



„Unserer Zeit leuchtet die daseinsbejahende Sonne der Technik. Wir wollen viel Licht und bestes Licht.“ [21]

EINE KURZE GESCHICHTE DES LICHTS

von Thomas Posch

ABBILDUNG 1.1:

Das sogenannte „Hubble eXtreme Deep Field“, auf dem einige der fernsten Galaxien zu sehen sind, die wir bislang kennen. Über zwei Millionen Sekunden Belichtungszeit flossen insgesamt in dieses Bild ein.

Mit dem Universum verbinden uns fast nur Licht und andere lichtschnelle Wellen und Teilchen. Diese haben außer „sichtbares Licht“ verschiedenste Namen: Wärmestrahlung, Radiowellen, Röntgenstrahlung, Gamma-Teilchen sowie – zusätzlich zu den elektromagnetischen Wellen – Neutrinos. Die Astronomie, die Wissenschaft vom Universum, ist in der merkwürdigen Lage, mit ihrem Forschungsgegenstand nicht „hantieren“ zu können. Das Universum außerhalb der Erdatmosphäre lässt sich – mit ganz wenigen Ausnahmen – nicht riechen und nicht schmecken (wie viele chemische Substanzen), nicht auf Spaltbarkeit und Härte prüfen (wie Kristalle), nicht berühren und zumeist auf keinerlei Art im Labor untersuchen.

Die menschliche Zivilisation – und damit sind wir beim Thema dieses Buches – ist allerdings gerade jetzt dabei, die nächtliche Dunkelheit, somit eine wesentliche Bedingung dafür, dass wir die Strahlung aus den Weiten des Universums auf der Erde sehen und detektieren können, zu zerstören. Der folgende Abschnitt handelt davon, wie sich dies aus der Perspektive eines kosmischen Photons darstellen mag. Der Rest des vorliegenden Kapitels wird aufzeigen, wie es – in technikgeschichtlicher Hinsicht – zur Zerstörung der Nacht kommen konnte.



1.1 Reise eines Photons durchs Universum

Versetzen wir uns in ein Lichtteilchen (ein Photon). Stellen wir uns konkreter ein solches Photon vor, das von einem Stern in einer extrem weit entfernten Galaxie vor mehr als 10 Milliarden Jahren ausgestrahlt wurde (vgl. Abb. 1.1). Doch damit nicht genug! Begeben wir uns in die Perspektive eines Photons, das vom allerersten Stern ausgestrahlt wurde.

Auch dieses Photon hat keine andere Wahl, als mit Lichtgeschwindigkeit und auf dem „kürzest möglichen Weg“ durch das Weltall zu reisen – fünf Millionen Mal schneller als mit einem Schnellzug. Eine faszinierende, aber doch auch ungemütliche Sache: mit der größtmöglichen Geschwindigkeit durch die größtmögliche Leere und (zumeist) durch die Dunkelheit zu reisen – als das erste Sternlicht. Also, auf die Reise!

Ein Jahr vergeht. Das Photon hat eine Strecke zurückgelegt, die 63.240-mal so groß ist wie der Abstand Erde-Sonne. Rund 10 Billionen Kilometer. Es reist weiter durch das kalte Weltall; es reist unermüdlich, und es hat ein Ziel: den Planeten Erde. Wir setzen ja den unwahrscheinlichen Fall, dass das Photon, das mehr als 10 Milliarden Jahre alte erste Sternlicht, ausgerechnet in Richtung Erde unterwegs ist – genauer gesagt: in Richtung auf die zukünftige Erde. Denn als das Photon ausgesandt wurde, war die Erde noch lange nicht entstanden.

Nun ist es so weit: unser Photon hat die Hälfte, sogar etwas mehr als die Hälfte seiner Weltallreise zurückgelegt. Fünf Milliarden Jahre sind vergangen. Zwar nicht für es selbst – denn für ein Lichtteilchen vergeht keine Zeit – aber sehr wohl im Zeitsystem der Galaxie, auf die es zusteuert.

Das Photon reist weiter. Es durchquert eine Galaxie, die auf seinem Weg liegt – kein Problem: denn nur ein Wasserstoffatom pro Kubikzentimeter liegt nun auf seinem Weg. Weit weniger als in jedem Laborvakuum. Das Photon reist selbst innerhalb einer Galaxie durch Hochvakuum; erst recht gilt dies im intergalaktischen Raum.

Inzwischen ist endlich die Erde entstanden. Und schon gleichzeitig mit ihr unser Thema: Tag und Nacht. Das Photon nimmt sich ein genaues Zeit-Management für den Rest seiner Reise vor, denn es will ja die *Nachtseite* der Erde erreichen, d.h. die Erde an einem Ort und zu einer Zeit, wo es gerade Nacht ist, wo möglichst eine Sternwarte, ein Teleskop, ein Detektor, auf es wartet – denn nur dann kann es die Funktion erfüllen, Botschafter jener Welt zu sein, der es entstammt.

Nun – endlich – ist es gelungen! Das Photon hat das Sonnensystem, in dem die Erde, nunmehr von Menschen bevölkert, ihr Dasein fristet, erreicht. Es befindet sich schon

innerhalb der Saturnbahn. Jetzt innerhalb der Jupiterbahn! Asteroiden rasen scheinbar an dem Lichtpartikelchen vorüber – nun ist die Marsbahn überschritten, nun nur noch wenige Minuten Reisezeit bis zur Erde.

Das Photon „sieht“ nun erstmals den Blauen Planeten am immer noch schwarzen Himmel. Da das Reise-Timing perfekt war, sieht es aber eigentlich nichts Blaues am Blauen Planeten, sondern zunächst nur seine Nachtseite, am Rande von einem dämmrigen Schimmer erhellt. Dies war ja das Ziel: die Nachtseite der Erde! Dieses herrliche Samtschwarz! Gerne würde das Photon die Reise nun verlangsamen. Ein wenig beginnt es schon die sanft bremsende Wirkung der Erdatmosphäre zu spüren. Doch nun geht alles sehr schnell. Die Durchquerung der Lufthülle der Erde vollzieht sich in einer Zehntausendstel Sekunde. Nach mehr als 10 Milliarden Jahren Reisezeit.

Aber, aber – was ist nun das? Das samtene Schwarz der Nachtseite der Erde weicht plötzlich – es fehlen die Worte – weicht einem Lichternebel, einer Lichterflut, einer Lichtlawine. Es tritt etwas ein, was das Photon in all den Weiten des Kosmos, die es durchquerte, so noch nie „erlebt“ hat: *dicht gesäte, kreuz und quer strahlende, ihr Ziel verfehlende, auch ohne warnende Hitze abgegebene, blinkende, blendende, gleißende, unnatürliche, chaotische, irritierende ... Lichter, Lichter, Lichter ...* das Photon taumelt, es strauchelt, es fällt, es endet ... jedoch nicht in dem es erwartenden Teleskop, sondern wenige Kilometer davon entfernt, auf einem banalen Stück Asphalt. Dort wird es sang- und klanglos begraben – unter den Reifen eines Autos. Ein Photonenschicksal.

Wir werden unten (im Abschnitt 1.4) auf die Auswirkungen des Lichtsmogs auf den Nachthimmel ausführlich eingehen. Dieses Buch will jedoch vom Licht – auch vom künstlichen – keineswegs ein einseitig negatives Bild zeichnen. Der folgende Abschnitt soll verdeutlichen, wie sehr terrestrisches Leben auf Licht angewiesen ist.

