



# Lichtverschmutzung Stadt Villach

Studie zum Status Quo & Handlungsempfehlungen

Mai 2024

# Lichtverschmutzung Stadt Villach

## Studie zum Status Quo & Handlungsempfehlungen

Dr. Christopher Rogi<sup>1</sup>, Dr. Stefan Wallner<sup>1,2</sup>, Dr. Christina Pichler-Koban<sup>1,3</sup>, Dr. Simone Jungwirth<sup>1</sup>, und Dipl.-Ing. René Curwy<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Patent der Nacht Österreich ([www.patent-der-nacht.at](http://www.patent-der-nacht.at))

<sup>2</sup>Universität Wien & Slowakische Akademie der Wissenschaften

<sup>3</sup>E.C.O. Institut für Ökologie

<sup>4</sup>Patent der Nacht Deutschland ([www.patent-der-nacht.de](http://www.patent-der-nacht.de))

Mai 2024

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Was ist Lichtverschmutzung und warum ist sie ein Problem?</b>	<b>3</b>
2.1	Was ist Lichtverschmutzung? . . . . .	3
2.2	Entwicklung des Phänomens Lichtverschmutzung . . . . .	4
2.3	Die Schattenseiten des Lichts - Auswirkungen der Lichtverschmutzung . . . . .	5
2.3.1	Auswirkungen auf den Menschen . . . . .	6
2.3.2	Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen . . . . .	7
2.3.3	Auswirkungen auf das Weltklimasystem . . . . .	8
2.3.4	Auswirkungen auf die Sichtbarkeit des Nachthimmels . . . . .	9
2.4	Zusammenfassung . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Licht und Sicherheit - es ist kompliziert</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Vermessung der Lichtverschmutzung in Villach</b>	<b>13</b>
4.1	Methodik . . . . .	13
4.2	Resultate . . . . .	15
4.2.1	Villach-Zentral: Wasenboden . . . . .	16
4.2.2	Villach-Nord: Vassach . . . . .	18
4.2.3	Villach-Ost: St. Agathen . . . . .	20
4.2.4	Villach-Süd: Auen . . . . .	22
4.2.5	Villach-West: Goritschach . . . . .	24
4.3	Diskussion . . . . .	25
4.4	Zusammenfassung . . . . .	27

<b>5</b>	<b>Foto-Dokumentation: Beitragsabschätzung mittels relativer Differenzmessung</b>	<b>28</b>
5.1	Panoramaaufnahmen von Villach . . . . .	28
5.2	Methodik . . . . .	29
5.3	Resultate . . . . .	31
5.4	Diskussion . . . . .	36
5.5	Zusammenfassung . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Satelliten-Dokumentation: Langzeitauswertung (Villach vs. Fulda)</b>	<b>39</b>
6.1	Methodik . . . . .	39
6.2	Ergebnisse . . . . .	40
6.2.1	Lichtemissionen 2022 . . . . .	40
6.2.2	Lichtemissionen - Trend 2012 bis 2023 . . . . .	41
6.3	Zusammenfassung . . . . .	45
<b>7</b>	<b>Gesetze und Normen in Österreich und Europa</b>	<b>47</b>
7.1	Oberösterreichisches Umweltschutzgesetz . . . . .	48
7.2	ÖNORM O 1052:2022-10 . . . . .	48
7.2.1	Einteilung in Bewertungsgebiete . . . . .	49
7.2.2	Betriebszeiten . . . . .	49
7.2.3	Lichtfarbe . . . . .	49
7.2.4	Strahlrichtung . . . . .	50
7.2.5	Aufhellung von Räumlichkeiten . . . . .	51
7.2.6	Sportstättenbeleuchtung . . . . .	51
7.2.7	Werbeflächen . . . . .	52
7.2.8	Weitere Inhalte . . . . .	52
7.3	(Gesetzliche) Rahmenbedingungen in Europa . . . . .	52
<b>8</b>	<b>Außenbeleuchtung: Analyse und Handlungsempfehlungen</b>	<b>55</b>
8.1	Österreichischer Aussenbeleuchtungsleitfaden 2018 . . . . .	55
8.1.1	Notwendigkeit . . . . .	56
8.1.2	Beleuchtungsdauer . . . . .	56
8.1.3	Lichtpunkthöhe . . . . .	56
8.1.4	Lichtintensität . . . . .	57
8.1.5	Abstrahlrichtung . . . . .	57
8.1.6	Farbtemperatur . . . . .	58
8.2	Beispiele innerhalb von Villach . . . . .	59
8.2.1	Kriegsbrücke - Ossiacherzeile . . . . .	60
8.2.2	Radwegbeleuchtung Drau Höhe Kriegsbrücke . . . . .	61
8.2.3	Kreuzkirche . . . . .	63
8.2.4	Italienerstraße - Kugelleuchten . . . . .	64
8.2.5	Congresscenterbrücke Süd - Stiegenbeleuchtung Neu . . . . .	65
8.2.6	Lederergasse Dekorationsbeleuchtung . . . . .	66
8.2.7	Congresscenter Nord - Gironcoli Skulptur . . . . .	67
8.3	Die perfekte Straßenbeleuchtung . . . . .	68
8.4	Weihnachtsbeleuchtung . . . . .	69
8.5	Werbeleuchtung . . . . .	70
8.6	Dekorationsbeleuchtung . . . . .	72
8.7	Zusammenfassung . . . . .	73

<b>9 Zusammenfassung</b>	<b>74</b>
9.1 Weiterführende Literatur . . . . .	76
<b>Literatur</b>	<b>77</b>
<b>A Appendix: Fotocredits und Bildauswertung mit Python Skript</b>	<b>i</b>

# 1 Einführung

Lichtverschmutzung - ein Phänomen unter dem heute beinahe jeder Ort der Welt leidet. Die Stadt Villach ist hier keine Ausnahme, sondern leider seit über einem Jahrzehnt ein Negativbeispiel in der einschlägigen Fachliteratur (1, S.71). Obwohl der Begriff Lichtverschmutzung für viele noch immer neu ist, ist das Phänomen nicht unbekannt: Ein Blick Richtung Himmel in einer bewölkten Nacht zeigt die aufgehellte Wolkendecke über der Stadt und damit wie viel Licht ungenützt nach oben abgestrahlt wird.

Einerseits kostet die so vergeudete Energie viel Geld, andererseits wird (mitten in der Klimakrise) unnötig CO<sub>2</sub> emittiert (2). Das Zuviel an Licht stört den Biorhythmus von Menschen, Tieren und Pflanzen mit gravierenden Auswirkungen auf physische und psychische Gesundheit (3). Mit dem Verblässen des Sternenhimmels verlieren wir Menschen den Bezug zu unserer jahrtausendalten Kultur, den Bezug zu unserem Platz im Universum und den Sinn für die globale Zusammengehörigkeit der Menschheit. Über 99 % der Bevölkerung in Europa leben bereits unter einem lichtverschmutzten Himmel (4) - und die Lage verschlimmert sich weiterhin drastisch (5).

Die Problematik der Lichtverschmutzung ist nicht neu, sondern seit vielen Jahrzehnten bekannt. Bereits 1819 wurde auf negative Effekte der Straßenbeleuchtung aufmerksam gemacht (6, S.27). Des Weiteren wurden 1973 wissenschaftliche Arbeiten publiziert, in denen auf die stark zunehmende Lichtverschmutzung aufmerksam gemacht wurde. Regierungen wurden dazu aufgerufen, Regelungen zu schaffen, um Lichtverschwendung zu minimieren und sich auf notwendige Außenbeleuchtung zu beschränken (7). Eine Untersuchung seitens der Tschechischen Republik im Jahr 2022 ergab, dass mittlerweile 18 von 32 europäischen Ländern eine direkte oder indirekte gesetzliche Regelung zur Eindämmung der Lichtverschmutzung haben, darunter Kroatien, Slowenien, Italien, Frankreich und Deutschland (8). Innerhalb der Europäischen Union gibt es seit 2019 konkrete Empfehlungen zu Lichtverschmutzung und deren Vermeidung (9). Auch im Zuge des „Renaturierungsgesetz“ der EU wird auf die negativen Einflüsse von Kunstlicht hingewiesen (10). Es ist also nur eine Frage der Zeit, bis auch in Österreich gesetzlich bindende Maßnahmen getroffen werden (sei es auf Bundes- oder Länderebene), die dann entsprechend in Gemeinden und Städten umgesetzt werden müssen. Ab 1. Mai 2024 tritt z.B. eine Umweltschutzgesetz-Novelle betreffend Außenbeleuchtungsanlagen in Oberösterreich in Kraft (11). Außerdem wird aktuell das parlamentarische Verfahren einer Petition für ein entsprechendes Bundesgesetz (bisher durchwegs positiv) abgehandelt (12). Bis auf weiteres werden verbessernde Maßnahmen nur im Zuge der neuen ÖNORM empfohlen (13). Will sich die Stadt Villach als Vorreiter platzieren und klimapolitisch nach bestem Wissen und Gewissen handeln, müssen die belegten negativen Auswirkungen und der aktuelle Trend in Österreich und Europa ernst genommen und längst überfällige Maßnahmen proaktiv umgesetzt werden.

Am 02.07.2021 wurde dem ÖVP-Gemeinderatsantrag "*Lichtverschmutzung durch Straßenbeleuchtung*" stattgegeben, um eine 'Studie' zur Lichtverschmutzung in Villach zu beauftragen. "*Die daraus resultierenden Erkenntnisse sollten die Basis für entsprechende Maßnahmen sein, um der Lichtverschmutzung in Villach entgegenzuwirken*" (14).

Der hier vorliegende Bericht ist von einer umfassenden wissenschaftlichen 'Studie' streng zu trennen. Es handelt sich vielmehr um 'graue Literatur', die keinem Reviewprozess unterliegt. Für weitere Details wird auf die zahlreich angeführte Literatur verwiesen, unter anderem auch auf die weiterführenden Leitfäden in Kapitel 9.1.

Der vorliegende Bericht beinhaltet unter anderem folgendes:

- Allgemeine Informationen zur Lichtverschmutzung und ihren negativen Begleiterscheinungen (Kapitel 2: Was ist Lichtverschmutzung und warum ist sie ein Problem?)
- Der oft missverstandene Zusammenhang von Licht und Sicherheit kurz angeschnitten (Kapitel 3: Licht und Sicherheit - es ist kompliziert)
- Aktuelle Situation der Lichtverschmutzung in und um Villach (Kapitel 4: Vermessung der Lichtverschmutzung in Villach)
- Eine Abschätzung der möglichen Hauptverursacher von Lichtverschmutzung in der Stadt (Kapitel 5: Foto-Dokumentation: Beitragsabschätzung mittels relativer Differenzmessung)
- Langzeit-Satellitenauswertung und Vergleich vom Villach-Trend mit einer deutschen Vorzeigestadt (Kapitel 6: Satelliten-Dokumentation: Langzeitauswertung (Villach vs. Fulda))
- Aktuell zutreffende rechtliche Grundlagen und Normen (Kapitel 7: Gesetze und Normen in Österreich und Europa)
- Vorstellung des österreichischen Leitfadens für Außenbeleuchtung mit einigen Fallbeispielen aus Villach mit entsprechend zulässigen, sinnvollen und leicht umsetzbaren Handlungsempfehlungen (Kapitel 8: Außenbeleuchtung: Analyse und Handlungsempfehlungen)

## 2 Was ist Lichtverschmutzung und warum ist sie ein Problem?

Lichtverschmutzung ist ein Phänomen unserer Zeit und über Jahrzehnte und Jahrhunderte gewachsen. Zahlreiche negative Begleiterscheinungen sind wissenschaftlich belegt, ihre volle Tragweite wird nach und nach sichtbar. Wie sich die aktuelle Situation der Aufhellung der Nacht darstellt, weshalb der Mensch die Nacht zum Tag macht und welche Auswirkungen Lichtverschmutzung hat, zeigen die folgende Ausführungen.

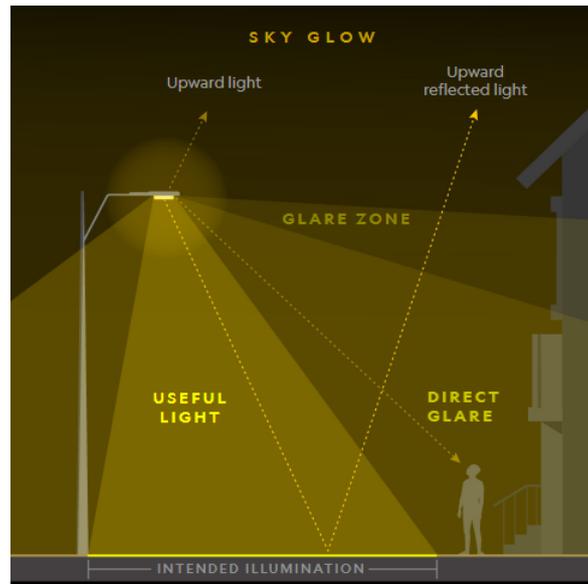


Abbildung 1 – Formen der Lichtverschmutzung  
©2024 National Geographic Media

### 2.1 Was ist Lichtverschmutzung?

Lichtverschmutzung, auch Lichtmüll oder Lichtsmog genannt, meint die Aufhellung der natürlichen Beleuchtungsverhältnisse bei Nacht (Mond, Sterne, Dunkelheit) durch künstliches, menschengemachtes Licht (1, S.7). Im Englischen ist das Akronym ALAN für artificial light at night gebräuchlich.

Lichtverschmutzung entsteht durch Licht, das - anstatt den eigentlich erwünschten Bereich auszu-leuchten - seitlich oder nach oben abstrahlt oder reflektiert wird (Abbildung 1). Es werden insbesondere folgende Formen der Lichtverschmutzung unterschieden:

- Lichtkuppeln oder Sky Glow: Lichtpartikel werden an Wassertröpfchen oder Partikel in der Luft gestreut und erzeugen einen Halo über beleuchteten Gebieten. Solche Lichtkuppeln können sich über 240 km von hell erleuchteten Städten bis in unbewohntes Gebiet erstrecken (15) (16).
- „Light Trespass“: unerwünschte Bestrahlung von Bereichen, die andernfalls im Dunkeln liegen würden, in der Nähe des eigentlich zu beleuchtenden Gebiets (15).
- Blendung/grelle Strahlung („glare“): störende Helligkeit, die für das Auge unangenehm ist und in horizontaler Richtung von Lichtquellen ausgeht. (15).

- „Clutter“: helle, exzessive und verwirrende Gruppe von Lichtquellen. (17).
- Überbeleuchtung („overillumination“): einer Aktivität oder dem Bedarf nicht angepasste, überproportionale Nutzung von künstlichem Licht bei Nacht (15).

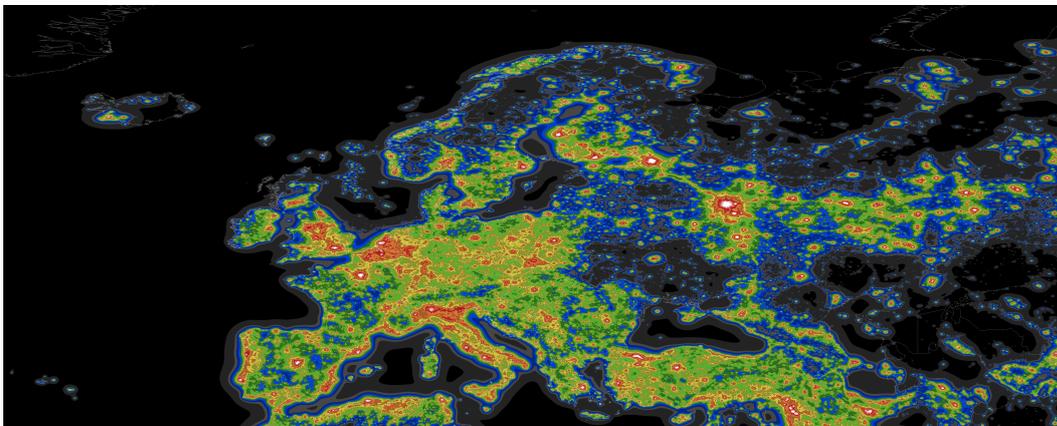
Quellen der Lichtverschmutzung sind Beleuchtungen in und an Gebäuden, Werbeflächen, Gewerbegebiete, Büros und Fabriken, Sportstätten und Straßenbeleuchtungen.

Neben Flugzeugen in der Erdatmosphäre zählen auch eine große Anzahl an Objekten im Erdorbit als Mitverursacher von Lichtverschmutzung. Satelliten und Weltraumschrott reflektieren Licht und bewirken eine zusätzliche Aufhellung des Nachthimmels um rund 10 Prozent (18).

## 2.2 Entwicklung des Phänomens Lichtverschmutzung

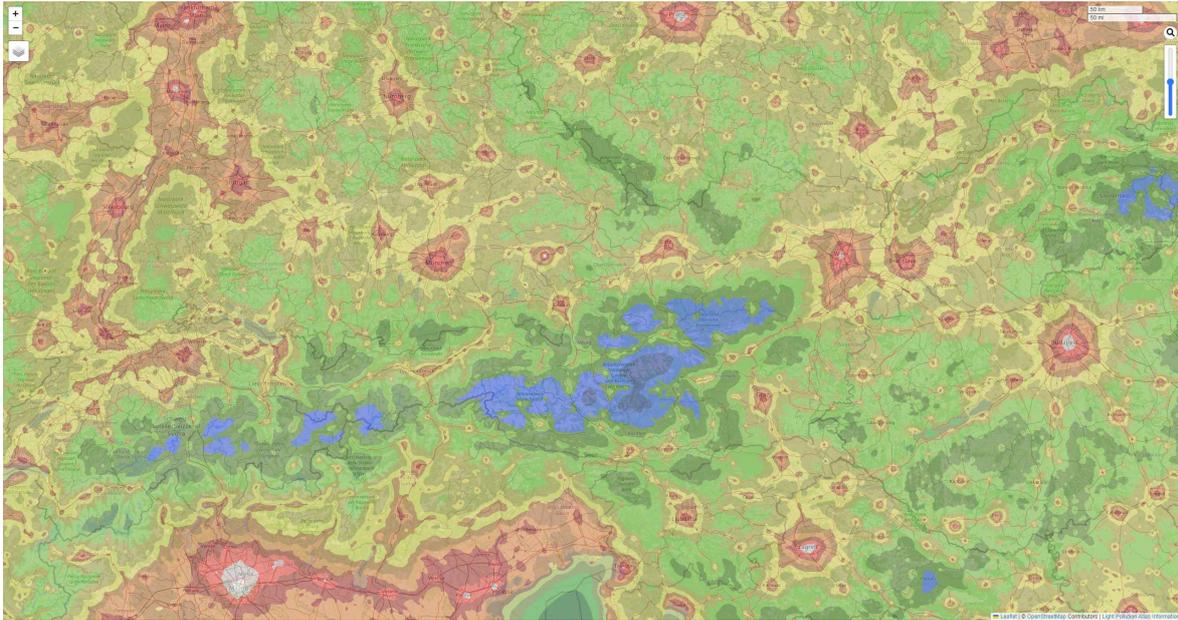
Heute leben mehr als 80 Prozent der Weltbevölkerung unter lichtverschmutztem Himmel, in Kontinentaleuropa sind sogar 99 Prozent der Menschen einer Form von Lichtverschmutzung ausgesetzt. Diese Zahlen entstammen dem „New World Atlas of artificial light sky brightness“ aus dem Jahr 2016 (19). Und Lichtverschmutzung steigt weiter an: Aktuelle Zahlen aus einer Citizen Science Studie von Kyba et al. (2023) sprechen von einer globalen durchschnittlichen Zunahme von Lichtverschmutzung um bis zu 10 Prozent pro Jahr (5).

Lichtverschmutzungskarten, die auf der Messung von Lichtemissionen (nach oben abgestrahltes Licht) basieren, zeigen im Jahr 2022 für Europa das folgende Bild (Abbildung 2).



**Abbildung 2** – Lichtverschmutzung in Europa (Light Pollution Atlas 2022 (20))

Betrachtet man die Situation in Österreich, so wird deutlich, dass es speziell in Zentralösterreich und im österreichischen Alpenraum noch relativ dunkle Gebiete gibt (Abbildung 3), wie sie in Zentraleuropa sonst nicht mehr zu finden sind. Österreich hat daher die besondere Aufgabe und Verantwortung auf den Schutz und Erhalt dieser dunklen Gebiete zu achten, denn auch sie sind von zunehmender Lichtverschmutzung bedroht und die Areale werden zerschnitten und kleiner.



**Abbildung 3** – Lichtverschmutzung in und um Österreich (Light Pollution Atlas 2022 (20))

Die ersten künstlichen Lichtquellen waren Lagerfeuer vor über 500.000 Jahren. *„Die Beherrschung des Feuers gilt als eine der maßgeblichen Fähigkeiten, die den evolutionären Weg des Lebens zur Menschwerdung zumindest erleichtert, wenn nicht überhaupt erst ermöglicht haben“* (21, S.62). Dieser Fortschritt förderte die körperliche, geistige und kulturelle Entwicklung des Menschen. Licht wurde und wird bis heute positiv konnotiert. Licht wurde zum Symbol von Macht, hinter den ersten Straßenbeleuchtungen stand eine kriminalpräventive Idee und mit der Industriellen Revolution diente künstliche Beleuchtung auch Produktivitätszwecken.

Mit der *„langlebige(n) Kohlefadenglühlampe“* von Thomas Alva Edison (1, S.23) kam Elektrizität, Beleuchtung und (vermeintliche) Sicherheit, zum allerersten Mal auch in private Haushalte. Licht wurde zu billiger Ware, so *„dass zum Nachdenken über sorgfältigen Umgang damit aus rein ökonomischen Gründen in der industrialisierten Welt immer weniger Anlass und Anreiz bestand“* (1, S.30). Mit der Einführung von LED als *„lighting revolution“* (17), veränderte sich die alltägliche Beleuchtung erneut und weltweit (22): LED, lichtemittierende Dioden, emittieren Licht auf Basis von Elektrolumineszenz - Körper werden durch das Anlegen von Spannung zum Leuchten angeregt. Licht aus LED erscheint dem menschlichen Auge weiß, hat jedoch einen hohen Anteil an Licht in einem spezifischen blauen Bereich (460 nm) (23; 22). Dieses Licht kann Farbtemperaturen von bis zu 7000 Kelvin erreichen (24, S.77). Im Vergleich: Die Sonne hat eine Farbtemperatur von rund 5800 Kelvin (24, S.66), der Mond 4000 Kelvin (23, S.43). Gerade blaues Licht trägt besonders stark zu Lichtverschmutzung und ihren negativen Auswirkungen bei.

### **2.3 Die Schattenseiten des Lichts - Auswirkungen der Lichtverschmutzung**

Lichtverschmutzung ist ein globales Problem mit weitreichenden Folgen für das gesamte Ökosystem der Erde und alle ihre BewohnerInnen.

### 2.3.1 Auswirkungen auf den Menschen

Viele Lebensfunktionen auf der Erde werden seit jeher vom sogenannten zirkadianen Rhythmus geprägt, d.h. sie folgen einem 24-Stunden-Tag-Nacht-Rhythmus (1, S.15). Der menschliche Körper reagiert auf Licht, besonders dann, wenn es in einem bestimmten Bereich des sichtbaren Lichtspektrums liegt. „Blauhaltiges Licht am Abend verlängert ... den Tag, am Morgen verkürzt es die Nacht“ (23, S.63). Die sogenannte innere Uhr wird gestört (22).



**Abbildung 4** – Blaues Licht bei Nacht, Simone Jungwirth

Die Licht-Exposition bei Nacht greift in die neuroendokrine Physiologie von Menschen (und Tieren) ein, vermindert oder verhindert gar die Bildung des „Schlafhormons“ Melatonin (23, S.64). Falsches Licht zur falschen Zeit verändert den biochemischen Rhythmus des Menschen und führt zu einer großen Zahl an gesundheitlichen Problemen: „*The consequences are dysregulation of the sleep-wake cycle, gene expression, neuronal restructuring, brain’s electricity, blood flow, metabolites’ turnover, and gut microbiota as well ... It is investigated that light pollution could affect many systems of the human body, and data indicate its indirect positive association with retina pathologies, cardiovascular damage, depression, cancer, and sleep disturbances*“ (22).

Licht bei Nacht ist von einem amerikanischen ForscherInnenteam mit bipolaren Störungen, spezifischen Phobien, Stimmungs- und Angststörungen sowie Depression assoziiert worden (25). ALAN ausgesetzt zu sein, wird in Zusammenhang mit erhöhtem Brust- und Prostatakrebs-Risiko gebracht (15, S.29) (26, S.135).

Störungen des zirkadianen Rhythmus durch nächtliche Lichexposition können in die Genetik eingreifen und neurodegenerative Prozesse zum Beispiel in Zusammenhang mit Alzheimer auslösen (22).

Des weiteren wird ein starker Zusammenhang mit erhöhtem Schlaganfallrisiko deutlich (27).

Ein ForscherInnenteam aus Süd-Korea definierte OALAN (outdoor artificial light at night) als Risikofaktor für die Erkrankung an exsudativer altersbedingter Makuladegeneration (EAMD), einer Erkrankung der Netzhaut, die mit dem Verlust der Sehkraft einhergeht (28).



**Abbildung 5** – Birke im Dezember, Simone Jungwirth

### **2.3.2 Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen**

Beleuchtete Flächen weisen eine um bis 25 Prozent verringerte Biodiversität im Vergleich zu unbeleuchteten Standorten auf. Nachtinsekten reagieren ganz besonders auf einzelne starke Beleuchtungskörper. Solche Lichtfallen üben eine Anziehungskraft aus, der sich die Tiere kaum entziehen können, so dass sie sich bis zur Erschöpfung nahe der Lichtquelle aufhalten und schließlich verenden (29). In besonderem Maße trifft das die Nachtfalter. In Österreich gibt es rund 3800 Nachtfalterarten im Vergleich zu rund 200 Tagfalterarten, 40 Prozent der Nachtfalterarten gelten als gefährdet. Bis 2017 gingen über 75 % der Insektenbiomasse in den letzten 27 Jahren verloren (30). Ihr Rückgang hat gravierende Auswirkungen auf weitere Tiere und Pflanzen, da sie als Bestäuber und in der Nahrungskette fehlen (31).

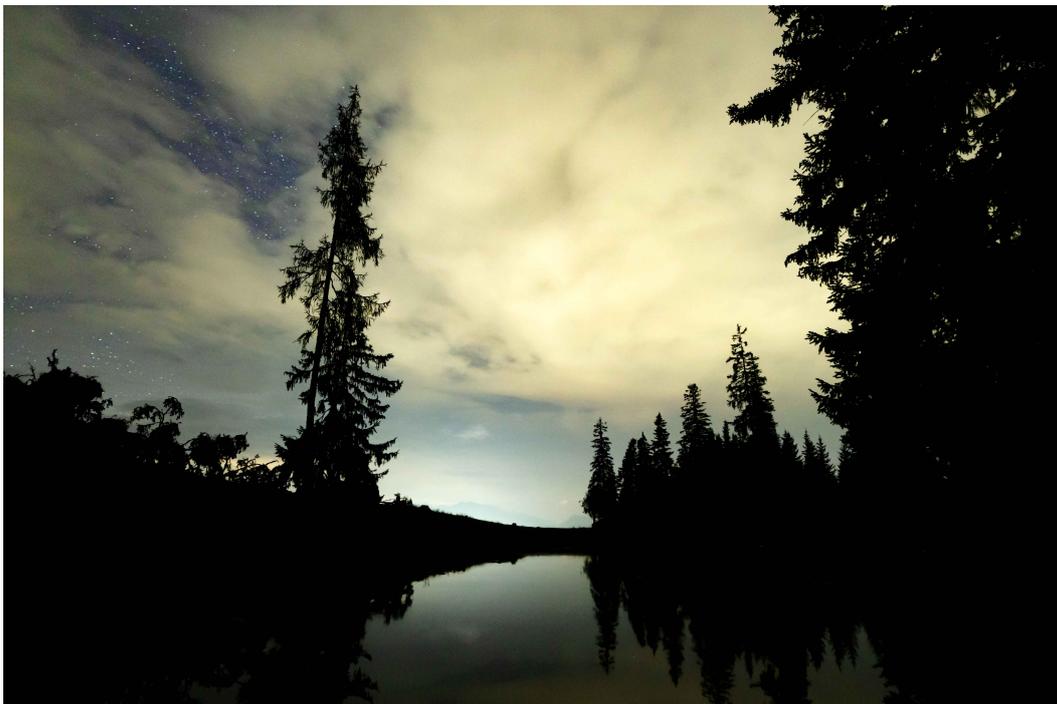
Starke Lichtquellen tragen auch zur Desorientierung vieler Artengruppen bei, z.B. Zugvögel (32). Die landesweit und international agierende Vogelschutz-Organisation „BirdLife Österreich“ untersucht seit 2007 den Vogelzug über dem Raum Villach. Zwischen 19. und 20.08.2018 wurden in binnen 17.75 Stunden über 7.200 ziehende Vogelaktivitäten mittels Radar gemessen, mit bis zu 150 Durchflüge pro Stunde am Tag und bis zu 800 Durchflüge pro Stunde in der Nacht <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>Dr. Andreas Kleewein, persönliche Kommunikation, 29.04.2024

Schließlich sind Paarung und Fortpflanzungsverhalten ganz wesentlich an die Lichtverhältnisse gekoppelt. Hier kommt es sowohl zu Störung der zircadianen Rhythmen (z.B. fangen Singvögel viel zu zeitig mit ihren Werbeesängen an), als auch zur Ablenkung vom eigentlichen Ziel (z.B. finden sich bei den Glühwürmchen die Partner nicht).

Das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen sind sehr stark an die Länge des hellen Tages gebunden. Dieses Phänomen nennt man Photoperiodismus und es bedeutet, dass Licht ganz stark als Impulsgeber für viele pflanzliche Entwicklungsprozesse wirkt, z.B. fördern länger werdende Tage im Frühling die Blütenbildung. Künstliche Lichtquellen beeinflussen diese Prozesse. So werfen z.B. stark angestrahlte Bäume ihr Laub später oder gar nicht ab, was zu verminderter Fitness und Lebenserwartung führen kann.



**Abbildung 6** – Nachtnatur im Kunstlicht, Simone Jungwirth

### **2.3.3 Auswirkungen auf das Weltklimasystem**

Neben den Auswirkungen auf Natur, Tiere und Menschen ist der Energiekonsum ein äußerst klimawirksamer Faktor. Außenbeleuchtung in Städten macht rund ein Fünftel des globalen Elektrizitätsverbrauchs aus. Die dabei erzeugten CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechen rund einem Drittel der Gesamtemissionen der USA (33, S.1136). DarkSky beziffert die Kosten für verschwendetes Licht in den USA auf zwischen 3 und 4.5 Milliarden US-Dollar (34). Das entspricht mehr als 15 Millionen Tonnen an klimarelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen, für deren Ausgleich jährlich 600 Millionen Bäume gepflanzt werden müssten - alleine in den Vereinigten Staaten (35) . Für Europa werden die Kosten für verschwendetes Licht auf 5.2 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt (36), für Wien mindestens 100 Millionen Euro (bei angenommenen Kosten von 0.2€/kWh) (37). Im Kunstlichthalo über Wien steckt so viel Energie, wie es dem Elektrizitätsverbrauch von über 100.000 Wiener Haushalten entspricht (37).

### 2.3.4 Auswirkungen auf die Sichtbarkeit des Nachthimmels

Der Blick in den Sternenhimmel hat neben naturwissenschaftlicher und technischer Relevanz auch einen gesellschaftlichen Stellenwert. Der Blick in den Himmel und was wir dort sehen könn(t)en, vereint und macht unseren Platz im Universum deutlich.



**Abbildung 7** – Lichtkuppeln am Horizont, Simone Jungwirth

Nur wenige Prozent des Universums sind dem Menschen bekannt. Und nur einen Bruchteil davon können wir mit freiem Auge beobachten. Und doch sind unsere Identität und unser Fortschritt geprägt vom Wissen über den Sternenhimmel. So wäre Navigation auf hoher See bis ins 20. Jahrhundert undenkbar gewesen, hätte es keine astronomische Navigation gegeben. Manche Völker der Welt und ihr tägliches Leben sind auch heute noch eng mit dem Sternenhimmel verbunden (16): Auch die Zeitrechnung und die Kalenderführung gehen auf die Beobachtung des Verlaufs der Sterne zurück (23, S.218). „The study of astronomy and cosmology . . . is deeply connected to our humanity“ (38, S.3) und die Erforschung des Weltraums ist essenziell für den Alltag auf Erden. „*Was im Universum passiert, passiert auch uns Menschen*“ (39, S.7). Die Sichtbarkeit des Forschungsgegenstandes vorausgesetzt.

## 2.4 Zusammenfassung



**Abbildung 8** – Brunnsee mit Blick in Richtung Milchstraße, Simone Jungwirth (17) (siehe Kapitel 3).

Licht wurde in den letzten Jahrzehnten eine leicht zugängliche und - aufgrund von technischer Weiterentwicklung - billige Ressource. Durch Effizienzsteigerung erzielte Gewinne führen jedoch nicht zu Einsparung, sondern zu immer mehr Beleuchtung. Ein klassischer Rebound-Effekt mit Folgen.

