

## Es werde Licht – und es wurde Licht

### Künstliche Beleuchtung und die Kolonisierung der Nacht

Vortrag von Doz. Dr. Thomas Posch, Universität Wien  
Evangelische Akademie Tutzing, 2. 12. 2011

*Motto:*

*„Verkannt wird, dass die Nacht keineswegs mit schlechthinniger Finsternis gleichzusetzen ist. Die Nacht hat ihre Lichter. Die sieht man allerdings nur, wenn man auch in der Nacht schaut und sieht. Der Licht-Fanatismus sieht gar nicht die Lichter, die es gibt. Das einzige Rezept gegen Fanatismus ist folglich: sehen(lernen).<sup>1</sup>“*

Jahrmilliarden der Erdgeschichte sind davon geprägt, dass die Erde durch ihre rastlose Rotation in Verbindung mit dem lebensspendenden Licht der Sonne auf höchst verlässliche und wunderbar rhythmische Weise Helligkeit und Dunkelheit auf ihrer Oberfläche erzeugt. Es ist ihr eigener, auf sie selbst und in den Weltraum geworfener Schatten, der periodisch die Nacht hereinbrechen lässt. In früheren Epochen wurde dafür das Bild des „Herabsinkens“ der Nacht<sup>2</sup> geprägt.

So galten denn während der meisten Jahrhunderte der Kulturgeschichte die Phänomene, die wir „Tag“ und „Nacht“ nennen, als eine unzerstörbare Realität, vielfach sogar als etwas Heiliges. In der griechisch-römischen Mythologie wurde die Nacht (griech. *nyx*, lat. *nox*) als eine Gottheit verehrt, und zwar sogar als eine der zu allererst aus dem „Chaos“ entstandenen. *Nyx* (eine weibliche Gottheit!) herrscht demgemäß noch vor *Chronos* (Saturn) und vor *Zeus* (Jupiter).

In vielen Kulturen wurden Tag und Nacht als natürliche oder eben auch als übernatürliche Gegebenheiten wahrgenommen und angenommen – Gegebenheiten, welche der Mensch zwar sich aneignen, nutzen, zaghaft überformen, keinesfalls jedoch abschaffen konnte. Der Heidegger-Schüler Eugen Fink drückte dies in einem 1966/67 gemeinsam mit seinem Lehrer abgehaltenen Heraklit-Seminar so aus:

*„Das kleine Licht [das heißt das technisch erzeugte Licht, Anm. Th.P.] steht im Gegensatz zum rhythmisch uns überkommenden großen Licht des Tages, das kein Dunkel um sich hat. Der Mensch ist das lichtverwandte Wesen, das zwar Licht zünden kann, aber niemals so, daß es die Nacht völlig zu vertilgen vermag. Das von ihm entfachte Licht ist nur eine Insel im Dunkel der Nacht [...]. Der Mensch zündet im Dunkel sich ein kleines Licht an, gemessen an dem großen Licht.<sup>3</sup>“*

Dem entsprechend blieb der Tag-Nacht-Rhythmus für die Natur selbst eine prägende Gegebenheit, der sich das Leben fast aller Organismen anzupassen hatte und auch höchst erfolgreich angepasst hat – bis hin zur „Eroberung“ bestimmter „zeitlicher Nischen“ (etwa der Dämmerung) durch bestimmte Arten für je bestimmte Lebenszwecke. Man nennt den Tag-Nacht-Rhythmus oder zirkadianen Rhythmus auch einen „Zeitgeber“, und dieses deutsche Wort ist so prägnant, dass es auch direkt ins Englische übernommen wurde. Wir wissen heute, dass es Kröten gibt, die buchstäblich im Licht der Sterne ihre Beute erlegen können; dass

<sup>1</sup> Walter Seitter: Geschichte der Nacht. Berlin und Bodenheim, 1999, S. 146.

<sup>2</sup> Vgl. Roger Ekirch, In der Stunde der Nacht. Eine Geschichte der Dunkelheit. Bergisch Gladbach 2006, S. 30.

<sup>3</sup> Eugen Fink, zitiert nach: Walter Seitter, Geschichte der Nacht, Berlin und Bodenheim bei Mainz 1999, S. 79.

viele Eulen in der Lage sind, 100mal schwächere Lichtreize wahrzunehmen als das menschliche Auge, sodass sie, wenn es sie denn interessierte, *eine Million Sterne* am Nachthimmel erblicken könnten, während wir Menschen es auf höchstens 6.000 Sterne bringen. Mit viel größerem Recht also als wir Menschen dürften Eulen singen:

*„Weißt du, wieviel Sternlein stehen  
An dem blauen Himmelszelt  
Weißt du wieviel Wolken gehen  
Weithin über alle Welt  
Gott der Herr hat sie gezählet  
Daß ihm auch nicht eines fehlet  
An der ganzen großen Zahl...“<sup>4</sup>*

Erst mit dem Übergang vom 20. zum 21. Jahrhundert trat eine „globale“ Änderung der eingangs beschriebenen Situation ein. Diese Änderung, bei der nichts Geringeres auf dem Spiel steht als die *Erlebbarkeit der Nacht überhaupt*, wird im Rahmen unserer Tagung von verschiedenen Seiten her genauer zu charakterisieren sein. Fortschritte der Beleuchtungstechnik (manchmal auch nur *sogenannte* Fortschritte) und die zunehmend einfache Verfügbarkeit elektrischer Energie führten dazu, dass in den Städten (also gerade dort, wo ein signifikanter, wachsender Teil der Weltbevölkerung lebt) die einst verehrte und gefürchtete Nacht, der 24stündige Hell-Dunkel-Rhythmus, nivelliert, gebietsweise gar „vernichtet“ wurde und wird. Dies findet heute in einem nie gekannten Ausmaß statt – von Shanghai (wo angeblich nur mehr drei Sterne am Nachthimmel zu sehen sind) über Dubai und Kapstadt bis Los Angeles.