1.2 Der natürliche Wechsel von Hell und Dunkel

Der Mensch lebt – wie alle Organismen, die wir bis jetzt kennen – in der Nachbarschaft eines nicht wegzudenkenden lichtspendenden Sterns: unserer Sonne. Dennoch: Ebenso allgegenwärtig wie die von der Sonne herrührende Helle des Tageslichts ist 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 Wort für Tag abgeleitetes Wort bezeichnet, nämlich als „zirkadianer Rhythmus“ [1]. Diesen Rhythmus gibt es, seit die Erde rotiert, somit praktisch ebenso lange 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 verlangsamt sich stetig); doch für jede *einzelne* Generation von Lebewesen kann sie als eine unveränderliche Grundeinheit betrachtet werden. Neben dem zirkadianen Rhythmus gibt es noch andere astronomisch vorgegebene Rhythmen, so etwa zirkalunare (dem Mondphasenzyklus entsprechend) und zirkannuale Rhythmen (der Dauer des Erdumlaufs um die Sonne entsprechend).

Von vielen frühen Hochkulturen wurde der Tag-Nacht-Rhythmus als etwas Göttliches angesehen. In der griechischen Mythologie galt die Nacht ($\nu\upsilon\chi\tau$) als weibliche Gottheit, und zwar als eine der ältesten Gottheiten. Sie sei, so Hesiods *Theogonie*, zu Anfang aus dem Chaos hervorgegangen und erst nach ihr sei der Tag entstanden. Im Alten Testament werden Tag und Nacht als Resultate göttlicher Schöpfung dargestellt, und zwar wiederum 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 naturwissenschaftlich nachweisbar. 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 in Zahlen 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 Schreibarbeiten gar nur 300 Lux empfohlen. Fußballfelder werden, zumindest im Falle von

Fernseh-Übertragungen, mit bis zu 1.600 Lux illuminiert. 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 Himmel stehendem Vollmond steigt die *natürliche* nächtliche Beleuchtungsstärke kaum je über 0.25 Lux. Bei einer typischen mittleren 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 sich manche Krötenarten wie etwa die Erdkröte (*Bufo bufo*) noch bei 1/100.000 Lux visuell orientieren und gestützt auf ihren Gesichtssinn Beute fangen können! [2: S. 200] 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 und anderer Himmelsobjekte summiert sich nämlich bei klarem Himmel zu einer Beleuchtungsstärke von immerhin noch rund 1/1.000 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. Tabelle 1 fasst die oben diskutierten Werte und einige weitere zusammen.

Es ist 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 klarmachen, 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 jener der Helligkeit. Abbildung 1.2 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.

In Summe ergibt sich: Kaum etwas kann auf Organismen – einschließlich des Menschen – eine so starke *äußere* Zeitgeber-Funktion (mit Tagesrhythmik) ausüben wie das Licht. Dass

TABELLE 1.1: Einige natürliche (und zum Vergleich auch künstliche) Beleuchtungsstärken – von sehr großen bis zu extrem kleinen Werten [2, 3, 4]. Vgl. dazu auch Abb. 1.2.

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
Hell beleuchtetes Fußballfeld	1.600 Lux
Sonnenuntergang (klarer Himmel)	400 Lux
Empfohlene Beleuchtungsstärke eines Schreibtisches	300 Lux
Taghimmel vor starkem Gewitter	100 Lux
Straßenbeleuchtung bei hoher Verkehrsdichte	Ca. 75 Lux
Sonne 6° unter dem Horizont (Ende der „bürgerlichen Dämmerung“)	3 Lux
Vollmond	< 0.25 Lux
Halbmond	< 0.025 Lux
Sonne 12° unter dem Horizont (Ende der „nautischen Dämmerung“)	0.008 Lux
Klarer Sternhimmel inkl. Milchstraße und natürlichem Nachthimmelsleuchten	Ca. 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

es auch *innere* Zeitgeber in Lebewesen gibt, wie etwa die Melatonin-Ausschüttung, widerspricht dem nicht und wird in Kapitel 9 noch ausführlich diskutiert.

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

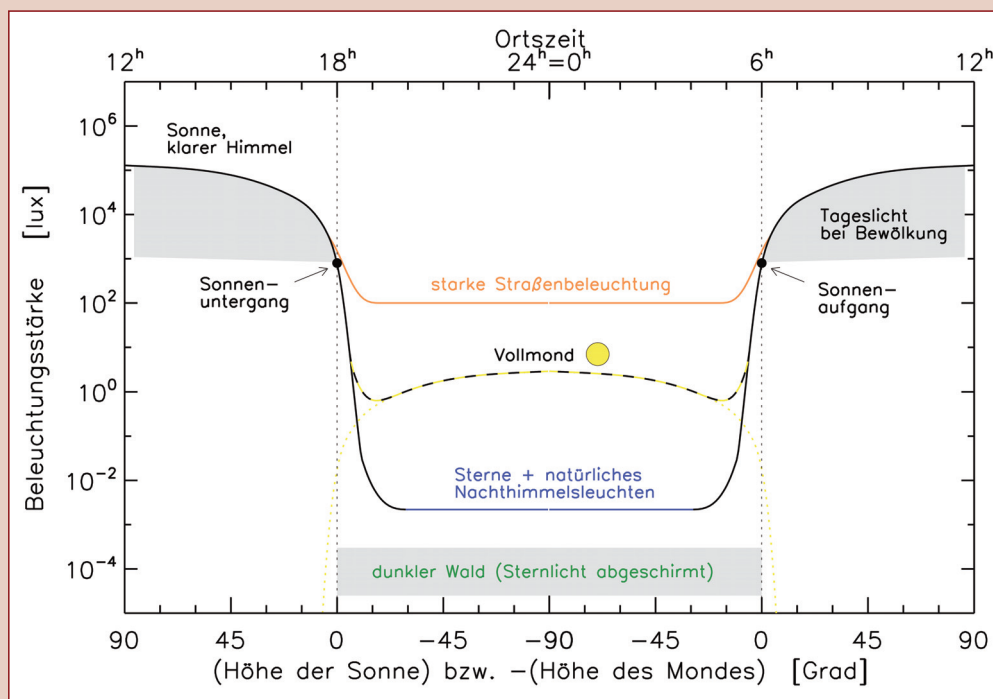


ABBILDUNG 1.2:

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.

1.3 Von den Anfängen künstlicher Beleuchtung zur modernen Beleuchtungstechnik

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. Dennoch: Die ältesten Laternen der Menschheitsgeschichte waren Fackeln, die man an Lagerfeuern entzündete.

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 [5]. 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 machten wahrscheinlich, dass darin Tierfette verbrannt wurden [5]. Die ersten Märkte, auf denen regelmäßig Brennstoff für Lampen – überwiegend Sesamöl

– gehandelt wurde, entstanden um 2.000 v. Chr. G. in Babylon. Das babylonische Lampenöl war sehr teuer: für den Monatslohn eines Handwerkers waren nur etwa 10 Liter davon zu bekommen [6].

Die japanische Geschichtsschreibung erwähnt für das 7. Jahrhundert n. Chr. G. 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 bis ins 18. Jahrhundert. Ihre Lichtausbeute blieb allerdings bescheiden; sie erreichte im Falle von Öllampen 0,15 Lumen pro Watt (im Vergleich zu über 100 Lumen pro Watt, die heute erreichbar sind).

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 bereits so etwas wie Straßenbeleuchtung existiert hatte. So kann man im Lexikon des Mittelalters 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. Jh.). Mitunter wird Straßenbeleuchtung in Not- bzw. Ausnahmesituationen (Feuer, Aufruhr) verordnet. Grundsätzlich bedient man sich beim Betreten nächtlicher Straßen jedoch mobiler Lichtträger (Laterne, Fackel), deren Verwendung in zahlreichen Ordnungen vorgeschrieben wird.“ [7] – Sogar noch für eine spätere Epoche 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.“ [8: S. 44.]

