Analyse über Lichtemissionen in Aeugst am Albis 2016

Lichtemissionen, Herbst 2016
Lichtemissionen, Trend 2012-2017
Analyse

Zusammenarbeit:
Dark-Sky Switzerland
Rolf Schatz
Postfach
8135 Langnau am Albis
Switzerland

Technologiepartner:
xirrus GmbH
Lukas Schuler
Buchzelgstrasse 36
8053 Zürich
Switzerland

Auftraggeber:
Gemeinde Aeugst am Albis
Tiefbauvorsteherin
Nadia Hausheer
Dorfstrasse 22, Postfach
8914 Aeugst am Albis

Autor des Berichts:
Lukas D. Schuler

Interne Kontrolle:
Christian D. Berweger

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung **3**

2 Vorgehen **4**
2.1 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Durchschnitt Herbst 2016 4
2.2 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Trend 2012-2017 4
2.3 Weshalb wir die Lichtstärke pro Gemeinde auswerten 5

3 Resultate **5**
3.1 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Durchschnitt Herbst 2016 5
3.2 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Trend 2012-2017 6

4 Analyse und Diskussion **9**
4.1 Aktuelle Situation Aeugst am Albis Herbst 2016 9
4.2 Langzeittrend Aeugst am Albis 2012-4 bis 2017-2 9
4.3 Schlussfolgerung 11

5 Allgemeiner Massnahmenkatalog **12**
Einbezug umweltfreundlicherer Beleuchtung in die Energiestrategie 12
Baubehörde, Baubewilligungen, Bau- und Zonenordnung 14
Empfehlungen an Gewerbetreibende oder Einführung einer Nachtruheverordnung 14
Bewilligung von Schaufensterbeleuchtungen und Leuchtreklamen 14
Polizeiverordnung, Nachtruhe 14

6 Anhang **14**
6.1 Gedanken von Dark-Sky Switzerland zum Thema Lichtverschmutzung 14
6.2 Normen für öffentliche Strassenbeleuchtung und Lichtschutzzonen durch LEED 15
Strassenklassen ME1 bis ME6, EN 13201-1: Leitfaden zur Auswahl der Beleuchtungsklassen . 15
Lichtschutzzonen LZ0 bis LZ4 nach LEED 16
6.3 Weitere Normen und Empfehlungen, relevant für Beleuchtung im Aussenraum 17
In der Schweiz anwendbare Normen 17
Weiterführende Normen und Empfehlungen aus anderen Ländern als Unterstützung 17
6.4 Technische Anmerkungen 18

1 Einführung

In der Schweiz hat die Lichtverschmutzung in den letzten Jahrzehnten zugenommen. Das Bundesamt für Umwelt hat im Bericht von 2012 die Zunahme von 70% zwischen 1994 und 2009 genannt. Die Lichtverschmutzung bezeichnet den unnötigen Anteil der Lichtemissionen (auch Lichtabfall genannt), welcher Störungen in der Umwelt verursacht und aus ökonomischer Sicht eine Verschwendung darstellt. Zu den Installationskosten für Aussenbeleuchtung kommen unnötige Betriebskosten durch Lichtabfall oder Dauerbetrieb hinzu, und allfällige Folgekosten durch Immissionen und deren Korrekturen fallen an. Daher ist eine gute Planung der Aussenbeleuchtung unter Berücksichtigung der Umweltproblematik immer erstrebenswert. Sie erspart spätere Umtriebe und reduziert die Folgekosten der unerwünschten Wirkungen. Doch bevor man über Wirkungen und Massnahmen diskutieren kann, sollte man den Ist-Zustand erfassen. Neben dem Ist-Zustand hilft auch eine erste Trendanalyse aus den letzten Jahren weiter. Das wurde in diesem Bericht gemacht.

Um die unnötigen Lichtemissionen (Lichtverschmutzung) über längere Zeit systematisch zu beobachten, gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Man kann die künstliche Aufhellung des Nachthimmels messen. Dies geschieht normalerweise ortsgebunden durch Messung der Himmelshelligkeit über dem Beobachter mit einem sogenannten Sky Quality Meter (SQM).[1] In der Schweiz betreibt der Kanton Tessin ein fest installiertes Messnetz zu diesem Zweck mit zur Zeit zehn Messstationen.[2] Die Geräte haben eine gute Qualität zum moderaten Preis und lassen sich in Datennetze einbinden, aber eine flächendeckende Erfassung der Situation ist so kaum denkbar. Zudem ist die Datenaufbereitung zur Beseitigung von Witterungseinflüssen (Bewölkung, Regen) und Störlicht auch nicht ganz einfach.

- Eine alternative Technik sind geeichte All-Sky-Kameras. Mit diesen Fotokameras kann man ebenfalls ortsgebundene Aufnahmen der gesamten Umgebung und ihrer Leuchtdichte machen. Die Technik ist teurer und eher für Einzelbeobachtungen und Forschung geeignet. Ein Vorstandsmitglied von Dark-Sky Switzerland besitzt eine solche Kamera und kann für Projekte engagiert werden.

- Statt bodengebunden die indirekte Aufhellung des Nachthimmels zu studieren, kann man auch auf das Lichtquellenstudium aus grosser Höhe setzen. Luftaufnahmen sind dafür kostspielig und begrenzt. Drohnen könnten kleinräumig guten Ersatz leisten, müssen aber noch einige technische und administrative Hürden überwinden bis es soweit ist.
  Als letztes bleibt der Umweltsatellit NPP Suomi, der sichtbares Licht und teilweise Wärmestrahlung erfasst. Wenn die Atmosphäre über der Schweiz wolkenlos ist, registriert er die Helligkeit des Landes und zeichnet sie auf. Der Satellit ist selbstredend über dem ganzen Globus unterwegs und erfasst fast alle Gebiete (ausser die Polkappen). Er erfasst kontinuierlich und systematisch und daher vergleichbar die Lichtemissionen. Zudem sind die Messdaten zugänglich. Aus den Messdaten des Umweltsatelliten können wir Rückschlüsse auf die Menge Kunstlicht in der Schweiz und auf Veränderungen innerhalb von Gemeinden ziehen.

Unsere detaillierte Analyse der Lichtemissionen von Aeugst am Albis basiert also auf den Messungen des Umweltsatelliten NPP Suomi im sichtbaren Licht (VIS) und nahen Infrarot (IR) von 500-900 nm Wellenlänge. Mehr über die Details der technischen Überlegungen dazu befinden sich im Anhang Seite 18.

2 Vorgehen

S. 7 Aus der Statistik vom Herbst (Monate August bis Oktober) 2016 konnten wir den aktuellen Zustand der Lichtemissionen in Aeugst am Albis abdecken.

S. 8 Aus der Statistik über den ganzen Messzeitraum des Satelliten seit Inbetriebnahme, das heisst inklusive der Beta-Phase der Auswertungen, konnten wir vom April 2012 bis Februar 2017 den Trend der Zu- oder Abnahme der Lichtstärke auswerten.

S. 9 Im letzten Teil wird die Interpretation mitgeliefert (Kommentare zu Auffälligkeiten und Interpretation).

2.1 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Durchschnitt Herbst 2016

1. Wir stellen die Leuchtdichte in der maximal erhältlichen Auflösung (ein Pixel = 320 x 460 m) für die Gemeinde auf einer Karte in Landeskoordinaten dar. Wir ergänzen die Skala mit dem natürlichen Vollmond, um normierte Grenzen der Europäischen Beleuchtungsklassen für Strassen (ME1 bis ME6, EN13201) und um die Lichtschutzzonen der Empfehlungen der Leadership in Energy and Environmental Design (LEED, LZ1-LZ4,[3]). So kann man Gebiete mit Handlungsbedarf lokalisieren. Die Klassen und Zonen haben wir fürs Verständnis im Anhang durch Beschreibungen ergänzt Seite 15.

2. Angrenzende Gemeinden werden in Graustufen abgebildet, damit man die Fortsetzung von Licht erahnen kann, und sie werden in eine relative Rangliste gebracht und aufgeführt, damit man die eigene Position der Gemeinde abschätzen kann.

