

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT  
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

# **Der Regionale Naturpark Schaffhausen als «Dark Sky Park» - Messung der Dunkelheit und Analyse des Potentials für touristische Angebote**

Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Erhaltung der Nachtdunkelheit und  
Reduktion der Lichtverschmutzung



Bachelorarbeit

von

Isabel Müller

Bachelorstudiengang UI22

Abgabedatum 08.01.2026

Studienrichtung Umweltingenieurwesen, Vertiefung Urbane Ökosysteme

Tutor:innen:

Christoph Müller

Sarah Bänziger

## **Impressum**

**Titelbild:** Bergkirche «Sankt Moritz» Hallau unter Sternenhimmel, eigene Zeichnung von Isabel Müller

**Zitiervorschlag:** Müller, I. (2026). Der Regionale Naturpark Schaffhausen als «Dark Sky Park» - Messung der Dunkelheit und Analyse des Potentials für touristische Angebote Bachelorarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Wädenswil

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei den Betreuenden meiner Bachelorarbeit Christoph Müller und Sarah Bänziger bedanken, die mich während der gesamten Arbeit fachlich begleitet und immer mit viel Freundlichkeit, Geduld und Verständnis unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt Lukas Schuler für die Ausleihe des SQM-Geräts sowie die hilfreiche Unterstützung bei der Planung und Durchführung der Messungen.

Ebenso danke ich Konrad Kellenberger für die Bereitstellung seines Octave-Scripts, das mir die Datenanalyse wesentlich erleichtert hat, sowie für seine fachlichen Inputs aus der Perspektive der Sternwarte Schaffhausen.

Zusätzlich danke ich Nicole Dahinden für ihre hilfreichen Informationen zum Naturpark Gantrisch und den Weg zum «Dark Sky Park», die sie mir freundlicherweise per E-Mail zur Verfügung gestellt hat.

Mein herzlicher Dank gilt ausserdem meinen Freundinnen, Freunden und meiner Familie, die nicht davor zurückgeschreckt sind, mich bei einzelnen Messungen bei Nacht, Dunkelheit und Kälte abseits befestigter Wege zu begleiten sowie für das Korrekturlesen und Mitdenken bei meiner Arbeit.

## **Zusammenfassung**

Die zunehmende Lichtverschmutzung führt weltweit zu einer Aufhellung des Nachthimmels und zum Verlust natürlicher Dunkelheit. Diese Entwicklung beeinträchtigt Lebewesen, ökologische Prozesse und das menschliche Wohlbefinden. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die Nachtdunkelheit im Regionalen Naturpark Schaffhausen zu untersuchen, dessen Möglichkeiten im Hinblick auf eine mögliche Zertifizierung durch DarkSky International zu bewerten und das Potential der Nachtdunkelheit für den Tourismus zu untersuchen.

Über einen Zeitraum von einem Jahr wurden Messungen der Himmelshelligkeit mit tragbaren Sky-Quality-Meter-L-Messgeräten (SQM-L) an verschiedenen Standorten des Regionalen Naturparks Schaffhausen durchgeführt. Die Daten wurden mit Geoinformationssystemen (GIS) räumlich ausgewertet und mit stationären Messungen eines TESS-W-Geräts der Sternwarte Schaffhausen verglichen. Ergänzend erfolgte eine Literaturrecherche zu den ökologischen, gesellschaftlichen und touristischen Wirkungen und Möglichkeiten von Nachtdunkelheit sowie zu Massnahmen zur Reduktion von Lichtverschmutzung.

Die Ergebnisse zeigen mit einem gemessenen Maximalwert von 21.34 mag/arcsec<sup>2</sup>, dass im Regionalen Naturpark Schaffhausen besonders in peripheren und wenig besiedelten Gebieten noch Bereiche mit vergleichsweise dunklen Nachthimmelbedingungen vorhanden sind. Gleichzeitig begrenzen externe Lichtquellen und der sogenannte Skyglow die Qualität des Nachthimmels. Auf dieser Grundlage werden Massnahmen zur Erhaltung und Förderung der Nachtdunkelheit diskutiert und das Potenzial für nachhaltigen Tourismus aufgezeigt. Insgesamt verdeutlicht die Arbeit, dass Nachtdunkelheit im Regionalen Naturpark Schaffhausen eine schützenswerte Ressource darstellt, deren langfristige Erhaltung ein koordiniertes Vorgehen erfordert. Während das Label «Dark Sky Park» mit den ermittelten Werten zum aktuellen Zeitpunkt nicht realistisch ist, sind die Voraussetzungen für eine Zertifizierung als «Urban Night Sky Place» optimal.

## Abstract

The increasing level of light pollution leads worldwide to a progressive brightening of the night sky and a loss of natural darkness. This development negatively affects living organisms, ecological processes, and human well-being. The aim of this bachelor's thesis is to assess night-time darkness in the Regional Nature Park Schaffhausen and to evaluate its potential with regard to a possible certification by DarkSky International, as well as to examine the touristic potential of night-time darkness.

Over a period of one year, night sky brightness was measured at various locations within the Regional Nature Park Schaffhausen using portable SQM-L (Sky Quality Meter) devices. The measurement data were spatially analysed using Geographic Information Systems (GIS) and compared with stationary measurements from a TESS-W device operated by the Schaffhausen Observatory. In addition, a literature review was conducted on the ecological, social, and touristic effects and opportunities of night-time darkness, as well as on measures to reduce light pollution.

The results show, with a maximum measured value of 21.34 mag/arcsec<sup>2</sup>, that comparatively dark night sky conditions still exist in peripheral and sparsely populated areas of the Regional Nature Park Schaffhausen. At the same time, external light sources and so-called skyglow limit overall night sky quality. Based on these findings, measures to preserve and promote night-time darkness are discussed, and the potential for sustainable tourism is outlined. Overall, the study demonstrates that night-time darkness represents a valuable resource for the Regional Nature Park Schaffhausen, whose long-term preservation requires a coordinated approach. While a "Dark Sky Park" certification is currently not realistic, the conditions for an "Urban Night Sky Place" certification are optimal.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Fragestellung.....	2
1.2	Vorgehen.....	2
2	Grundlagen .....	2
2.1	Der Regionale Naturpark Schaffhausen .....	3
2.2	Dunkelheit als Abwesenheit von Licht.....	4
2.3	Bedeutung der Nachtdunkelheit.....	5
2.4	Lichtverschmutzung.....	7
2.4.1	Ursachen von Lichtverschmutzung .....	9
2.4.2	Einfluss von Lichtverschmutzung auf Organismen und Lebensräume.....	10
2.4.3	Messung von Nachtdunkelheit .....	14
2.4.4	Einfluss von Licht auf den Menschen .....	16
2.4.5	Rechtliche Lage in der Schweiz .....	17
2.4.6	Vorschriften im Kanton Schaffhausen .....	18
2.5	Die Labels von «Dark Sky International» .....	19
2.5.1	Der Naturpark Gantrisch als Vorbild für einen «Dark Sky Park» .....	20
2.6	Massnahmen zur Minimierung der Lichtverschmutzung .....	21
2.7	Massnahmen zur Erhaltung der Nachtdunkelheit.....	23
2.8	Touristische Angebote im Naturpark Gantrisch als Vorbild für den Regionalen Naturpark Schaffhausen .....	24
3	Material und Methoden.....	25
3.1	Untersuchungsraum und Daten .....	25
3.2	Messungen.....	26
3.2.1	Geoinformationssysteme (GIS) und Messstandorte .....	26
3.2.2	Methodische Rahmenbedingungen .....	29
3.2.3	Vorgehen bei den Messungen.....	30
3.2.4	Datenanalyse .....	31
3.2.5	Konzepterstellung Förderung Nachtdunkelheit und Ermittlung des touristischen Potentials .....	32
4	Ergebnisse .....	32
4.1	Messungsergebnisse.....	33
4.2	Auswertung mit GIS.....	34
4.3	Nachtdunkelheit im Regionalen Naturpark Schaffhausen .....	40
4.3.1	Räumliche Verteilung der Nachtdunkelheit.....	40

4.3.2 Einfluss der Bedingungen auf die Ergebnisse .....	40
4.3.3 Vergleich der manuellen SQM-Daten mit TESS-Daten.....	40
4.4 Touristisches Potenzial der Dunkelheit im Regionalen Naturpark Schaffhausen.....	41
4.5 Fotos .....	42
4.6 Datenanalyse .....	42
5 Konzept Förderung Nachtdunkelheit .....	46
6 Diskussion.....	49
6.1 Der Regionale Naturpark Schaffhausen als «Dark Sky Park».....	49
6.1.1 Schritte bis zur Zertifizierung als «Urban Night Sky Place» .....	50
6.2 Methodische Unsicherheiten und Einflussfaktoren der Messungen .....	51
6.2.1 Beleuchtung der Dörfer .....	51
6.2.2 Schnee.....	52
6.2.3 Mond.....	52
6.2.4 Bewölkung und Luftfeuchtigkeit.....	53
6.2.5 Einfluss des Messgeräts auf die Ergebnisse .....	53
6.2.6 Topografie.....	54
6.3 Massnahmen zur Förderung der Nachtdunkelheit .....	54
6.3.1 Wirksamkeit der vorgeschlagenen Massnahmen .....	54
6.3.2 Zielkonflikte und Herausforderungen.....	55
6.3.3 Grenzen der Massnahmen .....	55
6.4 Potential der Nachtdunkelheit für den Tourismus.....	55
7 Schlussfolgerungen.....	56
8 Literatur- und Quellenverzeichnis .....	57
9 Verzeichnis der Abbildungen .....	65
10 Verzeichnis der Tabellen .....	66
11 Anhänge.....	67

## Abkürzungsverzeichnis

ALAN .....	Künstliches Licht in der Nacht (artificial light at night)
DSI .....	Dark Sky International (Bis 2023 IDA, International DarkSky Association)
RNPSH .....	Regionaler Naturpark Schaffhausen
UNSP U.....	Urban Night Sky Place

# 1 Einleitung

Der Blick in den Sternenhimmel löst beim Menschen häufig das Gefühl von Ehrfurcht aus. Die Weite des Universums relativiert alltägliche Sorgen. Studien zeigen, dass das Erleben von Ehrfurcht soziales Verhalten fördert und Stresshormone senkt (Allen, 2018). Dunkelheit zwingt uns, andere Sinne wie Hören und Tasten zu schärfen und reduziert die visuelle Reizüberflutung, was zu einer tiefen mentalen Erholung führen kann (Grolle, 2021). Mehr als ein Drittel der Weltbevölkerung hat allerdings nicht mehr die Möglichkeit, die Milchstrasse am Nachthimmel zu sehen, da die Nachtdunkelheit weltweit stetig abnimmt (Falchi et al., 2016; Schuler & Wirth, 2025).

Der zirkadiane Rhythmus bezeichnet einen intern generierten biologischen Rhythmus mit einer Periodenlänge von etwa 24 Stunden, der die zeitliche Organisation physiologischer Prozesse wie Schlaf, Hunger und Stoffwechsel steuert (Knutson et al., 2025). Ein zentraler Faktor, der diesen Rhythmus reguliert, ist Licht sowie dessen Abwesenheit (Moore-Ede et al., 2023; Wright et al., 2013). Die sogenannte innere Uhr im suprachiasmatischen Nukleus des Hypothalamus, einem anatomisch oberhalb des Chiasma opticum (Sehnervenkreuzung) gelegenen neuronalen Kern, im Hypothalamus synchronisiert die Rhythmen des Körpers mit dem Tageslicht (Münch, 2011). Auch die Jahreszeiten werden unter anderem durch Licht gesteuert, ein Phänomen, das als Photoperiodik bezeichnet wird. Beim Menschen führt Licht typischerweise zu erhöhter Wachheit, während nachtaktive Tiere im Licht des Tages weniger aktiv werden und sich zurückziehen, um einen Schlafplatz aufzusuchen (McLay et al., 2019).

Seit der Erfindung des künstlichen Lichts durch den Menschen wird die Nacht zunehmend zum Tag. Faktoren wie Sicherheit, Verkehrssicherheit und Orientierung führen dazu, dass auch im Außenraum Licht installiert wird (Schuler, 2025). Dieses künstliche Licht stört jedoch das natürliche Abdunkeln in der Nacht, wodurch Insekten und andere Tiere wie Fledermäuse in ihrem Verhalten beeinträchtigt werden (Gili et al., 2024). Auch für den Menschen kann eine übermäßige Lichtexposition problematisch sein, besonders bei Stadtbewohnern, da die nächtliche künstliche Beleuchtung mit Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus, einer verminderten Melatoninsekretion sowie einer reduzierten Schlafqualität assoziiert ist (Cho et al., 2015).

Die Organisation DarkSky International (DSI) hat es sich zur Aufgabe gemacht, besonders dunkle Orte zu fördern, zu zertifizieren und zu schützen. Weltweit wurden bereits über 250 Dark Sky Places zertifiziert (DarkSky International, 2024b). Der Regionale Naturpark Schaffhausen (RNPSH) strebt ebenfalls eine Zertifizierung von DSI an.

## 1.1 Fragestellung

Ziel dieser Arbeit war es, den Regionalen Naturpark Schaffhausen auf sein Potential zu untersuchen, als «Dark Sky Park» ausgewiesen zu werden. Dieses Potential sollte mit Messungen ermittelt und grafisch dargestellt werden. Ausserdem sollten konkrete Massnahmen ausgearbeitet werden, wie die bestehende Nachtdunkelheit erhalten werden kann und welche Lösungsansätze umgesetzt werden können, um die Lichtverschmutzung zu verringern. Weiter sollte untersucht werden, wie Dunkelheit und das Label «Dark Sky Park» touristisch genutzt werden können.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Welche Gebiete im Regionalen Naturpark Schaffhausen haben das Potential, als Dark Sky Park ausgewiesen zu werden?
- Welche Massnahmen können getroffen werden, um die Lichtverschmutzung zu verringern, bzw. die Dunkelheit zu erhalten?
- Welcher Nutzen entsteht durch die Dunkelheit im Regionalen Naturpark Schaffhausen für die Ökologie (Arten und Lebensräume)?
- Wie können Dunkelheit und das Label «Dark Sky Park» touristisch genutzt werden?

## 1.2 Vorgehen

Diese Machbarkeitsstudie untersucht den aktuellen Zustand der Nachtdunkelheit und Lichtverschmutzung im RNPSH. Dafür wurden Sky Quality Meter (SQM)-Messungen über ein Jahr hinweg manuell im gesamten Gebiet durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mithilfe von Geoinformationssystemen (GIS) dargestellt und mit den stationären Messungen des TESS-W- Messgeräts der Sternwarte Schaffhausen verglichen. Dabei wurde eruiert, welche Gebiete besonders hohe Dunkelheitswerte aufweisen. Mittels Literaturrecherche wurde ausserdem das Potential des Tourismus und mögliche Chancen, die sich für den Naturpark Schaffhausen ergeben, beschrieben und die Massnahmen zur Reduzierung der Lichtverschmutzung und Erhaltung der Nachtdunkelheit dargestellt.

## 2 Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden die für die Arbeit relevanten fachlichen und räumlichen Grundlagen beschrieben. Dazu gehören der Kontext des Regionalen Naturparks Schaffhausen (RNPSH) sowie die grundlegenden Konzepte von Dunkelheit und Lichtverschmutzung (Kapitel 2.1, 2.2, 2.4). Zudem werden die Ursachen, Auswirkungen und Messmethoden der Lichtverschmutzung erläutert (Kapitel 2.4). Anschliessend werden die

rechtlichen Rahmenbedingungen sowie die Bedeutung der Nachdunkelheit für den Tourismus dargestellt (Kapitel 2.4.5, 2.6, 2.8).

## 2.1 Der Regionale Naturpark Schaffhausen

Der RNPSH ist ein Park von nationaler Bedeutung im Norden der Schweiz. Das Parkgebiet ist 213 km<sup>2</sup> gross und umfasst wichtige Landschaften wie den Randen, Weinbaugebiete und den Rhein. Insgesamt haben sich 15 Gemeinden zum Naturpark zusammengeschlossen: Beringen, Buchberg, Gächlingen, Hallau, Löhningen, Neunkirch, Oberhallau, Rüdlingen, Schaffhausen (Stadt), Schleitheim, Thayngen, Trasadingen, Wilchingen sowie die zwei deutschen Partnergemeinden Jestetten und Lottstetten (Regionaler Naturpark Schaffhausen, 2025). Der RNPSH ist der einzige grenzüberschreitende Park der Schweiz. Die verbindlichen Schutzziele für die aktuelle Betriebsphase (2018-2027) sind im kantonalen Richtplan festgehalten (Kanton Schaffhausen, 2021).

In der aktuellen Betriebsphase von 2018-2027 verfolgt der RNPSH das übergeordnete Ziel, die hohen Natur- und Landschaftswerte der Region langfristig zu erhalten und weiterzuentwickeln. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf dem Schutz und der Förderung der Biodiversität, wobei wertvolle Lebensräume erhalten, aufgewertet und vernetzt werden sollen. Dabei arbeitet der Park eng mit regionalen Akteurinnen und Akteuren zusammen und orientiert sich an der nationalen Strategie zur Förderung von Arten und Lebensräumen. Gleichzeitig versteht der Park Landwirtschaft und Forstwirtschaft als zentrale Partner im Erhalt der traditionellen Kulturlandschaft, welche ökologisch wertvoll ist und das Landschaftsbild der Region prägt. Neben ökologischen Zielen verfolgt der RNPSH auch das Anliegen, eine nachhaltige regionale Entwicklung zu fördern. Dazu gehört insbesondere die Stärkung eines Tourismus, der auf Qualität statt Quantität setzt und die empfindlichen Landschaften schont. Der Tourismus soll zur regionalen Wertschöpfung beitragen und gleichzeitig das Bewusstsein von Besucherinnen, Besuchern und der lokalen Bevölkerung für Natur und Biodiversität stärken. Der RNPSH zielt darauf ab, Natur, Landschaft, Wirtschaft und Erholung in Einklang zu bringen und die Attraktivität der Region langfristig zu sichern (Regionaler Naturpark Schaffhausen, 2017).

Der RNPSH ist als Verein organisiert. Dieser Verein wird von den beteiligten Gemeinden, Verbänden, Organisationen und Einzelpersonen getragen, die den Park aktiv mitgestalten und unterstützen. Der Park gehört zum Netzwerk Schweizer Pärke (Netzwerk Schweizer Pärke, 2025).

## 2.2 Dunkelheit als Abwesenheit von Licht

Im wissenschaftlichen Sinn ist Dunkelheit keine eigenständige physikalische Größe, keine Energieform und kein Stoff. Während Licht aus Photonen besteht (masselose Elementarteilchen, die sich als elektromagnetische Wellen ausbreiten) ist Dunkelheit der Zustand der Abwesenheit dieser Photonen. Man kann Dunkelheit am besten durch eine Analogie zur Thermodynamik verstehen. So wie Kälte physikalisch gesehen lediglich die Abwesenheit von thermischer Energie (Wärme) ist, so ist Dunkelheit die Abwesenheit von elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren Spektrum (Halliday et al., 2022).

Um Dunkelheit zu verstehen, muss man zunächst definieren, was fehlt. Sichtbares Licht umfasst einen winzigen Bereich des elektromagnetischen Spektrums, etwas zwischen den Wellenlängen 380 nm und 780 nm (Abbildung 1).

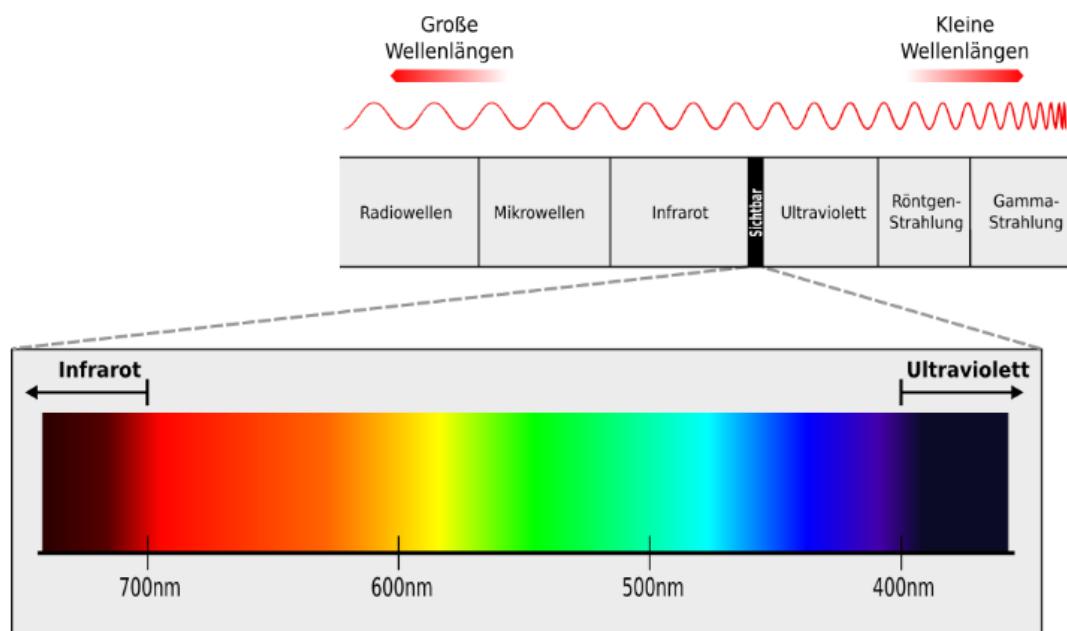


Abbildung 1: Das sichtbare Licht im elektromagnetischen Spektrum, (LEIFIphysik, 2025)

Treffen diese Wellen auf ein Objekt, werden sie entweder absorbiert, reflektiert oder transmittiert. Dunkelheit entsteht in zwei Szenarien. Entweder weil keine Quelle wie die Sonne oder eine Lampe besteht, die Photonen aussendet oder weil ein Objekt alle eintreffenden Photonen schluckt und nichts mehr in das menschliche Auge reflektiert wird (NASA Science, 2016).

Die Geschwindigkeit der Dunkelheit ist dieselbe wie die des Lichts. Wenn die Sonne im nächsten Moment erloschen würde, würde es auf der Erde nicht sofort dunkel werden. Wir würden das Licht noch für etwa 8 Minuten und 19 Sekunden sehen. Erst wenn das letzte

emittierte Photon die Erde passiert hat, tritt die Dunkelheit ein. Dunkelheit ist also kein Akteur, der sich bewegt, sondern die Abbruchkante des Lichtstroms (Baird, 2013).

Eine der spannendsten Fragen der Astrophysik war lange Zeit: Warum ist die Nacht dunkel? Oder: Wenn das Universum unendlich gross ist und unendlich viele Sterne enthält, müsste dann nicht jeder Punkt am Nachthimmel von einem Stern besetzt und der Himmel somit gleissend hell sein? Dies ist als Olberssches Paradoxon bekannt. Die moderne Physik liefert zwei Hauptgründe für die Dunkelheit des Kosmos (Wambsganss et al., 2017).

- **Die Unendlichkeit des Universums**

Da das Licht Zeit benötigt, um uns zu erreichen, sehen wir nur das Licht von Sternen innerhalb eines beobachtbaren Horizonts.

- **Die Expansion des Raums**

Durch die Ausdehnung des Universums wird das Licht entfernter Galaxien gedehnt (Rotverschiebung). Sichtbares Licht wird dadurch in den langwelligen Infrarotbereich verschoben, den unser Auge nicht mehr als Helligkeit wahrnehmen kann.

In der Natur gibt es fast nie absolute Dunkelheit. Selbst in einer tiefen Höhle oder im interstellaren Raum finden sich immer noch Restphotonen, kosmische Hintergrundstrahlung oder Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung), die für spezialisierte Sensoren sichtbar sind. Absolute Dunkelheit wäre ein Zustand von null Photonen im gesamten Spektrum. Dies ist ein theoretisches Konstrukt, das in der Praxis kaum erreicht wird (Halliday et al., 2022).

## 2.3 Bedeutung der Nachtdunkelheit

In unserer modernen, technologisch hochgerüsteten Welt hat sich das Verhältnis der Menschen zur natürlichen Dunkelheit gewandelt. Die Nacht war über Jahrhunderte hinweg ein unumstösslicher Rhythmusgeber. Im Zuge der Industrialisierung wurde die Nacht aber zunehmend als Hindernis für Produktivität und Sicherheit wahrgenommen. Die Folge ist eine globale Lichtverschmutzung, die nicht nur den Blick auf den Sternenhimmel verwehrt, sondern tiefgreifende Auswirkungen auf die menschliche Psyche und die Ökologie der Erde hat. Doch im Schatten dieser Entwicklung formt sich ein neues Verständnis der Nacht. Die natürliche Dunkelheit sollte nicht mehr nur als Defizit an Helligkeit begriffen, sondern als eigenständige, schützenswerte Ressource gesehen werden.

Die Erforschung der Dunkelheit hat in den letzten Jahren eine signifikante Erweiterung erfahren. Lange Zeit stand die Angst vor der Dunkelheit, die Nyctophobia, im Zentrum der Aufmerksamkeit. Doch aktuelle Studien weisen darauf hin, dass die Erfahrung natürlicher Nachtlandschaften tiefgreifende beruhigende und meditative Effekte auf den Menschen hat (Barnes & Passmore, 2024; Tanaka et al., 2025). Ein theoretischer Rahmen ist dabei die

Skychology, ein nicht standardisierter, konzeptioneller Begriff, den der Psychologe und Wohlbefindensforscher Paul Conway prägte, um den Einfluss des Himmels auf das menschliche Wohlbefinden zu beschreiben (Carbal, 2025). Skychology bezeichnet ein interdisziplinäres Forschungs- und Praxisfeld, das sich mit den psychologischen, emotionalen und wahrnehmungsbezogenen Wirkungen des Nachthimmels und der Dunkelheit auf den Menschen befasst. Im Fokus stehen dabei Effekte wie Entspannung, Staunen, Naturverbundenheit sowie das Erleben von Weite (Unplugged, 2023). Während sich Umweltpsychologie intensiv mit grünen Räumen (Wälder) und blauen Räumen (Gewässer) befasst, stellt der Himmel einen dritten Raum dar, der spezifische psychologische Funktionen übernimmt. Conway konnte durch qualitative Forschungsmethoden nachweisen, dass das bewusste Aufblicken zum Himmel, vor allem in der Dämmerung und bei Nacht, als wirksame Form der emotionalen Selbstregulation fungiert (Conway & Hefferon, o. J.). Die Weite des Nachthimmels ermöglicht es uns, die unmittelbaren Alltagssorgen zu vergessen. Die Unendlichkeit des Firmaments hilft dabei, die eigene Existenz in einen grösseren Kontext einzuordnen. Dies führt dazu, dass persönliche Probleme im Vergleich zur Unendlichkeit des Kosmos als kleiner und bewältigbarer wahrgenommen werden. Im Vergleich zu künstlichen Umgebungen bietet der Himmel eine «rahmenlose Leinwand», die keine gerichtete Aufmerksamkeit erfordert, sondern eine Form der sanften Faszination auslöst (IAU Office of Astronomy for Development, 2025; Unplugged, 2023). Die positiven psychologischen Effekte durch das Betrachten des Sternenhimmels finden auf verschiedenen Ebenen statt. Kognitiv kann der Fokus gesteigert werden, durch die «Soft Fascination», emotional wird der Parasympathikus durch visuelle Ruhe aktiviert, was wiederum Stress reduziert und existentiell kann die Erfahrung des «kleinen Ichs» durch die Weite Demut und soziale Verbundenheit fördern (Barragan & Meltzoff, 2024a). Eine experimentelle Studie belegt, dass das Betrachten des Sternenhimmels im Vergleich zu geometrischen Mustern zu einer signifikanten Senkung des Stressniveaus führt. Ein wesentlicher Faktor ist hierbei die Abwesenheit von Reizüberflutung. In der Dunkelheit reduziert sich die visuelle Information auf die Sterne, was das Gehirn entlastet (Dao, 2016). Die Praxis des «Mindful Stargazing» oder «Star Bathing» nutzt diese Effekte, um meditative Zustände herbeizuführen (Unplugged, 2023).

Ein besonders kraftvolles Phänomen, das untrennbar mit dem Erleben der Nachtdunkelheit und des Sternenhimmels verbunden ist, ist die Ehrfurcht. Forschung hat gezeigt, dass Ehrfurcht eine der komplexesten menschlichen Emotionen ist. Es werden sowohl neurologische Belohnungszentren aktiviert als auch physische Reaktionen wie zum Beispiel Gänsehaut ausgelöst (Allen, 2018; Monroy & Keltner, 2023). Eine Studie hat die Reaktionen von Probanden auf Naturfilme untersucht und ähnliche Effekte festgestellt (Capaldi et al., 2014; Hartig et al., 2014; Isik & Vessel, 2021).

