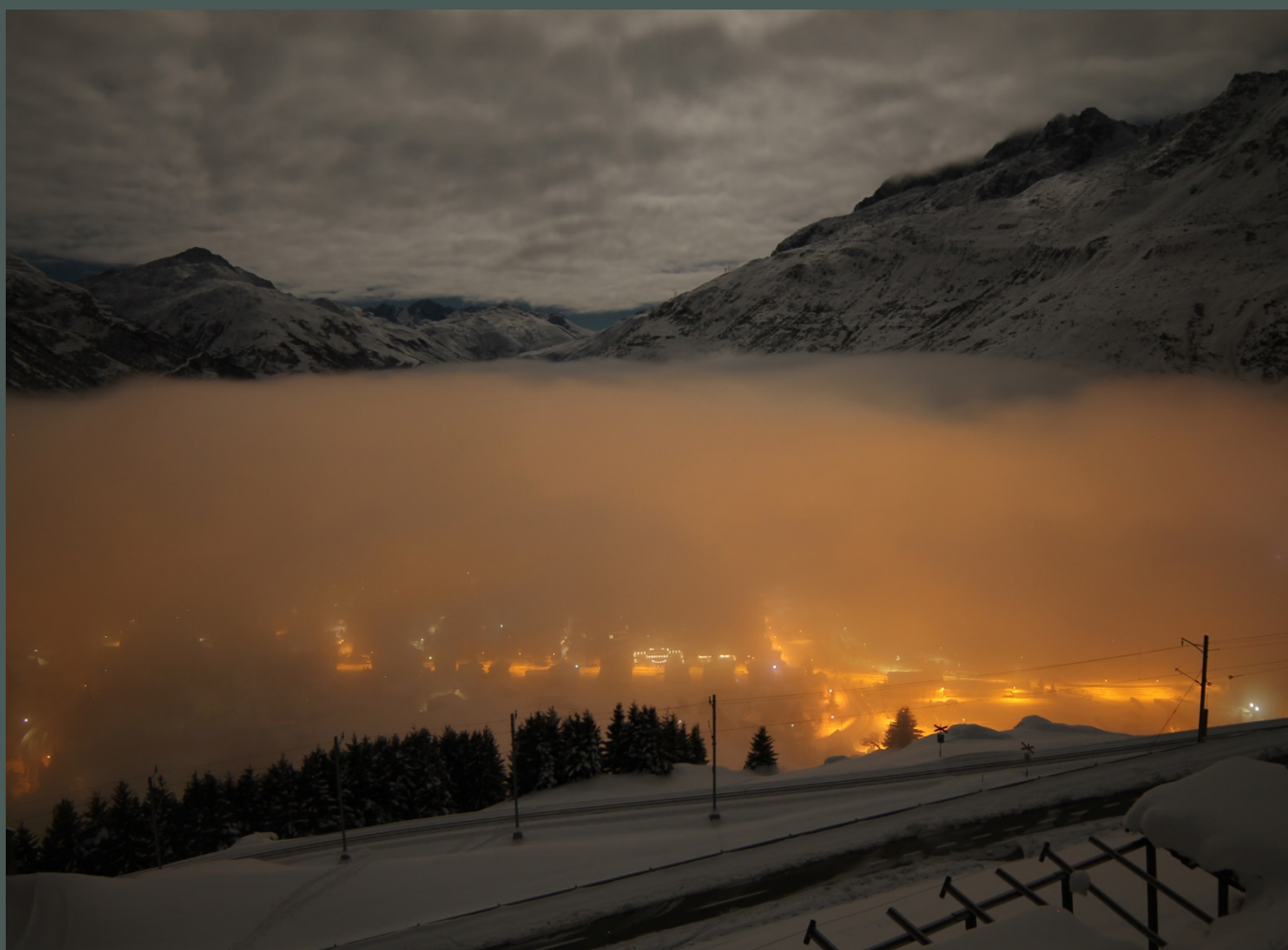


Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen

Stand 2021



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen

Stand 2021

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die Vorgaben des Bundesumweltrechts in Bezug auf unbestimmte Rechtsbegriffe und den Umfang sowie die Ausübung des Ermessens. Damit soll eine einheitliche Vollzugspraxis gefördert werden. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Alexander Reichenbach (Abt. Lärm und NIS, BAFU), Danielle Breitenbücher (Abt. Recht, BAFU), Christopher Gerpe (Abt. Biodiversität und Landschaft, BAFU), Danielle Hofmann (Abt. Biodiversität und Landschaft, BAFU), Jürg Minger (Federas Beratung AG), Dr. Jennifer Vonlanthen (Abt. Recht, BAFU)

Mit früherer Mitarbeit von:

Dr. Jürg Baumann (Abt. Lärm und NIS, BAFU), Dr. Saskia Bourgeois (Abt. Lärm und NIS, BAFU), Julius Nötzli (Abt. Recht, BAFU), Benedict Wyss-Käppeli (Abt. Lärm und NIS, BAFU)

Begleitung

Leitung

Urs Walker (Abt. Lärm und NIS, BAFU)

Bundesstellen

Hans-Jörg Birrer (bis 2020), Maximilian Schubiger (Bundesamt für Sport BASPO), Dr. Kurt Bisang (Bundesamt für Energie BFE), Dr. Peter Blattner (Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS), Siegfried Burkhalter (Bundesamt für Bauten und

Logistik BBL, Vertreter Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB)

Kantone

Stephan Breuer (Tiefbauamt des Kantons Bern, Vertreter Konferenz der Kantonsingenieure KIK), Dr. Odile Bruggisser (Amt für Raumplanung Kanton Solothurn, Vertreterin Konferenz der Beauftragten für Natur- und Landschaftsschutz KBNL), Valentin Delb (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Kanton Zürich), Marcel Mössner (Lufthygieneamt beider Basel)

Städte und Gemeinden

Daniel Lehmann Pollheimer (Schweizerischer Verband Kommunale Infrastruktur SVKI)

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2021: Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. 1. aktualisierte Auflage 2021. Erstausgabe 2005. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2117: 169 S.

Gestaltung

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Lichtmonitoring Andermatt: Automatisch erstellte Nachtaufnahme von Andermatt am 14. November 2016 um 3 Uhr.

© Amt für Umweltschutz Uri / inNET Monitoring AG

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-2117-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

1. aktualisierte Auflage 2021. Erstausgabe 2005.

© BAFU 2021

Schnelleinstieg: Was ist wo in der Vollzugshilfe Lichtemissionen?

Was?

Wo?

(Querverweise sind anklickbar)

Ausgangslage:

- Lichtquellen in der Nacht → Kap. 1.2, Tabelle 1
- Lichtemissionen am Tag → Kap. 1.2, Tabelle 2
- Was sind Emissionen und Immissionen? → Kap. 1.3, Abbildung 1
- Zielkonflikte und Synergien:
 - Anhang A2
 - Sport, Tourismus; Reklamebeleuchtungen → A2.1; A2.2
 - Sicherheit (u. a. Verkehrssicherheit, Kriminalität, subjektives Sicherheitsempfinden) → A2.3
- Licht emittierende Dioden (LED) → A2.4
- Energieeffizienz → A2.5

Auswirkungen von Lichtemissionen auf:

- Mensch → A1.1
- Natur (Tiere, Pflanzen, Lebensräume) → A1.2
- Nachtlandschaft → A1.3

Rechtliche Aspekte und Vollzug:

- Übersicht bundesrechtliche Bestimmungen → A3.2
- Ausführliche rechtliche Erläuterungen → A3
- Normen (schweizerische und ausländische) → A3.4
- Bewilligungspflichtige Beleuchtungsanlagen → Kap. 7.3
- Bewilligungsfreie Beleuchtungsanlagen → Kap. 7.4
- Umgang mit Beanstandungen → Kap. 7.6

Begrenzung von Lichtemissionen in der Nacht:

- 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen → Kap. 3, Abbildung 2
- Erläuterungen zum 7-Punkte-Plan (grundsätzliche Massnahmen) → Kap. 3.3
- Einschätzung der Relevanz der Lichtemissionen einer Anlage und der Verhältnismässigkeit von vorsorglichen Massnahmen (Relevanzmatrix) → Kap. 4, Abbildung 3
- Lichtplanung (Beleuchtungskonzepte) → A4
- Spezifische Massnahmen für:
 - A5.1
 - Strassenbeleuchtungen → A5.2
 - Bahnhofbeleuchtungen → A5.3
 - Sportinfrastrukturen → A5.4
 - Gewerbe- und Industrieanlagen, Baustellen und Arbeitsplätze im Freien → A5.5
 - Befeuern von Luftfahrthindernissen → A5.6
 - Öffentliche Räume und Plätze → A5.7
 - Öffentliche Gebäude und Anlagen → A5.8
 - Reklamebeleuchtungen → A5.9
 - Private Gebäude und Anlagen, Weihnachtsbeleuchtungen → A5.10
 - Beleuchtungen im Naturraum

Beurteilung der Störwirkung von Lichtimmissionen auf den Menschen (Richtwerte):

- Kap. 5
- Sensitivität der Umgebung (Umgebungszonen) → Kap. 4.4, Tabelle 4
- Richtwerte zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung → Kap. 5.2
- Richtwerte zur Beurteilung der belastigenden Blendung in der Nacht → Kap. 5.3

Begrenzung von Lichtemissionen am Tag:

- Kap. 6
- Reflexion von Sonnenlicht an künstlichen Flächen → Kap. 6.1
- Lichteffekte durch drehende Rotoren von Windenergieanlagen → Kap. 6.2

Glossar: Fachbegriffe

→ A7

Inhaltsverzeichnis

<u>Abstracts</u>	<u>7</u>	<u>6 Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtemissionen am Tag</u>	<u>41</u>
<u>Vorwort</u>	<u>8</u>	6.1 Reflexion von Sonnenlicht	41
<u>1 Einleitung: Künstliches Licht in der Umwelt</u>	<u>9</u>	6.2 Lichteffekte von Windenergieanlagen	47
1.1 Ausgangslage	9	<u>7 Verfahren</u>	<u>50</u>
1.2 Lichtquellen	10	7.1 Zuständigkeitsregelung	50
1.3 Ausbreitung des Lichts	11	7.2 Richt- und Nutzungsplanung	50
1.4 Rechtsgrundlagen	13	7.3 Bewilligungsverfahren	51
<u>2 Ziel und Anwendung der Vollzugshilfe</u>	<u>14</u>	7.4 Bewilligungsfreie Beleuchtungsanlagen	55
2.1 Zweck	14	7.5 Einsprache- und Beschwerdelegitimation von Anwohnenden	55
2.2 Zielpublikum	14	7.6 Vorgehen bei Beanstandungen und Kontrollen von Amtes wegen	56
2.3 Anwendungsbereich	15	<u>Anhang</u>	<u>58</u>
2.4 Anlagen im Sinne des Umweltschutzgesetzes	15	<u>A1 Auswirkungen der Lichtemissionen</u>	<u>58</u>
<u>3 Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtemissionen in der Nacht</u>	<u>17</u>	A1.1 Auswirkungen auf den Menschen	58
3.1 Grundsätze (7-Punkte-Plan)	17	A1.2 Auswirkungen auf die Natur	59
3.2 Anwendbarkeit der Grundsätze (7-Punkte-Plan)	19	A1.3 Auswirkungen auf die Nachtlandschaft	70
3.3 Hinweise zur Umsetzung	19	<u>A2 Zielkonflikte und Synergien</u>	<u>73</u>
<u>4 Einschätzung der Relevanz der Lichtemissionen einer Anlage und der Verhältnismässigkeit von vorsorglichen Massnahmen</u>	<u>25</u>	A2.1 Sport und Tourismus	73
4.1 Kriterien	25	A2.2 Reklamebeleuchtungen	74
4.2 Relevanzmatrix	25	A2.3 Sicherheit	75
4.3 Lichtemission in den Aussenraum	26	A2.4 Licht emittierende Dioden (LED) in der Aussenbeleuchtung	80
4.4 Sensitivität der Umgebung	28	A2.5 Energieeffizienz durch intelligent gesteuerte Strassenbeleuchtung	83
4.5 Verhältnismässigkeit von vorsorglichen Massnahmen	30	<u>A3 Rechtlicher Rahmen</u>	<u>86</u>
<u>5 Empfehlungen zur Beurteilung der Störwirkung von Lichtimmissionen auf den Menschen (Einzelfallbeurteilung mittels Richtwerten)</u>	<u>31</u>	A3.1 Allgemeines	86
5.1 Grundsätzliches	31	A3.2 Rechtsgrundlagen des Bundes	86
5.2 Richtwerte für die Wohnraumaufhellung	32	A3.3 Kantonale und kommunale Regelungen	91
5.3 Richtwerte für die belästigende Blendung in der Nacht	36	A3.4 Normen und Empfehlungen	91
5.4 Anwendung der Richtwerte und Ermessensspielraum bei der Beurteilung der Störwirkung im Einzelfall	40	<u>A4 Grossräumige Lichtplanung und Konzepte</u>	<u>98</u>
		A4.1 Grundsätzliches	98
		A4.2 Beleuchtungskonzepte	98

A5 Spezifische Massnahmen für verschiedene

Beleuchtungssituationen und -anlagen **107**

A5.1	Strassenverkehrsinfrastruktur (Strassenbeleuchtungen)	107
A5.2	Weitere Verkehrsinfrastrukturen (Bahnhöfe, Haltestellen etc.)	117
A5.3	Sportinfrastrukturen	119
A5.4	Gewerbe- und Industrieanlagen, Baustellen und Arbeitsplätze im Freien	125
A5.5	Befeuerung von Luftfahrthindernissen	127
A5.6	Öffentliche Räume und Plätze	129
A5.7	Öffentliche Gebäude und Objekte	132
A5.8	Reklamebeleuchtungen	137
A5.9	Private Gebäude und Anlagen, Weihnachtsbeleuchtung	142
A5.10	Beleuchtungen im Naturraum	148

A6 Hinweise zu den Richtwerten zur Beurteilung der

Störwirkungen auf den Menschen 153

A6.1	Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung in der Nachtruhezeit (22 bis 6 Uhr)	153
A6.2	Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung ausserhalb der Nachtruhezeit	154
A6.3	Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung der belästigenden Blendung	154

<u>A7</u>	<u>Glossar</u>	157
------------------	-----------------------	------------

A8	Literaturverzeichnis	160
-----------	-----------------------------	------------

Bildnachweis	170
---------------------	------------

Abstracts

Artificial light emissions in Switzerland have more than doubled over the last 25 years, as areas with natural night skies continue to shrink. This can lead to habitat loss for nocturnal animals, which in turn limits their areas of activity and reduces their food supply. People too are experiencing increasing disruption to their well-being, which has even resulted in cases being brought before the Federal Supreme Court. These guidelines are intended to help limit light emissions in accordance with legislation such as the Environmental Protection Act (EPA) and the Nature and Cultural Heritage Act (NCHA). To this end, they should enable those involved in the planning, evaluation, approval and operation of lighting to take the measures required to avoid or minimise light emissions.

Keywords:

Light pollution, lighting, limitation of light emissions

Künstliche Lichtemissionen haben sich in der Schweiz in den letzten 25 Jahren mehr als verdoppelt. Die natürlich dunkle Nachtlandschaft wird auf immer kleinere Bereiche zurückgedrängt. Der Lebensraum von nachtaktiven Tieren kann zerschnitten, ihr Aktionsradius eingeschränkt und das Nahrungsangebot reduziert werden. Menschen werden zunehmend in ihrem Wohlbefinden gestört, was bis zu Klagen vor Bundesgericht führt. Die vorliegende Vollzugshilfe soll dazu beizutragen, Lichtemissionen im Sinne des Umweltschutzgesetzes (USG), des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) und weiterer Erlasse zu begrenzen. Zu diesem Zweck soll sie die in die Planung, die Beurteilung, die Bewilligung oder den Betrieb von Beleuchtungen involvierten Akteure befähigen, die notwendigen Massnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Lichtemissionen zu treffen.