3. Zusätzlich bilden wir das Histogramm für die Gemeinde ab, das ein Gespür für die Verteilung der Leuchtdichten und den Bestand an naturnahem Licht (Dunkel) gibt. Das gibt ein Mass für den Handlungsbedarf.

4. Ähnlich wie Lichtschutzzonen werden die Lichtmengen in aufsteigende Klassen unterteilt, welche die Dringlichkeit für Massnahmen zum Schutz der Umwelt nahelegen. Die Klassen orientieren sich an der naturnahen Dunkelheit in Vollmondeinheiten, welche durch die Mondsymbole von Leer- bis Vollmond einmal klar deklariert wird.

2.2 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Trend 2012-2017

1. Wir bilden die Zeitreihe über alle Messwerte (April 2012 bis Februar 2017) und machen eine lineare Regression auf jedem Messpixel. Wir berechnen die Veränderung der Leuchtdichte pro Jahr pro Messpixel für die ausgewählte Gemeinde.

2. Wir stellen die Veränderung als Werte auf einer Gemeindekarte dar. Die Unsicherheit der Trends als Ganzes ist jedoch beachtlich, wie man an der summarischen Auswertung erkennt. Keine Veränderung wird grau dargestellt, damit die Karte lesbar bleibt.

3. Die Skala umfasst nur die zentrale Gemeinde und nicht das umliegende Land.

4. Angrenzende Gemeinden werden nur schwach gefärbt in Grau abgebildet, damit man die Fortsetzung des Trends erahnen kann. Die Farben werden auf der Skala um dunkleres Blaugrün und Dunkelrot ergänzt, falls die die zentrale Farbskala unter oder überschritten wird. Umliegende Gemeinden werden in eine relative Rangliste gebracht und aufgeführt, damit man die eigenen Position der Gemeinde im Trend abschätzen kann.

5. Zusätzlich bilden wir das Histogramm für die Gemeinde ab, das ein Gespür für die flächigen Anteile am Trend gibt.

2.3 Weshalb wir die Lichtstärke pro Gemeinde auswerten

Wieso wird die künstliche Lichtstärke in Bezug zur politischen Einheit gesetzt und nicht in Bezug auf die Fläche oder in Bezug auf die Anzahl Einwohner? Diese Frage wurde uns schon oft gestellt und deshalb hier unsere Antwort darauf: Die Leuchtdichte oder Lichtmenge pro Kopf kann jederzeit aus den statistischen Eckwerten der Gemeinde ausgewertet werden. Die Aussage die dadurch entsteht, wäre jedoch jeweils eine andere. Mit Licht pro Fläche, also der Leuchtdichte, lässt sich die örtliche Aufhellung gut beschreiben, daher verwenden wir diese in C für die Gemeindekarte. Eine Unterscheidung von Siedlungsgebieten und Freiräumen ist rasch möglich, da wir hier die Lichtquellen betrachten. Aber als durchschnittliche Leuchtdichte pro Gemeindegebiet wird sie nahezu wertlos, da Gemeindeflächen in der Regel mehrere Quadratkilometer umfassen. Dies wäre, wie wenn man die Bevölkerungsdichte pro Gemeinde angeben würde, statt die Einwohnerzahl. Würde man die Lichtmenge pro Einwohner berechnen, wäre das eine Aussage zum Einsatz von Licht, ob er haushälterisch oder verschwenderisch erfolgt. Das erinnert aber eher an die Energiepolitik als an die Störwirkung auf die Umwelt.

Mit der Lichtstärke pro Gemeinde erhalten politisch Verantwortliche eine vergleichbare Angabe zu den Nachbarn, welche unabhängig von der eigenen Gemeindegrösse (Fläche, Einwohner) betrachtet werden soll, da die Fernwirkung auf die Umwelt (Lichtglocke) ausschliesslich von der freigesetzten Lichtmenge abhängt. Jede Gemeinde ist damit für ihre gesamte emittierte Lichtmenge verantwortlich, die nicht durch eine grosse Fläche oder Einwohnerzahl gemildert wird.

Der Blick von oben (vom Satelliten) ist ein guter Ansatz, um unnötige Lichtemissionen besser zu sehen (z. B. Skybeamer, Gewächshäuser, hell erleuchtete Plätze). Alles Licht, was vom Satelliten einsehbar ist, erfüllt am Himmel keinen Zweck, sondern trägt zur Lichtverschmutzung (Aufhellung der Umwelt) bei. Von Städten wie Zürich ist eine Verdoppelung der natürlichen Himmelshelligkeit durch künstliche Aufhellung im Umkreis von etwa 25 km nachgewiesen (Falchi et al., Daten und Eichung von 2015[4]). Jedoch gibt es kein Licht, das nicht wenigstens indirekt zur Lichtverschmutzung beiträgt. Um eine Strasse sehen zu können, wird sie beleuchtet. Eine beleuchtete Strassen emittiert immer auch Licht nach oben und hellt den Himmel mit auf. Daher ist es vernünftig, Strassen gemäss Normen dort und dann zu beleuchten, wo und wann es für die Verkehrssicherheit erforderlich ist und in dem Mass, das die Norm vorschreibt und nicht viel heller. Mit moderner Technik ist es möglich den Lichtstrom elektronisch konstant zu regeln, so dass die Alterung der Lichtquellen kompensiert wird. Es muss daher nicht mehr heller beleuchtet werden, damit der Wartungswert am Ende der Lebensdauer erreicht wird. Ausserdem erlaubt die neueste Norm EN13201-5 der Energieeffizienz den Einsatz von Dimmern und somit die Anpassung an tiefe Nutzungsfrequenzen zu später Stunde nach unten.

3 Resultate

3.1 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Durchschnitt Herbst 2016

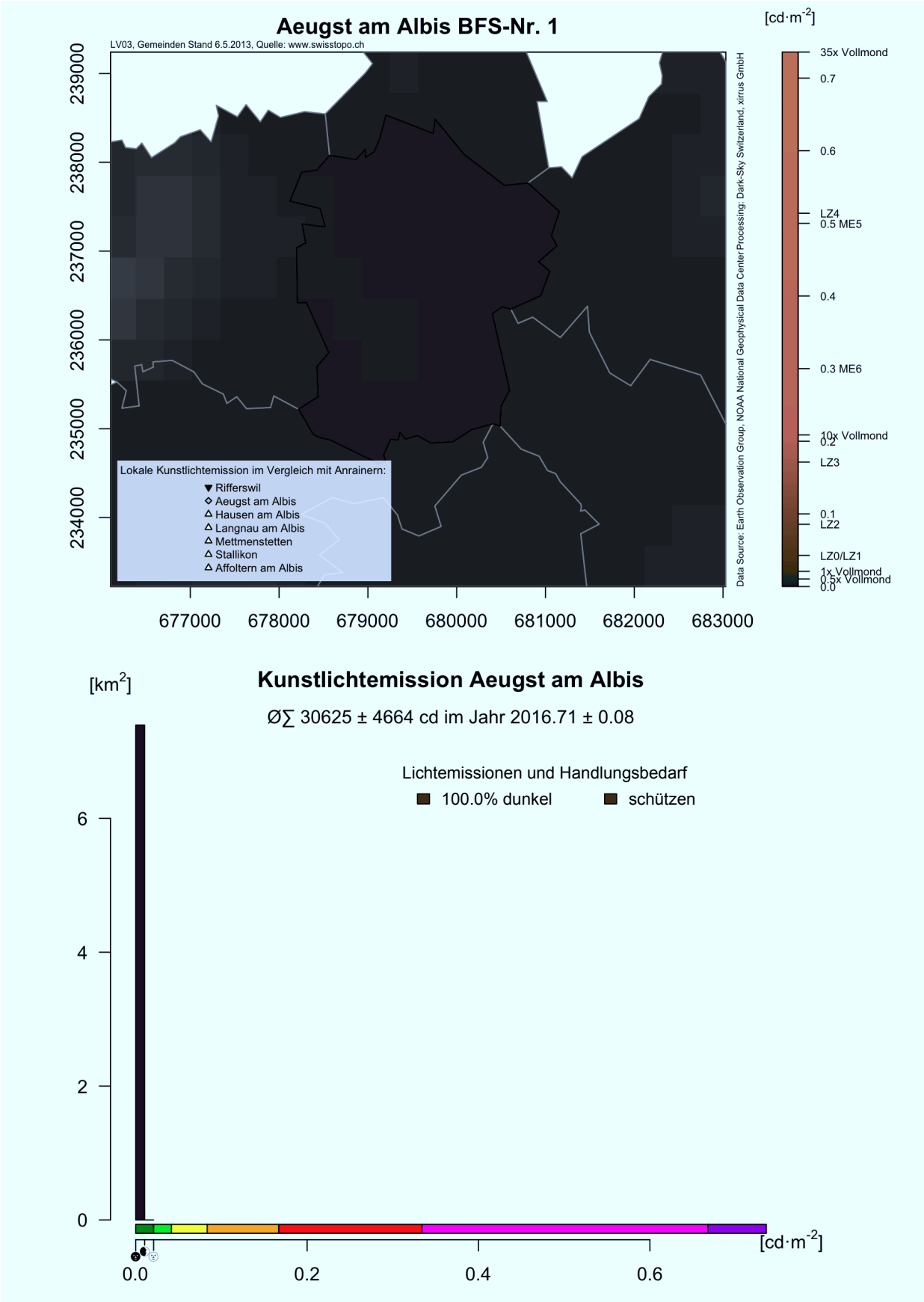
Im Zeitraum von August bis Oktober 2016 mass der Umweltsatellit die Lichtemissionen in klaren Nächten zwei Wochen um den Neumond. Die durchschnittlich gemessene Leuchtdichte bilden wir in $cd \cdot m^{-2}$ ab. Die Rangfolge erfolgt im Vergleich zu den Nachbargemeinden für absolute Lichtstärken in Candela. Die Farbskala ist global definiert, so dass sie weltweit für alle Lichtsituationen funktioniert. Die Maximalwerte beziehen sich auf das jeweilige Land im betrachteten Zeitraum. Die Einschätzung der Lichtemissionen und der abgeleitete Handlungsbedarf wurden von Dark-Sky Switzerland erarbeitet.