Erst ab dem späten 17. Jahrhundert ist in einigen europäischen Städten der systematische Einsatz von stationären Öl- und Talglampen zum Zweck der Straßenbeleuchtung belegt: in Paris seit 1667, in London seit 1668, in Amsterdam seit 1669, in Berlin seit 1679, in Wien seit 1688 [9]. Allerdings war die Zahl der Laternen dabei anfangs noch ziemlich klein – in Wien waren es beispielsweise im Jahre 1688 etwa 2.000 Lampen, die im Abstand von etwa 20 Schritten auf eisernen Stangen an den Häusern befestigt wurden [W.1]. In Paris hatte man 1667 in den nicht allzu langen Straßen lediglich drei Laternen montiert: eine am Anfang, eine am Ende und eine in der Mitte der jeweiligen Straße. Bei Mondschein und während der Monate April bis Oktober (kürzere Nächte!) wurden die Pariser Laternen übrigens zunächst nicht angezündet [10]. Wie die damaligen Beleuchtungskörper aussahen, davon vermittelt Abbildung 1.3 einen Eindruck.

Ins 17. Jahrhundert fällt nicht nur der Beginn der öffentlichen Beleuchtung (*Ordnungsbeleuchtung*), sondern auch die Intensivierung der *Prunk- und Festbeleuchtung*. So ließ der

„Sonnenkönig“ Ludwig XIV. 1688 den Schlosspark von Versailles mit 24.000 Laternen illuminieren (siehe Kap. 2, Abschnitt 2.2).

Wegen der Kostspieligkeit der Beleuchtungskörper wurden für den Fall ihrer Beschädigung hohe Strafen angedroht. So etwa drohten in Berlin im Jahre 1720 bei Zerstörung einer Straßenlaterne 10 Jahre Landesverweisung, in Wien und Graz drohte man das Abhacken der Hand an, zumindest für den Fall wiederholter Zerstörung von öffentlichen Laternen [11, 12, W.1]. Strafandrohungen unterschiedlicher Art hinderten die Bevölkerung jedoch nicht daran, bei bestimmten Gelegenheiten die Laternen – welche als *Symbol der Obrigkeit* angesehen wurden – zu zerstören. Im Zuge der Revolution von 1848 kam es in der Nacht vom 13. auf den 14. März zur Demolierung sämtlicher Kandelaber-Leuchten im Bereich der späteren Wiener Ringstraße [13: S. 111].



ABBILDUNG 1.3:

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!

Bemerkenswert ist auch, dass bis weit ins 20. Jahrhundert einige Taten strenger bestraft wurden, wenn sie nachts begangen worden waren. Dies wurde aus folgendem, schon seit dem Mittelalter nachweisbarem Rechtsgrundsatz abgeleitet: „*Die Nacht soll besseren Frieden haben als der Tag*“. Daraus ergab sich unter anderem eine Strafverschärfung für nächtliche Diebstähle. In einem 1579 im oberösterreichischen Frankenberg erlassenen Gesetz wurde nächtliches Lauschen am Fenster einem nachts begangenen Diebstahl gleichgesetzt und mit einer Strafe von mehr als 50 Pfund belegt [14: S. 133].

Ein Maß dafür, wie hell (oder aus heutiger Sicht: wie schwach) die Laternen der Straßenbeleuchtung bis weit ins 19. Jahrhundert hinein waren, ergibt sich daraus, dass man sie bei hellem Mondschein (wie für das Paris des 17. Jahrhunderts erwähnt) vielfach nicht in Betrieb nahm. Dies zeigt nämlich, dass der Mondschein – wenigstens um die Zeit des Vollmonds – eine äquivalente mittlere Helligkeit erzeugte, wie 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 bis ins frühe 19. Jahrhundert nur eine mittlere Beleuchtungsstärke im *Zehntel-Lux-Bereich* hatte, also wesentlich schwächer (und ungleich kleinräumiger) war als die heutige Außenbeleuchtung.

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 Viertel des 19. Jahrhunderts.

Die gasbetriebene Beleuchtung löste die Öllampen ab und trat von England aus ihren Siegeszug an. Einer ihrer „Väter“ war der in Schottland geborene William Murdoch. Die Gasbeleuchtung wurde als Straßenbeleuchtung größeren Umfangs in London zum Jahreswechsel 1813/14, in Paris 1818, in Berlin und Hannover ab 1826, in Wien in größerem Umfang ab 1838 eingeführt [5, 10, W.1]. Auch das Licht des Leuchtturms vor dem Hafen von Triest wurde ab 1818/19 mit Leuchtgas betrieben [10: S. 521]. Man schätzt, dass die Gasbeleuchtung die Straßen etwa zehn- bis zwölfmal heller erleuchtete als davor die mit Öl betriebene Illumination [8: S. 392]. 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.“ [15: S. 62]

Etwa ein halbes Jahrhundert später, 1868, schrieb Robert Springer in seinem Büchlein „Berlin wird Weltstadt“: „Das Gaslicht ist ein wichtiges Element in unserem Kulturleben, und wir Großstädter erinnern uns der früheren Oellaternen nur ebenso dunkel, wie jene brannten [...]“ [16: S. 62] Der 1869 verstorbene Maler und Naturphilosoph Carl Gustav Carus bezeichnete gar Gas und Dampf (Dampfmaschine!) als die beiden Haupttriebkkräfte der Geschichte [13: S. 25; 17: S. 93].

Im 19. Jahrhundert war es noch weitgehend 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 Auslöschten der Gasflammen beschäftigt: unmittelbar vor dem Ersten Weltkrieg waren es in der Donaumetropole (bei inzwischen 37.000 Laternen) über 600 Mann [W.1]. In Berlin war die Brennzeit der Laternen bis Mitte des 19. Jahrhunderts auf 1.300 Stunden festgesetzt, entsprechend einer Abschaltung zu Mitternacht, in den Sommermonaten (Mai – August) und bei Vollmond; erst 1849 erfolgte eine Beinahe-Verdopplung auf 2.400 Brennstunden pro Jahr [15: S. 62 f.].

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. Edison knüpfte übrigens an die Erfindung der Glühbirne einen heute kaum mehr nachvollziehbaren Fortschrittsmythos. Er schrieb: „Nachtleben bedeutet Fortschritt. Nachtleben und Stupidität vertragen sich nicht miteinander. Die wachsende Neigung zum Nachtleben bedeutet daher auch wachsende geistige Frische. Elektrisches Licht aber bedeutet Nachtleben.“ [15: S. 21]

Mit der Inbetriebnahme erster Kraftwerke Mitte der 1880er-Jahre setzte in Großstädten wie Berlin der – allerdings sehr langsame – Übergang zu elektrischer Beleuchtung ein. Dieser Übergang ist – genau genommen – auch jetzt noch nicht ganz abgeschlossen, da vor allem in der deutschen Hauptstadt nach wie vor ein gar nicht geringes Kontingent an Gaslaternen vorhanden ist und da bis heute eine intensive Debatte über die Erhaltung der Gasbeleuchtung als Kulturgut stattfindet. So berichtete der Berliner „Tagesspiegel“ Anfang Februar 2013: „Der für die Erhaltung der Berliner Gaslaternen engagierte Verein Gaslicht-Kultur e.V. hat nach eigenen Angaben bei der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Akteneinsicht in Verträge beantragt. Dabei geht es vor allem um den Abriss der Gas-Reihenleuchten. Diese werden seit 2012 durch elektrische Lampen ersetzt, die weniger Energie verbrauchen. Der Gaslichtverein sieht darin die Vernichtung eines Berliner Kulturgutes.“ [18]

Im frühen 20. Jahrhundert – besonders im Zuge der räumlichen Ausweitung der elektrischen Beleuchtung – kam es erstmals in der Geschichte der Menschheit zu einer so signifikanten Erhellung der Nacht, dass astronomische Forscher ihre Arbeit ernsthaft 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 [elektrischen] Bogenlampen beleuchtet. Um Mitternacht wurden die Bogenlampen ausgeschaltet, und sofort konnte ich um 1,5 bis 2 Größenklassen schwächere Sterne sehen.“ [19: S.161–172] 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 68 cm Durchmesser] nicht das zu leisten imstande ist, was der 12-Zöller [= Teleskop mit 30 cm 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.“ [19: S.161–172] 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 „Emigration“ astronomischer Observatorien vor der Lichterflut der Städte, von der unten noch die Rede sein wird.