Die menschliche Wahrnehmung verändert sich in der Dunkelheit radikal. Während der Tag durch Dominanz des visuellen Sinnes geprägt ist, führt der Entzug von Licht zu einer Schärfung anderer Sinne und einer Veränderung der kognitiven Verarbeitung. In der Dunkelheit schärft sich der Hörsinn und der Tastsinn. Die Aufmerksamkeit für Geräusche wie das Knacken eines Zweiges, das Rauschen des Windes oder die eigene Atmung, erhöht sich. Diese Geräusche werden bei Dunkelheit viel intensiver wahrgenommen, was zum Erleben der Nacht beiträgt (Brodoehl et al., 2015).

Der Verlust der Fähigkeit, Dunkelheit auszuhalten, wird als Symptom der Naturentfremdung begriffen. Das Konzept des «Natur-Defizit-Syndroms» beschreibt, dass Kinder, die keine Wildnis und keine echte Nacht mehr erleben, Defizite in der Resilienz, Koordination und Selbstwahrnehmung entwickeln. Die Dunkelheit bietet kleine Herausforderungen, die das Selbstvertrauen stärken, wenn sie in einem sicheren Rahmen erlebt werden (Stemper, 2025).

Für Astronomiefans ist die Nachtdunkelheit von zentraler Bedeutung, da nur unter möglichst lichtarmen Bedingungen schwache Himmelsobjekte wie Galaxien, Nebel oder die Milchstrasse sichtbar werden. Natürliche Dunkelheit ermöglicht nicht nur präzisere Beobachtungen und schönere Fotos, sondern vertieft auch das emotionale Erleben des Sternenhimmels und das Gefühl der Verbundenheit mit dem Kosmos (Barragan & Meltzoff, 2024b; Wesołowski, 2023).

## 2.4 Lichtverschmutzung

Lichtverschmutzung bezeichnet künstliche Beleuchtung in der Nacht, die über den tatsächlichen Bedarf hinausgeht und den Nachthimmel aufhellt sowie die natürliche Dunkelheit reduziert (DarkSky Switzerland, 2019). Als unnötig oder übermäßig gilt Beleuchtung insbesondere dann, wenn sie keinem funktionalen Zweck dient, zu hell, zeitlich unpassend oder räumlich ungerichtet eingesetzt wird (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021a). Solche Lichtemissionen können Ökosysteme, Tierverhalten und die menschliche Wahrnehmung des Sternenhimmels beeinträchtigen (Schuler & Wirth, 2025). Dabei führt besonders Skyglow, die helle Ausleuchtung des Himmels über Städten durch gestreutes künstliches Licht dazu, dass Sterne kaum noch sichtbar sind (Green et al., 2022). Die künstlich beleuchtete Außenfläche der Erde hat zwischen 2012 und 2016 jährlich um 2.2% zugenommen (Kyba et al., 2017). Die gesamte abgestrahlte Helligkeit stieg parallel dazu um 1.8%. Trotz der höheren Energieeffizienz von LEDs zeigen globale Messungen, dass der Energieverbrauch für künstliche Beleuchtung insgesamt zugenommen hat. Statt einer globalen Energiereduktion oder einer Verringerung der Lichtemissionen deutet eine Steigerung der beleuchteten Fläche und Helligkeit auf eine Kompensation durch verstärkte Nutzung oder hellerer Beleuchtung hin, was negative Folgen für Flora, Fauna und das menschliche Wohlbefinden verstärkt (Gili et al., 2024; Knop et al., 2017). Die durchschnittliche jährliche globale Zunahme lag bei 2.2%, wobei

Ballungsräume, stark urbanisierter Regionen und schnell wachsende städtische Zentren in Asien, Europa und Nordamerika von weit stärkerer Zunahme betroffen waren. Dies ist besonders in den Regionen ein Problem, die ökologisch sensiv sind und bisher von menschlichem Einfluss mehrheitlich verschont blieben. Zum Beispiel stieg die beleuchtete Fläche im arktischen Raum (terrestrisch) von 1992 bis 2013 um signifikante 4.8% pro Jahr an (Knop et al., 2017). Die Ausbreitung von künstlichem Licht in der Nacht (ALAN) in bisher wenig beleuchteten Regionen, wie zum Beispiel den Voralpen, ist ökologisch besonders relevant. Die Fauna in diesen Gebieten weist oft weniger Anpassungen an Störungen durch Licht auf als Generalisten in bereits stark urbanisierten Regionen. Die Zunahme von ALAN führt in diesen Zonen zu gravierenden ökologischen Störungen, da die Organismen empfindlicher auf die Störung des natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus reagieren (Kyek, 2019). Abbildung 2 zeigt die Lichtemissionskarte der Schweiz im Jahr 2012. Die Lichtintensität wird in Anteilen zum Vollmond angegeben. Dabei liegt ein Vollmond bei einer Lichtintensität von eins. Im Jahr 2012 konnten noch viele Gebiete mit 1/16 oder 1/32 gemessen werden, was einer tiefen Lichtverschmutzung entspricht. Im Vergleich dazu ist in Abbildung 3 die Lichtemissionskarte aus dem Jahr 2024 abgebildet. Die Gebiete mit 1/32 der Vollmondhelligkeit sind fast komplett verschwunden, die dunkelsten Gebiete befinden sich bei 1/16 und die grösste Fläche bei 1/8. Die Lichtverschmutzung hat in diesen 12 Jahren in der Schweiz also messbar zugenommen.

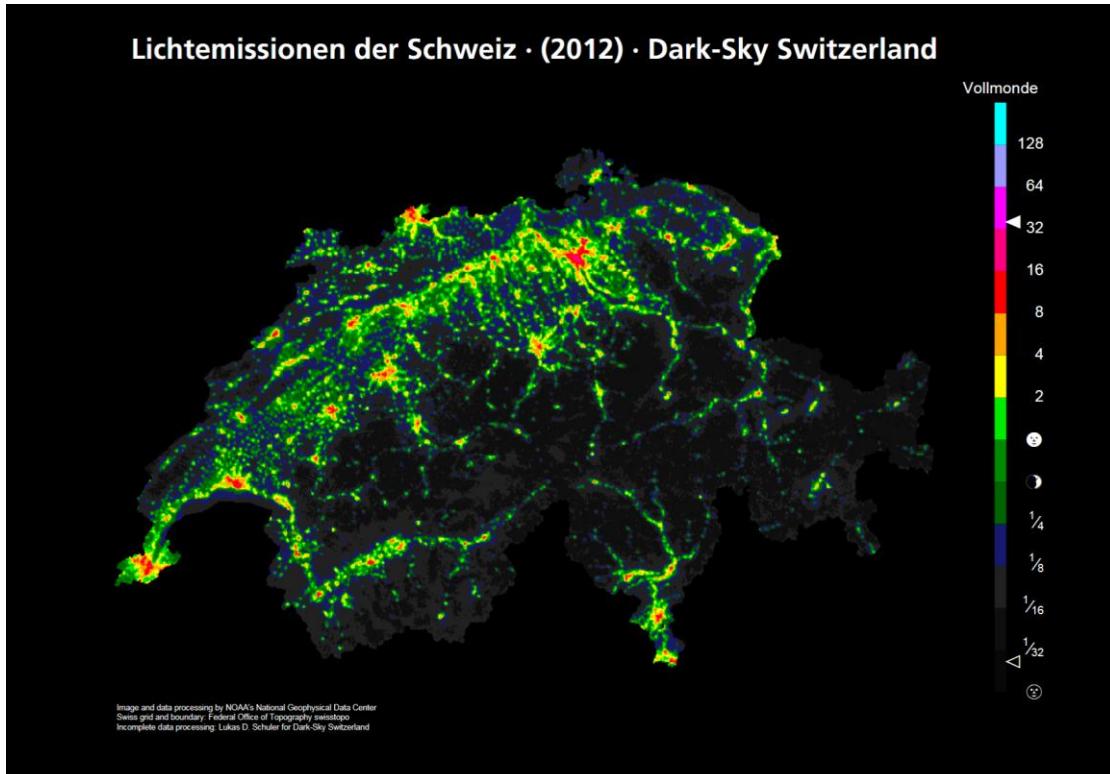


Abbildung 2: Lichtemissionskarte Schweiz 2012, (DarkSky Switzerland, 2024b)

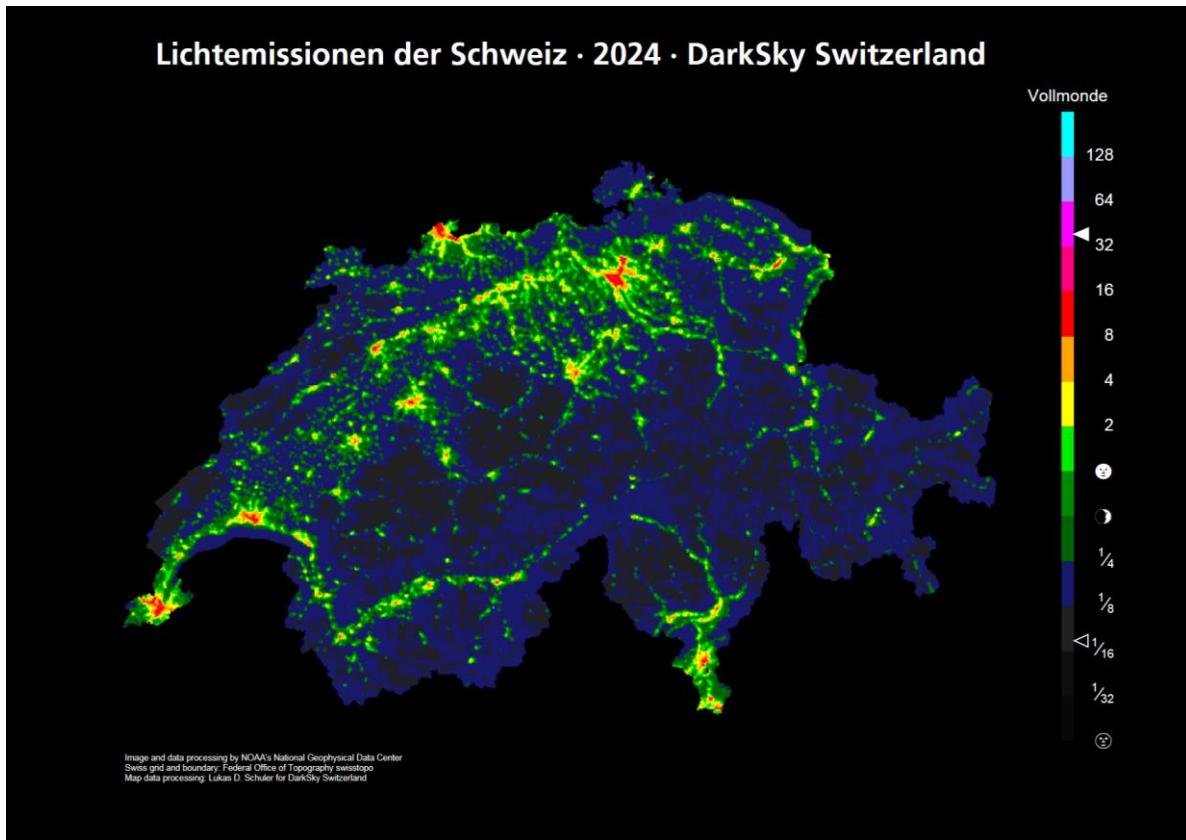


Abbildung 3: Lichtemissionskarte Schweiz 2024, (DarkSky Switzerland, 2024b)

#### 2.4.1 Ursachen von Lichtverschmutzung

In modernen Industrieländern ist künstliche Beleuchtung allgegenwärtig. Dabei sind in der Schweiz nicht mehr nur städtische, sondern auch ländliche Bereiche betroffen. Die kontinuierliche Ausbreitung von Strassenbeleuchtungen, beleuchteten Gebäuden, Sportanlagen, Werbetafeln und Industriearealen hat dazu geführt, dass sich die nächtliche Lichtemission in den «letzten 25 Jahren mehr als verdoppelt hat» (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021a). Die zunehmende Nutzung von energieeffizienten LED-Leuchten hat nicht nur den positiven Effekt, dass die Leuchten weniger Energie benötigen, sondern auch dazu geführt, dass die Zahl der Lichtquellen zugenommen hat. Dabei sind schlecht ausgerichtete und überdimensionierte Leuchten ein Problem, da sie Licht in die Umgebung streuen (Ancillotti et al., 2025; Stadt Schaffhausen et al., 2014). Zusätzlich tragen der Verkehr sowie die 24-Stunden-Nutzung von öffentlichen Einrichtungen dazu bei, dass die natürliche Dunkelheit immer stärker beeinträchtigt wird. Insgesamt entsteht Lichtverschmutzung durch ein Zusammenspiel aus wirtschaftlichen, technischen und kulturellen Faktoren, zum Beispiel das Beleuchten von Bergkirchen im Klettgau, wobei die Dichte der Bebauung eine entscheidende Rolle spielt. Im RNPSH kommt die Lichtverschmutzung unter anderem von der Stadt Schaffhausen und dem angrenzenden Stühlingen, bei Nebel oder Bewölkung strahlen aber

auch der Flughafen Zürich und die Städte Zürich und Winterthur bis nach Schaffhausen. Neben der öffentlichen Beleuchtung tragen auch private und gewerbliche Lichtquellen wesentlich zur Lichtverschmutzung bei (Leiva, 2020; Schuler, 2025).

## **2.4.2 Einfluss von Lichtverschmutzung auf Organismen und Lebensräume**

ALAN bringt nächtliche Ökosysteme aus dem Gleichgewicht. Die rasche Zunahme der Lichtverschmutzung stellt eine Bedrohung für Ökosysteme dar, die sich über Jahrtausende an natürliche Tag-Nacht-Zyklen angepasst haben (Sanders et al., 2023). Weltweit nimmt die nächtliche Helligkeit jährlich um ca. 2-6 % zu (Yoker, 2022). Dabei ist Dunkelheit für zahlreiche Lebewesen essenziell. Rund 30% aller Wirbeltiere und über 60% der Wirbellosen sind nachtaktiv oder dämmerungsaktiv und wie die Menschen auf Hell-Dunkel-Zyklen angewiesen. Viele lebenswichtige Prozesse werden durch Licht gesteuert (Owens & Lewis, 2018).

### **2.4.2.1 Zirkadiane Störung und Maskierungseffekte**

Das zirkadiane System ist die innere Uhr, die essenzielle physiologische Prozesse wie Stoffwechsel, Wachstum und Immunfunktion mit dem 24-Stunden-Tag-Nacht-Zyklus synchronisiert. ALAN ist ein starker, externer Zeitgeber, der irreführend ist und ein direkter Störfaktor ist (Florida Fish And Wildlife Conservation Commission, 2025; Yoker, 2022). Die Exposition gegenüber Licht auch bei Nacht kann bei vielen nachtaktiven Wirbellosen die Produktion des Hormons Melatonin unterdrücken. Bei Grillen führt die Dauerlichtexposition zum Beispiel zu einem niedrigeren Melatoninspiegel und einer beeinträchtigten Funktion des Immunsystems (Durrant et al., 2015). Die Reaktion auf ALAN hat jedoch nicht immer mit einer Verschiebung der inneren Uhr direkt zu tun. Eine Studie an Zebrafinken ergab, dass schwaches Licht in der Nacht das Verhalten und die Physiologie wie zum Beispiel erhöhte nächtliche Aktivität und kardiale Hypertrophie (Vergrösserung des Herzmuskels, meist durch Anpassung an erhöhte Belastung des Herzens) beeinflusste. Eine signifikante Unterdrückung von zirkulierendem Melatonin oder eine Veränderung der Expressionen von Genen, die für die innere Uhr im Gehirn oder der Leber zuständig sind, konnte nicht festgestellt werden. Diese Beobachtung könnte zeigen, dass der Mechanismus, der eintritt, ein Maskierungseffekt ist. Die Vögel reagieren also direkt auf Helligkeitsveränderungen, ohne dass eine Veränderung des zentralen zirkadianen Taktgebers im Gehirn erfolgt. Dies erklärt, warum das Verhalten so schnell auf künstliches Licht angepasst wird (Alaasam et al., 2021; Rowse et al., 2018).

### **2.4.2.2 Photoperiode und saisonale Rhythmen**

Organismen nutzen die Länge des Tages (Photoperiode), um saisonale Ereignisse wie Reproduktion, Migration und Winterruhe zeitlich abzustimmen. ALAN verlängert effektiv die wahrgenommene Tageslänge und kann dadurch Verwirrung in die wichtigen saisonalen

Abläufe bringen (Gendron & Staiger, 2023; Seewagen & Adams, 2021). Im Bereich der Pflanzenökologie wurde nachgewiesen, dass ALAN den Knospenaustrieb von Bäumen vorverlegt. Eine Analyse in Grossbritannien untersuchte über 13 Jahre die Daten von vier laubabwerfenden Bäumen (Ahorn, Esche, Buche, Eiche). Dies ergab, dass der Knospenaustrieb in den hellsten Gebieten bis zu 7.5 Tage früher erfolgt. Dies war bei Arten, die vergleichsweise spät austreiben (Eiche und Esche), besonders ausgeprägt. Die Verschiebung konnte nicht allein auf den Effekt der Wärmeinsel in der Stadt erklärt werden, da die Verlegung zu signifikant war, um nur mit diesem Effekt erklärt zu werden. Dies bestätigt die Wirkung des künstlichen Lichts in der Nacht auf die Pflanzenphänologie (H. ffrench-Constant et al., 2016). Auch bei Vögeln führt die Lichtexposition in der Nacht zu Verschiebung von saisonalen Zyklen. Studien an Singvögeln zeigen, dass Individuen, die nächtlichem Licht ausgesetzt waren, bis zu einem Monat früher die Geschlechtsreife erreichten und die Mauser früher einsetzte. Die beschleunigte Entwicklung aufgrund der längeren Photoperiode durch ALAN ist ein klarer Beleg dafür, dass Licht tief in die Steuerung biologischer Abläufe eingreift (Da Silva et al., 2015; Gendron & Staiger, 2023; Pease & Gilbert, 2025a).

#### 2.4.2.3 Invertebraten

Invertebraten (Wirbellose), von denen global ca. 64% teilweise oder vollständig nachtaktiv sind, gehören zu den am stärksten betroffenen Taxa. ALAN ist eine existentielle Bedrohung (Stewart, 2021). Künstliche Lichtquellen wirken wie Fallen, ziehen Insekten an und desorientieren sie. Sobald Insekten von Licht angezogen werden, verbrauchen sie grosse Mengen an Energie durch das Umkreisen der Lichtquelle, wodurch Nahrungssuche und Reproduktion vernachlässigt werden. Sie werden auch anfälliger für nachtaktive Feinde wie Fledermäuse, sterben direkt durch die Hitze der Leuchten oder fallen erschöpft auf den Boden, wo sie ebenfalls leichte Beute sind. Das Ausmass der Sterblichkeit ist gross, Studien aus Deutschland deuten darauf hin, dass bis zu einem Drittel der Insekten, die von Lichtquellen angezogen werden, sterben (Brehm et al., 2021; Huemer et al., 2010).

Die Folgen reichen von der direkten Mortalität bis zur Fortpflanzung. Bei Nachtfaltern, deren Lebenszyklus eng mit Futterpflanzen synchronisiert ist, führt Exposition gegenüber LED-Strassenbeleuchtung zu massiven Reduktionen der Raupenpopulationen. Es wurden 52% weniger Raupen in beleuchteten Hecken und 43% weniger auf beleuchteten Grasstreifen registriert als in unbeleuchteten Bereichen. Ausserdem beeinträchtigt ALAN die Leuchtkraft von Glühwürmchen. Die Leuchtkraft nimmt in beleuchteten Umgebungen ab, was die Partnersuche und somit die Fortpflanzung stört (Butterfly Conservation, 2024; DarkSky International, 2024d; Sanders et al., 2023).

#### 2.4.2.4 Vögel

Viele Vogelarten fliegen beim Vogelzug in der Nacht, da tiefere Temperaturen, weniger turbulente Luftströme und weniger Fressfeinde Vorteile bringen. ALAN stört die Navigation im Himmel, lockt Zugvögel in beleuchtete städtische Gebiete und führt zu Desorientierung, vor allem bei bewölktem Himmel. Dies erhöht das Kollisionsrisiko mit Gebäuden, was jährlich zu Millionen von Todesfällen führt (Sheppard, 2022; Wadden Sea World Heritage, 2022). Auch der Vogelgesang wird durch künstliches Licht verändert. Studien mit vier häufigen europäischen Singvögeln zeigten, dass der Gesang am Morgen und Abend an Standorten mit Lichtverschmutzung früher im Jahr einsetzte. Analysen globaler Vogelrufdaten zeigen, dass Lichtverschmutzung den täglichen Gesangszeitraum von Vögeln in stark beleuchteten Gebieten im Durchschnitt um etwa 50 Minuten verlängert, da sie morgens früher beginnen und abends später singen als in dunkleren Regionen (Butterfly Conservation, 2024; Pease & Gilbert, 2025b; Sheppard, 2022). Die Verlängerung der Aktivitätszeit und die Verschiebung der Fortpflanzungszeitpunkte durch künstliches Licht stellt eine komplexe Herausforderung dar. Obwohl mehr Aktivität tagsüber theoretisch auch positive Effekte wie mehr Zeit für die Nahrungsaufnahme haben könnte, sind die negativen Effekte wie reduzierter Schlaf noch nicht vollständig geklärt (Da Silva et al., 2015).

#### 2.4.2.5 Fledermäuse

Fledermäuse reagieren stark auf ALAN, was zu einer tiefgreifenden Umstrukturierung von lokalen Fledermauspopulationen führen kann. Die Verschlechterung der Überlebens- und Reproduktionsfähigkeit der Arten in beleuchteten Umgebungen ist daher ein zentrales Forschungsthema (Gili et al., 2024; Rowse et al., 2018; Spoelstra et al., 2017). An intensiv beleuchteten Standorten, wie etwa Baustellen in vormals unbeleuchteten Naturgebieten, ist die Artenvielfalt von Fledermäusen signifikant niedriger als in benachbarten Gebieten oder städtischen Bereichen. Hohe ALAN-Werte haben gravierende ökologische Folgen, da sie empfindliche Arten verdrängen. Viele Fledermausarten reagieren empfindlich auf künstliches Licht, indem sie beleuchtete Bereiche meiden und ihre typischen Flugrouten entlang von Hecken, Gewässern und Wäldern verlassen, was ihre Bewegungen zwischen Wohn- und Jagdgebiet stört und energieaufwändig macht. Lichtscheue Arten wie die Kleine Hufeisennasen-Fledermaus (*Rhinolophus hipposideros*) meiden beleuchtete Gebiete komplett und erhellt Zonen fungieren regelrecht als Barrieren. Zusammenhängende Dunkelkorridore zwischen Quartieren und Futterzonen sind entscheidend für den Erhalt von Fledermauspopulationen, da durch Fragmentierung des Nachthimmels durch Lichtverschmutzung ganze Populationen langfristig gefährdet werden können (Barré et al., 2021; Zeale et al., 2018). Im Gegensatz dazu können städtisch angepasste, lichtangepasste

Arten wie die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) Lichtquellen für sich nutzen, da die Insektendichte im Licht höher ist (Bernadez et al., 2025; Gili et al., 2024). Die unterschiedliche Reaktion der Fledermausarten (Aversion vs. Attraktion) auf Licht führt zu einer ökologischen Vereinheitlichung, lichtscheue Arten werden aus dem beleuchteten Habitat verdrängt, während Generalisten gefördert werden. Dies reduziert die Diversität des Ökosystems und schwächt somit das Gleichgewicht (Gili et al., 2024).

#### **2.4.2.6 Amphibien und Reptilien**

Die Wirkung von ALAN auf Amphibien ist primär negativ. Das Licht stört Lebenszyklen wie zum Beispiel die Wanderung zu Laichplätzen und das Paarungsritual, da das Quaken gestört wird, welches ein wichtiger Bestandteil des Paarungsrituals ist. Diese Störungen führen direkt zu einem minimierten Fortpflanzungserfolg und tragen somit zum Amphibienrückgang bei (Gastón et al., 2019; May et al., 2019).

Im Gegensatz dazu deutet die Forschung an der Bahamaanolis (*Anolis sagrei*), eine Art aus der Gruppe der Leguanartigen, auf vorteilhafte Effekte hin. Im Laborexperiment zeigten sowohl männliche als auch weibliche Anolis unter ALAN-Exposition erhöhtes Wachstum. Besonders waren die Auswirkungen auf die Reproduktion. Weibchen, die ALAN ausgesetzt waren, begannen im Frühjahr durchschnittlich etwa 11 Tage früher mit der Eiablage. Einige Weibchen produzierten doppelt so viele Eier wie ihre Artgenossen ohne Störung durch ALAN. Diese Effekte erhöhen die Fitness der Art und zeigen, dass ALAN eine Rolle bei der Selektion und Invasion von Arten in städtische Ökosysteme spielen kann, indem es Generalisten begünstigt und neue Nischen schafft (Thawley & Kolbe, 2020).

#### **2.4.2.7 Bestäubung**

ALAN beeinträchtigt essenzielle Ökosystemdienstleistungen wie die nächtliche Bestäubung, die von Motten, Käfern und bestimmten Bienenarten übernommen wird. Die Studie von Knop et al. (2017) zeigt, dass nächtliche Besuche von Bestäubern auf beleuchteten Wiesen um 62% reduziert waren. Diese Reduktion der nächtlichen Bestäuber führte direkt zu einem Rückgang der Fruchtproduktion um 13% bei den betroffenen Pflanzen, auch wenn tagsüber Bestäubungen stattfanden. Dies zeigt, dass die «Nachschicht» der Bestäuber eine unersetzliche ökologische Rolle spielt (Knop et al., 2017). Die Auswirkungen dieses Mechanismus werden durch Desynchronisation verschärft. Wenn Pflanzen und Insekten unterschiedliche Umweltreize, zum Beispiel Licht und Temperatur, nutzen, um ihre Entwicklungsphasen zu steuern, kann ALAN zu einer zeitlichen Desynchronisation führen. Beispielsweise kann die durch ALAN vorverlegte Blütezeit einer Pflanze nicht mit dem Aktivitätsmuster des nachtaktiven Bestäubers synchronisiert werden, was die Bestäubungseffizienz weiter reduzieren kann (Friulla & Varone, 2025).

Der Einfluss von ALAN auf einzelne Arten summiert sich zu weitreichenden, ökosystemaren Konsequenzen, die zur Vereinheitlichung von Ökosystemen beitragen. ALAN wirkt nicht nur auf die Individuen selbst oder einzelne Arten, sondern verschiebt die zeitliche Nischenüberlappung zwischen nachtaktiven, dämmerungsaktiven und tagaktiven Arten. Die Separation der Nischen innerhalb eines Tages kann reduziert werden und dies kann zu einer Homogenisierung der Nischen führen. Dabei werden komplexe, spezialisierte Interaktionen durch einfachere, generalistische Interaktionen ersetzt. Das Ergebnis ist eine Reduktion der Struktur und der Ökosystemfunktion (McCann & Rooney, 2009).

#### 2.4.2.8 Aquatische Ökosysteme

Die ökologischen Auswirkungen von ALAN sind nicht auf terrestrische Systeme beschränkt. Die Ökologie von Seen und Flüssen kann sich stark verändern. Eine Veränderung der nächtlichen Aktivität aquatischer Wirbelloser hat Einfluss auf zahlreiche Tiere wie Fische und Amphibien, da diese Invertebraten eine Schlüsselrolle im Nahrungsnetz spielen. Auch die Melatoninbildung von Fischen wird beeinflusst, wobei bereits eine Intensität von 0.01 Lux die Melatoninsekretion verringerte (Naturschutz.ch, 2020). Auch auf marine Systeme hat ALAN einen Einfluss. Bei der Pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*) erhöhte ALAN zum Beispiel die Klappenaktivität, während die Klappenöffnung der Miesmuschel (*Mytilus edulis*) unter weissem und rotem ALAN abnahm (Fobert et al., 2023).

#### 2.4.3 Messung von Nachtdunkelheit

Es gibt verschiedene Methoden, um Lichtverschmutzung zu messen. Ein Instrument zur Messung der lokalen Himmelshelligkeit ist der Sky Quality Meter (SQM). SQM-Geräte messen die Helligkeit des Nachthimmels am Zenit in Magnituden pro Quadratbogensekunde ( $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ), eine astronomische Einheit, bei der höhere Werte dunklere Himmel bedeuten. Die Skala geht von ca. 16  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  bis ca. 22  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ , wobei Werte von 16  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  einen sehr hellen Stadthimmel und Werte zwischen 21.5  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  und 22  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  einen nahezu natürlichen Nachthimmel beschreiben. Werte über 22  $\text{mag}/\text{arcsec}^2$  sind nur in extrem abgelegenen Gebieten messbar und kommen sehr selten vor. Da die SQM-Werte auf einer logarithmischen Skala basieren, entspricht eine Änderung um eine Einheit einer exponentiellen Änderung der gemessenen Himmelshelligkeit (Pravettoni et al., 2016).