„*Lichtverschmutzung*“ nennt man – sprachlich im Deutschen diesfalls etwas ungeschickt<sup>5</sup> – das dafür verantwortliche Phänomen: es ist der Versuch der menschlichen Zivilisation, die Nacht zum Tag zu machen – zu einem künstlichen Tag freilich, wie er sich in Nachtskipisten, taghell erleuchteten Fußballfeldern, ebensolchen Tennisplätzen, Lichtwerbetafeln, gleißend hellen Autobahn-Stadteinfahrten usw. unübersehbar manifestiert. In Summe ergibt sich daraus der „legendäre“ Anblick der hell ins Weltall strahlenden Erde bei Nacht, wie ihn Satelliten uns zeigen.

Doch mit dem Immer-Greller-Werden der Nächte ging, erstaunlicherweise eigentlich (denn der Mensch ist, wie wir hörten, ein lichtverwandtes, lichtliebendes Wesen), eine entgegengesetzte Entwicklung einher: mit dem Beinahe-Verschwinden des Sternhimmels aus unserem Wahrnehmungshorizont kam es partiell zu einer Wiederentdeckung der Schönheit natürlicher Nacht(landschaften), zu einer wachsenden Sehnsucht nach den Wundern des Tiefen des Weltraums.

Ähnlich wie im 19. Jahrhundert mit dem Aufkommen der Industrialisierung die Naturschönheit neu entdeckt wurde und die Landschaftsmalerei sich in ungeahnte Höhen des künstlerischen Schaffens aufschwang, können wir gegenwärtig beobachten, wie immer mehr sogenannte „Dark Sky Preserves“ etabliert werden, in denen man die inzwischen stark zurückgedrängten naturnahen Nachtlandschaften bewundern und das Firmament noch gut sehen kann. Ebenso ist für die Gegenwart hervorzuheben, dass ein weltumspannendes

<sup>4</sup> Volkswaise, Text von Wilhelm Hey (1789-1843). Zitiert nach: Das große Liederbuch, Zürich 1975, S. 225.

<sup>5</sup> Manche andere Sprachen haben m.E. treffendere Termini für „Lichtverschmutzung“ gefunden. Ich denke hier insbesondere an das italienische Wort „inquinamento luminoso“ (inquinamento geht auf die lateinische Wurzel „quies“, Ruhe, zurück, bedeutet also „Zerstörung der Ruhe“) und das französische Wort „gêne lumineuse“ (wörtlich „Lichterplage“).

Fotografie-Projekt „The World at Night“ ins Leben gerufen wurde, mit dem Ziel, die obere und die untere Hälfte unserer Umwelt in nächtlicher Symbiose zu zeigen.

Etwa gleichzeitig (2009) ergab eine im österreichischen Bundesland Vorarlberg durchgeführte Meinungsumfrage, dass schon 58% der dortigen Bevölkerung sich „häufig“ oder zumindest „manchmal“ durch ein Übermaß an künstlicher Beleuchtung gestört fühlen. Die Sensibilität für das Problem der Überblendung ist also mittlerweile in der Bevölkerung genauso gegeben wie der Wunsch, den natürlichen Hell-Dunkel-Verhältnissen wieder ein wenig näher zu kommen, wahre Nacht erleben, die Milchstraße sehen zu können; auch wenn vielen von uns zugleich die „Urangst“ vor der Dunkelheit noch tief in den Knochen, in den Genen, im Unterbewussten ... sitzen mag.

### *Einschub: Weltreise eines Photons*

Meine sehr verehrten Damen und Herren! Stellen Sie sich vor, Sie wären ein Lichtteilchen, ein sogenanntes Photon. Stellen Sie sich konkreter vor, Sie wären ein *solches* Photon, das von einem Stern in einer *extrem weit entfernten Galaxie* vor mehr als 10 Milliarden Jahren ausgestrahlt wurde. Doch damit nicht genug! Stellen Sie sich weiter vor, Sie wären ein Photon, das vom *allerersten Stern* ausgestrahlt wurde, den unser Universum, den die Schöpfung hervorgebracht hat. Sie wären das erste Photon des ersten Sterns vielleicht sogar!

Was täten Sie dann? Nun, soviel ist klar: Sie müssten wohl oder übel mit Lichtgeschwindigkeit durch das Weltall reisen – zehn Millionen Mal schneller als auf einer (stautfreien!) Autobahn, fünf Millionen Mal schneller als mit dem ICE. Eine faszinierende, aber doch auch ungemütliche Sache: mit der *größtmöglichen Geschwindigkeit* durch die *größtmögliche Leere* und (zumeist) durch die *Dunkelheit* zu reisen – Sie, als das erste *Sternlicht!* Also, auf die Reise!