Stichwörter:

Lichtverschmutzung, Beleuchtungen, Begrenzung Lichtemissionen

Les émissions lumineuses artificielles en Suisse ont plus que doublé au cours des 25 dernières années. Le paysage nocturne naturel est relégué à des espaces toujours plus restreints. Il en résulte que le milieu naturel des animaux nocturnes peut se trouver morcelé, réduisant leur rayon d'action et l'offre de nourriture. Le bien-être de l'être humain en souffre également dans une mesure croissante, ce qui a mené à des actions en justice jusque devant le Tribunal fédéral. La présente aide à l'exécution doit contribuer à limiter les émissions lumineuses dans l'esprit de la loi sur la protection de l'environnement (LPE), de la loi sur la protection de la nature et du paysage (LPN) et d'autres actes législatifs. Elle doit permettre aux différentes personnes participant à la planification, à l'évaluation, à l'octroi d'autorisations et à l'exploitation d'installations lumineuses de prendre les mesures qui s'imposent afin d'éviter ou de réduire ces émissions.

Mots-clés:

Pollution lumineuse, éclairages, limitation des émissions lumineuses

Negli ultimi 25 anni, in Svizzera, le emissioni di luce artificiale sono più che raddoppiate. Il paesaggio notturno naturalmente buio viene confinato in aree sempre più ridotte. Di conseguenza, lo spazio vitale di animali notturni può essere frammentato, il loro raggio d'azione limitato e l'offerta di cibo ridotta. Il benessere delle persone è sempre più perturbato, dando origine a cause che finiscono davanti al Tribunale federale. Il presente aiuto all'esecuzione ha lo scopo di aiutare a limitare le emissioni luminose ai sensi della legge sulla protezione dell'ambiente (LPAmb), della legge sulla protezione della natura e del paesaggio (LPN) e di altri atti normativi. A tal fine, deve consentire agli attori coinvolti nella pianificazione, nella valutazione, nell'autorizzazione o nell'esercizio di impianti di illuminazione di adottare le misure necessarie per prevenire o ridurre le emissioni luminose.

Parole chiave:

inquinamento luminoso, illuminazioni, limitazione delle emissioni luminose

Vorwort

Die Erfindung des elektrischen Lichts ermöglichte Arbeiten und Freizeitaktivitäten zu jeder Tages- und Nachtzeit. Die 24-h-Gesellschaft hat neben dem urbanen Raum mittlerweile auch den ländlichen Raum in Beschlag genommen. Dies führt unvermeidbar zu einer Zunahme von Lichtemissionen. Zu viel Licht am falschen Ort und zur falschen Zeit stört aber Menschen in ihrem Wohlbefinden, beeinträchtigt nachtaktive Tiere, verändert die natürlich dunkle Nachtlandschaft und erschwert die Beobachtung des Sternenhimmels.

Im Jahr 2005 hat unser Amt erstmals «Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen» veröffentlicht. Seither haben sich in der Beleuchtungstechnik Licht emittierende Dioden (LED) durchgesetzt, und Sensoren zur Erfassung von Personen und elektronische Steuerungsmöglichkeiten wurden weiterentwickelt. Diese Technologien ermöglichen es, Licht bedarfsgerechter und gezielter zu nutzen als früher. Sie können somit dazu beitragen, unerwünschte Lichtemissionen zu vermindern und Energie zu sparen.

Angesichts der hohen Energieeffizienz von LED gilt es aber aufzupassen, dass es nicht zu einem zusätzlichen Ausbau von Beleuchtungen kommt, was dem Grundsatz der Emissionsminderung zuwiderlaufen würde. Auch weist ihr Licht ein anderes Spektrum auf als herkömmliche Leuchtmittel. Das hat Vorteile. Menschen können in diesem Licht Farben besser unterscheiden. Das breitere Spektrum kann aber auch Nachteile haben: Aufgrund der grösseren Blauanteile ist eine Störung der inneren Uhr und damit des natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus von Mensch und Tier eher möglich, als bei Leuchtmitteln mit einem engeren Spektrum. Auch bei der Anlockwirkung von künstlichem Licht auf Insekten, spielt dessen spektrale Zusammensetzung eine grosse Rolle.

Wie alle neuen technologischen Möglichkeiten führen somit auch die Neuerungen in der Beleuchtungstechnologie nicht automatisch dazu, dass negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt verringert werden. Hier kommt diese Vollzugshilfe ins Spiel. Sie enthält im Hauptteil Empfehlungen und Instrumente wie den 7-Punkte-Plan und die Relevanz-Matrix für Massnahmen zur Begrenzung von Lichtemissionen. Weiter empfiehlt sie Richtwerte, um die Störwirkung auf den Menschen zu beurteilen, und liefert Hinweise zum Vorgehen bei der Prüfung, ob Beleuchtungsanlagen die umweltrechtlichen Vorgaben einhalten. Da sich Lichtemissionen jedoch nur reduzieren lassen, wenn Massnahmen in der Praxis auch umgesetzt werden, finden sich im Anhang der Vollzugshilfe konkrete Beispiele für verschiedene Beleuchtungssituationen und -anlagen sowie Hinweise, wie bei der Erarbeitung von Beleuchtungskonzepten vorgegangen werden kann.

Das geeignete Zusammenspiel von Beleuchtung und Dunkelheit ist ein komplexes Feld und benötigt die Zusammenarbeit verschiedenster Akteure. Wir hoffen, dass wir mit dieser Vollzugshilfe einen nützlichen Beitrag dazu leisten, dass Licht am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, in der richtigen Intensität und mit dem geeigneten Spektrum eingesetzt wird – und dass sich auf diese Weise umgekehrt auch die Dunkelheit in der Nacht wieder mehr ausbreiten kann, nachtaktive Tiere ihren Lebensraum zurückerhalten und auch der Mensch die nächtliche Landschaft und den Sternenhimmel wieder intensiver geniessen oder etwas tiefer schlafen kann.

Paul Steffen, Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einleitung: Künstliches Licht in der Umwelt

1.1 Ausgangslage

Immer mehr fühlen sich Menschen in ihrem Wohlbefinden durch Lichtimmissionen gestört – sowohl durch Aussenbeleuchtungen in der Nacht als auch am Tag durch Sonnenlicht, das an künstlichen Flächen wie Glasfassaden oder Photovoltaikanlagen reflektiert wird. Dies führte bis zu Klagen vor Bundesgericht. Neue Beleuchtungstechnologien mit höheren Lichtstärken und die immer geringeren Kosten für Beleuchtungen verstärkten die Problematik in den letzten Jahren. So haben sich die gegen oben gerichteten und reflektierten Lichtemissionen in der Schweiz in den letzten 25 Jahren mehr als verdoppelt (vgl. Anh. A1.3).

Die Durchdringung unseres Lebensraumes mit künstlichem Licht wird umgangssprachlich auch als «Lichtverschmutzung» bezeichnet. Bildlichen Ausdruck findet diese, wenn das Licht von Städten, Agglomerationen, Gebäuden und Anlagen bei Dunst, Nebel oder einer niedrigen Wolkendecke an den Wassertröpfchen reflektiert wird und sich eine grossräumige «Lichtglocke» bildet. Studien haben gezeigt, dass solche «Lichtglocken» oder «Lichtdome» Zugvögel, die nachts unterwegs sind, in ihrer Orientierung stören und von ihrem Kurs abbringen können. Aber auch lokale Lichtquellen können nachtaktive Tiere beeinträchtigen, indem sie ihren Lebensraum zerschneiden, ihren Aktionsradius einschränken und das Nahrungsangebot reduzieren.

Natürliche Dunkelheit stellt auch ein wichtiges Element der Landschaftsqualität dar. So vermitteln Mond und Sterne dem Menschen bei Dunkelheit andere Eindrücke von der Landschaft als das Tageslicht oder künstliche Beleuchtung. Die Zunahme der Lichtemissionen drängt die natürlich dunkle Nachtlandschaft jedoch auf immer kleinere Bereiche zurück, und am Nachthimmel ist nur noch ein Bruchteil der potenziell wahrnehmbaren Sterne sichtbar.

Neben umweltrechtlichen Gerichtsentscheiden wurden in den letzten Jahren auch neue Normen zu Beleuchtungen im Aussenraum publiziert. Zudem finden in der Beleuchtungstechnik derzeit viele Entwicklungen statt, welche dank intelligenter Technologie eine optimale Steuerung des Lichts nach Bedarf ermöglichen. Dieser neuen Ausgangssituation soll die Vollzugshilfe Rechnung tragen, auch wenn sich die weitere Entwicklung der Beleuchtungstechnologie und die Auswirkungen auf Mensch und Natur noch nicht vollständig abschätzen lassen. Die Vollzugshilfe soll dazu beitragen, Lichtverschmutzung zu reduzieren und nächtliche Dunkelheit zum Wohle von Mensch und Natur zu fördern.