Abbildung 4: Sky Quality Meter (SQM-L), eigene Aufnahme

Die Messungen in dieser Arbeit wurden mit einem SQM-L-Gerät der Firma Unihedron gemacht. Standard-SQMs haben ein breites Blickfeld ( $42^\circ$ ), während Varianten mit Linse (SQM-L, Abbildung 4) auf einen engeren Messkegel ( $20^\circ$ ) fokussieren. Dies reduziert lokale Störungen (Karpińska & Kunz, 2022; Unihedron, 2025).

Ein weiteres Messgerät ist das TESS-W Photometer, das ähnlich wie ein SQM funktioniert, aber die Messdaten automatisch per WiFi überträgt und dadurch für stationäre Messstationen in dauerhaften Netzwerken geeignet ist. TESS-Geräte können durch verschiedene Filter die spektrale Zusammensetzung des Lichts messen. Außerdem werden bei TESS-Geräten oft noch weitere Parameter wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet, womit zum Beispiel auf die Wolkendeckung geschlossen werden kann (Kunz & Daab, 2024; Stars4all foundation, 2025a).

Für grossräumige, globale Analysen der künstlichen Lichtemissionen werden Satellitendaten genutzt. Das wichtigste aktuelle System ist der «Visible Infrared Imaging Radiometer Suite» (VIIRS) an Bord von umlaufenden Satelliten. VIIRS misst die nächtliche Strahlung der Erdoberfläche mit ca. 500-700 m Bodenauflösung und erfasst Licht im sichtbaren Bereich. Diese Daten können zu Lichtverschmutzungskarten verarbeitet werden, indem ausgehende Strahlung in Karten sichtbar gemacht wird. Lichtverschmutzungskarten entstehen daraus, darauf werden die Werte farblich kodiert dargestellt (Barentine, 2019).

Bei der manuellen Messung der Nachtdunkelheit ist darauf zu achten, dass möglichst dunkle Bedingungen ohne Lichteinfluss vorliegen. Die Messungen sollten während der astronomischen Nacht durchgeführt werden, also zu dem Zeitpunkt, an dem die Sonne mehr als 18 Grad unter dem Horizont steht und kein Streulicht der Dämmerung mehr vorhanden ist. Um den Einfluss des Mondes zu minimieren, empfiehlt es sich, Messungen im Zeitraum von

etwa einer Woche vor und nach Neumond durchzuführen. Zusätzlich sollte darauf geachtet werden, dass sich der Mond während der Messung möglichst unter dem Horizont befindet oder eine geringe Mondhöhe aufweist. Diese Vorgehensweise reduziert den Einfluss natürlicher Lichtquellen auf die Messung der Nachdunkelheit (Hänel et al., 2018; Unihedron, 2025). Bewölkung beeinflusst Messungen mit SQM-Geräten deutlich, da Wolken künstliches Licht aus Siedlungsräumen reflektieren und streuen, wodurch der Himmel aufgehellt wird. Dabei kann künstliches Licht aus weit entfernten Städten bei Bewölkung über grosse Distanzen gestreut werden und die gemessene Himmelshelligkeit auch in sonst dunklen Regionen deutlich erhöhen (Kyba et al., 2011). Deshalb sollten manuelle Messungen mit einem SQM-Messgerät nur bei wolkenfreiem Himmel durchgeführt werden.

#### 2.4.4 Einfluss von Licht auf den Menschen

Neben der Belastung für die Umwelt und Tiere (Kapitel 2.4.2) ist ALAN auch eine Belastung für den menschlichen Körper (Zielinska-Dabkowska et al., 2023). Physiologische Prozesse können negativ beeinflusst werden (Mure, 2021). Der zirkadiane Rhythmus des Menschen wird durch Photorezeptoren gesteuert, die intrinsischen photosensitiven retinalen Ganglienzellen, die das Photopigment Melanopsin enthalten. Die Zellen leiten Informationen an den suprachiasmatischen Nukleus weiter. Die Ganglienzellen sind essentiell für den Tag-Nacht-Rhythmus und sind wichtig für Wachsamkeit, Stimmung und den Pupillenlichtreflex (Meng et al., 2025). Melanopsin wird am stärksten durch das kurzwellige, blaue Licht beeinflusst. Während dieses Licht am Tag Wachsamkeit und Leistung fördert, wird es nachts zum Wichtigsten Faktor für eine Desynchronisation des natürlichen Rhythmus (Münch, 2011). Schon geringe Lichtintensitäten in der Nacht führen zu einer Störung der inneren Uhr und der Unterdrückung der Melatoninsekretion. Melatonin ist ein Hormon, das den Organismus auf die Nachtruhe einstellt und auch schützende Funktionen im kardiovaskulären und endokrinen System erfüllt (Cho et al., 2015; Moore-Ede et al., 2023; Mure, 2021).

Durch die stärkere Beeinflussung des Melanopsin durch blaues Licht wird auch die Melatoninproduktion am stärksten durch blaues Licht unterdrückt. Bereits nach zwei Stunden Exposition durch blaues Licht war in Versuchspersonen ein Rückgang des Melatonins messbar. Rotes Licht gilt als neutral bezüglich des Eingriffs in den zirkadianen Rhythmus. Moderne Beleuchtungen, vor allem LEDs mit hohem Blauanteil, tragen massgeblich zur nächtlichen Lichtbelastung bei (Sanchez-Cano et al., 2025; Wojciechowska et al., 2025).

Die Störung des natürlichen Rhythmus durch künstliches Licht wurde durch verschiedene Studien mit Gesundheitsrisiken assoziiert. Lichteinfluss in der Nacht ist ein Risikofaktor für metabolische und endokrine Störungen, die das Risiko für Adipositas und Typ-2-Diabetes erhöhen. Die Desynchronisation des Rhythmus stört die Regulation von Stoffwechsel und

Appetit. Eine prospektive Kohortenstudie an Frauen zeigte, dass nächtliche Lichtexposition das Risiko, Adipositas zu entwickeln, um 33 % erhöhte (Knutson et al., 2025; Park et al., 2019; Wojciechowska et al., 2025). Weitere Studien zeigen, dass Menschen, die in der Nacht grössererem Lichteinfluss ausgesetzt wurden, ein höheres Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen aufweisen (Windred et al., 2025; Wojciechowska et al., 2025). ALAN korreliert ausserdem positiv mit einem erhöhten Risiko für psychischen Störungen, insbesondere Depressionen (Guindon et al., 2024). Eine Metaanalyse mit 560'000 Teilnehmern quantifizierte, dass eine Zunahme der Lichtintensität von 1 Lux in der Innenraumbeleuchtung mit einer 3.2%igen Zunahme des Depressionsrisikos verbunden war (Chen et al., 2024). Bei älteren Erwachsenen wurde hellere Aussenbeleuchtung ausserdem mit einem höheren Risiko für kognitive Beeinträchtigungen und Demenz assoziiert (Voigt et al., 2024).

Menschen können durch das Abschalten von Lichtern und mit Rollläden und Vorhängen Abhilfe schaffen und eine dunkle Umgebung in der Nacht erreichen. Die Reduktion des Skyglow ist nicht der einzige Weg für den Menschen. Die Gestaltung der Wohn- und Schlafräume sowie die Bildschirmhygiene sind bewährte präventive Strategien (Guindon et al., 2024). Die Erkenntnisse des Einflusses auf den Menschen zeigen aber klar, wie weitreichend die Störungen durch nächtliches Licht sein können. Tiere können sich dabei, im Gegensatz zum Menschen je nach Art nur bedingt durch den Einfluss des Lichts schützen.

#### **2.4.5 Rechtliche Lage in der Schweiz**

In der Schweiz müssen Lichtemissionen nach dem Umweltgesetz so begrenzt werden, dass sie weder Mensch noch Umwelt schädigen. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat 2021 eine Vollzugshilfe («Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen») mit einem 7-Punkte-Plan veröffentlicht. Sie fasst wichtige Inhalte zusammen und bietet Gemeinden einen «Lichttoolbox»-Katalog mit konkreten Massnahmen zur Reduktion der Lichtverschmutzung (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021b). Die Richtlinien vom Bundesamt für Umwelt empfehlen, die Beleuchtung so zu gestalten, dass sie nur dort und dann leuchtet, wenn sie wirklich nötig ist. Ziel ist es, unnötige Lichtemissionen zu vermeiden und gleichzeitig eine angemessene Sicherheit zu gewährleisten (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2022). Die Norm SIA 491 aus dem Jahr 2013 ist eine Norm für Architekten und Planer, die Richtlinien für die Vermeidung unnötiger Aussenbeleuchtung vorgibt. In der Schweiz gibt es dementsprechend kein eigenes Gesetz speziell gegen Lichtverschmutzung, aber das Umweltschutzgesetz schützt vor schädlichen oder lästigen Lichtemissionen. Kantone und Gemeinden können zusätzlich Lichtvorschriften erlassen, zum Beispiel für Werbelicht, Skybeamer oder nächtliche Beleuchtungszeiten. Die Umsetzung und Strenge der Regelungen unterscheidet sich stark je nach Region.

## 2.4.6 Vorschriften im Kanton Schaffhausen

Im Jahr 2021 gab es im Kanton Schaffhausen eine Volksinitiative mit dem Titel «Mehr Raum für die Nacht», die zum Ziel hatte, Lichtverschmutzung gesetzlich stärker zu regulieren. Man wollte unter anderem eine kantonale Kunstlichtverordnung einführen, eine Bewilligungspflicht für Außenbeleuchtungen etablieren und verpflichtende Dämmung und Zeitschaltungen vorschreiben sowie eine Beratungsstelle für Lichtemissionen schaffen. Die Initiative wurde im Juni 2021 mit 53% knapp abgelehnt (Müller, 2019). Dadurch verbleiben im Kanton Schaffhausen keine speziellen Vorschriften oder Grenzwerte zur Lichtverschmutzung über die ohnehin bestehenden nationalen Regelungen hinaus. Die Stadt Schaffhausen ist bemüht, die öffentliche Beleuchtung Schritt für Schritt durch intelligente Systeme und LEDs zu ersetzen (Stadt Schaffhausen, 2022).

## 2.5 Die Labels von «Dark Sky International»

Dark Sky International vergibt eine Reihe von Zertifikaten, die unterschiedliche Kriterien im Bereich Umwelt- und Lichtschutz erfordern. Diese Labels dienen dazu, Städte, Regionen oder Projekte auszuzeichnen, die besonders strenge Standards für Lichtverschmutzung und nachhaltige Beleuchtung einhalten. Außerdem sollen sie die ausgezeichneten Gebiete dazu anregen, die Nachdunkelheit zu fördern und die Lichtverschmutzung zu minimieren. In Tabelle 1 werden die Labels und die Anforderungen aufgelistet. Bis Anfang 2025 wurden über 250 International Dark Sky Places in mehr als 20 Ländern auf sechs Kontinenten zertifiziert (DarkSky International, 2024b).

Tabelle 1: Die Labels von Dark Sky International, (DarkSky International, 2024b)

Label	Zielgebiet	Himmelsqualität (SQM)	Besiedlung/Verwaltung	Besonderheiten
<b>International DarkSky Community</b>	Städte/ Gemeinden	Geringste Anforderung:	Verpflichtende Umrüstung aller Lichter	Starkes Lichtmanagement
<b>Urban Night Sky Place</b>	Städte für urbanen Astrotourismus	Keine harte Mindestgrenze	>10'000 (oder 50'000 im Ballungsraum)	Fokus auf lokale Verbesserungen
<b>DarkSky Park</b>	Schutzgebiete/ Parks	21.2 (gut) bis 21.5 (exzellent)	Eine verantwortliche Instanz	Keine Mindestfläche, Besucherlicht reguliert
<b>DarkSky Reserve</b>	Mehrere Gemeinden	>21.2 <21.5	Viele Verwaltungen	Sehr grosse Pufferzone (ca. 700 km <sup>2</sup> )
<b>International DarkSky Sanctuary</b>	Sehr abgelegene Gebiete	>21.5 (exzellent)	Kaum/kein Personal	Höchste Anforderungen

Das Flowchart von DSI in Abbildung 5 gibt einen Überblick über die möglichen Zertifizierungen, die erlangt werden können und die Anforderungen, die die jeweiligen Kategorien mit sich bringen.

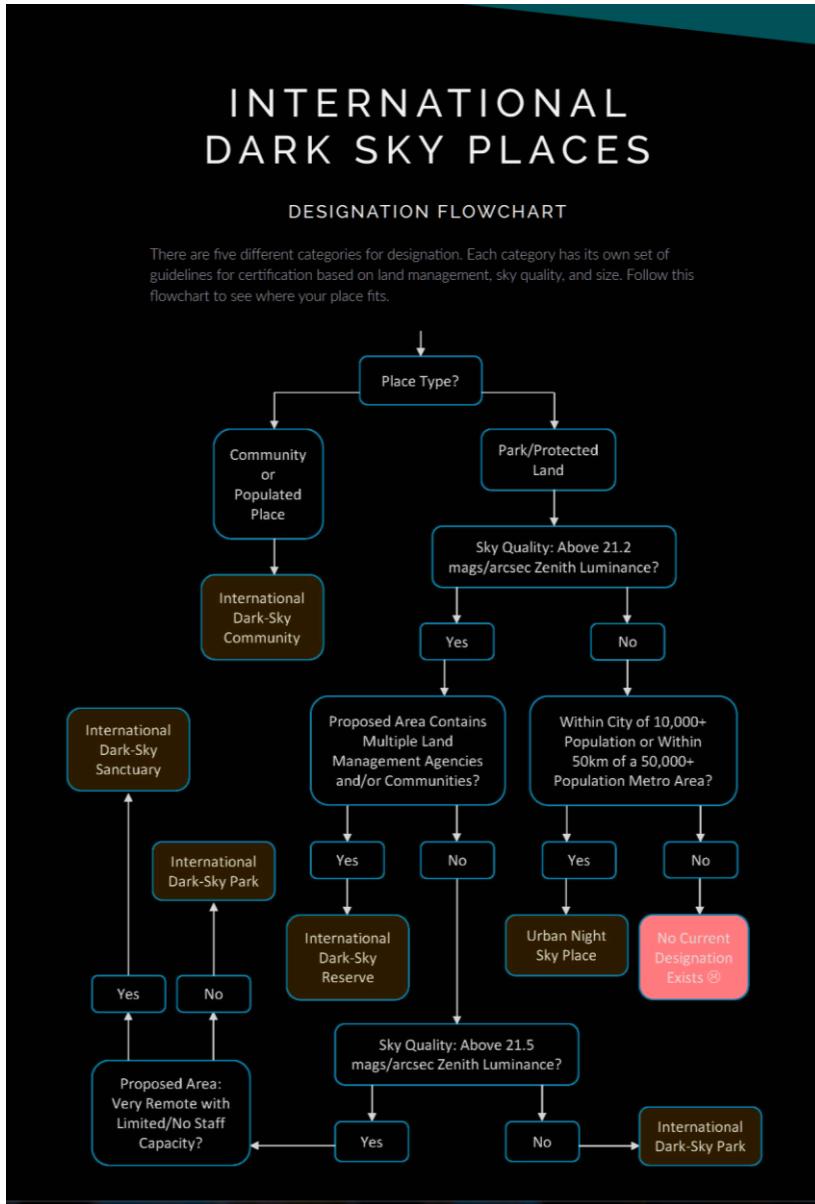


Abbildung 5: Flowchart der Zertifizierungen von DSI (DarkSky International, 2018)

### 2.5.1 Der Naturpark Gantrisch als Vorbild für einen «Dark Sky Park»

Der Naturpark Gantrisch, gelegen im Städte-Dreieck Bern, Freiburg und Thun, ist mehr als eine Erholungslandschaft. Seit Anfang 2024 trägt ein bedeutender Teil des Parks das offizielle Label «International Dark Sky Park». Damit ist der Naturpark Gantrisch das erste Gebiet in der Schweiz, das diese Auszeichnung von der Organisation Dark Sky International (DSI) erhalten hat (DarkSky International, 2024a; DarkSky Switzerland, 2024a). Der Naturpark kann deshalb

als Vorbild bezüglich des Bewerbungsprozesses für den RNPSH dienen. Vom ersten Kontakt mit DSI bis zur Zertifizierung vergingen acht Jahre (Netzwerk Schweizer Pärke, 2024). Der Naturpark Gantrisch ist ein regionaler Naturpark von nationaler Bedeutung, der sich über 19 Gemeinden erstreckt. Er ist geprägt durch die markante Gantrischkette, tiefe Schluchten, weite Wälder und eine traditionelle Kulturlandschaft. Neben seiner Rolle als Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten dient er als wichtiges Naherholungsgebiet. Ein «Dark Sky Park» ist ein Schutzgebiet, das eine aussergewöhnliche Sternennacht und eine nächtliche Umgebung besitzt, die gezielt vor Lichtverschmutzung geschützt wird. Die «Gantrisch Dark Sky Zone» umfasst eine Kernzone von rund 104.7 km<sup>2</sup> im südlichen, besonders dunklen Teil des Parks. In der Kernzone herrscht eine überdurchschnittlich hohe Nachtdunkelheit. Hier ist die Milchstrasse oft mit blossem Auge in beeindruckender Deutlichkeit zu sehen. Die Parkgemeinden haben sich freiwillig dazu verpflichtet, Lichtemissionen zu reduzieren. Dazu gehören abgeschirmte Leuchten, die nur nach unten strahlen, die Begrenzung der Farbtemperatur auf unter 3000 Kelvin (warmweisses Licht) und der Verzicht auf unnötige Beleuchtung in der Nacht. Ein Highlight für Besucher ist das Space Eye in Riggisberg (Uecht) (Space Eye Observatorium für Weltraum und Umwelt, 2025). Es beherbergt das grösste Teleskop der Schweiz, ein modernes Planetarium und eine interaktive Ausstellung. Der Park verbindet so den Schutz der Dunkelheit mit Wissensvermittlung über Astronomie und Nachhaltigkeit (Naturpark Gantrisch, 2025b).

## 2.6 Massnahmen zur Minimierung der Lichtverschmutzung

Die Art der Beleuchtung spielt eine grosse Rolle. Lampen sollten so gewählt werden, dass eine Abstrahlung in die Umwelt verhindert wird (Stadt Schaffhausen et al., 2014). Runde Lampen wie auch flache Lampen können mit Blenden erwirken, dass das Licht nicht in Bereiche abstrahlt, in denen es nicht verwendet wird.

In Beringen zum Beispiel, werden die Lampen in der Nähe eines Fledermausquartiers mit Hilfe eines Bewegungsmelders dann eingeschaltet, wenn die Beleuchtung wirklich sinnvoll ist (Stadt Schaffhausen et al., 2014). Die Lichtlenkung ist relevant, Leuchten müssen so abgeschirmt sein, dass das Licht nur dort hinstrahlt, wo es erwünscht ist. Die Verwendung von warmweissem Licht (max. 3000 Kelvin) ist wichtig, um Blauanteile zu minimieren (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2024). Auch gestalterische Massnahmen, wie der Einsatz von warmen Lichtfarben in Quartierstrassen können zur Reduktion der Lichtemissionen beitragen und gleichzeitig die Akzeptanz in der Bevölkerung erhöhen (DarkSky Switzerland, 2025).

Die Beleuchtung sollte gedimmt oder abgeschaltet werden oder Bewegungsmelder zum Einsatz kommen. Moderne LED-Technik ist energieeffizient und ermöglicht eine effiziente Steuerung, darf aber nicht dazu führen, dass durch die geringen Kosten mehr Flächen als

nötig beleuchtet werden (Barentine, 2022). Der 7-Punkte-Plan aus der Vollzugshilfe Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) stellt eine gute Anwendungshilfe dar (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021b). Für Gemeinden im RNPSH wurde der Plan in Abbildung 6 angepasst und er kann als praxisnahe Toolbox verstanden werden. Eine differenzierte Beleuchtungsplanung, die Nutzungsart und Tageszeit berücksichtigt, kann dazu beitragen, Licht gezielt einzusetzen und unnötige Emissionen zu vermeiden. Auch die systematische Überprüfung der Beleuchtung bestehender Anlagen bietet Potenzial zur Reduktion von Lichtemissionen, da ältere oder falsch eingestellte Leuchten oft unnötiges Streulicht verursachen (Schuler, 2025).

Wichtig ist zudem, dass bei der Bevölkerung ein Bewusstsein für Lichtverschmutzung geschaffen wird. Viele Menschen nehmen den Verlust des natürlichen Nachthimmels kaum wahr, obwohl ein grosser Teil der Bevölkerung die Milchstrasse nicht mehr sehen kann. Sensibilisierungsmassnahmen und Informationen zum Thema können die Akzeptanz technischer Massnahmen erhöhen und die Umsetzung erleichtern (Schuler, 2025).

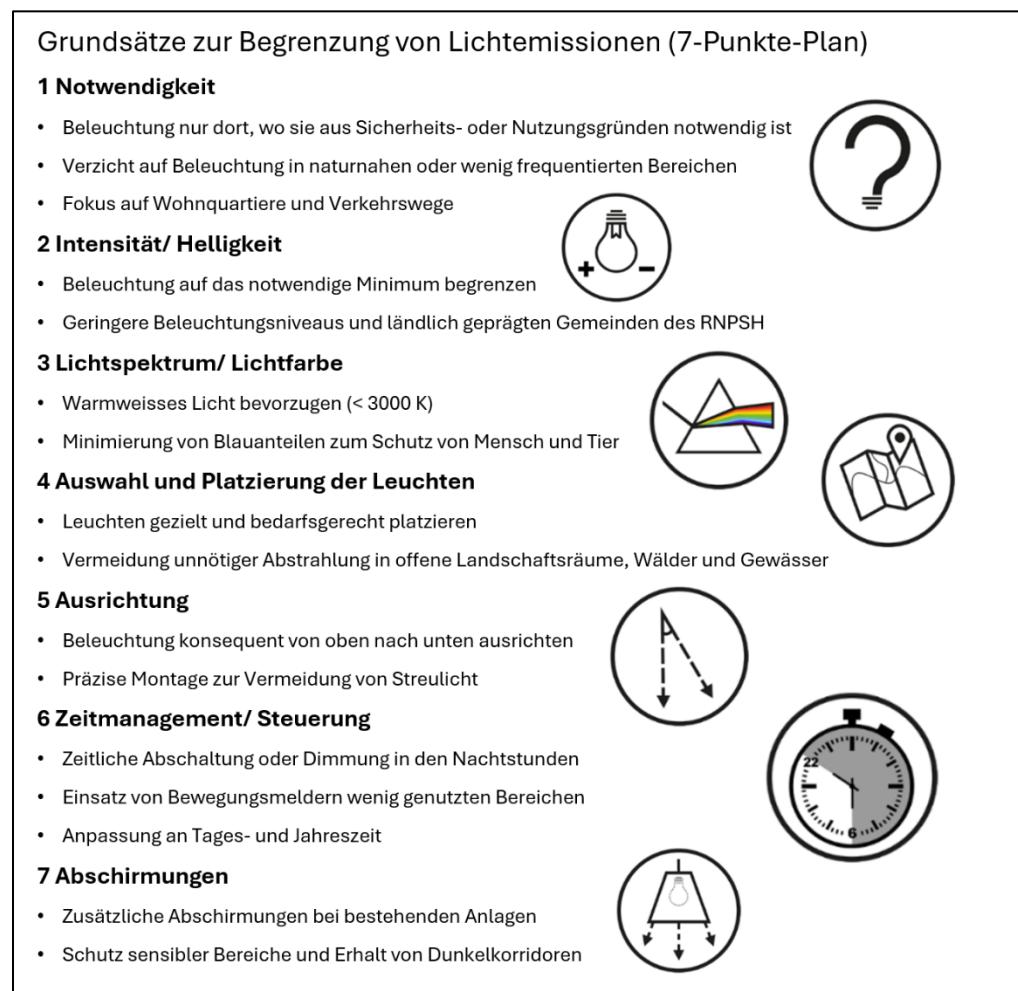


Abbildung 6: Eigene Darstellung des 7-Punkte-Plans der Vollzugshilfe zur Vermeidung von Lichtemissionen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021b)

## 2.7 Massnahmen zur Erhaltung der Nachtdunkelheit

Die Erhaltung der Nachtdunkelheit erfordert Massnahmen, die über die rein technische Reduktion künstlicher Beleuchtung hinausgehen. Eine zentrale Massnahme zur Erhaltung der Nachtdunkelheit ist die Integration des Themas in die Planung von Gemeinden. Studien deuten darauf hin, dass Gemeinden, die ein Beleuchtungskonzept haben und Ziele zur Lichtreduktion in ihre Strategien einbauen, langfristig eine geringere Zunahme der nächtlichen Himmelshelligkeit aufweisen (Tardieu et al., 2025). Ein weiterer Ansatz liegt in der Sensibilisierung der Bevölkerung. Untersuchungen aus der Umweltforschung zeigen, dass Schutzmassnahmen dann erfolgreicher umgesetzt werden, wenn ein Bewusstsein für den Wert der geschützten Ressource besteht (Ardoïn et al., 2020). Da viele Menschen den natürlichen Nachthimmel kaum noch kennen, wird die Bedeutung der Dunkelheit häufig unterschätzt (Schuler, 2025). Informationsangebote, partizipative Prozesse und eine transparente Kommunikation tragen dazu bei, Akzeptanz für Massnahmen, die der Erhaltung der Nachtdunkelheit dienen, zu schaffen. Auch Umweltbildung spielt eine zentrale Rolle. Bildungsangebote, die Dunkelheit erlebbar machen, wie zum Beispiel eine Übernachtung unter dem Sternenhimmel, können langfristig zu einer höheren Wertschätzung der Nacht beitragen. Der Tourismus kann ebenfalls als Instrument zur Erhaltung der Nachtdunkelheit wirken. Forschung im Bereich des nachhaltigen Tourismus zeigt, dass natürliche Ressourcen eher geschützt werden, wenn sie als schützenswertes Gut wahrgenommen werden (Milanović Pešić et al., 2025). Wird Nachtdunkelheit als touristische Qualität wahrgenommen, steigt die Bereitschaft, diese Ressource langfristig zu erhalten. Voraussetzung ist eine touristische Nutzung mit geringer Intensität, die den Schutz der Nacht in den Vordergrund stellt. Abschliessend ist die Zusammenarbeit von Gemeinden, Fachstellen und weiteren Akteuren von zentraler Bedeutung.

## 2.8 Touristische Angebote im Naturpark Gantrisch als Vorbild für den Regionalen Naturpark Schaffhausen

Der Naturpark Gantrisch bietet eine Vielzahl an geführten Erlebnissen bei Nacht an. Da es sich um einen zertifizierten «Dark Sky Park» handelt, steht dabei nicht nur der Blick in die Sterne, sondern auch das Erleben der natürlichen Dunkelheit und der Schutz der nächtlichen Biodiversität im Vordergrund.

Die wichtigsten Angebote im Überblick: (Naturpark Gantrisch, 2025a)

### Astronomische Beobachtungen

- Stargaze-Abende: Die Abende beinhalten eine Führung durch die interaktive Ausstellung, eine Show im Planetarium und, bei klarem Himmel, die Beobachtung durch das grösste Teleskop der Schweiz.
- Star Experts: Spezielle Abende für fortgeschrittene Astronomie-Begeisterte mit vertieftem Fachwissen.

### Geführte Nacht- und Sternenwanderungen

- Sternenwanderungen: Die «Sternenwanderung zum Neujahr» kombiniert ein «Sternennacht» (Abendessen) mit einer geführten Wanderung zum Space Eye.
- Vollmond-Schneeschuhtouren: Im Winter führen Guides Gruppen durch die dunkelsten Zonen des Parks, um die Stille und das Mondlicht in der verschneiten Landschaft zu geniessen.
- Das dunkle Herz (Gruppenangebot): Eine spezielle Exkursion, bei der man lernt, wie sich die Sinne in der Dunkelheit schärfen und warum Lichtverschmutzung für Tiere und Pflanzen problematisch ist.

### Events und Themenwochen

- Dark Sky Herbst: Zwischen August und November finden besonders viele Veranstaltungen statt. Ein Highlight ist die Nacht der Sterne (Meist Ende September) bei der viele Gemeinden die Strassenbeleuchtung ausschalten und spezielle Exkursionen zu Fledermäusen und Nachtfaltern angeboten werden.
- Astro-Events in Berghütten: Lokale Partner wie die Gantrisch Lodge (Ottolienbad) oder das Berggasthaus Selital bieten oft Pakete aus Wanderung, Abendessen und geführter Sternenbeobachtung an (Naturpark Gantrisch, 2025c)

### 3 Material und Methoden

Ein zentraler Bestandteil der vorliegenden Arbeit war eine umfassende Literaturrecherche. Diese wurde durch händische SQM-Messungen im RNPSH und TESS-Daten der Sternwarte Schaffhausen ergänzt.