In derselben Dekade kritisierte der japanische Schriftsteller Junichiro Tanizaki den unreflektierten Umgang seiner Landsleute mit künstlichem Licht. Er tadelte diesbezüglich nicht nur

Japan, sondern auch die amerikanische Kultur. Ryuzo Ohno und Shigeo Kobayashi resümieren dies in einem kürzlich veröffentlichten Aufsatz folgendermaßen: „Tanizaki verwies auf die Schönheit der Dunkelheit, ihre genuine Verbindung zur japanischen Ästhetik und das Spiel des bewusst eingesetzten Lichts.“ Dieser Umgang sei aus dem Schönheitsbewusstsein entflohen. Und weiter: „Der verlorene Schatten ist einer ungebändigten Lichtverschwendung gewichen [...]“ [20: S. 106]

Wie entwickelte sich die künstliche Beleuchtung im Außenraum im 20. Jahrhundert weiter? Die elektrische Beleuchtung gewann immer mehr die Oberhand, und immer höhere Lichtausbeuten wurden erzielt. Der Historiker Joachim Schlör hält fest, dass zwischen 1900 und 1930 unter den europäischen Städten ein „regelrechter Wettbewerb um den Ehrentitel ‚Lichtstadt‘“ ausbrach [15: S. 68.]. 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 Wettstreben um die größte nächtliche Helligkeit (vgl. auch Abb. 1.7). 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.“ [15: S. 70] 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 [15: S. 70]. 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.“

[Max Epstein: Berlin im Licht. In: Weltbrille 7, 1928. Zitiert nach [15], S. 71]

In stärkstem Kontrast dazu steht ein ebenfalls im Jahr 1928 erschienenenes ‚Loblied‘ auf den Wert elektrischen Lichts, dessen markanteste Sätze so lauten: „Unserer Zeit leuchtet nicht

**ABBILDUNG 1.4:**

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.

ein wehmütiger Mond, sondern die helle, daseinsbejahende Sonne der Technik. Wir sind im glücklichen Besitz des elektrischen Lichts, und wir wollen viel Licht und bestes Licht!“ [21]

Etwas später, während der Diktatur 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 [15: S. 262]. In der Tat verwendete Hitler gerne Metaphern von Licht und Dunkel, so etwa, wenn er vom Judentum als „Todfeind des Lichts“, als einem Repräsentanten der Finsternis sprach und ihm die „nordische Lichttrasse“ gegenüberstellte [22: S. 25]. 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, der 1930–33 in Berlin lebte, bemerkte, dass diese Licht-Inflation auch zu einer „Vermehrung der Dunkelheit“ führte.



Der nationalsozialistische Lichtwahn blieb jedoch nicht sehr lange im Gedächtnis der Menschen. Stärker prägten sich die *Verdunklungs Nächte* ins allgemeine Bewusstsein ein – also jene Nächte, in denen wegen der Bombenangriffe alle Lichter im Außenbereich gelöscht wurden. Deshalb erschien das nächtliche Wieder-Erstrahlen der Städte sowie die Installation elektrischer Beleuchtung auch in kleinen Städten und Dörfern in der Nachkriegszeit als ein Symbol für Wirtschaftsaufschwung und für den Weg in eine bessere Zukunft.

Technisch gesehen waren folgende Faktoren 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

ABBILDUNG 1.5:

Berlin bei Nacht 2008, 80 Jahre nach der Illuminations-Aktion „Berlin im Licht“.



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 1.2). Wie William Nordhaus gezeigt hat, wuchs die Lichtausbeute von den babylonischen Öllampen bis ins frühe 19. Jahrhundert nur um 0.04 % pro Jahr; doch dann beschleunigte sich das Wachstum: zwischen 1800 und 1992 betrug es jährlich im Mittel 3.6 %.

Natürlich führt wachsende Lichtausbeute nicht zwangsläufig zu mehr Lichtemissionen – denn im Prinzip besteht die Chance, durch sich verbessernde Leuchtmittel-Effizienz eine gleichbleibende Lichtmenge bei ständig sinkendem Stromverbrauch zu 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

TABELLE 1.2: Lichtausbeute verschiedener Lampentypen (nach [6]).

Lampentyp und Jahr	Lichtausbeute in Lumen pro Watt
Steinzeitliche Tierfett-Lampe 38.000 v. Chr. G.	0.015
Babylonische Sesamöl-Lampe um 1750 v. Chr. G.	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
Halogenlampe	17
Kompakt-Leuchtstoffröhre um 1992	70
Weißer Leuchtdiode um 2012	Bis zu 120
Natriumdampf-Hochdrucklampe um 2012	Bis zu 120
Natriumdampf-Niederdrucklampe um 2012 (leider kaum mehr in Gebrauch!)	Bis zu 200
Obergrenze der Lichtausbeute für tageslichtähnliches künstliches Licht	~225
Physikalische Höchstgrenze der Lichtausbeute	683

dieser Voraussetzung bedeutet wachsende Lichtausbeute meist auch wachsende Erhellung der Nacht und wachsende Lichtverschmutzung.

Die Lichtausbeute kann übrigens nicht beliebig gesteigert, sondern nur bis zu einem physikalischen Maximalwert von 683 Lumen pro Watt gebracht werden – und selbst dieser Wert ist nur von monochromatischem Licht erreichbar. Darin liegt aus astronomischer und ökologischer Sicht ein gewisser Hoffnungsschimmer.

Fallende Kosten des künstlichen Lichts:

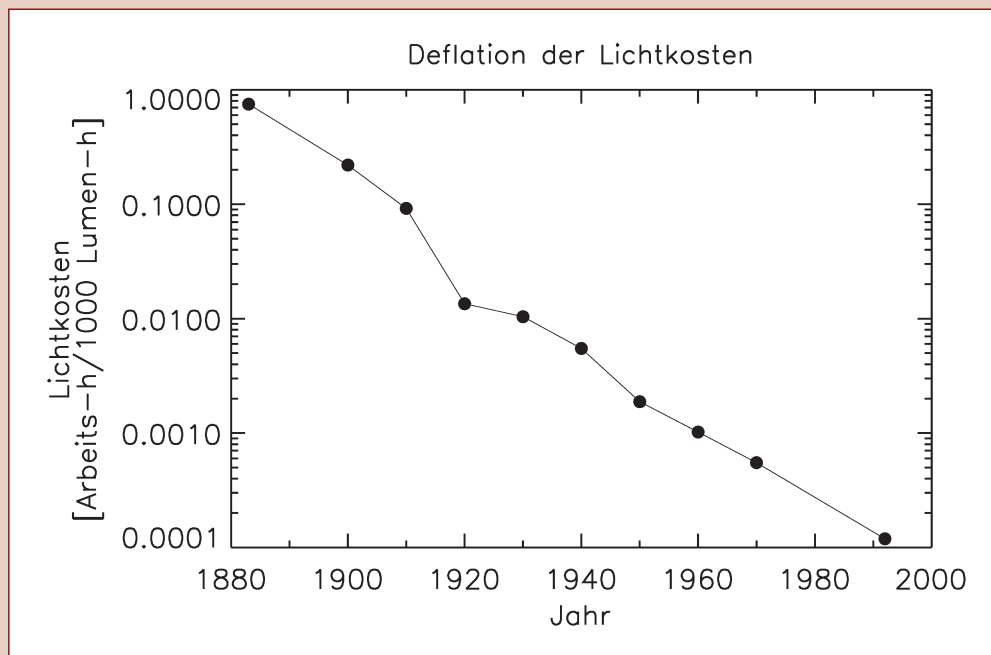
Noch dramatischer als die Veränderung der Lichtausbeuten gestaltete sich jene der Kosten der künstlichen Beleuchtung. Nordhaus entwickelte ein besonders instruktives Maß für die schier unglaubliche ökonomische Entwertung einer gegebenen Lichtmenge, nämlich die Zahl der Arbeitsstunden, die ein Individuum 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 1.400 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 1.100 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. Wie viel 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 1.000 Stunden*, also 50 Arbeitswochen – ein ganzes Jahr lang! Mit anderen Worten: 6.000-mal länger als zu Ende des 20. Jahrhunderts. Dabei ist natürlich die allgemeine Einkommenssteigerung im Zeitraum von 1883 bis 1992 bereits in Rechnung gestellt [6]; sie ist aber weniger entscheidend als die Fortschritte in der Beleuchtungstechnologie im selben Zeitraum.