1.2 Lichtquellen

Die Erfindung des elektrischen Lichts ermöglichte erst Arbeiten und später auch Freizeitaktivitäten zu jeder Tages- und Nachtzeit und an fast jedem Ort. Sie führte nach und nach zu einer grossräumigen Beleuchtung in Städten sowie entlang von Verkehrswegen. Dies ermöglichte eine bessere Orientierung im Aussenraum, erhöhte punktuell die Verkehrssicherheit und verbesserte insbesondere das Sicherheitsgefühl in der Nacht. Mit der Zeit kamen Beleuchtungen hinzu, die für bestimmte Einrichtungen und Konsumgüter werben oder der gestalterischen oder (licht)künstlerischen Betonung von öffentlichen Plätzen und Gebäuden in der Nacht dienen.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht von Quellen von künstlichem Licht in der Umwelt bei Nacht. Welche Massnahmen zur Reduktion unnötiger Lichtemissionen getroffen werden können, wird in den Kapiteln aufgezeigt, auf die in der Tabelle verwiesen wird.

Als potenziell schädliche oder lästige Einwirkung im Geltungsbereich des Umweltschutzgesetzes gilt neben der künstlichen Beleuchtung in der Nacht auch Sonnenlicht, das durch den Bau oder Betrieb von Anlagen verändert wird. Hierzu zählen etwa Reflexionen von Sonnenlicht an Fassaden, Fensterflächen oder Solaranlagen. Diese Quellen bei Tag werden in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 1

Quellen von künstlichem Licht in der Umwelt in der Nacht

Beleuchtungskategorien und Beispiele	Weitere Hinweise
Beleuchtung von Strassenverkehrsinfrastrukturen; hierzu zählen z. B.: • Strassen, Kreisverkehrsplätze, Wege, Fussgängerstreifen • Fussgängerzonen, Fuss- und Velowege • Parkplätze, Parkhäuser • Signaletik (Signaltafeln, Wechselanzeigen, Verkehrsleitsysteme etc.)	→ Anh. A5.1 → Verkehrssicherheit: A2.3.2 Signaletik ist nicht Gegenstand der Vollzugshilfe
Beleuchtung von weiteren Verkehrsinfrastrukturen, z. B.: • Bahnhöfe, Haltestellen • Flughäfen, Flugplätze	→ Anh. A5.2
Beleuchtung von Sportinfrastrukturen: • im Siedlungsgebiet: z. B. Trainingsplätze und Stadien für Fussball und Leichtathletik, Tennisplätze, Freibäder etc. • ausserhalb des Siedlungsgebiets: z. B. Skipisten, Schlittelwege, Loipen, Joggingstrecken im Wald, Kajakstrecken, Aussenreitplätze etc.	→ Anh. A5.3 → Anh. A5.3.2 → Anh. A5.3.6
Beleuchtung für Industrie und Gewerbe (Arbeitsplätze im Freien); z. B.: • Industrie- und Gewerbeareale wie Güterbahnhöfe, Rangieranlagen, Verladeeinrichtungen, Rampen, Lagerplätze, Flutlichtanlagen Autohandel etc. • Industrie- und Gewerbebauten wie Einkaufszentren, Logistikzentren, Tankstellen, Autowaschanlagen, 24-Stunden-Shops etc. • Industrie- oder Bürogebäude mit Nachtnutzung (inkl. Licht, das vom Gebäudeinnern nach aussen gelangt) • Gewächshäuser • Spitäler • Nachtbaustellen (inkl. Baumaschinen)	→ Anh. A5.4
Beleuchtung von öffentlichen Gebäuden und Anlagen; z. B.: • Historische Gebäude, Denkmäler, Kirchen (Fassadenbeleuchtungen) • Verwaltungsgebäude, Schulen etc. • Öffentliche Plätze, Begegnungszonen • Stadtpärke	→ Anh. A5.7 → Anh. A5.7.3 → Anh. A5.7.4 → Anh. A5.6

Beleuchtungskategorien und Beispiele	Weitere Hinweise
Reklame- und Eventbeleuchtungen, z. B.: • Werbebeleuchtung: Firmenschilder, Leuchtreklamen, Schaufenster • «Skybeamer» oder Himmelsstrahler (starke Scheinwerfer, die vor allem zu Werbezwecken Licht in den Nachthimmel abstrahlen) • Lichtinstallationen mit Kunstanspruch • (permanente) Medienfassaden oder Screens	→ Anh. A5.8
Beleuchtung von privaten Gebäuden und Anlagen; z. B.: • Hochhäuser und andere Gebäude mit grossen Fensterflächen, verglasten Treppenhäusern etc. (Licht, das vom Gebäudeinnern nach aussen gelangt) • (funktionale) Aussenbeleuchtung • Gestaltungs- und Zierbeleuchtungen (im Garten, Fassadenbeleuchtungen, Objektbeleuchtungen, freistehende Zierleuchten etc.) • Weihnachtsbeleuchtungen	→ Anh. A5.9 → Anh. A5.9.2
Regelungen der Beleuchtung im Naturraum / von natürlichen Elementen, z. B.: • Berggipfel • Ufer, Teiche, Wasserfälle • Bäume, Sträucher	→ Anh. A5.10

Tabelle 2

Quellen von künstlichen Lichtemissionen am Tag

Kategorien und Beispiele	Weitere Hinweise
Reflexion von Sonnenlicht an künstlichen Flächen wie z. B.: • Glasfassaden • Metallverkleidungen • Fensterscheiben • Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) • Sonnenkollektoren	→ Kap. 6.1
Veränderung der natürlichen Sonneneinwirkung durch den Betrieb von Anlagen wie z. B.: • Periodischer Schattenwurf bzw. künstliches «Flackern» durch sich drehende Rotoren von Windenergieanlagen	→ Kap. 6.2

1.3 Ausbreitung des Lichts

Im Umweltschutz wird zwischen Emissionen und Immissionen unterschieden (vgl. Abbildung 1):

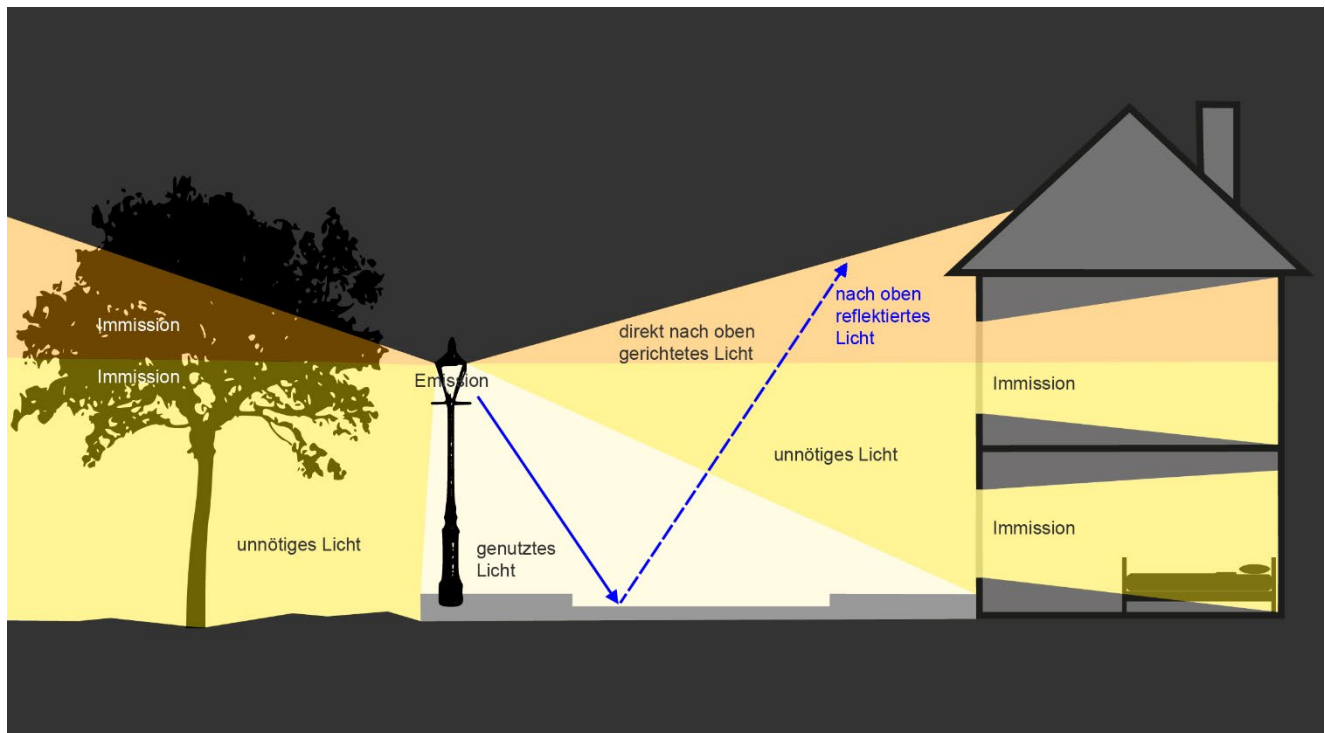
- Unter *Emission* ist das gesamte von einer Quelle (z. B. von einer Strassenbeleuchtung) abgestrahlte Licht zu verstehen. Dieses dient im Idealfall vollumfänglich dem vorgesehenen Beleuchtungszweck.
- Die *Immissionen* andererseits bezeichnen das Licht, das an einem Ort ankommt (z. B. in einer Wohnung oder bei einem Baum); es kann aus einer oder mehreren Quellen stammen. Auf dem Weg von der Quelle zum Ort der Einwirkung kann das Licht durch Hindernisse abgeschwächt oder ganz abgeschirmt werden.