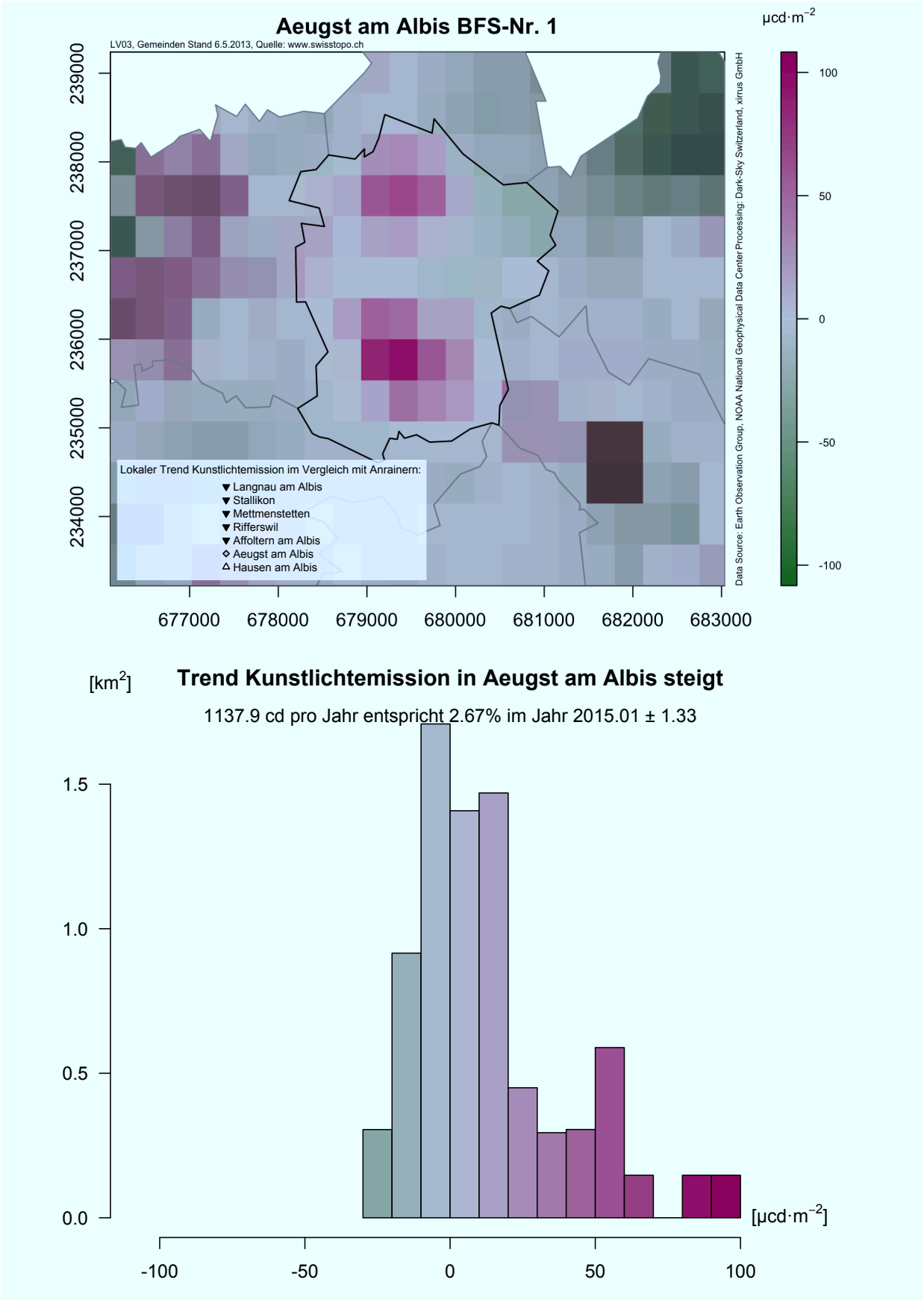
S. 7 Aeugst am Albis

3.2 Aeugst am Albis, Lichtemissionen, Trend 2012-2017

Trends sind aufgrund monatlicher Schwankungen mit einem hohem statistischen Fehler behaftet. Die örtliche Auflösung scheint dennoch präzise genug, um manche Änderungen der Emissionen Objekten zuzuordnen. Als Messzeitraum verwenden wir aktuell die verfügbaren Daten des Satelliten, er umfasst die Monate von April 2012 bis Februar 2017, mit Lücken im Sommer 2012 und 2013, da in der Beta-Phase die Streulichtkorrektur des Nordpolarsommers noch nicht berechnet wurde. Die Abweichungen der gemessenen Leuchtdichten in μcd·m^{-2} pro Jahr ergeben sich aus den geringen Schwankungen in der Gemeinde pro Messfeld. Die Rangfolge der Veränderung erfolgt auch hier wieder im Vergleich zu den Nachbargemeinden. Die Verteilung der Lichtemissionen auf Zu- und Abnahmen zeigt die Ausreisser und die Tendenz des Trends gut.

S. 8 Aeugst am Albis


Aeugst am Albis BFS-Nr. 1
LV03, Gemeinden Stand 6.5.2013, Quelle: www.swisstopo.ch
[cd·m-2]
35x Vollmond
0.7
0.6
LZ4
0.5 ME5
0.4
0.3 ME6
10x Vollmond
0.2
LZ3
0.1
LZ2
LZ0/LZ1
1x Vollmond
0.5x Vollmond
0.0
Data Source: Earth Observation Group, NOAA National Geophysical Data Center Processing: Dark-Sky Switzerland, xirrus GmbH
Lokale Kunstlichtemission im Vergleich mit Anrainern:
Rifferswil
Aeugst am Albis
Hausen am Albis
Langnau am Albis
Mettmenstetten
Stallikon
Affoltern am Albis
234000
235000
236000
237000
238000
239000
677000
678000
679000
680000
681000
682000
683000
[km2]
Kunstlichtemission Aeugst am Albis
ØΣ 30625 ± 4664 cd im Jahr 2016.71 ± 0.08
Lichtemissionen und Handlungsbedarf
100.0% dunkel
schützen
6
4
2
0
[cd·m-2]
0.0
0.2
0.4
0.6


