



Lichtverschmutzung

Lukas D. Schuler, Dark-Sky Switzerland

In den Bergen schlafen wir tiefer und wachen morgens entspannter auf. Wir führen das gemeinhin auf die gesunde Bergluft zurück.

Ein weiterer wichtiger Grund könnte sein, dass die Nacht in der Schweiz in einer dunklen Landgemeinde etwa 500-mal weniger aufgehellt wird als in einer typischen Schweizer Stadt. Und zu viel Licht macht wach. Oder präziser gesagt: Kurzweiliges Licht verzögert oder verhindert den erholsamen Tiefschlaf von Wirbeltieren, stört die Ruhephase von Pflanzen und zieht Insekten an.

Unnötige Lichtemissionen belasten also Lebensräume mit Licht, da ein Anteil der Strahlung von der Quelle keiner beabsichtigten Nutzung zugeführt wird, sondern als Immission in benachbarte Naturräume oder eben ins eigene Schlafzimmer fällt und bewusst oder unbewusst störend wirkt.

Das müsste nicht sein. Vermeidet die Technik unnötige Lichtemissionen soweit möglich und sorgen Planer und Installateure für eine korrekte Anwendung gemäss lichttechnischen Normen (siehe Norm SIA 491), tun sie uns allen einen grossen Gefallen. Wir sollten als verantwortliche Architekten, Ingenieure, Elektroplaner und anderweitig mit Licht befasste Personen das drängende Problem «Lichtverschmutzung» in unsere Ausbildungsgänge aufnehmen oder als Lernende Dozierende dazu auffordern.

Eine junge urbane Generation wächst derzeit heran, welche den natürlichen Sternenhimmel (x-tausend Sterne) nicht mehr bestaunen kann, da er im Lichtsmog verschwindet. Der sternklare Nachthimmel ist ein natürliches Kulturerbe der Menschheit, das derzeit im Lichtsumpf ertrinkt.

Das Bewusstsein für diese Form der Störung, der Lichtstreuung und Aufhellung des Nachthimmels ist unter Beobachtern längst kein Geheimnis mehr, und das Unbehagen wuchs im Gleichschritt mit der Zunahme seit den 1980er Jahren stetig weiter [1].

Trotz einer intensiven, mahnenden Stimme durch Dark-Sky Gesellschaften weltweit (Gründung International Dark-Sky Association 1988, Dark-Sky Switzerland 1996) und trotz Umweltschutzgesetz (Strahlenschutz Art. 11 Abs. 2 USG) und entsprechenden Empfehlungen durch das Bundesamt für Umwelt BAFU 2005 [2] und der Einführung der Norm SIA 491 am 1. März 2013 [3] ist in einigen Regionen nach wie vor eine deutliche Zunahme des Problems feststellbar [4], obwohl die Umweltziele gegenteilig auf Stagnation oder Rückgang vereinbart wurden.

Ausserdem wurde inzwischen festgestellt, dass die Lichtverschmutzung nicht bei der Aufhellung des Nachthimmels halt macht, sondern auch direkt oder indirekt Ökosysteme beeinflusst und verändert [5, 6].

Kennt man die physikalischen Aspekte von Licht und ihre biologischen Wirkungen, kann man definitiv bessere Beleuchtungen einrichten, als dies bis heute oft geschieht.

Wir wollen der Technik zum Durchbruch verhelfen, die Leben schützt und wenig stört. Das kostet etwas mehr Planungs- und Installationsaufwand, bringt dem Bauherrn aber Rendite durch entsprechende Einsparung und gutes Umweltbewusstsein.

Was ist zu tun?

Physikalische und mathematische Grundsätze gelten immer unabhängig und sind daher zu berücksichtigen. Aus der Biologie erschliesst sich, an welche Bedingungen die natürliche Lebenswelt, inklusive Mensch, sich gewöhnt hat.