An keinem Ort der Welt kann heute noch eine natürlich dunkle Nacht erlebt werden (40). Der Anblick der Milchstraße ist den meisten Menschen nicht mehr geläufig. Hell und Dunkel, Tag und Nacht verschwimmen zusehends. Ein Rhythmus der für die menschliche Gesundheit, für Pflanzen, Tiere und das Weltklimasystem essentiell ist und zunehmend gestört ist.

Daran fügt sich, dass der Mensch zu den tagaktiven Lebewesen zählt und wir einen Großteil der Informationen über unsere Umwelt über das Sehen aufnehmen. Helligkeit geht mit verbesserter Informationsaufnahme und (subjektivem) Sicherheitsempfinden einher (23, S.12). Dunkelheit wird häufig mit Unsicherheit und Licht im Gegenzug mit Sicherheit assoziiert. Argumente gegen das Einsparen von Licht aus kriminalpräventiver Sicht und zur Verhütung von Unfällen im Straßenverkehr konnten in weltweiten Studien bisher jedoch nicht bestätigt werden (1, S.39)

Das Kapitel zeigte, wie vielseitig die negativen Folgen von zu viel und falsch eingesetztem Licht bei Nacht sind. Tatsächlich sind die Auswirkungen noch viel komplexer und weitreichender als in diesem Bericht gezeigt werden kann, daher wird auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen (siehe Literaturverzeichnis bzw. Kapitel 9.1).

Ein gewisses Maß an Licht wird immer notwendig sein. Es ist wichtig zu verstehen, dass eine möglichst gute Balance zwischen adäquater Beleuchtung und Minimierung ihrer negativen Folgen gefunden werden muss. Dank des technischen Fortschritts und der Handlungsempfehlungen im Kapitel 8 sind Lösungen in den meisten Fällen einfach umzusetzen.

### 3 Licht und Sicherheit - es ist kompliziert

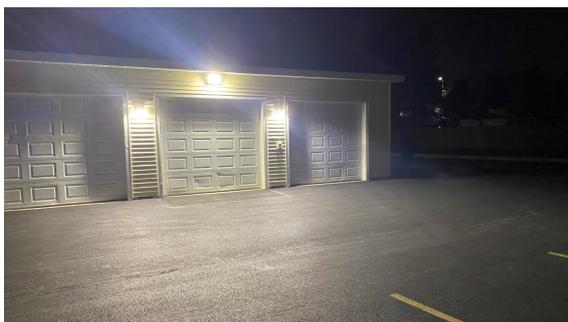
Bei *Licht* denken viele Menschen intuitiv an 'Sicherheit', 'Wohlstand' und 'Fortschritt'. Entsprechend wird *Dunkelheit* oft mit 'Kriminalität', 'Gefahr' oder 'Ungewissheit' verbunden. Solche Stereotype sitzen tief und haben viele Ursachen. Das subjektive Sicherheitsgefühl der Menschen ist allerdings nicht zwangsläufig mit der objektiven, messbaren Sicherheit verbunden und muss entsprechend differenziert betrachtet werden. Die Zusammenhänge zwischen Licht und Sicherheit sind äußerst komplex, und können nicht pauschal beantwortet werden (41). Eine ausführliche Behandlung des Themas sprengt den Rahmen dieses Berichts, einige grundlegende Gedanken dazu sollen aber dargelegt werden.

Meta-Studien zum Thema beschäftigen sich intensiv mit bestehender Literatur und Studien und fassen diese zusammen. Beispielsweise zeigt (41) weder eine erhöhte noch reduzierte Beleuchtung eine signifikante Auswirkung auf objektiv messbare Kriminalität:

*„It is generally expected that reducing public lightning will result in increased crime rates, but we did not find any research to back this statement“* (41).

Frei übersetzt: *„Es wird allgemein erwartet, dass eine Verringerung der öffentlichen Beleuchtung zu einem Anstieg der Kriminalitätsrate führt, aber wir haben keine Untersuchungen gefunden, die diese Aussage belegen.“*

Ein anderes Bild zeigt sich beim subjektiven *Sicherheitsempfinden*. Wie sicher sich die Bevölkerung *fühlt*, hängt stark mit der Qualität der Außenbeleuchtung zusammen. Werden wir nachts beispielsweise von einer überdimensionierten Leuchte geblendet, verliert das menschliche Auge schlagartig die Dunkeladaptation. Das heißt die Pupille wird kleiner, um weniger Licht aufzunehmen und als Konsequenz erkennen wir *weniger*, was mit einem Gefühl von Unsicherheit einhergehen kann. Des Weiteren können durch schlecht ausgerichtete oder dimensionierte Beleuchtung sogenannte *Dunkelräume* geschaffen werden (ähnlich Abbildung 9). Starke Kontraste durch zu helle Beleuchtung kombiniert mit Blendung schaffen Bereiche, in denen das menschliche Auge kaum etwas wahrnehmen kann - das kann das Gefühl der Unsicherheit verstärken.



(a) Eine schlechte Außenbeleuchtung blendet



(b) und versteckt eine Person im Dunkelraum

**Abbildung 9** – Blendung und zu hohe Kontraste schaffen *Dunkelräume* (Ken Walczak, (42))

Es bedarf sorgfältiger Planung und Umsetzung von Beleuchtung öffentlicher Räume, um das subjektive Sicherheitsgefühl der Bevölkerung zu gewährleisten. Die Annahme, durch das Aufstellen von

'vielen hellen Lampen' steige automatisch auch das subjektive Sicherheitsempfinden, ist falsch. Bei guter Planung kann dagegen die Vermeidung von Lichtverschmutzung gleichzeitig mit hohem subjektiven Sicherheitsgefühl einhergehen (siehe Kapitel 8)!

Das Thema Verkehrssicherheit in Verbindung mit Licht stellt sich laut (41) als äußerst komplex dar und bringt keine eindeutigen Resultate. Unbestritten ist, dass die Zeiten um den Sonnenauf- und untergang für FußgängerInnen, RadfahrerInnen und MotorradfahrerInnen überdurchschnittlich risikoreich sind. Einerseits steht die Sonne tief und schafft eine kontrastarme Umgebung, andererseits sind zu dieser Zeit die meisten VerkehrsteilnehmerInnen unterwegs. Eine Abschaltung spät nachts steht jedoch in keinem Zusammenhang mit erhöhtem Risiko im Straßenverkehr.

*„It is not recommended to switch off all street lightning permanently. Instead, we suggest the right amount of light by which we mean lightning adequate to the specific situation as a balance between energy saving and comfortable citizens“.* (41)

Frei übersetzt: *„Es wird nicht empfohlen, die gesamte Straßenbeleuchtung dauerhaft abzuschalten. Stattdessen empfehlen wir die richtige Lichtmenge, d. h. eine der jeweiligen Situation angemessene Beleuchtung, die ein Gleichgewicht zwischen Energieeinsparung und Komfort für die Bürger darstellt.“*

Die teilweise nächtliche Abschaltung von Straßenbeleuchtung war und ist in vielen deutschen und österreichischen Gemeinden üblich. Die neue Oberösterreichische Umweltschutzgesetz-Novelle 2024 erleichtert Städten und Gemeinden die Komplettabschaltung von Straßenbeleuchtung (11). Entsprechend gibt es in Europa eine Vielzahl an Städten und Gemeinden, die zumindest eine Teilabschaltung bzw. Absenkung der Straßenbeleuchtung durchführt (43).

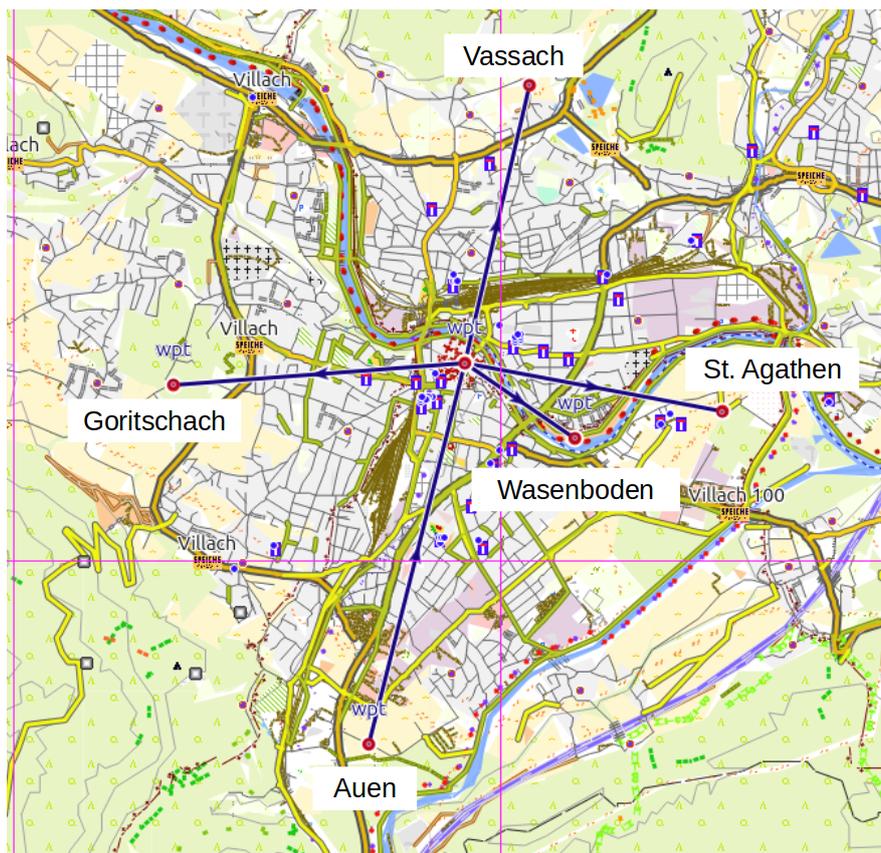
Es gibt allerdings Bereiche in Städte in denen eine Komplettabschaltung von Außenbeleuchtungen weniger sinnvoll ist. Im Kapitel 8 werden deshalb Strategien für naturverträgliche und bedarfsorientierte Beleuchtung präsentiert, um einen möglichst guten Kompromiss für *Naturschutz, Gesundheit, Verkehrssicherheit* und *subjektives Sicherheitsgefühl* zu finden.

## 4 Vermessung der Lichtverschmutzung in Villach

Sogenannte „Allsky-Bilder“ sind zweidimensionale Messungen des gesamten Nachthimmels. Solche Beobachtungen können mit kalibrierten Digitalkameras auf verschiedenen Wegen gewonnen werden. Im Falle der Vermessung von Villach wurde eine Canon EOS 6D Mark II-Kamera mit einem Sigma 8mm-Fischaugenobjektiv ausgestattet, um den Himmel als Ganzes an einem Zeitpunkt zu erfassen. Diese Methode wird kontinuierlich für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt (44). Ziel von Allsky-Bildern ist es, eine Helligkeitskarte des Nachthimmels zu erstellen, um die erhöhte Nachthimmels-helligkeit und damit die Auswirkung von künstlichem Licht in der Nacht darzustellen.

### 4.1 Methodik

In Kombination mit einer speziellen Software, die auf die genutzte Kamera kalibriert ist, werden die verarbeiteten Rohdaten des gesamten Himmelsbildes in Matrizen umgewandelt, die genaue Werte der Helligkeit/Dunkelheit bzw. des Einflusses durch Lichtverschmutzung an jedem Punkt des Nachthimmels liefern. Die Wahl der Software fiel auf „Sky Quality Camera“, entwickelt von Euromix Ltd. aus Slowenien. Die Analysen und erhaltenen Resultate ermöglichen vom Horizont ausgehende Lichtkuppeln und damit lichtemittierende Quellen und deren Auswirkungen auf den Nachthimmel zu quantifizieren.



**Abbildung 10** – 5 Aufnahmeorte der Sky Quality Camera (SQC) rund um Villachs Zentrum

Wie in Abbildung 10 dargestellt, wurden insgesamt fünf Standorte rund um das Zentrum von Villach gewählt, um Aufnahmen mittels der Allsky-Methode zu gewinnen. Von diesen wurde einer möglichst

nahe zum Zentrum der Stadt gewählt, um einen Einblick in die dort vorhandene Nachthimmelshelligkeit zu gewinnen, andererseits in den vier Himmelsrichtungen rund um die Stadt verteilt, hier um die Dominanz und Stärke der aufkommenden Lichtkuppeln zu analysieren.

Gemessene Daten wurden an zwei Nächten gesammelt, einerseits in der Nacht des 11./12.01.2024 sowie 05./06.02.2024. Bei jeglichen Messungen wurde die Kamera in Richtung Himmel positioniert, siehe Abbildungen 11 und 12, den gleichen Belichtungszeiten von 30 Sekunden sowie bei vollständig geöffneter Blende (f/3.5) und ISO-Wert von 1600 aufgenommen. Diese Einstellungen wurden über andere Messpunkte nicht geändert. Die meteorologischen Verhältnisse waren etwas unterschiedlich, so waren in der Januar-Nacht bei einigen Messungen Wolken am Himmel, die die nach oben dringende Lichtverschmutzung reflektieren. In der zweiten Messnacht war der Himmel sternklar. Für die Analyse werden nur Werte vom Zenit, dem höchsten Punkt des Nachthimmels, bis 20° über dem Horizont miteinbezogen, da es unter dieser Höhe meist zu Störungen durch terrestrische Objekte (z.B. Bäume oder Häuser) kommt.

Ein weiterer wichtiger Wert, welcher durch die gewählte und oben erwähnte Software analysiert werden kann, ist die Farbtemperatur. Auch diese kann an jedem Punkt des Himmels dargestellt werden, wobei hier sichtbar wird, welche Lichtquellen bzw. welche Art der Strahlung (kurzwellig oder langwellig) des sichtbaren Lichtes in der Stadt dominiert. Dies kann wichtige Rückschlüsse über die Umwelt- bzw. Nachtverträglichkeit der eingesetzten Außenbeleuchtung geben. Jeder der fünf Standorte wird somit auf seine Nachthimmelsqualität bzgl. seiner Dunkelheit sowie der auftretenden Farbtemperatur analysiert.



**Abbildung 11** – Setup in der Nacht 11./12.01.2024



**Abbildung 12** – Setup in der Nacht 05./06.02.2024

Die Nachthimmelshelligkeit wird entweder über die üblicherweise bekannte Leuchtdichte in der Ein-

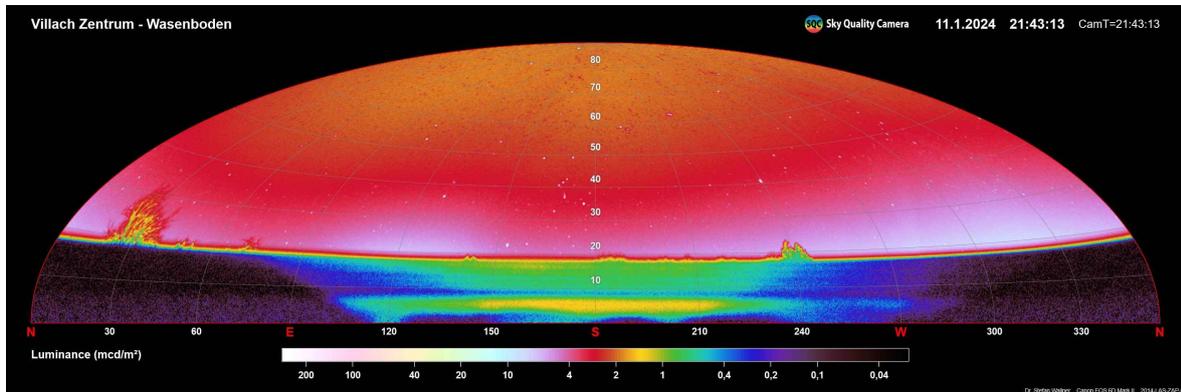
heit Candela pro Quadratmeter ( $cd/m^2$ ) oder in der astronomischen Einheit Magnituden pro Quadratbogensekunde ( $mag/arcsec^2$ ) angegeben. Je höher der Wert der  $cd/m^2$  ist, desto heller ist der Nachthimmel und desto deutlicher der Einfluss von künstlichem Licht, wobei ein mondloser Himmel frei von Lichtverschmutzung, also nur durch das Leuchten natürlicher Quellen wie Sterne, einen Wert von etwa  $200 \mu cd/m^2$  aufweist. Die astronomische Einheit  $mag/arcsec^2$  definiert eher die Dunkelheit des Himmels, je höher dieser Wert ist, desto dunkler und naturnaher ist also der Nachthimmel. Hier weist ein natürlicher Nachthimmel (mond- und wolkenfrei) einen Wert von etwa  $22,0 mag/arcsec^2$  auf. Während eine Differenz der Werte in der Einheit  $cd/m^2$  linear verläuft (d.h. doppelt so hoch bedeutet gleich doppelte Helligkeit), bedeutet die Differenz einer Magnitude einen Faktor 2,512 (d.h. ein Himmel mit  $21,0 mag/arcsec^2$  ist um einen Faktor 2,512 heller als ein vergleichbarer mit  $22,0 mag/arcsec^2$ ; ein Himmel mit  $20,0 mag/arcsec^2$  ist um einen Faktor 6,31 heller als ein vergleichbarer mit  $22,0 mag/arcsec^2$ , etc.).

Die Farbtemperatur, genauer die „korrelierte Farbtemperatur“ (CCT) einer Strahlungsquelle, gibt an, welche Lichtfarbe das menschliche Auge aufgrund der Zusammensetzung des ausgestrahlten Lichtes detektiert. Die Berechnung der korrelierten Farbtemperatur basiert auf dem „CIE 1931 color space“, der die menschliche Farbwahrnehmung von Licht mit den Farbreizen des Auges verknüpft. Die CCT wird in *Kelvin* angegeben, je höher dieser Wert ist, desto höher ist der Anteil an kurzwelligen Strahlen und die Lichtfarbe erscheint uns blau-weißlich. Diese beschreiben wir daher als kaltweiß. Ein geringer Wert steht für warmweiße Lichtfarben, das Licht erscheint uns hier rötlich, orange oder gelblich. Eine LED kann, im Gegensatz zu Leuchtmittel vergangener Generationen, einen großen Bereich an Farbtemperaturen annehmen, mit Werten zwischen 1500 bis über 10.000 Kelvin. Bis zu einer CCT von 3300 K kann das Licht als warmweiß definiert werden, wobei Lichtfarben über 3000 K im Außenbereich nicht verwendet werden (bzw. nach ÖNORM O 1052 bis max. 4000 K nur in Knotenpunkten gefährlicher Verkehrsbereiche, siehe Kapitel 7) und in ökologisch sensiblen Bereichen unter 2700 K liegen sollen. Natürliche Nachthimmel, ohne sichtbare Objekte sowie ohne Lichtverschmutzung zeigen sehr hohe CCT-Werte bis zu einigen Zehntausend Kelvin, was insbesondere an der geringen Helligkeit und Sensitivität der Kamera liegt.

## 4.2 Resultate

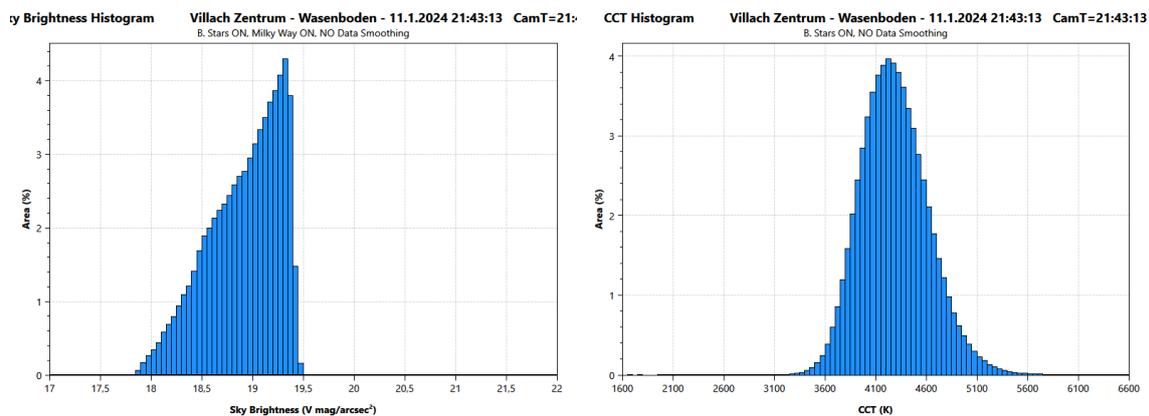
Die Resultate werden zunächst an den ausgewählten fünf Standorten individuell präsentiert, wobei einerseits die Himmelshelligkeit (in unterschiedlichen Darstellungen) sowie die auftretende Farbtemperatur analysiert wird. In der Diskussion, in Kapitel 4.3, wird danach die Gesamtheit über Villach diskutiert. Nachthimmelsanalysen werden entweder als Fischaugenbild (rund) oder Hammer-Aitov-Projektion (elliptisch) dargestellt.

## 4.2.1 Villach-Zentral: Wasenboden



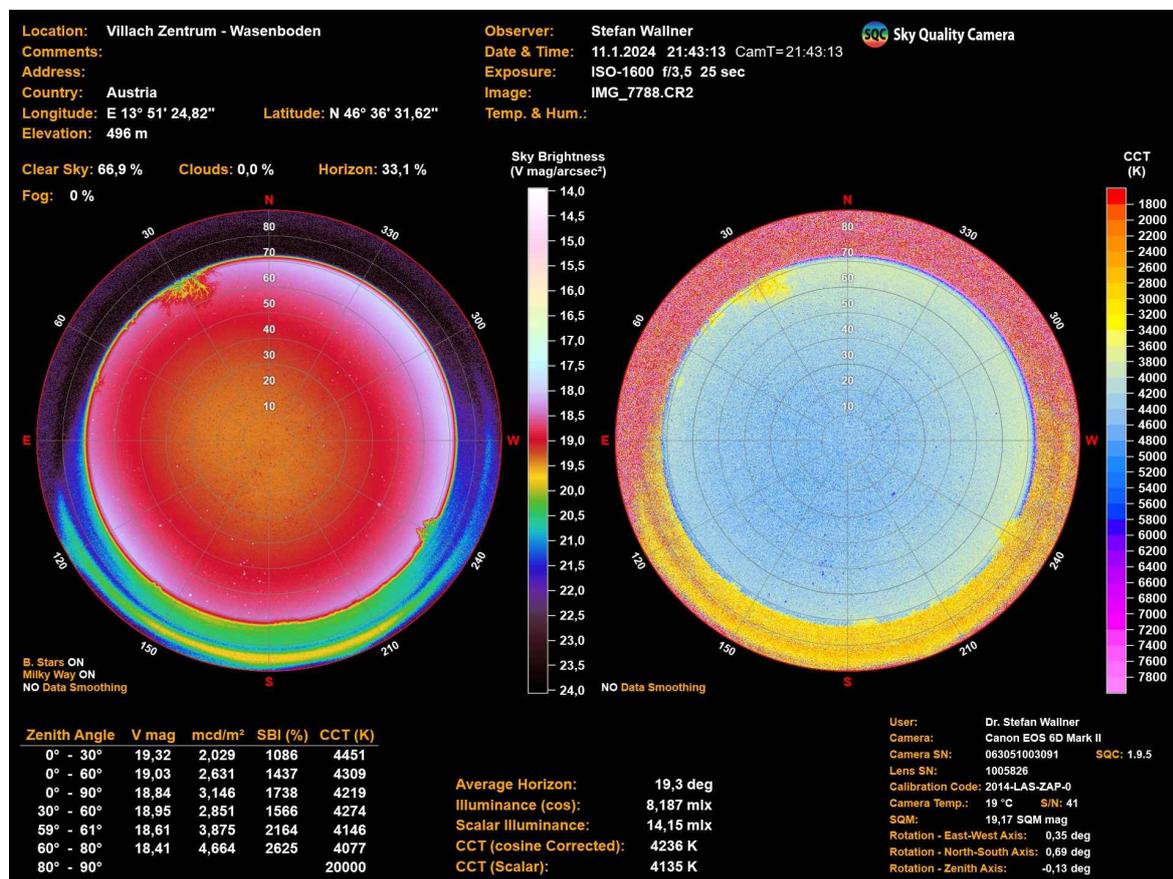
**Abbildung 13** – Für den Standort Villach-Zentrum (Wasenboden): Helligkeitsanalyse des Nachthimmels in der Hammer-Aitov-Projektion. Es handelt sich um den gesamten Nachthimmel ab einer Höhe von etwa 20 Grad über dem Horizont. In roten Buchstaben sind die Himmelsrichtungen unterhalb des Analysebildes kartiert.

Resultate der Leuchtdichteanalyse sowie der Nachthimmelshelligkeit sind in den Abbildungen 13 sowie 15 (links) dargestellt. Es ist klar ersichtlich, und wenig überraschend, dass die vorhandenen Werte weit entfernt eines natürlichen Nachthimmels liegen. Typisch für Messungen innerhalb von städtischen Gebieten ist, dass der Zenit (höchste Punkt des Himmels, im Fischaugenformat das Zentrum) die noch größten vorhandenen Dunkelheitswerte angeben, während horizontnahe Gebiete hellere Helligkeiten aufweisen. Dies deutet speziell darauf hin, dass eine große Menge an Strahlungen aus der Stadt nicht direkt nach oben gerichtet, sondern eher horizontal abstrahlen. Während, wie in Abbildung 14 (links) illustriert, der Nachthimmel über Villach über seine größte Fläche Werte zwischen 18,5 bis 19,3  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  besitzt, so liegt der Durchschnitt bei 18,84  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  bzw. 3,146  $\text{mcd}/\text{m}^2$ . Diese Resultate besagen, dass der Nachthimmel über das 18-fache heller ist als ein natürlicher ohne vorhandener Lichtverschmutzung. Bei auftretender Bewölkung liegen diese Werte noch weit höher.



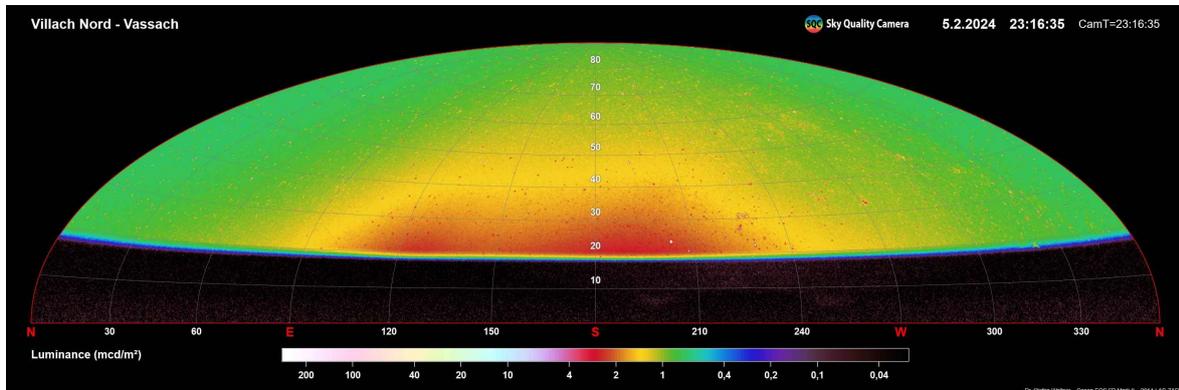
**Abbildung 14** – Himmelsanalyse am Standort Villach-Zentrum (Wasenboden). Die Diagramme zeigen, wie viel Prozent der analysierten Himmelsfläche (bis 20 Grad über dem Horizont) gewisse Leuchtdichtewerte (links) sowie CCT-Werte (rechts) aufweisen.

Auftretende Farbtemperaturen, zu sehen in den Abbildungen 15 (rechts) sowie 14 (rechts), zeigen eindeutig, dass diese mit Werten zwischen typischerweise 4000 bis 4700 K deutlich im kalt-weißen Bereich liegen. Im Durchschnitt weist der Nachthimmel Villachs eine CCT von 4219 K an diesem Standort auf. Verglichen mit dem Stand der Technik wie in der ÖNORM O 1052 vorgegeben, siehe Kapitel 7, sind diese auftretende Werte weit über den definierten Grenzen von meist 3000 K.



**Abbildung 15** – Gesamtanalyse am Standort Zentrum - Wasenboden. Links zu sehen ist die Nachthimmelshelligkeit im Fischaugenformat, rechts die auftretende Farbtemperatur. Weitere Informationen zu diesen Daten sind im Bild vermerkt. Bei auftretenden Leuchtdichte bzw. CCT-Werten nahe des Horizonts (zwischen 70-90 Grad) handelt es sich um Reflexionen innerhalb der Kamera, nicht um Himmelswerte.

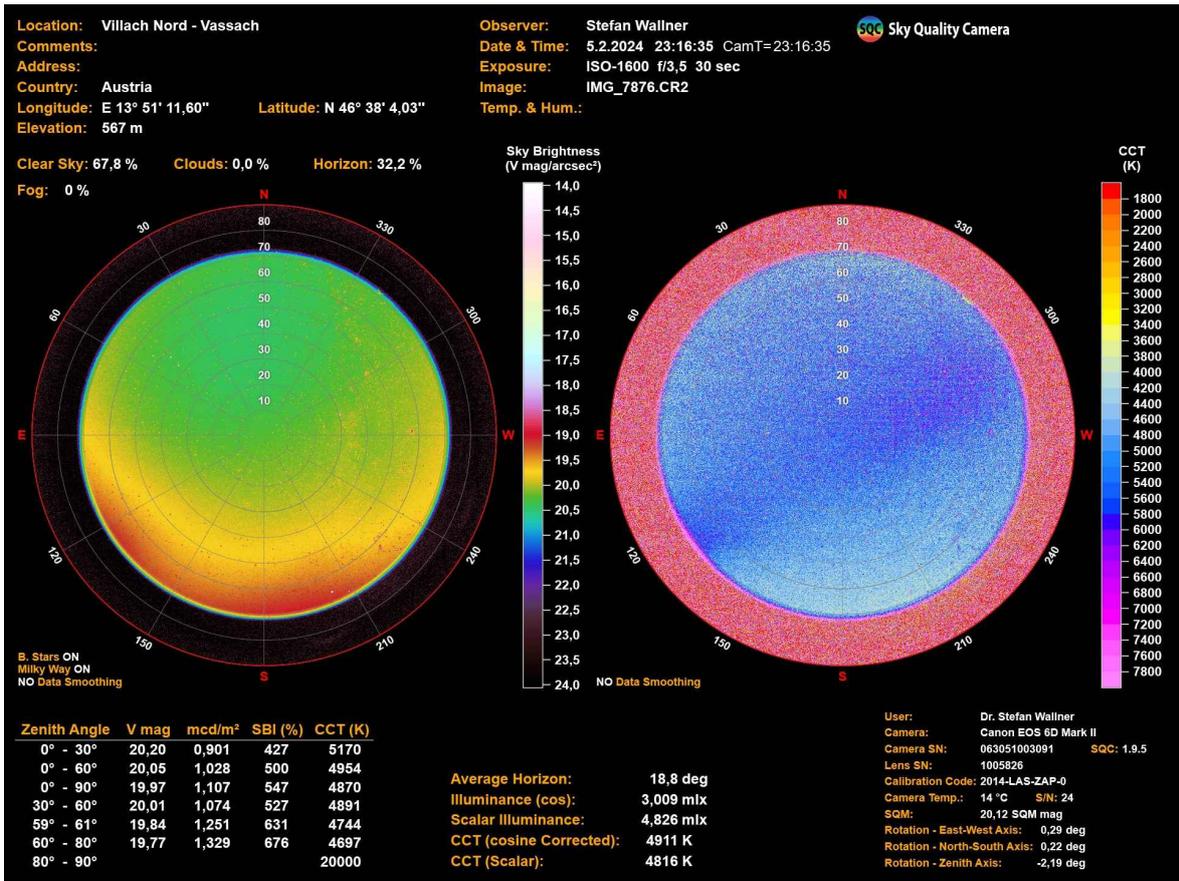
#### 4.2.2 Villach-Nord: Vassach



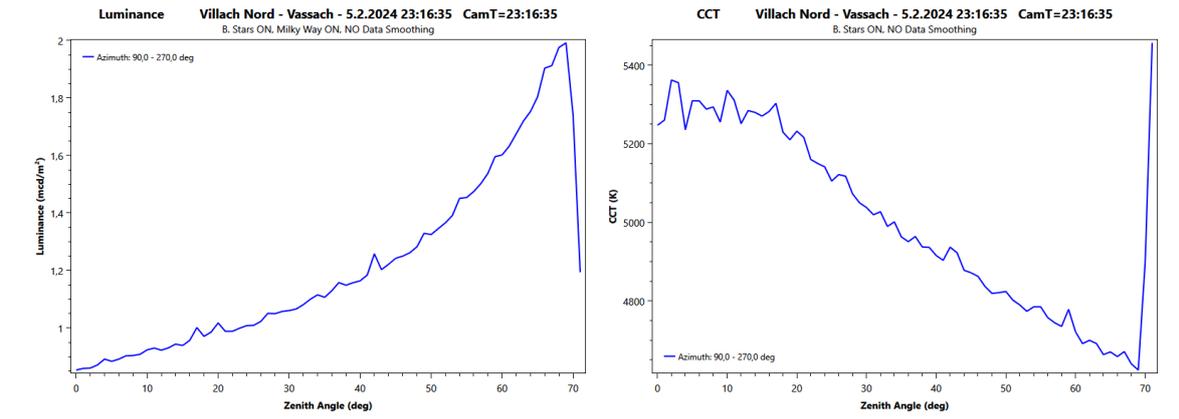
**Abbildung 16** – Für den Standort Villach-Nord (Vassach): Helligkeitsanalyse des Nachthimmels in der Hammer-Aitov-Projektion. Es handelt sich um den gesamten Nachthimmel ab einer Höhe von etwa 20 Grad über dem Horizont. In roten Buchstaben sind die Himmelsrichtungen unterhalb des Analysebildes kartiert.