Ein Jahr vergeht. Sie haben – plangemäß – ein *Lichtjahr* zurückgelegt: eine Strecke, die 63.240mal so lange ist wie der Abstand zwischen Sonne und Erde. Rund 10 Millionen Millionen Kilometer.

Sie reisen weiter durch das kalte, öde Weltall. Sie reisen – unermüdlich: denn Sie haben ein Ziel: den *Planeten Erde!* Denn wir sind so kühn und setzen den ganz und gar unwahrscheinlichen, und doch in der Realität hin und wieder eintretenden Fall, dass Sie, mehr als 10 Milliarden Jahre altes erstes Sternlicht, die Erde als Ziel Ihrer Reise auserkoren haben. Oder ein kosmischer Regisseur für Sie.

Ja, die Erde ist Ihr Ziel, oder besser gesagt: die *zukünftige Erde*. Denn nun, da Sie, das Photon, aufbrechen, ist die Erde noch gar nicht entstanden. Sie *wird* (aus der Sicht Ihrer Zielgalaxis) erst entstehen. Aber Sie sind eben ein kluges Photon – Sie reisen dorthin, in jene Richtung, wo – zu einem Zeitpunkt, da Sie die Hälfte Ihrer Reise zurückgelegt haben werden –, der Blaue Planet entstanden sein wird. Sie reisen *exakt* in ein *Futurum exactum*.

Nun ist es so weit! Sie haben die Hälfte, sogar etwas mehr als die Hälfte, Ihrer Weltallreise zurückgelegt. *Fünf Milliarden Jahre sind vergangen*. Zwar nicht für Sie selbst – denn für ein Lichtteilchen vergeht keine Zeit – aber sehr wohl im Ruhesystem der Galaxis, auf die Sie zusteuern. Nochmals: Fünf Milliarden Jahre! 1827 Milliarden Tage! Und Sie haben 50 Milliarden Millionen Millionen Kilometer zurückgelegt. Eine Zahl wie aus einem Kindergebrabbel, in diesem Falle aber mit realer Bedeutung.

Sie reisen weiter. Sie durchqueren eine Galaxie, die auf Ihrem Weg liegt – kein Problem! Nur *ein Wasserstoffatom pro Kubikzentimeter* liegt auf Ihrem Weg. Weit weniger als in jeder technisch erzeugten Vakuumkammer. Sie reisen selbst innerhalb einer Galaxie durch Hochvakuum; erst recht gilt dies im intergalaktischen Raum. Und Sie, das Photon, sind gleichsam unendlich schlank. Sie kommen also durch.

Inzwischen ist endlich die Erde, Ihr bislang nur virtuelles Ziel, entstanden. Und schon gleichzeitig mit ihr unser Thema: *Tag und Nacht*. Sie nehmen sich nun ein genaues Zeit-Management für den Rest Ihrer Reise vor, denn Sie wollen ja die *Nachtseite* der Erde erreichen, d.h. die Erde an einem Ort und zu einer Zeit, wo es Nacht ist, wo möglichst auch eine Sternwarte, ein Teleskop, ein Detektor, auf Sie wartet – denn nur dann können Sie, wie Sie wünschen, Künder, Botschafter jener Welt sein, der Sie entstammen. Vergessen Sie nicht: Sie sind Sternlicht, allererstes, allerfrühestes, von der Erde aus gesehen. Das Zeit-Management fällt Ihnen schwer, da Sie sich nicht beeilen können, Sie haben ja bereits, wie gesagt, die größtmögliche Geschwindigkeit. Und Umwege können Sie auch nicht nehmen, da Sie dem Prinzip des kürzestmöglichen Weges verpflichtet sind.

Nun – endlich, endlich, endlich – Welch Wunder! – ist es Ihnen gelungen! Sie haben das Sonnensystem, in dem die Erde, nunmehr von Menschen bevölkert, ihr traurig-schönes Dasein fristet, erreicht! Sie befinden sich schon innerhalb der *Saturnbahn*! Jetzt innerhalb der *Jupiterbahn*! Jetzt, jetzt, jetzt ... Tausende Kleinplaneten rasen an Ihnen vorüber – Vorsicht – Augen zu! – jetzt Mars, jetzt nur noch wenige Minuten Reisezeit bis zur Erde. Gerade noch Zeit für ein Stoßgebet.

Sie sehen nun bereits den Blauen Planeten an Ihrem Horizont, besser gesagt an Ihrem immer noch schwarzen Himmel. Da Ihr Reise-Timing perfekt war, sehen Sie aber eigentlich nichts Blaues an dem Blauen Planeten, sondern – seine *samtschwarze Nachtseite*, nur am Rand von einem dämmrigen Schimmer erhellt. Dies war ja Ihr Ziel, Ihre Mission! Die Nachtseite der Erde! Und ehe Sie sich's versehen, wird diese auch schon gesichtsfeldfüllend für Ihre kleinen Photonenäuglein. Oh, dieses herrliche Samtschwarz! Gerne würden Sie, das Photon, Ihre Reise jetzt verlangsamen. Ein wenig beginnen Sie auch schon die sanft bremsende Wirkung der Erdatmosphäre zu spüren. Doch nun geht alles nochmals sehr schnell, d.h. genauer, *die Ereignisfülle wird nun sehr groß*. Die Durchquerung der Lufthülle der Erde ist für Sie nur eine Frage von Millionstel Sekunden. Nach mehr als 10 Milliarden Jahre Reisezeit.