Der angestrebte Nutzen sollte die Wahl der Technik beeinflussen und diese dann normengerecht installiert und gesteuert werden.

Doch wie hell ist eigentlich hell?

Erläutert wird dies aus biologischer und physikalischer Sicht.

Vorgaben aus der Biologie: Licht ist nur ein kleiner, dem Auge sichtbarer Ausschnitt des gesamten elektromagnetischen Spektrums. Die Wahrnehmung von Licht hat mit der Empfindlichkeit der Fotorezeptoren für unterschiedliche Farben und Helligkeiten zu tun. Obwohl für Insekten, Reptilien, Vögel und Säugetiere jeweils andere Fotorezeptoren resultierten, hängt dies doch vorwiegend vom gewählten Lebensraum, dessen Nutzung und Nahrungsangebot über Jahrtausende ab.

Die Evolution ermöglichte uns das Sehen entsprechend dem Bedarf. Ein nachtaktives Tier muss empfindlichere Augen haben als ein am Tag aktives. Ein in ewiger Dunkelheit lebendes Tier hat keine Augen mehr, dafür aber einen ausgeprägten Tast- und Geruchssinn. Wir Menschen haben Farbrezeptoren für das Tagessehen und Hell-/Dunkelrezeptoren für das Nachtsehen bei geringen Lichtverhältnissen («Nachts sind alle Katzen grau»).

Alle Lichtmesstechnik (Lumen/Lux) bezieht sich auf die menschliche Wahrnehmung, welche in früheren Jahren erforscht wurde und die um die Erkenntnis ergänzt werden musste, dass blaues Licht (um 460 nm) nebst dem Pupillenreflex die innere Uhr steuert [7]. Als Tageswesen fühlen

wir uns nachts wohler in einer warmen Lichtfarbe (Feuer, Kerzen, Glühwendel), denn es beruhigt uns. Umgekehrt sind nachtaktive Organismen durch warmes Licht weniger gestört, da sie sich am kühleren Nachtblau des Himmels viel stärker orientieren als wir Menschen [8].

Vorgaben aus der Physik: Obwohl es Wahrnehmungsunterschiede gibt, leben wir alle auf demselben Planeten und haben dieselben natürlichen Lichtquellen. Allen voran die Sonne und deren Reflexion auf dem Mond. Die Strahlungsleistung für unser natürliches Sehen wird also maßgeblich durch die Sonne bestimmt. Und diese wird im All auf die Erddistanz bezogen als Solarkonstante definiert (Wikipedia: E_0 1367 W/m²) und umfasst das gesamte Sonnenspektrum.

Nun umgibt die Erde zum Glück auch eine schützende Atmosphäre, welche die eintreffende Sonnenstrahlung vor allem im kurzwelligen (ultravioletten, UV) Bereich des Lichts mindert. Die sogenannte Rayleigh-Streuung am Stickstoff der Luft verschafft uns dafür den sichtbar blauen Himmel bei hohem Sonnenstand (kurzer Lichtweg ins Auge) und die rötliche Sonnenscheibe und Dämmerung bei tiefem Sonnenstand (langer Lichtweg ins Auge). Sauerstoff, Wasserdampf und Treibhausgase absorbieren einen Teil der langwelligen Wärmestrahlung (Infrarot IR). Kommen Wolken hinzu, gelangt noch weniger Licht bis auf den Boden. Wird es Nacht, wird die schwächere Rayleigh-Absorption in der Ozonschicht als «Blaue Stunde» sichtbar. Der Nachthimmel ist grundsätzlich viel dunkler und hat eine blauere Lichtfarbe als das Sonnenlicht.

Illustration 1 erläutert die Himmelsstreuung. Die Farbtemperatur von Tageslicht ist eine Mischung aus der Rayleigh-Streuung am blauen Himmel und dem Sonnenlicht und ergibt 5500 Kelvin und mehr. In der Dämmerung ist die Farbtemperatur noch etwa 3500 K. Die Blaue Stunde (Rayleigh-Absorption) hat über 9000 K

und in der Nacht bei klarem Himmel steigt die Farbtemperatur weit über 15000K.