Aeugst am Albis BFS-Nr. 1
LV03, Gemeinden Stand 6.5.2013, Quelle: www.swisstopo.ch
µcd·m^{-2}
100
50
0
-50
-100
Data Source: Earth Observation Group, NOAA National Geophysical Data Center Processing: Dark-Sky Switzerland, xirrus GmbH
239000
238000
237000
236000
235000
234000
677000
678000
679000
680000
681000
682000
683000
Lokaler Trend Kunstlichtemission im Vergleich mit Anrainern:
▼ Langnau am Albis
▼ Stallikon
▼ Mettmenstetten
▼ Rifferswil
▼ Affoltern am Albis
◇ Aeugst am Albis
△ Hausen am Albis
[km^2]
Trend Kunstlichtemission in Aeugst am Albis steigt
1137.9 cd pro Jahr entspricht 2.67% im Jahr 2015.01 ± 1.33
1.5
1.0
0.5
0.0
[µcd·m^{-2}]
-100
-50
0
50
100

4 Analyse und Diskussion

4.1 Aktuelle Situation Aeugst am Albis Herbst 2016

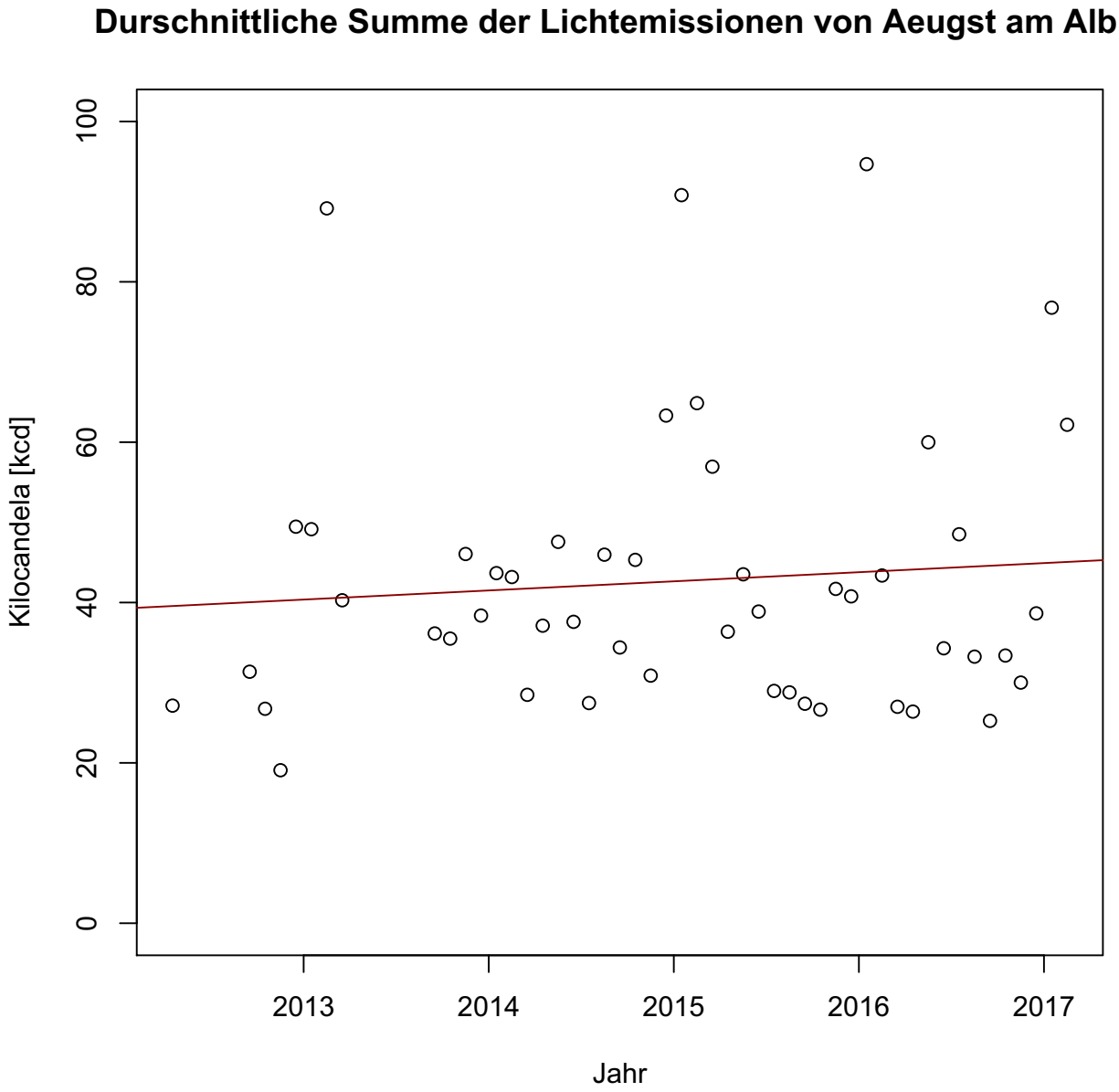
Eine Überprüfung der Resultate muss vor Ort mit entsprechender Ortskenntnis erfolgen. Die generelle Frage, ≪Wer löscht wann das Licht?≫, beeinflusst die mögliche Lichtverschmutzung, aber auch die Energiekosten enorm. Unsere Anmerkungen beinhalten Empfehlungen für Überprüfungen und Optimierungen, ohne verpflichtendes Dokument zu sein.

S. 7	Aeugst am Albis	Aeugst am Albis hat noch Gebiete mit naturnaher Dunkelheit, d. h. die durchschnittlichen Leuchtdichten übertreffen nirgends einen Vollmond. Die Belastung mit Kunstlicht wird daher als gering beurteilt und von Dark-Sky Switzerland als schützenswert betrachtet. Note: ≪Sehr gut≫! Eine leichte Aufhellung macht sich entlang der Verkehrsachse Richtung Affoltern am Albis / Aeugstertal bemerkbar. Vielleicht gibt es dort öffentliche Beleuchtung, die lange in Betrieb bleibt oder es sind viele Fahrzeuge unterwegs oder der Satellit bemerkt eine Aufhellung der Hanglage von Lichtimmissionen aus Affoltern am Albis. Aus dem Ist-Zustand vom Herbst kann zur Zeit kein akuter Handlungsbedarf abgeleitet werden. Umso erfreulicher ist es, wenn die Gemeinde eine Lichtstrategie einführt, um in Zukunft nicht schlechter dazustehen. Von den Nachbargemeinden weist nur das etwas kleinere Rifferswil weniger Lichtemissionen auf.

4.2 Langzeittrend Aeugst am Albis 2012-4 bis 2017-2

Langfristige durchschnittliche Veränderungen bewegen sich auf recht tiefem Niveau, da sich kurzfristige Schwankungen über lange Zeit ausgleichen. Dennoch sollte jeweils erkennbar sein, wo eine Zunahme und wo eine Abnahme von Bedeutung sein könnten. Die Schwankungen einzelner Monate können erheblich ausfallen (z. B. durch Weihnachtsbeleuchtung, Baustellen). Daher sind die Fehler der Trendrechnungen generell hoch. Die Maximalen und Minimalen Ausschläge versuchen wir dennoch zu lokalisieren, das hilft, Lichtquellen-Änderungen der Vergangenheit zu identifizieren und einzuschätzen.
Eine Überprüfung der Resultate muss vor Ort mit entsprechender Ortskenntnis erfolgen.

Wenn man die monatlichen Lichtstärken (in Candela) berechnet, kann man den Trend summarisch betrachten. Es zeigt sich die hohe Saisonalität mit starken Ausschlägen nach oben bei Schnee und sinkender Tendenz bei Nebel. Aus diesem Grund haben wir für die Auswertung des Ist-Zustandes die Monate um die Tag- und Nachtgleiche gewählt, wo saisonale Effekte geringer sind und auch die Störungen durch das streuende Sonnenlicht in der Atmosphäre fast wegfallen.