Je nach Konstruktion der Leuchte gelangt ein Teil der Emission in der Praxis oft direkt in den Himmel oder neben die zu beleuchtenden Flächen. Dieser Anteil wird als unnötige Emission bezeichnet, welche es nach Möglichkeit zu vermeiden gilt.

Abbildung 1

Beispielhafte Darstellung einer Beleuchtungssituation

Das für den vorgesehenen Beleuchtungszweck genutzte Licht ist in hellgelb gehalten. Licht, das über die zu beleuchtenden Flächen hinaus reicht, ist dunkelgelb und orange gefärbt. Diese Lichtanteile sind unerwünscht, und sie gilt es (z. B. durch die Wahl einer geeigneten Leuchte) möglichst zu vermeiden.



Licht wirkt unterschiedlich weit, je nachdem in welche Richtung und in welcher Intensität es abgestrahlt wird:

- **Überregionale Ausbreitung:** Licht, das ohne Abschirmung gegen oben abgestrahlt wird, gelangt ungehindert in den Nachthimmel, verändert grossräumig die Nachtlandschaft und ist sogar vom Weltall aus ersichtlich, wie Satellitenbilder zeigen (vgl. Anh. A1.3).
- **Regionale Ausbreitung:** Gegen oben abgestrahltes oder reflektiertes Licht bildet über einer Stadt oder Agglomeration insbesondere bei Nebel eine sogenannte «Lichtglocke». Diese regional wahrnehmbare Aufhellung kann Zugvögel anziehen und von ihrem Weg ablenken (vgl. Anh. A1.2.2).
- **Lokale Ausbreitung:** Für die Belästigung des Menschen sind in der Regel die lokalen Immissionen massgebend, beispielsweise das Licht, das direkt in einen Wohnraum gelangt (vgl. Anh. A1.1). Auch auf Tiere und Pflanzen kann bereits eine kleinräumige Aufhellung der Nacht einen Einfluss haben. So werden zum Beispiel Insekten schon von einzelnen Leuchten angezogen (vgl. Anh. A1.2.2).

Relevant für Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Umwelt und den Menschen sind neben dessen Intensität auch dessen spektrale Zusammensetzung (z. B. Ultraviolett- oder Blau-Anteile), der Zeitpunkt (Tageszeit, Jahreszeit), die Dauer, die Periodizität bei variablen Lichtquellen sowie die Richtung der Beleuchtung. Eine wichtige Rolle spielt schliesslich auch die Beschaffenheit der Umgebung, in welcher die Immissionen auftreten.

In diesem Sinne wird in der vorliegenden Publikation unter «*Lichtverschmutzung*» dasjenige Licht verstanden, das räumlich, zeitlich oder punkto Intensität über den reinen Beleuchtungszweck hinausgeht oder aufgrund seiner spektralen Zusammensetzung negative Auswirkungen hat.

1.4 Rechtsgrundlagen

Lichtemissionen, die durch den Bau und Betrieb von Anlagen in der Umwelt ausgehen, fallen in den Geltungsbereich des Umweltschutzgesetzes (*USG*; *SR 814.01*). Dieses schützt Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume gegen schädliche oder lästige Einwirkungen (Art. 1 Abs. 1 USG). Ortsfeste und mobile Beleuchtungsanlagen müssen daher dem Grundsatz der vorsorglichen Emissionsbegrenzung genügen und dürfen zu keinen schädlichen oder lästigen Auswirkungen führen (vgl. Anh. A3.2.1). Das USG ist diesbezüglich auf Verordnungsebene nicht weiter ausgeführt worden.

Sind schützenswerte Naturräume oder Habitate von lichtempfindlichen Tiergruppen betroffen, sind auch die Vorgaben des Natur- und Heimatschutzgesetzes (*NHG*; *SR 451*), des Jagdgesetzes (*JSG*; *SR 922.0*) oder des Bundesgesetzes über die Fischerei (*BGF*; *SR 923.0*) einzuhalten (vgl. Anh. A3.2.2).

Wenn Lichtemissionen die nächtliche Landschaft beeinträchtigen, sind diese Eingriffe anhand des NHG zu beurteilen (vgl. Anh. A3.2.3).

2 Ziel und Anwendung der Vollzugshilfe

2.1 Zweck

Ziel der vorliegenden Vollzugshilfe ist es, dazu beizutragen, Lichtemissionen im Sinne des Umweltschutzgesetzes (USG), des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) und weiterer Erlasse zu begrenzen. Zu diesem Zweck soll sie die in die Planung, die Beurteilung, die Bewilligung oder den Betrieb von Beleuchtungen involvierten Akteure befähigen, die notwendigen Massnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Lichtemissionen zu treffen (vgl. Kap. 3 und Anh. A5). Die Vollzugshilfe konkretisiert damit das im USG verankerte Vorsorgeprinzip, wonach Lichtemissionen – unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung – so weit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist (Art. 11 Abs. 2 USG, vgl. Anh. A3.2.1).

Weiter soll die Vollzugshilfe für die Beurteilung herangezogen werden können, ob die von aussen (von Lichtquellen in der Umwelt) in einen Wohnraum gelangenden Lichtimmissionen für die Menschen in einem konkreten Fall lästig im Sinne des USG sind (Art. 11 Abs. 3 USG; vgl. Kap. 5).

Schliesslich soll die Vollzugshilfe für das Thema sensibilisieren, indem sie Hintergründe erläutert (vgl. Anh. A2 und Anh. A3) und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt aufzeigt (vgl. Anh. A1).

2.2 Zielpublikum

Die Vollzugshilfe richtet sich in erster Linie an die für den Vollzug des Umweltrechts und somit auch für die Beurteilung und Bewilligung von Beleuchtungen im Aussenraum zuständigen Behörden.

Indirekt richtet sich die Vollzugshilfe damit auch an Umwelt- und Ingenieurbüros, Bauherren oder Lichtplaner, die an der Planung, dem Bau oder dem Betrieb von Beleuchtungen beteiligt sind oder die Abklärungen und Dokumentationen im Rahmen von Bewilligungsverfahren erstellen. Diese Akteure können der Vollzugshilfe entnehmen, worauf die Behörden bei der Beurteilung und Bewilligung achten und wie entsprechende Gesuche zu dokumentieren sind.

Schliesslich dient die Vollzugshilfe auch den Eigentümern und Betreibern von Beleuchtungsanlagen. Sie finden darin Informationen zur optimalen Ausgestaltung ihrer Beleuchtung, damit diese keine unnötigen Lichtemissionen verursachen und den Vorgaben des Umweltrechts entsprechen.

2.3 Anwendungsbereich

Mit dieser Vollzugshilfe wird kein neues Recht geschaffen. Die Anforderungen des USG, des NHG und weiterer Erlasse an die Begrenzung von Lichtemissionen haben bereits vorher bestanden und gelten unverändert weiter. Sie werden mit der Vollzugshilfe aber konkretisiert und anhand von Beispielen für die Anwendung in der Praxis veranschaulicht.