Abbildungen 16 sowie 17 illustrieren die oben erwähnten Analysen für den Standort Vassach, nördlich von Villach. Es ist deutlich erkennbar, dass, aufgrund der Positionierung im Norden von Villach, die Lichtkuppel der Stadt sich speziell in Richtung Süden (S) erstreckt. Die rötlich dargestellte Färbung zeigt sehr hohe Helligkeiten, wobei diese auch aus dem Südosten deutlich werden. Die Helligkeit des Himmels besitzt im Durchschnitt - über die gesamte Himmelskugel gerechnet - einen Wert von  $19,97 \text{ mag/arcsec}^2$  bzw. eine Leuchtdichte von  $1,107 \text{ mcd/m}^2$ . Dies bedeutet, dass der Himmel an diesem Standort etwa 6,5-fach heller ist als an einem Standort ohne Lichtverschmutzung.

Um einen noch genaueren Blick speziell auf die Lichtkuppel von Villach zu werfen, zeigt die Abbildung 18 den Verlauf der Nachthimmelshelligkeit bzw. Farbtemperatur, begonnen vom höchsten Punkt des Himmels bis hinunter zum Messhorizont, wenn nur Daten in Richtung der Stadt Villach miteinbezogen werden. Da die Stadt von diesem Standort aus im Süden liegt, werden Daten zwischen Ost (E) und West (W) hier analysiert. Der Verlauf der Leuchtdichte zeigt deutlich den Anstieg in Richtung des Horizonts, also vom höchsten Punkt des Himmels in Richtung Stadt. Das Maximum wird bei etwa  $2 \text{ mcd/m}^2$  erreicht, das bedeutet, dass die Lichtkuppel  $20^\circ$  über dem Horizont etwa um das zehnfache bis zwölffache heller erscheint, als ein natürlicher Nachthimmel. Der Abfall der Farbtemperatur in dieselbe Richtung zeigt ebenso, dass man sich von einem natürlichen Nachthimmel immer weiter entfernt, je näher eine Horizontnähe erreicht wird. Hier wird erkenntlich, dass die Lichtkuppel von Villach Werte von etwa 4600 bis 4800 K erreicht.

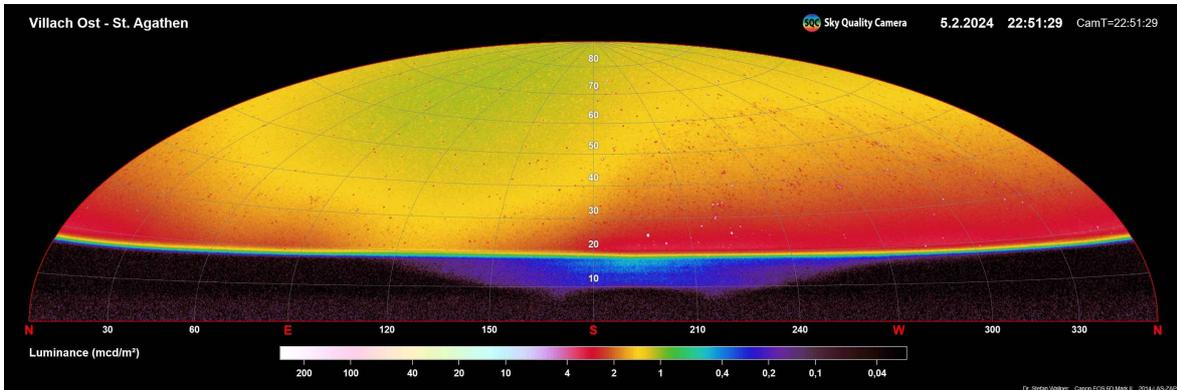


**Abbildung 17** – Gesamtanalyse am Standort Nord - Vassach. Links zu sehen ist die Nachthimmels-helligkeit im Fischaugenformat, rechts die auftretende Farbtemperatur. Weitere Informationen zu diesen Daten sind im Bild vermerkt.



**Abbildung 18** – Für den Standort Villach-Nord (Vassach): Verlauf der Leuchtdichte (links) sowie der auftretenden Farbtemperatur (rechts) des Nachthimmels vom Zenit (0°) bis in Horizontnähe (70°). Analyse beinhaltet nur Daten in Richtung Villach (von Osten über Süden nach Westen der ursprünglichen Himmelsaufnahme).

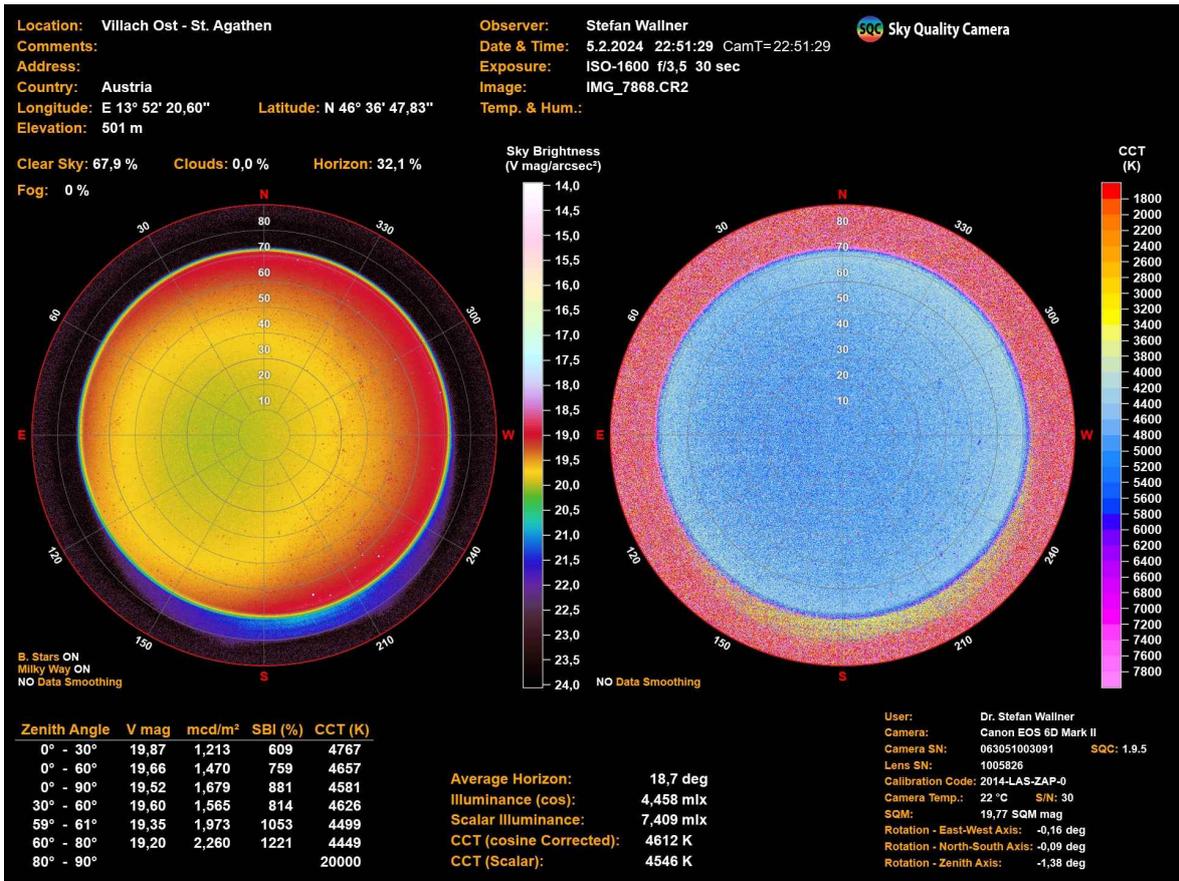
### 4.2.3 Villach-Ost: St. Agathen



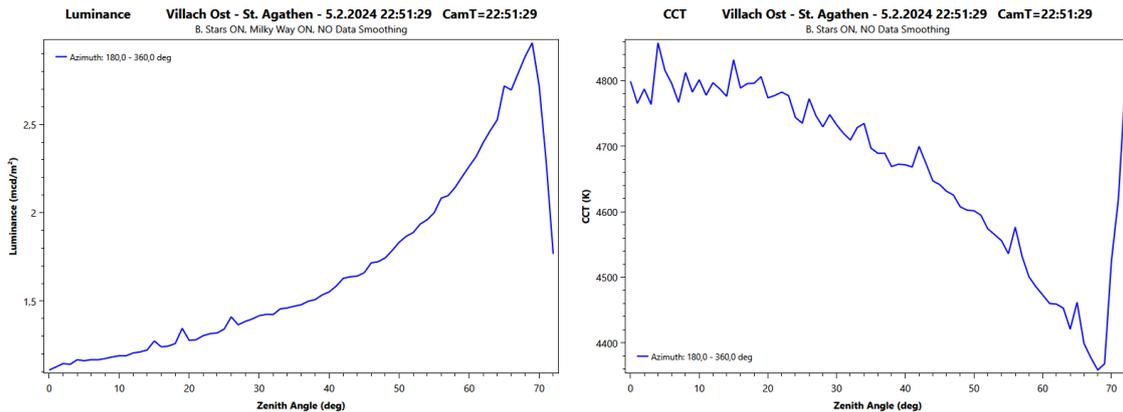
**Abbildung 19** – Für den Standort Villach-Ost (St. Agathen): Helligkeitsanalyse des Nachthimmels in der Hammer-Aitov-Projektion. Es handelt sich um den gesamten Nachthimmel ab einer Höhe von etwa 20 Grad über dem Horizont. In roten Buchstaben sind die Himmelsrichtungen unterhalb des Analysebildes kartiert.

Abbildungen 19 sowie 20 illustrieren die oben erwähnten Analysen für den Standort St. Agathen, östlich von Villach. Deutlich erkennbar werden sehr hohe Leuchtdichten, die sich über den Himmel verteilen. Im Gegensatz zu außerstädtischen Aufnahmen aus anderen Himmelsrichtungen, zeigt der Osten die höchsten Helligkeitswerte. Dies lässt darauf schließen, dass speziell aus dem Osten Villachs hohe Lichtmissionen stammen. An diesem Standort beträgt die durchschnittliche Nachthimmelshelligkeit  $19,52 \text{ mag/arcsec}^2$  bzw. zeigt die Leuchtdichte einen Wert von  $1,679 \text{ mcd/m}^2$ . Dies deutet auf einen Himmel hin, der im Schnitt um das beinahe zehnfache heller ist, als ein naturnaher Nachthimmel. Die Lichtkuppel der Stadt erstreckt sich über beinahe den gesamten rundumlaufenden Horizont und ist von Süden weg bis in den Osten deutlich erkennbar.

Ebenfalls die Detailanalysen in Richtung der Stadt Villach (aufgrund der Positionierung im Osten hier also Werte zwischen den Himmelsrichtungen Süden über den Westen bis in den Norden), wie in der Abbildung 21 illustriert, zeigen deutlich hellere Werte an. Das horizontnahe Maximum der Leuchtdichte nimmt einen Wert von knapp  $3 \text{ mcd/m}^2$  an, das etwa 15-fache der natürlichen Nachthimmelshelligkeit. Die Farbtemperatur zeigt ähnliche Werte wie am Standort Nord, wobei hier etwas geringere CCTs gemessen werden, etwa zwischen 4350 bis 4500 K.

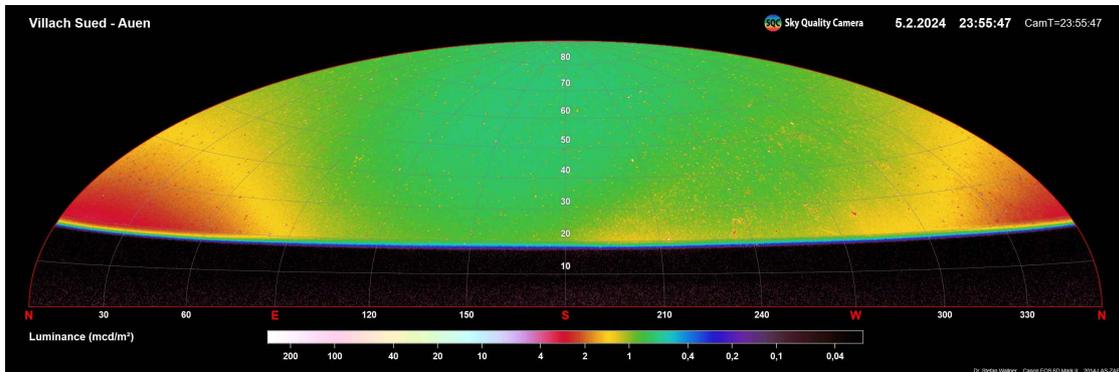


**Abbildung 20** – Gesamtanalyse am Standort Ost - St. Agathen. Links zu sehen ist die Nachthimmelhelligkeit im Fischaugenformat, rechts die auftretende Farbtemperatur. Weitere Informationen zu diesen Daten sind im Bild vermerkt.



**Abbildung 21** – Für den Standort Villach-Ost (St. Agathen): Verlauf der Leuchtdichte (links) sowie der auftretenden Farbtemperatur (rechts) des Nachthimmels vom Zenit (0°) bis in Horizontnähe (70°). Analyse beinhaltet nur Daten in Richtung Villach (von Süden über Westen nach Norden der ursprünglichen Himmelsaufnahme).

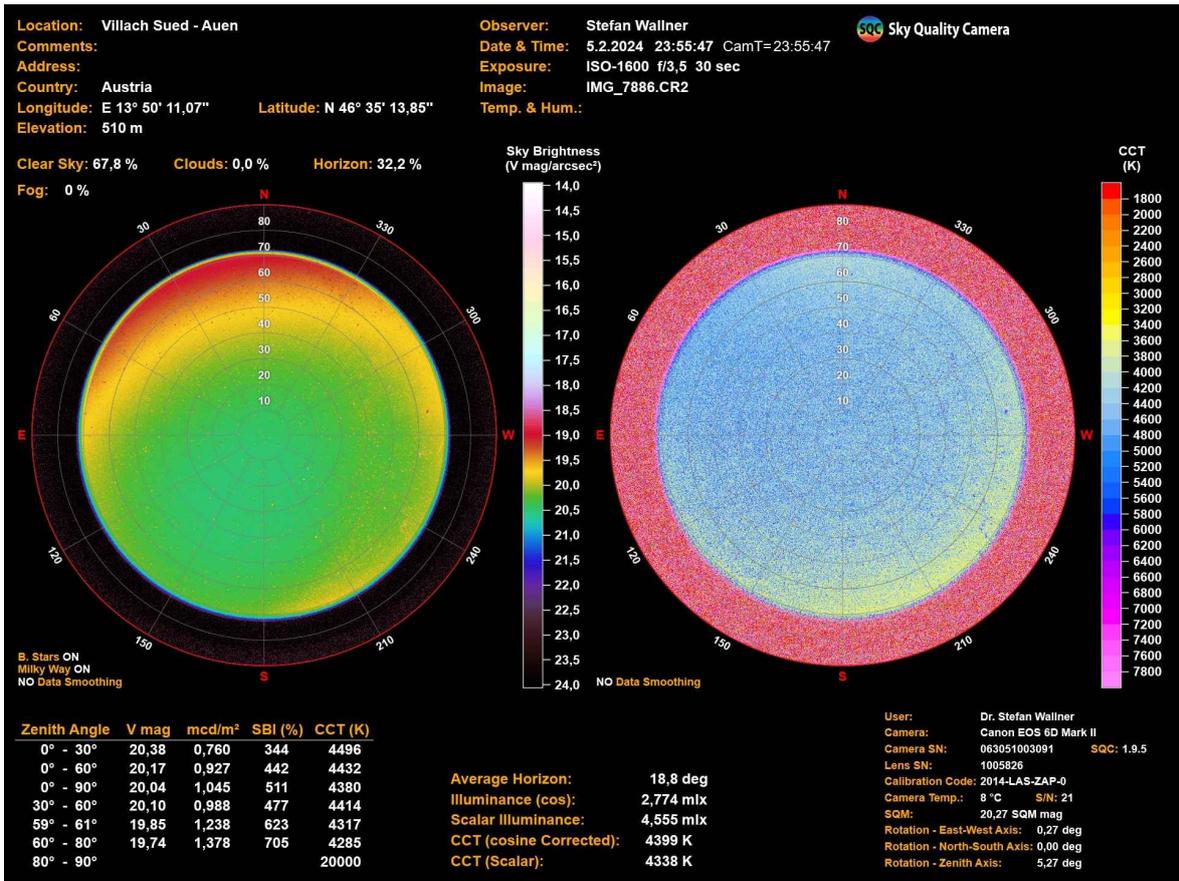
#### 4.2.4 Villach-Süd: Auen



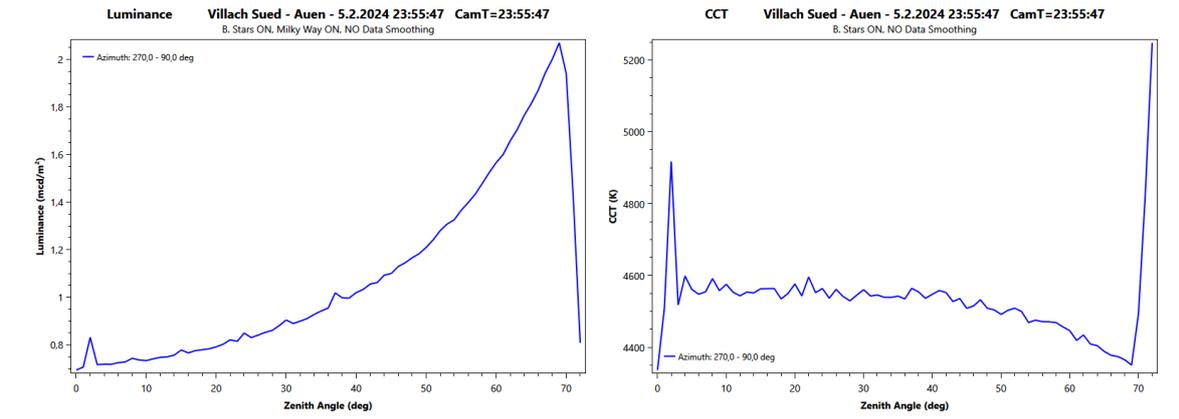
**Abbildung 22** – Für den Standort Villach-Süd (Auen): Helligkeitsanalyse des Nachthimmels in der Hammer-Aitov-Projektion. Es handelt sich um den gesamten Nachthimmel ab einer Höhe von etwa 20 Grad über dem Horizont. In roten Buchstaben sind die Himmelsrichtungen unterhalb des Analysebildes kartiert.

Wenig überraschend, zeigt der Standort Süd-Auen, dargestellt in den Abbildungen 22 sowie 23, die Lichtkuppel von Villach speziell aus dem Norden und ebenso Nordosten kommend. Dies passt mit den bisherigen Analysen anderer Standorte überein. Die durchschnittliche Nachthimmelshelligkeit zeigt einen Wert von  $20,04 \text{ mag/arcsec}^2$  bzw. eine Leuchtdichte von  $1,045 \text{ mcd/m}^2$ . Dies entspricht einer Helligkeit, die etwa dem sechsfachen eines natürlichen Himmels entspricht.

Der Verlauf der Leuchtdichte in Richtung der Stadt, siehe Abbildung 24, zeigt wiederum deutlich einen Anstieg in Annäherung an den Horizont. Das Maximum wird bei etwa  $2 \text{ mcd/m}^2$  erreicht, das bedeutet, dass die Lichtkuppel  $20^\circ$  über dem Horizont etwa um das zeh- bis zwölffache heller erscheint, als ein natürlicher Nachthimmel. Dies ist vergleichbar mit den Werten, die am Standort Villach-Nord vermessen wurden. Die gemessenen Farbtemperaturen nehmen relativ konstant einen Wert zwischen 4400 bis 4600 K an.

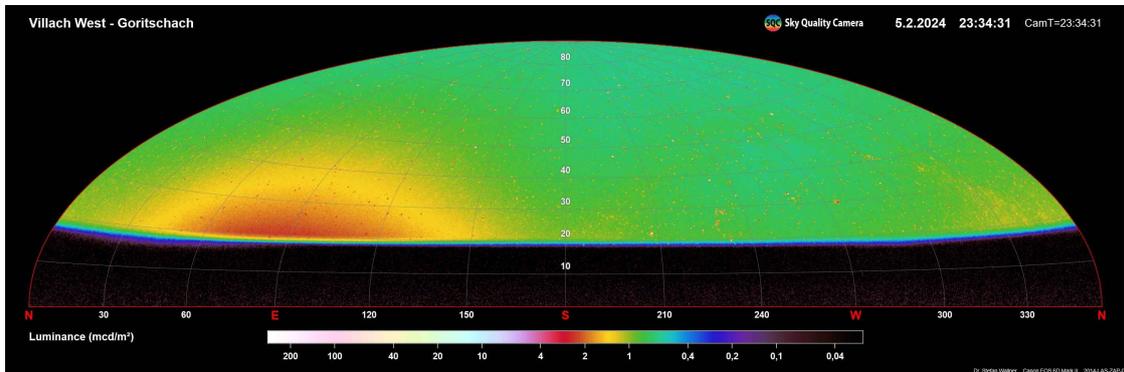


**Abbildung 23** – Gesamtanalyse am Standort Süd - Auen. Links zu sehen ist die Nachthimmelshelligkeit im Fischaugenformat, rechts die auftretende Farbtemperatur. Weitere Informationen zu diesen Daten sind im Bild vermerkt.



**Abbildung 24** – Für den Standort Villach-Süd (Auen): Verlauf der Leuchtdichte (links) sowie der auftretenden Farbtemperatur (rechts) des Nachthimmels vom Zenit (0°) bis in Horizontnähe (70°). Analyse beinhaltet nur Daten in Richtung Villach (von Westen über Norden nach Osten der ursprünglichen Himmelsaufnahme).

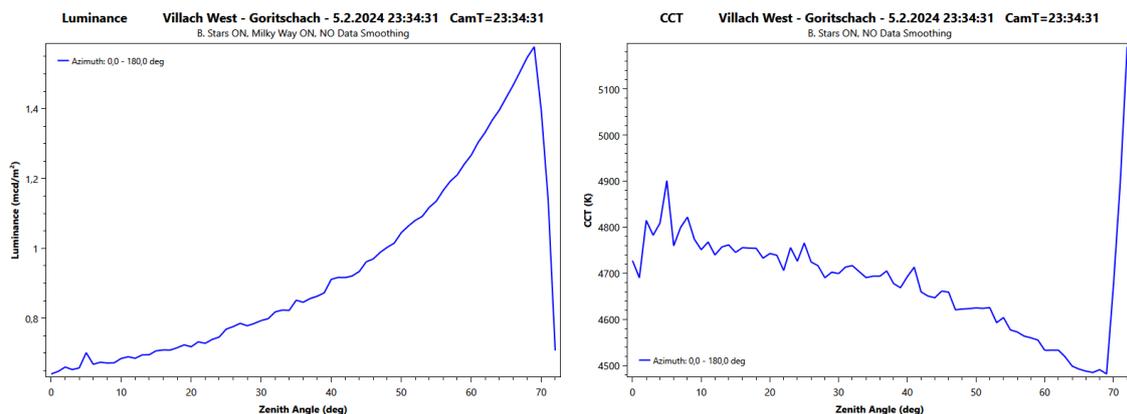
#### 4.2.5 Villach-West: Goritschach



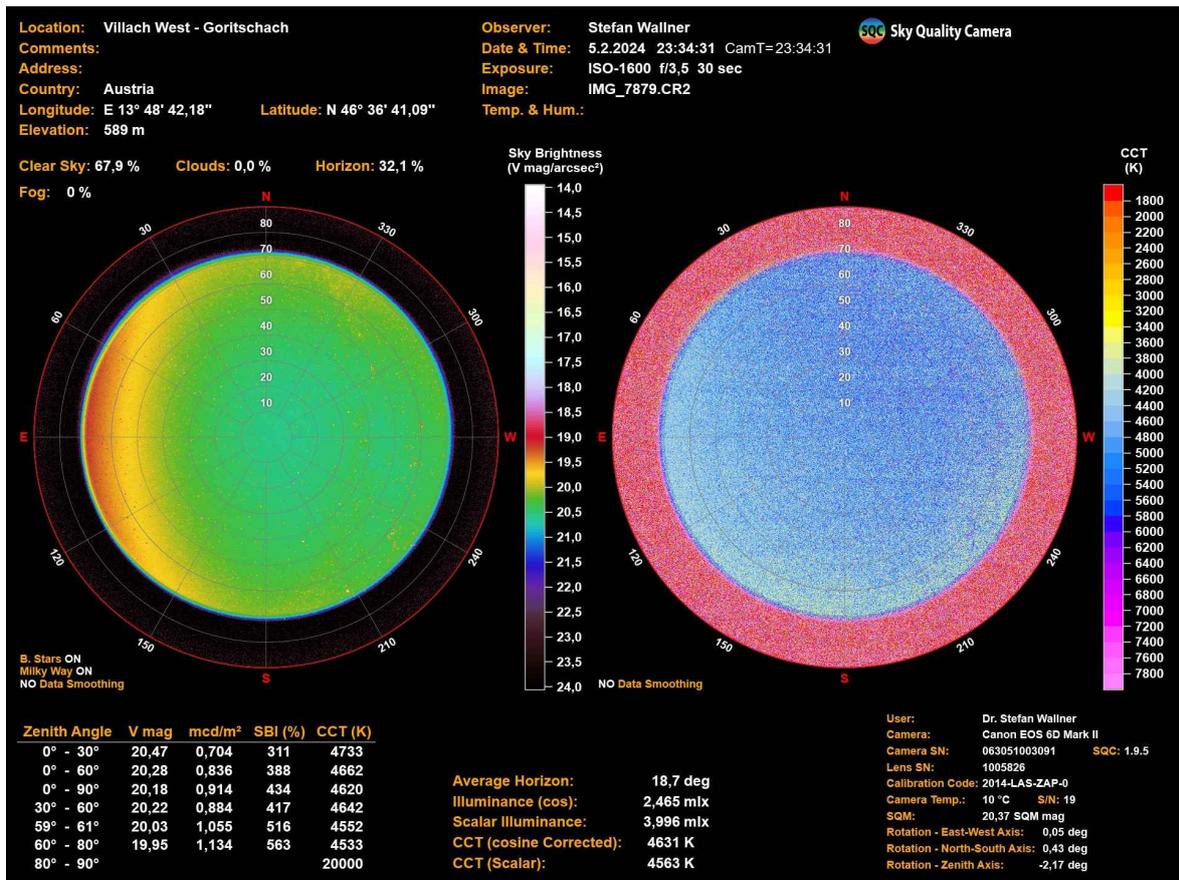
**Abbildung 25** – Für den Standort Villach-West (Goritschach): Helligkeitsanalyse des Nachthimmels in der Hammer-Aitov-Projektion. Es handelt sich um den gesamten Nachthimmel ab einer Höhe von etwa 20 Grad über dem Horizont. In roten Buchstaben sind die Himmelsrichtungen unterhalb des Analysebildes kartiert.

Wie in den Abbildungen 25 sowie 26 ersichtlich, handelt es sich beim Standort Villach-West um den bislang am wenigsten lichtverschmutzten Ort im Vergleich mit anderen analysierten Messungen. Dies zeigt die deutliche Abgrenzung der auftretenden Lichtkuppel Villachs, die sich zwischen Nordost und Südost erstreckt. Die durchschnittliche Nachthimmelshelligkeit besitzt einen Wert von  $20,18 \text{ mag/arcsec}^2$  bzw. eine Leuchtdichte von  $0,914 \text{ mcd/m}^2$ , äquivalent zu einem Nachthimmel der um etwa das fünffache heller ist als ein natürlicher.

In Abbildung 27 ist zu sehen, dass der Maximalwert der Leuchtdichte in Richtung Villach  $1,55 \text{ mcd/m}^2$  annimmt, das ist das etwa Achtfache des natürlichen Nachthimmels. Die Farbtemperatur nimmt in Nähe der Lichtkuppel Werte von etwa 4500 bis 4700 K an, wobei nahe des Zenits auch Werte bis etwa 4900 K zu finden sind, was auf eine höhere Natürlichkeit an diesem Standort deuten lässt. Die Werte liegen jedoch weiterhin fern eines naturnahen Himmels.



**Abbildung 27** – Für den Standort Villach-West (Goritschach): Verlauf der Leuchtdichte (links) sowie der auftretenden Farbtemperatur (rechts) des Nachthimmels vom Zenit ( $0^\circ$ ) bis in Horizontnähe ( $70^\circ$ ). Analyse beinhaltet nur Daten in Richtung Villach (von Norden über Osten nach Süden der ursprünglichen Himmelsaufnahme).



**Abbildung 26** – Gesamtanalyse am Standort West - Goritschach. Links zu sehen ist die Nachthimmelhelligkeit im Fischaugenformat, rechts die auftretende Farbtemperatur. Weitere Informationen zu diesen Daten sind im Bild vermerkt.

### 4.3 Diskussion

Zusammenfassend wurden durch die Vermessung der Lichtverschmutzung in und rund um Villach folgende Werte gemessen bzw. analysiert:

Standort	SB-Faktor	∅ Helligkeit	∅ Leuchtdichte	∅ CCT
Zentrum - Wasenboden	~18	18,84 mag/arcsec <sup>2</sup>	3,146 mcd/m <sup>2</sup>	4219 K
Nord - Vassach	~6,5	19,97 mag/arcsec <sup>2</sup>	1,107 mcd/m <sup>2</sup>	4870 K
Ost - St. Agathen	~10	19,52 mag/arcsec <sup>2</sup>	1,679 mcd/m <sup>2</sup>	4581 K
Süd - Auen	~6	20,04 mag/arcsec <sup>2</sup>	1,045 mcd/m <sup>2</sup>	4380 K
West - Goritschach	~5	20,18 mag/arcsec <sup>2</sup>	0,914 mcd/m <sup>2</sup>	4620 K
Vergleich: ~Naturnacht	1	22,0 mag/arcsec <sup>2</sup>	0,2 mcd/m <sup>2</sup>	Rauschen

**Tabelle 1** – Zusammenfassung der analysierten Messresultate an den gewählten Standorten in und rund um Villach

Der SB-Faktor in Tabelle 1 zeigt an, um wie vieles der gemessene Himmel heller ist, verglichen mit

einem Nachthimmel ohne Lichtverschmutzung und ausschließlich natürlichen Lichtquellen wie Sternen. Bei einem solchen Himmel sind CCT-Werte durch Rauschen extrem hoher CCT-Werte bestimmt, was eine Limitation von gewöhnlichen DSLR-Kameras darstellt. Aufgrund der hohen auftretenden Leuchtdichten in urbanen Gebieten wie Villach, ist dies für die dargelegte Studie kein Hindernis.

Vergleiche der SB-Faktoren an den Messstandorten zeigen, wie sich die Strahlung innerhalb der Stadt verteilt. Wenig überraschend, werden die größten Strahlungsmengen bzw. Helligkeiten im Stadtzentrum gemessen. Wie auf den Analysebildern ersichtlich, ist ein großer Teil des künstlichen Lichts nahe des Messhorizonts konzentriert. Dies lässt darauf schließen, dass viele Lichtquellen in der Stadt Abstrahlungen besitzen, die nahe bzw. über der Horizontalen liegen. Diese verursachen direkt eine Himmelsaufhellung und legen nahe, dass hierzu definierte Grenzwerte in der ÖNORM O 1052 (siehe Kapitel 7) übertroffen werden.

Während die Standorte Nord und Süd vergleichbare Messwerte aufweisen, ist der Osten Villachs von deutlich höheren Lichtmengen betroffen. Dies lässt sich vor allem auf die auftretende Industrie nahe des Autobahnknotens Villach zurückführen, während in gegenüberliegender Richtung auch Velden am Wörthersee ersichtlich wird. Im Westen am Standort Goritschach wurden die dunkelsten Werte analysiert, was vor allem auf die Existenz des Naturparks Dobratsch zurückzuführen ist.

Die gemessenen Werte zeigen in deutlicher Klarheit, dass Villach von einem sehr hohen Grad an Lichtverschmutzung betroffen ist. Werte, die in der Innenstadt gemessen wurden, sind vergleichbar mit durchschnittlichen Werten der Innenstadt Linz sowie Außenbezirken Wiens (45). Auch außerhalb der Stadt liegt der Nachthimmel weit entfernt eines naturnahen, was vor allem eine signifikante Rolle für den Naturpark Dobratsch sowie die nächtliche Biodiversität spielt. Der Naturpark Dobratsch zählt nicht nur zu den hellsten Naturparks Österreichs, auch ist die hier auftretende Lichtmenge in der letzten Dekade um mindestens 155 % gestiegen, wie eine veröffentlichte Studie aus 2023 zeigt (46). Dieser Anstieg ist zu größten Teilen auf die Stadt Villach zurückzuführen.