Diese gewaltige Deflation der Lichtkosten (vgl. Abb. 1.6) 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, zu

ABBILDUNG 1.6:

Zur Entwicklung der arbeitszeitbezogenen Kosten elektrischer Beleuchtung zwischen 1883 und 1992. Die Bedeutung der Einheit „Lumen-Stunden“ wird im Text an einem Beispiel erklärt.

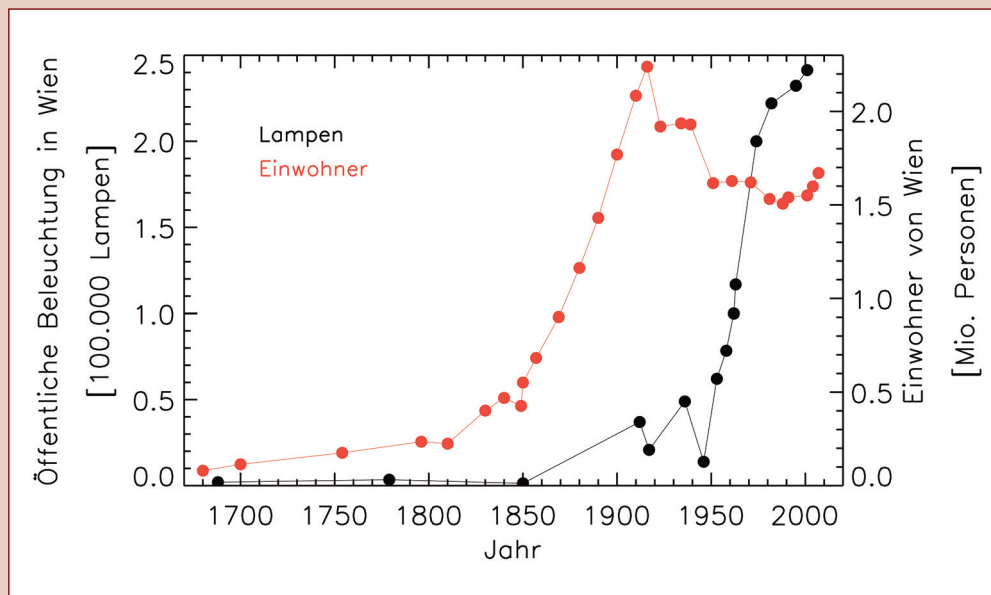


einer so billigen Ware, dass zum Nachdenken über sorgfältigen Umgang damit aus rein *ökonomischen* Gründen in der industrialisierten Welt immer weniger Anlass und Anreiz bestand. Nur durch diese Deflation der Kosten, in Verbindung mit dem allgemeinen Vorurteil „je heller, desto besser“, konnte künstliches Licht im 20. und 21. Jahrhundert zu einer Art von allgegenwärtigem *Müll* werden – in allen Jahrhunderten davor wäre es dazu viel zu kostbar gewesen. Kurz: die Deflation der Lichtkosten brachte den zunehmend inflationären Lichteinsatz mit sich (vgl. dazu Kap. 2, Abschnitt 2.5).

Trotz der Tatsache, das Licht heute nur mehr sehr wenig kostet, kam allerdings eine slowenische Expertengruppe 2007 zu dem Schluss, dass EU-weit jährlich knapp zwei Milliarden Euro allein für jenen Teil der öffentlichen Beleuchtung ausgegeben werden, der als verschwendetes Licht anzusehen ist. Für die USA wird mit einer öffentlichen „Licht-Verschwendung“ im Gegenwert von jährlich zwei Milliarden Dollar gerechnet [23: S. 54] Nimmt man noch jene Lichtquellen hinzu, die für private und kommerzielle Zwecke eingesetzt werden, so liegt die Summe der Verschwendung noch um eine Größenordnung höher.

Steigende Anzahl von Laternen, wachsende Flächenversiegelung

Parallel zu wachsender Lichtausbeute und Deflation des Lichtpreises – sowie durch diese beiden Faktoren maßgeblich unterstützt – stieg in allen Städten der industrialisierten Welt die Zahl der für die Außenbeleuchtung eingesetzten Lampen. Abbildung 1.7 zeigt dieses –

**ABBILDUNG 1.7:**

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.

in der Nachkriegszeit besonders ausgeprägte – Anwachsen am Beispiel der Stadt Wien. 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 (Kap. 3, Abschnitt 3.4).

Mangel an gesetzlichen Bestimmungen:

Durch die Kombination von wachsender Lampenzahl und wachsender Lichtausbeute jeder einzelnen Lampe entstand eine noch viel stärkere „Explosion“ des Lichtvolumens der großen Städte, als es die auf nur einen ursächlichen Faktor (die Lampenzahl) bezogene Abbildung 1.7 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 erzielenden Fahrbahn-Helligkeiten nur *untere* Grenzwerte (Mindestwerte), hingegen keine *oberen* Grenzwerte vor. Nur wenige Staaten – darunter Slowenien und Frankreich – erließen flächendeckende gesetzliche Regelungen zur Eindämmung der Stromverschwendung durch unnütze Lichtemissionen.

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 ziemlich 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 – in vollkommen sinnloser Weise – nach oben entweicht.

Schon im Jahre 1988 wurde in Arizona die „International Dark Sky Association“ (IDA) gegründet – mit dem Ziel, der energieverschwendenden und 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 25-jährigem Bestehen hat die IDA heute weit über 10.000 Unterstützer und konnte in vielen Ländern 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 Himmels-helligkeit über der norditalienischen Po-Ebene. Seine Ergebnisse zeigen ein beinahe exponentielles Wachstum der nächtlichen Himmels-helligkeit seit den 1960er-Jahren (vgl. Abb. 1.8). Cinzano leitete aus seinen Forschungen für Norditalien Wachstumsraten der Himmelsaufhellung von rund *10 % pro Jahr* ab [24]. 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 verursachten Schwankungen. In anderen europäischen Ländern geht man von Wachstumsraten der Nachthimmelshelligkeit von etwa 5 % pro Jahr aus, in Mexiko hingegen von bis zu 15 % in den 1990er-Jahren [25: S. 133].

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 dieser umfangreichen Studie 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 $6\text{--}12^\circ$ 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 [25: S. 126].

Die Abbildungen auf den folgenden Seiten zeigen Ausschnitte aus Cinzanos Atlas, und zwar als sogenannte Falschfarbendarstellungen: die unterschiedlichen Farben entsprechen unterschiedlichen Intensitäten der Nachthimmelsaufhellung [26].

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 1.12 gibt eine Antwort auf diese Frage am Beispiel der USA.

Die Gegenden, in denen weniger als 100 Sterne (statt natürlicherweise 3.000!) 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.