#### 3.1 Untersuchungsraum und Daten

Die Messungen wurden im Gebiet des RNPSH in der Nordschweiz gemacht. Der Untersuchungsraum weist topografische Unterschiede auf. Die effektiven Messstandorte sind in Abbildung 7 abgebildet. An einigen Messpunkten wurden mehrere Messungen durchgeführt, was sich in der Abbildung an einer Häufung der «Stecknadeln» zeigt. Prägend ist besonders der Höhenzug des Randen, der sich nordwestlich der Stadt Schaffhausen erstreckt und beim Hagenturm 900 m. ü. M. erreicht. Der Hagenturm befindet sich bei Merishausen und liegt somit nicht auf dem Gebiet des RNPSH. Der Randen ist überwiegend bewaldet und weist eine geringe Siedlungsdichte auf. Südlich und westlich des Randen liegt das Klettgau, eine offene, landwirtschaftlich geprägte Hügellandschaft mit Rebflächen und mehreren Ortschaften. Das Klettgau ist im Vergleich zum Randen topografisch weniger stark gegliedert und weist eine grössere Durchmischung von Siedlungen und offenen Flächen auf. Ergänzend ist das Wangental zu nennen, ein Seitental mit überwiegend bewaldeten Flächen und geringer Siedlungsdichte, an dessen nördlichem Rand der Rossberg als bewaldeter Höhenzug angrenzt (Bundesamt für Landestopografie, 2025).

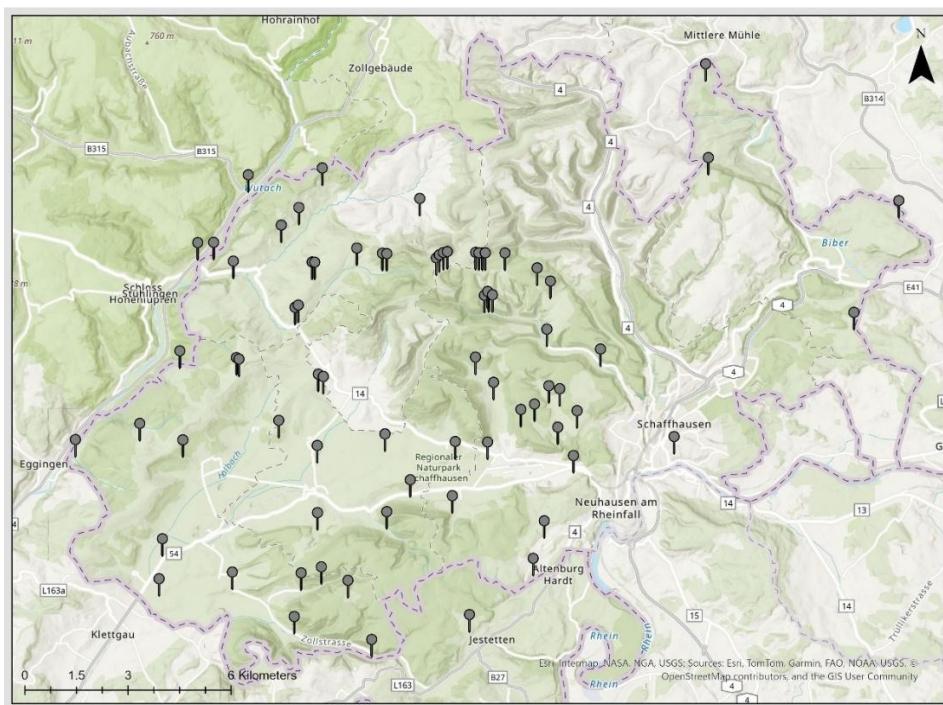


Abbildung 7: Effektive Messstandorte SQM-Messungen (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

Zu den manuell erhobenen Daten wurden ergänzend kontinuierlich erhobene Helligkeitsdaten der TESS-W-Messstation SH926 der Sternwarte Schaffhausen verwendet. Diese Daten dienen dem Vergleich der punktuellen Messungen mit einem längerfristigen zeitlichen Verlauf. Die Daten sind frei zugänglich auf der Webseite der Stars4all foundation (Stars4all foundation, 2025a). Die Daten des TESS-Geräts der Sternwarte Schaffhausen können seit dem 6. September 2022 heruntergeladen werden.

Die räumliche Verteilung der Messpunkte wurde im Programm ArcGIS von Esri dargestellt. Als Basiskarte wurde die World Topographic Map von Esri verwendet, deren Datengrundlage unter anderem auf den Kartenwerken des Bundesamts für Landestopografie swisstopo basiert. Die Gemeindegrenzen des Untersuchungsgebiets basieren auf dem Datensatz Gemeindegrenzen der Schweiz (Bundesamt für Landestopografie, 2025; Esri, 2025).

## 3.2 Messungen

Die Nachtdunkelheit im Gebiet des RNPSH wurde mithilfe eines SQM-L-Messgeräts ermittelt (Kap. 2.4.3). Die Messungen erfolgten zwischen dem 05.03.2025 und dem 22.11.2025. Die Messungen wurden in Gruppen zusammengefasst, die einzelne Messtage bedeuten. Die Bezeichnungen (A, B, C) stehen jeweils für alle Messungen eines Messtags, während die Zahlen (B1, B2, B3) die einzelnen Messstandorte an einem Messtag bezeichnen. Im Folgenden wird zur Vereinfachung der Begriff «Messungen A» oder «Messungen G» verwendet, womit jeweils alle Messpunkte des entsprechenden Tages gemeint sind.

### 3.2.1 Geoinformationssysteme (GIS) und Messstandorte

Wie in Abbildung 8 ersichtlich, wurden die potenziellen Messpunkte mit ArcGIS ermittelt. Ausgehend von der Stadt Schaffhausen wurden in Abständen von jeweils zwei Kilometern Kreise innerhalb der Gemeinden, die dem RNPSH angehören, gezogen. Dann wurden die Orte, die sich für eine Messung eignen, manuell direkt in ArcGIS markiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich der Messpunkt nicht in dicht bewaldeten Bereichen befindet und gut erreichbar ist. Messpunkte auf grossen Waldlichtungen oder am Waldrand wurden gezielt eingeplant.

Auf dem Gebiet der beiden deutschen Partnergemeinden und der Gemeinden, die nicht zum RNPSH gehören, wurden grundsätzlich keine Messungen geplant. Obwohl in Abbildung 8 in den Gemeinden Buchberg und Rüdlingen Messpunkte eingezeichnet sind, wurden dort keine Messungen durchgeführt. In Absprache mit dem RNPSH wurde entschieden, sich auf den zusammenhängenden Teil des RNPSH und die Schweizer Gemeinden zu konzentrieren.

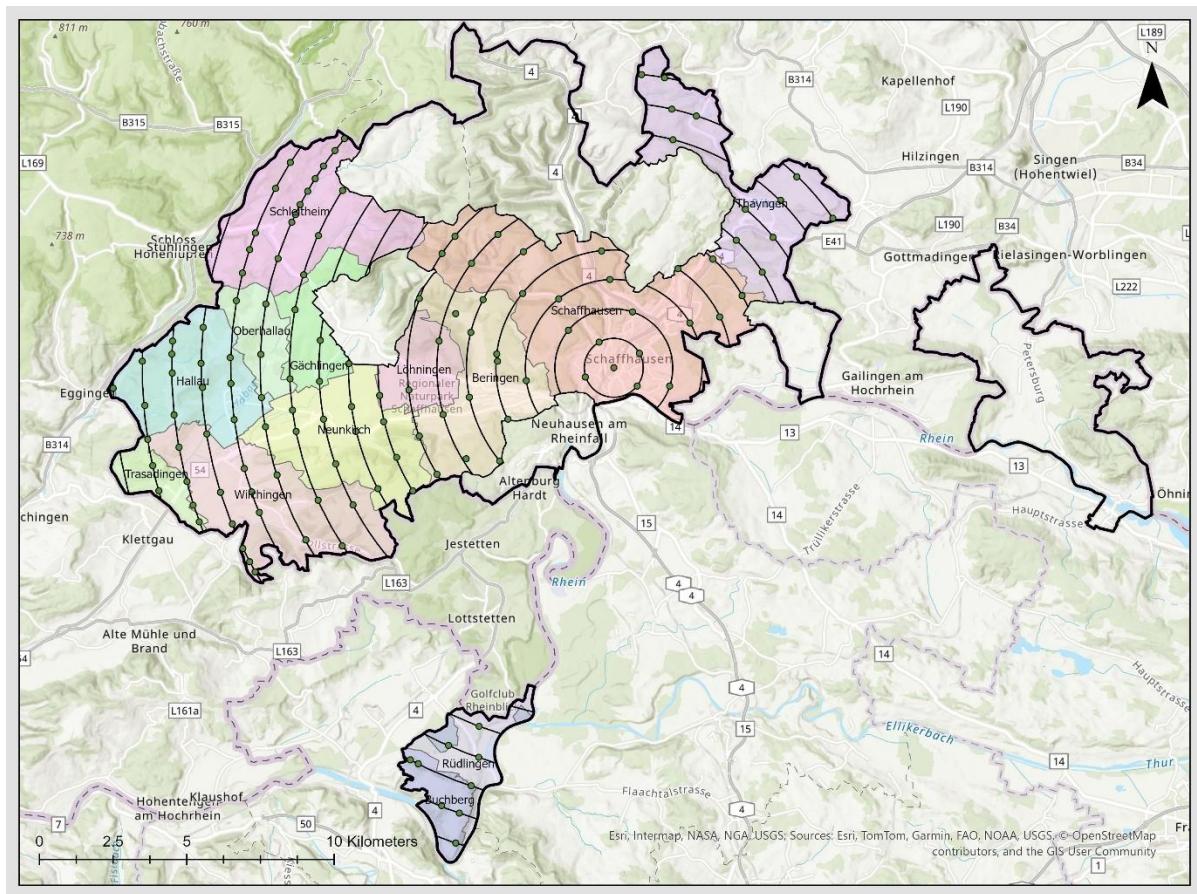


Abbildung 8: Ermittlung der Messpunkte mit ArcGIS in der Theorie (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

Nach einer ersten Probemessung wurde ersichtlich, dass es nicht möglich ist, so viele Standorte zu bemessen. Die Zugänglichkeit ist allein anhand von ArcGIS nicht einfach zu beurteilen. Einige der als befestigte Strasse markierten Wege sind nur zu Fuss erreichbar. Anfangs wurden die Messungen aufgrund von Fahrverboten mit dem Elektro-Fahrrad gemacht, dies erwies sich jedoch als zeitlich nicht realisierbar. Besonders im Gebiet des Randen wären durch das Relief und die gewundene Strassenführung nicht alle Messpunkte erreichbar gewesen. Aus diesem Grund wurde die Messstrategie angepasst und einige Messpunkte entfernt. Deshalb wurden alle Messungen, ausser Messpunkte A1 und A2, überwiegend mit dem Auto angefahren. Durch die Fahrverbote besonders in bewaldeten Gebieten und im Bereich der Reben fielen einige Messpunkte weg, einige wurden zu Fuss erreicht. Als Beispiel liegen Messpunkt B7 und B8 Luftlinie nahe beieinander. Es gibt jedoch keine direkte Strassenverbindung, die die beiden Messpunkte direkt verbindet.

Einige der Messpunkte in den Rebbergen befanden sich nicht im Fahrverbot, die Zugänglichkeit war jedoch durch den Zustand der Strassen (tiefe Radspuren) eingeschränkt. Hier musste teilweise auf ein geländegängiges Fahrzeug zurückgegriffen werden.

Die für den jeweiligen Messtag geplanten Messstandorte wurden zur einfacheren Navigation in Google Maps eingetragen (Google, 2025). Die manuell erhobenen Messwerte und Messstandorte wurden nach Abschluss der Messungen in ArcGIS in eine Karte eingetragen. In Abbildung 9 sind, wie in Abbildung 7, die effektiv gemessenen Standorte abgebildet. Die eingefärbten Bereiche sind die Gemeinden, die dem RNPSH zugehörig sind. Die schwarze Linie begrenzt den Kanton Schaffhausen.

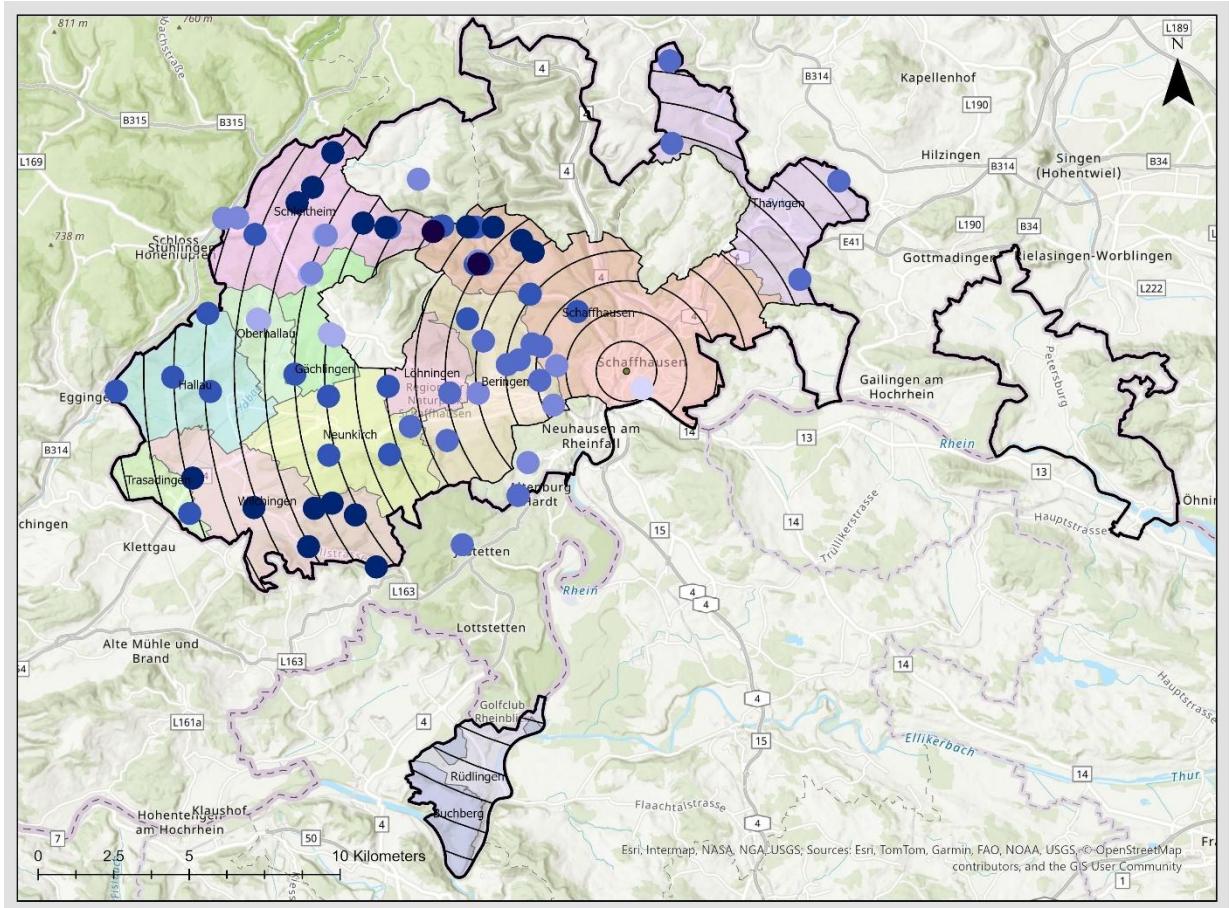


Abbildung 9: Effektive Messstandorte in der Praxis (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

Um eine flächigere Darstellung der Messwerte zu erhalten, wurde eine Messung in Stühlingen und eine in Jestetten durchgeführt. Außerdem wurde eine Messung in Beggingen und zwei in Neuhausen durchgeführt, obwohl diese zwei Gemeinden nicht zum RNPSH gehören. In der Stadt Schaffhausen wurde lediglich eine Messung durchgeführt. SQM-Geräte sollten ausschliesslich an Standorten ohne direkte künstliche Lichtquellen im Messfeld eingesetzt werden. Direkt beleuchtete Bereiche liefern keine repräsentativen Werte der Himmelshelligkeit (Unihedron, 2025).

### 3.2.2 Methodische Rahmenbedingungen

Bei der Messung der Himmelshelligkeit ist zu berücksichtigen, dass die gemessene Himmelshelligkeit durch verschiedene äussere Faktoren beeinflusst werden kann. Dazu zählen die Bewölkung, Mondlicht, der Messzeitpunkt und Schnee. Ausserdem muss die astronomische Nacht, also der Zeitpunkt, an dem die Sonne mehr als 18 Grad unter dem Horizont steht, begonnen haben und der Einfluss des Mondes muss möglichst reduziert werden (Kapitel 2.4.3).

Daher wurden folgende Parameter gewählt, um einen Zeitpunkt für eine Messung zu wählen:

Mond	Die Messungen wurden nur im Fenster eine Woche vor und eine Woche nach Neumond getätigt.
Astronomische Nacht	Die astronomische Nacht musste eingetreten sein (Sonne 18 Grad unter dem Horizont). Dazu wurde die Website <a href="http://timeanddate.de">timeanddate.de</a> konsultiert (Time and Date AS, 2025).
Bewölkung	Die Bewölkung sollte minimal sein; dies wurde mithilfe von <a href="http://kachelmannwetter.ch">kachelmannwetter</a> und der Bewölkungsanzeige von <a href="http://search.ch">search.ch</a> abgeschätzt (Kachelmannwetter, 2025; Meteo Schweiz, 2025).
Schnee	Es sollte kein Schnee liegen, Schnee reflektiert Licht und verfälscht somit die Messergebnisse (Zhang et al., 2023).
Messgerät	Zwei verschiedene Messgeräte wurden verwendet (Ersatz durch baugleiches Gerät während Reparatur des ursprünglichen Gerätes).
Winkel	Es wurde 45 Grad gegen den Zenit und in alle Himmelsrichtungen gemessen.
Transportmittel	Es wurden sowohl mit dem Elektrofahrrad, mit dem Auto wie auch zu Fuss Messstandorte erreicht.

Einmal wurde bei Schnee gemessen, da im vornherein nicht klar war, dass es auf dem Randen geschneit hatte (I1-I4). Einige Messungen waren bezüglich der Bewölkung nicht optimal. Die besten Messwerte wurden bei optimalen Bedingungen im Sommer gemessen (Kapitel 4).

### 3.2.3 Vorgehen bei den Messungen

Vor dem Aufbruch zu den Messungen wurden für jeden Messtag zentrale Rahmenbedingungen dokumentiert.

- Zeitpunkt Beginn astronomische Nacht (Sonne 18 Grad unter Horizont)
- Monduntergang
- Wetterbedingungen (Bewölkung)
- Luftfeuchtigkeit

Es konnte nicht immer gewährleistet werden, dass der Mond während der Messungen bereits untergegangen war. Bei den Messungen A1 und A2 stand der Mond am Himmel. Komplett klare Nächte innerhalb des gewünschten Zeitfensters waren selten und dieser Umstand wurde vor dem Monduntergang priorisiert.

Um das Messgerät einzustimmen, wurden zu Beginn jeweils mehrere Testmessungen gemacht. Diese Messungen wurden nicht protokolliert, da das Gerät eine kurze Einlaufzeit benötigt, bevor stabile Messwerte erzielt werden (Unihedron, 2025). Anschliessend wurden bei jedem Messpunkt folgende Dinge notiert:

- Aussentemperatur
- Uhrzeit
- Interessante Beobachtungen im Umfeld des Messstandorts

Der exakte Standort wurde vor Ort auf Google Maps bestätigt und mit dem entsprechenden Label (z.B. H1) versehen. Die erhobenen Messwerte und Standorte wurden dann nach Abschluss der Messungen jeweils direkt in ArcGIS übertragen.

Die Messung der Himmelshelligkeit erfolgte mit dem SQM-Gerät jeweils dreimal in Richtung Zenit. Um eine möglichst stabile Messposition zu gewährleisten, wurde entweder ein Stativ verwendet oder das Messgerät auf einer festen Unterlage, zum Beispiel dem Autodach, positioniert. Zusätzlich wurden in alle Himmelsrichtungen Messungen im Winkel von 45 Grad durchgeführt, wobei ebenfalls jeweils drei Einzelmessungen gemacht wurden. Der Messwinkel wurde mit einem Geodreieck kontrolliert. Wenn die Messung gegen einen Waldrand zeigte, wurde sie nicht durchgeführt oder dies notiert. Die Messwerte wurden während der Messungen manuell in einem Notizbuch dokumentiert.

Bei allen Mespunkten wurde ein Foto in alle vier Himmelsrichtungen gemacht. Diese Aufnahmen wurden mit einem iPhone 16e gemacht. Lichtglocken und der Skyglow über Städten wie der Stadt Schaffhausen sind auch mit solchen Handykameras gut zu sehen.

Für die Messungen kamen zwei baugleiche SQM-Geräte zum Einsatz. Für alle Messungen, mit Ausnahme der Messungen G1 bis G10 wurde das gleiche Messgerät verwendet. Während der Durchführung der Messungen G1 bis G10, befand sich das ursprünglich verwendete Messgerät aufgrund eines Defekts in Reparatur (Kapitel 6.2.5).

Messung A wurde im März, B Ende April, C Anfang Mai, D Mitte Juni und E und F Mitte September durchgeführt. Es wurden jeweils optimale Messbedingungen abgewartet, weshalb teilweise längere zeitliche Abstände zwischen den Messungen entstanden sind. Zusätzlich setzt die astronomische Nacht in den Sommermonaten erst nach Mitternacht ein, was die Durchführung der Messungen erschwerte und zu Messpausen führte. Messung G wurde Anfang November, die Messungen H und I wurden Mitte November durchgeführt. Aufgrund des erhöhten Zeitdrucks wurden in diesem Zeitraum teilweise auch Messungen unter nicht optimalen Bedingungen durchgeführt, was bei der späteren Auswertung berücksichtigt wurde.

Die detaillierten Messungsergebnisse sind in Anhang II einzusehen.

### 3.2.4 Datenanalyse

Die in dieser Arbeit verwendeten Helligkeitsdaten stammen von einer TESS-Messstation (SH926) des Netzwerks Stars4All, die öffentlich zugänglich sind (Stars4all foundation, 2025a). Die Messstation erfasst kontinuierlich in 60-Sekunden-Schritten die Himmelshelligkeit (mag) in mag/arcsec<sup>2</sup>, die Himmelstemperatur (tsky) in °C sowie die Umgebungstemperatur (tamb) in °C und ermöglicht dadurch eine zeitlich hoch aufgelöste Analyse der Lichtverhältnisse. Zur Abschätzung der Bewölkung wurde die Differenz zwischen Umgebungstemperatur (tamb) und Himmelstemperatur (tsky) herangezogen. Dabei gilt, dass eine grosse Differenz zwischen den zwei Werten auf einen bewölken Himmel hindeutet, während eine geringe Differenz auf einen wolkenfreien Himmel schliessen lässt.

Die Rohdaten des TESS-Geräts wurden zunächst mithilfe eines von Konrad Kellenberger (Sternwarte Schaffhausen) entwickelten Auswertungsskripts in GNU Octave verarbeitet (GNU Octave, 2025). Da tagsüber auch gemessen wird, wurden für die Analyse ausschliesslich Messwerte der Nacht berücksichtigt. Dafür wurde der Zeitraum, der analysiert wird, von 20:00 Uhr abends bis 06:00 Uhr morgens definiert. Es wurde eine Darstellung der durchschnittlichen Himmelshelligkeit der letzten drei Jahre sowie eine Darstellung der maximalen Himmelshelligkeit der letzten drei Jahre generiert. Die Darstellungen wurden direkt aus dem Script von Konrad Kellenberger übernommen. Das Script generiert noch weitere Visualisierungen, die für die vorliegende Arbeit nicht weiter berücksichtigt wurden.

Auf Basis der vorverarbeiteten Daten erfolgte abschliessend eine Weiterverarbeitung in GNU Octave. Dabei wurden die Daten mithilfe von Boxplots visualisiert und mittels eines

nichtparametrischen Wilcoxon-Rangsummen-Tests statistisch ausgewertet, um Unterschiede zwischen den Einflussfaktoren von Jahreszeit (Winter/Sommer) und der Mondphase auf ihre Signifikanz zu prüfen.

Da bei den manuellen SQM-Messungen Unterschiede zwischen den Sommer- und Wintermonaten festgestellt wurden, wurden zum Vergleich der manuellen Daten die Messdaten des TESS der Sternwarte Schaffhausen in Winter- und Sommermonate eingeteilt. Dabei wurden die Monate November bis Februar dem Winter zugeordnet und die Monate Juni bis August als Sommerperiode definiert.

Die Berücksichtigung des Einflusses des Mondes stellt eine Herausforderung dar, da die Mondhelligkeit nicht nur von der Phase, sondern auch von der Mondhöhe über dem Horizont sowie vom genauen Beobachtungszeitpunkt abhängt. Eine direkte Messung dieser Werte ist in den vorliegenden TESS-Daten nicht enthalten. Zur Abschätzung der Mondphase und der Mondhöhe wurden daher astronomische Näherungsberechnungen verwendet. Diese Berechnungen wurden mithilfe einer algorithmischen Unterstützung durch das KI-Modell Gemini (Google) angewendet. Die Tage werden algorithmisch nach Mondphasen klassifiziert, jedem Tag wird ein Mondphasenparameter (0-1) zugeteilt.

Der Wilcoxon-Rangsummen-Test wurde gewählt, da in den vorliegenden Messdaten keine Normalverteilung angenommen werden kann und einzelne Ausreisser auftreten. Als nichtparametrischer Test ist er robust gegenüber solcher Effekte und eignet sich daher für den Vergleich unabhängiger Stichproben (Hollander et al., 2015).

### **3.2.5 Konzepterstellung Förderung Nachtdunkelheit und Ermittlung des touristischen Potentials**

Die Erstellung des Konzepts Förderung Nachtdunkelheit (Kapitel 0) basiert auf einer Literaturrecherche zum Thema, wie die Nachtdunkelheit erhalten werden kann (Kapitel 2). Die Ermittlung des touristischen Potentials (Kapitel 4.4) basiert ebenfalls auf einer Literaturrecherche und auf der Auswertung der Messungsergebnisse (Kapitel 4.4). Dabei wurden für beide Themen auch die Informationen des Naturpark Gantrisch (Kapitel 2.5.1 und 2.8) und bestehender Angebote in Sternenparks zum Thema Nachtdunkelheit und Tourismus mit einbezogen (Biosphärenreservat Rhön, 2025; Sternenpark Attersee/Traunsee, 2024).

## **4 Ergebnisse**

Die detaillierten Messergebnisse sind in Anhang II in Tabellenform einzusehen.

## 4.1 Messungsergebnisse

Im Rahmen der Feldarbeit wurden an insgesamt zehn Tagen 74 Einzelmessungen durchgeführt. An einem Messtag (18.10.2025) konnten keine Messdaten erhoben werden, da das Messgerät einen Defekt aufwies. Die Messungen wurden mit zwei SQM-L-Geräten durchgeführt. Messungen G1- G10 wurden mit einem neuen Messgerät erfasst, da sich das ursprünglich verwendete Gerät zu diesem Zeitpunkt in der Reparatur befand, die Messungen H1- H11 und I1- I4 dann wieder mit dem reparierten ursprünglichen Messgerät.

Die Messbedingungen veränderten sich während des Jahres. Während die Messungen A bis F unter nahezu optimalen Bedingungen durchgeführt werden konnten, mit klarem Himmel, Messzeitpunkten nahe dem Neumond sowie innerhalb der astronomischen Nacht, waren die Bedingungen bei den Messpunkten G bis I eingeschränkt. Bei den Messungen I lag Schnee, die Messungen H wiesen wesentlich schlechtere Werte auf, was auf schlechtere Bedingungen schliessen lässt (Siehe Kapitel 6.2.4) und die Messpunkte G wurden mit dem neuen Messgerät aufgenommen und der Himmel war nicht vollständig klar und wies einige kleine Wolken auf.