Auftretende Nachthimmelshelligkeiten wurden nur in klaren Nächten beobachtet. Aufgrund der hohen Lichtmengen, verschlimmert sich die Lichtverschmutzung durch Bewölkung. Typischerweise können sich die Werte bei vollständig bewölktem Himmel nochmals um das ca. 15-fache steigern. In der Innenstadt Villachs würde das bedeuten, dass der Nachthimmel bei bewölktem Himmel um das 270-fache heller ist als ein natürlicher, sternenklarer Nachthimmel. Diese Werte zeigen die Dringlichkeit von Maßnahmen zur Verringerung der Lichtverschmutzung.

Die auftretenden Farbtemperaturen zeigen eine klare Tendenz zu Beleuchtungen mit kalt-weißen Lichtfarben über 4000 K. Dies liegt deutlich über den Grenzen der ÖNORM O 1052 (siehe Kapitel 7) und stellt eine signifikante Belastung an kurzwelliger Strahlung dar. Dies stellt eine bedeutende Gefahr für die nächtliche Biodiversität im nahegelegenen Naturpark Dobratsch dar. Hier handelt es sich um eine in der ÖNORM definierte ökologisch sensible Region. Die ÖNORM gibt Farbtemperaturen im Bereich von unter 2700 K vor.

Die in diesem Bericht durchgeführten Messungen zeigen nur einen kleinen Teil einer vollständigen Messanalyse. Hat die Stadt Villach vor, weiterhin die Entwicklung der Lichtverschmutzung im Auge zu behalten, so wird angeraten permanente Lichtmessinstrumente zu installieren. Dabei können, Daten in Echtzeit veröffentlicht werden, die z.B. für die Bevölkerung jederzeit einsichtig sind. Vorbilder hierfür sind z.B. die Städte Linz (47) sowie Eisenstadt (48).

#### **4.4 Zusammenfassung**

In diesem Kapitel wurde die auftretende Lichtverschmutzung durch Messungen des Nachthimmels bzw. dessen Erhellung in und rund um Villach erfasst. Zum Einsatz kam hierbei eine Spiegelreflexkamera, die durch ein Fischaugenobjektiv den Nachthimmel zur Gänze aufnehmen kann und die an verschiedenen Standorten platziert wurde. Diese wurden gleichmäßig in den vier Himmelsrichtungen an der Stadtgrenze Villachs sowie auch in der Nähe der Innenstadt (Wasenboden) gewählt. Eine für die verwendete Kamera kalibrierte Software analysiert die Aufnahmen nach vorhandenen Nachthimmelshelligkeiten bzw. Leuchtdichten sowie auftretenden Farbtemperaturen.

Resultate der Messanalysen zeigen einen deutlichen Grad an Lichtverschmutzung über der Stadt Villach, wobei der Nachthimmel in der Innenstadt über das 18-fache heller erscheint als ein vergleichbarer natürlicher Nachthimmel. Beim Aufkommen bewölkten Himmels können die Werte hier bis zum 270-fachen der natürlich auftretenden Helligkeit eines vergleichbaren Sternenhimmels erreichen. Die Werte Villachs sind nahe an Werten, die in der Innenstadt von Linz sowie in Außenbezirken Wiens gemessen werden. Farbtemperaturen von Beleuchtungspunkten in der Stadt deuten auf einen erhöhten Einsatz kalt-weißen Lichtes, welches eine Gefahr für die natürlichen zirkadianen Rhythmen der Bevölkerung darstellt.

Speziell die nächtliche Biodiversität des nahegelegenen Naturpark Dobratsch ist stark vom Einfluss künstlichen Lichts bei Nacht betroffen, wobei hier die Stadt Villach eine große Rolle einnimmt. Messwerte zeigen, dass der Stand der Technik (ÖNORM O 1052) aktuell verfehlt wird und in künftige Planungen der Stadt miteinbezogen werden sollte.

## 5 Foto-Dokumentation: Beitragsabschätzung mittels relativer Differenzmessung

Lichtverschmutzung wird zum überwiegenden Teil von schlecht abgeschirmter und zu heller Beleuchtung verursacht. Für die Beurteilung, ob eine Lichtquelle gut oder schlecht abgeschirmt oder ausgerichtet ist, genügt schon ein Blick auf die Leuchte: Ist von (seitlich) oben die Lichtquelle erkennbar, handelt es sich um ungenügende Abschirmung und Ausrichtung. Strahlt das Licht nur nach unten und ist von (seitlich) oben nicht erkennbar, sind Abschirmung und Ausrichtung gelungen. Jede nicht entsprechend abgeschirmte und ausgerichtete Lichtquelle verschwendet Licht und trägt zu Lichtverschmutzung bei.

Jeder Ort ist voll mit Beispielen schlechter Außenbeleuchtung. Obwohl die Problematik der Lichtverschmutzung seit vielen Jahrzehnten bekannt ist und es seit 2018 einen offiziellen österreichischen Leitfaden für Außenbeleuchtung (49) gibt, kommen nach wie vor laufend schlechte Leuchten in Österreich zum Einsatz.

Jede Art dieser schlechten Lichtquellen ist aus weiter Entfernung erkennbar und wird im folgenden Kapitel für eine neuartige Analyseart der Kontributoren von Lichtverschmutzung herangezogen. Im späteren Kapitel 8.2 werden solche offensichtlichen Negativbeispiele mit Hilfe von Fotos im Detail angeführt und diskutiert.

### 5.1 Panoramaaufnahmen von Villach

Eine (stark unterbelichtete) Panoramaaufnahme von Villach, von einem erhöhten Standort aus fotografiert, zeigt eine Vielzahl an verschiedenen Lichtquellen (Abbildung 28). Es ist essenziell zu verstehen, dass jede Lichtquelle mit einer perfekten Abschirmung zur Seite/nach oben grundsätzlich auf solcher Abbildung **nicht sichtbar sein kann**. Das heißt im Umkehrschluss, dass jeder hier sichtbare Lichtpunkt, eine schlechte Abschirmung hat und entsprechend zur Lichtverschmutzung beiträgt.



**Abbildung 28** – Ausschnitt einer Panoramaaufnahme von Villach am 26.10.2023 um ca. 21:30 Uhr



**Abbildung 29** – Ausschnitt einer deckungsgleichen Tages-Panoramaaufnahme von Villach

Es ist sowohl quantitativ als auch qualitativ schwer zu bestimmen, welche Lichtquelle wie viel zur Lichtverschmutzung einer Stadt beiträgt. Umfangreiche und langjährige Untersuchungen der Stadt Wien haben gezeigt, dass ca. ein Drittel der Lichtglocke durch die öffentliche Straßenbeleuchtung, und ein weiteres Drittel durch Geschäfts-, Auslagen- und Werbebeleuchtung verursacht werden. Beim letzten Drittel spielen vermutlich Gebäude- und Fassadenbeleuchtung sowie großflächige Werbebeleuchtungen eine große Rolle (50).

Da für eine ähnlich aufwändige Untersuchung in der Stadt Villach die finanziellen Mittel fehlen, wird im folgenden eine neue Art der Schätzung vorgestellt und diskutiert, die schlussendlich Anhaltspunkte zur zukünftigen Vermeidung von Lichtverschmutzung geben könnte.

## 5.2 Methodik

Ausgangspunkt der neuartigen Abschätzung der Kontributoren von Lichtverschmutzung ist eine unterbelichtete Panoramaaufnahme (ähnlich Abbildung 28). Eine manuelle Analyse der Aufnahme durch eine ortskundige Person kann die sichtbaren Lichtpunkte u.a. mithilfe einer deckungsgleichen Tagesaufnahme (Abbildung 29) relativ einfach einer von drei Kategorien zuordnen:

- Straßenbeleuchtung
- Werbe- und Geschäftsbeleuchtung
- Industrie, Krankenhaus und Bahnhof

Für jede der obigen Kategorien wird eine Kopie der Panoramaaufnahme angelegt, jedoch mit **manuell ausgeblendeten Lichtpunkten** der jeweiligen Kategorie. Hierfür wird das Bildbearbeitungsprogramm *GIMP* verwendet und jede Lichtquelle händisch mit einem vollkommen schwarzen Stift mit einer Größe von 6 Pixel übermalen.

Ein Beispiel: Das Resultat der manuellen Überarbeitung für die Kategorie 'Straßenbeleuchtung' ist in Abbildung 30 und die (deckungsgleiche) Tagesaufnahme in Abbildung 31 sichtbar.



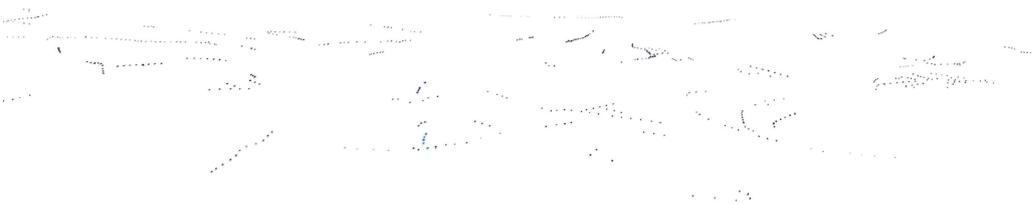
**Abbildung 30** – Ausschnitt der Panoramaaufnahme **ohne Straßenbeleuchtung**



**Abbildung 31** – Ausschnitt einer deckungsgleichen Tages-Panoramaaufnahme **ohne Straßenbeleuchtung**

In obiger Abbildung sieht man deutlich den Unterschied zum Original (Abbildung 28), denn die eindeutig zuordenbaren Straßenzüge fehlen darin. Zur Illustration wird die deckungsgleiche Tagesaufnahme inklusive der manuellen Überarbeitung in Abbildung 31 dargestellt. Bereits hier wird deutlich, wie viele Straßenbeleuchtungen von einem erhöhten Standort aus sichtbar sind.

Mit Hilfe einer Differenzrechnung der beiden Nachtbilder (Panorama unbearbeitet und bearbeitetes Panorama ohne Straßenbeleuchtung) wird der Unterschied noch besser sichtbar (Abbildung 32).



**Abbildung 32** – Differenz zwischen der originalen Nachtpanoramaaufnahme und dem überarbeiteten Bild ohne Straßenbeleuchtung

Diese Datengrundlage zeigt nicht nur eindeutig, wie viele nicht abgeschirmte Straßenbeleuchtungen es in Villach gibt, sondern lässt auch noch weitere Berechnungen zu: Misst man die Gesamthelligkeit (Summe aller RMS-Pixelhelligkeiten, siehe Kapitel 5.4) der originalen Aufnahme und vergleicht diese mit der Gesamthelligkeit der überarbeiteten Abbildung, wird zweitens zwangsläufig **dunkler** sein (es wurden viele helle Pixelansammlungen schwarz übermalen).

Die Reduktion der Helligkeit wird am besten in Prozent im Vergleich zur Originalaufnahme ange-

geben. Wiederholt man den Prozess mit den anderen beiden Kategorien, so erhält man jeweils Prozentwerte, die anschließend untereinander verglichen werden können. Am Ende soll abschätzbar sein, welche Kategorie von Beleuchtung durch schlechte Abschirmung mehr bzw. weniger potenziell zur Lichtverschmutzung beiträgt. Die Auswertungen wurden mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten Python-Skript automatisiert und frei zugänglich gemacht (Appendix A (51)).

### 5.3 Resultate

Im Folgenden werden die Panoramaaufnahmen von zwei verschiedenen Standpunkten um Villach analysiert. Die erste Aufnahme wurde vom Parkplatz 2 auf der Panoramastraße am Dobratsch mit Hilfe einer Drohne aufgenommen (automatische Panoramaaufnahme mit DJI Mini 3 Pro). Die zweite Aufnahme stellt ein Panoramamosaik einer digitalen Systemkamera (Sony a6300, Sigma 56mm/ f1.4 - 3 Bilder) aus halber Höhe der Gerlitzten Alpe dar. Aufgrund der gewollt niedrigen Belichtungszeit, erscheinen die Lichtpunkte entsprechend dunkel. In Kapitel 5.4 wird diskutiert, warum das für eine skriptbasierte Helligkeitsauswertung wichtig ist.

#### Ergebnisse Dobratsch P2

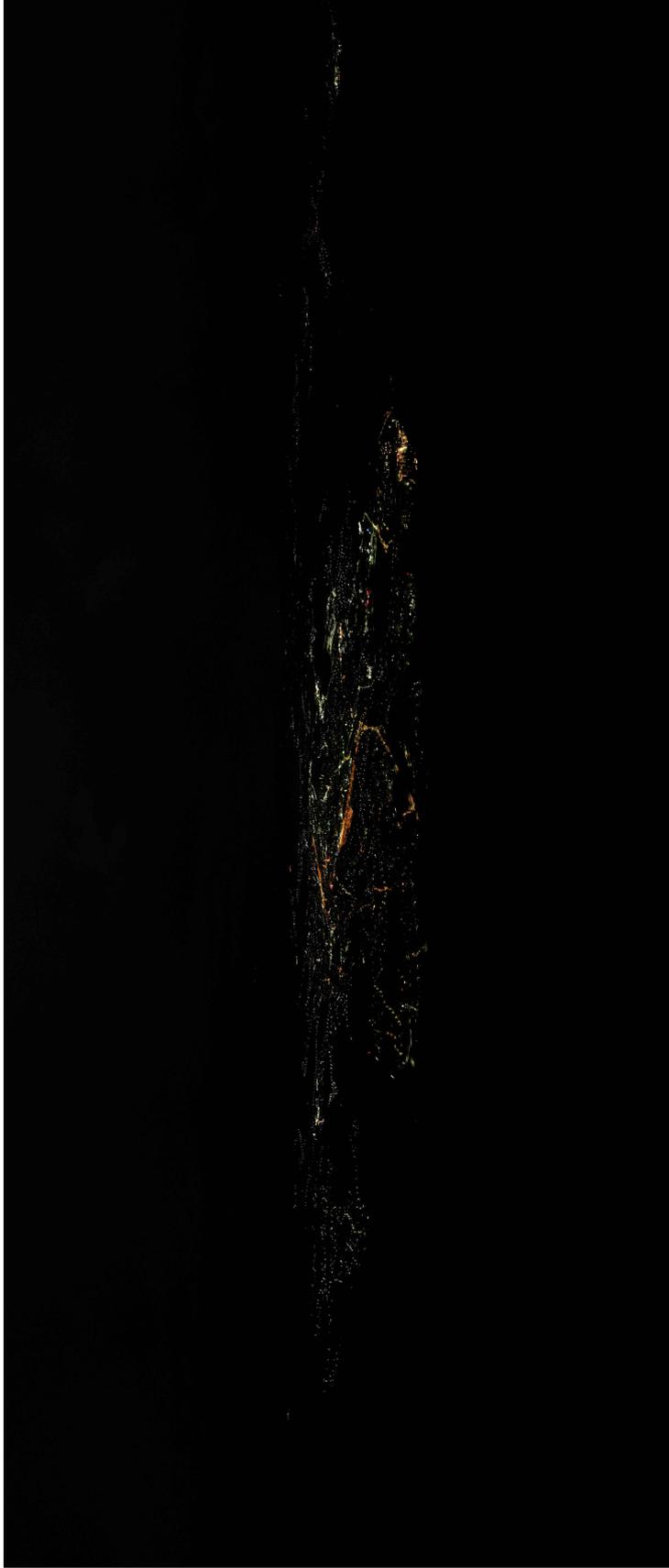
Die komplette Panoramaaufnahme für die Auswertung von diesem Standort ist in Abbildung 33 (Seite 32) dargestellt. Im Zentrum liegt Villach, doch auch die umliegenden Bereiche können in die Analyse mit aufgenommen werden.

Exkludiert man die von hier aus sichtbare Straßenbeleuchtung und erstellt ein Negativ der Differenz zum originalen Bild, erhält man Abbildung 34. Die Straßenzüge sind meist leicht erkennbar und die Lichtpunkte eindeutig als Straßenbeleuchtung zu identifizieren. Das Bild ohne Straßenbeleuchtung ist um ca. **5.6 %** dunkler als die Originalaufnahme.



**Abbildung 34** – Differenz zwischen originaler Nachtpanoramaaufnahme und überarbeitetem Bild ohne Straßenbeleuchtung

Das Gleiche wird für die von hier aus sichtbare Werbe- und Geschäftsbeleuchtung gemacht und man erhält Abbildung 35. Die dominanten Leuchtquellen sind meist extrem helle Werbereklame im Bereich der Maria-Gailer-Straße. Es ist wichtig zu erwähnen, dass durch den dichten Gebäudebestand in der Innenstadt, die dort liegenden Werbebeleuchtungen in dieser Analyseart leider nicht aufgenommen werden können, diese aber zweifelsfrei maßgeblich zur Lichtverschmutzung beitragen.



**Abbildung 33** – Komplette Panoramaaufnahme für die Auswertung aus der Sicht vom Parkplatz 2 der Dobratsch-Panoramastraße am 26.10.2023 um ca. 21:30Uhr

Obwohl bei der Kategorie Werbe- und Geschäftsbeleuchtung deutlich weniger Leuchtquellen identifiziert wurden als bei der Kategorie Straßenbeleuchtung, beläuft sich der Helligkeitsverlust der überarbeiteten Abbildung auf fast **3.7 %**. Es wird damit deutlich, dass die wenigen Lichtquellen der Werbe- und Geschäftsbeleuchtung um ein Vielfaches heller leuchten und dadurch viel stärker zur Lichtverschmutzung beitragen. Außerdem ist eine Korrektur dieses Wertes nach oben sicherlich notwendig, denn die meisten voll gesättigten Pixel (siehe Diskussion Kapitel 5.4) befinden sich in diesem Bereich.



**Abbildung 35** – Differenz zwischen originaler Nachtpanoramaaufnahme und überarbeitetem Bild ohne Werbe- und Geschäftsbeleuchtung

Als letzte Kategorie wird die vom Standort Dobratsch aus sichtbare Industrie-, Krankenhaus- und Bahnhofsbeleuchtung exkludiert und man erhält Abbildung 36. Eine Identifikation fällt schwerer, denn auch viele Privathaushalte haben extrem helle Außenbeleuchtung. Obwohl der Inhalt dieser Kategorie etwas breiter gestreut ist, erhalten wir hier die geringste Helligkeitsverringering von ca. **3.2 %**.



**Abbildung 36** – Differenz zwischen originaler Nachtpanoramaaufnahme und überarbeitetem Bild ohne Industrie-, Krankenhaus- und Bahnhofsbeleuchtung

### **Ergebnisse Gerlitzten Alpe (Kanzelhöhe)**

Ähnlich wie bei der Aufnahme vom P2 am Dobratsch wurde ein Panorama von der Gerlitzten aus (ca. Höhe Kanzelhöhe) erstellt. Diesmal wurde eine hochwertige digitalen Systemkamera (Sony a6300, Sigma 56mm/ f1.4 - 3 Bilder) verwendet und ein Mosaik mittels Bildbearbeitung erstellt. Die komplette Aufnahme für die folgende Auswertung ist in Abbildung 37 zu sehen. Wiederum liegt Villach im Zentrum, doch auch die Randgebiete werden in die Analyse mit aufgenommen.

Die Straßenbeleuchtung ist dank eindeutigem Muster meist leicht zu identifizieren. Exkludiert man diese und erstellt ein Negativ von der Originalaufnahme, erhält man Abbildung 38. Das Bild ohne Straßenbeleuchtung ist um ca. **3 %** dunkler als die Originalaufnahme.

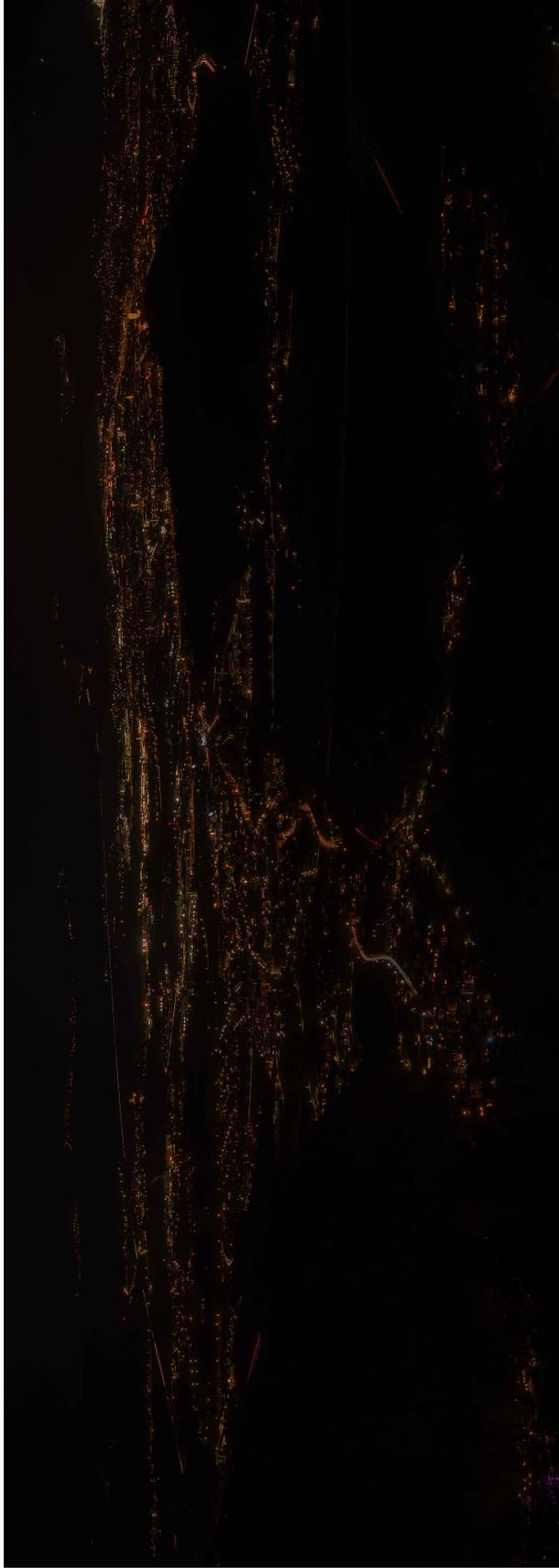


**Abbildung 38** – Differenz zwischen originaler Nachtpanoramaaufnahme und überarbeitetem Bild ohne Straßenbeleuchtung

Bei der Werbe- und Geschäftsbeleuchtung erhält man als Negativ der Differenz zum Originalbild Abbildung 39. Vor allem der Bereich in der Maria-Gailer-Straße trägt hier offensichtlich massiv zur Lichtverschmutzung bei, doch auch der Bereich Nähe Autohaus Wiegele ist deutlich sichtbar. Ohne Werbebeleuchtung reduziert sich die Bildhelligkeit um ca. **2 %**.



**Abbildung 39** – Differenz zwischen originaler Nachtpanoramaaufnahme und überarbeitetem Bild ohne Werbebeleuchtung



**Abbildung 37** – Komplette Panoramaaufnahme für die Auswertung aus der Sicht von der Gerlitz (ca. Höhe Kanzelhöhe) am 28.12.2023 um ca. 20:00 Uhr

Zuletzt wird die Industriebeleuchtung identifiziert und extrahiert. Diese Kategorie ist, wie oben erläutert, schwieriger zu bewerten, doch Gebiete wie Infineon, Kelag und Industriepark sind eindeutig erkennbar. Dadurch ergibt sich Abbildung 40, die Bildhelligkeit reduziert sich um ca. 1 %.



**Abbildung 40** – Differenz zwischen originaler Nachtpanoramaaufnahme und überarbeitetem Bild ohne Industriebeleuchtung

## 5.4 Diskussion

Der oben aufgezeigte Ansatz der Abschätzung von relativen Beiträgen von Lichtverschmutzungsquellen ist vollkommen neuartig und bedarf eingehender Diskussion. Offene Fragen sind unter anderem folgende:

**Restliche Lichtpunkte:** Werden alle oben angeführten Kategorien gleichzeitig ausgeblendet, bleiben trotzdem viele Leuchtquellen sichtbar (z.B. Abbildung 41). Es handelt sich hierbei meist um private Innen- und Außenbeleuchtung, indirekte und direkte Gebäudebeleuchtung (z.B. Friedensbrücke) und alle anderen nicht eindeutig zuordenbaren Leuchtpunkte.

**Vollständigkeit:** Es ist offensichtlich, dass eine manuelle Auswertung niemals perfekt sein kann. Außerdem ist bei den Fotos mit niedrigerer Auflösung eine genaue Identifikation der Lichtquelle schwieriger. Die Auswertungen wurden deshalb mit höchster Sorgfalt und nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt.

**Sichtbarkeit:** Ein Nachteil der obigen Analyseverfahren ist die oft vorhandene Bedeckung von Leuchtquellen durch z.B. Gebäude. Somit ist die Sichtbarkeit vieler Lichtquellen von einem fixen Blickpunkt aus teilweise stark eingeschränkt. Gerade in der Innenstadt gibt es eine hohe Dichte an (schlecht abgeschirmter) Werbebeleuchtung, die von einem einzigen Blickpunkt aus nicht vollständig erfasst und damit nicht in die Auswertung genommen werden können. Dieser Umstand verzerrt die Auswertung und die Ergebnisse müssen deshalb als absolute Untergrenze interpretiert werden.

**Pixelhelligkeitsmessung:** Die "Helligkeit eines Pixels kann auf verschiedene Arten gemessen werden. Die vom menschlichen Auge wahrgenommene Helligkeit unterscheidet sich von der 'Root Mean Square (RMS)' Helligkeit. Da es in diesem Bericht nur um den relativen Vergleich der Pixelhelligkeit geht, wurde das Bild zuerst grauskaliert und der 'RMS' Wert herangezogen (52). Für Details zum Skript siehe Appendix A.



**Abbildung 41** – Panoramaaufnahme ohne Leuchtpunkte der drei Kategorien aus der Sicht vom Parkplatz 2 der Dobratsch-Panoramastraße am 26.10.2023 um ca. 21:30Uhr

**Sättigung der Pixel:** Um quantitativ bewerten zu können, wie hell eine Lichtquelle auf einer Aufnahme im Vergleich zu einer anderen ist, dürfen die hellsten Pixel der Aufnahme nicht übersättigt sein. Ansonsten läuft man Gefahr, einen sehr ungenauen Vergleich zu ziehen, denn gesättigte Pixel erscheinen auf der Aufnahme gleich (maximal) hell, was nicht unbedingt der Realität entspricht. Das im Appendix A angeführte Skript misst die Anzahl der vollständig gesättigten Pixel der Aufnahmen und vergleicht sie zu der Anzahl der Pixel mit Helligkeiten größer 90 % des Maximums. Die so ermittelten Kennzahlen ergeben, dass für die Aufnahme vom Dobratsch weniger als 1.2 % der 'hellen Pixel' gesättigt sind, für die Aufnahme von der Gerlitzten sind es sogar nur 0.25 %.

## 5.5 Zusammenfassung

Die oben angeführten Verringerungen der Helligkeiten nach der neuartigen Analyseverfahren je Kategorie werden in Tabelle 2 zusammengefasst. Exkludiert man die Straßenbeleuchtung in beiden Aufnahmen, zeigt sich die größte Reduktion der Gesamtbildhelligkeit. Daraus folgt, dass mit der vorgestellten Methode (inklusive ihrer potentiellen Schwächen, siehe Kapitel 5.4) die Straßenbeleuchtung am meisten zur Lichtverschmutzung in Villach beiträgt. Verbesserungen an der Straßenbeleuchtung sind demnach dringend empfohlen; die Verantwortung für das Tätigwerden liegt hier bei der Stadt Villach.

Kategorie	Dobratsch P2	Gerlitzten Alpe
Straßenbeleuchtung	5.6 %	3 %
Werbe-/Geschäftsbeleuchtung	3.7 %	2 %
Industrie/Krankenhaus/Bahnhof	3.3 %	0.8 %

**Tabelle 2** – Verringerung der Helligkeit pro Kategorie und Beobachtungsstandort

Der Beitrag der beiden anderen Kategorien ist dennoch signifikant und stets als absolute Untergrenze zu bewerten! Bei Maßnahmen zur Reduktion von Lichtverschmutzung müssen unbedingt auch Werbe- und Geschäftsbeleuchtung sowie Industriestandorte berücksichtigt werden und Kooperation mit den entsprechenden Betrieben und BetreiberInnen angestrebt werden (siehe Kapitel 8).



## 6.2 Ergebnisse

### 6.2.1 Lichtemissionen 2022

In Abbildung 43 ist die räumliche Verteilung der Lichtemissionen (Strahldichte,  $nW/cm^2 \cdot sr$ ) für das Jahresmittel 2022 dargestellt. Die zugrunde liegenden Daten stammen von der Webseite der Black Marble-Gruppe bei der NASA, wurden in ein GeoTiff-Format konvertiert und mit dem Programm QGIS über eine OpenStreetMap-Karte gelegt. Es ergibt sich eine „Lichtverschmutzungskarte“ ähnlich wie bei den Karten in (57) und (54), mit einer Skalierung ähnlich der Karte in (57). In Villach ist die Fläche sowohl mit geringer Strahldichte (blaue Bereiche) als auch mit maximaler Strahldichte (dunkel-oranger) deutlich größer als in Fulda.

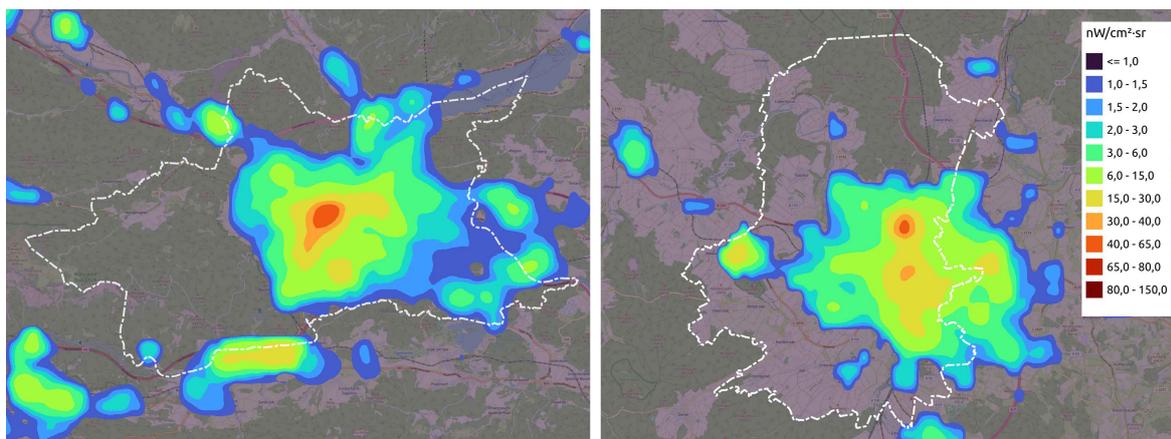


Abbildung 43 – Lichtemissionen, 2022: Villach (li), Fulda (re)

Die stärksten Lichtemissionen gehen in Villach vom Stadtzentrum aus (Strahldichte 2022 von  $49.5 nW/cm^2 \cdot sr$ ), wohingegen in Fulda das Industriegebiet Eisweiher mit der Papierfabrik Adolf Jass nördlich vom Stadtzentrum die stärksten Lichtemissionen verursacht (Strahldichte 2022 von  $43.4 nW/cm^2 \cdot sr$ ). Im Jahresmittel für 2022 betrug die maximale Strahldichte im Fuldaer Zentrum (Bahnhof/Nikolausstr./Rhönstr.)  $31.1 nW/cm^2 \cdot sr$ . **Somit war es 2022 im Villacher Zentrum um 59 % heller als im Fuldaer Zentrum.**

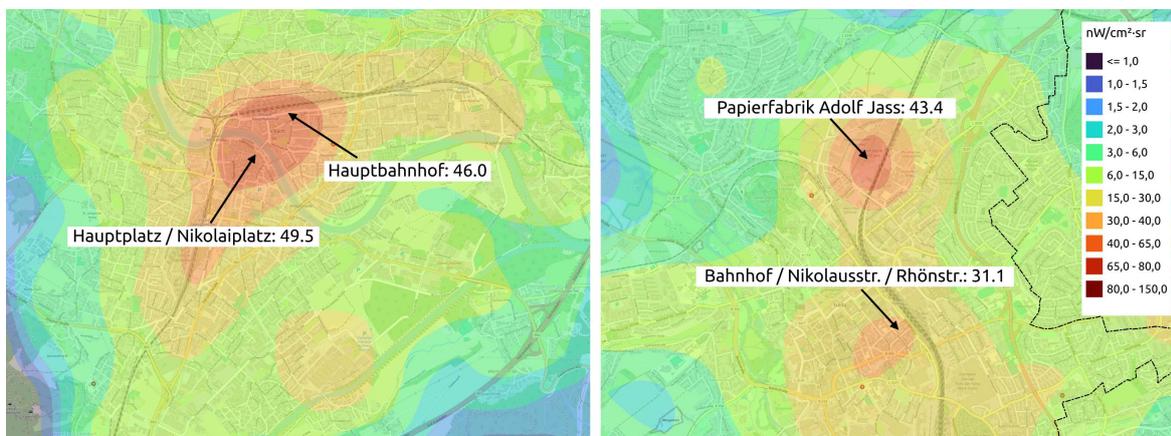


Abbildung 44 – Lichtemissionen, 2022, Detailansicht: Villach (li), Fulda (re)

## 6.2.2 Lichtemissionen - Trend 2012 bis 2023

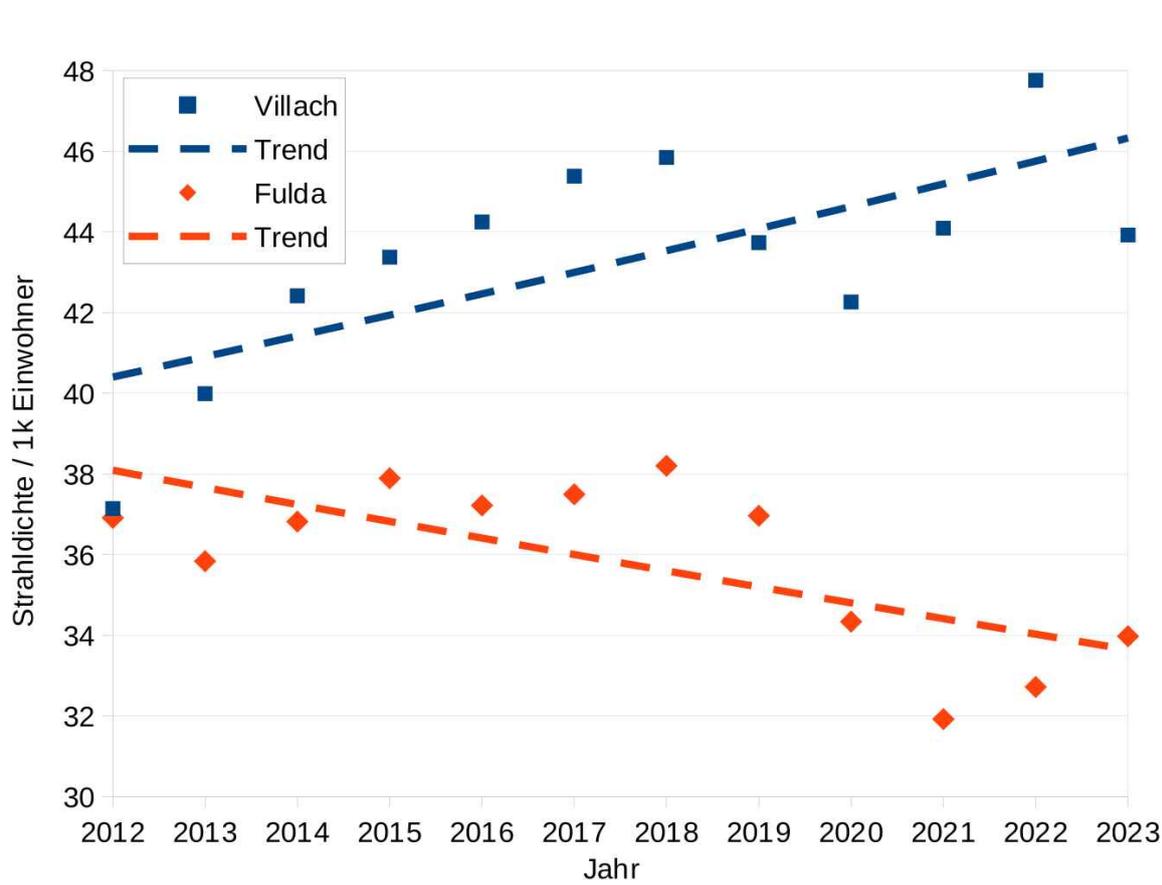
In Abbildung 45 ist die Strahldichte pro 1.000 Einwohner über die Jahre 2012 bis 2023 für die Stadt Villach und für die Stadt Fulda dargestellt. Für die in Abbildung 45 gezeigten Daten wurden zunächst die monatlichen Werte (Summe) des jeweiligen Verwaltungsgebietes (Verwaltungsgrenzen siehe Abbildung 42) aus (54) exportiert, der Median aus diesen monatlichen Daten pro Jahr berechnet und dann pro 1.000 Einwohner normiert.