Durschnittliche Summe der Lichtemissionen von Aeugst am Albis
Kilocandela [kcd]
0
20
40
60
80
100
2013
2014
2015
2016
2017
Jahr

S. 8	Aeugst am Albis	Eine Abnahme war praktisch nur auf bewaldeten Flächen feststellbar. Die grösste Abnahme in Aeugst am Albis zeigt sich in Richtung Langnau am Albis, das wohl durch die eigene Lichtstrategie und die kantonalen Massnahmen (Sihltalstrasse, Naturpark Sihlwald) tatsächliche Fortschritte aufweist (nur eine Zunahme in einem umgerüsteten Quartier nachweisbar). Eine Zunahme gab es im beobachteten Zeitraum auf dem besiedelten Gebiet von Aeugst selber, und auch in Aeugstertal. Dabei handelt es sich in Aeugst am Albis mit hoher Wahrscheinlichkeit um die Kirchenbeleuchtung. Daneben dürfte das Ortszentrum durch Schaufenster, Leuchtreklamen oder öffentliche Beleuchtung stärker inszeniert worden sein. Die restliche Zunahme, vor allem auch in Aeugstertal (Mülibergstrasse), geht wohl auf die öffentliche Strassenbeleuchtung zurück. Aeugst am Albis schnitt in der Rangfolge hinter Hausen am Albis am zweitschlechtesten ab. Langnau am Albis schneidet beim Trend am besten ab (die Lichtstrategie wirkte).

4.3 Schlussfolgerung

Aeugst am Albis weist im Herbst 2016 eine vorbildlich geringe Belastung mit Lichtemissionen auf. Man sollte mit der Lichtstrategie diesen Zustand möglichst schützen und kann ihn vielleicht sogar als Qualität der Nachtruhe und die Schlafgesundheit fördernde Massnahme als Standortvorteil vermarkten, vorausgesetzt dass die Lärmimmissionen ebenfalls entsprechend gering sind.

Wenn wir uns dem Trend widmen, stellen wir doch eine geringe, nicht signifikante jährliche Zunahme fest. Saisonale Effekte lassen sich dabei nicht immer ganz ausschliessen. Wir vermuten aufgrund der Lokalisierung, dass die Kirchenbeleuchtung oder auch die öffentliche Beleuchtung in den Jahren zwischen 2012 und 2017 zugenommen hat.

Mit der Lichtstrategie besteht eine hohe Chance, dass man diesen Trend wieder umkehren kann und die hohe Qualität der tiefen Lichtemissionen behält. Sollten weitere Qualitätsansprüche an die Lichtquellen wie Lichtfarbe und lokale Intensität thematisiert werden, verfügt Dark-Sky Switzerland auch über Messmittel, welche die Lichtquellen bei einem Ortstermin direkt auswerten können.

Wir freuen uns, dass Aeugst am Albis erkannt hat, dass weniger mehr sein kann. Mehr Lebensqualität dank naturnaher Dunkelheit ist vermutlich ein bisher wenig beachteter, aber wichtiger Gesundheitsfaktor. Wir sind gespannt wie sich die Ranglisten in Zukunft verändern, wenn auch Aeugst am Albis auf die Vermeidung unnötiger Lichtemissionen setzt.

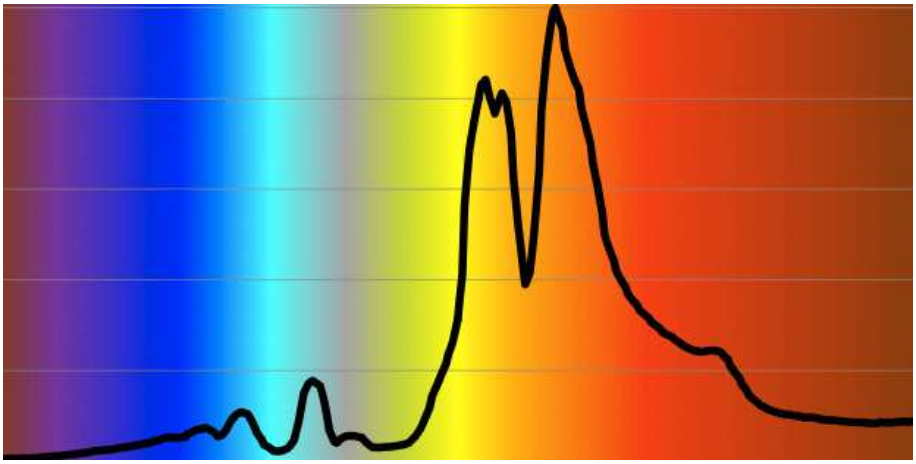


Abbildung 1: Natriumdampflampe, 2000 Kelvin, Quelle: Netzwerk Licht[6]

5 Allgemeiner Massnahmenkatalog

Empfehlungen zur Vermeidung unnötiger Lichtemissionen und Umsetzung einer Lichtstrategie auf Gemeindestufe.

Einbezug umweltfreundlicherer Beleuchtung in die Energiestrategie

Bei Ersatz bestehender Beleuchtung durch neue LED zu beachten: Nicht die effizienteste LED mit der grössten Leistung (Lumen/Watt) sollte das Rennen machen, sondern die wärmste LED (Farbtemperatur $<$ 3000K, siehe Figur 3). Zu Gunsten der nächtlichen Flora und Fauna, aber auch der Schlafgesundheit des Menschen sollte der Blauanteil von künstlichem Licht reduziert werden. Die orangen Natriumdampflampen (siehe Figur 1) waren aus diesem Grund besser als die Quecksilberdampflampen. Mit den kaltweissen LED fand zunächst ein Effizienzsteigerung, aber eine Verschiebung im Spektrum zu mehr blauem Licht statt (siehe LED 4000K, Figur 2). Die Orientierung in der Nacht findet am Sternenhimmel (bis weit über 15000K) oder am Mondlicht statt (4100K). Das bläuliche Licht stört vermutlich deshalb das nächtliche Ökosystem stärker und zieht mehr Insekten an. Es blendet Säugetiere stärker und stört den Tag-/Nachtrhythmus stärker. Ausserdem streut es stärker in der Atmosphäre und trägt so zu mehr Lichtverschmutzung bei. Für Menschen besteht ein gesundheitliches Risiko durch längeres Wachsein (innere Uhr, Schlafstörung, Brust- oder Prostata-Krebsrisiko) oder Verkehrssicherheitsrisiko durch stärkere Blendung.[5] Es gibt auch orange RGB-LED Lampen im Handel fast ohne blauen Lichtanteil und dennoch vernünftiger Farbwiedergabe (Ra $\approx$ 80).

Unabhängig von der installierten Beleuchtung können zusätzlich längere Abschaltperioden eingeführt werden, wenn diese von der Bevölkerung mitgetragen werden. Für neue Beleuchtung und Planungen kann man sich Lösungen mit Sensoren (Gehwege) oder Radar (Quartier- und Nebenstrassen), das heisst Licht nach Bedarf, vorstellen und installieren.

Die Erfahrung zeigt, dass Installateure neue Beleuchtungen oft auf 100 % Leistung angesteuert laufen lassen, auch wenn dies viel zu viel Licht macht, da die neuste Generation LED jeweils noch mehr Lumen/Watt erzeugt als bisherige.

Es ist daher wichtig, bereits bei der Planung darauf hinzuweisen, dass die Normwerte angepeilt und überprüft werden sollen, so dass genau soviel Licht erzeugt wird, wie es braucht, und nicht, wie oft schon gemessen, dreimal mehr.