Einige Messpunkte wurden wiederholt gemessen, um die Reproduzierbarkeit der Messungen zu überprüfen. Drei Messpunkte im Gebiet des Randen (B7, B8, B9) wurden insgesamt viermal gemessen, wobei jeweils eine Messung mit dem neuen Messgerät erfolgte (G1-G10). Zusätzlich wurde am Messpunkt H1 eine Vergleichsmessung mit beiden SQM-Geräten durchgeführt. Tabelle 2 zeigt den Vergleich der Messwerte des ursprünglichen und des neuen SQM-L-Messgeräts am Messpunkt H1. Die durchschnittliche Abweichung zwischen den beiden Geräten beträgt 0.12 mag/arcsec<sup>2</sup>.

Tabelle 2: Vergleich ursprüngliches und neues Messgerät

	Ursprüngliches Messgerät SQM-L (Unihedron, 2025)	Neues Messgerät SQM-L (Unihedron, 2025)
Einzelmessungen [mag/arcsec <sup>2</sup> ]	20.87, 20.86, 20.85	20.73, 20.76, 20.74
Durchschnitt [mag/arcsec <sup>2</sup> ]	20.86	20.74

Insgesamt weisen die erhobenen Daten eine gute Datenqualität auf. Einzelne Abweichungen lassen sich durch unterschiedliche Messbedingungen (Schnee/Bewölkung) erklären und stellen keine systematischen Messfehler dar. Die Datengrundlage ist daher geeignet, um

Muster der Nachtdunkelheit im RNPSH zu erkennen und zu analysieren. Eine detaillierte Analyse der räumlichen Unterschiede und besonderer Situationen erfolgt in Kapitel 4.2.

## 4.2 Auswertung mit GIS

In Abbildung 10, welche eine Übersicht aller Messungen darstellt, symbolisieren die Punkte jeweils eine Messung, hellblau ist dabei ein schlechterer U-Wert (heller Himmel) und dunkelblau ist ein besserer U-Wert (dunkler Himmel). Wie auf der Karte zu erkennen ist, ist der Bereich im Norden des RNPSH und im Süden besonders hervorzuheben. Im Norden liegt der Randen, dort wurden mit über 21.3 mag/arcsec<sup>2</sup> die höchsten Werte gemessen. Im Süden befindet sich das Wangental. Hier wurden ebenfalls Werte über 21 mag/arcsec<sup>2</sup> gemessen.

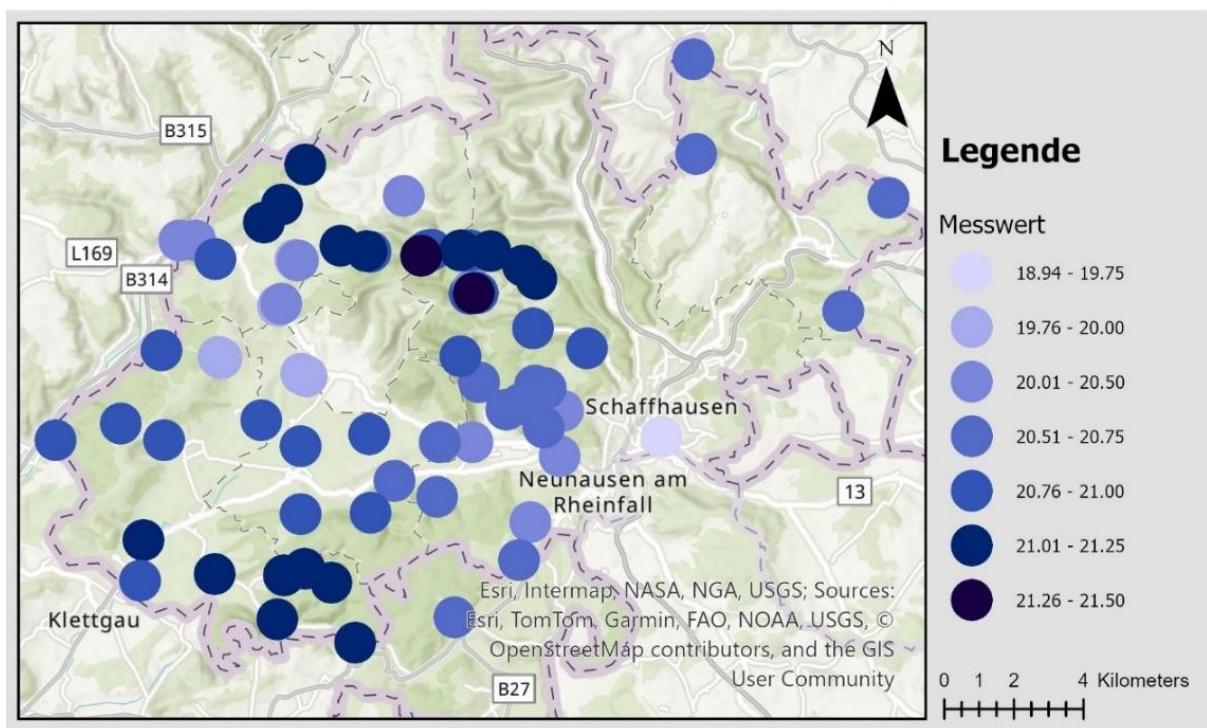


Abbildung 10: Übersicht der Messergebnisse aller Messtage (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

Die Übersicht in Abbildung 11 zeigt die räumliche Verteilung der Messungen A, B, C, D und E, die bei optimalen Bedingungen durchgeführt wurden. Messung B8 hat den höchsten Wert, der bei allen Messungen gemessen wurden. Außerdem finden sich 18 Messpunkte, die Werte von über 21 mag/arcsec<sup>2</sup> aufweisen. Es zeigt sich wieder die Summierung von hohen Werten im Bereich des Randen und des Wangentals (D3-D8). Auch bei Erzingen wurde bei Messung D1 ein Wert von 21.04 mag/arcsec<sup>2</sup> gemessen.

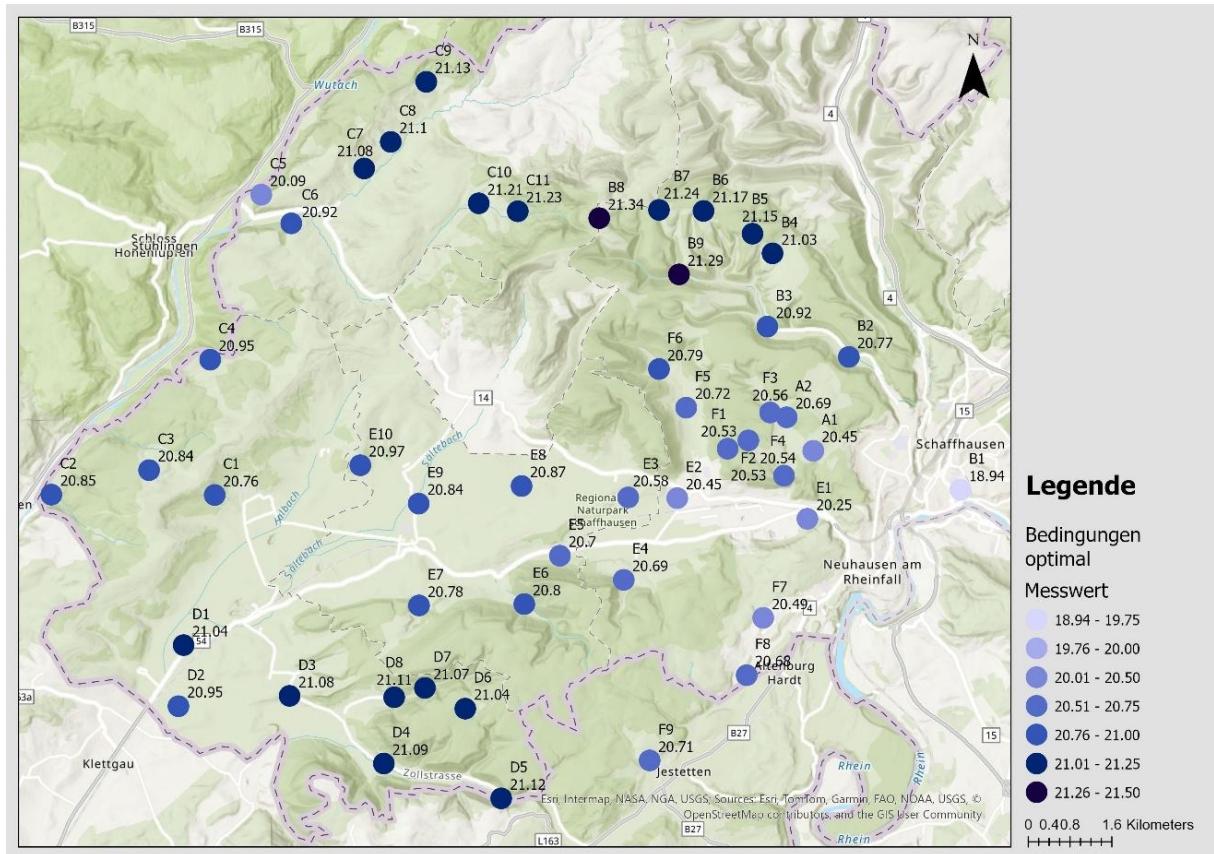


Abbildung 11: Räumliche Darstellung der Messungen A, B, C, D, E und F (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

In Abbildung 12 sind die Messungen G, H und I im Bereich des Randen, Schleitheim und Thayngen abgebildet. Bei diesen Messungen wurden keine Werte über  $21 \text{ mag/arcsec}^2$  gemessen, obwohl die Punkte H1, H2, H3, I1, I2, I3, G8, G9, G19 Wiederholungsmessungen an Orten waren, die in den Messungen B und G besonders hohe Werte erzielt haben. Die Bedingungen an diesen Messstagen waren suboptimal und die Messungen G wurden mit dem neuen Messgerät gemacht. Das Gerät hat eine Abweichung von minus  $0.12 \text{ mag/arcsec}^2$  (Kapitel 6.2.5), gibt also schlechtere Werte als das ursprüngliche Messgerät an.

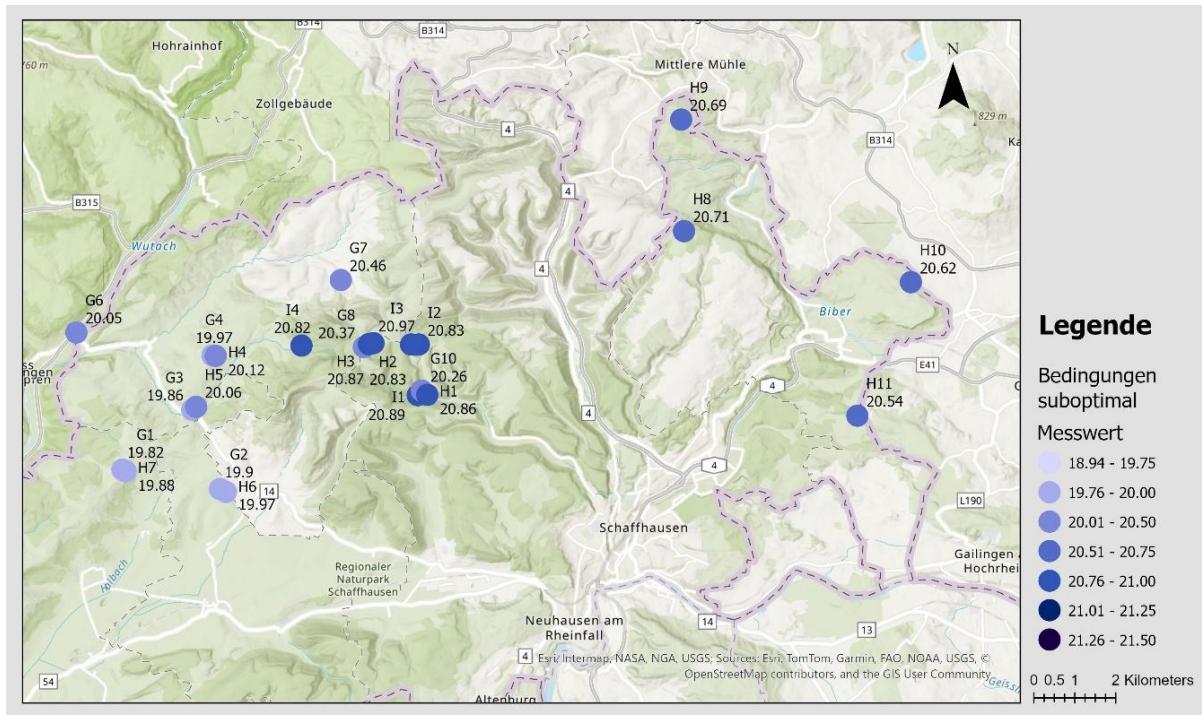


Abbildung 12: Räumliche Darstellung der Messungen G, H und I bei suboptimalen Bedingungen (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

In Abbildung 13 ist eine Nahaufnahme der Messungen bei Schleitheim ersichtlich. C7, C8 und C9 wiesen gute Werte von über 21 mag/arcsec<sup>2</sup> auf. Die Lage am westlichen Rand des Randen schirmt diese Standorte etwas vom Licht, das von der Stadt Schaffhausen ausgeht, ab. In Stühlingen wurden mit C6 und G5 eher niedrige Werte gemessen. Stühlingen hat Industrie und eine Tankstelle unweit der Messungsstandorte, die eine starke Lichtabstrahlung aufweisen. Messung G7 befindet sich auf dem Gemeindegebiet der Gemeinde Begglingen, die nicht Teil des RNPSH ist.

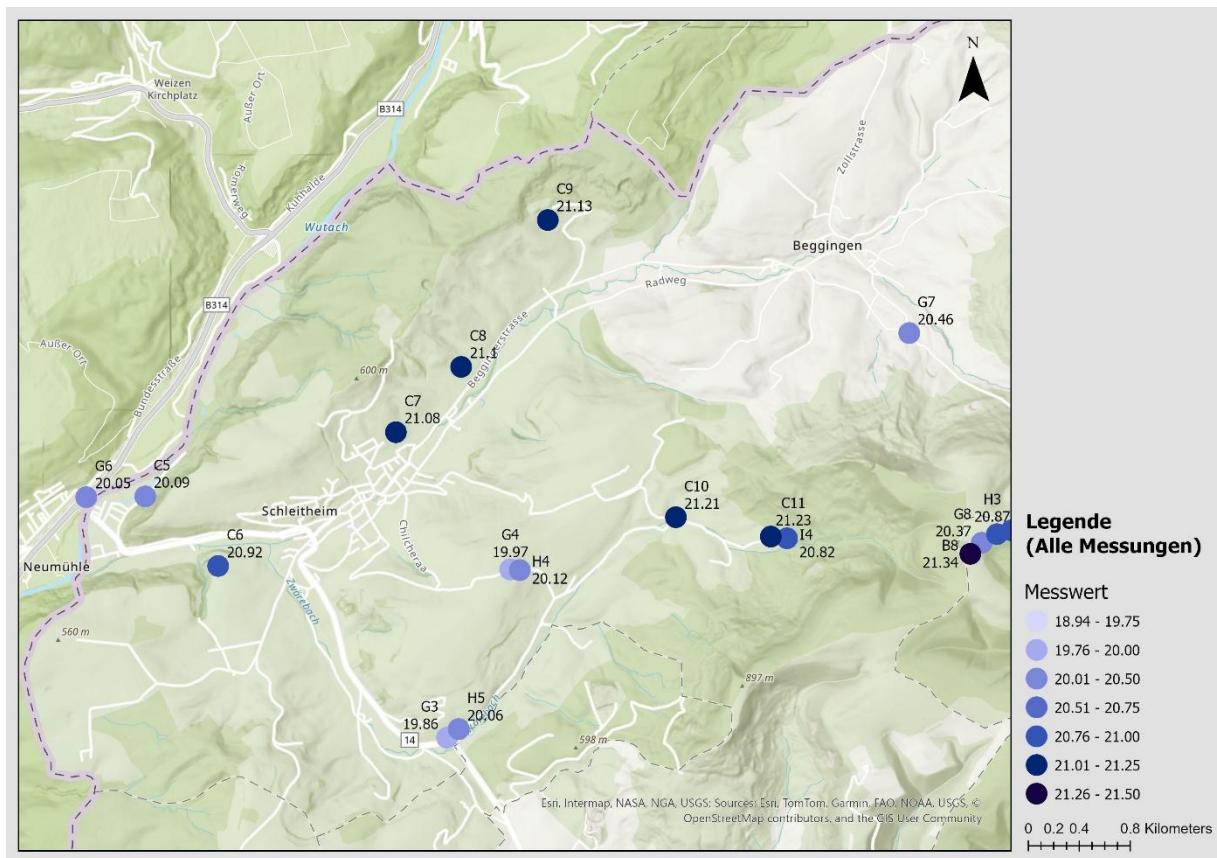


Abbildung 13: Räumliche Darstellung der Messungen bei Schleitheim (Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

In Abbildung 14 ist eine Nahaufnahme der Messungen in Wilchingen, Osterfingen und dem Wangental zu erkennen. Die besten Werte wurden bei den Messungen D3 bis D8 im Bereich des Wangentals und des Rossbergs gemessen. Interessant ist der Wert D3, der mit 21.08 mag/arcsec<sup>2</sup> einen Wert über 21 mag/arcsec<sup>2</sup> aufweist, aber sehr nahe am Dorf Wilchingen gelegen ist. Die Messung D3 wurde um 01:03 in der Nacht gemacht. Um diese Zeit ist der Einfluss der Belichtung aus den Privathäusern gering. Außerdem war an diesem Tag der Mond bereits untergegangen und nicht am Himmel zu sehen.

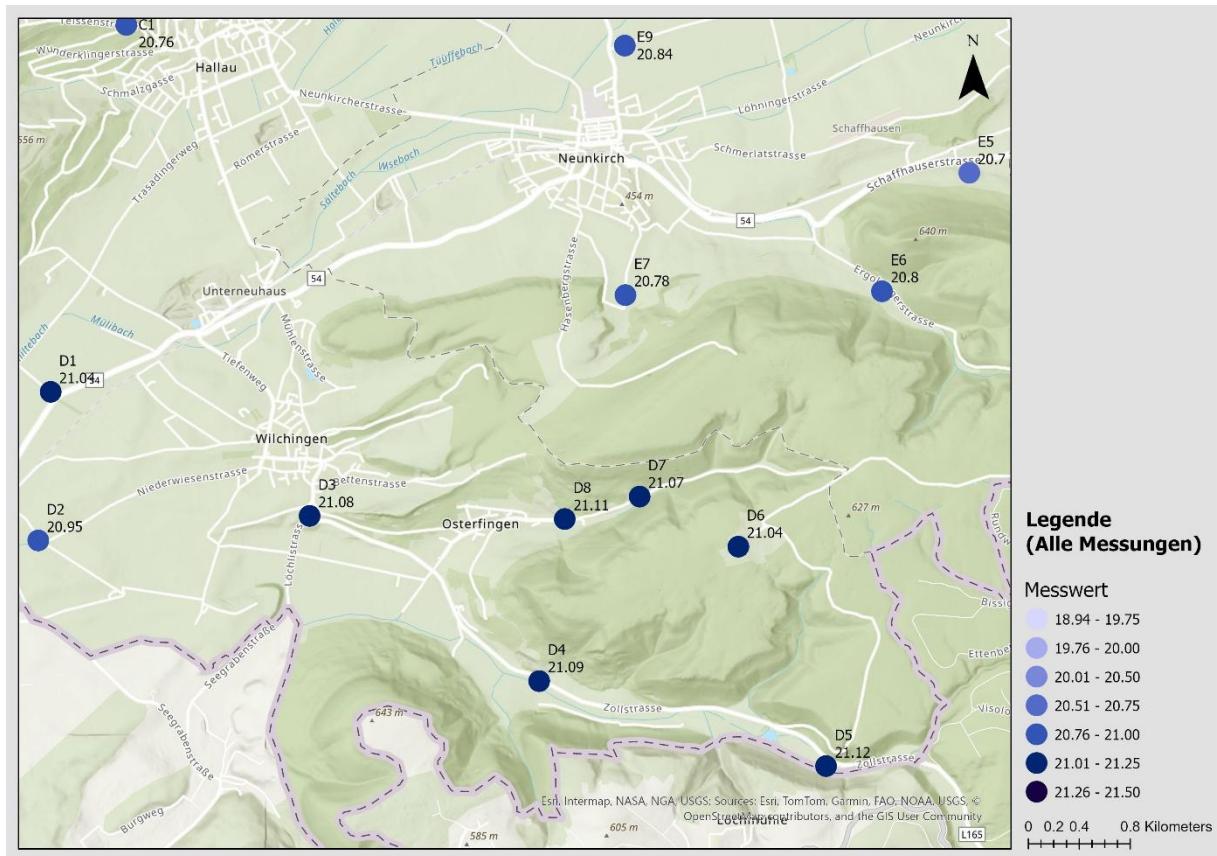


Abbildung 14: Räumliche Darstellung der Messungen im Bereich von Osterfingen und des Wangentals (Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

In der untenstehenden Abbildung 15 ist ein Detailausschnitt aus den Messungen im Bereich des Randen und des Hemmentals zu sehen. Hier wurden an den Messstandorten B4 bis B9 die besten Werte im Vergleich zu allen durchgeföhrten Messungen erhoben. An den Standorten wurden deshalb nochmals jeweils drei Messungen durchgefördert. Es konnte in keiner Wiederholungsmessung erneut ein Wert von über 21 mag/arcsec<sup>2</sup> gemessen werden. Wie bereits erwähnt, waren die Bedingungen bei den Messungen G, H und I suboptimal und bei der Messung G musste ein neues Messgerät verwendet werden.



Abbildung 15: Räumliche Darstellung der Messungen im Bereich des Randens und des Hemmentals (Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025))

## 4.3 Nachtdunkelheit im Regionalen Naturpark Schaffhausen

Die im RNPSH erhobenen SQM-Messwerte ermöglichen eine Differenzierung der Nachtdunkelheit. Im Folgenden werden die räumliche Verteilung der Messwerte, besonders dunkle und helle Bereiche sowie der Einfluss der Bedingungen auf die Ergebnisse dargestellt. Zusätzlich erfolgt ein Vergleich der manuellen SQM-Messungen mit den stationären TESS-Daten.

### 4.3.1 Räumliche Verteilung der Nachtdunkelheit

Die Messungen zeigen eine deutlich räumliche Verteilung der Messungen im Untersuchungsgebiet. Die nördlichen und südlichen Bereiche des RNPSH weisen höhere Dunkelheitswerte auf als die Siedlungsräume im Zentrum des RNPSH. Besonders hohe Werte wurden in wenig besiedelten Gebieten gemessen, während um die stärker besiedelten Gebiete und im Klettgau höhere Werte gemessen wurden. Die Topografie spielt auch eine Rolle. In den abgelegenen und von Hügelzügen abgeschirmten Bereichen wie nördlich von Schleitheim und im Wangental wurden höhere Messwerte erhoben.

Die Bandbreite der Messungen bewegt sich zwischen 16.49 mag/arcsec<sup>2</sup> (Messung G5) bis 21.34 mag/arcsec<sup>2</sup> (Messung B8). Die höchsten gemessenen Dunkelheitswerte befinden sich im Bereich des Randen und des Wangentals bei Osterfingen. Die niedrigsten Werte wurden in Regionen mit Einfluss von künstlichen Lichtquellen gemessen, besonders in der Nähe der Stadt Schaffhausen, Neuhausen und in der Nähe von Stühlingen.

### 4.3.2 Einfluss der Bedingungen auf die Ergebnisse

Die Messwerte weisen je nach Messzeitpunkt und Bedingungen unterschiedliche Streuungen auf. Messungen, die unter optimalen Bedingungen durchgeführt wurden (Abbildung 11), zeigen insgesamt höhere Werte als Messungen bei eingeschränkten Bedingungen (Abbildung 12). Wiederholungsmessungen an identischen Standorten verdeutlichen, dass die gemessene Himmelshelligkeit unter variierenden Bedingungen deutlich schwanken kann.

### 4.3.3 Vergleich der manuellen SQM-Daten mit TESS-Daten

Die TESS-Daten der Sternwarte Schaffhausen zeigen vergleichbare Messwerte zu den manuell durchgeführten SQM-Messungen. Saisonale Schwankungen sind sichtbar. Die Werte des TESS-Gerätes bewegen sich um die 20 mag/arcsec<sup>2</sup>. Der Messpunkt A1 liegt etwas westlich der Sternwarte und ergab mit dem SQM-L-Messgerät bei optimalen Bedingungen am 5. März 2025 einen Wert von 20.45 mag/arcsec<sup>2</sup>.

## 4.4 Touristisches Potenzial der Dunkelheit im Regionalen Naturpark Schaffhausen

Auf Basis der durchgeföhrten Messungen lassen sich innerhalb des RNPSH Bereiche identifizieren, die grundsätzlich ein Potential für nachtdunkelheitsbezogene touristische Angebote aufweisen. Auf Grundlage der Ergebnisse lassen sich der Randen, das Wangental sowie einige Gebiete nördlich von Schleitheim als potenziell geeignete Gebiete identifizieren. In diesen Regionen wurden hohe Werte gemessen. Das Wangental und der Rossberg sind eher kleinräumig und weisen wenig freie Flächen auf. Das Gebiet auf dem Randen westlich des Hemmentals weist durch die Nähe zur Sternwarte und zur Stadt Schaffhausen eine gute Erreichbarkeit auf.

Die Analyse der Messstandorte zeigt auf, dass besonders dunkle Bereiche teilweise mit einer eingeschränkten Erreichbarkeit verbunden sind. Mehrere Messpunkte mit hohen Werten liegen abseits befestigter Wege in topografisch anspruchsvollen Lagen. Gleichzeitig werden auch einzelne gut erreichbare Standorte mit hohen Dunkelheitswerten identifiziert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im RNPSH mehrere Bereiche mit hoher Nachtdunkelheit vorhanden sind, die touristisches Potenzial aufweisen. Das Potenzial ist räumlich ungleich verteilt und konzentriert sich auf wenig besiedelte Gebiete, während siedlungsnahe Bereiche deutlich geringere Voraussetzungen bieten. Das Gebiet nordwestlich des Hemmentals bietet jedoch einige Möglichkeiten durch die Nähe zur Sternwarte.

## 4.5 Fotos

Bei jeder Messung wurde jeweils ein Foto in alle vier Himmelsrichtungen gemacht (Kapitel 3.2.3). In Abbildung 16 sind die Fotos in alle Himmelsrichtung der Messung D6 um 01:35 am 22.06.2025 auf dem Rossberg abgebildet. In südlicher Richtung ist eine Lichtglocke erkennbar die auf die im Süden liegende Stadt Zürich, Bülach oder den Flughafen zurückzuführen sein könnte. Auf vielen der Fotos ist der Einfluss der Stadt Schaffhausen zu erkennen.



Abbildung 16: Einfluss der Stadt Zürich und des Flughafens, Messung D6 (Rossberg, eigene Aufnahme)

## 4.6 Datenanalyse

Die dargestellte Zeitreihe in Abbildung 17 beginnt am 6. September 2022 und erlaubt die Untersuchung langfristiger Veränderungen sowie saisonaler Schwankungen der Himmelshelligkeit. Die Abbildung zeigt einen klaren saisonalen Verlauf der gemessenen Himmelshelligkeit mit wiederkehrenden Minima und Maxima, die mit der jahreszeitlich variierenden Nachtlänge und den astronomischen Bedingungen zusammenhängen.

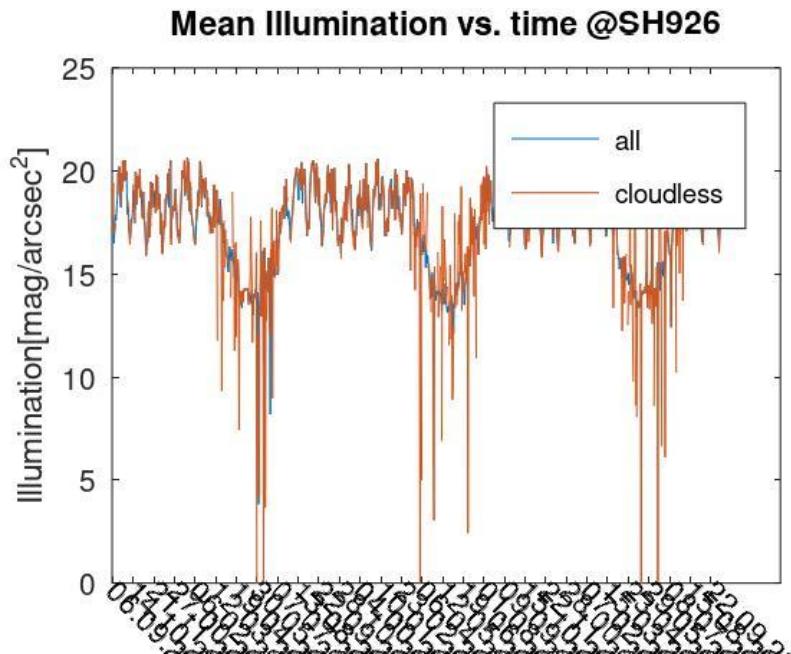


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der mittleren Himmelshelligkeit mit saisonalen Schwankungen an der TESS-Messstation SH926 (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten (<https://foundation.stars4all.eu/tess-w-night-sky-brightness-photometer/>), Auswertung nach Konrad Kellenberger (Octave))

In Abbildung 18 wird die maximale nächtliche Himmelshelligkeit pro Tag am TESS-Standort SH926 dargestellt. Die Werte in blau zeigen alle Messungen, die orangen Werte zeigen Messungen, bei denen wolkenarme Bedingungen angenommen wurden. Die Werte bewegen sich um Werte von ca. 17-20.5 mag/arcsec<sup>2</sup>.