Im Jahr 2012 war die Strahldichte pro Kopf beider Städte noch nahezu identisch. In den Folgejahren ist allerdings für Villach eine stetige Zunahme zu verzeichnen. **Der bisherige Höchststand in Villach wurde 2022 erreicht und lag 29 % über dem Wert von 2012.**

Bis zum Jahr 2018 gab es auch in Fulda noch einen leichten Anstieg, wenn auch deutlich geringer als in Villach. Jedoch ist seit 2019 (Jahr der Zertifizierung zur „Sternenstadt“) die Strahldichte in der Stadt Fulda signifikant rückläufig. Die Lichtemissionen im gesamten Verwaltungsgebiet der Stadt Fulda verringerten sich zwischen 2018 und 2021 um 20 %. In den Jahren 2022 und 2023 ist in Fulda ein erneuter Anstieg der Lichtemissionen sichtbar. Die möglichen Ursachen sind nicht bekannt und müssten separat untersucht werden.

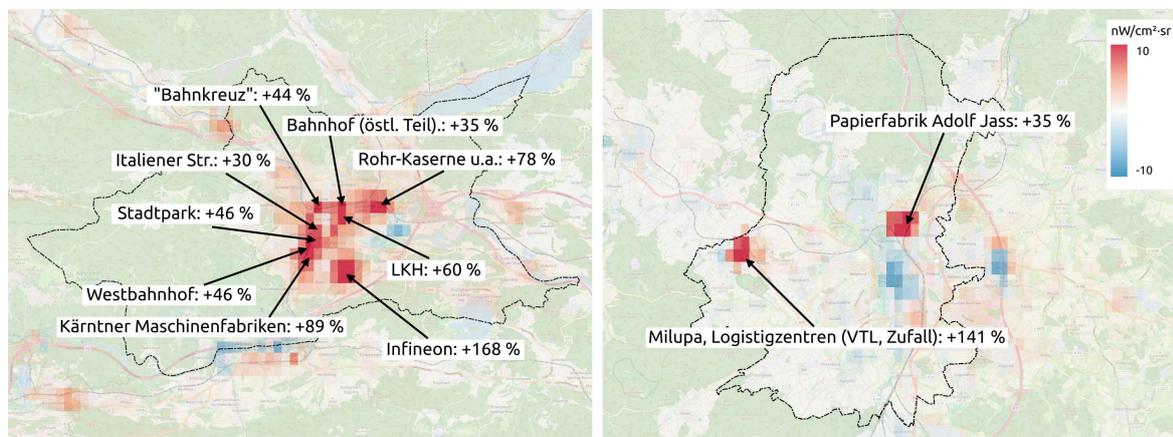
Der Trend der Lichtemissionen für die Jahre 2012 bis 2023 für das gesamte Verwaltungsgebiet Villach beträgt +1.25 % pro Jahr, und für Fulda -1.12 % pro Jahr.

**Im Jahr 2022 war die Menge der nächtlichen Lichtemissionen pro Kopf in Villach um 46 % höher als in Fulda.**



**Abbildung 45** – Strahldichte pro 1.000 Einwohner, 2012 bis 2023, Stadt Villach und Stadt Fulda

In Abbildung 46 ist die räumliche Verteilung der Strahldichte-Änderung von 2012 zu 2022 für die Stadt Villach und die Stadt Fulda dargestellt. Siehe dazu auch die Zahlen in Tabelle 4.



**Abbildung 46** – Strahldichte-Änderung 2012 zu 2022: Stadt Villach (li), Stadt Fulda (re)

In der Stadt Villach ist die größte Zunahme der nächtlichen Lichtemissionen (Strahldichte) im Bereich des Infineon-Werkes mit +168 % zu beobachten. Im Stadtzentrum (rund um Hauptplatz, Draubrücke und Nikolaiplatz) ist nur eine geringfügige Zunahme von +1 % zu verzeichnen. Lediglich im Bereich des Technologieparks Villach einschließlich der Fachhochschule (FH) Kärnten ergibt sich eine Reduzierung um -45 %.

Stadt	Zone	2012	2022	Delta <sub>absolut</sub>	Delta <sub>relativ</sub>
Villach	Infineon	8.4	22.5	<b>+14.5</b>	<b>+168 %</b>
	Kärntner Maschinenfabriken	14.9	28.2	<b>+13.3</b>	<b>+89 %</b>
	Landeskrankenhaus (LKH) Villach	21.4	34.2	<b>+12.8</b>	<b>+60 %</b>
	„Bahnkreuz“ (Wilroiderstr. / Kasmanhuberstr.)	26.1	37.7	<b>+11.6</b>	<b>+44 %</b>
	Westbahnhof	23.1	33.8	<b>+10.7</b>	<b>+46 %</b>
	Rohr-Kaserne, KELAG, 3M, Feuerwache, Umspannwerk Seebach	13.3	23.7	<b>+10.4</b>	<b>+78 %</b>
	Bahnhof – östlicher Teil	28.1	38.0	<b>+9.9</b>	<b>+35 %</b>
	Stadtpark und angrenzende Straßen	20.2	29.5	<b>+9.3</b>	<b>+46 %</b>
	Italiener Str. (Steinwenderstr. / 10.-Okt.-Str. / Hans-Gasser-Pl. / Postgasse)	29.2	38.0	<b>+8.8</b>	<b>+30 %</b>
	Hauptpl. / Nikolaipl.	48.4	49.5	<b>+1.1</b>	<b>+2 %</b>
Technologiepark Villach, FH Kärnten	14.5	8.0	<b>-6.5</b>	<b>-45 %</b>	
Fulda	Milupa, Logistikzentren (VTL, Zufall)	10.7	25.8	<b>+15.1</b>	<b>+141 %</b>
	Industriegebiet Eisweiher, Papierfabrik Adolf Jass	32.2	43.4	<b>+11.2</b>	<b>+35 %</b>
	Zentrum, Am Bahnhof	29.6	31.1	<b>+1.5</b>	<b>+5 %</b>
	Zentrum, Am Rosengarten / Löhenstr.	28.9	21.2	<b>-7.7</b>	<b>-27 %</b>

**Tabelle 4** – Änderung der Strahldichte absolut [nW/cm<sup>2</sup>-sr] und relativ [%] 2012-2022 der Städte Villach und Fulda



Auffällig ist die relativ starke Zunahme der gemessenen Lichtemissionen z.B. im Bereich des Stadtparks und der angrenzenden Straßen. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. Zum einen könnte mehr Licht durch die nahegelegene Kaserne, durch private Beleuchtung in den umliegenden Gärten und an den Wohnhausfassaden oder durch die Fassadenanstrahlung der evangelischen Kirche im Stadtpark mit verantwortlich sein. Ein Foto, welches die Fassadenanstrahlung der evangelischen Kirche im Stadtpark zeigt (Abbildung 47), enthält übrigens folgende Original-Bildunterschrift: „Durch die perfekte Beleuchtung ist die evangelische Kirche im Stadtpark in Villach schon ein tolles Erlebnis für das Auge“ (58).

**Abbildung 47** – Fassadenanstrahlung der evangelischen Kirche im Stadtpark Villach

Weitere mögliche Ursachen für die Zunahme der gemessenen Lichtemissionen lassen sich aus Google Maps Straßenfotos ableiten:

1. Rund um den Stadtpark wurden im Analysezeitraum einige Bäume gefällt, z.B. in der Wilhelm-Hohenheim-Straße (Abbildung 48), der Richard-Wagner-Straße (Abbildung 49) und in der Bertha-von-Suttner-Straße. Dies hat zur Folge, dass mehr Licht zur Seite und Richtung Himmel abgestrahlt wird, sowohl direkt (durch schlecht/nicht abgeschirmte Leuchten) als auch indirekt durch Reflexion von Straßen und Fußwegen, Grünflächen, parkenden Autos oder Hausfassaden.
2. An den Fußgängerüberwegen (FGÜ) an der Kreuzung Wilhelm-Hohenheim-Straße Ecke Richard-Wagner-Straße wurden zusätzliche LED-Leuchten installiert, siehe Abbildung 50.
3. Es erfolgte eine Umrüstung der Zylinderleuchten im Stadtpark (siehe Abbildung 51) und in der Bertha-von-Suttner-Straße. Die alten Leuchten hatten ein milchiges Schutzglas, während die

neuen Leuchten ein transparentes Schutzglas aufweisen. Die neuen Leuchtenköpfe enthalten auch neue LED-Leuchtmittel, welche möglicherweise auch lichtstärker als die Leuchtmittel in den alten Leuchten sind. Zudem besaßen die alten Leuchten im Stadtpark eine teilweise Abschirmung nach oben, wohingegen die neuen Leuchten so gut wie keine Abschirmung besitzen.



**Abbildung 48** – Wilhelm-Hohenheim-Str. 5, Juli 2018 (li), September 2020 (re)



**Abbildung 49** – Richard-Wagner-Str. 12, Juli 2018 (li), Oktober 2022 (re)



**Abbildung 50** – FGÜ-Beleuchtung, Wilhelm-Hohenheim-Str./Richard-Wagner-Str. September 2020 (li), Oktober 2022 (re)



**Abbildung 51** – Stadtpark, Beleuchtung, Juli 2018 (li), September 2020 (re)

### 6.3 Zusammenfassung

Die Auswertung von Satellitendaten für die Städte Villach und Fulda ergibt folgende wesentlichen Ergebnisse hinsichtlich der gemessenen Lichtemissionen:

- Die Lichtemissionen pro Kopf im gesamten Verwaltungsgebiet von Villach sind im Zeitraum von 2012 bis 2022 um 29 % gestiegen.
- Der größte Anstieg der Lichtemissionen in Villach zwischen 2012 und 2022 ist mit +168 % im Bereich des Infineon-Werkes zu verzeichnen.
- Die stärksten Lichtemissionen gehen in Villach im gesamten Analysezeitraum 2012 bis 2022

vom Stadtzentrum aus.

- Im Jahr 2022 war die Menge der Lichtemissionen pro Kopf im gesamten Verwaltungsgebiet von Villach um 46 % höher als in Fulda.
- Im Jahr 2022 waren die Lichtemissionen des Villacher Stadtzentrums sogar um 59 % höher als die Lichtemissionen des Fuldaer Stadtzentrums.

Auffällig ist die relativ starke Zunahme der gemessenen Lichtemissionen z.B. im Bereich des Stadtparks. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. So könnte mehr Licht für Gebäudeanstrahlungen wie etwa die evangelische Kirche im Stadtpark mit verantwortlich sein. An Hand von Google Maps Straßenfotos lassen sich folgende Ursachen zweifelsfrei ableiten:

- stärkere Abstrahlung durch Baumfällungen
- Installation zusätzlicher LED-Leuchten
- Wechsel auf Leuchten mit schlechterer Abschirmung

im Analysezeitraum.

## 7 Gesetze und Normen in Österreich und Europa

Derzeit gibt es in Österreich keine bundesweite gesetzliche Regelung der Lichtimmissionen. Das vorhandene Immissionsschutzgesetz umfasst lediglich Verordnungen gegen Luftverschmutzung. Es existieren jedoch Standards, die offiziell den „Stand der Technik“ repräsentieren.

Der Stand der Technik als solcher ist keine Rechtsvorschrift, sondern die Umschreibung eines Wissensstandes, auf den zahlreiche Rechtsvorschriften Bezug nehmen (59). Der Begriff beschreibt nach der Legaldefinition, z.B. in § 12a Abs. 1 Gewässerschutzgesetz (§12a Abs. 1 WRG) den auf grundlegenden wissenschaftlichen Erkenntnissen basierenden aktuellen Entwicklungsstand bestimmter Verfahren. Im Paragraph §71a der Gewerbeordnung (GewO) befindet sich die Definition: *„Der Stand der Technik im Sinne dieses Bundesgesetzes ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt und erwiesen ist.“* Ob in einem konkreten Fall der in den Normen wiedergegebene Stand der Technik eingehalten wurde, können Behörden durch Miteinbeziehen von Sachverständigen darstellen.

Zur ordnungsgemäßen Beurteilung übertragener Aufgaben sowie zur Erkennung und Beseitigung möglicher Gefahren, sind die einschlägigen Vorschriften sowie die allgemein anerkannten Regeln der Technik stets einzuhalten. Sie sind in Standards und Normen festgehalten, in Österreich gelten die nationale ÖNORM und internationale EN (europäische) bzw. ISO-Normen (44).

Die Normen, die Informationen zur öffentlichen und privaten Beleuchtung im Außenbereich in Österreich enthalten sowie aktuell gültig sind, umfassen:

- ÖNORM EN 13201-2:2016 05 15 Straßenbeleuchtung - Teil 2: Gütemerkmale
- ÖNORM EN 13201-3:2016 05 15 Straßenbeleuchtung - Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale
- ÖNORM EN 13201-4:2016 05 15 Straßenbeleuchtung - Teil 4: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen
- ÖNORM EN 13201-5:2016 05 15 Straßenbeleuchtung - Teil 5: Energieeffizienzindikatoren
- ÖNORM O 1052:2022 10 15 Lichtimmissionen - Messung und Beurteilung
- ÖNORM O 1055:2017 09 15 Straßenbeleuchtung - Auswahl der Beleuchtungsklassen - Regeln zur Umsetzung des CEN/TR 13201-1
- ÖNORM O 1051:2019 08 01 Straßenbeleuchtung - Beleuchtung von Konfliktzonen
- ÖNORM EN 12193:2019 06 15 Licht und Beleuchtung - Sportstättenbeleuchtung
- ÖNORM EN 12464-2:2014 05 15 Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien
- ÖVE/ÖNORM EN 50110-1 bis 50110-100:2014 10 01 Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (Teil 2-100: Nationale Ergänzungen eingearbeitet)

Wenngleich gesetzliche Grundlagen fehlen, so befindet sich im aktuellen Programm der Bundesregierung (2020-2024) erstmals ein Inhalt zum Schutz der Naturnacht vor dem Einfluss von Lichtverschmutzung. Konkret ist auf Seite 104 die Erwähnung von *„Zum Schutz der europaweit einzigartigen*

*(IUCN-anerkannten) Dunkelgebiete in Österreich sollen Lichtemissionen und -immissionen Berücksichtigung finden.“ (60).*

## **7.1 Oberösterreichisches Umweltschutzgesetz**

*Auszüge aus der Information durch die Fachgruppe Strahlenschutz, der Abteilung Umweltschutz des Amtes der oberösterreichischen Landesregierung betreffend der Oö. Umweltschutzgesetz-Novelle 2024: Betrieb von Außenbeleuchtungsanlagen - Verringerung negativer Auswirkungen von künstlichem Licht im öffentlichen Raum (61).*

Durch die oberösterreichische Umweltschutzgesetz-Novelle 2024 wurden erstmals verbindliche Regelungen zur Vermeidung von Lichtverschmutzung geschaffen. Die neuen Regelungen sollen der dauerhaften Verringerung der negativen Auswirkungen von künstlichem Licht zum Schutz der Umwelt und zur Rechtssicherheit der Gemeinden dienen.

Außenbeleuchtungsanlagen, die in den Zuständigkeitsbereich des Landes fallen, sind künftig effizient und umweltschonend zu betreiben und zu errichten, sodass jedenfalls Beeinträchtigungen von Menschen, Umwelt, Natur und Landschaft möglichst vermieden werden. Darüber hinaus werden die Punkte 4 (Anm.: grundlegende Parameter wie Bewertungsgebiete, Betriebszeiten, Lichtfarbe und Strahlrichtung) und 7 (Anm.: Aufhellung von Natur und Umwelt und Vermeidung von Himmelsaufhellungen) der ÖNORM O 1052:2022-10 für verbindlich erklärt. Unter Außenbeleuchtungsanlagen sind jene Beleuchtungen definiert, die für den Zweck der Beleuchtung des öffentlichen Raumes errichtet wurden. Der öffentliche Raum umfasst alle Bereiche des öffentlichen Guts sowie der Öffentlichkeit zugängliche oder zur Verfügung gestellte Bereiche wie Verkehrswege, Plätze, Parkplätze.

Die Umweltschutzgesetz-Novelle 2024 ermöglicht es Gemeinden, unter Berücksichtigung von überwiegenden anderen öffentlichen Interessen wie Ruhe, Ordnung und Sicherheit, Beleuchtungskonzepte in Form von Richtlinien nach dem Stand der Technik, abgestimmt auf ihre individuellen Anforderungen, zu erstellen. Außenbeleuchtungsanlagen können durch diese Richtlinien gedimmt, aber auch gänzlich abgeschaltet und somit umweltbewusst und energieeffizient betrieben werden. Für die Einstufung eines Gebietes ist abweichend von den Bestimmungen der ÖNORM O 1052:2022-10 die Bewertung nach dem Oö. Raumordnungsgesetz maßgebend.

Die neuen Bestimmungen treten mit 1. Mai 2024 in Kraft. Für bestehende Außenbeleuchtungsanlagen gilt die Bestimmung bei einer wesentlichen Änderung, spätestens jedoch ab 1. Jänner 2029.

## **7.2 ÖNORM O 1052:2022-10**

Diese ÖNORM beschäftigt sich mit Lichteinwirkungen auf Mensch und Umwelt, die durch Licht emittierende Anlagen (künstliche Lichtquellen aller Art) hervorgerufen werden und legt dafür Grenzwerte fest. Beleuchtungsanlagen von Kraftfahrzeugen und für Wohnzwecke übliche Innenbeleuchtungen unterliegen nicht dieser ÖNORM (13).

In den folgenden Subkapitel werden Inhalte der ÖNORM durch Eigendarstellungen vermittelt. Allgemein gilt durch das Bundesgesetz über das Normenwesen (Normengesetz 2016 – NormG 2016): Eine rein österreichische Norm (§ 2 Z 1 lit. a) kann durch Gesetz oder Verordnung zur Gänze oder

teilweise verbindlich erklärt werden. Durch Bundesgesetz oder Verordnung eines Organs des Bundes verbindlich erklärte rein österreichische Normen sind im Umfang ihrer Verbindlicherklärung zu veröffentlichen, damit die Norminhalte für die Betroffenen in gleicher Weise wie das Gesetz oder die Verordnung zugänglich sind. Die rein österreichische Norm oder deren Teile sind sodann als Bestandteil der sie verbindlich erklärenden Rechtsvorschrift ein freies Werk im Sinne des § 7 Abs. 1 des Urheberrechtsgesetzes. Dies tritt durch die Novelle des öö. Umweltschutzgesetzes für die ÖNORM 1052:2022-10 somit mit spät. 1. Mai 2024 ein.

### 7.2.1 Einteilung in Bewertungsgebiete

Gebiet	Definition
Gebiet S	Gesetzlich festgelegte Gebiete zum Schutz der Natur (z.B. Nationalparks, Naturschutzgebiete), Wildtierkorridore, amtlich ausgewiesene Schutzgebiete zur Erhaltung der „Nachtlandschaft“ u. dgl.
Gebiet G	Nicht für die Bebauung gewidmete Gebiete wie Grünland, Freilandgebiete, Erholungsgebiete, u. dgl.
Gebiet A	Bebautes Gebiet mit besonderem Schutzbedürfnis, z.B. Kurgebiete, Spitäler, Pflegeeinrichtungen, u. dgl.
Gebiet B	Wohngebiete, Bereiche, die überwiegend dem Wohnen dienen, mit vereinzelt Geschäftslokalen, Kleinsiedlungsgebiete, Siedlungsränder, u. dgl.
Gebiet C	Mischgebiete mit Geschäftslokalen und Wohnungen, Einkaufsstraßen lokaler Bedeutung, u. dgl.
Gebiet D	Kerngebiete, Gewerbe- und Industriegebiete, Geschäftsstraßen übergeordneter Bedeutung, u. dgl.

**Tabelle 5** – Bewertungsgebiete und Definitionen nach ÖNORM O 1052

### 7.2.2 Betriebszeiten

Gebiet	Definierte Betriebszeiten
Gebiet S	keine Beleuchtung zulässig
Gebiet G	keine Beleuchtung zulässig; nur in begründeten Ausnahmefällen bis maximal 22:00 Uhr
Gebiete A, B & C	06:00 bis 22:00 Uhr Abweichende Betriebszeiten nur in begründeten Ausnahmefällen zulässig
Gebiet D	06:00 bis 24:00 Uhr Abweichende Betriebszeiten nur in begründeten Ausnahmefällen zulässig

**Tabelle 6** – Betriebszeiten von Beleuchtungspunkten im Außenbereich nach ÖNORM O 1052

### 7.2.3 Lichtfarbe

Folgende Grenzen wurden für die zu wählende Farbtemperatur (CCT), je nach Einsatzort, gewählt:

CCT ≤ 4000 K	Straßenbeleuchtung im hochrangigen Straßennetz und in Konfliktzonen
CCT ≤ 3000 K	Beleuchtung im übrigen Straßennetz sowie in Stadtzentren, Fußgängerzonen, Anrainer- und Wohnstraßen
CCT ≤ 2700 K	Außenbeleuchtung in Wohnhausanlagen und ökologisch sensiblen Bereichen

Speziell für die Identifikation und Quantifizierung des kurzwelligen (blauen) Anteils einer Lichtquelle für ökologisch sensible Bereiche, wurde zusätzlich eine Bewertung mittels des 'G-Index' definiert. Dieser ergibt sich aus einer Relationsrechnung zwischen dem im blauen Bereich emittierten Spektrums der Lichtquelle  $E(\lambda)$  mit jenem des für das menschliche Auge sichtbaren Lichts  $V(\lambda)$  im gesamten Spektrum. Diese lautet wie folgt:

$$G = -2,5 \log_{10} \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{500nm} E(\lambda)}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} E(\lambda)V(\lambda)} \quad (1)$$

Für die Außenbeleuchtung in Wohnhausanlagen sowie ökologisch sensiblen Bereichen soll der G-Index bei einem Wert über 1,5 liegen, was eine geringe relative Menge blauen Lichts bedeutet. Für Lichtquellen, die keine Strahlung unter einer Wellenlänge von 500 nm emittieren (z.B. Natriumdampf-Niederdrucklampen oder PC Amber LED) ist der G-Index undefiniert. Für Neuanlagen mit Gasentladungslampen, die Strahlung bei Wellenlängen unter 500 nm emittieren, ist eine Einzelbetrachtung hinsichtlich UV-Anteil und G-Index durchzuführen.

Gemäß der ANSI/NEMA C78.377:2017 besitzen die angeführten ähnlichsten Farbtemperaturen jeweils Abweichungen, die speziell bei Messungen miteinbezogen werden sollten. Diese betragen:

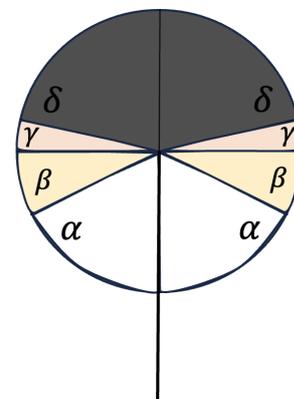
- CCT 4000 K = 3985 K ± 275 K
- CCT 3000 K = 3045 K ± 175 K
- CCT 2700 K = 2725 K ± 145 K
- CCT 2200 K = 2238 K ± 102 K

#### 7.2.4 Strahlrichtung

Die Strahlrichtung gibt nicht den Zustand der Lichtquelle (Lampe), sondern die Ausstrahlcharakteristik der im tatsächlich geführten Zustand vorhandenen Leuchte wieder (also inkl. möglicher Abschirmungen oder Positionierung). Anzustreben ist immer eine Strahlrichtung von oben nach unten. Folgende Winkel bzw. Abstrahlbereiche sind in der ÖNORM definiert:

- Winkel  $\alpha$  = Ausstrahlung zwischen 0° bis <70°
- Winkel  $\beta$  = Ausstrahlung zwischen 70° bis <90°
- Winkel  $\gamma$  = Ausstrahlung zwischen 90° bis <95°
- Winkel  $\delta$  = Ausstrahlung zwischen 95° bis 180°

Während es sich beim Winkel  $\alpha$  um den idealen Ausstrahlungswinkel handelt, zeigt eine Abstrahlung im Bereich des Winkels  $\beta$  eine hohe Anlockung auf Tiere sowie eine starke Blendung des Menschen. Der Bereich  $\gamma$  bezeichnet die kritische Zone für die Anlockung auf Tiere und Himmelsaufhellung, wobei letztere im Bereich  $\delta$  signifikant steigt.



Um eine Vermeidung von Himmelsaufhellungen zu erreichen, wurden in der ÖNORM konkrete Werte definiert, die eine Beschränkung des nach oben, also über die Horizontale, strahlenden Lichtes darstellen (=ULR-Wert). Es handelt sich also um eine Eingrenzung des abgestrahlten Lichtes, welches in die Bereiche  $\gamma$  sowie  $\delta$  emittiert wird. Diese Werte lauten:

Gebiet	Beschränkung des direkt nach oben abgestrahlten Lichtes
Gebiet S	keine Beleuchtung zulässig
Gebiet G	0,0 %
Gebiete A & B	2,5 %
Gebiet C	5,0 %
Gebiet D	15,0 %

**Tabelle 7** – Maximal zulässige Strahlungswerte des direkt nach oben (über die Horizontale) abgestrahlten Lichtes

### 7.2.5 Aufhellung von Räumlichkeiten

In der ÖNORM sind Grenzwerte für Raumaufhellungen (z.B. Wohnräumlichkeiten) angegeben, die maximal zulässige Beleuchtungsstärken definieren. Diese sind einerseits abhängig von der mittleren Leuchtdichte der Fahrbahn und daher bei der Planung von Straßenbeleuchtung miteinzubeziehen. Generell gelten folgende Grenzwerte durch sonstige Beleuchtungen in der Fensterebene eines zu beurteilenden Raumes:

Bewertungsgebiet	Beleuchtungsstärke in Lux		
	06:00 - 20:00 Uhr	20:00 - 22:00 Uhr	22:00 - 06:00 Uhr
Gebiet A	1,0	1,0	1,0
Gebiet B	5,0	3,0	1,0
Gebiet C	10,0	5,0	1,0
Gebiet D	25,0	15,0	5,0

**Tabelle 8** – Maximal zulässige Grenzwerte für Aufhellungen an Fensterebenen

Bei Überschreitung dieser Grenzwerte, sind fachspezifische Beurteilungen durch lichttechnische, medizinische oder naturschutzrechtliche Studien vorzunehmen. Der genaue Messvorgang an Fensterebenen ist in der ÖNORM definiert.

### 7.2.6 Sportstättenbeleuchtung

Bei Sportstätten ist darauf zu achten, dass die Beleuchtungsanforderungen unterschiedlich nach Betrieb definiert sind. Gemäß ÖNORM EN 12193 sind hier Beleuchtungsklassen für verschiedene Klassen an Training bzw. Wettkampf angepasst. Finden an einer Sportstätte keine nationalen bzw. internationalen Wettkämpfe statt, so sind die folgenden Anforderungen einzuhalten:

Gebiet	Betriebszeit	Himmelsaufhellung	Strahlrichtung der maximalen Lichtstärke	Lichtstärke bei Strahlrichtung über 90 Grad	Farbtemperatur
Gebiet S	keine Beleuchtung zulässig <sup>a</sup>				
Gebiet G Gebiet A	keine Beleuchtung zulässig	0,0 %	<70°	0 (≤ 1) cd/klm	≤ 3000 K
Gebiet B Gebiet C Gebiet D	bis 22:00 Uhr				

**Tabelle 9** – Parameter von Sportstättenbeleuchtungen nach ÖNORM O 1052

<sup>a</sup> Vereinzelt zulässig, wie bei den Bewertungsgebieten definiert.

Bei der Lichtstärke in Strahlrichtung über 90 Grad können Lichtstärken bis zu 1 cd/klm als 0 angenommen werden.

### 7.2.7 Werbeflächen

Bei der Beleuchtung von Werbeflächen ist speziell auf die Größe dieser Flächen zu achten. Zu dieser Kategorie zählen sämtliche Steckschilder, Lokalbeschriftungen usw. Für Werbeflächen unter einer Größe von 3 m<sup>2</sup> gilt eine zulässige mittlere Leuchtdichte sowie maximale Leuchtdichte von 250 cd/m<sup>2</sup>. Für Werbeflächen mit Flächen (A) zwischen 3 bis 30 m<sup>2</sup> gelten folgende einzuhaltende Werte:

Bewertungsgebiet	Mittlere Leuchtdichte [cd/m <sup>2</sup> ]	Maximale Leuchtdichte [cd/m <sup>2</sup> ]
Gebiete B, C und D	750 / Fläche A	250

**Tabelle 10** – Maximal zulässige Grenzwerte für Werbeflächen

Werbeflächen über einer Fläche von 30 m<sup>2</sup> bedürfen einer gesonderten ökologischen Betrachtung. Die Ermittlung der maximalen Leuchtdichte ist in der ÖNORM definiert.

### 7.2.8 Weitere Inhalte

Weitere Inhalte der ÖNORM O 1052 inkludieren u.a. Grenzwerte für Fassadenanstrahlungen, den Umgang mit Blendung des menschlichen Auges, weitere Details zur Sport- und Freizeitstättenbeleuchtung, Maßnahmen zur Verringerung der Störwirkung auf die Umwelt sowie die Durchführung von Messungen.