Aber, aber, aber – was ist nun das! Das war doch überhaupt gar nicht ausgemacht! Das samtene Schwarz der Nachtseite der Erde weicht an Ihrem Zielort plötzlich – es fehlen Ihnen die Worte – weicht plötzlich *inem Lichternebel, einer Lichterflut, einer Lichtlawine*. Sie verlieren plötzlich die Orientierung, weil etwas eintritt, was Sie in all den verschiedenen Gegenden des Kosmos, die Sie durchquerten, so noch nie erlebt haben: *dicht gesäte, kreuz und quer strahlende, ihr Ziel verfehlende, auch ohne warnende Hitze abgegebene, blinkende, blendende, gleißende, unnatürliche, chaotische, irritierende ... Lichter, Lichter, Lichter, Lichter, Lichter...* Sie stammeln, Sie taumeln, Sie straucheln, Sie fallen, Sie sterben... Sie enden, anstatt in einem Sie erwartenden Teleskop, auf einem banalen Stück Asphalt, Sie werden dort sang- und klanglos begraben – unter den Reifen eines Autos.

Ein Photonenschicksal.

Wollen wir nun mit trockenem Humor hinzusetzen: „Ist doch egal – sonst wäre das Photon eben in ein Schwarzes Loch gefallen?“ Oder: „Sonst wär's halt vielleicht im Nebel

steckenblieben?“ Ich hoffe, wir antworten anders. Sie zumindest *müssen* anders antworten. Sie *sind* ja das Photon. Sie *waren* es.

Hier endet unser „kosmischer Exkurs“. Was ich Ihnen im Folgenden noch darlegen möchte, hat zwar *auch* noch, aber auf weniger direkte Weise, mit Inhalten der Astronomie zu tun. Es soll um die nüchterne Frage gehen, *wie die Praxis der künstlichen Außenbeleuchtung, an die wir uns in den Industrienationen gewöhnt haben, verbessert – vielleicht sogar entscheidend verbessert – werden könnte, wenn dabei auf Gesichtspunkte Bedacht genommen würde, die im weitesten Sinne mit einer „kosmischen Perspektive“ zusammenhängen.*

Diese Frage zerfällt in folgende Teilthemen:

- a) Geometrie der Beleuchtung
- b) Intensität der Beleuchtung
- c) „Farbe“ der Beleuchtung (genauer: spektrale Zusammensetzung)
- d) „Timing“ der Beleuchtung (genauer: zirkadiane Taktung)

Die hier verwendeten Begriffe – Geometrie, Intensität, „Farbe“ und „Timing“ – sind teilweise intuitiv verständlich, teilweise jedoch wird ihr Sinn erst nach und nach klar werden.

### A) Geometrie der Beleuchtung

Das Licht der Sonne hat – ebenso wie jenes des Mondes, der Planeten und der Sterne – eine sehr bemerkenswerte Eigenschaft: es kommt bei uns auf der Erde in *parallelen Strahlenbündeln* an. Dies hat den einfachen Grund, dass die genannten Himmelskörper alle, unter dem Blickwinkel der geometrischen Optik betrachtet, „praktisch im Unendlichen“ liegen. Daraus ergeben sich ganz direkt Konsequenzen von einiger Wichtigkeit, die dennoch oft nicht bedacht werden:

- Von der Sonne und auch vom Mond beleuchtete Flächen sind *großräumig gleichmäßig* beleuchtet – außer es ergeben sich Schlagschatten durch dazwischentretende Objekte wie Wolken, Häuser oder Bäume. Diese Tatsache ist einer von mehreren Gründen für den so sehr angenehmen Beleuchtungseindruck, den heller Sonnenschein, aber auch nächtlicher Mondschein, erzeugt.
- Technisch ist, bis heute zumindest, die großräumige Herstellung einer sonnenähnlichen Beleuchtungssituation – nicht die Lichtfarbe, sondern die Strahlengeometrie betreffend – kaum möglich. Wir können eben keine technische Lichtquelle „praktisch im Unendlichen“ positionieren und dennoch ausreichend Licht von ihr bekommen. Höchstens mit riesigen Reflektoren im Erdbit wäre dies eventuell möglich. (Auch sie lägen faktisch nicht „im Unendlichen“, aber aus der Sicht der geometrischen Optik sehr wohl).
- Daher heißt künstliche Beleuchtung immer und überall: Beleuchtung mit einer völlig anderen Strahlengeometrie als jener von Sonne und Mond. Künstliche Beleuchtung aus einer einzelnen Lichtquelle macht darum immer „hier hell“, „dort dunkel“, wobei „hier“ und „dort“ sehr nahe beieinander liegen. Darum muss künstliche Beleuchtung, wenn sie große Bereiche abdecken soll, stets mit einer *Vielzahl* von Lichtquellen arbeiten, die jede für sich *radial auseinanderlaufende* Strahlenbündel aussenden. Die Vielzahl von Lichtquellen ist nötig, um auch nur annähernd gleichmäßige Beleuchtungsstärken zu erzielen – eben nicht einfach „hier hell“, „dort dunkel“. Und dennoch wird auch mit einer Vielzahl von Lichtquellen nur ein schwacher Abglanz der Gleichmäßigkeit der Sonnen-Beleuchtung erreicht – wie man anhand von beleuchteten Straßenzügen sofort verifizieren kann.