Illustration 1: v.l.n.r. Tageslicht, Dämmerung, Blaue Stunde, Nacht

Von der verbleibenden Lichtleistung gelangen so maximal 153 W/m^2 in unser sichtbares Wahrnehmungsfeld [9]. Dieser Wert entspricht gleissend hellem Sonnenlicht. Das Sonnenlicht enthält dabei immer noch alle sichtbaren Farben und erscheint als neutral-weisses oder gegenüber dem blauen Himmel hellgelbes Licht. Im Vergleich dazu scheint der Vollmond rund 400'000-mal schwächer und reflektiert das Sonnenlichtspektrum. Die helleren Sterne wiederum scheinen noch einmal 125'000-mal schwächer als der Vollmond.

Bionik lohnt sich.

Die Bionik kombiniert Erkenntnisse aus der Natur für die Nutzung in der Technik. Wir können mit gutem Gewissen davon ausgehen, dass sich kein Homo sapiens je an eine Lichtleistung grösser als 153 W/m^2 gewöhnen konnte. Man sollte sich also davor hüten, Menschen direkt mit Lichtquellen von höherer Strahlungsleistung zu konfrontieren, blendet doch bereits spiegelndes Sonnenlicht derart, dass wir uns reflexartig abwenden und der Pupillenreflex die Iris schnellstmöglich verengt oder sogar den Lidschluss auslöst.

Es ist uns daher ein Rätsel, weshalb man Leuchtmittel mit offenem Visier installiert, welche gut einsehbar weisses Licht bis über 1000 W/m^2 abgeben und blenden (eigene Leuchtdichte-Messungen). Licht stellt bei Blendung immer auch ein Sicherheitsrisiko dar, z.B. wegen eingeschränkter Orientierung (siehe Illustration 2). Der Dark-Sky Profi unterscheidet übrigens nebst direkter Blendung unnötige Lichtausbreitung, konzeptloses Lam-

penwirrwarr und kumulierte Lichtglocken, welche insgesamt zu Immissionen beitragen.



Illustration 2

So nicht: Der Betrachter sieht beim Original ein deutliches Nachbild im geschlossenen Auge. Die Blendung durch die Lampe sogar am helllichten Tag (vergleiche Reflexion auf Edelstahlrand durch die Sonne) ist nachweisbar. Diese Lichtquelle bleibt 24 h pro Tag übermässig hell und beleuchtet eine offene Rampe - ineffizienter geht es nicht!

Hersteller produzieren immer das Machbare. Designer und Hersteller von Leuchten beeinflussen die Quelle quantitativ (wie hell, wie effizient) und qualitativ (Spektrum, Farbtemperatur, Polarisation, Lebensdauer) und ermöglichen die mehr oder minder sinnvolle Nutzung (Lichtlenkung, Optik, Abschirmung, Geometrien, Anschlüsse, Steuerung, Sensoren).

Verantwortungsbewusste Wahl der Planer und Techniker

Es liegt an den Planern und Installateuren, nur gute Konzepte umzusetzen und Steuerungen normengerecht zu programmieren.

Je nach *Nutzung* werden verschiedene Konzepte angestrebt und umgesetzt. Falls es um Orientierung und Sicherheit geht, steht die normierte Ausleuchtung, die gute und möglichst blendfreie Abschirmung für Nutzer und die Abstimmung auf Nutzungsdauer oder Besucherfrequenz mit Steuerung im Vordergrund. Für nicht-sicherheitsrelevante Beleuchtung gilt die Nachtruhe von 22.00-6.00 Uhr als oberstes Gebot und begründbare Ausnahmen sind gemäss Norm SIA 491 bewilligungspflichtig und von der Nutzung abhängig (salopp: ohne Kunden kein Licht). Das Bundesgericht gab bisher nachbarschaftlichen Kla-

gen bei störenden Immissionen Recht und wird das auch weiterhin tun.