## 7.3 (Gesetzliche) Rahmenbedingungen in Europa

Auf Ebene der Europäischen Union bearbeiteten Programme bzw. Strategien, die die Verringerung von Lichtverschmutzung beinhalten, sind:

- 8th Environment Action Programme to 2030 (62):  
*„...pursuing zero-pollution, including in relation to light and noise pollution, protecting the health and well-being of people, animals and ecosystems from environment-related risks and negative impacts...“*

- EU Biodiversitätsstrategie für 2030 (63)
- Future Brief (2023): Light Pollution: Mitigation measures for environmental protection (64)
- EU Horizon Projekte: Seit Januar 2024 laufende Projekte inkludieren PLAN-B (65) und AQUA Plan (63), beide mit dem Ziel der Verringerung und Vermeidung von Lichtverschmutzung in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen.
- Nature Restoration Law (66): Am 27. Februar 2024 hat das Europaparlament das EU-Renaturierungsgesetz (Nature Restoration Law) angenommen. Im veröffentlichten Text (242 Seiten) wurde die Bestimmung über Lichtverschmutzung wie folgt genehmigt:

*„Wissenschaftliche Erkenntnisse deuten darauf hin, dass künstliches Licht die Artenvielfalt negativ beeinflusst. Künstliches Licht kann auch die menschliche Gesundheit beeinflussen. Bei der Erstellung ihrer nationalen Wiederherstellungspläne gemäß dieser Verordnung sollten die Mitgliedstaaten in Betracht ziehen können, die Lichtverschmutzung in allen Ökosystemen zu stoppen, zu verringern oder zu beseitigen.“*

In Europa gibt es verschiedene Länder, die Gesetze oder Verordnungen zur Eindämmung der Lichtverschmutzung erlassen haben. Eine Zusammenfassung aller in Europa vorherrschender Standards wurde 2022 durch die Tschechische EU-Ratspräsidentschaft vorbereitet und veröffentlicht (8). Einige dieser sind:

Staat	Jahr	Beschreibung
Spanien (regional)	1992	Das erste Gesetz zum Schutz des Nachthimmels für astronomische Beobachtungen auf der Kanarischen Insel wurde 1988 in Kraft gesetzt, das „Sky Law“ (31/1988) und 1992 von der Regierung genehmigt. Es regelt alle sichtbaren Außenbeleuchtungsanlagen von La Palma, um die Qualität des Nachthimmels zu erhalten. Katalonien und Andalusien folgten 2001 bzw. 2017.
Italien (regional)	1997	Insgesamt 15 italienische Regionen haben regionale Gesetze umgesetzt, beginnend mit Venetien im Jahr 1997 (L.R. 22/1997).
Tschechische Republik	2002	Die Tschechische Republik hat ein Lichtverschmutzungsgesetz (č. 86/2002) verabschiedet, das die gut abgeschirmte Installation von Lichtquellen regelt, die Lichtmenge begrenzt und den Einsatz von Geräten vorsieht, die das Licht dimmen oder ausschalten können in der Nacht, mit Ausnahme von schwachen Lichtquellen unter 1500 Lumen, temporären Lichtquellen oder Ampeln. Darüber hinaus müssen beleuchtete Gebäude zwischen 23 und 5 Uhr mindestens auf die Hälfte gedimmt oder ganz ausgeschaltet werden. Darüber hinaus unterliegen ökologisch sensible Areale noch strengeren Vorschriften.

Slowenien	2007	Die Verordnung 4162 gibt genaue Grenzwerte für die Emission von Lichtverschmutzung und deren Quellen an. Beispielsweise gibt es Grenzwerte für beleuchtete Werbetafeln, Kulturdenkmäler, Industriegebäude oder Flughäfen und einen vorgeschriebenen Einsatz umweltfreundlicher Beleuchtung, wie definiert. Außerdem ist es wichtig, dass Straßenlaternen gut abgeschirmt sind.
Frankreich	2013	Geregelte Parameter im französischen Gesetzgebungsakt (TREP1831126A) sind Beleuchtungspläne, die Menge der Strahlung auf die obere Hemisphäre und die Lichtstromdichte in Abhängigkeit von der Lichtnutzung, die Notwendigkeit, kein störendes Licht zu verwenden, und die Farbtemperatur. Details zur zeitlichen Begrenzung von z.B. Schaufensterbeleuchtung, Gebäudeanstrahlungen und Werbebeleuchtung siehe (67, S.131-133).
Kroatien	2018	Einsatz von LEDs für Straßenlaternen mit einer maximalen Farbtemperatur von 3000 K und einer verursachten Himmelsaufhellung von 0 %. Für Naturschutzgebiete max. 2200 K (50301-25 / 18.05.9).
Deutschland (regional)	2019	Seit 2019 gelten in Bayern gesetzliche Regelungen zur Reduzierung der Lichtverschmutzung. So sind z.B. Himmelsstrahler und Einrichtungen mit ähnlicher Wirkung unzulässig (68). Des Weiteren ist es nach 23 Uhr und bis zur Morgendämmerung verboten, die Fassaden baulicher Anlagen der öffentlichen Hand (einschl. Kirchen) zu beleuchten (69). In Baden-Württemberg ist 2020 eine Änderung des Naturschutzgesetzes in Kraft getreten, um Lichtverschmutzung und Insektensterben zu reduzieren. Das Gesetz verbietet Fassadenbeleuchtungen von April bis September ganztägig und von Oktober bis März nachts von 22 bis 6 Uhr. In der Fassung von 2020 galt diese Regelung nur für die Fassadenbeleuchtung öffentlicher Bauten, wobei in einer separaten Sonderregelung Kirchengebäude ausgenommen waren. In der letzten Fassung von 2023 wurde die Beschränkung auf öffentliche Bauten gestrichen. Somit gilt die Regelung für jede Art von Bauten, also auch für gewerbliche und private Bauten sowie explizit auch für Kirchengebäude. Des Weiteren sind ab dem 1. Januar 2021 neu errichtete Beleuchtungsanlagen an öffentlichen Straßen, Wegen und Plätzen mit einer den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechenden insektenfreundlichen Beleuchtung auszustatten und bestehende Beleuchtungsanlagen sind bis zum Jahr 2030 um- oder nachzurüsten (70).
Schweiz (regional)	2023	Anfang 2023 hat der Kanton Freiburg eine Änderung des Energiegesetzes verabschiedet, die eine Reduktion der Lichtverschmutzung und des Energieverbrauchs bezweckt. So müssen Leuchtreklamen und Beleuchtungen in Geschäften und Ausstellungen sowie auf Baustellen seit dem 1. Juni 2023 von 0 bis 5 Uhr ausgeschaltet werden. Seit dem 1. Juli 2023: Die Nachtabschaltung der öffentlichen Beleuchtung zwischen 0 und 5 Uhr muss ab Inkrafttreten der Änderung des Reglements bis spätestens Ende Dezember 2028 umgesetzt werden (71).

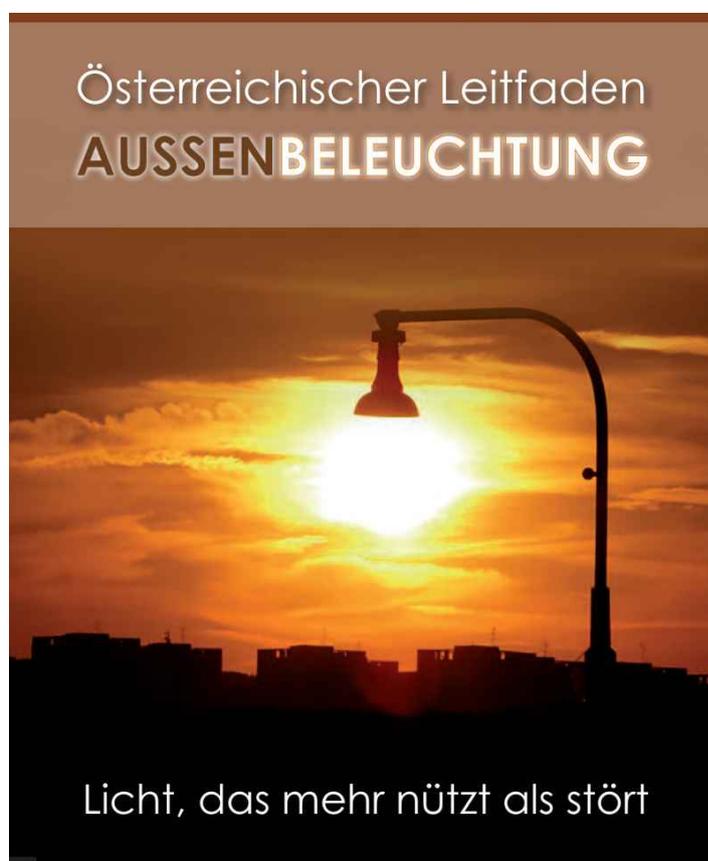
**Tabelle 11** – Bestehende Lichtverschmutzungsgesetze ausgewählter Länder. Sie bilden nicht die Gesamtheit der verfügbaren Gesetze ab.

## 8 Außenbeleuchtung: Analyse und Handlungsempfehlungen

Wie bereits im Kapitel 7 diskutiert, gibt es in Österreich sinnvolle Normen, die eine effiziente und dabei möglichst umweltschonende Beleuchtung im Außenbereich vorsehen. Bereits 2018 wurde ein Leitfaden publiziert, der die Grundlage für jede Installation und Inbetriebnahme von Beleuchtungsanlagen in Österreich darstellt und im Einklang mit bestehenden Normen ist. Die folgenden Handlungsempfehlungen für Villach können direkt aus diesem umfangreichen Dokument abgeleitet werden.

Naturgemäß fällt nur ein Bruchteil der auffindbaren Außenbeleuchtung in die Zuständigkeit der Stadt. Seit 2008 wird im Zuge des „Stadt-Licht-Villach“ Masterplans „*im wesentlichen*“ auf die Einhaltung gewisser Standards für Straßenbeleuchtung geachtet<sup>2</sup>. Die in diesem Kapitel angeführten Beispiele zeigen jedoch durchaus noch Verbesserungspotenzial für Villach auf.

### 8.1 Österreichischer Aussenbeleuchtungsleitfaden 2018



**Abbildung 52** – Österreichischer Leitfaden für Außenbeleuchtung 2018

sollen. Für jede Außenbeleuchtungsanlage sind folgende Punkte zu hinterfragen und entsprechend anzuwenden oder zu verändern: Notwendigkeit, Beleuchtungsdauer, Lichtpunkthöhe, Lichtintensität, Abstrahlrichtung und Farbtemperatur.

Seit 2018 gibt es einen Leitfaden für Außenbeleuchtung in Österreich (49). Aktuell ist die zweite Auflage in Arbeit und voraussichtlich Mitte 2024 mit einer Vielzahl an weiteren Erkenntnissen und Details verfügbar. Der Leitfaden wurde von der Abteilung Umweltschutz des Landes Oberösterreich koordiniert und von allen weiteren Bundesländern in Österreich mitgestaltet. ÄrztInnen, JuristInnen und Universitäten haben mitgewirkt und damit zu weiterer Qualitätssteigerung des Instruments beigetragen.

Der Leitfaden bietet neben einer Auseinandersetzung mit dem Phänomen Lichtverschmutzung und den negativen Auswirkungen von künstlicher Außenbeleuchtung auch sehr detaillierte Umsetzungsempfehlungen für angemessenes Licht bei Nacht. Die Empfehlungen orientieren sich an der Prüfung von sechs Aspekten, die sinnvolle Installation von notwendiger Beleuchtung mit möglichst geringen, negativen Auswirkungen ermöglichen

<sup>2</sup>Ing. Thomas Maurer, persönliche Kommunikation, 20.09.2023

### 8.1.1 Notwendigkeit

*Am Beginn jedes Beleuchtungskonzeptes sollte zunächst die Frage stehen, inwieweit Beleuchtung überhaupt erforderlich ist und welche Auswirkungen sie auf Mensch und Umwelt haben wird (49, S.51).*

*Beleuchtungsanlagen, die weder der Sicherheit noch dem subjektiven Sicherheitsempfinden dienen, wie z. B. Werbebeleuchtung und Objektbeleuchtung, sind aus den beschriebenen gesundheitlichen und ökologischen Gründen kritisch zu hinterfragen und sofern nicht vermeidbar, auf ein Minimum zu reduzieren(49, S.51).*

Befolgt man diesen Grundsatz und verzichtet man z.B. auf Werbebeleuchtung mitten in der Nacht, reduziert sich die Lichtverschmutzung deutlich (Kapitel 5.5). Auch die Dauerbeleuchtung durch grundsätzlich notwendige Lichtquellen ist zu hinterfragen. So sind bedarfsgesteuerte Straßenbeleuchtungen mittlerweile Stand der Technik und bringen enorme Verbesserungen.

### 8.1.2 Beleuchtungsdauer

Im Zusammenhang mit der Notwendigkeit kann mit einer Anpassung der Beleuchtungsdauer meist ein vertretbarer Kompromiss gefunden werden (Stichwort Nachtabschaltung- bzw. -absenkung). Der österreichische Außenbeleuchtungsleitfaden gibt hier, basierend auf in Österreich gültigen Normen, klare Richtlinien und Empfehlungen.

*Bei der Straßenbeleuchtung sollte das Beleuchtungsniveau zumindest in der Zeit von 22:00 bis 06:00 Uhr entsprechend der ÖNORM O 1055 an die situative Verkehrsmenge angepasst werden(49, S.52).*

*Auf Beleuchtung von Werbung, Fassaden und Objekten - öffentlich wie privat - soll zumindest zwischen 22:00 bzw. 24:00 und 06:00 Uhr verzichtet werden (siehe ÖNORM O 1052)(49, S.52).*

*Die Aussenbeleuchtung von Gewerbe- und Industrieanlagen außerhalb der Betriebszeiten ist kritisch zu hinterfragen und sofern nicht vermeidbar, auf ein Minimum zu reduzieren(49, S.52).*

Da sich Gewerbestandorte, Geschäfte und Lokale um solche Schritte oft nicht selbst kümmern, liegt es an der Stadt- bzw. Gemeindeverwaltung sich diesbezüglich klar zu positionieren und entsprechende Aufforderungen bzw. Empfehlungen abzugeben.

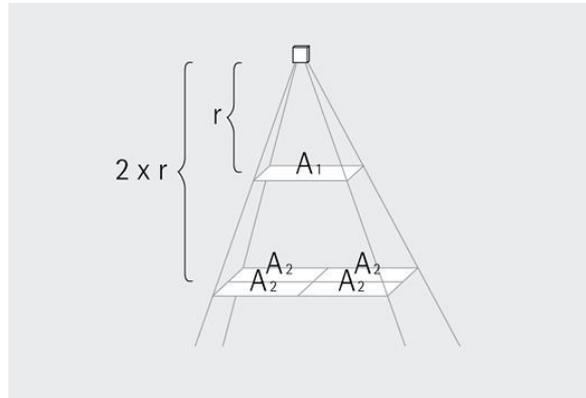
### 8.1.3 Lichtpunkthöhe

Durch die Wahl einer niedrigeren Lichtpunkthöhe kann einerseits das Ausmaß von fehlgeleittem Licht und andererseits die benötigte Lichtstärke minimiert werden. Aufgrund des photometrischen Entfernungsgesetzes ergibt sich

$$E_v = \frac{I_v}{r^2}, \quad (2)$$

wobei  $E_v$  die Beleuchtungsstärke in [lux],  $I_v$  die Lichtstärke in [candela] und  $r$  die Lichtpunkthöhe in [meter] darstellt. Bei doppelter Lichtpunkthöhe vervierfacht sich die ausgeleuchtete Fläche und zugleich nimmt die Beleuchtungsstärke um ein Vierfaches ab. Die beleuchtete Fläche, und tendenziell damit die Fehlentwicklung, wird also aufgrund der Lichtpunkthöhe größer. Es wird potentiell mehr

beleuchtet als beleuchtet werden soll. Die zu beleuchtende Fläche wird jedoch auch dunkler und benötigt entsprechend mehr Lichtstärke (Energie) um sie in der gewünschten Helligkeit zu beleuchten (Abbildung 53).



**Abbildung 53** – Photometrisches Entfernungsgesetz (72)

*Sowohl die Anlockwirkung für nachtaktive Insekten wie auch der Beitrag zur Lichtverschmutzung sind umso geringer, je niedriger die Lichtpunkthöhe ist.*(49, S.46).

Demgegenüber steht die potenziell damit einhergehende höhere Anzahl an benötigten Leuchten. Bei Straßenbeleuchtung kommt zudem die sog. 'Uniformität' der Ausleuchtung ins Spiel (EN 13201), deren Einhaltung ohne einer Vielzahl einzelner Lichtpunkte schwieriger wird (Kapitel 7). Eine genaue Planung ist unerlässlich, um situationsabhängig ein Optimum bezüglich Beleuchtungsstärke, Energieaufwand und Reduktion von Lichtverschmutzung zu erzielen.

#### 8.1.4 Lichtintensität

Zu hohe Lichtintensität kann zu negativen psychologischen und physiologischen Effekten führen. *Um individuellen Unterschieden in der Wahrnehmung bei Blendung, Irritation und Ablenkung, besonders im Straßenverkehr, gerecht zu werden, sollten die Beleuchtungsintensitäten prinzipiell so gering wie möglich gehalten werden.*(49, S.52).

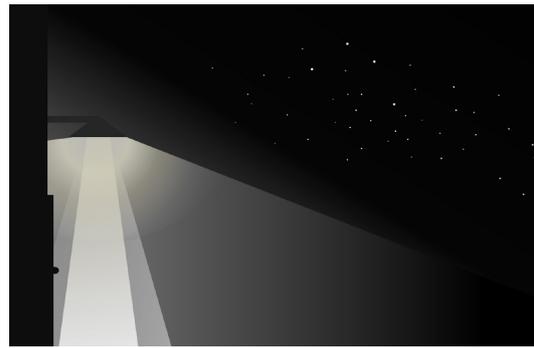
Kombiniert man eine schlecht gewählte (zu hohe) Lichtpunkthöhe mit zu hoher Lichtintensität, führt das oft zur Blendung und dem Verlust der Dunkeladaption des menschlichen Auges. Das Resultat ist, dass man im Umfeld der Lampe weniger sieht bzw. weniger erkennen kann und die Beleuchtung de facto einen stark negativen Effekt hat.

#### 8.1.5 Abstrahlrichtung

Gäbe es kein Licht, das nach oben strahlt oder zur Seite verloren geht, wäre das Problem der Lichtverschmutzung zum überwiegenden Teil gelöst. Abgestrahltes Licht, das eigentlich Licht zur Orientierung am Boden benötigt würde, kann von niemandem genutzt werden. Der nächtliche Himmel wird hauptsächlich von verschwendetem Licht erhellt, das erzeugt viel CO2, kostet viel Energie und Geld. Der jährliche Energiebedarf für den "Lichthalo" rund um Wien bedarf mindestens 500 GWh pro Jahr (!), so viel wie ca. 100.000 Haushalte pro Jahr benötigen (37)!



(a) Schlecht: Keine Abschirmung



(b) Gut: Ordentliche Abschirmung

**Abbildung 54** – Limitierung der Abstrahlrichtung durch Abschirmung

Es ist essenziell, so wenig Licht wie möglich ungenützt und falsch abstrahlen zu lassen. Das betrifft Straßenbeleuchtung genauso wie Objekt-, Fassaden- und Werbebeleuchtung. Lampen können meist einfach nach unten ausgerichtet und nach oben bzw. zur Seite abgeschirmt werden. Damit wird deutlich weniger Licht fehlgeleitet, siehe Abbildung 54.

*Bei Anstrahlungen ist generell dafür Sorge zu tragen, dass die Vorgaben der ÖNORM O 1052 eingehalten werden*(49, S.46).

### 8.1.6 Farbtemperatur

Die falsche Wahl der Farbtemperatur einer Leuchte kann schwere Folgen für die Gesundheit von Mensch und Tier mit sich bringen und den Effekt der Himmelsaufhellung enorm verstärken. Nicht jedes Licht sieht gleich aus: Manche Leuchten erscheinen schneeweiß, beinahe bläulich und kühl (z.B. Leuchtstofflampen), andere tief orange und warm (z.B. Natriumdampflampen). Das liegt an der unterschiedlichen spektralen Zusammensetzung des Lichts, das heißt, wie viel Rot-, Grün-, Blau-Anteil im abgestrahlten Licht enthalten ist.

Mit Hilfe der sogenannten Farbtemperatur werden Leuchtmittel bezüglich ihrer spektralen Zusammensetzung bewertet: *Ein näherungsweise Rückschluss auf den Anteil kurzwelliger, blauer Strahlung im Spektrum ist durch die ähnlichste Farbtemperatur (CCT, en: correlated colour temperature) möglich. Im deutschen Sprachraum wird dabei oft lediglich von kaltweißem, neutralweißem oder warmweißem Licht gesprochen.*(13, S.6).

Aufgrund der hohen Energieeffizienz und sehr niedrigen Farbtemperatur, werden heute noch immer Niederdruck-Natriumdampflampen empfohlen. Die sich seit Jahren verbessernde LED-Technologie erzielt mittlerweile eine ähnliche Energieeffizienz und kann zusätzlich leicht gedimmt bzw. dynamisch ein- und ausgeschaltet werden. (49, S.37). Die Gefahr der LED-Technologie liegt jedoch in der meist viel zu hoch gewählten Farbtemperatur neuer Leuchten!

*Aus Sicht von Medizin, Natur- und Umweltschutz wird empfohlen, warmweiße Leuchtmittel bis 3000K Farbtemperatur mit möglichst geringem Blauanteil im Spektrum einzusetzen*(49, S.38).

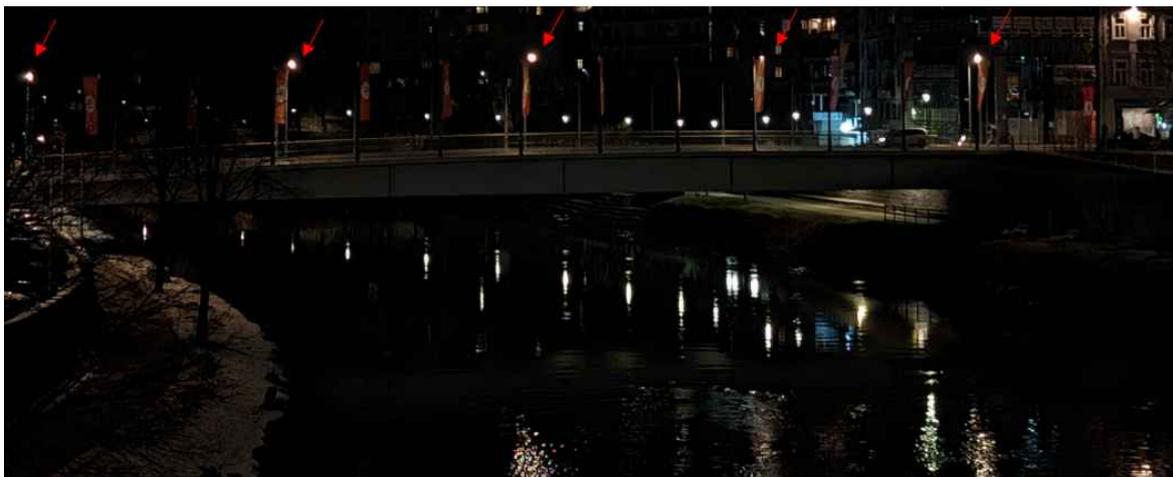
## 8.2 Beispiele innerhalb von Villach

Ein nächtlicher Spaziergang durch Villach lässt eine Vielzahl an Lichtpunkten finden, die mehrere der oben angeführten Kriterien nicht erfüllen. Zahlreiche Leuchten strahlen mitten in der Nacht, unnötig, mit falscher Lichtfarbe, viel zu hell, in alle möglichen Richtungen. Entsprechend groß ist ihr Beitrag zu Lichtverschmutzung. Die Anzahl der richtig geplanten Beleuchtungen ist überschaubar, aber immerhin gibt es sie.

Im Folgenden werden ein paar Beispiele aus Villach zur Illustration herangezogen. Sie werden jeweils hinsichtlich der sechs oben diskutierten Aspekte (Notwendigkeit, Beleuchtungsdauer, usw.) auf einer dreistufigen Skala bewertet:

- 😊 - gut gelöst
- 😐 - verbesserungswürdig
- 😞 - dringender Handlungsbedarf

Bei einer perfekten Beleuchtung werden alle Punkte mit 😊 bewertet. Bei einer solchen Außenbeleuchtung ist die Beleuchtungsdauer bedarfsorientiert angepasst, die Lichtpunkthöhe und Lichtintensität so niedrig wie möglich, die Abstrahlrichtung perfekt justiert und eine möglichst niedrige (<3000 Kelvin, also warmweiße) Farbtemperatur gewählt worden.

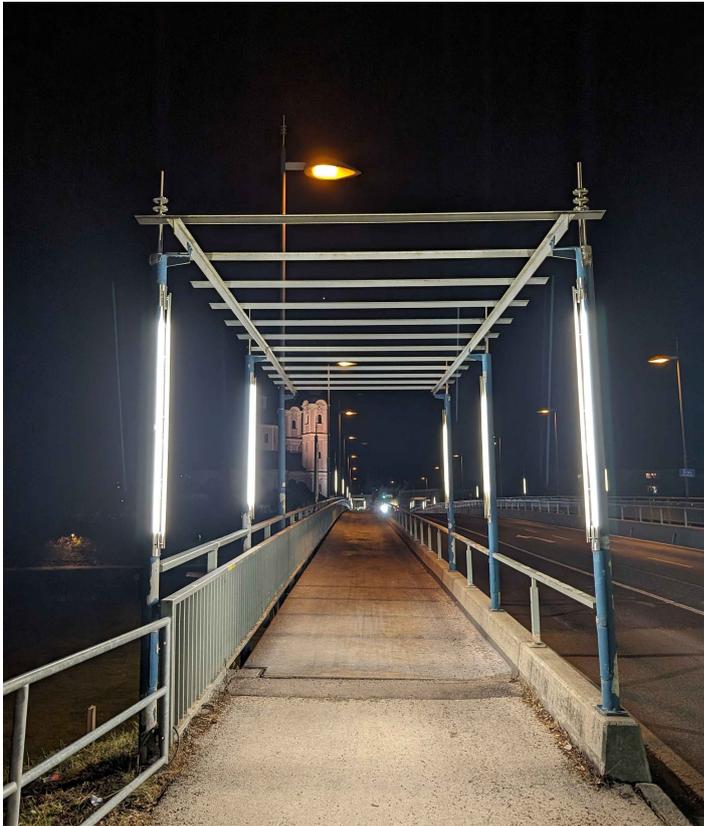


**Abbildung 55** – Neu sanierte Stadtbrücke mit mangelhafter Abschirmung zur Seite

Leider ist sogar die neu sanierte Stadtbrücke hinsichtlich der seitlichen Abstrahlung der Straßenbeleuchtung schlecht, denn man sieht die Lichtpunkte von der Congresscenterbrücke aus (Abbildung 55). Entsprechend wird u.a. auch die Flussoberfläche unnötig und permanent beleuchtet, ein nachweislich sensibles Ökosystem (73). Das zeigt, dass es nach wie vor Aufklärungsbedarf bei den Bauingenieuren in Villach gibt. Im Folgenden werden aktuelle Beispiele verbesserungswürdiger Außenbeleuchtung gezeigt. Die dabei genannten Lösungsvorschläge sollen helfen, ähnliche Fehler künftig zu vermeiden.

### 8.2.1 Kriegsbrücke - Ossiacherzeile

Ein Beispiel für sehr schlecht umgesetzte Straßenbeleuchtung findet sich unmittelbar vor der Kreuzkirche in der Ossiacherzeile (Abbildung 56). Eine viel zu hohe Anzahl an grellweißen Leuchtstoffröhren blendet nachts durchgehend nicht nur Autofahrer sondern auch Fußgänger und Radfahrer.



**Abbildung 56** – Kriegsbrücke Ossiacherzeile (f1.7, ISO 286, 0.485sec)

Wegen der parallel dazu existierenden Leuchtmasten sind für eine ausreichende Beleuchtung keine Leuchtstoffröhren notwendig. Beleuchtet wird die gesamte Nacht, denn es gibt keine Nachtabsenkung- bzw. -abschaltung, obwohl die Brücke so gut wie nicht frequentiert ist. Somit ist die Beleuchtungsdauer unangemessen, das Licht ist viel zu intensiv (Blendung!), die Abstrahlrichtung nicht reguliert und die Farbtemperatur viel zu hoch (kaltweiß). Einzig die Lichtpunkthöhe ist adäquat, fällt aufgrund der anderen Mängel jedoch nicht positiv ins Gewicht.

**Lösungsvorschläge:** Eine komplette Deinstallation sämtlicher Leuchtstofflampen schafft alle negativen Auswirkungen kostengünstig ab und spart Energiekosten. Die bestehende Metallaufhängung über den Leuchtstofflampen könnte gegebenenfalls für die Installation von ausschließlich nach unten gerichteten, warmweißen LED-Streifen verwendet werden.

Es gibt keinerlei Abschirmung der Leuchten zur Seite oder nach oben, der Großteil des viel zu hellen Lichts wird in alle Richtungen abgestrahlt. Parallel dazu existiert bereits eine viel bessere Art von Beleuchtung: Die orange leuchtenden Straßenlaterne sind bereits ausreichend um die gesamte Brücke adäquat für FußgängerInnen und RadfahrerInnen auszu-leuchten!

Die qualitative Bewertung dieser Szenerie erfolgt mittels dreistufiger Skala nach oben genannten Kriterien:

- Notwendigkeit ☹️
- Beleuchtungsdauer ☹️
- Lichtpunkthöhe 😊
- Lichtintensität ☹️
- Abstrahlrichtung ☹️
- Farbtemperatur ☹️

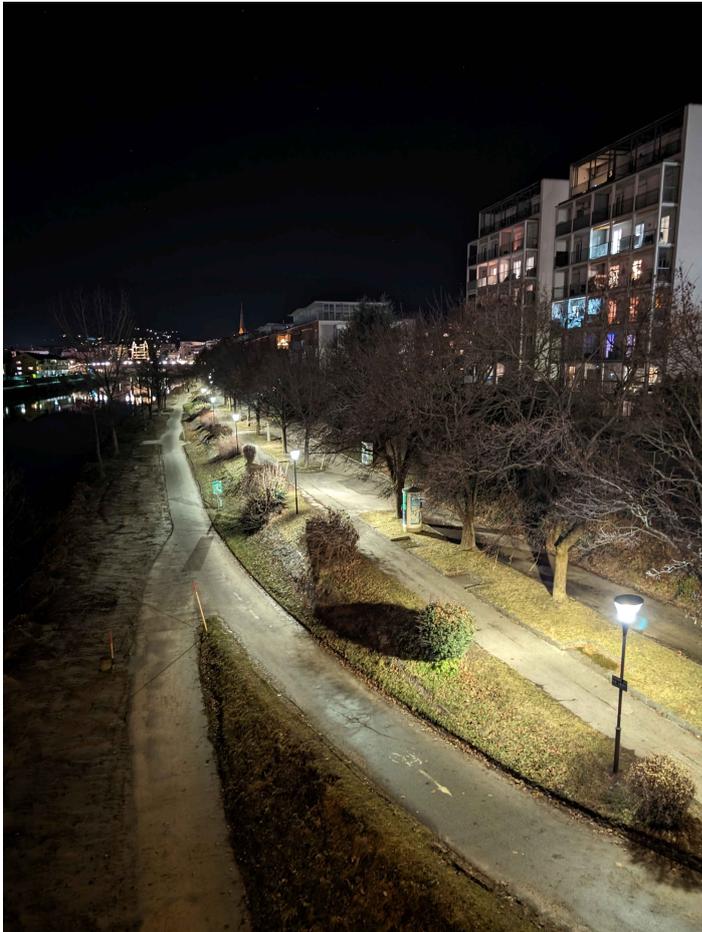
## 8.2.2 Radwegbeleuchtung Drau Höhe Kriegsbrücke

Schaut man von der Kriegsbrücke nordseitig nach Westen (Stadtmitte), fällt der Blick auf die darunter liegende Radwegbeleuchtung. Obwohl einige Meter oberhalb der Beleuchtung, blenden die Leuchten den Betrachter, ein Indiz dafür, dass die Abschirmung nach oben mangelhaft ist.

Eine qualitative Bewertung der bekannten Kriterien ergibt:

- Notwendigkeit 😊
- Beleuchtungsdauer 😞
- Lichtpunkthöhe 😞
- Lichtintensität 😞
- Abstrahlrichtung 😞
- Farbtemperatur 😞

Es steht außer Frage, dass zu gewissen Zeiten auf einer hochfrequentierten Spazier- und Radfahrstrecke eine passende Beleuchtung notwendig ist. In den späten Nachtstunden kann eine Absenkung vorgenommen werden um die Vielzahl an Anrainerwohnungen und die Umgebung vor zu viel Licht zu schützen. Die Mastabstände sind zu weit um eine niedrige Bauhöhe zu ermöglichen. Eine Reduzierung der Lichtintensität wäre allerdings trotzdem möglich. Auf der Brücke stehend ist der Leuchtkörper der Lampen deutlich sichtbar (Abbildung 57), die Abschirmung nach seitlich-oben ist entsprechend schlecht. Die Farbtemperatur ist tendenziell zu hoch, speziell wenn man die Nähe zu Wohnungen und Wasser bedenkt.