- Die Beleuchtungsgeschichte kennt viele Versuche, die Sonne und den Mond optisch nachzuahmen. Ein Beispiel dafür ist die Kugellampe, die auf den ersten Blick aussieht wie eine künstliche Sonne. Ein weiteres Beispiel sind Beleuchtungsprojekte des 19. Jh., u.a. für Paris entworfen, wo man von einem einzigen, riesigen Lichtturm aus mit einer riesigen Lichtquelle große Bereiche der Stadt sonnenähnlich beleuchten zu können glaubte. Aber dieser Ikarus-ähnliche Versuch ist aus geometrisch-optischen Gründen ein *Blendwerk* in doppeltem Sinne: die angenehme Beleuchtungsgeometrie der Sonnenstrahlen wird nicht erreicht (*verblendet* ist also, wer Kugellampen oder Lichttürme plant) – und der Betrachter wird sogar buchstäblich *geblendet*, weil mehr Licht sein Auge überreizt, als die Nutzfläche ausleuchtet.
- Daher ist in der Planung künstlicher Beleuchtung ganz grundsätzlich von allen Versuchen, Sonne oder Mond optisch oder geometrisch nachzuahmen, Abstand zu nehmen. Alle solche Versuche sind zum Scheitern verurteilt und sind prinzipiell schlechtes Licht-Design. Künstliche Beleuchtung muss von einem anderen Paradigma ausgehen: Je stärker der Lichtstrahl auf die Nutzfläche hin gebündelt ist und je weniger ausgesandte Lichtstrahlen direkt das Auge des Betrachters erreichen, desto besser. Nicht die Lichtquelle soll zu sehen sein, sondern das zu beleuchtende Objekt; möglichst *nur* dieses!
- Ob eine konkrete Beleuchtungslösung dieser Maxime entspricht, lässt sich bei nächtlichen Flügen über Städte und sogar auf Hügeln am Rande von Städten leicht verifizieren: sinnvoll gestaltet sind nur jene Laternen, deren Licht von „oben“ aus nicht „selbst“, sondern *allein* durch die diffuse Reflexion des jeweiligen Straßenbelags wahrnehmbar ist.
- Kurz: *weil* technisch hergestelltes Licht die Strahlengeometrie von Sonne und Mond nie perfekt erreichen wird, soll es nicht Sonne und Mond „spielen“, soll es nicht „naives Licht“ sein, sondern „kluges Licht“, und das ist jenes, das bewusst lokal nach unten fokussiert ist. Doch unsere Welt ist noch immer voll von „naivem (unklugem) Licht“! Gehen Sie offenen Auges durch die Nacht, und Sie werden dies bestätigt finden – mit entsprechend fatalen Konsequenzen für Ökonomie (Energieverschwendung), Ökologie (unnötig große Fernwirkung) und Nachthimmelsaufhellung.

## B) Intensität der Beleuchtung

Das menschliche Auge ist in der Lage, einen ungleich größeren Bereich von Lichtintensitäten unterhalb der Schmerzgrenze und oberhalb der Wahrnehmbarkeitsgrenze zu empfangen als andere Organe. Ich veranschauliche dies häufig durch den folgenden drastischen Vergleich: wie sieht es denn mit unserer Temperaturwahrnehmung aus – welchen Bereich deckt denn diese bestenfalls ab? Um den Vergleich zum Auge fair zu gestalten, müssen wir von der letztlich willkürlich gewählten Celsius-Skala abgehen und einen Moment lang auf die Kelvin-Skala Bezug nehmen. Null Grad Celsius entsprechen bekanntlich etwa 273 Grad Kelvin. Temperaturen oberhalb von 50 Grad Celsius, also 323 Grad Kelvin, tun uns auf die Dauer weh. Ebenso tun uns Temperaturen weh, die unterhalb von -40 Grad Celsius, also 243 Grad Kelvin, liegen. Sie tun uns nicht nur weh („beißende Kälte“), sondern wir können sie bei Berührung auch nicht mehr diagnostisch unterscheiden. Bilden wir nun das Verhältnis zwischen oberer und unterer Wahrnehmungsgrenze der Haut gegenüber Temperaturen, so erhalten wir einen „mickrigen“ Wert von  $323/243 = 1.33$ , oder anders ausgedrückt, die obere Grenze macht 133 Prozent der unteren Grenze aus. Beim Auge ist das entsprechende Verhältnis aber etwa  $10^{12}$  (eine Eins gefolgt von zwölf Nullen).

Das heißt: der dynamische Bereich – der Anpassungsbereich – unseres Auges gegenüber Helligkeiten, ist im Vergleich zum Anpassungsbereich unserer Haut gegenüber Temperaturen ein wahrer Goliath!

Hat dies nun Bedeutung für unseren Umgang mit Beleuchtung, ja oder nein?

Die Antwort muss wohl „ja“ lauten, und zwar aus folgendem Grund: Gerade *weil* unser Auge – durch verschiedene Mechanismen, auf die hier nicht näher einzugehen ist – so riesengroße Intensitätsbereiche überbrücken kann, machen ihm kleine Änderungen, sofern diese nur *gleichmäßig* erfolgen, fast nichts aus, d.h. wir bemerken sie gar nicht, weil unser Auge, der Anpassungsgigant, sofort „nachreguliert“.