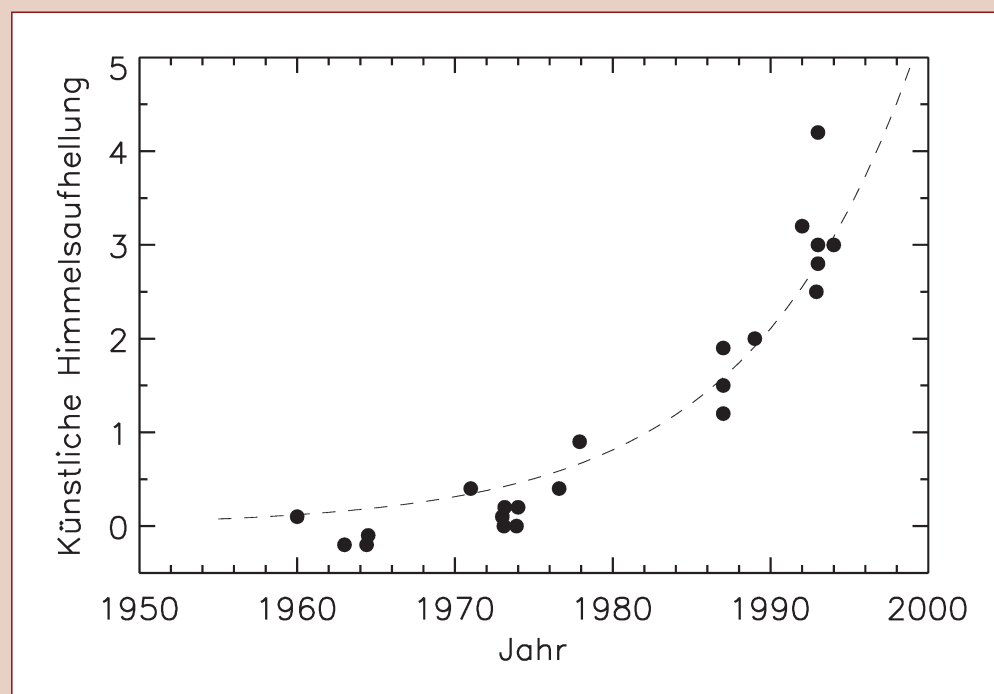
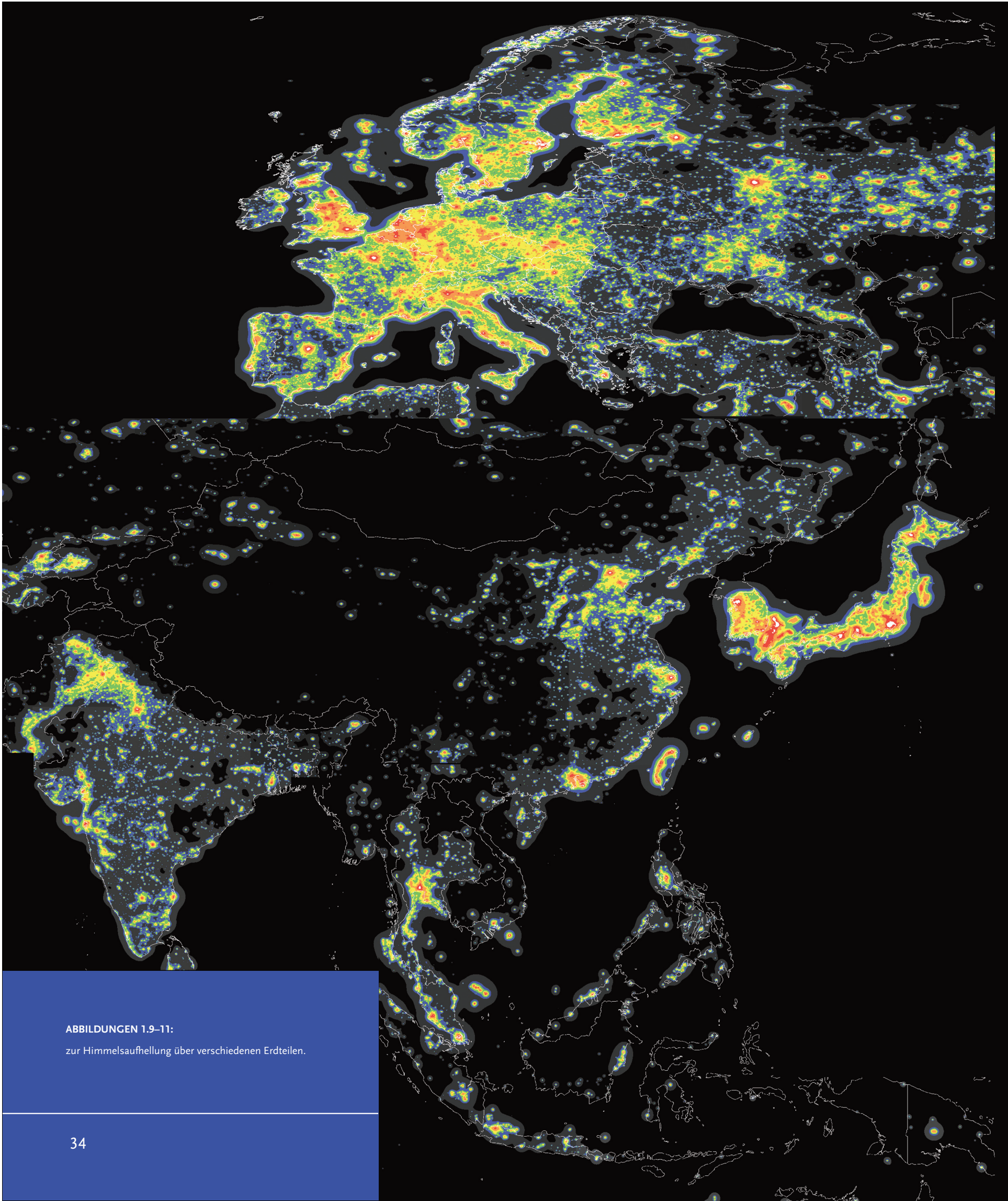


ABBILDUNG 1.8:

Zur Zunahme der künstlichen Himmelsaufhellung in Norditalien zwischen 1960 und 1995. Die Himmelsaufhellung ist in Einheiten der natürlichen Nachthimmelhelligkeit angegeben (nach [19]).



ABBILDUNGEN 1.9–11:
zur Himmelsaufhellung über verschiedenen Erdteilen.