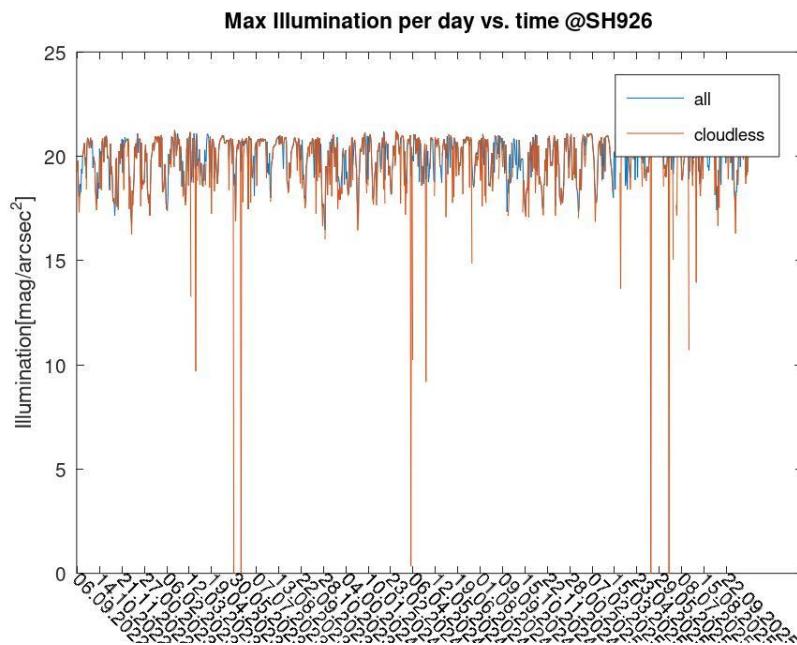


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der maximalen Himmelshelligkeit mit Schwankungen an der TESS-Messstation SH926 (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten (Stars4all foundation, 2025b), Auswertung nach Script von Konrad Kellenberger (Octave))

Die Boxplots in Abbildung 19 zeigen den Vergleich der maximalen nächtlichen Himmelshelligkeit zwischen den Nächten mit dunkler Mondphase (nahe Neumond) und heller Mondphase (nahe Vollmond). Übergangsphasen wurden nicht berechnet, um eine klare Trennung der beiden Gruppen zu gewährleisten. Die Analyse basiert auf einer Berechnung, die die Tage algorithmisch nach Mondphase klassifiziert, basierend auf einem kontinuierlichen Mondphasenparameter (0-1). Diese Berechnung wurde mithilfe der KI Gemini (Google) durchgeführt. Die Himmelshelligkeit wird in  $\text{mag/arcsec}^2$  dargestellt, wobei höhere Werte dunklere Himmel anzeigen. Die Messungen während dunkler Mondphasen weisen im Median höhere Werte auf als jene während hellen Mondphasen. Dies deutet darauf hin, dass der Nachthimmel bei dunklem Mond im Mittel dunkler ist als bei hellem Mond. Die Werte bei heller Mondphase zeigen eine grössere Streuung, was auf stärker variierende Lichtverhältnisse hinweist. Mehrere Ausreisser sind bei dunklen Mondphasen erkennbar, bei denen trotz dunkler Mondphase tiefe Werte gemessen wurden. Diese Abweichungen weisen darauf hin, dass neben den Mondphasen weitere Faktoren wie Bewölkung oder der Zustand der Atmosphäre einen Einfluss auf die gemessene Himmelshelligkeit haben. Der statistische Vergleich der beiden Mondphasen zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen, was den Einfluss der Mondphase auf die Nachtdunkelheit bestätigt.

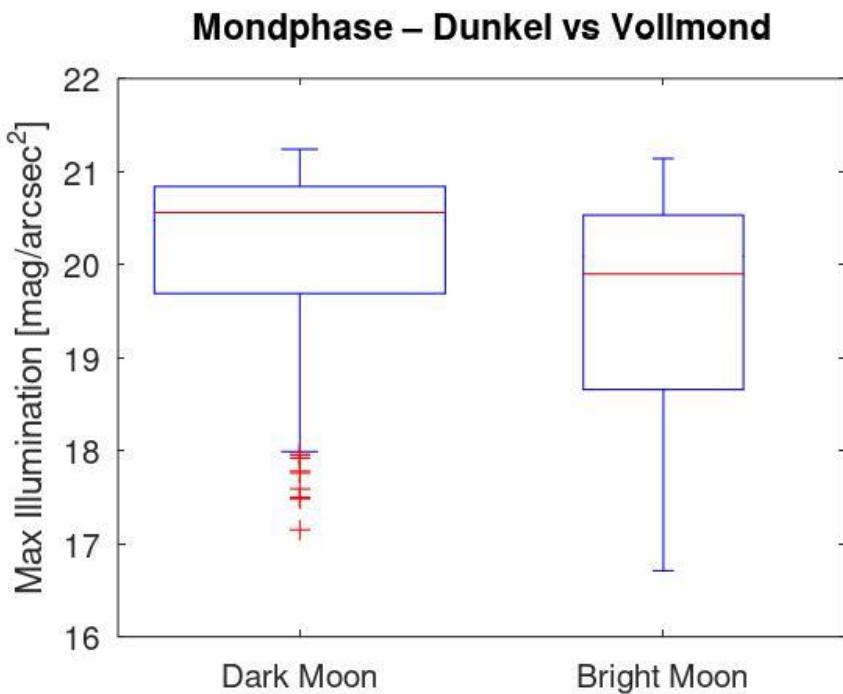


Abbildung 19: Boxplot der maximalen Himmelshelligkeit Dunkler Mond vs. Heller Mond, (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten (Stars4all foundation, 2025b), Auswertung nach Script von Konrad Kellenberger (Octave), und statistische Analyse durch Isabel Müller mit Hilfe des KI-Modells Gemini (Google))

Abbildung 20 zeigt einen Boxplot-Vergleich der maximalen nächtlichen Himmelshelligkeit am Standort SH926, getrennt nach Winter- und Sommermonaten (Kapitel 3.2.4). Die Wintermonate weisen im Median höhere maximale Himmelshelligkeitswerte auf als die Sommermonate. Die Streuung ist im Sommer grösser. In beiden Jahreszeiten treten Ausreisser auf. Die Ausreisser sind in den Sommermonaten grösser, was sich in sehr niedrigen Einzelwerten widerspiegelt. Der statistische Vergleich der beiden Gruppen ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen Winter und Sommer. Trotz einer teilweisen Überlappung der Wertebereiche bestätigt der Test, dass sich die Werte der Himmelshelligkeit zwischen den beiden Jahreszeiten systematisch unterscheiden. Die manuellen Messungen ergaben eher weniger gute Werte in den Wintermonaten, weshalb der Unterschied von Sommer zu Winter analysiert werden sollte. Die Statistik ergab hier aber genau das gegensätzliche Bild. Die schlechteren Werte der Messungen G, H und I sind durch erhöhte Luftfeuchtigkeit, Bewölkung und Schnee zu erklären.

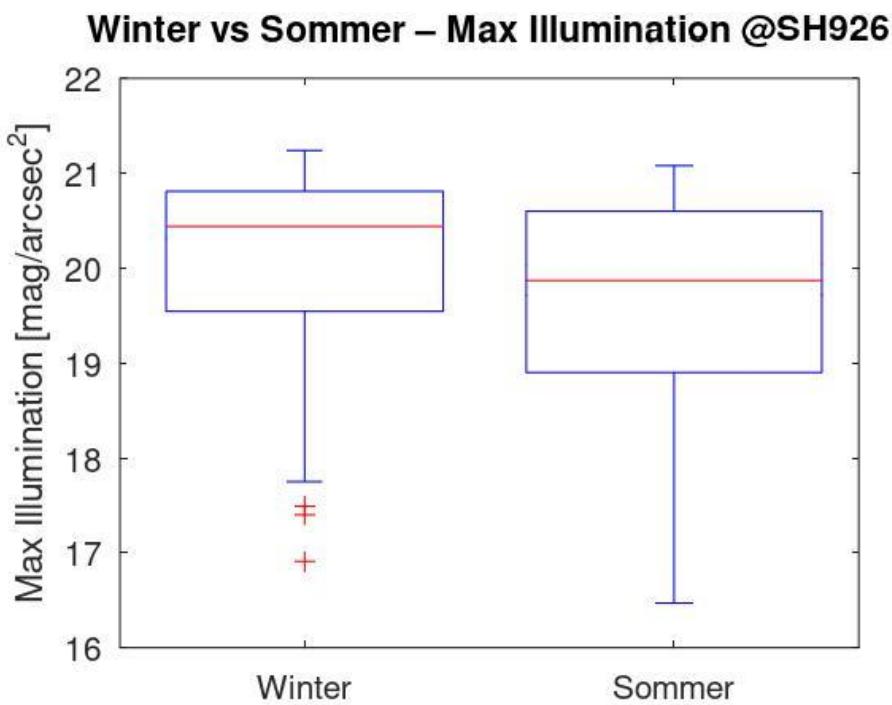


Abbildung 20: Boxplot der maximalen Himmelshelligkeit Wintermonate vs. Sommermonate, (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten (Stars4all foundation, 2025b), Auswertung nach Script von Konrad Kellenberger (Octave) und statistische Analyse durch Isabel Müller)

## 5 Konzept Förderung Nachtdunkelheit

Die Förderung der Nachtdunkelheit im RNPSH stellt einen bedeutenden Beitrag zum Schutz der Umwelt, Biodiversität und der Lebensqualität dar. Dunkle Nächte ermöglichen nicht nur die Beobachtung des Sternenhimmels, sondern wirken sich auch positiv auf nachtaktive Tierarten, Pflanzen sowie den menschlichen Biorhythmus aus (Kapitel 2). Die Nachtdunkelheit stellt damit eine Ressource dar, die ökologische, kulturelle und gesellschaftliche Dimensionen vereint.

Für die Umsetzung eines wirksamen Förderkonzepts ist die Zusammenarbeit mit bestehenden Institutionen und Akteuren zentral. Die Kooperation mit der Sternwarte Schaffhausen und der Organisation DarkSky Switzerland bietet fachliche Kompetenz und Zugang zu bestehendem Wissen. Die Zusammenarbeit mit den Gemeinden des RNPSH aber auch mit jenen, die nicht Teil des Naturparks sind, ist zentral. Indem man möglichst viele Akteure ins Boot holt, die das Gebiet des RNPSH betreffen, kann viel erreicht werden. Praxisbeispiele aus der Region zeigen, dass Massnahmen zur Reduktion künstlicher Beleuchtung umgesetzt werden können. So wurde erreicht, dass die Gemeinde Flurlingen die Strassenbeleuchtung nachts vollständig abschaltet. Durch diese Veränderung ist die Milchstrasse nun aus der Mitte des Dorfs erkennbar.

Auf Ebene der Gemeinden im RNPSH bietet sich die Chance, Erfahrungen auszutauschen und voneinander zu lernen. Während einzelne Gemeinden bereits Massnahmen zur Reduktion der Lichtverschmutzung umgesetzt haben, wird in anderen Gemeinden zurückhaltender agiert. Für das Konzept ist daher entscheidend, dass Möglichkeiten zum Dialog geschaffen werden.

Als organisatorischer Rahmen bietet sich die Bildung einer Interessengemeinschaft, etwa in Form einer «IG Licht aus», an. Diese kann Gemeinden, diejenigen des RNPSH, aber auch die, die nicht Mitglied sind, sowie Fachstellen (DarkSky) und interessierte Einzelpersonen zusammenbringen. Im Rahmen der IG könnte ein runder Tisch organisiert werden. Dabei könnten Fragen zur Sicherheit, Akzeptanz und Umsetzungspunkte gemeinsam diskutiert werden. Auch Massnahmen, die nicht verhandelbar sind, zum Beispiel die Abschaltung der Beleuchtung der Bergkirchen, können dabei bestimmt werden. Der richtige Zeitpunkt zur Abschaltung der Strassenbeleuchtung könnte so ermittelt werden, indem Vertreter und Fachpersonen ihre Erfahrungen teilen können. Eine Studie zeigt, dass eine Reduktion oder zeitlich begrenzte Abschaltung der Beleuchtung nicht zwangsläufig zu mehr Kriminalität führt (Struyf et al., 2019). Da dies eine oft angemerkt Sorge ist, wenn es um Strassenbeleuchtung geht, ist es umso wichtiger, diese Bedenken an einem runden Tisch mit den Akteuren diskutieren zu können.

Zur Unterstützung der Diskussion am runden Tisch kann ein kurzes Infoblatt erstellt werden, das die Vorteile der Reduktion oder zeitlichen Abschaltung der Beleuchtung übersichtlich darstellt. Einsparpotenziale bei den Stromkosten sowie positive Effekte auf die Biodiversität und Lebensqualität sollten mit konkreten Zahlen dargestellt werden.

Inhaltlich setzt das Konzept bewusst auf eine Priorisierung von einfach umsetzbaren und kostengünstigen Massnahmen. An erster Stelle steht die nächtliche Abschaltung oder Reduktion der Strassenbeleuchtung in geeigneten Bereichen, da diese Massnahme ohne grössere Investitionen realisierbar ist und einen unmittelbaren Effekt auf die Nachtdunkelheit hat. Darauf aufbauend können intelligente Beleuchtungssysteme weiterentwickelt werden, bei denen Licht je nach Bedarf gesteuert wird. Weitere Ansatzpunkte liegen in der Überprüfung von Sportplätzen und öffentlichen Einrichtungen mit dem Ziel, Dunkelkorridore zu erhalten und unnötige Dauerbeleuchtung zu vermeiden. Leuchten, die ersetzt werden müssen, sollen durch Leuchten, die eine Lichtfarbe von weniger als 3000 Kelvin aufweisen, ersetzt werden. Die Massnahmen aus Kapitel 2.6 und 2.7 können dabei als Anhaltspunkt dienen.

Zur langfristigen Sicherung der Nachtdunkelheit ist ein begleitendes Monitoring sinnvoll. Wiederkehrende Messungen mit SQM-Geräten und die Installation von stationären TESS-Geräten an ausgewählten Orten ermöglichen es, Fortschritte zu dokumentieren. Mit diesen Daten kann der Unterschied, der die Abschaltung der Strassenbeleuchtung ausmacht, mit einer Grundlage erklärt und diskutiert werden. Eine Zertifizierung von DSI gibt Zielvorgaben zur Erhaltung der Nachtdunkelheit vor und kann unterstützend wirken, indem sie den beteiligten Akteuren eine gemeinsame Orientierung bietet.

Ein zentraler Pfeiler des Konzepts sind Bildungs- und Sensibilisierungsangebote. Die Förderung des Bewusstseins für den Wert der Nacht trägt wesentlich dazu bei, Nachtdunkelheit langfristig zu schützen. Veranstaltungen wie eine Nacht der Sterne, die in verschiedenen Sternenparks durchgeführt wird, Angebote in Zusammenarbeit mit der Sternwarte Schaffhausen und Exkursionen in der Nacht machen die Dunkelheit erlebbar. Ergänzend dazu können Bildungsangebote für Schulen und Erwachsene das Thema Nachtdunkelheit sichtbarer machen. Mehr Informationen zum Thema führen langfristig zu einer höheren Akzeptanz von Schutzmassnahmen.

Ergänzend zu Veranstaltungen und Bildungsangeboten können auch thematische Produkte zur Sensibilisierung der Nachtdunkelheit beitragen. Denkbar sind beispielsweise ein Kinderbuch zur Bedeutung der Nacht, Bücher zur Sternenbeobachtung oder regionale Produkte, die symbolisch mit der Dunkelheit und der Nacht sowie der Region verknüpft sind («Sternenförmige Schaffhauserzungen»). Die Entwicklung solcher Produkte könnte in Zusammenarbeit mit lokalen Akteuren erfolgen.

Tabelle 3: Übersicht und Priorisierung des Konzept Förderung Nachtdunkelheit

Phase	Schwerpunkt	Inhalt	Aufwand
1. Vernetzung und Austausch	Aufbau von Strukturen	Bildung einer Interessengemeinschaft (IG Licht aus), Austausch am runden Tisch, Einbindung der Sternwarte/ DSI	Gering
2. Erste Massnahmen	Schnelle Umsetzung	Beleuchtungszeiten anpassen: Nächtliche Abschaltung oder Reduktion der Strassenbeleuchtung, Infoblatt	Sehr gering
3. Technische Optimierungen	Licht bedarfsgerecht einsetzen	Intelligente Strassenbeleuchtung, Dimmung, Bewegungsmelder, gezielte Abschirmung	Mittel
4. Monitoring und Evaluation	Wirkung sichtbar machen	SQM-Messungen, TESS-Gerät, Dokumentation der Entwicklung	Gering bis mittel
5. Bildung und Sensibilisierung	Langfristige Verankerung	Bildungsangebote, Veranstaltung, Öffentlichkeitsarbeit, Umweltbildungsprogramme, Vermarktung lokaler Produkte	Mittel

## 6 Diskussion

Die Messungen ergeben ein Bild der Nachtdunkelheit im RNPSH. Welche Zertifizierung von DarkSky International möglich ist, welche Faktoren die Messungen beeinflusst haben, das touristische Potential und die Massnahmen zur Förderung der Nachtdunkelheit werden in diesem Kapitel diskutiert.

### 6.1 Der Regionale Naturpark Schaffhausen als «Dark Sky Park»

Aufgrund der Messergebnisse ist eine Zertifizierung des Regionalen Naturpark Schaffhausen als «Dark Sky Park» unwahrscheinlich. Im Vergleich zu anderen «Dark Sky Parks» und der Anforderungen durch DSI sind die Messwerte nicht hoch genug. Da der Naturpark Dörfer und Städte enthält und auch durch den angrenzenden Kanton Zürich und das angrenzende Deutschland Lichtverschmutzung ausgesetzt ist, wäre eine Zertifizierung sehr schwierig zu erreichen. Wie die Lichtverschmutzungskarten in Abbildung 21 zeigen, ist der Einfluss der Stadt Schaffhausen auf den RNPSH gross. Im Grossraum Zürich ist die Lichtverschmutzung besonders stark. Der Naturpark Gantrisch befindet sich in einer hellgrünen Zone, welche im Vergleich zum Kanton Schaffhausen bereits aus Satellitenperspektive weniger Lichtverschmutzung aufweist. Es kann aber nicht direkt aus der Lichtverschmutzungskarte auf die Himmelshelligkeit geschlossen werden.

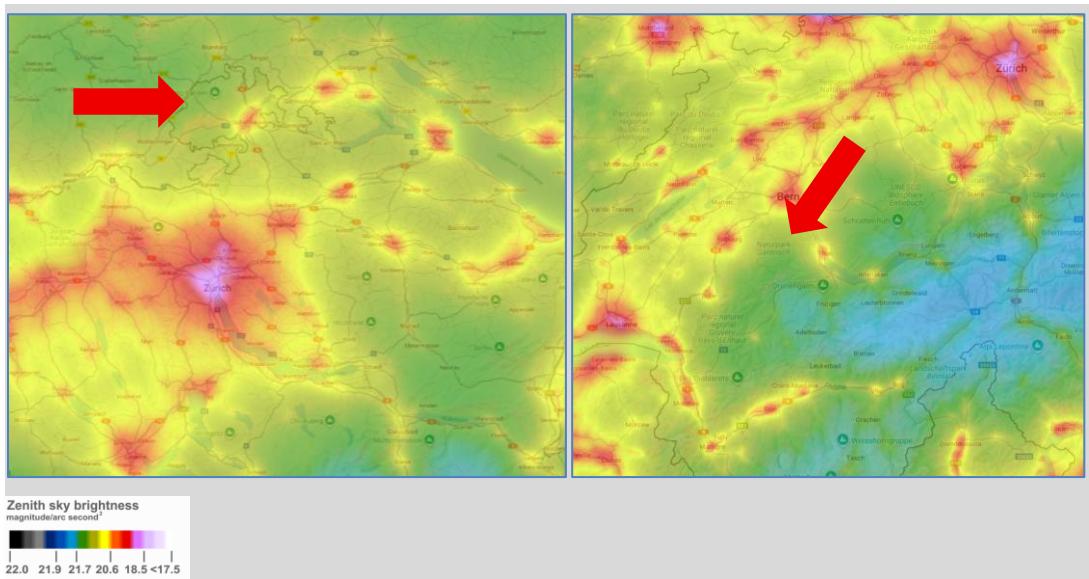


Abbildung 21: Gegenüberstellung Lichtverschmutzungskarte RNPSH (links) und Naturpark Gantrisch (rechts), (Jurij Stare, 2025)

Die meisten Dark Sky Parks sind unberührte Naturparks, meistens unbewohnt, viele befinden sich in der Wüste. DSI bietet jedoch unterschiedliche Zertifizierungen an. Eine Möglichkeit ist die Auszeichnung als «Urban Night Sky Place».

Eine Urban Night Sky Place (UNSP) -Zertifizierung richtet sich an öffentliche Parks, Freiräume oder Beobachtungsorte in städtischer Umgebung, die trotz der Nähe zu Städten ein qualitativ hochwertiges nächtliches Erlebnis mit Blick auf den Sternenhimmel bieten. Voraussetzung ist, dass der Ort innerhalb einer Stadt oder maximal 50 km ausserhalb eines zusammenhängend bebauten Gebietes mit mindestens 10'000 Einwohnern liegt. Der Platz muss öffentlich bei Nacht zugänglich sein, blendendes Licht von aussen sollte möglichst minimiert werden. Alle Flächen, die zur zertifizierten Zone gehören, müssen in der Bewerbung berücksichtigt werden. Während die Umgebung typischerweise durch Lichtverschmutzung geprägt ist, wird darauf geachtet, dass der Ort selbst durch geeignete Massnahmen der Lichtplanung und Beleuchtungsgestaltung ein gutes Nachterlebnis ermöglicht. Die Lage im Hemmental nordwestlich der Sternwarte Schaffhausen wäre ideal, da sich dort kein ALAN in unmittelbarer Nähe befindet (DarkSky International, 2024c).

### **6.1.1 Schritte bis zur Zertifizierung als «Urban Night Sky Place»**

Bis eine Zertifizierung von DSI erreicht wird, können mehrere Jahre verstreichen (DarkSky International, 2024b). Es ist nicht einfach, eine Zertifizierung zu erhalten. Es kann jedoch sehr interessant sein, besonders auch für den touristischen Aspekt. Durch die Sichtbarkeit des RNPSH auf der Website von «Dark Sky International» und «Dark Sky Switzerland» würde die Bekanntheit des Parks steigen.

Kernanforderungen der Zertifizierung umfassen eine 100% DarkSky-freundliche Beleuchtung auf dem Platz des UNSP sowie ein starkes Engagement für Bildung und Öffentlichkeitsarbeit. Besucher sollen über den Wert des natürlichen Nachthimmels, die Auswirkungen von Lichtverschmutzung und verantwortungsvolle Beleuchtung informiert werden. Der Fokus liegt weniger auf dunklen Messwerten, wie sie für Parks oder Reservate gefordert werden, sondern stärker auf Lichtmanagement, Gestaltung des nächtlichen Erlebnisses und pädagogischem Engagement. Außerdem muss man Mitglied bei DSI werden.

Der Zertifizierungsprozess gliedert sich in drei Phasen. In der ersten Phase erfolgt die Eignungsprüfung. Bewerber reichen eine Voranfrage mit Lagekarte, Beschreibung des Ortes und bisheriger Lichtmassnahmen ein. DSI prüft die Unterlagen und gibt Rückmeldung, ob eine Bewerbung sinnvoll ist. Nach positiver Eignung wird eine Anmeldegebühr fällig.

Die zweite Phase ist die formale Bewerbung, die meist ein bis drei Jahre dauert. Sie umfasst die Einreichung umfassender Unterlagen, darunter Nachweise über die Beleuchtung, öffentlich zugängliche Bereiche, Bildungsmassnahmen und Fotos der nächtlichen Umgebung. DSI begleitet die Bewerber während dieses Prozesses mit Feedback zu den eingereichten Entwürfen und Dokumenten. Mindestens 45 Tage vor der finalen Einreichung sollte DSI informiert werden, damit die Bewerbung im nächsten Review-Zyklus berücksichtigt wird.

In der dritten Phase erfolgt die finale Prüfung und Zertifizierung. Das interne Review-Team der DSI überprüft die Unterlagen auf Vollständigkeit und Richtigkeit, bevor das Komitee, bestehend aus externen Experten, eine Empfehlung abgibt. Das Ergebnis kann die Zertifizierung, eine bedingte Zertifizierung mit Nachforderungen oder eine Ablehnung sein. Im Fall einer bedingten Zertifizierung besteht die Möglichkeit, nachzuarbeiten und erneut einzureichen.

Nach Erhalt der Zertifizierung bleibt der Status nicht automatisch bestehen. Jährliche Anforderungen umfassen Monitoring der Nachthimmelsqualität (TESS-W), kontinuierliche Bildungsarbeit und Berichterstattung. Außerdem muss sichergestellt werden, dass keine neuen Beleuchtungen die DSI-Standards verletzen.

Zur Unterstützung des Bewerbungsprozesses stellt DSI zwei PDF-Dokumente bereit. Die Guidelines zum UNSP mit den technischen und organisatorischen Anforderungen und eine Checkliste, die alle einzureichenden Unterlagen auflistet und als praktische Anleitung dient. Der Link zu den PDFs sind im Anhang I zu finden. Zusammen bilden diese Unterlagen die Grundlage für eine vollständige und strukturierte Bewerbung, um eine UNSP-Zertifizierung zu beantragen (DarkSky International, 2024c).

## 6.2 Methodische Unsicherheiten und Einflussfaktoren der Messungen

Die Messung der Nachtdunkelheit ist mit verschiedenen methodischen Unsicherheiten und externen Einflussfaktoren verbunden. Diese können die gemessenen Werte beeinflussen und müssen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

### 6.2.1 Beleuchtung der Dörfer

Eine Unsicherheit in den Messungen, ist das Abschalten der Straßenbeleuchtung in den Dörfern des Kantons Schaffhausen. Es lassen sich nicht bei allen Dörfern verlässliche Quellen zur Abschaltung der Straßenbeleuchtung finden. Da im Sommer die astronomische Nacht viel später eintritt, wurden die Messungen teilweise gemacht, als die Straßenbeleuchtung bereits abgeschaltet war. Dies hat einen Einfluss auf die Messungen, ist aber schwierig nachzuvollziehen. Beim Messen können nicht immer alle Einflussfaktoren beobachtet werden, weshalb Fotos in alle Himmelsrichtungen gemacht werden, die einen Anhaltspunkt geben können. In Abbildung 22 ist zum Beispiel die Stadt Schaffhausen und deren Skyglow stark zu sehen. Gegen Ost ist der Einfluss der Stadt Schaffhausen erkennbar, da die Lichtglocke im Vergleich zu den anderen Bildern stärker ausgeprägt ist. Im Bild gegen Süd ist Beringen zu erkennen, die Straßenbeleuchtung ist noch an. Die Aufnahmen wurden bei der Messung F1 um 22:14 auf dem Beringer Randenturm aufgenommen. Der durchschnittliche Wert lag bei 20.53 mag/arcsec<sup>2</sup> gegen den Zenit. Diese Beispiele zeigen, dass zeitlich variierende

Beleuchtungssituationen in den umliegenden Ortschaften einen Einfluss auf die Messwerte haben können und eine exakte Zuordnung der Lichtemissionen nicht immer möglich ist.



Abbildung 22: Beringer Randenturm, Einfluss der Stadt Schaffhausen und deren Skyglow gegen Ost erkennbar (eigene Aufnahmen)

### 6.2.2 Schnee

Die Messungen I1 bis I4 haben nicht mehr die gleichen Werte erzielt wie die Messungen B7 bis B9. Dies liegt sehr wahrscheinlich am Schnee, der an diesem Tag bis zu 5 cm dick im Gebiet des Randen gefallen war. Schnee hat mit dem Albedo-Effekt einen grossen Einfluss auf die Nachtdunkelheit, da das Licht reflektiert wird (Jechow & Hölker, 2019; Zhang et al., 2023). Daher wurden an diesem Tag im Durchschnitt am Zenit keine Werte mehr gemessen, die über 21 mag/arcsec<sup>2</sup> lagen. Der Einfluss der Schneedecke stellt einen saisonalen Störfaktor dar, der bei Messungen im Winter berücksichtigt werden muss.