Ein konkretes Beispiel: Die Stadt Wien senkt um 23h in den meisten Straßenzügen *gleichmäßig* die Beleuchtungsstärke um 50%. Wer merkt dies? Wer bemerkte auch nur, dass die Uhrzeit der Reduktion seit 2008 23h ist, davor aber Mitternacht war? Bemerkten es über 3 Millionen Wiener Augen? Meine Damen und Herren, die Antwort ist: nein! Bemerkte hat es die *Stadtkasse* (über 200.000€ Einsparung pro Jahr, allein durch die Vorverlegung der Reduktion um 1 Stunde) und einige *Astronomen*, die die Lichtverschmutzung in Wien *mit Detektoren objektiv messen* und erfreut eine Reduktion derselben feststellen konnten! Aber kaum ein *Wiener Auge* (außer vielleicht das selten gewordene, möglicherweise schon ausgestorbene *Wiener Nachtpfauenauge*).

Nochmals: unser Auge „denkt“ und „fühlt“ in Zehnerpotenzen. Zehnmal so hell, zehnmal so dunkel: ja, das ist etwas für unser Auge. Fünfmal so hell, fünfmal so dunkel – darüber lässt sich streiten. Aber zweimal so hell, halb so hell – das ist für unser Auge schwer feststellbar – dies unter einer Bedingung freilich: dass es sich um die *Gesamthelligkeit* einer beleuchteten Szene (z.B. einer Straße) handelt, die „nur“ um einen Faktor zwei verändert wird. Anders sieht es aus, wenn ein *einzelnes Licht allein* halbiert wird – bei sonst gleichbleibender Umgebungshelligkeit. *Das* merken wir sofort. Aber wenn, wie gesagt, ein ganzer Straßenzug etwa inmitten der Nacht halb so hell gemacht wird, dann tun wir uns schwer, dies (ohne Messgerät, nur mit dem Auge) auch nur zu konstatieren.

Aber bedeutet das nicht eine *großartige Chance*? Ich komme auf den Vergleich mit der Temperatur zurück. Wäre es denkbar, als Energiesparidee der Bevölkerung nahezu legen, die Temperatur (auf der Kelvin-Skala, der absoluten Temperaturskala) der Heizkörper bzw. der Wohnräume zu halbieren? Zumindest an Tagen mit starker Feinstaubbelastung? Nein! Das wäre nichts Geringeres als Massenmord! Wir wären solchenfalls alle sehr schnell tot. Ist es hingegen möglich, die Außenbeleuchtung in ihrer Intensität global, d.h. in einer ganzen Stadt, zu halbieren? Ja! Und dies sogar, ohne dass es die Mehrheit der Bevölkerung bemerkt.

Der einfachste Beweis für diese These liegt nicht einmal in der Physiologie der Wahrnehmung, sondern in unserer Geschichte. Vor rund 100 Jahren war es vielerorts noch üblich, die Straßenbeleuchtung in Vollmondnächten auszuschalten. Das heißt aber, dass die Straßenbeleuchtung damals eine Intensität in der Größenordnung der Vollmond-Beleuchtungsstärke (1/4 lux) gehabt haben muss. So wie die Tatsache, dass man im Sommer die Heizung nicht einschaltet, zeigt, dass die Temperatur im Sommer in der Größenordnung ist, wie man sie ohnehin haben will (oder darüber). Nun, wissen Sie, um wieviel die heutige Straßenbeleuchtung – auf stark befahrenen Straßen – heller ist als der Vollmond? Um einen Faktor, der zwischen 100 und 300 liegt (25 bis 75 lux). Gewiss: unsere Straßen werden heute nachts *stärker, schneller, schräger, schriller* frequentiert als vor 100 Jahren. Darum habe ich auch nicht vorgeschlagen, die Intensität der Beleuchtung im innerstädtischen Bereich auf 1/100 der gängigen Werte zu reduzieren (auch nicht zu verkehrsschwachen Zeiten). Aber eine Reduktion auf die Hälfte, auf ein Drittel, auf ein Viertel, ist zu verkehrsschwachen, zugleich für den Schlaf besonders relevanten Zeiten, sehr wohl diskutabel. Städte wie Augsburg demonstrieren uns *ad oculos*, wie gut das geht (vgl. dazu den Vortrag von Sandor Isépy bei dieser Tagung).

### C) „Farbe“ der Beleuchtung

Wenn ich im Folgenden von „Farbe“ spreche, so meine ich nicht bloß unsere Sinneseindrücke „blau“, „grün“, „gelb“, „rot“ usw. Es geht vielmehr, in einer umfassenderen Perspektive, um die *spektrale Zusammensetzung* des Lichts. Die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichts zum Beispiel hat zwei hervorstechende Merkmale:

- Es sind im Sonnenspektrum *alle Farben*, von Violett bis Dunkelrot, vertreten. Keine Farbkomponente fehlt. Das Spektrum der Sonne setzt sich sogar noch ins Ultraviolette und ins Infrarote hinein fort. Zu ergänzen ist noch: die bläulichen Farbkomponenten entsprechen sog. „kurzen Wellenlängen“, die gelblichen und rötlichen Farbkomponenten werden als „langwellig“ bezeichnet.
- Die Sonne hat, wie jeder Stern, einen bestimmten Farbbereich, wo sie am stärksten strahlt. Das Strahlungsmaximum der Sonne liegt im *grünlich-gelben Bereich*, bei ca. 500 Nanometern.