Es wird empfohlen, diese Vollzugshilfe anzuwenden:

- beim Bau von neuen Beleuchtungsanlagen,
- bei der teilweisen oder totalen Erneuerung bzw. Anpassung bestehender Beleuchtungsanlagen
- in Beschwerdeverfahren, bei Beanstandungen sowie
- in allen Fällen, in denen die Behörden von Amtes wegen aktiv werden.

Das USG verlangt auch die Sanierung bestehender Anlagen, sofern sie den Anforderungen einer vorsorglichen oder verschärften Emissionsbegrenzung nicht standhalten. Es wird empfohlen, dass die Behörden im Einzelfall und unter Berücksichtigung der verschiedenen Interessen über eine Sanierung entscheiden. Dabei ist insbesondere auch dem Vertrauensschutz Rechnung zu tragen. Wird eine Sanierung ins Auge gefasst, kann die Vollzugshilfe als Leitlinie dienen.

2.4 Anlagen im Sinne des Umweltschutzgesetzes

Als Anlagen im Sinne des USG gelten Bauten, Verkehrswege und andere ortsfeste Einrichtungen, Terrainveränderungen sowie Geräte, Maschinen, Fahrzeuge, Schiffe und Luftfahrzeuge (Art. 7 Abs. 7 USG).

Umweltrelevante Lichtemissionen können von einer Vielzahl von Anlagen verursacht werden (vgl. Kap. 1.2). Der Anlagebegriff des USG ist weit gefasst. Er ist je nach Problemstellung und jeweils orientiert am Ziel eines optimalen Umweltschutzes flexibel zu handhaben. Für die Beurteilung von Emissionsbegrenzungen soll er derart ausgelegt werden, dass er im Hinblick auf die zu begrenzende Störwirkung zweckmässig ist. Je nach Kontext kommen deshalb folgende Anlagebegriffe in Frage:

- Beleuchtungsanlagen: Zur Anlage werden nur jene Einzelanlagen einer Gesamtanlage gezählt, welche dem Zweck der Beleuchtung dienen, z. B. einzelne oder mehrere Leuchten.
- Anlagen mit integrierter Beleuchtung: Betrachtet wird die Gesamtanlage, die u. a. auch eine Beleuchtungsanlage umfasst.
- Diejenigen Einzelanlagen oder eine entsprechende Gesamtanlage, die künstliche Lichtemissionen am Tag zur Folge haben.

Wichtig ist der Einbezug sämtlicher, auch allfälliger zusätzlicher (mobiler) Lichtquellen in die Beurteilung einer Anlage, sofern diese in einem engen räumlichen und funktionalen Zusammenhang stehen. Nicht entscheidend ist dabei, ob diese Einrichtungen auf Dauer angelegt sind, welchem Zweck sie dienen oder ob sie räumlich abgeschlossene Bauwerke darstellen (auch ein Open-Air-Kino oder ein Reitplatz kann als Anlage im Sinne des USG gelten). Einschränkend gilt aber auch, dass von einer Anlage nur dort gesprochen werden kann, wo bauliche bzw. technische Einrichtungen erforderlich sind.

Konkret bedeuten diese Ausführungen zum Anlagebegriff zum Beispiel Folgendes:

- Zur Wohnraumaufhellung trägt oft die gesamte Anlage (z. B. alle Kandelaber einer Sportplatzbeleuchtung zusammen) bei. Entsprechend sind sämtliche relevanten Leuchten zusammen zu beurteilen (vgl. Kap. 5.2).
- Bei der belästigenden Blendung kann es hingegen sinnvoll sein, die verschiedenen Leuchten der Baute oder Anlage einzeln zu betrachten und deren Wirkung als einzelne Quellen zu beurteilen (vgl. Kap. 5.3).
- Bei einer Strasse kann nicht nur die Strassenbeleuchtung störend sein, sondern unter speziellen Umständen auch die Blendung durch die Scheinwerfer der darauf verkehrenden Fahrzeuge. Letzteres ist dann der Fall, wenn die Scheinwerfer der Fahrzeuge aufgrund von besonderen topographischen Verhältnissen direkt in Wohnräume hinein strahlen (z. B. Ausfahrt Tiefgarage oder Kuppe, die überfahren wird). Bei einer mehr oder weniger horizontal verlaufenden Strasse hingegen kann aufgrund der leicht gegen unten gerichteten Scheinwerfer der Fahrzeuge davon ausgegangen werden, dass das Licht nicht direkt in Wohnungen hinein gelangt.

Hinweise zur Bewilligungspflicht von Anlagen finden sich in Kapitel 7.3 und zum Umgang mit Beanstandungen in Kapitel 7.6.

3 Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtemissionen in der Nacht

3.1 Grundsätze (7-Punkte-Plan)

Lichtemissionen sind gemäss Artikel 11 Absatz 1 des Umweltschutzgesetzes (USG) in erster Linie mit Massnahmen an der Quelle zu begrenzen (vgl. Anh. A3.2.1). Solche Massnahmen ergeben sich aus den nachfolgend dargestellten sieben Grundsätzen zur Begrenzung von Lichtemissionen (7-Punkte-Plan, Abbildung 2). Sie dienen insbesondere dazu, Lichtemissionen zu vermeiden, die räumlich, zeitlich oder punkto Intensität über den reinen Beleuchtungszweck hinausgehen (unnötige Emissionen) oder aufgrund ihrer spektralen Zusammensetzung negative Auswirkungen haben. Auf diese Weise gilt es, Störungen für den Menschen, die Natur oder des Landschaftsbildes zu vermeiden.

Abbildung 2

Grundsätze zur Begrenzung von Lichtemissionen im Überblick (7-Punkte-Plan)

Grundsätze zur Begrenzung von Lichtemissionen (7-Punkte-Plan)**[1] Notwendigkeit**

Braucht es eine Beleuchtung?

- Nur beleuchten, was beleuchtet werden muss.
- Kap. 3.3.1

**[2] Intensität / Helligkeit**

Wie hell muss die Beleuchtung sein?

- Nur so hell beleuchten, wie nötig.
- Kap. 3.3.2

**[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe**

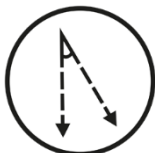
Ist das Lichtspektrum richtig gewählt?

- Lichtspektrum auf Beleuchtungszweck und Umgebung abstimmen.
- Kap. 3.3.3

**[4] Auswahl und Platzierung der Leuchten**

Ist der passende Leuchtentyp gewählt und geeignet platziert?

- Die Beleuchtung soll möglichst präzise und ohne unnötige Abstrahlungen in die Umgebung erfolgen.
- Kap. 3.3.4

**[5] Ausrichtung**

Sind die Leuchten optimal ausgerichtet?

- Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten.
- Die Leuchten bei der Montage präzise ausrichten.
- Kap. 3.3.5

**[6] Zeitmanagement / Steuerung**

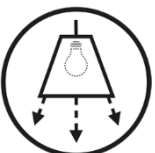
Wann braucht es welche Beleuchtung?

Kann die Beleuchtung zeitweise ausgeschaltet oder reduziert werden?

- Bezogen auf die Tages- bzw. Nachtzeit?
- Bezogen auf die Jahreszeit (saisonal)?

Kann die Beleuchtung aktiv (bedarfsgerecht) gesteuert werden?

- Die Beleuchtung nach Möglichkeit bedarfsgerecht steuern und zeitweise ausschalten oder reduzieren.
- Kap. 3.3.6

**[7] Abschirmungen**

Sind Abschirmungen vorzusehen?

- Zusätzliche Abschirmungen in spezifischen Problemfällen.
- Kap. 3.3.7

3.2 Anwendbarkeit der Grundsätze (7-Punkte-Plan)

Der 7-Punkte-Plan ist sowohl bei der Planung und Bewilligung als auch bei der Abnahme und Prüfung während des Betriebs und bei der Beurteilung von Beanstandungen aller in Tabelle 1 aufgeführten Quellen anwendbar (vgl. Abbildung 2).