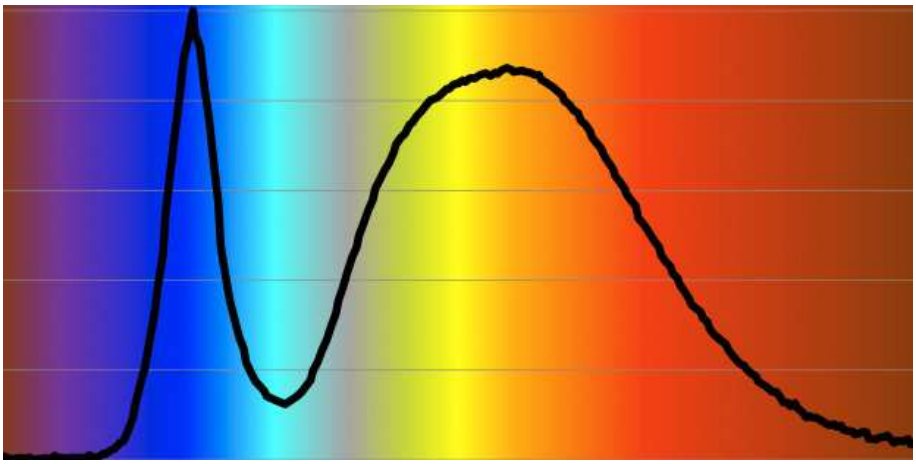


Abbildung 2: LED, 4000 Kelvin, Quelle: Netzwerk Licht[6]

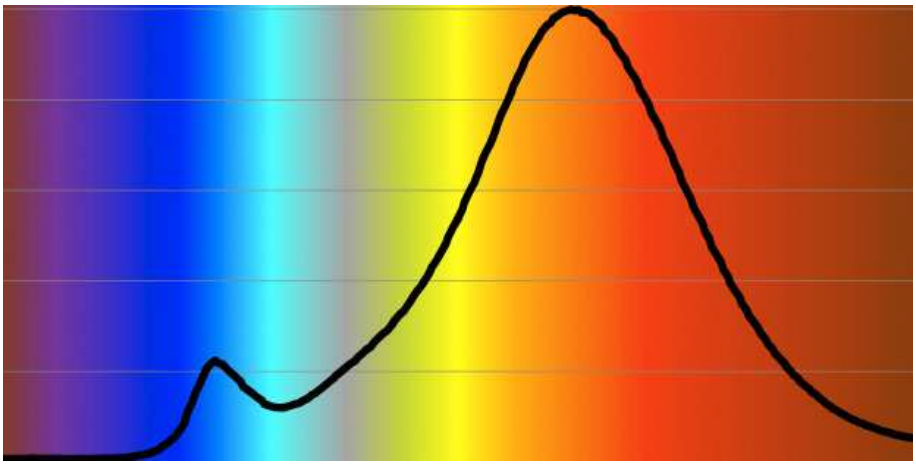


Abbildung 3: LED, 2200 Kelvin, warmes Licht stört weniger, auch wenn es etwas weniger effizient ist (Lichtleistung) als kaltes. Quelle: Netzwerk Licht[6]

Baubehörde, Baubewilligungen, Bau- und Zonenordnung

Einführung von Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen gemäss Normen und Umweltämtern. Zu den Normen siehe auch Seite 17. Als Beispiele hierfür können dienen:

In Baugenehmigungen sollte darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Normwerte nicht überschritten werden sollen (alterskompensierte Elektronik behält konstante Lichtströme bei und braucht keinen Zuschlag zur Einhaltung des Wartungswertes). Es sollte eine nächtliche Nachkontrolle stattfinden, damit falsche Einstellungen korrigiert werden (Dimmen, Nachtabsenkung und -abschaltung nach Bedarf).
Für Bauzonen und Gestaltungspläne können Zuordnungen zu Lichtzonen vereinbart werden, siehe Seite 15, damit umliegende Räume weniger belastet werden (Einhaltung maximaler Lichtstärken an Zonengrenze).

Empfehlungen an Gewerbetreibende oder Einführung einer Nachtruheverordnung

Die Nachtruhe ist ein Gut im öffentlichen Interesse. Wenn es bereits eine Lärmschutzverordnung gibt, welche Zeiten für Nachtruhe vorgibt, kann man analog eine zeitliche Begrenzung von nicht-sicherheitsrelevanter Beleuchtung einführen. Das heisst Schmuckbeleuchtung, Leuchtreklamen, Schaufenster und ähnliches sollen der Nutzung angepasst und im Nachtruhe-Zeitfenster generell ausgeschaltet werden. Der Betreib im Nachtruhe-Zeitfenster bedarf einer Ausnahmebewilligung. Diese muss sich auf die Öffnungs- und Betriebszeiten abstützen. Wer also das Geschäft geschlossen hat, hat im Nachtruhe-Zeitfenster kein Anrecht auf Beleuchtung.

Aktion mit Zeitschaltuhren
Diese Aktion hat funktioniert: Wer nachweislich eine Zeitschaltuhr für sein Schaufenster anschafft und die Nachtruhe einprogrammiert, erhält von der Gemeinde eine Gutschrift. Es gibt funkgesteuerte Schaltuhren, welche automatisch Sommer-/Winterzeit umstellen.

Bewilligung von Schaufensterbeleuchtungen und Leuchtreklamen

Wird für Neuinstallationen eine maximale Leuchtdichte vorgeschrieben (z.B. maximal 100 cd/m^2), so kann innerhalb einiger Jahrzehnte eine ganze Ladenstrasse auf ein vernünftiges und nahezu einheitliches Niveau gesenkt werden. Das Wettrüsten findet nicht mehr statt und schont die Kasse der Ladenbesitzer.

Polizeiverordnung, Nachtruhe

Anpassung der Polizeiverordnung bezüglich Nachtruhe. Einhaltung der Nachtruhe auch beim Licht. Betroffene Anwohner können wie beim Lärm durch die Polizei Nachtruhe wegen Störung durch Licht einfordern. Als Immissionsgrenzwert sind 1 Lux in Deutschland und Österreich eingeführt. Aus Erfahrung ist über 3 Lux definitiv nicht an normales Einschlafen zu denken (Immissionswert E_v Fensterkante) und Leute beschweren sich bei Dark-Sky. Für einen ersten Augenschein bei betroffenen Anwohnern reicht ein einfaches Luxmeter, dessen Fehler etwa 10 % beträgt.

6 Anhang

6.1 Gedanken von Dark-Sky Switzerland zum Thema Lichtverschmutzung

Ein Umdenken wird eher möglich durch Vergleiche. Beim Thema Lichtverschmutzung haben wir nämlich das Augenmass verloren. Licht ist schon messtechnisch schwierig zu erfassen, aber die verfügbaren Geräte werden zum Glück besser. Das menschliche Auge kommt schon lange mit Licht recht gut zurecht, es sieht Helligkeitsunterschiede zwischen Tag und Nacht mit dem Faktor von einer halben Million und mehr. Um diese grosse Hell-Dunkel-Dynamik zu bewältigen, hat sich der Sehsinn intern (wie übrigens das Gehör auch) eine logarithmische Skala angeeignet. Das verunmöglicht uns Menschen aber, eine doppelte Lichtmenge gut einzuschätzen.

Darum wirken auch viel zu helle Installationen subjektiv noch plausibel, denn wir können ja visuell mit dem Tageslicht recht gut umgehen, selbst in der Nacht, falls wir nicht müde sind. Nur hat das unerwünschte Nebeneffekte. Deshalb finden wir es bei Dark-Sky Switzerland so wichtig, dass wir mit Messungen objektive Belege dafür schaffen, wie die Lichtmengen verteilt sind und dass man dadurch über Massnahmen erst richtig zu diskutieren anfängt, da man eine objektive Grundlage hat.

Diskussionen auf der subjektiven Basis (ich finde das nicht zu hell – dieses Licht stört mich aber) bringen einen nicht weiter. Die anderen Lebewesen (Insekten, Fledermäuse, Zug- oder Brutvögel, Glühwürmchen, usw.) haben alle eine angepasste Wahrnehmung der Umwelt, die von den natürlichen Gegebenheiten ausgeht. So wie wir für uns die Nacht zum Tag machen, so werden auch die anderen Lebewesen darauf reagieren.[7] Sogar Pflanzen sind betroffen.[8]

Jede Nacht werden an Lampen Hunderte von Insekten gefangen, z. B. Motten.[9] Wenn man es hochrechnet auf ein Land, sind es Millionen oder Milliarden, die Nacht für Nacht nicht ihrer natürlichen Bestimmung nachgehen, und oft verenden.

Brutvögel zum Beispiel nisten nicht in beleuchteten Bäumen.[10] Die meisten Fledermausarten brauchen dunkle Korridore entlang von natürlichen Strukturen, um von den Wochenstuben zu den Jagdgebieten zu gelangen.[11] Einige wenige Arten sind Kulturfolger und jagen sogar Insekten in den Lichtkegeln von Strassenlampen. Diese sehen wir dadurch eher und dann denken wir Laien, alle Fledermäuse würden davon profitieren, unter Lampen Insekten zu jagen. Eine Wasserfledermaus zum Beispiel getraut sich niemals nah ans handelsübliche Licht heran, um zu jagen. Beleuchtet man Gewässer falsch, nimmt man ihr das Jagdgebiet weg.
Dieses kleine Beispiel zeigt, dass Ökosysteme schwierig zu beurteilen sind.