Mensch und Tier sind von der Erdgeschichte her gewiss *an sonnenähnliches Licht gewöhnt*, das heißt an Licht, das erstens alle Farbkomponenten enthält, und das zweitens *nicht am blauen Ende* des Spektrums sein Strahlungsmaximum hat. In der Natur war ja nie eine andere starke Lichtquelle als die Sonne verfügbar. Auch der Mond, die stärkste natürliche Lichtquelle unserer Nächte, hat ein sehr sonnenähnliches Spektrum (=Farbverteilung). Auch sein Spektrum setzt sich übrigens in den Infrarotbereich fort, enthält also neben Licht auch Wärmestrahlung, auch wenn wir sein Licht manchmal als „kalt“ empfinden.

Wie sieht es diesbezüglich mit unserer heutigen Außenbeleuchtung aus? Derzeit wird diese – aus Gründen der Energie-Effizienz – von *Gasentladungslampen* dominiert. Diese haben manche Vorteile, aber man sollte sich dessen bewusst sein, dass sie *kein sonnenähnliches Licht* ausstrahlen. Das Licht von Gasentladungslampen – so auch von sog. „Energiesparlampen“ (vgl. Abbildung) – enthält nie ein Kontinuum an Farbkomponenten, sondern nur einzelne Spektrallinien, übrigens bis in den ultravioletten Bereich hinein. Und eine große Zahl von Gasentladungslampen hat stärkere spektrale Komponenten im kurzwelligen (blauen) Bereich als in den langwelligen Bereichen. Gerade das ist aber ein Problem. Weshalb?

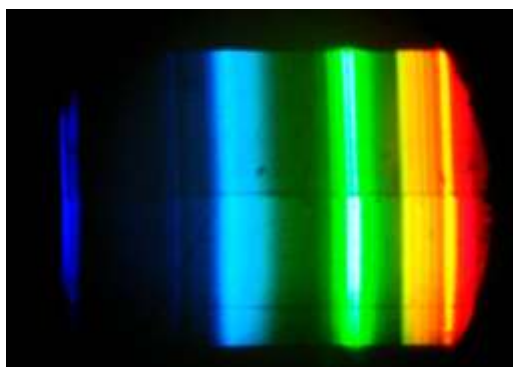


Abbildung:  
Spektrum einer Energiesparlampe (Foto: Th. Posch)

Starke Blauanteile künstlicher Beleuchtung sind aus drei voneinander unabhängigen Gründen ein Problem:

- Gemäß dem *Rayleigh-Gesetz* wird blaues Licht in klarer Luft wesentlich stärker gestreut als rotes Licht. Darum ist ja auch der Taghimmel blau. Licht einer gegebenen

Wellenlänge wird sogar 16mal stärker gestreut als Licht der doppelten Wellenlänge (gilt z.B. für Violett versus Tiefrot). Streuung bedeutet nun aber im gegenwärtigen Kontext Verlust von Licht auf der Nutzfläche und Erzeugung von Lichtmog (Lichtverschmutzung). Daher ist schon aus rein physikalischen Gründen Licht, das schwächer gestreut wird – längerwelliges, „warmweißes“ Licht – gegenüber solchem mit starken kurzwelligen (blauen) Anteilen zu bevorzugen.<sup>6</sup>

- Insekten werden durch Licht mit erheblichen kurzwelligen Anteilen stärker angezogen als durch Licht, das von langwelligen Anteilen dominiert wird. Bei den „Fangzahlen“ bzw. der Attraktionswirkung auf Insekten geht es vielfach um *sehr große spektral bedingte Unterschiede*, d.h. Licht mit starken kurzwelligen Anteilen kann leicht doppelt so viele Insekten anziehen als solches mit geringen kurzwelligen Anteilen.
- Schließlich weiß man seit etwa einem Jahrzehnt genauer, dass unser (menschliche) Tag-Nacht-Rhythmus am stärksten durch Licht mit Blau-Anteilen (um 440nm Wellenlänge) beeinflusst wird. Sind wir Menschen (und die meisten Säugetiere) Licht mit erheblichen Blauanteilen ausgesetzt, so unterbleibt die für die Nachtstunden, besonders für die 2. Nachthälfte, vorgesehene *Freisetzung des Ruhehormons Melatonin*. Dies hat eine Reihe von negativen Auswirkungen auf unsere Gesundheit, auf die hier aus Zeitgründen nicht näher eingegangen werden kann.

Kurz und schlagwortartig zusammengefasst: *Wir sollten Außenbeleuchtung mit möglichst geringem Blauanteil einsetzen*. Zu beachten ist dabei, nochmals, dass nicht überall, wo wir kein Blau sehen, auch schon kein Blau vorhanden ist. Weißes, besonders kaltweißes, Licht hat immer mehr oder minder starke Blau-Anteile!

## D) „Timing“ der Beleuchtung

Im Abschnitt über die „Intensität der Beleuchtung“ wurde schon angedeutet, dass es nicht notwendig ist, künstliche Lichtquellen während sämtlicher Nachtstunden (das sind etwa 4000 Stunden im Jahr) in gleichbleibender Stärke eingeschaltet zu lassen. Gegenwärtig werden die technischen Möglichkeiten für die „Dimmbarkeit“ von Beleuchtung (insbesondere LED-Beleuchtung) immer besser.