**Abbildung 57** – Radfahrweg Nord-West Höhe Kriegsbrücke Ossiacherzeile (f1.7, ISO 598, 0.34sec)



**Abbildung 58** – Kaum abgeschirmte Lampen am Radfahrweg Nord-West Höhe Kriegsbrücke Ossiacherzeile (f1.7, ISO 26, 0.01sec)

Ein völlig anderes Bild ergibt sich, wenn man südseitig der Kriegsbrücke Richtung Osten schaut: Die Beleuchtung ist relativ gut nach oben abgeschirmt. In der Abbildung 59 wird auch der Unterschied der Farbtemperatur deutlich: Alle Leuchten strahlen tendenziell in eher weißem Licht, bis auf die zweite Lampe, die deutlich gelblicher, also wärmer und angenehmer leuchtet.



Es fällt auf, dass nicht nur der Radweg sondern auch die umliegenden Hecken sowie die Wasseroberfläche beleuchtet werden - jeweils sensible Ökosysteme, die es zu schützen gilt.

- Notwendigkeit 😊
- Beleuchtungsdauer 😞
- Lichtpunkthöhe 😊
- Lichtintensität 😊
- Abstrahlrichtung 😊
- Farbtemperatur 😞

Das größte Manko bei diesem Beispiel liegt wiederum bei der zu langen (größtenteils unnötigen) Beleuchtung in den späten Nachtstunden, dem hohen Anteil von beleuchteter Grün- bzw. Wasserfläche und der meist zu hoch gewählten Farbtemperatur. Die direkte Einbettung des Radwegs sowohl in besiedeltes Gebiet als auch in den Naturraum macht eine adäquate Gestaltung unverzichtbar.

**Abbildung 59** – Radfahrweg Süd-Ost Höhe Kriegsbrücke Ossiacherzeile (f1.7, ISO 286, 0.485sec)

**Lösungsvorschläge:** Im ersten Beispiel (Abbildung 57) kann nur mittels neuen Lampen Abhilfe geschaffen werden. Der aktuelle Lampentyp war leider eine sehr schlechte Wahl. Außerdem ist die Konstruktion dieser Lampen auch für nachträgliche Abschirmungen nicht ideal, denn eine freie Glasfläche wird für die Reflexion nach unten konstruktionsbedingt benötigt.

Im zweiten Beispiel (Abbildung 59) kann schon durch den Einsatz von warmweißen Leuchten eine Verbesserung erzielt werden. Eine manuelle Abschirmung durch z.B. Schutzbleche kann das umliegende Ökosystem schützen. Sowohl die Reduzierung der Lichtintensität als auch eine Nachtabsenkung während der späten Nachtstunden sind sinnvoll und mit Hilfe der neuartigen Leuchten technisch leichter realisierbar.

### 8.2.3 Kreuzkirche

In Kärnten gibt es über 380 Pfarren der katholischen Kirche (74) und 33 Pfarren der evangelischen Kirche (75). Viele davon haben eine oder mehrere Kirchengebäude, die zum überwiegenden Teil nachts (teils durchgehend) beleuchtet werden. Die Fassadenbeleuchtung passiert meist mit großen Flutscheinwerfern, von unten nach oben gerichtet, und ist damit inhärent mit großen Problemen behaftet. Der Großteil des abgestrahlten Lichts verfehlt die zu beleuchtenden Fläche und geht direkt in die Atmosphäre. Damit leuchten in Kärnten jede Nacht hunderte Kirchen gegen den Himmel - ein riesiges Problem für die zunehmende Lichtverschmutzung.



Abbildung 60 – Kreuzkirche, Ossiacherzeile (f1.7, ISO 1572, 0.456sec)

benötigte Lichtintensität zur Folge hat.

**Lösungsvorschläge:** Eine schnelle und relativ kostengünstige Abhilfe können maßgefertigte Abdeckschablonen für die Scheinwerfer schaffen (76, S.21). Langfristig kann nur ein in Beleuchtungsrichtung und -intensität angemessenes Licht empfohlen werden. Eine tolle Alternative bietet eine Innenraumbeleuchtung, bei der die bestehenden Glaskunstwerke der Kirchenfenster besonders zur Geltung kommen können. Eine Dauerbeleuchtung muss jedoch in jedem Fall vermieden werden.

Sogar eine präzisere Beleuchtung wie im Falle der Kreuzkirche in Villach (mittels kleineren und besser ausgerichteten Scheinwerfern als üblich) ist äußerst mangelhaft, siehe Abbildung 60.

- Notwendigkeit 😊
- Beleuchtungsdauer 😊
- Lichtpunkthöhe 😊
- Lichtintensität 😞
- Abstrahlrichtung 😞
- Farbtemperatur 😞

Über die Notwendigkeit von Gebäudebeleuchtungen ließe sich per se streiten, doch gehören Kirchen in vielen Städten zum Ortsbild und stellen für einige Menschen eine optische Gewohnheit und Bereicherung dar. Mittlerweile gibt es ab 22 Uhr eine Abschaltung der Beleuchtung dieser Kirche, ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung. Die restliche Umsetzung der Beleuchtung ist allerdings mangelhaft. Es geht viel Licht durch die falsche Abstrahlrichtung verloren, was eine entsprechend höhere benötigte

## 8.2.4 Italienerstraße - Kugelleuchten

Ein Beispiel für sehr schlecht umgesetzte Außenbeleuchtung findet man im unteren Teil der Italienerstraße, direkt südlich der Innenstadt (Abbildung 61).



Abbildung 61 – Italienerstraße (f1.7, ISO 32, 0.348sec)

Die hier installierten Kugelleuchten sind repräsentativ für die ungünstigste Art von Leuchtquellen. Diese Leuchtmittel weisen in keine Richtung eine Abschirmung auf, Licht kann ungehindert nach oben und zur Seite abstrahlen. Größtmöglicher Verlust an Energie und Beitrag zu Lichtverschmutzung gehen damit einher:

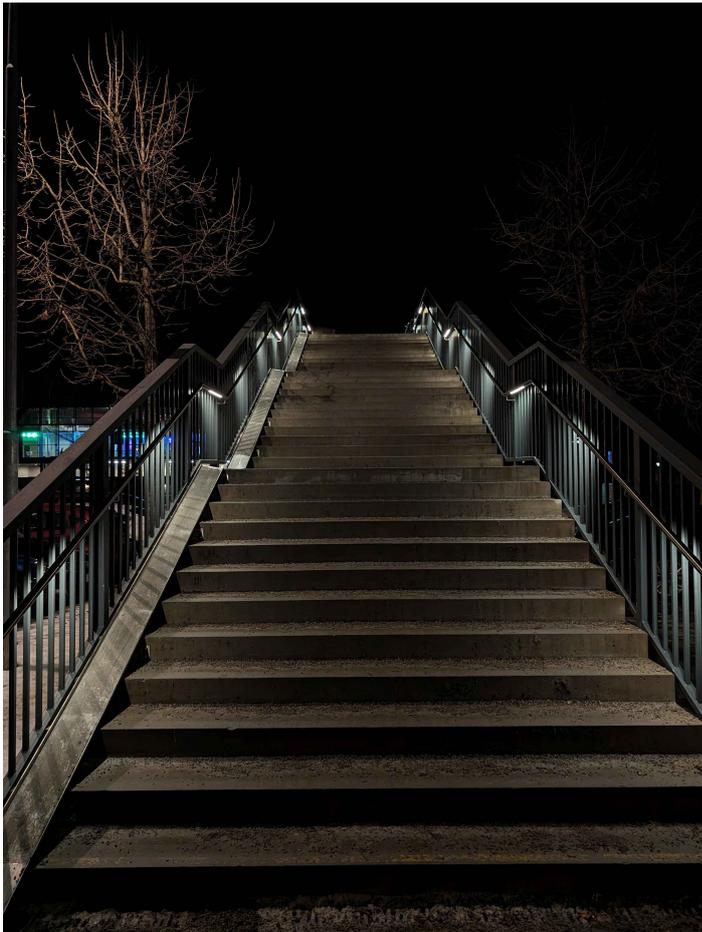
- Notwendigkeit 😊
- Beleuchtungsdauer 😞
- Lichtpunkthöhe 😊
- Lichtintensität 😞
- Abstrahlrichtung 😞
- Farbtemperatur 😞

Die Italienerstraße ist abends gut besucht und eine Beleuchtung im Zentrum durchaus angebracht. Allerdings leuchten diese Leuchten durchgehend, was die zu hohe Lichtintensität, falsche Abstrahlrichtung und zu hoch gewählte Farbtemperatur noch verschlimmert.

**Lösungsvorschläge:** Unter anderem zum Schutz der AnwohnerInnen ist eine Umrüstung der Lampen zu empfehlen. Einige Leuchten wurden bereits ausgetauscht, allerdings mit dem bereits (negativ) erwähnten Lampentyp aus Abbildung 58. Die "neue" Beleuchtung weist ebenfalls ungenügende Eigenschaften auf. Full-Cut-off Leuchten entsprechend der ÖNORM (Kapitel 7 mit niedriger Farbtemperatur und stark dimmbar, sind in Zentrumsnähe als adäquates Leuchtmittel anzusehen.

### 8.2.5 Congresscenterbrücke Süd - Stiegenbeleuchtung Neu

Ein sehr positives Beispiel zweckmäßiger und natur- und umweltschonender Beleuchtung findet sich bei der neuen Stiegenbeleuchtung südliche der Congresscenterbrücke (Abbildung 62). Dank einer Sanierung wurde das Beleuchtungskonzept neu durchdacht und stark verbessert. Stiegen sind relativ große Hindernisse im Stadtverkehr und müssen in Bezug auf Sicherheit der VerkehrsteilnehmerInnen entsprechend beleuchtet werden. Anhand der üblichen Fragestellungen können wir leicht festhalten:



**Abbildung 62** – Congresscenterbrücke südlicher Stiegenabgang (f1.7, ISO 661, 0.01sec)

- Notwendigkeit 😊
- Beleuchtungsdauer 😞
- Lichtpunkthöhe 😊
- Lichtintensität 😊
- Abstrahlrichtung 😊
- Farbtemperatur 😞

Schmale LED-Leuchten sind direkt im Handlauf verbaut und strahlen ausschließlich nach unten, ein tolles Konzept! Leider fehlt eine dynamische Abschaltung, denn spät nachts ist die Brücke naturgemäß weniger stark frequentiert. Auch Lichtintensität und Farbtemperatur hätten noch niedriger gewählt werden können.

Anzumerken ist, dass die Parkplatzbeleuchtung links außerhalb des abgebildeten Bereichs, nicht adäquat ist. Der Baum wird unnötig beleuchtet, was meist auf eine zu hohe Lichtpunkthöhe und zu viel seitlich abgestrahltes Licht hindeutet.

**Lösungsvorschläge:** Die vorbildliche Umsetzung der Stiegenbeleuchtung erfordert kaum eine Verbesserung. Ein Bewegungsmelder könnte die Beleuchtungsdauer noch bedarfsorientierter gestalten. Die umliegende Parkplatzbeleuchtung hat aber großes Verbesserungspotenzial (Abstrahlrichtung, Lichtintensität, etc, ..).

### 8.2.6 Lederergasse Dekorationsbeleuchtung

Gerade in der Altstadt finden sich oft noch sehr stilvolle Lampenformen. Sie bringen altmodischen Flair und eine spezielle Atmosphäre in die Gassen und haben mitunter historischen Wert. Die alten Lampenschirme in der Lederergasse gehören zu dieser Kategorie (Abbildung 63).



Abbildung 63 – Lederergasse (f1.7, ISO 100, 0.04sec)

ziell zu hoch.



*An example of a stylish lamp for the illumination of the vicinity of objects of cultural heritage. The bulb is placed in the upper part. The luminaire has no side glasses since these scatter light above the horizontal.*

Abbildung 64 – Alternativer Leuchtkörper (76, S.24)

Leider entsprechen diese Leuchtkörper und deren Abschirmung jedoch nicht den aktuellen Standards und tragen entsprechend zur Lichtverschmutzung bei.

- Notwendigkeit 😊
- Beleuchtungsdauer 😞
- Lichtpunkthöhe 😊
- Lichtintensität 😊
- Abstrahlrichtung 😞
- Farbtemperatur 😊

Die Dekorationsleuchte, rechts im Bild, verliert ihre Notwendigkeit durch die (besser umgesetzte) Hängeleuchte in der Bildmitte. Hier sollte man sich für eine der beiden entscheiden, wobei eine verbesserte Variante der Dekorationsleuchten aufgrund von niedrigerer Lichtpunkthöhe und historischem Wert zu bevorzugen ist. Es wird nachts durchgehend anstatt bedarfsorientiert beleuchtet, bei einer in Summe zu hohen Lichtintensität. Leider ist die Abstrahlrichtung völlig falsch und die Farbtemperatur tendenziell zu hoch.

**Lösungsvorschläge:** Dank effizienter und flexibler LED-Technologie, können die alten Lampenschirme und deren Ästhetik erhalten bleiben (Abbildung 64) und kann doch eine Umrüstung im Sinne aktueller Standards erfolgen. Ein neuer Leuchtkörper wird im obersten Teil des alten Lampenschirms verbaut, mit einer perfekten Abschirmung nach oben. Wichtig ist, dass die Glasscheiben der alten Lampe entfernt werden, da Licht durch Reflexionen leicht fehlgeleitet wird. Die üblichen Verbesserungen bezüglich Lichtintensität, Beleuchtungsdauer usw. treffen natürlich auch hier zu.

### 8.2.7 Congresscenter Nord - Gironcoli Skulptur

Abschließend ein Beispiel für sehr schlechte (nicht vorhandene) Abschirmung und im Übermaß eingesetztes Licht. Nördlich des Congress Centers findet sich die Gironcoli Statue auf einem großen Platz mit einer Vielzahl an (größtenteils unnötigen) Lichtpunkten (Abbildung 65).



**Abbildung 65** – Nikolaigasse bei Gironcoli Statue / Congress Center (f1.7, ISO 564, 0.04sec)

- Notwendigkeit 😞
- Beleuchtungsdauer 😞
- Lichtpunkthöhe 😊
- Lichtintensität 😞
- Abstrahlrichtung 😞
- Farbtemperatur 😞

Die Straßenbeleuchtung, am ehesten notwendig, blendet weit über den Platz (Abstrahlrichtung), die restliche Beleuchtung dient ausschließlich der Dekoration und leuchtet die ganze Nacht hindurch. Mit Ausnahme der rechts unten sichtbaren Bodenbeleuchtung sind alle dekorativen Leuchten nicht abgeschirmt und tragen somit massiv zu Lichtverschmutzung bei. Die Lampen links im Bild zeigen: Hier wird sogar bewusst von unten nach oben eine Hecke beleuchtet! Einzig die Lichtpunkthöhe der gezeigten Lampen ist adäquat, allerdings kann dieser Punkt aufgrund der sonstigen, schlechten Umsetzung nicht mehr positiv ins Gewicht fallen.

**Lösungsvorschläge:** Mit entsprechender Planung und technischer Umsetzung kann sowohl bei funktionalem als auch ästhetischem Licht der Beitrag zu Lichtverschmutzung auf ein Minimum reduziert werden. Eine Nachtabschaltung löst das Problem der Lichtverschmutzung schnell und kostengünstig. Darüber hinaus muss das Beleuchtungskonzept komplett neu durchdacht werden.

### 8.3 Die perfekte Straßenbeleuchtung

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Leuchtkörpern, die effizienter und umweltverträglicher realisiert sind als in der Vergangenheit üblich. Ist eine Straßen-, Geh-, bzw. Fahrradwegsbeleuchtung unumgänglich, dann sparen Leuchtdioden (LED) viel Energie und sie können leicht gedimmt (Lichtintensität 😊) bzw. dynamisch ein- und ausgeschaltet werden (Beleuchtungsdauer 😊). Des Weiteren kann die Farbtemperatur gewählt und entsprechend niedrig dimensioniert werden ( $<3000$  Kelvin 😊). Mit Hilfe spezieller Linsentechniken kann das Licht sehr präzise, ausschließlich nach unten und auf die zu beleuchtende Fläche (Weg, Fahrbahn) ausgerichtet werden (Abstrahlrichtung 😊). Eine adäquate Planung und Installation ist für solche Leuchten unerlässlich. Die Abstrahlfläche auf der Unterseite muss z.B. möglichst horizontal zum Untergrund ausgerichtet werden, um das seitlich oder gar nach oben abgestrahlte Licht zu minimieren. Eine etwas höhere Anzahl an Lichtpunkten lässt entsprechend niedrigere Masten zu (Lichtpunkthöhe 😊), minimiert die benötigte Lichtintensität, beschränkt die Ausleuchtung auf die tatsächlich zu beleuchtenden Flächen und reduziert die Lockwirkung für Insekten.

Ein repräsentatives Beispiel für sogenannte „technische Leuchten“ ist in Abbildung 66 dargestellt.



**Abbildung 66** – „Patent der Nacht“ zertifizierte Straßenleuchte SITECO® SL 11 iQ (77)

In diesem Fall handelt es sich um eine Leuchte die von den „Patent der Nacht“ sogar zertifiziert, also als besonders nachtschonend eingestuft wurde (gilt nur für Ausführungen mit  $<3000$  Kelvin). Es gibt eine steigende Anzahl von Herstellern die ähnliche technische Leuchtkörper anbieten, z.B. Schröder® (78), TRILUX® (79), ELEKTRON® (80) oder DOTLUX® (81).

Die Stadt Villach hat bereits wertvolle Erfahrungen im Bereich dynamisch gesteuerter Straßenbeleuchtung gesammelt. Beim Fußweg am Damm parallel zum Graschitzer Weg in St. Niklas wird z.B. seit 2021 eine bedarfsorientierte Beleuchtung erfolgreich getestet. Mit dieser Art von Beleuchtung können in Zukunft sämtliche Aspekte zur Vermeidung von Lichtverschmutzung berücksichtigt werden, ohne das subjektive Sicherheitsgefühl der Bevölkerung zu mindern. Befindet sich spät nachts niemand in der Nähe, ist eine Komplettabschaltung wichtig, denn das beste Licht für eine natürliche Nacht **ist ausgeschaltet**.

## 8.4 Weihnachtsbeleuchtung

Weihnachten ist eine besinnliche, ruhige Zeit, zumindest sollte das so sein. Die Weihnachtsbeleuchtung ist mit sehr viel Tradition und Freude verbunden und das soll auch so bleiben. Allerdings tritt die Weihnachtsbeleuchtung angesichts der bereits vorhandenen (und größtenteils überdimensionierten) Beleuchtung in den Hintergrund, wie in Abbildung 67 zu sehen ist.



Abbildung 67 – Überbeleuchteter Hauptplatz (f1.7, ISO 74, 0.04sec)

Die bestehende Hauptplatzbeleuchtung überstrahlt den Weihnachtsmarkt, und das hat zur Folge, dass auch die Weihnachtsbeleuchtung im Übermaß eingesetzt werden muss, wenn sie wahrgenommen werden soll. Das Ergebnis ist eine blendend hell erleuchtete Umgebung anstatt einer besinnlich-stimmigen Atmosphäre.

**Lösungsvorschläge:** Licht hat im Laufe der Jahre an Besonderheit und Stellenwert verloren, denn es leuchtet im Übermaß, vor allem zu Weihnachten. Um die Weihnachtsbeleuchtung besser hervorzuheben, sollte die übliche Hauptplatzbeleuchtung vollständig abgeschaltet werden. Dadurch ergibt sich ein völlig neues, abwechslungsreiches und viel stimmigeres Ortsbild, bei nach wie vor ausreichend heller Beleuchtung.

Dieser Ansatz hat viel Potenzial um den Villacher Adventmarkt ganz besonders zu machen. Anstatt pauschal mehr zu beleuchten, kann, mit der richtigen Wahl der Beleuchtung, den BesucherInnen ein ganz spezielles Erlebnis geboten werden. Die teilweise schon vorhandenen offenen Feuerstellen geben zusätzlich traditionelles, sehr angenehmes warmes Licht ab. Der grelle, weiß-blau-blinkend beleuchtete Bummelzug hilft hier jedoch nicht.

Abschließend seien noch die Dekorationsleuchten von Thomas Brezina beim Parkhotel erwähnt. Sie mögen zwar für viele BesucherInnen eine Attraktion in Villach zu Weihnachten darstellen, doch müssen sie nicht bis Mitte Februar des Folgejahres betrieben werden (Abbildung 68, aufgenommen am 01.02.2024, Beleuchtung am 15.02.2024 ebenfalls noch aktiv).



**Abbildung 68** – Thomas Brezina Dekorationsleuchten Mitte Februar!?! (f1.7, ISO 160, 0.04sec)

## 8.5 Werbebeleuchtung

Es gibt in Österreich noch keine Gesetze zur Lichtemission von Werbebeleuchtung, nur gesetzlich nicht bindende Normen, die den Stand der Technik wiedergeben (Kapitel 7). Entsprechend 'darf' man in Österreich quasi beleuchten wie man will - mit entsprechend gravierenden Auswirkungen. Gerade bei Geschäfts- bzw. Werbebeleuchtungen gibt es unzählige katastrophale Beispiele (z.B. GH Josef in Abbildung 69). Kapitel 9 versucht den Lichtverschmutzungsbeitrag der Werbebeleuchtung in Villach abzuschätzen. Es ist wichtig, die ortsansässigen Geschäfte und Betriebe gezielt darauf anzusprechen, dass Werbebeleuchtung nachts ausgeschaltet bzw. deren Umsetzung optimiert werden kann. Die Wiener Umweltschutzgesellschaft arbeitet seit 2023 daran (82).

Auch die Stadt Villach hat bereits ein Konzept um Betriebe dazu zu bewegen nachts freiwillig die Werbebeleuchtung auszuschalten (Abbildung 70a). An dieser Stelle sei ergänzend auf eine länderübergreifende Plattform verwiesen, die mitmachende Betriebe auch online besonders hervorhebt und mit einem offiziellen Umweltschutzzertifikat auszeichnet (Abbildung 70b). So soll einerseits ein längerfristiges 'Commitment' erlangt werden, und andererseits die 'fehlende Leuchtreklame' mit 'positiver Werbung für den bewussten Umgang mit Licht und entsprechendem Umweltschutz' ersetzt werden. Werbung im Jahr 2024 passiert anders, denn viele Entscheidungen werden online getroffen und nicht spät nachts aufgrund einer Leuchtreklame. Sogar ein gegenteiliger Effekt ist denkbar, wenn die Gesellschaft sich des zunehmenden Problems 'Lichtverschmutzung' bewusst wird und mitten in der Nacht die Werbung von lokalen Geschäften hell erleuchtet sieht.



(a) Eine einzige schlechte Lichtquelle  
(f1.7, ISO 100, 0.22sec)



(b) ...mit extremer Lichtverschmutzung  
(f1.7, ISO 2366, 0.35sec)

**Abbildung 69** – Gasthof Josef als Negativbeispiel für schlechte Werbebeleuchtung



(a) Aktion 'Licht aus' der Stadt Villach



(b) Aktion '22Uhr - Licht aus' im deutschsprachigen Raum (83)

**Abbildung 70** – Sticker der Stadt Villach und Umweltschutzzertifikat der „Paten der Nacht“ für Betriebe die nachts freiwillig ihre Werbebeleuchtung abschalten

## 8.6 Dekorationsbeleuchtung

Wie in einigen oben angeführten Beleuchtungsszenarien bereits ersichtlich, stehen schlecht umgesetzte Dekorationsbeleuchtungen im Widerspruch mit der Vermeidung von Lichtverschmutzung und deren negativen Auswirkungen. Es gibt in der Stadt Villach Grünflächen, die bereits besonders im Zeichen der Artenvielfalt stehen, z.B. die „Vielfalter-Wiesen“ und „Bientankstellen“ (84). Eine absichtliche Abschaltung der Dekorations- bzw. Außenbeleuchtung in diesem Bereich, gemeinsam mit dem Aufstellen der Gartenschilder von den „Paten der Nacht“ aus Abbildung 71 fördert das Bewusstsein der Bevölkerung und trägt maßgeblich zum Artenschutz bei.



(a) Werbung für weniger Licht



(b) in sensiblen Bereichen (z.B. Bientankstation)

**Abbildung 71** – Zum Schutz der Artenvielfalt wird bewusst auf Licht verzichtet und darauf aufmerksam gemacht (85)

Jedes aufgestellte Gartenschild kann anschließend online registriert werden und bekommt einen Eintrag auf einer interaktiven Karte (ähnlich zum Projekt „22Uhr - Licht aus!“ (83)). Diese spezielle Art der Werbung von Unternehmen, Städten und Privatpersonen ist zeitgemäß und gleichzeitig ein wertvoller Beitrag zum Umwelt- und Naturschutz.

## 8.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden einige Positiv- und Negativbeispiele für Außenbeleuchtungen in Villach präsentiert. Die Lichtbeispiele wurden anhand der sechs gängigen Aspekte zur Beurteilung von Außenbeleuchtungen bewertet. Zu jedem Beispiel wurden Lösungsvorschläge genannt, die kurz- oder langfristig umsetzbar sind. Die gezeigten Beispiele stehen für eine Vielzahl an weiteren Beleuchtungssituationen in der Stadt. In weiterer Folge ist es die Stadt Villach, die selbständig ihre Lichtquellen bewerten, verbessern und zukünftige Beleuchtungen optimal planen und umsetzen kann.

Der Österreichische Leitfaden für Außenbeleuchtung (49) sollte ein Standarddokument für jeden Beleuchtungstechniker jeder Stadt sein. Darin werden die Handlungsempfehlungen detailliert angeführt und sollten nach bestem Wissen und Gewissen befolgt und umgesetzt werden.

Dekorations- und Werbebeleuchtungen in Villach spielen (wie auch in jeder anderen Stadt) eine große Rolle im Zusammenhang mit Lichtverschmutzung (Kapitel 9). Gerade bei besonderen Feierlichkeiten (z.B. Weihnachten oder Kirchtag) ist nicht nur das Verbesserungspotenzial bezüglich Lichtverschmutzung extrem groß, sondern auch die Chance durch die erzielten Verbesserungen eine angenehmere und stimmungsvollere Atmosphäre für die BesucherInnen zu schaffen. Die Problematik der durchwegs schlechten Werbebeleuchtungen in und um Villach, muss von der Stadt mit mehr Nachdruck thematisiert werden, wenn der Schutz von Natur, Umwelt und Gesundheit im Vordergrund stehen soll.

## 9 Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht erfasst sowohl die Historie als auch die aktuelle Situation der Lichtverschmutzung in Villach. Einführend zeigt Kapitel 2 die Vielzahl an negativen Auswirkungen von Lichtverschmutzung auf. Sämtliches Licht in der Atmosphäre ist verschwendet, kostet Geld und emittiert unnötig CO<sub>2</sub>. Noch dazu schadet es der Gesundheit von Mensch und Tier, beschleunigt das Insektensterben, beeinflusst Zugvögel und raubt uns den natürlichen Sternenhimmel.

Dass *mehr Licht nicht* mit *mehr objektiver Sicherheit* korreliert wird in Kapitel 3 klar. Wichtiger ist, dass das *subjektive Sicherheitsgefühl* der Bevölkerung mit „ordentlicher“ Beleuchtung gefördert werden kann und dass diese Art von Beleuchtung gleichzeitig bei der Vermeidung von Lichtverschmutzung hilft (Kapitel 8).

Wie schlimm das Ausmaß der Lichtverschmutzung in Villach bereits ist wird in Kapitel 4 ermittelt. Die Vermessung der Lichtkuppel mittels 5 verschiedenen Standorten in und um Villach zeigt bereits Werte ähnlich der Innenstadt von Linz sowie Außenbezirken Wiens. Noch dazu kommt, dass die gemessene durchschnittliche Farbtemperatur der Atmosphäre sehr hoch ist, das heißt zu viel Weiß-Blauanteil beinhaltet. Damit gehen nicht nur die negativen Effekte für Gesundheit, Umwelt- und Naturschutz verstärkt einher, sondern stellt eine besonders hohe Belastung für die Biodiversität im Naturpark Dobratsch dar.

Eine neuartige Analyseverfahren im Kapitel 5 versucht die Hauptkontributoren der Lichtverschmutzung zu identifizieren. Eine genaue Trennung ist naturgemäß schwierig und mit der vorgestellten Methode nur eingeschränkt möglich. Trotzdem zeigt sich deutlich wie auffällig hoch der ermittelte Beitrag der Straßenbeleuchtung in Villach ist. Der Anteil an Werbebeleuchtungen ist ebenso signifikant und als absolute Untergrenze zu bewerten.

In Kapitel 6 wird der Trend der Lichtemission von Villach in den letzten 10 Jahren mit der Sternstadt Fulda verglichen. Im Gegensatz zu Villach setzt man sich dort seit Jahren intensiv mit vielfältigen Verbesserungen bezüglich Lichtverschmutzung auseinander, und die Ergebnisse zeigen das sehr deutlich. Die Menge der nächtlichen Lichtemission pro Kopf war 2022 in Villach um **46 %** höher als in Fulda. Für beide Städte werden die Zonen der stärksten Verbesserung bzw. Verschlechterung aufgelistet.

Die aktuelle Gesetzeslage in Österreich und Europa wird in Kapitel 7 klargestellt. Speziell die Novelle des Umweltschutzgesetzes 2024 des Landes Oberösterreich wird hervorgehoben und die im Zuge dessen ab 1. Mai 2024 frei verfügbare ÖNORM 1052 schemenhaft dargelegt. Die Anzahl der EU-Projekte gegen Lichtverschmutzung und Länder bzw. Regionen die entsprechende Regelungen schaffen steigen weiterhin.

Mit Hilfe der Handlungsempfehlungen in Kapitel 8 können zukünftige Verbesserungen erzielt werden. Der Österreichische Leitfadens für Außenbeleuchtung (49) zeigt wie möglichst optimal beleuchtet wird. Damit wird sowohl das subjektive Sicherheitsgefühl der Bevölkerung gefördert, als auch das Ausmaß der Lichtverschmutzung minimiert. Ein Hauptaugenmerk wurde außerdem auf die Veranschaulichung anhand einiger Beleuchtungssituationen in Villach gelegt. Abschließend wird auf das Potential, mit dem richtigen Licht spezielle Feste wie z.B. Weihnachten, noch attraktiver zu machen, eingegangen.

Der in diesem Bericht dargestellten Situation in Villach entsprechend und den letzten Entwicklungen in österreichischen Gesetzen und Normen folgend, sollte die Stadt Villach zukünftig die nachstehend angeführten Punkte in Betracht ziehen:

- Aufklärung der Bevölkerung bezüglich der negativen Auswirkungen von Lichtverschmutzung und der Grundlagen von „gut geplanter und installierter“ Beleuchtung im Außenbereich mit speziellem Augenmerk auf subjektives Sicherheitsgefühl (z.B. mittels Gemeindezeitung, „Patent der Nacht“ Flyer (86), Gartenschilder bei z.B. Bientankstellen (85), online Artikel, Social Media, etc). Die Teilnahme an der jährlichen „Earth Night“ (87) beispielsweise kann dafür medial genutzt werden.
- Bewertungsgebiete in und um Villach gemäß ÖNORM 1052 definieren (Tabelle 5) und das Beleuchtungskonzept in den jeweiligen Gebieten entsprechend umsetzen (formeller Beschluss im Stadtrat). Das heißt u.a., dass im "Bewertungsgebiet B"(Wohngebiete) die Straßenbeleuchtung zwischen 22:00 und 06:00 Uhr abgeschaltet werden kann.
- Verstärkte Investitionen in normgerechte Straßenbeleuchtung gemäß der ÖNORM 1052 mit Fokus auf adäquat gewählter Beleuchtungsdauer, Intensität, Lichtpunkthöhe, Abstrahlrichtung und Farbtemperatur (Kapitel 8). Technische Leuchten die diesen Anforderungen entsprechen werden in Kapitel 8.3 aufgezeigt, müssen aber unbedingt adäquat installiert und betrieben werden.
- Die Aktionen „Villach - Licht aus“ der Stadt Villach sowie „22 Uhr - Licht aus“ der „Patent der Nacht“ (83) sind der Schlüssel, um vermehrt Firmen- und Geschäftsgebäude dazu zu bewegen, nachts unnötiges Werbelicht und Schaufensterbeleuchtung abzuschalten und damit maßgeblich zur Reduktion der Lichtverschmutzung beizutragen. Sofern eine freiwillige Reduzierung von Werbebeleuchtung und Schaufensterbeleuchtung kurzfristig nicht zum gewünschten Erfolg führt, sollte die Stadt Villach mit entsprechenden verbindlichen Vorgaben nachsteuern (siehe gesetzliche Regelungen z.B. in Frankreich (67, S.131-133) und im Schweizer Kanton Freiburg (71)).
- Verbot von Fassadenanstrahlungen und Dekorationsbeleuchtungen im Sommerhalbjahr ganztägig und im Winterhalbjahr 22:00 bis 06:00 Uhr (analog zum Baden-Württembergischen Naturschutzgesetz (70)).
- Installation einer Permanentmessstation der Himmelselligkeit in Zentrumsnähe (z.B. Stadtpfarrturm), um Verbesserungen der Lichtverschmutzungssituation mit Messdaten zu untermauern (nutzbar für zukünftige Nachhaltigkeitsberichte).
- Eine Person in der „Anlagenrecht- und Umweltschutzbehörde“ der Stadt Villach mit Sachverständigentätigkeit zum Thema Lichtverschmutzung kann zusätzlich dabei helfen, die Vielzahl an Verbesserungsmöglichkeiten über die Jahre zu koordinieren.