Darum ist am sichersten, so wenig Licht wie nötig für die tatsächlichen Bedürfnisse zu machen, ansonsten aber darauf zu verzichten. Und wenn man in der Nähe von naturnahen Gebieten beleuchten muss, sind wärmere Lichtquellen dringend zu empfehlen, da diese die meisten Arten weniger stören. Der Grund ist simpel: Die Nacht und auch das Sternen- und Mondlicht sind kühl. Wenn wir ebenfalls kaltes (d. h. blaues Licht über 3000 K) ausstrahlen, stören wir die Orientierung der Nachttiere am meisten. Uns Menschen macht solches Licht wach und blendet uns auch stärker, denn wir sind für am Tag vor Sonnenlicht durch den Pupillenreflex geschützt. Ausserdem empfinden wir wärmeres Licht in der Nacht deutlich angenehmer.

6.2 Normen für öffentliche Strassenbeleuchtung und Lichtschutzzonen durch LEED

Strassenklassen ME1 bis ME6, EN 13201-1: Leitfaden zur Auswahl der Beleuchtungsklassen

Die Beleuchtungsklassen ME1 bis ME6 gelten für Strassen mit mittleren bis höheren Fahrgeschwindigkeiten. Die Gütemerkmale der Beleuchtung entsprechen der Leuchtdichte. Je höher die Zählnummer einer Beleuchtungsklasse ist, zum Beispiel ME3 gegenüber ME1, desto geringer sind die lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung.
Ein sicherheitstechnischer Grundgedanke der baulichen Situation, sowie die tatsächliche Benutzung von Strassen führen zur Strassenklasse anhand von zahlreichen Kriterien. So wird unterschieden zwischen der Geschwindigkeit des Hauptnutzers, weiteren zugelassenen Nutzern, ausgeschlossenen Nutzern, Trennung der Fahrbahnen, Abstand von Anschlussstellen, Entfernung zwischen Brücken in km, baulichen Massnahmen zur Verkehrsberuhigung, Kreuzungen je km, Schwierigkeit der Fahraufgabe, und dem Verkehrsfluss der Fahrzeuge (durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke). Ohne die Basistabellen A1 bis B2 in EN 13201-1 zu studieren, ist es unmöglich, die Strassenklasse festzulegen. Einfach gesagt führt hohes Verkehrsaufkommen (um 25000 DTV) und höhere Geschwindigkeit ($>$ 60 km/h) zu Klassen von ME1 bis ME4, während tiefes Verkehrsaufkommen ($<$ 7000 DTV) und Langsamverkehr (30 bis 60 km/h) zu ME3 bis ME6 tendieren.
Wir haben die Strassenklassen vor allem in unsere Skala aufgenommen, damit wir für die Zukunft gerüstet sind. Falls die Auflösung des Satelliten verbessert wird, oder wir mit Luftaufnahmen arbeiten können, um dem Beleuchtungsfachmann bei seiner Überprüfung zu helfen.

Lichtschutzzonen LZ0 bis LZ4 nach LEED

Lichtzone	Nutzung	Beleuchtungsgrenzen
LZ0, kein Umgebungslicht Räume wo die natürliche Umwelt ernsthaft und nachteilig durch Beleuchtung betroffen wäre. Effekte schliessen die Störung biologischer Zyklen von Flora und Fauna und/oder Störung von Menschen beim Genuss der natürlichen Umwelt ein. Die menschliche Aktivität wird den Ansprüchen der Natur untergeordnet. Das Sehen von Menschen und Nutzern ist dunkeladaptiert und sie erwarten eine sehr spärliche oder keine Beleuchtung. Wo kein Bedarf existiert, sollten die Lichter ausgeschaltet werden.	Schliesst typischerweise naturnahe und offene Räume ein, Wildnis- und Naturparks, Räume um Sternwarten, oder jedes andere Gebiet wo der Schutz der Dunkelheit erforderlich ist.	Anteil des Lichts über Horizont: 0 %. Maximale Immission an der Zonengrenze: 0.5 lx.
LZ1, wenig Umgebungslicht Räume wo Beleuchtung Schäden an Flora und Fauna anrichten kann oder den Charakter der Landschaft zerstört. Das Sehen von Menschen und Nutzern ist dunkeladaptiert und an geringes Licht gewöhnt. Beleuchtung kann für Sicherheit und Bequemlichkeit genutzt werden, ist aber nicht einheitlich oder durchgehend notwendig. Bei Nachtruhe sollte die Beleuchtung gelöscht oder reduziert werden, da die Aktivitäten abnehmen.	Schliesst typischerweise Ein- oder Doppelfamilienhäuser, ländliche Ortszentren, Gewerbezonen und andere kommerzielle, industrielle oder Lagerräume mit eingeschränkter nächtlicher Aktivität mit ein. Kann auch entwickelte Räume in Pärken und anderen natürlichen Umgebungen einschliessen.	Anteil des Lichts über Horizont: 0 %. Maximale Immission an der Zonengrenze: 0.5 lx.
LZ2. mittleres Umgebungslicht Räume menschlicher Tätigkeit wo das Sehen der Einwohner und Nutzer an mittleres Umgebungslicht gewöhnt ist. Die Beleuchtung kann für Sicherheit und Bequemlichkeit genutzt werden, ist aber nicht einheitlich oder durchgehend notwendig. Bei Nachtruhe kann die Beleuchtung gelöscht oder reduziert werden, so wie die Aktivitäten abnehmen.	Schliesst typischerweise Mehrfamilienhäuser, Quartiere, Heime, Schulen, Kirchen, Spitäler, Hotels und Läden, oder Gewerbegebiete mit Abendaktivität vorwiegend in Wohngebieten mit ein. Schliesst ebenso nachbarschaftliche Freizeitanlagen, Spielwiesen und gemischte Entwicklungszonen mit vorwiegend Wohngebieten mit ein.	Anteil des Lichts über Horizont: 1.5 %. Maximale Immission an der Zonengrenze: 1 lx.

LZ3, mittelstarkes Umgebungslicht Räume menschlicher Tätigkeit wo das Sehen der Einwohner und Nutzer an mittelstarkes Umgebungslicht gewöhnt ist. Beleuchtung ist allgemein erwünscht für Sicherheit und/oder Bequemlickeit und ist meist einheitlich und/oder durchgehend. Bei Nachtruhe kann die Beleuchtung in den meisten Räumen ausgeschaltet oder reduziert werden, so wie die Aktivitäten abnehmen.	Schliesst typischerweise Ladenstrassen, vorstädtische Einkaufszentren, Orts- und Stadtzentren, Mehrzonennutzungen, Industrieareale und Häfen und Bahnhöfe mit hoher nächtlicher Aktivität mit ein. Beinhaltet ebenso vielbenutzte Erholungs- und Sportplätze, regionale Einkaufszentren, Autohändler, Tankstellen, und andere nächtlich aktiv genutzte Verkaufsareale.	Anteil des Lichts über Horizont: 3 %. Maximale Immission an der Zonengrenze: 2 lx. Ausschaltung nicht sicherheitsrelevanter Beleuchtung: 0.00 bis 6.00 Uhr
LZ4, starkes Umgebungslicht Räume menschlicher Tätigkeit wo das Sehen der Einwohner und Nutzer an starkes Umgebungslicht gewöhnt ist. Beleuchtung wird allgemein als notwendig betrachtet für Sicherheit und/oder Bequemlickeit und ist meist einheitlich und/oder durchgehend. Bei Nachtruhe kann die Beleuchtung in einigen Räumen ausgeschaltet oder reduziert werden, so wie die Aktivitäten abnehmen.	Räume mit sehr starkem Umgebungslicht gibt es nur in Spezialfällen und sind unangebracht für die meisten Städte. Kann für extrem unübliche Installationen, wie verdichtete Unterhaltungsbezirke und intensive Industrienutzung zur Anwendung kommen (zur Zeit hat nur Times Square, New York diese Zuteilung).	Anteil des Lichts über Horizont: 6 %. Maximale Immission an der Zonengrenze: 6 lx. Ausschaltung nicht sicherheitsrelevanter Beleuchtung: 0.00 bis 6.00 Uhr

6.3 Weitere Normen und Empfehlungen, relevant für Beleuchtung im Aussenraum

In der Schweiz anwendbare Normen

Normen CIE 150–2003: Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations (Leitfaden zur Begrenzung der Störlichtwirkungen von Aussenbeleuchtungsanlagen).
CIE 126–1997: Guidelines for Minimizing Sky Glow.
EN 12464–2:2014: Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien.
EN 12193:2008: Sportstättenbeleuchtung
EN 13201–2:2015: Strassenbeleuchtung.
SIA 491:2013 (SN 586 491:2013): Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum.