Vor diesem Hintergrund lässt sich verschärfend sagen: Licht, das die ganze Nacht mit gleicher Intensität eine Straße, einen Gehweg usw. erleuchtet, ist „unintelligentes Licht“. Intelligentes Licht wird sich der faktischen Verkehrsdichte anpassen (müssen), d.h. im Laufe einer Nacht abzusenken sein, vielfach sogar um beträchtliche Faktoren – mehr als um einen Faktor Zwei wie im Falle der erwähnten Wiener Halbnachtschaltung. Damit sind folgende Vorteile verbunden:

---

<sup>6</sup> Ist der Himmel nicht klar (durch hohen Aerosolgehalt oder starke Luftfeuchtigkeit), so ist die Farbabhängigkeit der Streuung weniger stark ausgeprägt (darum ist nebeliger Himmel grau: alle Farben sind in diesem Falle annähernd gleich stark vertreten). Auch in diesem Falle macht man jedoch zumindest keinen Fehler, wenn man Licht einsetzt, das geringe Blauanteile enthält. Denn das längerwellige Licht wird jedenfalls – auch bei nicht klarem Himmel – weniger stark gestreut als das kürzerwellige.

- 1) eine signifikante Energieeinsparung, d.h. eine solche deutlich über 50%
- 2) Rücksichtnahme darauf, dass im Laufe der Nacht unsere Melatoninproduktion steigt (besonders nach 23h beim durchschnittlichen Chronotyp) und dass diese – vor allem beim Aufenthalt im Freien – umso weniger gestört wird, je geringer spät nachts das Beleuchtungsniveau ist.
- 3) eine geringere Aufhellung des Nachthimmels (= geringere Lichtverschmutzung) wenigstens in der zweiten Nachthälfte.

Abschließend möchte ich festhalten: Geschichte und gegenwärtige Praxis künstlicher Beleuchtung zeigen deutlich, dass zwei Gruppen von Faktoren ins Spiel kommen, wenn es darum geht, bewusster mit Licht im Außenraum (freilich auch in Innenräumen, doch dies war hier nicht mein Thema) umzugehen: technische Lösungen einerseits, ökologisch-physiologisch-kulturbezogene Faktoren andererseits. Zu glauben, Lichttechnik allein genüge für einen vernünftigen Umgang mit Kunstlicht ist ebenso abwegig wie die Annahme, man könne mit verbesserter Motorentechnik unsere Verkehrsprobleme lösen. 2-Liter-Motoren mögen eine erstrebenswerte Sache sein, sie eliminieren aber von sich aus keinen einzigen Stau in München und keine Feinstaubbelastung. Desgleichen werden 200-Lumen-pro-Watt-Leuchtmittel nicht automatisch dazu führen, dass wir unsere Nächte nicht mehr zu Tagen machen – eher im Gegenteil. Ein Umdenken, gestützt auf Licht-Ökologie, Zeit-Ökologie, Wahrnehmungsphysiologie, kritische Analyse von Licht-Mythen („Licht bringt Sicherheit“ usw.) ist erforderlich und ist vordringlich. Denn auch wenn Kunstlicht nicht zu den großen Energiefressern unserer Tage gehört, so kann es doch buchstäblich unheimlich viel zerstören, wie umgekehrt ein reflektierter Umgang mit Kunstlicht unsere nächtliche Wahrnehmung und das Leben nachtaktiver Tiere *um Größenordnungen* verbessern kann.

Es gibt in diesem Kontext nur einen Umstand, der mich etwas pessimistisch stimmt: Lichtverschmutzung ist – im Unterschied zu Luftverschmutzung, Gewässerverschmutzung, Lärm usw. – wie ein nächtlicher Spuk, der tags stets verschwindet. In derjenigen Zeit, wo wie Menschen doch nach wie vor am aktivsten sind, also tagsüber, ist dieser Spuk regelmäßig wieder vorbei. Spielte er sich, wie vielleicht in den Ländern des hohen Nordens, (fast) rund um die Uhr ab, wäre unsere Motivation, diesem Spuk ein Ende zu setzen, d.h. vernünftiger zu beleuchten, gewiss größer. Es mag damit zusammenhängen, dass es nordische Länder gibt, in denen die Außenbeleuchtung tatsächlich viel vorteilhafter gestaltet ist als in Mittel- oder gar Südeuropa. Denken Sie darüber nach – vielleicht bei einem Aufenthalt in Kopenhagen, wenn sich ein solcher für Sie ergeben sollte.

Zum Stichwort „hoher Norden“ passt auch das Zitat, mit dem ich diese Ausführungen beschließen möchte. Es handelt sich um einen kleinen Ausschnitt aus den Tagebüchern des dänischen Philosophen und Theologen Sören Kierkegaard. Er schreibt (um 1848):

*„Wenn der reiche Mann mit Laternen an seinem Wagen in der dunklen Nacht kutschert: sieht er ein kleines Stück besser als der Arme, der im Dunkeln fährt – aber er sieht auch nicht die Sterne, daran hindern ihn gerade seine Laternen. Ebenso mit aller weltlichen Verständigkeit, in der Nähe sieht sie gut, aber sie raubt die unendliche Aussicht.“<sup>7</sup>*

---

<sup>7</sup> Sören Kierkegaard, Die Tagebücher. 2. Band, Düsseldorf/Köln 1963, S. 238 (= Lose Zettel aus den Jahren 1845-1848).