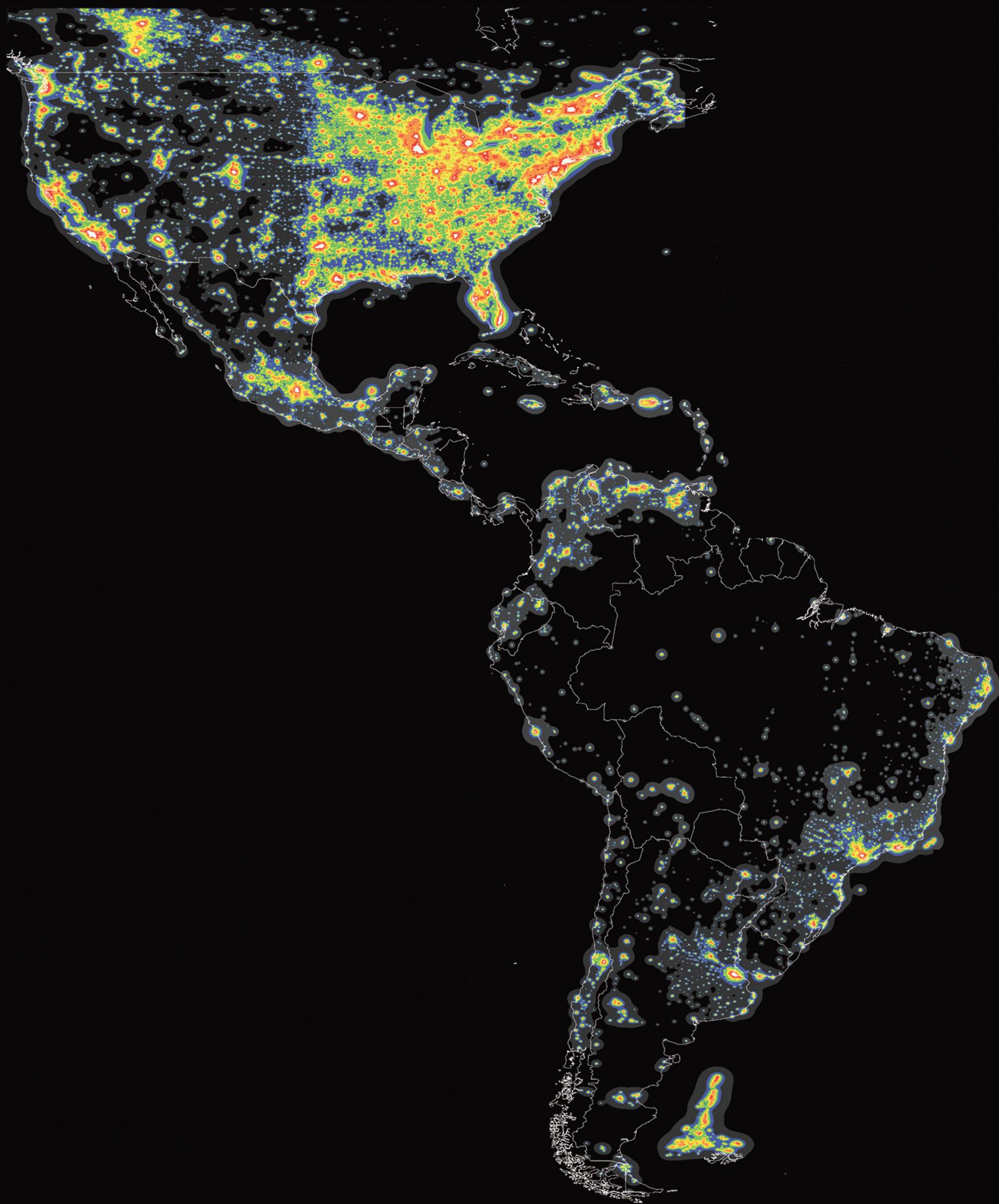
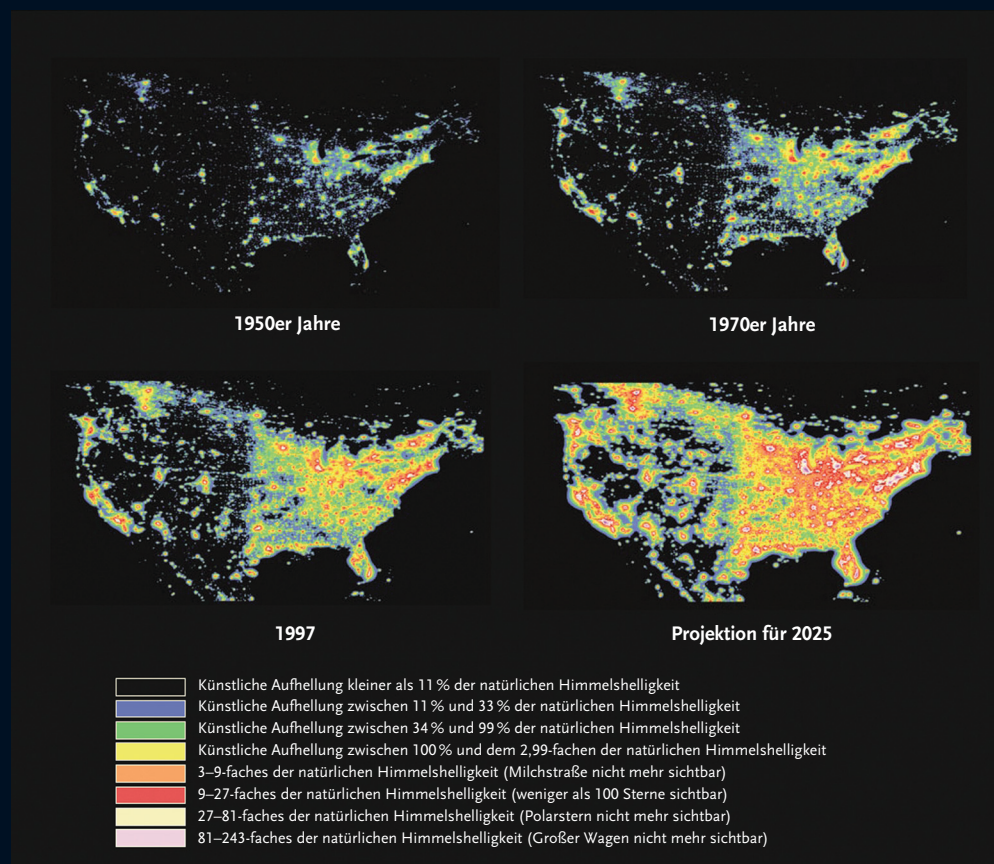


ABBILDUNG 1.12:

Himmelsaufhellung über den USA: 1950er-Jahre, 1970er-Jahre, 1997, Projektion für 2025.



In einzelnen Regionen Europas gibt es allerdings Indizien für eine „Sättigung“ des Wachstums der Lichtverschmutzung. So etwa konnte – wiederum für Norditalien – der Astronom Fabio Falchi in einem 2011 erschienenen Artikel zeigen, dass sich der von Cinzano festgestellte Trend zu stetig wachsenden Himmelselligkeiten im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts nicht weiter fortgesetzt hatte [27].

1.5 Astronomische Observatorien auf der Flucht vor der Lichterflut

Die oben 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 konnte, war 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 5 m-Spiegel auf Mount Palomar in den Bergen südöstlich von Los 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. Manchmal hilft es auch schon, mit der nächstgelegenen großen Stadt eine Übereinkunft über den Typ der verwendeten Leuchtmittel zu treffen: so zum Beispiel einigte sich die kalifornische Lick-Sternwarte mit der Stadt San José in den 1980er-Jahren darauf, dass dort nur Natriumdampf-Niederdrucklampen verwendet werden; deren Licht ist bei vielen astronomischen Beobachtungen relativ leicht auszufiltern.

Die Aufhellung des Nachthimmels durch die Zivilisation ist 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 im Auftrag des Observatorio del Teide 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 Nachthimmelhelligkeit 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 m Spiegeldurchmesser der Europäischen Südsternwarte effektiv etwa 100.000 Euro. Und die Möglichkeiten, dem Lichtsmog bei der Errichtung eines neuen Observatoriums ganz zu entkommen, sind mittlerweile weltweit sehr begrenzt.

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 1.13 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.



ABBILDUNG 1.13:

Blick vom 4.200 Meter hohen Vulkangipfel des Mauna Kea auf Hawaii über eine Wolkenschicht zum Sternhimmel und zur aufgehenden Milchstraße. Rechts der Bildmitte 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.