Bei bewilligungspflichtigen Beleuchtungsanlagen sollen die Abklärungen und Massnahmen gemäss dem 7-Punkte-Plan im Rahmen des Bewilligungsverfahrens von den zuständigen Behörden als Dokumentation eingefordert und überprüft werden (vgl. Kap. 7.3). Die sieben Grundsätze können aber auch beim Umgang mit Beanstandungen herangezogen werden (vgl. Kap. 7.6).

Je nach Situation kann es sinnvoll sein, die sieben Punkte in einer anderen als der dargestellten Reihenfolge zu behandeln.

Die ersten drei oder vier Punkte und das Zeitmanagement können bereits im Rahmen von grossräumigen Lichtplanungen (z. B. bei der Erstellung von Beleuchtungsplänen oder -strategien) behandelt werden. Hinweise dazu finden sich in Anhang A4. Bei kleinräumigen Lichtplanungen (z. B. eines öffentlichen Platzes) sowie bei der Planung einer einzelnen Beleuchtungsanlage sind alle sieben Punkte von Bedeutung.

Grundsätzliche Gesichtspunkte zu diesen sieben Punkten werden in den Kapiteln 3.3.1 bis 3.3.7 vorgestellt. In Anhang A5 wird der 7-Punkte-Plan zudem auf bestimmte Beleuchtungssituationen und -anlagen angewendet und spezifische Massnahmen werden aufgezeigt. Der Anhang A5.10 enthält zusätzliche Hinweise zur Reduktion der Auswirkungen auf licht sensible Arten und ihre Lebensräume.

3.3 Hinweise zur Umsetzung

3.3.1 Notwendigkeit



Als Leitprinzip gilt: «Nur beleuchten, was beleuchtet werden muss.»

Bei der Prüfung der Notwendigkeit sind auch bestehende Beleuchtungen einzubeziehen:

- Bestehende Anlagen zurückbauen, die nicht notwendig sind.

Hinweise zur Prüfung der Notwendigkeit bei neuen oder zu erneuernden Anlagen:

- Ein Beleuchtungskonzept kann zur Klärung der Notwendigkeit hilfreich sein.
- Es empfiehlt sich, grosse Beleuchtungsanlagen (wie Strassenbeleuchtungen) oder Beleuchtungen von öffentlichen Räumen und Anlagen nicht isoliert zu erneuern oder zu planen, sondern in ein übergeordnetes Beleuchtungskonzept oder einen grossräumigen Beleuchtungsplan einzubetten (vgl. Anh. A4). Ein solches Konzept kann je nach Grösse der Region, für die es vorgesehen ist, unterschiedlich umfangreich ausfallen. Im Minimum sollten allgemeine Grundsätze zur Beleuchtung vorhanden sein.

- Auf Beleuchtungen im Naturraum sowie in nicht oder dünn besiedelten Gebieten ist möglichst zu verzichten.
- Sollte eine Beleuchtung im Naturraum als notwendig erachtet werden, sind unter Einbezug der Fachstellen für Natur und Landschaft sowie für Jagd und Wildtiere Zielkonflikte mit sensiblen Arten und Lebensräumen und dem Erhalt des Landschaftsbildes frühzeitig zu erfassen und die Auswirkungen von Lichtemissionen zu minimieren. Wird festgestellt, dass eine Population von geschützten oder bedrohten Arten, Unterarten oder Arten, für welche die Schweiz eine besondere Verantwortung trägt, wegen künstlichem Licht abnimmt, ist die Beleuchtung zu verbieten.

3.3.2 Intensität / Helligkeit



Als Leitprinzip gilt: «Nur so hell beleuchten, wie nötig, das heisst, die Bedürfnisse sind mit der geringstmöglichen Gesamtlichtmenge abzudecken.»

Die Anpassung der Helligkeit an den Beleuchtungszweck ist eine wichtige Massnahme, um Lichtemissionen und deren Auswirkungen auf Menschen und Umwelt zu begrenzen. Gleichzeitig lässt sich so auch Energie sparen. Beim Festlegen der Intensität gilt es folgende Punkte zu beachten:

- Umgebungshelligkeit miteinbeziehen: In einer eher dunklen Umgebung braucht es weniger intensives Licht, um einen beabsichtigten Beleuchtungszweck zu erfüllen. Zusätzliche Beleuchtungen in einer Umgebung machen allenfalls eine Anpassung bestehender Beleuchtungen nötig.
- Dort, wo man sich auf sicherheits- oder arbeitstechnisch orientierte Normen stützt, die bestimmte Sollwerte vorgeben, muss die Maxime lauten: Die Normwerte einhalten, aber nicht übererfüllen (keine Überbeleuchtung). Es ist insbesondere darauf zu achten, die angemessene Beleuchtungskategorie zu wählen, wenn die Norm verschiedene Kategorien unterscheidet.
- LED-Leuchten mit geeignetem Vorschaltgerät lassen sich stufenlos dimmen und sehr präzise auf die erforderliche Lichtintensität einstellen. Zudem kann bei LED der abgegebene Lichtstrom über die ganze Lebensdauer nahezu konstant gehalten werden (vgl. Anh. A2.4). Dadurch muss die Intensität nicht überdimensioniert werden, wie dies bei älteren Technologien der Fall war, um sicherzustellen, dass die Leuchten auch am Ende ihrer Lebensdauer noch ausreichend Licht abgeben.
- Die Forschung bezüglich der Lichtsensibilität verschiedener Arten und Artengruppen ist unterschiedlich weit fortgeschritten. Ein fundiertes Wissen ist aber unerlässlich für den erfolgreichen Schutz des vorhandenen Artenreichtums. Bei der Planung von neuen Beleuchtungsanlagen sind daher stets die neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse zu berücksichtigen. Klar ist jedoch, dass die Sehsysteme nachtaktiver Tiere, die sich im Laufe der Evolution an sehr geringe Beleuchtungsniveaus angepasst haben und daher sehr empfindlich sind, bereits bei geringen Intensitäten von künstlichem Licht gestört werden können. Entsprechend muss es das Ziel sein, die Intensität so weit wie möglich zu begrenzen.

3.3.3 Lichtspektrum / Lichtfarbe



Als Leitprinzip gilt: «Sorgfältige, auf den Beleuchtungszweck und den Beleuchtungsort (Umgebung berücksichtigen) abgestimmte Wahl des verwendeten Lichtspektrums.»

Unterschiedliche Leuchtmittel erzeugen Licht mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung. Viele nacht-aktive Tiere, insbesondere viele Insekten, werden durch Licht mit kurzen Wellenlängen (UV- und Blaulicht) angezogen. Heutzutage werden zur Beleuchtung meistens Licht emittierende Dioden (LED) eingesetzt. Warmweisse LED-Leuchten sind etwas weniger energieeffizient als kaltweisse und neutralweisse LED-Leuchten¹. Dafür weisen sie im Lichtspektrum einen geringeren Blauanteil auf, der eine besonders negative biologische Auswirkung hat. Zudem empfinden viele Menschen warmweisses Licht als angenehmer als neutral- oder kaltweisses (vgl. Anh. A1.1.5 und A2.4).

- Aus Sicht des USG und NHG sollten deshalb möglichst warmweisse LED eingesetzt werden – gemäss Stand der Kenntnis solche einer Farbtemperatur von weniger als 2700 K.²
- Die Anliegen des Energiesparens und des Vermeidens von blauen Lichtanteilen sind jedoch fallweise gegeneinander abzuwägen.
- Eine Beeinträchtigung von Arten und Lebensräumen, die geschützt, bedroht oder von besonderer Bedeutung sind, mit dem Argument der Schonung von Ressourcen ist jedoch nicht zulässig.
- Kaltweisse LED (> 5300 K) sollten nicht verwendet werden.
- Werden aus Sicherheitsüberlegungen neutralweisse LED (4000 K) eingesetzt, ist zu prüfen, ob die Intensität gesenkt werden kann (z. B. mit Beleuchtungstests, Bemusterungen vor Ort, Befragungen etc.). Denn Licht mit einem hohen Blauanteil wirkt für den Menschen bei gleicher Intensität heller als Licht mit wenig Blau im Spektrum, weil die Empfindlichkeit des menschlichen Auges im Dämmerungssehen in den blau-grünen Bereich verschoben ist.
- Wenn die für einen Beleuchtungszweck benötigten Leuchtmittel aufgrund ihrer spektralen Zusammensetzung einen negativen Einfluss auf einen Lebensraum und die darin vorkommenden Organismen haben können, sind die Leuchten mit Filtern zu versehen, um unerwünschte Spektrumsanteile zu beschränken (z. B. UV-Filter).