Weiterführende Normen und Empfehlungen aus anderen Ländern als Unterstützung

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) 12.3 2011: Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen.
ÖNORM O 1052:2012 Lichtimmissionen: Messung und Beurteilung

6.4 Technische Anmerkungen

Die Identifikation und Gemeindegrenzen stammen aus den offiziellen Angaben von swisstopo.ch aus dem Jahre 2013.
Unsere Analyse der Lichtemissionen basiert auf den Messungen des Umweltsatelliten NPP Suomi im sichtbaren Licht (VIS) und nahen Infrarot (IR) von 500-900 nm. Die NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration aus den USA publizieren zeitversetzt monatliche Messwerte für die ganze Erde aufgeteilt in 6 Felder vom Äquator bis 75° geographische Breite und jeweils 120° Länge. Die Messungen erfolgen kontinuierlich, jedoch werden für die Nacht ausschliesslich Zeilen über wolkenfreien Arealen und in den zwei Wochen um Neumond ausgewertet. Die Messungen erfolgen in Nanowatt pro Quadratzentimeter pro Raumwinkel [$nW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1}$].
Für ein Land wie die Schweiz beträgt die Pixelauflösung des Satelliten am Boden etwa 320×460 Quadratmeter.
Aus den Messdaten des Satelliten ergeben sich folgende Überlegungen: Wir erhalten eine Leistung pro Fläche pro Raumwinkel zwischen 500 und 900 nm Wellenlänge. Der Satellit sieht die Summe aller Quellen auf der Erde und wir gehen davon aus, dass fast jede Quelle auch einen Anteil über 500 nm emittiert. Das gilt z. B. für die grüne und orangen Linien der Quecksilberdampflampe, selbst eine handelsübliche blaue LED hat hellblaue und grüne Anteile oberhalb 500 nm. Wir gehen also davon aus, dass alle künstlichen Lichtquellen ihren Teil zu den Messwerten beitragen und dass die hinzu kommenden Anteile oberhalb 780 nm (fürs menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung zwischen 780 und 900 nm) mindestens gleich gross sind wie die unterhalb 500 nm wegfallenden Anteile (fürs menschliche Auge sichtbares Licht zwischen 380 und 500 nm). Das menschliche Auge sieht nur zwischen 380 und 780 Nanometer Wellenlänge. Der Satellit zeichnet also je um 120 nm nach rot verschobene Werte auf, aber ein gleich grosses Fenster von 400 nm wie das menschliche Auge, nur mit nahezu linearer Empfindlichkeit. Das menschliche Auge besitzt eine maximale Empfindlichkeit bei 555 nm. Definitionsgemäss sieht es 683 Standardkerzen·Raumwinkel/Watt einer definierten Strahlungsquelle (Schwarzkörperstrahlung). Dieser Wert berücksichtigt die Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges über das Spektrum. Das lässt sich in Standardkerzen pro Fläche, also in die Leuchtdichte umrechnen. Den Fehler durch die Rotverschiebung des Messfensters des Satelliten gegenüber dem menschlichen Sehen vernachlässigen wir aus oben genannten Gründen.

Es gilt:
$1\ W = 683\ lm = 683\ cd \cdot sr$

Wir haben
$1\ nW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} = 10^{-9}\ W \cdot 10^{4} \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} = 10^{-5}\ W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$

Daraus folgt:
$1\ nW \cdot cm^{-2} \cdot sr^{-1} = 6.83 \cdot 10^{2} \cdot 10^{-5}\ cd \cdot sr \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} = 6.83 \cdot 10^{-3}\ cd \cdot m^{-2} = 0.00683\ cd \cdot m^{-2}$

Die Leuchtdichten rechnen wir auf Quadratmeter um, da dies die gebräuchliche Einheit für Lichtplaner ist. Das ergibt zwar recht kleine Werte für Langzeit-Veränderungen, aber die natürliche Beleuchtung in der Nacht findet auf einem tiefen Niveau statt. So erzeugt der Vollmond auf der Erdoberfläche eine Leuchtdichte von lediglich $0.0209\ cd \cdot m^{-2}$. Wir haben den Vollmond in unsere Skalen mit einbezogen, da er die maximale natürliche Helligkeit wiedergibt und uns eine Vorstellung gibt, wie stark wir naturnahe Dunkelheit überschreiten. Dies sind grundsätzliche Überlegungen, die wir bereits früher gemacht haben.[12]

In den Sommermonaten von April bis August müssen wir für Länder nördlich der Po-Ebene (Italien) vom Streulicht bereinigte Daten[13] verwenden, da der Polarsommer bis weit in den Süden hinein die Atmosphäre in grosser Höhe aufhellt und manchmal seitliches Sonnenlicht bis zur Optik des Satelliten gelangt. Die korrigierten Messwerte sind wegen dem Streulicht teilweise überkompensiert, d. h. es gibt auch negative Messwerte. Diese betrachten wir als Nullwerte, denn es gibt nicht weniger Licht als kein Licht, sonst würden unsere Summen über die politischen Einheiten falsch berechnet.

Literatur

[1] "Sky quality meters sold by unihedron". http://unihedron.com/.

[2] "Oasi ticino". http://www.oasi.ti.ch/web/dati/inquinamento-luminoso.html.

[3] "Lighting zones by leed". http://usgbc.org/credits/ss8/.

[4] F. Falchi, P. Cinzano, D. Duriscoe, C. C. M. Kyba, C. D. Elvidge, K. Baugh, B. A. Portnov, N. A. Rybnikova, and R. Furgoni. "The new world atlas of artificial night sky brightness". *Science Advances*, **2**, (2016) 01–1084.

[5] "American medical association adopts guidance to reduce harm from high intensity street lights". https://www.ama-assn.org/ama-adopts-guidance-reduce-harm-high-intensity-street-lights.

[6] "Netzwerk licht — lichttechnische beratung, roland bodenmann, lichtplaner slg, 5246 scherz, switzerland". mailto:info@netzwerklicht.ch.

[7] D. M. Dominoni, J. C. Borniger, and R. J. Nelson. "Light at night, clocks and health: from humans to wild organisms". *Biology Letters*, **12**.

[8] J. Bennie, T. W. Davies, D. Cruse, and K. J. Gaston. "Ecological effects of artificial light at night on wild plants". *Journal of Ecology*, **104**, (2016) 611–620.

[9] T. Degen, O. Mitesser, E. K. Perkin, N.-S. Weiß, M. Oehlert, E. Mattig, and F. Hölker. "Street lighting: sex-independent impacts on moth movement". *Journal of Animal Ecology*, **85**, (2016) 1352–1360.

[10] K. Spoelstra, R. H. A. van Grunsven, M. Donners, P. Gienapp, M. E. Huigens, R. Slaterus, F. Berendse, M. E. Visser, and E. Veenendaal. "Experimental illumination of natural habitat—an experimental set-up to assess the direct and indirect ecological consequences of artificial light of different spectral composition". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **370**.

[11] A. Fure. "Bats and lighting — six years on". *The London Naturalist*, 60–88.

[12] L. D. Schuler. "Lichtverschmutzung". *Im Fokus zum Thema Licht*, 5 Seiten. www.satw.ch.

[13] S. Mills, S. Weiss, and C. Liang. "Viirs day/night band (dnb) stray light characterization and correction". *Proceedings SPIE, Earth Observing Systems XVIII*, **8866**, (2013) 18 pages.