Wie ist der tatsächliche Bedarf? Die Norm SIA 491 hinterfragt neue Lichtquellen auch dahingehend, ob aus Vernunft darauf verzichtet werden kann, da z.B. bereits die öffentliche Beleuchtung an Ort und Stelle genügend Licht bietet. Der Grundsatz «so viel wie nötig, so wenig wie möglich» ist aus Gründen der Effizienz und des Umweltschutzes anzuwenden.

Die Lichtverschmutzung entsteht aus der Summe aller störenden Lichtstrahlen. Die Reduktion gelingt dann, wenn die Nutzungsdauer reduziert und die Abschirmung verbessert wird und nur Leuchten installiert werden, die man tatsächlich noch benötigt (Rückbau statt konzeptlose Installation).

Der unten abgebildete, moderne Hauseingang, Baujahr 2014, verletzt die Norm SIA 491 aus mehreren Gründen.



Illustration 3

1. Die obere Lichtquelle ist unnötig und trägt nichts zur Sicherheit bei.
2. Alle Lichtquellen sind über der Horizontalen nicht abgeschirmt.
3. In der Nachtruhezeit nach 22.00 Uhr laufen die Lichter noch Stunden (wenn nicht gar die ganze Nacht) im Dauerbetrieb statt über Bewegungsmelder.
4. Der Lichtstrom in der Nachtruhezeit ist störend, das heisst die Immissionen vis-à-vis sind beachtlich und müssten wohl reduziert werden.

Wäre ein Mitglied von Dark-Sky Switzerland davon betroffen, würde es wohl das Gespräch mit dem Inhaber suchen und Informationsmaterial abgeben. Wenn dies nicht den gewünschten Erfolg hätte, würde eine Mes-

sung veranlasst und der Grad der Störung festgestellt. Ist diese erheblich, hätte der Rechtsweg Erfolg, wenn Anwohner im Umkreis von 100 Metern betroffen sind. Grössere Störungen werden auch über grössere Distanzen gewürdigt.

Grenzwerte gibt es in der Schweiz in einigen Städten für Schaufenster und Leuchtreklamen, aber der gesunde Menschenverstand spürt intuitiv, wie hell es am Schlafzimmerfenster sein darf. Der Mensch kann sich durch Storen auch selber schützen, die Natur kann das nicht.

Welche Technologie bietet das Gewünschte? Quecksilberdampflampen wurden in Europa aus dem Handel genommen. Nun stehen vor allem Natriumdampflampen und LED einander gegenüber. Seltener werden noch Halogenlampen oder Leuchtstoffröhren eingesetzt. Die Effizienz dieser Leuchtmittel unterscheidet sich und LED läuft den anderen immer mehr den Rang ab, später kommen wohl OLED für Flächenlichter hinzu (siehe Tabelle 1). Die Wahl der Leuchtmittel beeinflusst die Betriebs- und Unterhaltskosten deutlich. Hersteller publizieren Lichtstärkeverteilungen und Effizienzklassen, manche geben auch Farbtemperaturen oder sogar Spektren preis.

Leuchtmittel	um
Feuerstelle	-787'996
Öllampe	-10'000
Wachskerze	200
Gaslampe	1785
Glühfadlampe	1845 - 1879
Gasentladungslampe	1857
Plasmalampe	1892
LED	1962 - 1989
Laserdiode	1963 - 1970
Halogenlampe	1964 - 1992
OLED	1987 - 2006

Tabelle 1: Geschichte der Leuchttechnik

Gibt es eine bessere Variante? Wichtigstes Kriterium für die Wahl der Leuchtmittel sollte nicht die Effizienz (Lumen pro Watt) allein sein. Mit LED gegenüber herkömmlichen Leuchtmitteln sind Energieeinsparungen von mindestens 50% bis zu 65% möglich. Wenn wir die Farbtemperatur auch bei LED auf unter oder maximal 3000 Kelvin senken (warmweiss oder gelblich), gewähren wir

für die nächsten 40 Jahre einen zusätzlichen Schutz zum Preis einer maximalen Erhöhung des Energiebedarfs um 10% des tieferen Werts.