Javier Diaz Castro, „Lichtinspektor“ auf Teneriffa

Die Kanarischen Inseln bieten – neben Hawaii, Australien 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, Wien und sogar der kalifornische Mount Palomar sind nachts nicht mehr dunkel genug. Die Lichterflut jener Städte beeinträchtigt massiv die wissenschaftliche Arbeit. Anders ist es auf der Sternwarte auf dem Pico del Teide, einem über 3.700 m 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 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.“

1.6 Weniger Lichtsmog – mehr Unfälle und Kriminalität?

Glücklicherweise haben die bisherigen Ansätze zu einer Eindämmung des Lichtsmogs im Hinblick auf Energie-Einsparungen, astronomische Forschungsinteressen sowie aus Naturschutzgründen bislang nicht zu mehr Einbrüchen, mehr Verkehrsunfällen oder zu geringerer subjektiver Zufriedenheit betroffener Anwohner geführt. In Frankreich und Großbritannien wurde die Beleuchtung einiger Autobahnen bzw. Autobahnabschnitte außer Betrieb genommen – was einer deutlichen Reduktion der Stromkosten, aber nicht zu einer Erhöhung der Unfallzahlen führte. In Liechtenstein gingen einige Gemeinden 2012 dazu über, in der zweiten Nachthälfte die Beleuchtung zu reduzieren – auch dies ohne negative Folgen. Die gängige Annahme, wonach mehr Licht mehr Sicherheit bringe, ist unter Experten höchst umstritten. So zeigt eine Statistik aus Großbritannien, dass bei 48 % von mehr als 284.000 Anwesen, in die eingebrochen wurde, sogenannte „Sicherheitsbeleuchtung“ eingebaut war [23: S. 88]. Eine ebenfalls in Großbritannien unter Einbrechern durchgeführte Umfrage zeigte, welche Faktoren wirklich effizient geplante Einbrüche verhindern. Angeführt wurden:

- der Anschein, dass jemand im Einbruchsobjekt zu Hause sei: 84 %
- Alarmanlagen: 84 %
- Sichtbare Überwachungskameras: 82 %
- Anschein stabiler Fenster und Türen: 55 % [23: S. 89]

Außenbeleuchtung wurde hingegen von den Befragten nicht als einbruchshemmender Faktor genannt.

1.7 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 dem Philosophen Ludger Lütkehaus, der selbigen Orts auch die These aufstellte, es gebe ein Menschenrecht auf Dunkelheit wie auf Stille [28].

Bezüglich der Stille hat sich diese Erkenntnis längst durchgesetzt: die Abwesenheit von Lärm ist zum Beispiel auf dem Wohnungsmarkt ein fest etabliertes Qualitätskriterium. Bezüglich der Dunkelheit sieht die Sache noch ganz anders aus. Tief ist in uns 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 2.500 Lux) notwendig wären, um die Hormonproduktion im Organismus signifikant zu beeinflussen. Heute weiß man, dass bei vielen Tieren schon geringe Beleuchtungsstärken (weniger als ein Lux) genügen, um den Tag-Nacht-Rhythmus empfindlich zu stören. Was den Menschen betrifft, lässt sich das nach Untersuchungen von Barbara Griefahn in Dortmund mit Sicherheit für Beleuchtungsstärken um 30 Lux sagen; bei Licht mit hohen Blauanteilen könnten die Intensitäten, die den Melatonin-Haushalt durcheinander bringen, auch deutlich darunter liegen (auf diesem Sektor wird derzeit intensiv geforscht).

Als vor etwa 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 Kapstadt sieht man in den umliegenden dunklen Wüstengebieten mehrere Hundert Kilometer weit, wovon sich der Verfasser selbst überzeugen konnte.

Aller Wahrscheinlichkeit nach 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 menschliche wie die tierische und pflanzliche – gibt uns dies auch immer deutlicher zu verstehen. Die weiteren Kapitel dieses Buches versuchen dies unter verschiedenen Aspekten noch deutlicher zu machen.

ABBILDUNG 1.14:

Drei Aufnahmen des Nachthimmels, gewonnen mit einem Fischaugenobjektiv bei gleichbleibenden Kamera-Einstellungen. Links: der Nachthimmel über der Mongolei. Bildmitte: der Himmel über einer ländlichen Gegend in Niederösterreich. Rechts: der Himmel über Wien. Die Sequenz kann auch als eine zeitliche Entwicklung aufgefasst werden: Vor weniger als 200 Jahren sah auch der Himmel über Wien noch so aus wie im linken Teilbild dargestellt, vor weniger als 40 Jahren sah er in westlichen Millionenstädten wenigstens noch so aus wie im mittleren Teilbild. Wenn wir nicht gegensteuern, wird auch der Himmel über dünn besiedelten Regionen in naher Zukunft so aussehen wie im rechten Teilbild.



Zitierte Literatur:

- [1] Spörk P., 2004, Das Uhrwerk der Natur, Reinbek bei Hamburg, S. 26.
- [2] Buchanan, B.W., 2006, Observed and Potential Effects of Artificial Night Lighting on Anuran Amphibians, in: Rich C., Longcore, T., Ecological Consequences of Artificial Night Lighting, Washington DC, S. 192–220.
- [3] Rich, C., und Longcore, T., 2006, Introduction, in: ebd., S. 1–13.
- [4] Seidelmann, P.K. (Hg.), 1992, Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, Mill Valley.
- [5] Encyclopaedia Britannica, 14. Auflage 1970, Artikel „Lighting“.
- [6] Nordhaus, W.D., 1997, 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, S. 29–70.
- [7] Lexikon des Mittelalters, 1980, München, Artikel „Beleuchtung“, Bd. 1, Sp. 1839.
- [8] Ekirch, R., 2006, In der Stunde der Nacht. Eine Geschichte der Dunkelheit. Bergisch Gladbach.
- [9] Meyers Großes Konversations-Lexikon, Band 19, Leipzig 1909, S. 103.
- [10] D’Allemagne, H.R., 1891, Histoire du luminaire, Paris.
- [11] Curter, M., „Und es ward Licht“, In: „Neues Deutschland“, 28.2./1.3.2009, S. 17.
- [12] Popelka, F., 1935, Geschichte der Stadt Graz, 2. Band, Graz, S. 94 ff.
- [13] Schivelbusch, W. 2004, Lichtblicke. Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert. Frankfurt am Main.
- [14] Kocher, G., 2012, Licht und Nacht. Zur Entwicklung der Rechtslage in Österreich. In: Ist die Welt rund um die Uhr geöffnet? Chancen und Risiken künstlicher Beleuchtung. Hg. von U. Streitt und E. Schiller, Linz, S. 133–138.
- [15] Schlör, J., 1994, Nachts in der großen Stadt. Paris, Berlin, London 1840 bis 1930. München.
- [16] Springer, R., 1868, Berlin wird Weltstadt. Ernste und heitere Culturbilder. 2. Auflage. Berlin.
- [17] Seitter, W., 1999, Geschichte der Nacht, Berlin und Bodenheim.
- [18] Der Tagesspiegel, Nr. 21 595, 7. Februar 2013, S. 10.
- [19] Palisa, J., 1924, Beobachtungen am 27-zölligen Refraktor, Astronomische Nachrichten, Bd. 222, S.161–172.
- [20] Ohno, R., Kobayashi, S., 2010, in: LichtRegion. Positionen und Perspektiven im Ruhrgebiet. Hg. von D. Köhler, M. Walz und S. Hochstadt. Essen. S. 97–108, insbes. S. 106.
- [21] Nachrichtenblatt der Elektrizitätswerke Stern & Hafferl A.G. (Linz-Gmunden), März 1928, S. 1.
- [22] Land, U., 1997, 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. Karlsruhe.
- [23] Mizon, B., 2012, Light Pollution: Responses and Remedies. 2. Auflage, Springer Verlag, New York u.a.
- [24] Cinzano, P., 2000, The growth of light pollution in North-Eastern Italy from 1960 to 1995, Memorie della Societa Astronomica Italiana, Vol. 71, S. 159–165.
- [25] Narisada, K., Schreuder, D. (Hg.), 2004, Light Pollution Handbook, Dordrecht.
- [26] Cinzano, P., et al., 2001, The first World Atlas of the artificial night sky brightness, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 328, S. 689–707.
- [27] Falchi, F., et al., 2011, Campaign of sky brightness and extinction measurements using a portable CCD camera, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 412, S. 33–48.
- [28] Ludger Lütkehaus: Der Ethikrat – Philosophische Hilfestellungen (78. Folge). Diesmal für: Jan Hollan, Astronom, Verdunkler. In: Die Zeit, 18. Dezember 2002, S. 52.

Internetquellen und weitere Links:

[W.1] <http://www.wien.gv.at/licht/gesch.htm> [zuletzt abgerufen am 19.3.2009]
www.dark-skies.org; www.darksky.org; www.darksky.ch; www.hellenot.org