dann ist das fantastisch!“

Nur bei völliger Dunkelheit kann in den Observatorien gearbeitet werden. Javier Diaz Castro sorgt dafür, dass Licht-Exzesse auf Teneriffa ausbleiben. Er ist Leiter der Abteilung für Emissionsschutz des IAC. Seit 1988 wird der Nachthimmel über den Kanaren per Gesetz geschützt. Mit einem Photometer messen die Inspektoren im Auftrag des Observatorio del Teide das störende Kunstlicht, das vom Boden in den Himmel strahlt. Zu helle und auffällige Lichtpunkte werden vor Ort untersucht. Diaz Castro:

„Das Problem bei manchen Lampen liegt vor allem in ihrem Farbspektrum. Licht mit starkem Blauanteil erzeugt einen viel stärkeren Widerschein am Himmel als Licht mit überwiegendem Gelbanteil. Durch Blau wird der Himmel hell – man kann die Sterne nicht mehr sehen. Es gibt sehr wohl Leuchten, die mit ihrem gelblichen Licht nur wenig zur Lichtverschmutzung beitragen. Im günstigsten Fall haben sie außerdem Reflektoren, die das Licht auf den Boden richten. Nur dort wird es gebraucht – nicht am Himmel.“

Die Himmelsbeobachtung hat Tradition in der klaren Gebirgsluft. Dank der Lichtinspektoren hat Teneriffa – obwohl auch touristisch intensiv genutzt – die Chance, seinen dunklen Himmel auch künftig zu bewahren. Ein regelmäßiger Nutzer der Großteleskope der Kanaren meint dazu:

„Die Arbeit der Kollegen ist enorm wichtig. Jede Art von künstlichem Licht erschwert unsere Beobachtungen. In Gegenden, in denen jeder beleuchten darf, was und wie er will, kann man kaum noch Sterne sehen. Hier hingegen können wir unzählige Himmelskörper sogar mit bloßem Auge und ohne Vergrößerung beobachten. Mit den Teleskopen des Observatoriums erkennen wir sogar die extrem schwachen Objekte, die Milliarden von Lichtjahren von uns entfernt sind. Wir wollen einfach nicht, dass ihr Licht, das uns so viel über den Anfang des Universums verrät, auf den letzten paar Kilometern ausgebremst, das heißt durch künstliche Lichtquellen überstrahlt wird.“

im Organismus signifikant zu beeinflussen. Heute weiß man, dass mit Sicherheit bei vielen Tieren, höchstwahrscheinlich aber auch beim Menschen, schon geringe Beleuchtungsstärken (wenige Lux) genügen, um den Tag-Nacht-Rhythmus empfindlich zu stören.

Als vor über 125 Jahren damit begonnen wurde, die großen Städte Europas mit elektrischer Beleuchtung auszustatten, feierte man dies als große kulturelle Errungenschaft. Die Dunkelheit trat ihren Rückzug an. Heute sind wir an dem Punkt angelangt, dass der durchschnittliche Europäer in der Regel weiter reisen muss, um eine dunkle Nachtlandschaft und die Pracht des Sternhimmels zu erleben, als um sauberes Wasser aus einer Quelle zu trinken. Sauberes Quellwasser ist nämlich transportierbar, der Sternhimmel hingegen nicht. Die Lichtkuppel von Las Vegas sieht man in den umliegenden dunklen Wüstengebieten mehrere Hundert Kilometer weit.

Haben wir nun wenigstens mit der nächtlichen Dunkelheit die Kriminalität aus unseren Städten vertrieben, wie dies eine Werbegrafik schon zu Anfang des 20. Jahrhunderts suggerierte? Wohl kaum. Studien aus Großbritannien zeigen vielmehr, dass es keinen verallgemeinerten Zusammenhang zwischen Beleuchtungsintensität und Verbrechensrate gibt. [■] Nicht selten erleichtert Beleuchtung sogar Einbrüche und Vandalismus-Delikte.

Betrachtet man das Licht – sowohl das natürliche Tageslicht wie auch die künstliche Beleuchtung – aus kulturhistorischer Perspektive, so kann man von einem Prozess fortschreitender ‚Entzauberung‘ sprechen. Bevor die Menschen künstliches Licht überhaupt in kontrollierter Weise einzusetzen vermochten, war, wie eingangs gesagt, die Verehrung vor allem des Sonnenlichts als eines gleichsam göttlichen Phänomens weit verbreitet. Die Dunkelheit war vorwiegend mit negativen Assoziationen besetzt, bis hin zur Dämonisierung der Dunkelheit als einem Sinnbild des Bösen. Mit dem Siegeszug der elektrischen Beleuchtung ging eine Erschließung – bis hin zur *Eroberung* – der Nacht durch unsere Zivilisation einher. Licht wurde zu etwas *Steuerbarem*, zugleich aber auch zu etwas *Steuerndem*: durch die Präsenz des Lichts wurde in vormals nicht nutzbaren nächtlichen Zeiträumen Arbeit, Verkehr, Geselligkeit und Konsum möglich. So ist es bis heute geblieben, und nach diesem Muster expandiert die Zivilisation immer weiter in die Nacht hinein: der Möglichkeit nach bis hin zu deren gänzlicher Zerstörung. Diese wird auch dadurch unterstützt, dass künstliches Licht durch die Fortschritte der Beleuchtungstechnologie (Effizienzsteigerung) zu einer vergleichsweise billigen Ware und somit zu einem Wegwerfprodukt, einer Art Müll geworden ist – Müll ohne Chance auf Wiederverwertung.