### 6.2.3 Mond

Mit einem P-Wert, der gegen Null strebt, ist der Unterschied der Himmelshelligkeit zwischen hellem und dunklem Mond für die Werte des TESS-Geräts der Sternwarte Schaffhausen statistisch signifikant. Der Vollmond kann das Licht um bis zu 3 mag/arcsec<sup>2</sup> verändern. Die SQM-Messungen wurden alle im Zeitfenster zwei Wochen vor und nach Neumond erfasst. Außerdem wurde darauf geachtet, dass der Mond bei Messbeginn bereits untergegangen war. Die einzige Messung, bei der der Mond noch am Himmel stand, sind die zwei Messungen

A1 und A2. Der Einfluss des Mondes kann weitgehend eliminiert werden, stellt aber einen wichtigen Einflussfaktor bei der Messung der Nachtdunkelheit dar.

#### 6.2.4 Bewölkung und Luftfeuchtigkeit

Bewölkung hat den Effekt, dass die vom Boden ausstrahlende Helligkeit reflektiert wird, was SQM-Messungen verschlechtert. Bei den Messungen G und H war der Himmel nicht komplett wolkenfrei. Auch war die Luftfeuchtigkeit sehr hoch, was durch die Streuung des künstlichen Lichts an den Wassertröpfchen denselben Effekt haben kann (Kyba et al., 2011). Hohe Luftfeuchtigkeit kann in der Nähe von Lichtquellen zu einer Aufhellung des Himmels führen, wodurch niedrigere SQM-Werte erfasst werden.

#### 6.2.5 Einfluss des Messgeräts auf die Ergebnisse

Für die Messungen A bis F wurde ein SQM-L-Gerät verwendet, das am 8.10.2025 einen Defekt aufwies. In der Folge wurde ein baugleiches SQM-L-Messgerät bei Unihedron bestellt (Unihedron, 2025).

Dieses neue Messgerät wurde ausschliesslich für die Messungen G verwendet, da sich das ursprüngliche Gerät zu diesem Zeitpunkt in Reparatur befand. Nach Abschluss der Reparatur wurde für alle weiteren Messungen wieder das ursprüngliche SQM-L-Messgerät eingesetzt, um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Um die Vergleichbarkeit der mit beiden Geräten erhobenen Messwerte zu überprüfen, wurde am 18.11.2025 beim Messpunkt H1 ein direkter Vergleich zwischen dem reparierten alten und dem neuen Messgerät durchgeführt.

Der Vergleich zeigt eine durchschnittliche Abweichung von  $0.12 \text{ mag/arcsec}^2$  zwischen den beiden Geräten (Tabelle 2). Diese Abweichung liegt innerhalb der vom Hersteller angegebenen Messunsicherheit von  $\pm 0.1 \text{ mag/arcsec}^2$ . Eine Studie gibt eine Abweichung von  $0.11 \text{ mag/arcsec}^2$  bis  $0.14 \text{ mag/arcsec}^2$  zwischen baugleichen SQM-Geräten an (Pravettoni et al., 2016). Mit dieser Erkenntnis können die mit dem neuen Messgerät erhobenen Messwerte als mit den vorherigen Messungen vergleichbar betrachtet werden. Aufgrund der geringen Anzahl an Messungen mit dem neuen Gerät (G1-G10) und zur Minimierung gerätebedingter Unterschiede wurden die anschliessenden Messungen bewusst wieder mit dem ursprünglichen Messgerät durchgeführt. Dennoch stellt der Gerätewechsel eine methodische Unsicherheit dar, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

## 6.2.6 Topografie

Topografische Unterschiede beeinflussen die räumliche Verteilung von Lichtquellen und die Sichtbarkeit des Skyglow. (Kap 3.1) und sind daher für die Nachtdunkelheit im Gebiet von Bedeutung.

Die besten Werte wurden auf dem Randen im Hemmental und nordwestlich davon gemessen. Durch die erhöhte Lage und viele bewaldete Flächen trägt die Situation dazu bei, dass direkte Lichtquellen abgeschirmt werden und der Einfluss umliegender Gemeinden und der Stadt Schaffhausen reduziert ist. Höhenlagen und bewaldete Gebiete können den Einfluss von Lichtquellen beschränken während Tallagen stärker von Skyglow betroffen sind. Die topografischen Gegebenheiten erklären somit einen Teil der räumlichen Unterschiede in den gemessenen Werten.

## 6.3 Massnahmen zur Förderung der Nachtdunkelheit

Diese Kapitel diskutiert die Frage, welche Massnahmen geeignet sind, um die Lichtverschmutzung im Regionalen Naturpark Schaffhausen zu verringern und die Nachtdunkelheit langfristig zu erhalten.

### 6.3.1 Wirksamkeit der vorgeschlagenen Massnahmen

Die vorgeschlagenen Massnahmen unterscheiden sich in Aufwand, Kosten und Wirkung. Besonders sinnvoll sind sicher Massnahmen, die einfach umzusetzen sind und sofort Wirkung zeigen. Dazu gehört vor allem die zeitlich begrenzte Abschaltung oder Reduktion der Strassenbeleuchtung in der Nacht. Diese Massnahme führt direkt zu einer Verbesserung der Nachtdunkelheit und kann gleichzeitig Stromkosten sparen. Technische Lösungen wie intelligente Strassenbeleuchtung und oder der Einsatz von LEDs bieten weitere Möglichkeiten zur Reduktion der Lichthemissionen. Diese Massnahmen sind jedoch mit mehr Planungsaufwand und höheren Kosten verbunden. Der Nutzen liegt in einer langfristigen Optimierung der Beleuchtung und weniger in einer sofortigen Wirkung. Ein begleitendes Monitoring der Nachtdunkelheit ist wichtig, um die Wirkung der Massnahmen sichtbar zu machen. Wiederkehrende Messungen ermöglichen es, Veränderungen zu dokumentieren und Fortschritte aufzuzeigen.

Die Umsetzung der Massnahmen ist stark von der Bereitschaft und den Ressourcen der einzelnen Gemeinden abhängig. Die Zusammenarbeit zwischen den Gemeinden, Fachstellen und anderen Akteuren ist ein wichtiger Erfolgsfaktor. Eine Interessengemeinschaft kann die Koordination erleichtern und Wissen für alle verfügbar machen. Eine mögliche Zertifizierung im Bereich Nachtdunkelheit kann dabei als Orientierung dienen, sollte jedoch nicht als zwingendes Ziel verstanden werden.

Aus ökologischer Sicht trägt der Erhalt der Nachtdunkelheit im RNPSH besonders zum Schutz nachtaktiver Arten und sensibler Lebensräume bei und stellt damit einen wichtigen Bestandteil des Naturparkauftrags dar (Kapitel 2.4.2).

### **6.3.2 Zielkonflikte und Herausforderungen**

Ein zentraler Zielkonflikt besteht zwischen dem Schutz der Nachtdunkelheit und dem subjektiven Sicherheitsbedürfnis der Bevölkerung. Obwohl eine Studie zeigt, dass reduzierte oder adaptive Beleuchtung nicht zwangsläufig zu einer erhöhten Unfall- oder Kriminalitätsrate führt, ist die Akzeptanz solcher Massnahmen in der Bevölkerung nicht selbstverständlich (Struyf et al., 2019). Auch wirtschaftliche Interessen, wie zum Beispiel durch beleuchtete Werbeanlagen oder Wahrzeichen wie die Bergkirchen, können der Reduktion von Lichtemissionen entgegenstehen. Die Sensibilisierung der Bevölkerung spielt hier eine grosse Rolle. Informationsangebote, Veranstaltungen und Bildungsangebote können das Verständnis für die Bedeutung der Nachtdunkelheit fördern. Dies macht die Implementierung neuer Massnahmen einfacher. Aufgrund begrenzter finanzieller und personeller Ressourcen erscheint eine Priorisierung der Massnahmen sinnvoll.

### **6.3.3 Grenzen der Massnahmen**

Trotz der dargestellten Massnahmen bestehen klare Grenzen bei der Förderung der Nachtdunkelheit. Ein Teil der Lichtverschmutzung im RNPSH ist durch externen Skyglow bedingt, der nicht direkt beeinflusst werden kann und auch durch die topografischen Gegebenheiten beeinflusst wird. Zusätzlich tragen externe Lichtquellen wie der Flughafen Zürich sowie grössere Städte ausserhalb des Untersuchungsgebiets zur Aufhellung des Nachthimmels bei. Diese Einflüsse liegen ausserhalb des direkten Einflusses des RNPSH und können durch lokale Massnahmen nur begrenzt reduziert werden.

## **6.4 Potential der Nachtdunkelheit für den Tourismus**

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass in Teilen des Untersuchungsgebiets noch vergleichsweise dunkle Nachthimmelbedingungen vorhanden sind. Diese stellen ein bislang wenig genutztes, aber interessantes touristisches Potenzial dar. Dunkle Nachthimmel werden zunehmend als Qualitätsmerkmal wahrgenommen und gewinnen im Kontext von naturverträglichem Tourismus an Bedeutung. In einer Welt, in der echte Dunkelheit zu einer Seltenheit geworden ist, werden Orte, die diese bieten können, zu exklusiven Reisezielen. Der Wert der Dunkelheit liegt dabei weniger im Massentourismus, sondern in spezialisierten, naturnahen Angeboten für interessierte Zielgruppen. Innovative Projekte wie Nachtwanderungen und Schneeschuh-Vollmondtouren zeigen, wie das Thema auch eine emotionale Komponente erhalten kann. Diese Angebote ziehen Zielgruppen an, die Wert auf

Ruhe, Exklusivität und Natur legen (Sternenpark Attersee/Traunsee, 2024). Diese Angebote lassen sich gut mit den bestehenden Bildungsangeboten des RNPSH verbinden. Gleichzeitig erfordern sie eine sorgfältige Planung, um Störungen sensibler Lebensräume zu vermeiden. Die Nachtdunkelheit selbst sollte dabei immer die wichtigste Ressource bleiben, die geschützt werden muss.

Der Astrotourismus bietet das Potential zu einer Saisonverlängerung, da auch im Herbst und Winter der Sternenhimmel beobachtet werden kann. Auch steigt die Aufenthaltsdauer, da Sternenbeobachtung nachts stattfindet und somit Übernachtungen vor Ort generiert werden. Der Tourismus durch Dunkelheit bietet eine Differenzierung im Wettbewerb. Wander- und Radtourismus wird an vielen Orten angeboten, aber das Merkmal eines zertifizierten Sternenhimmels erlaubt eine klare Unterscheidung der Destination.

## 7 Schlussfolgerungen

Ein UDSP in Kombination mit Nachführungen und Veranstaltungen könnte eine sinnvolle Ergänzung des touristischen Angebots im Regionalen Naturpark Schaffhausen darstellen und zur Stärkung eines nachhaltigen, naturnahen Tourismus beitragen. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass eine Zertifizierung mit Anforderungen verbunden ist und langfristiges Engagement erfordert. Aus fachlicher Sicht erscheint es daher sinnvoll, ein solches Label nicht als kurzfristiges Ziel zu verstehen, sondern als mögliche Perspektive, die schrittweise verfolgt werden kann.

Die Möglichkeit einer Zertifizierung als Dark Sky Parks sollte dennoch nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Mit der Umsetzung der Massnahmen aus dem Konzept Förderung Nachtdunkelheit (Kapitel 5) besteht die Chance, dass sich die Dunkelheitswerte verbessern. In diesem Zusammenhang wären Nachfolgemessungen und die Installierung eines TESS-Geräts sinnvoll, um die Entwicklung langfristig zu dokumentieren.

Insgesamt zeigt sich, dass die Nachtdunkelheit im RNPSH ein realistisches, aber begrenztes touristisches Potential besitzt. Sie eignet sich vor allem im Sinne eines sanften, nachhaltigen Tourismus. Wird die Nachtdunkelheit bewusst geschützt und gezielt genutzt, kann sie zum Image des RNPSH beitragen und gleichzeitig die ökologischen Ziele des Naturparks unterstützen.

## 8 Literatur- und Quellenverzeichnis

Alaasam, V. J., Liu, X., Niu, Y., Habibian, J. S., Pieraut, S., Ferguson, B. S., Zhang, Y., & Ouyang, J. Q. (2021). Effects of dim artificial light at night on locomotor activity, cardiovascular physiology, and circadian clock genes in a diurnal songbird. *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987), 282, 117036. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117036>

Allen, S. (2018). *The Science of Awe*. UC Berkeley.

Ancillotti, M., Conticelli, E., Tondelli, S., & Mascalzoni, D. (2025). Framing exposure to excessive and improper lighting as light-public health. *Discover Public Health*, 22(1), 429. <https://doi.org/10.1186/s12982-025-00765-6>

Ardoin, N. M., Bowers, A. W., & Gaillard, E. (2020). Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. *Biological Conservation*, 241, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108224>

Baird, C. S. (2013). *What is the speed of dark? Science Questions with Surprising Answers*. <https://wtamu.edu/~cbaird/sq/2013/06/20/what-is-the-speed-of-dark/>

Barentine, J. C. (2019). Methods for Assessment and Monitoring of Light Pollution around Ecologically Sensitive Sites. *Journal of Imaging*, 5(5), 54. <https://doi.org/10.3390/jimaging5050054>

Barentine, J. C. (2022). *Künstliches Licht bei Nacht: Stand der Wissenschaft 2022*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6967711>

Barnes, C., & Passmore, H.-A. (2024). Development and testing of the Night Sky Connectedness Index (NSCI). *Journal of Environmental Psychology*, 93, 102198. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102198>

Barragan, R. C., & Meltzoff, A. N. (2024a). Opportunity to view the starry night sky is linked to human emotion and behavioral interest in astronomy. *Scientific Reports*, 14(1), 19314. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69920-4>

Barragan, R. C., & Meltzoff, A. N. (2024b). Opportunity to view the starry night sky is linked to human emotion and behavioral interest in astronomy. *Scientific Reports*, 14(1), 19314. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69920-4>

Barré, K., Kerbiriou, C., Ing, R.-K., Bas, Y., Azam, C., Le Viol, I., & Spoelstra, K. (2021). Bats seek refuge in cluttered environment when exposed to white and red lights at night. *Movement Ecology*, 9(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40462-020-00238-2>

Bernadez, K. M., Felismeno, G. Ds., T. Sulapas, M., & C. Estorico, G. (2025). A Systematic Review on Artificial-Light-at-Night (ALAN): Foraging Activity and Behavioral Patterns Involving the Chiroptera. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2153–2165. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/25mar1585>

Biosphärenreservat Rhön. (2025). *Biosphärenreservat Rhön*. Biosphärenreservat Rhön. <https://www.biosphaerenreservat-rhoen.de/natur/sternenpark-rhoen>

Brehm, G., Niermann, J., Jaimes Nino, L. M., Enseling, D., Jüstel, T., Axmacher, J. C., Warrant, E., & Fiedler, K. (2021). Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation. *Insect Conservation and Diversity*, 14(2), 188–198. <https://doi.org/10.1111/icad.12476>

Brodoehl, S., Klingner, C. M., & Witte, O. W. (2015). Eye closure enhances dark night perceptions. *Scientific Reports*, 5(1), 10515. <https://doi.org/10.1038/srep10515>

Bundesamt für Landestopografie. (2025). *Karten der Schweiz—Map.geo.admin.ch- swisstopo*. <https://map.geo.admin.ch>

Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2021a). *Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen* (S. 170). <https://www.umwelt-zentralschweiz.ch/wp->

content/uploads/2022/03/Empfehlungen\_zur\_Vermeidung\_von\_Lichtemissionen.pdf# :~:text=Die%202024,Licht%20am%20falschen%20Ort%20und

Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2021b). *Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen*.

Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2022, August 30). Die Dunkelheit zurückholen. *die umwelt - Natürliche Ressourcen der Schweiz*, 64.

Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2024). *Auswirkungen von Lichtemissionen in der Nacht*. bafu.admin.ch. <https://www.bafu.admin.ch/de/auswirkungen-von-lichtemissionen-in-der-nacht>

Butterfly Conservation. (2024, Januar 31). *Why is light pollution bad for moths?* <https://butterfly-conservation.org/news-and-blog/why-is-light-pollution-bad-for-moths>

Capaldi, C. A., Dopko, R. L., & Zelenski, J. M. (2014). The relationship between nature connectedness and happiness: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 5, 976. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00976>

Carbal, I. (2025). *An introduction to skychology*. <https://happiful.com/an-introduction-to-skychology>

Chen, M., Zhao, Y., Lu, Q., Ye, Z., Bai, A., Xie, Z., Zhang, D., & Jiang, Y. (2024). Artificial light at night and risk of depression: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 29, 73. <https://doi.org/10.1265/ehpm.24-00257>

Cho, Y., Ryu, S.-H., Lee, B. R., Kim, K. H., Lee, E., & Choi, J. (2015). Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiology International*, 32(9), 1294–1310. <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1073158>

Conway, P., & Hefferon, K. (o. J.). *The extraordinary in the ordinary: Skychology—An interpretative phenomenological analysis of looking up at the sky*.

Da Silva, A., Valcu, M., & Kempenaers, B. (2015). Light pollution alters the phenology of dawn and dusk singing in common European songbirds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1667), 20140126. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0126>

Dao, A. (2016). Emotional and Social Responses to Stargazing: What Does It Mean To Lose the Dark? *Honors Projects*. [https://digitalcommons.iwu.edu/psych\\_honproj/180](https://digitalcommons.iwu.edu/psych_honproj/180)

DarkSky International. (2018). *International Dark Sky Places—Designation Flowchart* (S. 1). <https://darksky.org/app/uploads/2021/12/IDSP-Designation-Flowchart-2018.pdf>

DarkSky International. (2024a, März 8). Gantrisch Dark Sky Zone, Switzerland. *DarkSky International*. <https://darksky.org/places/gantrisch-dark-sky-zone-switzerland/>

DarkSky International. (2024b, September 11). *Frequently asked questions about International Dark Sky Places*. DarkSky International. <https://darksky.org/what-we-do/international-dark-sky-places/dark-sky-places-faq/>

DarkSky International. (2024c, September 11). *International Dark Sky Places*. DarkSky International. <https://darksky.org/what-we-do/international-dark-sky-places/>

DarkSky International. (2024d, September 11). *Light pollution harms wildlife and ecosystems*. DarkSky International. <https://darksky.org/resources/what-is-light-pollution/effects/wildlife-ecosystems/>

DarkSky Switzerland. (2019). *Analyse der Lichtemissionen der Schweiz 2019 – weiterhin Zunahme der Lichtverschmutzung*. <https://www.darksky.ch/dss/de/2020/03/analyse-der-lichtemissionen-der-schweiz-2019-weiterhin-zunahme-der-lichtverschmutzung/>

DarkSky Switzerland. (2024a). *Erster «Dark Sky Park» der Schweiz im Naturpark Gantrisch*. <https://www.darksky.ch/dss/de/2024/03/erster-dark-sky-park-der-schweiz-im-naturpark-gantrisch/>

DarkSky Switzerland. (2024b). *Nachtkarten*. <https://www.darksky.ch/dss/de/aktivitaeten/nachtkarten/>

DarkSky Switzerland. (2025, Dezember 2). *DarkSky – Bemusterung in einer Quartierstrasse*. <https://www.darksky.ch/dss/de/2025/12/darksky-bemusterung-in-einer-quartierstrasse/>

Durrant, J., Michaelides, E. B., Rupasinghe, T., Tull, D., Green, M. P., & Jones, T. M. (2015). Constant illumination reduces circulating melatonin and impairs immune function in the cricket *Teleogryllus commodus*. *PeerJ*, 3, e1075. <https://doi.org/10.7717/peerj.1075>

Esri. (2025). *World Topographic Map* [Map]. Esri. [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com)

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>

Florida Fish And Wildlife Conservation Commission. (2025). *About Lighting Pollution*. Florida Fish And Wildlife Conservation Commission. <https://myfwc.com/conservation/you-conserve/lighting/pollution/>

Fobert, E. K., Miller, C. R., Swearer, S. E., & Mayer-Pinto, M. (2023). The impacts of artificial light at night on the ecology of temperate and tropical reefs. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), 20220362. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0362>

Friulla, L., & Varone, L. (2025). Artificial Light at Night (ALAN) as an Emerging Urban Stressor for Tree Phenology and Physiology: A Review. *Urban Science*, 9(1), 14. <https://doi.org/10.3390/urbansci9010014>

Gastón, M. S., Pereyra, L. C., & Vaira, M. (2019). Artificial light at night and captivity induces differential effects on leukocyte profile, body condition, and erythrocyte size of a diurnal toad. *Journal of Experimental Zoology. Part A, Ecological and Integrative Physiology*, 331(2), 93–102. <https://doi.org/10.1002/jez.2240>

Gendron, J. M., & Staiger, D. (2023). New Horizons in Plant Photoperiodism. *Annual Review of Plant Biology*, 74(Volume 74, 2023), 481–509. <https://doi.org/10.1146/annurev-plant-070522-055628>

Gili, F., Fassone, C., Rolando, A., & Bertolino, S. (2024). In the Spotlight: Bat Activity Shifts in Response to Intense Lighting of a Large Railway Construction Site. *Sustainability*, 16(6), 2337. <https://doi.org/10.3390/su16062337>

GNU Octave. (2025). *GNU Octave*. <https://octave.org/index>

Google. (2025). *Google Maps*. Google Maps. <https://www.google.ch/maps>

Green, R. F., Luginbuhl, C. B., Wainscoat, R. J., & Duriscoe, D. (2022). The growing threat of light pollution to ground-based observatories. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 30(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s00159-021-00138-3>

Grolle, J. (2021). Schillers Schmerz. *Der Spiegel*, 2. [https://www.aesthetics.mpg.de/fileadmin/user\\_upload/200-Research/Dep-LIT/In-den-Medien/Spiegel\\_31\\_Dezember\\_2020.PDF](https://www.aesthetics.mpg.de/fileadmin/user_upload/200-Research/Dep-LIT/In-den-Medien/Spiegel_31_Dezember_2020.PDF)

Guindon, G. E., Murphy, C. A., Milano, M. E., & Seggio, J. A. (2024). Turn off that night light! Light-at-night as a stressor for adolescents. *Frontiers in Neuroscience*, 18, 1451219. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1451219>

H. ffrench-Constant, R., Somers-Yeates, R., Bennie, J., Economou, T., Hodgson, D., Spalding, A., & McGregor, P. K. (2016). Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1833), 20160813. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0813>

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2022). *Fundamentals of Physics* (Twelfth edition. Extended edition). Wiley.

Hänel, A., Posch, T., Ribas, S. J., Aubé, M., Duriscoe, D., Jechow, A., Kollath, Z., Lolkema, D. E., Moore, C., Schmidt, N., Spoelstra, H., Wuchterl, G., & Kyba, C. C. M. (2018). Measuring night sky brightness: Methods and challenges. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 205, 278–290. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2017.09.008>

Hartig, T., Mitchell, R., Vries, S. de, & Frumkin, H. (2014). Nature and Health. *Annual Review of Public Health*, 35(Volume 35, 2014), 207–228. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>

Hollander, M., A. Wolfe, D., & Chicken, E. (2015). *Nonparametric Statistical Methods* (1. Aufl.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119196037>

Huemer, P., Kühtreiber, H., & Tarmann, G. (2010). *Anlockwirkung moderner Leuchtmittel auf nachtaktive Insekten* (S. 31) [Feldstudie].

IAU Office of Astronomy for Development. (2025). Flagship Project 2: Astronomy for Mental Health. *IAU Office of Astronomy for Development*. <https://astro4dev.org/themes/theme-2-celebrating-our-common-humanity-through-astronomy/astronomy-mental-health/>

Isik, A. I., & Vessel, E. A. (2021). From Visual Perception to Aesthetic Appeal: Brain Responses to Aesthetically Appealing Natural Landscape Movies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 676032. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.676032>

Jechow, A., & Höller, F. (2019). Snowglow—The Amplification of Skyglow by Snow and Clouds Can Exceed Full Moon Illuminance in Suburban Areas. *Journal of Imaging*, 5(8), 69. <https://doi.org/10.3390/jimaging5080069>

Jurij Stare. (2025). *Light pollution map*. <https://www.lightpollutionmap.info/>

Kachelmannwetter. (2025). *Kachelmannwetter*. [Kachelmannwetter.com.](https://kachelmannwetter.com/ch) <https://kachelmannwetter.com/ch>

Kanton Schaffhausen. (2021). *Richtplan Kanton Schaffhausen* (S. S. 54). <https://sh.ch/CMS/get/file/57143567-acad-4331-a47a-a7fda8114f37>

Karpińska, D., & Kunz, M. (2022). Device for automatic measurement of light pollution of the night sky. *Scientific Reports*, 12(1), 16476. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20624-7>

Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Höller, M., & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548(7666), 206–209. <https://doi.org/10.1038/nature23288>

Knutson, K. L., Dixon, D. D., Grandner, M. A., Jackson, C. L., Kline, C. E., Maher, L., Makarem, N., Martino, T. A., St-Onge, M.-P., Johnson, D. A., & on behalf of the American Heart Association Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; Council on Clinical Cardiology; and Council on Lifelong Congenital Heart Disease and Heart Health in the Young. (2025). Role of Circadian Health in Cardiometabolic Health and Disease Risk: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*, 152(21), e408–e419. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001388>

Kunz, M., & Daab, D. (2024). Cartographic Visualisation of Light Pollution Measurements. *Urban Science*, 8(4), 254. <https://doi.org/10.3390/urbansci8040254>

Kyba, C. C. M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C. D., Gaston, K. J., & Guanter, L. (2017). Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. *Science Advances*, 3(11), e1701528. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>

Kyba, C. C. M., Ruhtz, T., Fischer, J., & Hölker, F. (2011). Cloud coverage acts as an amplifier for ecological light pollution in urban ecosystems. *PLoS One*, 6(3), e17307. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017307>

Kyek, S. (2019). *Light Pollution in Switzerland* (S. 36). ETH.