Weitere Einsparungen sind durch automatisches Ausschalten in der Nachtruhezeit, Steuerung der Nachtabsenkungen nach Wochentagen, durch Licht nach Bedarf mit Radar oder Sensoren jederzeit möglich. Im Zweifelsfall beraten professionelle Lichtplaner ausführlich.

Das enge Spektrum einer Niederdruck-Natriumdampflampe im orangegelben Licht ist wohl weit weniger störend für die meisten Organismen als eine LED, hat aber eine geringe Farbwiedergabequalität. Nun gibt es bereits auch orange LED im Handel, welche als Ersatz für Natriumdampflampen dienen, um wenigstens die Energieeffizienz zu erhöhen, aber Lebensräume empfindlicher Arten (Fledermäuse) kaum zu stören.

Vorbildlich wird in Zukunft heissen, sowohl Normen als auch Empfehlungen einzuhalten. Im Umweltschutz vor Strahlung wird explizit verlangt, dass Licht an der Quelle soweit zu begrenzen sei, dass es zu keinen schädlichen Auswirkungen kommt. Mit der Einhaltung der Norm SIA 491 und unter Beachtung der Empfehlungen von LEED (Abschirmung, Lichtschutzzonen) in [9] und Dark-Sky Switzerland betreffend Farbtemperatur bewegen sich Verantwortliche auf vorbildlichem Terrain.

Lichtplaner, welche sich zur Arbeit gemäss dieser Richtschnur selber verpflichten, werden künftig durch Dark-Sky Switzerland weiter empfohlen, damit die Lichtverschmutzung in der Schweiz erstmals wieder abnimmt. Die Hoffnung stirbt zuletzt.

Referenzen

- [1] Crawford DL. 1989. Light pollution, radio interference and space debris. Colloquium No. 112, held 13 to 16 August 1989 in Washington DC. Proceedings of the International Astronomical Union, ISBN 0-937797-36-8
- [2] Klaus G, Kägi B, Kobler RL, Maus K, Righetti A. 2005. Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. 2005, Vollzug Umwelt. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
- [3] Die Norm SIA 491 «Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum» (24 Seiten A4, 81.- Fr.) kann bestellt werden unter: distribution@sia.ch
- [4] Kanton Zürich. 2015. Umweltbericht 2014. Baudirektion im Auftrag des Regierungsrats des Kantons Zürich
- [5] Longcore T, Rich C. 2004. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2004, 2(4), 191-198
- [6] Gaston KJ, Davies TW, Bennie J, Hopkins J. 2012. Reducing the ecological consequences of night-time light pollution: options and developments. *Journal of Applied Ecology* 2012, 49, 1256-1266
- [7] Gall D. 2004. Grundlagen der Lichttechnik. Kompendium, ISBN 3-7905-0923-X
- [8] Hotz T, Kistler C, Bontadina F. 2011. Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung. Grundlagenbericht, zweite aktualisierte Zusammenstellung. Zürich: SWILD - Stadtökologie, Wildtierforschung, Kommunikation
- [9] Publikation der Herleitung in Vorbereitung für Dark-Sky Switzerland
- [10] Light Pollution Reduction in LEED. Reference Guide for Building and Construction v4. 2013, 207-224, ISBN: 978-1-932444-18-6

Impressum

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

www.satw.ch

Juni 2015

Dieser Artikel entstand für die SATW Rubrik „Im Fokus“ zum Thema Licht.

Gestaltung: Claudia Schärer

Bilder: Lukas D. Schuler, Dark-Sky Switzerland