Vermutlich stehen wir derzeit an der Schwelle zu einer neuen Phase der Beziehung zwischen Mensch und künstlichem Licht: Der Versuch, durch Licht die Nacht zu erobern (und dadurch nur Vorteile haben zu wollen) *stößt an seine Grenzen*, und die Natur – die menschli-

che wie die tierische und pflanzliche – gibt uns dies auch immer stärker zu verstehen, wie auf den folgenden Seiten noch deutlicher werden wird.

Lütkehaus' Wendung: „wo Licht totalitär wird“ lässt viele mögliche Fortsetzungen zu. Eine davon ist: „da ist das Ende der Nacht für immer erreicht“. Eine andere aber ist: „da wird sorgsamer Umgang mit Beleuchtung zu einem Imperativ“. Für welche Variante wir uns entscheiden, wird vermutlich noch dieses Jahrhundert deutlich zeigen.

Zitierte Literatur:

- [1] Peter Spörk, *Das Uhrwerk der Natur*, Reinbek 2004
- [2] Bryant W. Buchanan, *Observed and Potential Effects of Artificial Night Lighting on Anuran Amphibians*, in: Rich/Longcore, *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Washington 2006, S. 192–220
- [3] Catherine Rich und Travis Longcore, *Introduction*, in: Rich/Longcore, *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*, Washington 2006, S. 1–13
- [4] *Encyclopaedia Britannica*, 14. Auflage, Chicago 1970, Artikel „Lighting“
- [5] *Lexikon des Mittelalters*, München 1980, Artikel „Beleuchtung“, Bd. 1, Sp. 1839
- [6] Roger Ekirch, *In der Stunde der Nacht*, Bergisch Gladbach 2006
- [7] Sylvia Mader: *Wieviel Licht braucht der Mensch? Ein Blick in die Beleuchtungskultur der Vergangenheit*. In: *Die Helle Not*. Hg. Tiroler Landesumweltschutzbehörde. 2. Aufl., Innsbruck u. Wien 2003.
- [8] Fritz Popelka, *Geschichte der Stadt Graz*, 2. Band, Graz 1935.
- [9] Joachim Schlör, *Nachts in der großen Stadt*. Paris, Berlin, London 1840 bis 1930. München 1994
- [10] Maria Curter, „Und es ward Licht“, In: „*Neues Deutschland*“, 28.2./1.3.2009, S. 17
- [11] Johann Palisa, *Beobachtungen am 27-zölligen Refraktor*, *Astronomische Nachrichten*, Bd. 222 (1924), S.161–172
- [12] Max Epstein: *Berlin im Licht*. In: *Weltbrille* 7, 1928. Zitiert nach Schlör, S. 71
- [13] Ulrich Land: *Am Rande der High-Light-Gesellschaft*. *Lichtbilder von einer Reise in die Dunkelheit*. In *Geblendete Welt*. *Der Verlust der Dunkelheit in der High-Light-Gesellschaft*. Verlag Evangelischer Presseverband für Baden, Karlsruhe 1997
- [14] William D. Nordhaus, *Do Real-Output and Real-Wage Measures Capture Reality? The History of Lighting Suggests Not*. In: *The Economics of New Goods*, hg. Von T.F. Bresnahan und R.F. Gordon, Chicago und London 1997, S. 29–70
- [15] Narisada/Schreuder (Hg.), *Light Pollution Handbook*, Dordrecht 2004, S. 133
- [16] *Light Pollution Handbook*, S. 126
- [17] Pierantonio Cinzano, *The growth of light pollution in North-Eastern Italy from 1960 to 1995*, *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 2000, Vol. 71, S. 159–165
- [17] Pierantonio Cinzano et al., *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2001, Vol. 328, 689–707
- *Geschichte der öffentlichen Beleuchtung in Wien*: <http://www.wien.gv.at/licht/gesch.htm>
- Walter Hough: *Histoire de l'éclairage*. Extrait des *Comptes-Rendus du Congrès International d'Anthropologie et d'Archéologie préhistoriques*. XII^e Session, Paris 1900.
- P. Kenneth Seidelmann (Hg.), *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, University Science Books, Mill Valley 1992
- Kohei Narisada/Duco Schreuder (Hg.), *Light Pollution Handbook*, Dordrecht 2004
- Ludger Lütkehaus: *Der Ethikrat – Philosophische Hilfestellungen (78. Folge)*. *Diesmal für: Jan Hollan, Astronom, Verdunkler*. In: *Die Zeit*, 18. Dezember 2002, S. 52

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch die Unterstützung des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung (BMWF) in Wien ermöglicht.

Internet:

<http://www.wien.gv.at/licht/gesch.htm>

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