Abschließend möchten wir noch auf weitere Literatur verweisen. Wie man den einzelnen Leitfäden der verschiedensten Länder unten entnehmen kann, herrscht seit vielen Jahren Einigkeit bezüglich den negativen Folgen der Lichtverschmutzung und der Strategie zur Vermeidung dieser. Eine Natur- und umweltbewusste Stadt wie Villach hat hier viel Verbesserungspotential und muss nach bestem Wissen und Gewissen in der Umsetzung von zukünftiger und Verbesserung bestehender Außenbeleuchtung handeln.

## 9.1 Weiterführende Literatur

Neben dem vorgestellten Österreichischen Leitfaden für Außenbeleuchtung (49) und der aktuellen ÖNORM 1052 (13) verweist der vorliegende Bericht auf eine Vielzahl an externer Literatur. Natürlich gibt es viele weitere Quellen, in denen man nicht nur Details zu den negativen Folgen der Lichtverschmutzung findet, sondern auch konkrete Umsetzungsempfehlungen für Städte, Gemeinden und Naturparks.

- Infoblatt der Tiroler Umweltschutzorganisation (Helle Not) - Verantwortungsvoller Umgang mit künstlichem Licht in der Nacht (88)
- Leitfaden des Deutschen Bundesamts für Naturschutz (6)
- Leitfaden des Schweizer Bundesamts für Umwelt (89)
- Slowenisches UNESCO Projekt zur Verbesserung von Fassadenbeleuchtungen naturhistorischer Objekte (76)
- Leitfaden einer Lake District Schutzorganisation in England (90)
- Leitfaden der Abteilung "Bureau of Land Management" der Vereinigten Staaten Amerikas (91)
- „State of the Science 2024“ Zusammenfassung von DarkSky International mit zahlreichen Primärquellen (92)

## Literatur

- [1] T. Posch, F. Holker, T. Uhlmann, and A. Freyhoff, Eds., *Das Ende der Nacht*, 2nd ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, Sep. 2013.
- [2] K. Shi, J. Shen, Y. Wu, S. Liu, and L. Li, “Carbon dioxide (co<sub>2</sub>) emissions from the service industry, traffic, and secondary industry as revealed by the remotely sensed nighttime light data,” *International Journal of Digital Earth*, vol. 14, no. 11, pp. 1514–1527, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/17538947.2021.1946605>
- [3] M. Cao, T. Xu, and D. Yin, “Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations,” *Journal of Environmental Sciences*, vol. 127, pp. 589–602, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074222003291>
- [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*, vol. 2, no. 6, p. e1600377, 2016. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/sciadv.1600377>
- [5] C. C. M. Kyba, Y. Öner Altıntaş, C. E. Walker, and M. Newhouse, “Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022,” *Science*, vol. 379, no. 6629, pp. 265–268, 2023. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abq7781>
- [6] Deutsches Bundesamt für Naturschutz. (2019) Leitfaden zur Neugestaltung und Umrüstung von Außenbeleuchtungsanlagen. [Online]. Available: <https://www.bfn.de/publikationen/bfn-schriften/bfn-schriften-543-leitfaden-zur-neugestaltung-und-umruestung-von>
- [7] K. W. Riegel, “Light pollution: Outdoor lighting is a growing threat to astronomy,” *Science*, vol. 179, no. 4080, pp. 1285–1291, Mar. 1973.
- [8] Ministry of the Environment of the Czech Republic. (2022) Lightpollution reduction in Europe. [Online]. Available: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news\\_20221027-/FILE/Light\\_pollution\\_reduction\\_measures.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_20221027-/FILE/Light_pollution_reduction_measures.pdf)
- [9] D. S, R. Q. R, D. O. G. C. MN, W. O, V. T. P, V. H. V, and G. T, “Revision of the eu green public procurement criteria for road lighting and traffic signals,” Luxembourg (Luxembourg), Scientific analysis or review, Policy assessment KJ-NA-29631-EN-N (online), 2019. [Online]. Available: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC115406>
- [10] Europäisches Parlament. (2024) Ja zur Renaturierung von 20 % der Land- und Meeresflächen der EU. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20240223IPR18078/parlament-ja-zur-renaturierung-von-20-der-land-und-meeresflaechen-der-eu>
- [11] Land Oberösterreich. (2024) Oö. Umweltschutzgesetz-Novelle 2024. [Online]. Available: [https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/Dokumente%20UWD%20Abt\\_US/20240312\\_Infoblatt\\_OOE%20Umweltschutzgesetz-Novelle%202024.pdf](https://www.land-oberoesterreich.gv.at/Mediendateien/Formulare/Dokumente%20UWD%20Abt_US/20240312_Infoblatt_OOE%20Umweltschutzgesetz-Novelle%202024.pdf)
- [12] Parlament Österreich. (2024) Lichtverschmutzung – Anregung auf Erlassung eines Bundesgesetzes (108/PET). [Online]. Available: <https://www.parlament.gv.at/gegenstand/XXVII/PET/108?selectedStage=105>

- [13] Rechtsinformationssystem des Bundes. (2024) Anhang 4 zum Oö Umweltschutzgesetz 1996 - ÖNORM O 1052:2022-10. [Online]. Available: [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/LgblAuth/LGBLA\\_OB\\_20240318\\_24/Material\\_20240758\\_subbeilage\\_Sign.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/LgblAuth/LGBLA_OB_20240318_24/Material_20240758_subbeilage_Sign.pdf)
- [14] ÖVP-Gemeinderatsklub. (2021) Gemeinderatsantrag Stadt Villach. [Online]. Available: [https://villach.at/VillachPortal/media/Downloads/GRBeschluesse/21-30-Antrag\\_Lichtverschmutzung-durch-Strassenbeleuchtung.pdf](https://villach.at/VillachPortal/media/Downloads/GRBeschluesse/21-30-Antrag_Lichtverschmutzung-durch-Strassenbeleuchtung.pdf)
- [15] R. Chepesiuk, “Missing the dark: Health effects of light pollution,” *Environmental health perspectives*, vol. 117, pp. A20–7, 02 2009.
- [16] L. Paddison. (2021) The argument for switching off lights at night. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/future/article/20210719-why-light-pollution-is-harming-our-wildlife>
- [17] Nadia Drake. (2019) Out nights are getting brighter, and Earth is paying the price. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/nights-are-getting-brighter-earth-paying-the-price-light-pollution-dark-skies>
- [18] M. Kocifaj and J. C. Barentine, “Air pollution mitigation can reduce the brightness of the night sky in and near cities,” *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, p. 14622, Jul. 2021.
- [19] 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,” *Sci Adv*, vol. 2, no. 6, p. e1600377, Jun. 2016.
- [20] D. Lorenz. (2022) Light Pollution Atlas 2022. [Online]. Available: <https://djlorenz.github.io/astronomy/lp2022/Europe2022B.png>
- [21] E. P. Fischer, *Durch die Nacht*. Munich, Germany: Siedler, Sep. 2015.
- [22] J. Karska, S. Kowalski, A. Gładka, A. Brzecka, M. Sochocka, D. Kurpas, J. A. Beszlej, and J. Leszek, “Artificial light and neurodegeneration: does light pollution impact the development of alzheimer’s disease?” *GeroScience*, vol. 46, no. 1, pp. 87–97, Feb. 2024.
- [23] A. Krop-Benesch, *Lichtverschmutzung*, 1st ed. Reinbek, Germany: ROWOHLT Taschenbuch, Sep. 2019.
- [24] A. Levin, *Incandescent*. Glasgow, Scotland: Saraband, Sep. 2019.
- [25] D. Paksarian, K. E. Rudolph, E. K. Stapp, G. P. Dunster, J. He, D. Mennitt, S. Hattar, J. A. Casey, P. James, and K. R. Merikangas, “Association of outdoor artificial light at night with mental disorders and sleep patterns among US adolescents,” *JAMA Psychiatry*, vol. 77, no. 12, pp. 1266–1275, Dec. 2020.
- [26] N. N. M. Shariff, Z. Hamidi, and M. S. Faid, “The risk of light pollution on sustainability,” *ASM Science Journal*, vol. 12, p. 134, 08 2019.
- [27] Y. Wu, P. Shen, Z. Yang, L. Yu, L. Xu, Z. Zhu, T. Li, D. Luo, H. Lin, L. Shui, M. Tang, M. Jin, K. Chen, and J. Wang, “Outdoor light at night, air pollution, and risk of cerebrovascular disease: A cohort study in china,” *Stroke*, vol. 55, no. 4, pp. 990–998, 2024. [Online]. Available: <https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/STROKEAHA.123.044904>

- [28] S. H. Kim, Y. K. Kim, Y. I. Shin, G. Kang, S. P. Kim, H. Lee, I. H. Hong, I. B. Chang, S.-B. Hong, H.-J. Yoon, and A. Ha, “Nighttime outdoor artificial light and risk of Age-Related macular degeneration,” *JAMA Netw Open*, vol. 7, no. 1, p. e2351650, Jan. 2024.
- [29] S. T. Fabian, Y. Sondhi, P. E. Allen, J. C. Theobald, and H.-T. Lin, “Why flying insects gather at artificial light,” *Nature Communications*, vol. 15, no. 1, p. 689, Jan 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-44785-3>
- [30] C. A. Hallmann, M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmans, A. Müller, H. Sumser, T. Hörren, D. Goulson, and H. de Kroon, “More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas,” *PLOS ONE*, vol. 12, no. 10, pp. 1–21, 10 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- [31] A. C. Owens, P. Cochard, J. Durrant, B. Farnworth, E. K. Perkin, and B. Seymoure, “Light pollution is a driver of insect declines,” *Biological Conservation*, vol. 241, p. 108259, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320719307797>
- [32] A. K. Jägerbrand and K. Spoelstra, “Effects of anthropogenic light on species and ecosystems,” *Science*, vol. 380, no. 6650, pp. 1125–1130, 2023. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.adg3173>
- [33] A. M. V. Perez, “The increasing effects of light pollution on professional and amateur astronomy,” *Science*, vol. 380, no. 6650, pp. 1136–1140, 2023. [Online]. Available: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.adg0269>
- [34] DarkSky International. (2022) Light is Energy: Estimating the Impact of Light Pollution on Climate Change. [Online]. Available: <https://darksky.org/news/light-is-energy-estimating-the-impact-of-light-pollution-on-climate-change/>
- [35] ——. (2021) LIGHT POLLUTION COSTS MONEY AND WASTES RESOURCES. [Online]. Available: <https://darksky.org/app/uploads/2021/01/Light-Pollution-Wastes-Energy-and-Money-English.pdf>
- [36] Appleton Group Emerson. (2019) European Union Adopts New Guidance to Reduce Light Pollution. [Online]. Available: <https://www.appleton.emerson.com/documents/article-european-union-adopts-new-guidance-to-reduce-light-pollution-appleton-en-7545468.pdf>
- [37] G. Wuchterl and M. Reithofer. (2020) Licht über Wien VII. [Online]. Available: <https://www.digital.wienbibliothek.at/wbrup/download/pdf/3559567?originalFilename=true>
- [38] M. Westmoquette, *The Mindful Universe*, ser. Mindfulness series. UK: Quarto Publishing PLC, Oct. 2023.
- [39] F. Freistetter, *Der Komet im Cocktailglas*. München: Hanser, Jan. 2013.
- [40] F. Falchi, S. Bará, P. Cinzano, R. C. Lima, and M. Pawley, “A call for scientists to halt the spoiling of the night sky with artificial light and satellites,” *Nature Astronomy*, vol. 7, no. 3, pp. 237–239, Mar 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01864-z>
- [41] P. Struyf, E. Enhus, T. Bauwens, and L. Melgaço, *Literature study: The effects of reduced public lighting on crime, fear of crime, and road safety*, Jan. 2019.

- [42] DarkSky International. (2024) Outdoor lighting at night doesn't do what you think it does to reduce crime and increase safety. [Online]. Available: <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/effects/safety/>
- [43] Fachgruppe Dark Sky der Vereinigung der Sternfreunde e. V. (2024) Initiative gegen Lichtverschmutzung - Abschaltungen. [Online]. Available: <http://lichtverschmutzung.de/seiten/abschaltungen.php>
- [44] S. Wallner, "Measuring and modelling night sky brightness - the impact of light pollution," Ph.D. dissertation, Universität Wien, 2020.
- [45] Universität Wien. (2024) Systematic measurements of the night sky brightness. [Online]. Available: <https://nightsky.univie.ac.at/>
- [46] S. Wallner, J. Puschnig, and S. Stidl, "The reliability of satellite-based light trends for dark sky areas in Austria," *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 311, p. 108774, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022407323002923>
- [47] Land Oberösterreich. (2024) Licht - Lichtmessnetz. [Online]. Available: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/159659.htm>
- [48] Landeshauptstadt Eisenstadt. (2023) Projekt gegen Lichtverschmutzung startet in Eisenstadt. [Online]. Available: <https://www.eisenstadt.gv.at/buergerservice/news-archiv/aktuelles/news/projekt-gegen-lichtverschmutzung-startet-in-eisenstadt/>
- [49] Umweltschutz Oberösterreich. (2018) Österreichischer Leitfaden Aussenbeleuchtung. [Online]. Available: <https://www.ooe-umweltschutz.at/Mediendateien/Leitfaden.pdf>
- [50] G. Wuchterl and M. Reithofer. (2017) Licht über Wien v, Entwicklung der künstlichen Nachthimmelsaufhellung über Wien in den Jahren 2011 bis 2017. [Online]. Available: [https://www.kuffner-sterne.at/2018/Studie\\_Lichtverschmutzung\\_Wien\\_2011-2017.pdf](https://www.kuffner-sterne.at/2018/Studie_Lichtverschmutzung_Wien_2011-2017.pdf)
- [51] C. Rogi. (2024) Python skript für automatisierte Helligkeitsauswertungen. [Online]. Available: [https://github.com/igOrnigOr/lightpollution\\_image\\_proc\\_1](https://github.com/igOrnigOr/lightpollution_image_proc_1)
- [52] Stackoverflow. (2010) Ansätze für die Auswertung von Pixelhelligkeiten. [Online]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/3490727/what-are-some-methods-to-analyze-image-brightness-using-python>
- [53] DarkSky International. (2019) Sternenstadt Fulda. [Online]. Available: <https://darksky.org/places/fulda-dark-sky-community/>
- [54] Geoinformation solutions Jurij Stare s.p. (2012-2023) Lighttrends Lightpollutionmap. [Online]. Available: <https://lighttrends.lightpollutionmap.info>
- [55] Wikipedia. (2024) Villach. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Villach>
- [56] ———. (2024) Fulda. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Fulda>
- [57] J. Stare. (2012-2023) Lightpollutionmap. [Online]. Available: <https://www.lightpollutionmap.info>

- [58] Mein Bezirk. (2021) Wieviel Kirchen gibt es in Villach? [Online]. Available: [https://www.meinbezirk.at/villach/c-regionauten-community/wieviel-kirchen-gibt-es-in-villach\\_a4439895#gallery=default&pid=25271478](https://www.meinbezirk.at/villach/c-regionauten-community/wieviel-kirchen-gibt-es-in-villach_a4439895#gallery=default&pid=25271478)
- [59] H.-W. Lehner, “Der „stand der technik“ – technikklauseln und ihre bestimmbarkeit,” 2018.
- [60] Republik Österreich. (2020) Aus Verantwortung für Österreich: Regierungsprogramm 2020-2024. [Online]. Available: <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:c1dab58e-2a6c-4c18-a6b8-866ea49c15e9/Regierungsprogramm-Kurzfassung.pdf>
- [61] Land Oberösterreich. (2024) Licht - Lichtverschmutzung. [Online]. Available: <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/115999.htm>
- [62] European Parliament. (2020) 8th Environmental Action Programme (2021-2030). [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-new-environmental-action-programme>
- [63] Rat der Europäischen Union. (2024) Biodiversität: So schützt die EU die Natur. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/biodiversity/>
- [64] Europäischen Union. (2023) FUTURE BRIEF: Light Pollution: Mitigation measures for environmental protection – Issue 28. [Online]. Available: [https://environment.ec.europa.eu/publications/future-brief-light-pollution-mitigation-measures-environmental-protection-issue-28\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/future-brief-light-pollution-mitigation-measures-environmental-protection-issue-28_en)
- [65] Funded by the European Union. (2024) Tackling noise and light pollution for a Sustainable Tomorrow. [Online]. Available: <https://plan-b-project.eu/>
- [66] European Parliament. (2024) Nature restoration: Parliament adopts law to restore 20% of EU’s land and sea. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240223IPR18078/nature-restoration-parliament-adopts-law-to-restore-20-of-eu-s-land-and-sea>
- [67] Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). (2020) Arbeitsbericht Nr. 186, Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sowie Handlungsansätze. [Online]. Available: <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000121964>
- [68] Bayerische Staatskanzlei. (2019) Bayerisches Naturschutzgesetz. [Online]. Available: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayNatSchG-11a>
- [69] ——. (2019) Bayerisches Immissionsschutzgesetz. [Online]. Available: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayImSchG-9>
- [70] Land Baden-Württemberg. (2023) Naturschutzgesetz des Landes Baden-Württemberg. [Online]. Available: <https://www.landesrecht-bw.de/bsbw/document/jlr-NatSchGBW2015V4P21>
- [71] Kanton Freiburg. (2023) Der Staatsrat präzisiert den Rahmen der «Licht-Masterpläne» des Kantons. [Online]. Available: <https://www.fr.ch/de/vwbd/news/der-staatsrat-praezisiert-den-rahmen-der-licht-masterplaene-des-kantons>
- [72] ERCO. (2024) Photometrisches Entfernungsgesetz. [Online]. Available: <https://www.erco.com/de/licht-planen/lichtwissen/photometrie/photometrisches-entfernungsgesetz-7526/>

- [73] M. Khanduri and A. Saxena, "International journal of fisheries and aquatic studies 2020; 8(3): 01-05 ecological light pollution: Consequences for the aquatic ecosystem," 08 2020.
- [74] Katholische Kirche Kärnten. (2024) Übersicht der katholischen Pfarren in Kärnten. [Online]. Available: <https://www.kath-kirche-kaernten.at/landkarte/ke>
- [75] Evangelische Kirche A.u.H.B. in Österreich. (2024) Evangelisch in Kärnten/Osttirol. [Online]. Available: <https://evang.at/kirche/ueberblick/kaernten-osttirol/>
- [76] Republika Slovenija. (2014) LIFE+ Life at Night Projekt in Kooperation mit der slowenischen Kommission für UNESCO - Nature friendlier lighting of objects of cultural heritage (churches) – Recommendations. [Online]. Available: [https://www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/additional\\_data/an37200notizen\\_2015\\_kulturdenkmaeler\\_life\\_bericht\\_engl.pdf](https://www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/additional_data/an37200notizen_2015_kulturdenkmaeler_life_bericht_engl.pdf)
- [77] Siteco. (2024) Streetlight SL 11 iQ - Straßenbeleuchtung mit Intelligenz. [Online]. Available: <https://www.siteco.de/produkte/sl-11-iq>
- [78] Schröder. (2024) Produkte - Masten und Ausleger. [Online]. Available: [https://de.schreder.com/de/produkte?f%5B0%5D=product\\_type%3A2456](https://de.schreder.com/de/produkte?f%5B0%5D=product_type%3A2456)
- [79] TRILUX. (2024) LED Strassenbeleuchtung. [Online]. Available: <https://www.trilux.com/at/anwendungen/outdoor/aussenbeleuchtung/verkehrsstrassen/>
- [80] ELEKTRON. (2024) Straßenbeleuchtung. [Online]. Available: <https://www.elektron-austria.at/de/strassenleuchten/articles/strassenbeleuchtung>
- [81] DOTLUX. (2024) Straßenbeleuchtung. [Online]. Available: <https://www.dotlux.de/shop/LED-Lampen-fuer-Strassenbeleuchtung-kaufen>
- [82] Wiener Umwelthanwaltschaft. (2023) Nachhaltige Geschäftsbeleuchtung. [Online]. Available: <https://wua-wien.at/naturschutz-und-stadtoekologie/lichtverschmutzung/2451-nachhaltige-geschaeftsbeleuchtung#:~:text=Im%20Rahmen%20eines%20Bewusstseinsbildungs%20Projekts,auf%20die%20Problematik%20der%20Lichtverschmutzung>
- [83] Paten der Nacht. (2022) 22 Uhr - Licht aus. [Online]. Available: <https://www.22uhr.net/>
- [84] Stadt Villach. (2024) Tier- und Naturschutzaktionen. [Online]. Available: <https://villach.at/stadt-service/tiere/tierschutzaktionen>
- [85] Paten der Nacht. (2024) Zum Schutz der vielen Arten brennt nachts kein Licht in diesem Garten. [Online]. Available: <https://www.paten-der-nacht.de/garten-schild/>
- [86] ——. (2024) Flyer. [Online]. Available: <https://www.paten-der-nacht.de/flyer-lichtverschmutzung/>
- [87] ——. (2024) Earth Night - Licht aus für eine ganze Nacht. [Online]. Available: <https://www.earth-night.info/>
- [88] Tiroler Umwelthanwaltschaft / Helle Not. (2023) Verantwortungsvoller Umgang mit künstlichem Licht in der Nacht. [Online]. Available: [https://hellenot.org/fileadmin/user\\_upload/6\\_Weitere\\_Infos/6\\_2\\_Downloads/2023\\_Infoblatt\\_TKLN.pdf](https://hellenot.org/fileadmin/user_upload/6_Weitere_Infos/6_2_Downloads/2023_Infoblatt_TKLN.pdf)

- [89] Schweizer Bundesamt für Umwelt. (2019) Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. [Online]. Available: [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/uv-umwelt-vollzug/empfehlungen-zur-vermeidung-von-lichtemissionen.pdf.download.pdf/UV-2117-D\\_Lichtemissionen.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/elektrosmog/uv-umwelt-vollzug/empfehlungen-zur-vermeidung-von-lichtemissionen.pdf.download.pdf/UV-2117-D_Lichtemissionen.pdf)
- [90] Friends of the Lake District. (2023) Dark Skies Cumbria - Good Lighting Technical Advice Note. [Online]. Available: <https://www.friendsofthelakedistrict.org.uk/lighting-policy>
- [91] Bureau of Land Management Denver. (2023) Night Sky and Dark Environments: Best Management Practices for Artificial Light at Night on BLM-Managed Lands. [Online]. Available: [https://www.blm.gov/sites/default/files/docs/2023-04/Library\\_BLMTechnicalNote457\\_final.pdf](https://www.blm.gov/sites/default/files/docs/2023-04/Library_BLMTechnicalNote457_final.pdf)
- [92] DarkSky International. (2024) Artificial Light at Night: State of the Science 2024. [Online]. Available: <https://darksky.org/news/artificial-light-at-night-state-of-the-science-2024/>

## A Appendix: Fotocredits und Bildauswertung mit Python Skript

Die Bildauswertung im Kapitel 5 wurde mittels einem python skript im Zuge dieses Berichts automatisiert und frei zugänglich gemacht (51). Das github repository beinhaltet alle originalen sowie auch die manuell bearbeiteten Bilder und kann jederzeit lokal gecloned und ausgeführt werden. Die dafür verwendeten Fotos (sowie auch das Titel- und Deckblatt) wurden von Robert Ruckhofer geschossen und zusammengestellt.

Im Folgenden wird der python source code der automatisieren Auswertung angeführt.

```
1 # general imports
2 import sys
3 import os
4
5 from PIL import Image, ImageChops, ImageStat, ImageOps
6 import numpy as np
7
8 sys_path = sys.path[0]
9
10 os.system('clear')
11 sys.stdout = open(sys_path+"/output.txt", 'w')
12
13 def brightness_rmsPixel(im):
14     im = im.convert('L')
15     stat = ImageStat.Stat(im) # RMS (root-mean-square) for each band in the image
16     return stat.rms[0]
17
18 def find_saturated_pixel(im):
19     rr, gg, bb = im.split()
20     im_gray = im.convert('L') # this is the color space we do our rms pixel evaluation in
21
22     # Slow loop to paint the fully saturated pixels red (better visibility)
23     bright_counter = 0
24     sat_counter = 0
25     pixels = im_gray.load()
26     for i in range(im.size[0]): # for every pixel:
27         for j in range(im.size[1]):
28             if pixels[i,j] > 255*0.90:
29                 bright_counter = bright_counter + 1 # to know how many pixels are bright (90% of maximum)
30                 if pixels[i,j] == 255: # if saturated change color to red
31                     rr.putpixel((i,j),(255))
32                     gg.putpixel((i,j),(0))
33                     bb.putpixel((i,j),(0))
34                 sat_counter = sat_counter + 1 # to know how many pixels are actually saturated
35     bright_counter_perc = bright_counter*100/(im.size[0]*im.size[1])
36     print("In this image " +str(bright_counter)+ " pixels are 90% of maximum brightness (" +str(bright_counter_perc)+ "%)")
37     sat_counter_perc = sat_counter*100/(im.size[0]*im.size[1])
38     print("In this image " +str(sat_counter)+ " pixels are fully saturated (" +str(sat_counter_perc)+ "%)")
39     bright_sat_counter_perc = sat_counter*100/bright_counter
40     print(str(bright_sat_counter_perc)+ "% of bright pixels are saturated")
41     out_img = Image.merge("RGB", (rr, gg, bb))
42     #out_img.show()
43     out_img.save(sys_path+"/result_images/saturated_red.jpg", "JPEG") # somehow this looks different to the "show()" from before!?!
44     out_img_inv = ImageOps.invert(out_img)
45     out_img_inv.save(sys_path+"/result_images/saturated_red_inverted.jpg", "JPEG")
46
47     # Fast evaluation of each pixel within an grayscale image in terms of rms brightness and paint them black (bad visibility later on)
48     im_offset = Image.eval(im_gray, (lambda x: x + 1)) # remove all potential "completely dark pixel" by a tiny offset
49     im_eval = Image.eval(im_offset, (lambda px: 0 if px == 255 else px)) # if a pixel is saturating, set it's brightness to zero
50     im_eval_inv = ImageOps.invert(im_eval)
51     im_eval_inv.save(sys_path+"/result_images/saturated_offset_inverted.jpg", "JPEG")
52
53
54 #####
55 # Reference (original quality imag)
56 # reference_orig_image_file = sys_path+"/source_images/202310262130_DoP2_lowISO_orig.jpg"
57 # reference_orig_image_file = sys_path+"/source_images/202312281950_GeKan_pano_hdr_v5_orig.png" # rms pixel brightness check on png
58 reference_orig_image_file = sys_path+"/source_images/202312281950_GeKan_pano_hdr_v5_reference_export.jpg"
59 img_orig_ref = Image.open(reference_orig_image_file)
60 reference_orig_rms_pixel_brightness = brightness_rmsPixel(img_orig_ref)
61 print("Reference original image brightness via rms pixels is " +str(reference_orig_rms_pixel_brightness))
62
63 # Check for possible brightness saturation
64 find_saturated_pixel(img_orig_ref)
65
66 #####
67 # Reference export (to compare with other exports, should be the real reference)
68 # reference_image_file = sys_path+"/source_images/202310262130_DoP2_lowISO_reference_export.jpg"
69 reference_image_file = sys_path+"/source_images/202312281950_GeKan_pano_hdr_v5_reference_export.jpg"
70 img_ref = Image.open(reference_image_file)
71 reference_rms_pixel_brightness = brightness_rmsPixel(img_ref)
72 print("Reference exported image brightness via rms pixels is " +str(reference_rms_pixel_brightness))
73
74 # Find the difference between the two images -> here the difference should virtually be zero!
```

```

75 diff = ImageChops.difference(img_ref, img_orig_ref)
76 diff.save(sys_path+"/result_images/delta_orig_vs_export_reference.jpg", "JPEG")
77 diff_inv = ImageOps.invert(diff)
78 diff_inv.save(sys_path+"/result_images/delta_orig_vs_export_reference_inverted.jpg", "JPEG")
79
80 # Check for possible brightness saturation
81 find_saturated_pixel(img_ref)
82
83 #####
84 # No Streetlights
85 # brush_width: 6px (GIMP 2.10)
86 # noStreetL_image_file = sys_path+"/source_images/202310262130_DoP2_lowISO_noStreetlights_full_1.jpg"
87 noStreetL_image_file = sys_path+"/source_images/202312281950_GeKan_pano_hdr_v5_noStreetlights.jpg"
88 img_noStreetL = Image.open(noStreetL_image_file)
89 noStreetL_rms_pixel_brightness = brightness_rmsPixel(img_noStreetL)
90 print("No Streetlights: Image brightness via rms pixels is " +str(noStreetL_rms_pixel_brightness))
91
92 noStreetL_brightness_relToRef_perc = noStreetL_rms_pixel_brightness * 100 / reference_rms_pixel_brightness # less brightness (%)
93 print("No Streetlights image has " +str(np.round(100-noStreetL_brightness_relToRef_perc, 2)) +"% less brightness")
94
95 # Find the difference between the two images
96 diff = ImageChops.difference(img_ref, img_noStreetL)
97 diff.save(sys_path+"/result_images/delta_noStreetlights.jpg", "JPEG")
98 diff_inv = ImageOps.invert(diff)
99 diff_inv.save(sys_path+"/result_images/delta_noStreetlights_inverted.jpg", "JPEG")
100
101 # # Create a gif to check picture in daylight vs night (to identify objects)
102 # image_list = [img_ref, img_noStreetL]
103 # image_list[0].save(sys_path+"/result_images/ref_vs_noStreetlights.gif", save_all=True, append_images=image_list[1:], duration=200, loop=1)
104
105 #####
106 # No Advertisements
107 # noAds_image_file = sys_path+"/source_images/202310262130_DoP2_lowISO_noAds_full_1.jpg"
108 noAds_image_file = sys_path+"/source_images/202312281950_GeKan_pano_hdr_v5_noAds.jpg"
109 img_noAds = Image.open(noAds_image_file)
110 noAds_rms_pixel_brightness = brightness_rmsPixel(img_noAds)
111 print("No Advertisements: Image brightness via rms pixels is " +str(noAds_rms_pixel_brightness))
112
113 noAds_brightness_relToRef_perc = noAds_rms_pixel_brightness * 100 / reference_rms_pixel_brightness # less brightness (%)
114 print("No Advertisements image has " +str(np.round(100-noAds_brightness_relToRef_perc, 2)) +"% less brightness")
115
116 # Find the difference between the two images
117 diff = ImageChops.difference(img_ref, img_noAds)
118 diff.save(sys_path+"/result_images/delta_noAds.jpg", "JPEG")
119 diff_inv = ImageOps.invert(diff)
120 diff_inv.save(sys_path+"/result_images/delta_noAds_inverted.jpg", "JPEG")
121
122 # # Create a gif to check picture in daylight vs night (to identify objects)
123 # image_list = [img_ref, img_noAds]
124 # image_list[0].save(sys_path+"/result_images/ref_vs_noAds.gif", save_all=True, append_images=image_list[1:], duration=200, loop=1)
125
126 #####
127 # No Industry
128 # noInd_image_file = sys_path+"/source_images/202310262130_DoP2_lowISO_noIndustry_full_1.jpg"
129 noInd_image_file = sys_path+"/source_images/202312281950_GeKan_pano_hdr_v5_noIndustry.jpg"
130 img_noIndustry = Image.open(noInd_image_file)
131 noInd_rms_pixel_brightness = brightness_rmsPixel(img_noIndustry)
132 print("No Industry/Trainstation: Image brightness via rms pixels is " +str(noInd_rms_pixel_brightness))
133
134 noInd_brightness_relToRef_perc = noInd_rms_pixel_brightness * 100 / reference_rms_pixel_brightness # less brightness (%)
135 print("No Industry/Trainstation image has " +str(np.round(100-noInd_brightness_relToRef_perc, 2)) +"% less brightness")
136
137 # Find the difference between the two images
138 diff = ImageChops.difference(img_ref, img_noIndustry)
139 diff.save(sys_path+"/result_images/delta_noIndustry.jpg", "JPEG")
140 diff_inv = ImageOps.invert(diff)
141 diff_inv.save(sys_path+"/result_images/delta_noIndustry_inverted.jpg", "JPEG")
142
143 # # Create a gif to check picture in daylight vs night (to identify objects)
144 # image_list = [img_ref, img_compare]
145 # image_list[0].save(sys_path+"/result_images/ref_vs_noInd.gif", save_all=True, append_images=image_list[1:], duration=200, loop=1)
146
147 #####
148 # Comparison: Who has more impact? (quantitative evaluation)
149 result_dict_perc = {"NoStreetlights": noStreetL_brightness_relToRef_perc, "NoAdvertisements": noAds_brightness_relToRef_perc,
150 "NoIndustry": noInd_brightness_relToRef_perc}
151 maxReduction = min(result_dict_perc, key=result_dict_perc.get) # who has the minimum value, hence the biggest reduction
152 minReduction = max(result_dict_perc, key=result_dict_perc.get) # who has the maximum value, hence the smallest reduction
153
154 print("Biggest reduction seen with "+maxReduction+" by "+str(np.round(100-result_dict_perc.get(maxReduction), 2))+ "%")
155 print("Smallest reduction seen with "+minReduction+" by "+str(np.round(100-result_dict_perc.get(minReduction), 2))+ "%")
156
157 sys.stdout.close()

```