LEIFIphysik. (2025). *Sichtbares Licht* | LEIFIphysik. <https://www.leifiphysik.de/optik/elektrromagnetisches-spektrum/grundwissen/sichtbares-licht>

Leiva, L. (2020, Januar 23). Können LED-Leuchten die zunehmende Licht-verschmutzung stoppen? *Energie-Experten*. <https://www.energie-experten.ch/de/wissen/detail/koennen-led-leuchten-die-zunehmende-lichtverschmutzung-stoppen.html>

May, D., Shidemantle, G., Melnick-Kelley, Q., Crane, K., & Hua, J. (2019). The effect of intensified illuminance and artificial light at night on fitness and susceptibility to abiotic and biotic stressors. *Environmental Pollution* (Barking, Essex: 1987), 251, 600–608. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.016>

McCann, K. S., & Rooney, N. (2009). The more food webs change, the more they stay the same. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1524), 1789–1801. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0273>

McLay, L. K., Hopkins, J. P., Wong, B. B. M., Candolin, U., & Jones, T. M. (2019). What is the available evidence that artificial light at night affects animal behaviour? A systematic map protocol. *Environmental Evidence*, 8(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s13750-019-0151-9>

Meng, J., Huang, X., Ren, C., & Xue, T. (2025). Non-Image-Forming Functions of Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells. *Annual Review of Neuroscience*, 48(Volume 48, 2025), 211–229. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-112723-035532>

Meteo Schweiz. (2025). *Bewölkung—Search.ch*. <https://search.ch/meteo/cloud>

Milanović Pešić, A., Brankov, J., & Oliveira Moreira, C. (2025). Sustainable Tourism and Use of Natural Resources—Contemporary Practices and Management Challenges. *Sustainability*, 17(6), 2383. <https://doi.org/10.3390/su17062383>

Monroy, M., & Keltner, D. (2023). Awe as a Pathway to Mental and Physical Health. *Perspectives on Psychological Science*, 18(2), 309–320. <https://doi.org/10.1177/17456916221094856>

Moore-Ede, M., Blask, D. E., Cain, S. W., Heitmann, A., & Nelson, R. J. (2023). Lights should support circadian rhythms: Evidence-based scientific consensus. *Frontiers in Photonics*, 4. <https://doi.org/10.3389/fphot.2023.1272934>

Müller, R. (2019, September 22). «Mehr Raum für die Nacht (Lichtverschmutzungsinitiative)». *GRÜNE Schaffhausen*. <https://gruene-sh.ch/mehr-raum-fuer-die-nacht-lichtverschmutzungsinitiative/>

Münch, M. (2011). *Chronobiologie: Rhythmen des Lebens*. Federal Institute of Technology Lausanne EPFL. <https://www.epfl.ch/labs/leso/wp-content/uploads/2018/05/chronobiologie.2011.pdf>

Mure, L. S. (2021). Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells of the Human Retina. *Frontiers in Neurology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.636330>

NASA Science. (2016, August 10). *Introduction to the Electromagnetic Spectrum—NASA Science*. [https://science.nasa.gov/ems/01\\_intro/](https://science.nasa.gov/ems/01_intro/)

Naturpark Gantrisch. (2025a). *Agenda*. Naturpark Gantrisch. <https://www.gantrisch.ch/agenda/>

Naturpark Gantrisch. (2025b). *Nacht-land-schaft*. Naturpark Gantrisch. <https://www.gantrisch.ch/naturpark/wissen/nachtlandschaft/>

Naturpark Gantrisch. (2025c). *Sternenpark Gantrisch – Erlebe den Naturpark in der Nacht*. Naturpark Gantrisch. <https://www.gantrisch.ch/entdecken/aktivitaeten/in-der-nacht/>

Naturschutz.ch. (2020, Mai 26). Lichtverschmutzung beeinflusst Schlaf von Stadt-Fischen. *Naturschutz.ch*. <https://naturschutz.ch/news/lichtverschmutzung-beeinflusst-schlaf-von-stadt-fischen/145584>

Netzwerk Schweizer Pärke. (2024). *Naturpark Gantrisch ist erster «Dark Sky Park» der Schweiz*. <https://www.parks.swiss/de/aktuelles/aktuelles-aus-den-paerken/naturpark-gantrisch-ist-erster-dark-sky-park-der-schweiz-49>

Netzwerk Schweizer Pärke. (2025). *Die Schweizer Pärke auf einen Blick*. <https://www.parks.swiss/de>

Owens, A. C. S., & Lewis, S. M. (2018). The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and Evolution*, 8(22), 11337–11358. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>

Park, Y.-M. M., White, A. J., Jackson, C. L., Weinberg, C. R., & Sandler, D. P. (2019). Association of Exposure to Artificial Light at Night While Sleeping With Risk of Obesity in Women. *JAMA Internal Medicine*, 179(8), 1061–1071. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2019.0571>

Pease, B. S., & Gilbert, N. A. (2025a). Light pollution prolongs avian activity. *Science*, 389(6762), 818–821. <https://doi.org/10.1126/science.adv9472>

Pease, B. S., & Gilbert, N. A. (2025b). Light pollution prolongs avian activity. *Science (New York, N.Y.)*, 389(6762), 818–821. <https://doi.org/10.1126/science.adv9472>

Pravettoni, M., Strepparava, D., Cereghetti, N., Klett, S., Andretta, M., & Steiger, M. (2016). Indoor calibration of Sky Quality Meters: Linearity, spectral responsivity and uncertainty analysis. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 181, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2016.03.015>

Regionaler Naturpark Schaffhausen. (2017). *Regionaler Naturpark Schaffhausen Gesuch um Verleihung des Parklabels* (S. 187) [Gesuch]. [https://naturpark-schaffhausen.ch/files/naturpark-schaffhausen.ch/dokumente/6\\_Footer/%20Managementplan%20Betriebsphase%202018-2027.pdf?version=aedf64585ea6a1a9](https://naturpark-schaffhausen.ch/files/naturpark-schaffhausen.ch/dokumente/6_Footer/%20Managementplan%20Betriebsphase%202018-2027.pdf?version=aedf64585ea6a1a9).

Regionaler Naturpark Schaffhausen. (2025). *Regionaler Naturpark Schaffhausen*. <https://naturpark-schaffhausen.ch/de/>

Rowse, E. G., Harris, S., & Jones, G. (2018). Effects of dimming light-emitting diode street lights on light-opportunistic and light-averse bats in suburban habitats. *Royal Society Open Science*, 5(6), 180205. <https://doi.org/10.1098/rsos.180205>

Sanchez-Cano, A., Luesma-Bartolomé, M. J., Solanas, E., & Orduna-Hospital, E. (2025). Comparative Effects of Red and Blue LED Light on Melatonin Levels During Three-Hour Exposure in Healthy Adults. *Life*, 15(5), 715. <https://doi.org/10.3390/life15050715>

Sanders, D., Hirt, M. R., Brose, U., Evans, D. M., Gaston, K. J., Gauzens, B., & Ryser, R. (2023). How artificial light at night may rewire ecological networks: Concepts and

models. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1892), 20220368. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0368>

Schuler, L. (2025, August 28). *Wie Gemeinden Lichtverschmutzung wirksam reduzieren*. Pusch – Im Einsatz für Natur, Umwelt und Klima. <https://www.pusch.ch/magazin/artikel/lichtverschmutzung-reduzieren>

Schuler, L., & Wirth, K. (2025). *Mein Haus, mein Licht, unsere Umwelt: Wie wir Licht umweltschonend einsetzen und was wir damit gewinnen* (1. Auflage). Haupt.

Seewagen, C. L., & Adams, A. M. (2021). Turning to the dark side: LED light at night alters the activity and species composition of a foraging bat assemblage in the northeastern United States. *Ecology and Evolution*, 11(10), 5635–5645. <https://doi.org/10.1002/ece3.7466>

Sheppard, C. (2022). *Misguiding Light: The Role Artificial Light Plays in Bird Mortality from Collisions with Glass*.

Space Eye Observatorium für Weltraum und Umwelt. (2025). *Stargaze: Sternbeobachtung mit Teleskop oder Planetarium*. <https://www.space-eye.ch/stargaze>

Spoelstra, K., Van Grunsven, R. H. A., Ramakers, J. J. C., Ferguson, K. B., Raap, T., Donners, M., Veenendaal, E. M., & Visser, M. E. (2017). Response of bats to light with different spectra: Light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1855), 20170075. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0075>

Stadt Schaffhausen. (2022, Mai 24). *Intelligente Strassenbeleuchtung—Smart City Schaffhausen*. <https://smartcity.stsh.ch/intelligente-strassenbeleuchtung/>

Stadt Schaffhausen, Planungs- und Naturschutzamt Kanton SH, & Neuhausen am Rheinfall. (2014). *Licht und Transparenz*.

Stars4all foundation. (2025a). *Stars4all foundation*. <https://foundation.stars4all.eu/>

Stars4all foundation. (2025b). *TESS SH*. [https://tess.dashboards.stars4all.eu/d/datasheet\\_stars936/stars936?orgId=1](https://tess.dashboards.stars4all.eu/d/datasheet_stars936/stars936?orgId=1)

Stemper, D. (2025, April 17). *Naturentfremdung & Natur-Defizit-Syndrom: Warum Wildnis für Kinder wichtig ist - Psychotherapie Berlin*. <https://www.praxis-psychologie-berlin.de/wikiblog/articles/naturentfremdung-natur-defizit-syndrom-warum-wildnis-fuer-kinder-wichtig-ist>

Sternenpark Attersee/Traunsee. (2024, September 1). *Sternenpark Attersee/Traunsee*. Sternenpark Attersee/Traunsee. <https://sternenpark.at/>

Stewart, A. J. A. (2021). Impacts of artificial lighting at night on insect conservation. *Insect Conservation and Diversity*, 14(2), 163–166. <https://doi.org/10.1111/icad.12490>

Struyf, P., Enhus, D. E., Bauwens, D. T., & Melgaço, D. L. (2019). *Literature study: The effects of reduced public lighting on crime, fear of crime, and road safety*.

Tanaka, M., Otani, K., & Horiuchi, T. (2025). Relationship Between Darkness and Healing of Night Sky in Planetarium. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(4), 569. <https://doi.org/10.3390/ijerph22040569>

Tardieu, L., Beaudet, C., Potin, S., Chaurand, J., Mariton, L., Delbar, V., & David, M. (2025). Planning sustainable urban lighting for biodiversity and society. *Nature Cities*, 2(6), 518–531. <https://doi.org/10.1038/s44284-025-00245-7>

Thawley, C. J., & Kolbe, J. J. (2020). Artificial light at night increases growth and reproductive output in *Anolis* lizards. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1919), 20191682. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1682>

Time and Date AS. (2025). *Phasen der Dämmerung*. <https://www.timeanddate.de/astronomie/daemmerung-phasen>

Unihedron. (2025). *Unihedron*. Sky Quality Meter. <https://www.unihedron.com/projects/sqm-l/>

Unplugged. (2023, September 12). *What is ‘Skychology’? How looking at the sky can boost your wellbeing*. <https://unplugged.rest/blog/what-is-skychology-and-what-are-the-benefits>

Voigt, R. M., Ouyang, B., & Keshavarzian, A. (2024). Outdoor nighttime light exposure (light pollution) is associated with Alzheimer’s disease. *Frontiers in Neuroscience*, 18. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1378498>

Wadden Sea World Heritage. (2022). *World Migratory Bird Day spreads awareness on issues of artificial light at night | Wadden Sea*. <https://www.waddenseaworldheritage.org/news/world-migratory-bird-day-spreads-awareness-issues-artificial-light-night>

Wambsganss, J., Abel, T., Altmann, M., & Bartelmann, M. (Hrsg.). (2017). *Universum für alle: 70 spannende Fragen und kurzweilige Antworten*. Springer.

Wesołowski, M. (2023). The increase in the surface brightness of the night sky and its importance in visual astronomical observations. *Scientific Reports*, 13(1), 17091. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44423-w>

Windred, D. P., Burns, A. C., Rutter, M. K., Lane, J. M., Saxena, R., Scheer, F. A. J. L., Cain, S. W., & Phillips, A. J. K. (2025). Light Exposure at Night and Cardiovascular Disease Incidence. *JAMA Network Open*, 8(10), e2539031. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2025.39031>

Wojciechowska, W., Hahad, O., Daiber, A., & Rajzer, M. (2025). Night light pollution and cardiovascular disease. *Polish Heart Journal (Kardiologia Polska)*, 83(7–8), 801–807. <https://doi.org/10.33963/v.phj.106586>

Wright, K. P., McHill, A. W., Birks, B. R., Griffin, B. R., Rusterholz, T., & Chinoy, E. D. (2013). Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle. *Current Biology: CB*, 23(16), 1554–1558. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.06.039>

Yoker, Ü. (2022, März 29). *Helle Nächte*. <https://www.news.uzh.ch/de/articles/2022/lichtverschmutzung.html>

Zeale, M. R. K., Stone, E. L., Zeale, E., Browne, W. J., Harris, S., & Jones, G. (2018). Experimentally manipulating light spectra reveals the importance of dark corridors for commuting bats. *Global Change Biology*, 24(12), 5909–5918. <https://doi.org/10.1111/gcb.14462>

Zhang, F., Wang, N., Zhang, L., Chu, Y., Wang, S., & Huang, Y. (2023). Effects of snow cover on urban light climate environment in the high latitudes of northeast China. *Scientific Reports*, 13, 8725. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35825-x>

Zielinska-Dabkowska, K. M., Schernhammer, E. S., Hanifin, J. P., & Brainard, G. C. (2023). Reducing nighttime light exposure in the urban environment to benefit human health and society. *Science*, 380(6650), 1130–1135. <https://doi.org/10.1126/science.adg5277>

## 9 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Das sichtbare Licht im elektromagnetischen Spektrum, (LEIFIphysik, 2025) ....	4
Abbildung 2: Lichtemissionskarte Schweiz 2012, (DarkSky Switzerland, 2024b).....	8
Abbildung 3: Lichtemissionskarte Schweiz 2024, (DarkSky Switzerland, 2024b).....	9
Abbildung 4: Sky Quality Meter (SQM-L), eigene Aufnahme .....	15
Abbildung 5: Flowchart der Zertifizierungen von DSI (DarkSky International, 2018) .....	20
Abbildung 6: Eigene Darstellung des 7-Punkte-Plans der Vollzugshilfe zur Vermeidung von Lichtemissionen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) (Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2021b).....	22
Abbildung 7: Effektive Messstandorte SQM-Messungen (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)).....	25
Abbildung 8: Ermittlung der Messpunkte mit ArcGIS in der Theorie (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)) .....	27
Abbildung 9: Effektive Messstandorte in der Praxis (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)).....	28
Abbildung 10: Übersicht der Messergebnisse aller Messtage (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)) .....	34
Abbildung 11: Räumliche Darstellung der Messungen A, B, C, D, E und F (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)) .....	35
Abbildung 12: Räumliche Darstellung der Messungen G, H und I bei suboptimalen Bedingungen (Eigene Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)).....	36
Abbildung 13: Räumliche Darstellung der Messungen bei Schleitheim (Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)) .....	37
Abbildung 14: Räumliche Darstellung der Messungen im Bereich von Osterlingen und des Wangentals (Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)).....	38
Abbildung 15: Räumliche Darstellung der Messungen im Bereich des Randens und des Hemmentals (Darstellung mit ArcGIS (Esri, 2025)).....	39
Abbildung 16: Einfluss der Stadt Zürich und des Flughafens, Messung D6 (Rossberg, eigene Aufnahme).....	42
Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der mittleren Himmelshelligkeit mit saisonalen Schwankungen an der TESS-Messstation SH926 (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten	

( <a href="https://foundation.stars4all.eu/tess-w-night-sky-brightness-photometer/">https://foundation.stars4all.eu/tess-w-night-sky-brightness-photometer/</a> ), Auswertung nach Konrad Kellenberger (Octave) .....	43
Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der maximalen Himmelshelligkeit mit Schwankungen an der TESS-Messstation SH926 (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten (Stars4all foundation, 2025b), Auswertung nach Script von Konrad Kellenberger (Octave)).....	43
Abbildung 19: Boxplot der maximalen Himmelshelligkeit Dunkler Mond vs. Heller Mond, (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten (Stars4all foundation, 2025b), Auswertung nach Script von Konrad Kellenberger (Octave), und statistische Analyse durch Isabel Müller mit Hilfe des KI-Modells Gemini (Google)).....	44
Abbildung 20: Boxplot der maximalen Himmelshelligkeit Wintermonate vs. Sommermonate, (Eigene Darstellung auf Basis von TESS-Daten (Stars4all foundation, 2025b), Auswertung nach Script von Konrad Kellenberger (Octave) und statistische Analyse durch Isabel Müller) .....	45
Abbildung 21: Gegenüberstellung Lichtverschmutzungskarte RNPSH (links) und Naturpark Gantrisch (rechts), (Jurij Stare, 2025).....	49
Abbildung 22: Beringer Randenturm, Einfluss der Stadt Schaffhausen und deren Skyglow gegen Ost erkennbar (eigene Aufnahmen).....	52

## 10 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Die Labels von Dark Sky International, (DarkSky International, 2024b).....	19
Tabelle 2: Vergleich ursprüngliches und neues Messgerät.....	33
Tabelle 3: Übersicht und Priorisierung des Konzept Förderung Nachtdunkelheit.....	48

## 11 Anhänge

### Anhang I: Links Urban Night Sky Place: Checkliste und Program Guidelines

Hauptseite für Bewerbung für eine Zertifizierung:

<https://darksky.org/what-we-do/international-dark-sky-places/apply/>

Checkliste, Urban Night Sky Place:

<https://darksky.app.box.com/s/vk8r01wipgf33mgdy5034iwhp3f29h7x>

Program Guidelines, Urban Night Sky Place:

<https://darksky.app.box.com/s/jupuo2w01xi4rinackbf61qprw5lu44g>

### Anhang II: Messdaten der SQM-Messungen

Messungen Bachelorarbeit Isabel Müller		Messungen 45° in Himmelsrichtungen												Messungen 45° in Himmelsrichtungen															
Messwerte Zenit		Allgemeine Infos												Messungen 45° in Himmelsrichtungen															
Messung Nr.	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Schnitt	Uhrzeit	Tag	Mondphasenzent	Monduntergang	Lufttemperatur	Astronomische Nacht	gleicher Messpkt.	N1	N2	N3	Schnitt N	S1	S2	S3	Schnitt S	E1	E2	E3	Schnitt E	W1	W2	W3	Schnitt W	Notizen	
A1	20.46	20.5	20.43	20.46	23:55	05.03.2025	38,9%	00:34	3 °C	73%	19:58	18.95	19.14	18.61	18.9	19.9	19.66	19.82	20.01	20.09	20.16	20.09	20.07	20.13	20.02	20.07	Mond wirkt sehr hell, S Richtung Sternwarte		
A2	20.73	20.67	20.67	20.69	00:15				3 °C			19.85	19.24	19.14	19.41	20.3	20.01	20.12	20.14	20.13	20.13	20.16	20.14	20.51	21.66	21.64	21.27	Himmel sehr klar, nicht bewölkt, W gegen Wald	
B1	18.89	19	18.97	18.95	22:45				15 °C			17.17	16.93	16.63	16.91	18.3	18.14	18.28	18.22	17.22	16.81	16.77	16.93	16.63	16.89	17.2	16.91	klarer Himmel	
B2	20.9	20.71	20.71	20.77	23:07				14 °C			20.63	20.61	20.62	20.62	20.3	20.33	20.3	20.32	20.24	20.23	20.26	20.24	20.55	20.56	20.57	20.56		
B3	20.97	20.9	20.98	20.95	23:20				14 °C			20.71	20.64	20.62	20.68	20.3	20.36	20.36	20.34	20.86	20.9	20.91	20.89	20.53	20.53	20.55	20.54		
B4	21.07	21.02	21.01	21.03	23:35				14 °C			20.68	20.89	20.84	20.87	20.5	20.52	20.51	20.51	20.52	20.55	20.54	20.54	20.73	20.75	20.75	20.74		
B5	21.19	21.13	21.12	21.15	23:44				13 °C			20.19	20.20	20.31	20.23	20.5	20.54	20.52	20.53	21.10	21.09	21.10	21.10	21.56	21.50	21.40	21.49		
B6	21.2	21.16	21.14	21.17	23:54				13 °C			20.99	21.01	20.98	20.99	20.7	20.65	20.74	20.70	20.67	20.68	20.72	20.69	20.87	20.84	20.82	20.84		
B7	21.28	21.23	21.22	21.24	00:01				13 °C			B7, G9, H2, I2	21.17	21.15	21.13	21.18	20.8	20.85	20.82	20.81	20.97	20.96	20.96	20.98	20.91	20.94	20.91	20.92	
B8	21.36	21.34	21.33	21.34	00:20				12 °C			B8, G8, H3, I3	21.44	21.57	21.62	21.54	20.9	20.95	20.97	20.94	21.68	21.67	21.76	21.70	21.02	21.02	21.01	21.02	
B9	21.32	21.28	21.27	21.29	00:45				12 °C			B9, G10, H1, I1	21.20	21.17	21.18	21.18	21.5	21.43	21.50	21.46	21.02	21.04	21.06	21.04	21.21	21.21	21.20	21.21	
C1	20.85	20.73	20.72	20.77	22:45				16 °C			20.50	20.47	20.46	20.48	20.40	20.39	20.49	20.43	20.31	20.51	20.51	20.44	20.22	20.23	20.24	20.23	klarer Himmel	
C2	20.87	20.84	20.84	20.85	23:00				15 °C			20.84	20.79	20.79	20.81	20.7	20.63	20.64	20.64	20.79	20.74	20.73	20.75	20.59	20.59	20.56	20.57	20.57	
C3	20.86	20.83	20.83	20.84	23:16				15 °C			20.74	20.70	20.72	20.72	20.6	20.58	20.58	20.57	20.28	20.47	20.45	20.40	20.47	20.44				
C4	20.99	20.94	20.93	20.95	23:35				15 °C			20.82	20.82	20.84	20.83	20.70	20.71	20.72	20.71	20.74	20.79	20.78	20.77	20.31	20.43	20.41	20.38		
C5	20.13	20.06	20.08	20.09	23:48				15 °C			20.51	20.44	20.49	20.48	/	/	/	19.72	19.84	19.87	19.81	19.71	19.74	19.79	19.75	19.75	S gegen Wald	
C6	20.94	20.91	20.91	20.92	23:56	01.05.2025	39,0%	19:00	12 °C	45%	22:35	20.72	20.74	20.74	20.73	19.7	19.83	19.9	19.81	20.70	20.72	20.70	20.71	20.29	20.24	20.29	20.27		
C7	21.13	21.07	21.06	21.08	00:05				12 °C			20.74	20.64	20.67	20.68	20.9	20.86	20.86	20.87	20.96	20.97	20.97	20.97	20.77	20.82	20.82	20.80		
C8	21.13	21.1	21.08	21.10	00:12				11 °C			20.82	20.77	20.78	20.78	20.8	20.80	20.79	20.79	20.79	20.77	20.76	20.77	20.58	20.56	20.66			
C9	21.16	21.11	21.11	21.13	00:24				10 °C			21.02	21.05	21.05	21.04	20.8	20.85	20.82	20.81	20.89	20.92	20.95	20.92	20.97	20.95	20.96	20.96		
C10	21.25	21.2	21.19	21.21	00:44				10 °C			21.06	21.06	21.04	21.05	20.9	20.93	20.96	20.92	21.11	21.11	21.10	21.11	20.89	20.91	20.95	20.92		
C11	21.27	21.22	21.22	21.24	00:50				10 °C			21.05	21.03	21.08	21.05	21	21.94	21.94	21.61	21.14	21.13	21.13	21.00	20.98	20.99	20.99			
D1	21.05	21.04	21.04	21.04	00:37				17 °C			20.80	20.95	20.94	20.90	20.6	20.58	20.65	20.61	20.70	20.68	20.66	20.68	20.82	20.84	20.81	20.82	Sommernonnenwende	
D2	20.99	20.94	20.93	20.95	00:49				17 °C			20.79	20.79	20.79	20.78	20.7	20.77	20.75	20.78	20.76	20.74	20.79	20.76	20.83	20.81	20.81	20.82		
D3	21.12	21.07	21.06	21.08	01:03				17 °C			20.90	20.89	20.83	20.87	21	20.94	20.94	20.95	20.84	20.80	20.80	20.81	21.10	21.10	21.09	21.10	E gegen Gebüsch	
D4	21.13	21.07	21.07	21.09	01:10	22.06.2025	42,0%	18:30	17 °C		50%	21.05	21.04	21.05	21.05	20.9	20.90	20.90	20.91	20.81	20.79	20.81	20.80	21.05	21.05	21.04	21.05	Wangental	
D5	21.18	21.1	21.09	21.12	01:20				16 °C			21.07	21.07	21.07	21.07	20.8	20.75	20.75	20.76	20.92	20.92	20.90	20.91	20.99	20.95	20.97	20.97	Wangental	
D6	21.06	21.04	21.03	21.04	01:35				16 °C			21.10	21.11	21.10	21.10	20.7	20.76	20.78	20.78	20.92	20.87	20.86	20.88	20.88	20.89	20.99	20.99	Rossberg	
D7	21.1	21.06	21.05	21.07	01:55				16 °C			21.12	21.12	21.13	21.12	20.9	20.88	20.88	20.87	20.87	20.88	20.88	20.88	21.08	21.09	21.09	21.09	Tat	
D8	21.17	21.09	21.08	21.11	02:04				16 °C			21.05	21.13	21.12	21.10	20.9	20.86	20.87	20.86	20.94	20.96	20.69	20.86	20.99	20.97	20.97			
E1	20.26	20.26	20.24	20.25	22:23				14 °C			20.09	20.09	20.09	20.09	20.1	20.09	20.12	20.11	20.09	20.13	20.09	20.10	20.29	20.3	20.29	20.29		
E2	20.45	20.45	20.46	20.45	22:37				13 °C			20.27	20.52	20.49	20.43	20.4	20.36	20.36	20.24	20.31	20.29	20.28	20.41	20.41	20.43	20.42			
E3	20.59	20.58	20.57	20.58	22:48				13 °C			20.59	20.59	20.6	20.58	20.5	20.58	20.50	20.52	20.47	20.49	20.49	20.48	20.68	20.63	20.65			
E4	20.72	20.69	20.67	20.69	23:04				13 °C			20.72	20.69	20.69	20.70	20.5	20.53	20.53	20.6	20.56	20.66	20.61	20.67	20.64	20.64	20.65			
E5	20.73	20.68	20.7	20.70	23:15	18.09.2025	10,8%	18:24	13 °C		75%	20.68	20.66	20.66	20.67	20.7	20.66	20.65	20.67	20.79	20.75	20.74	20.76	20.76	20.77	20.77	20.77		
E6	20.83	20.8	20.79	20.81	23:31				12 °C			20.73	20.77	20.77	20.76	20.7	20.71	20.69	20.70	20.75	20.73	20.71	20.73	20.69	20.67	20.68			
E7	20.8	20.76	20.77	20.78	23:45				12 °C			20.78	20.57	20.74	20.70	20.8	20.70	20.75	20.75	20.65	20.66	20.62	20.64	20.72	20.71	20.71			
E8	20.92	20.86	20.82	20.87	00:00				12 °C			20.91	20.98	20.89	20.93	20.8	20.77	20.75	20.75	20.77	20.76	20.76	20.76	20.97	20.82	20.95			
E9	20.69	20.92	20.91	20.84	00:13				12 °C			20.81	20.83	20.85	20.83	0.74	20.82	20.81	20.81	20.75	20.78	20.78	20.78	20.74	20.76	20.77			
E10	20.99	20.77	20.97	20.98	00:24				12 °C			20.95	20.95	20.96	20.95	20.9	20.85	20.87	20.87	20.86									

H6	19.98	20.01	19.93	19.97	23:52	18.11.2025	3.0%	16:40	minus 4°C	95%	17:55	G2, H6	19.73	19.79	19.81	19.78	19.8	19.79	19.83	19.81	19.41	19.39	19.43	19.41	19.99	20.03	20.05	20.02	
H7	19.93	19.73	19.98	18.88	00:11				minus 3°C			G1, H7	19.71	19.73	19.71	19.72	19.4	19.38	19.45	19.42	16.32	16.35	19.38	17.35	20.20	20.13	20.11	20.15	
H8	20.74	20.70	20.70	20.71	00:55				minus 4°C				20.67	20.65	20.69	20.67	20.8	20.64	20.67	20.70	20.63	20.65	20.64	20.64	20.71	20.70	20.71	20.71	
H9	20.70	20.70	20.67	20.68	01:15				minus 3°C				20.67	20.65	20.65	20.66	20.6	20.6	20.62	20.61	20.62	20.62	20.64	20.62	20.66	20.64	20.64	20.64	
H10	20.65	20.62	20.59	20.62	01:38				minus 4°C				20.43	20.58	20.62	20.54	20.6	20.57	20.56	20.56	20.51	20.52	20.53	20.52	20.57	20.55	20.54	20.55	DE Barzheim Lichten sind aus
H11	20.58	20.51	20.53	20.54	01:54				minus 4°C				20.43	20.40	20.42	20.42	20.4	20.43	20.23	20.37	20.41	20.46	20.47	20.45	20.48	20.48	20.46	20.47	
Altes Gerät	I1	20.92	20.88	20.87	20.89	21:28			minus 3°C	B9, G10, H1, I1		20.93	20.85	20.83	20.87	20.8	20.86	20.86	20.85	20.8	20.82	20.79	20.80	20.85	20.77	20.88	20.83	Es gibt einige cm Schnee	
	I2	20.83	20.86	20.80	20.83	21:35			minus 4°C	B7, G9, H2, I2		20.45	20.45	20.44	20.45	20.2	20.20	20.29	20.24	20.39	20.54	20.43	20.45	20.51	20.43	20.41	20.45	S gegen Waldrand	
	I3	20.98	20.96	20.97	20.97	21:51			minus 4°C	B8, G8, H3, I3		/	/	/	20.5	20.59	20.63	20.58	20.65	20.74	20.71	20.70	20.41	20.48	20.39	20.43	20.41	20.43	N gegen Wald
	I4	20.78	20.84	20.83	20.82	22:16			minus 4°C			20.60	20.65	20.59	20.61	21.1	21.01	20.85	20.97	20.85	20.84	20.72	20.80	20.61	20.69	20.53	20.61		

# Eigenständigkeitserklärung

Ich bestätige, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig ausgeführt habe. Sämtliche Fremdhilfen, Hilfsmittel sowie Übernahmen von Texten und Programmen aus anderen Quellen sind in der Arbeit vermerkt.

Titel der Arbeit:

## **Der Regionale Naturpark Schaffhausen als «Dark Sky Park»- Messung der Dunkelheit und Analyse des Potentials für touristische Angebote**

Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Erhaltung der Nachtdunkelheit und Reduktion der  
Lichtverschmutzung

Verfasst von:

Isabel Müller

Ort, Datum:

Fällanden, 08.01.2026

Unterschrift:

A handwritten signature in black ink, reading 'Müller', is placed over a horizontal line. The line starts with a short vertical stroke on the left, followed by a longer horizontal line extending to the right.