¹ Warmweisse LED mit einer Farbtemperatur von 3000 Kelvin (K) sind im Vergleich zu neutralweissen LED mit 4000 K gemäss Herstellerangaben rund 10 bis 20 % weniger energieeffizient. Unabhängig von der Farbtemperatur weisen LED im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln aber bereits eine deutlich bessere Energieeffizienz auf. Diese kann durch den Einsatz von dynamischen Steuerungen für Licht nach Bedarf nochmals gesteigert werden (vgl. Anh. A2.5).

² Diese Empfehlung orientiert sich an verschiedenen Studien (z. B. Longcore et al. 2018, Luginbuhl et al. 2014) und Empfehlungen anderer Länder (vgl. Frankreich in Anh. A3.4.3).

3.3.4 Auswahl und Platzierung der Leuchten



Als Leitprinzip gilt: «Passenden Leuchtentyp wählen und Leuchten geeignet platzieren, damit die Beleuchtung möglichst präzise und ohne unnötige Abstrahlungen in die Umgebung erfolgt.»

Ein zentrales Element zur Begrenzung von Lichtemissionen in die Umgebung ist die für den jeweiligen Beleuchtungszweck optimierte Wahl des Leuchtentyps und die geeignete Platzierung der Leuchten, damit die Beleuchtung möglichst präzise erfolgt und die Abgabe von Streulicht in die Umgebung minimiert wird.

Rahmenbedingungen und Planung:

- Damit möglichst kein Licht in sensible Lebensräume wie Biotop von nationaler und regionaler Bedeutung, Jagdbanngebiete für Wildtiere, Wildruhezonen, Wasser- und Zugvogelreservate, Waldreservate, Fischlaichgebiete, sensible Wintereinstände und Brunftgebiete gelangt, können Pufferzonen vorgesehen werden zwischen Beleuchtungsanlagen und diesen Gebieten. Pufferzonen empfehlen sich auch bei Anlagen, die für die Wiederherstellung von ökologischen Funktionen notwendig sind (z. B. Wildtierpassagen, Fischtreppe/Fischpässe). Für Beleuchtungsanlagen in solchen Störungspufferzonen sind besonders strikte Auflagen zu formulieren, um Lichtmissionen im zu schützenden Raum möglichst gering zu halten.
- Die Beleuchtung ist so zu planen, dass Dunkelkorridore und -gebiete um beleuchtete Infrastrukturen herum erhalten bleiben (z. B. in Grüngürteln), damit die Lebensräume nachtaktiver Tiere vernetzt und intakt bleiben.
- Bei grossen Beleuchtungsanlagen (Strassen-, Sportplatz-, Bahnhofs-, Gleisfeldbeleuchtungen etc.) empfiehlt es sich, Fachleute beizuziehen und Beleuchtungsberechnungen erstellen zu lassen. Damit können die für den konkreten Fall am besten geeigneten Leuchten und deren optimale Platzierung und Ausrichtung unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Umgebung ausgewählt werden.

Umsetzung:

- Die Leuchte soll eine gute Lichtlenkung aufweisen, damit möglichst nur diejenigen Flächen beleuchtet werden, die Licht brauchen. LED-Leuchten können – richtig eingesetzt – das Licht gezielter ausrichten als herkömmliche Leuchten (vgl. Anh. A2.4).
- Bei einer Anordnung der Leuchten am Rand lässt sich mit asymmetrisch strahlenden Leuchten die zu beleuchtende Fläche besser begrenzen als mit Leuchten, die eine symmetrische Lichtverteilung aufweisen. Dies gilt auch für LED-Leuchten (vgl. Anh. A5.3.3).
- Durch eine Optimierung der Höhe der Leuchten über Boden (sog. Lichtpunkthöhe) lassen sich die Fernwirkung der Leuchten und die Emissionen auf direkt angrenzende Wohn- oder Naturräume vermindern. Spezielle topographische Gegebenheiten (z. B. Hanglage, erhöhter Standort) können zu besonderen Einwirkungssituationen führen (z. B. direkter Blick in Leuchten, erhöhte Fernwirkung etc.). Gegebenenfalls sind spezifische, der Situation angepasste (Zusatz-)Massnahmen notwendig, um die Emissionen in sensible Gebiete zu begrenzen (vgl. Kap. 3.3.7).
- Die Leuchten sollen dicht sein, damit Kleinlebewesen wie Insekten oder Spinnen nicht eindringen können.

3.3.5 Ausrichtung



Als Leitprinzip gilt: «Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten. Die Leuchten bei der Montage präzise ausrichten.»

Hinweise zur Ausrichtung:

- Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten, um unnötige Abstrahlungen in den Nachthimmel zu vermeiden.
- Die Leuchten so ausrichten, dass von benachbarten Wohnräumen aus keine direkte Einsicht in die Lichtquelle möglich ist. Diesbezüglich ist auch horizontal abstrahlendes Licht möglichst zu vermeiden.
- Die Leuchten bei der Montage präzise ausrichten, damit nur beleuchtet wird, was zu beleuchten ist.
- Die Ausflughöcher der Tagesschlafverstecke von Fledermäusen dürfen nicht beleuchtet werden, da die Fledermäuse ansonsten später oder gar nicht zur Jagd ausfliegen.
- Auch Nist- und Brutplätze von Vögeln und anderen Tierarten auf alten Bauwerken wie Stadttürmen, -mauern oder Kirchen nicht direkt und indirekt und nicht dauernd beleuchten (vgl. Anh. A5.7.3).
- Naturnahe Gewässer und ihre Ufer ebenfalls nie direkt beleuchten. Gewässer sind ein Lebensraum, in welchem viele Organismen leben, die durch Licht beeinträchtigt werden können (z. B. Fische, Amphibien, Köcher- und Eintagsfliegen, Wasserflöhe, Zooplankton und Strudelwürmer).

3.3.6 Zeitmanagement / Steuerung



Als Leitprinzip gilt: «Die Beleuchtung nach Möglichkeit bedarfsgerecht steuern und zeitweise ausschalten oder reduzieren.»

In Bezug auf die zeitliche Steuerung von Beleuchtungen stellen sich folgende Fragen:

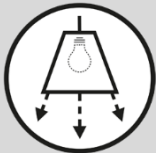
- Wann oder in welchen Zeiträumen braucht es welche Beleuchtung?
- Kann die Beleuchtung zeitweise abgestellt oder reduziert werden?
 - Bezogen auf die Tages- bzw. Nachtzeit?
 - Bezogen auf die Jahreszeit (saisonal)?
- Kann die Beleuchtung aktiv (bedarfsgerecht) gesteuert werden?

Hinweise zur bedarfsgerechten und zeitlichen Steuerung von Beleuchtungen:

- Moderne LED-Leuchten lassen sich ohne Verzögerung ein- und ausschalten sowie stufenlos dimmen. In Kombination mit intelligenten Steuerungssystemen ist es damit möglich, Beleuchtungen bedarfsgerecht zu steuern und das Licht nur dann einzuschalten, wenn es auch tatsächlich benötigt wird (vgl. Anh. A2.4).
- Berücksichtigung der Jahreszeit: Die Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf Tiere und ihre Lebensräume können je nach Jahreszeit unterschiedlich ausfallen:

- Eine Störung des Vogelzugs ist im Frühling (März bis Mai) und im Herbst (August bis November) möglich, besonders bei Nebel oder bedecktem Himmel. Einschränkungen der Beleuchtung, die auf den Schutz der Zugvögel abzielen, sind daher insbesondere in diesem Zeitraum angezeigt (z. B. automatisches Schliessen der Storen oder anderer Beschattungssysteme von hohen Gebäuden in der Nacht, vgl. Praxisbeispiel in Anhang A5.9.6; keine Beleuchtung von Berggipfeln, vgl. Anh. A5.10.2).
- Für Fledermäuse ist der Lichteinfall auf die Ausflughöhlen ihrer Tagesschlafverstecke in Dachstöcken sowie die künstliche Aufhellung der Flugkorridore von dort in ihr Jagdgebiet von Frühling bis Herbst problematisch. Den Winterschlaf verbringen die Fledermäuse hingegen meist in Felshöhlen, weshalb sie in diesem Zeitraum von Beleuchtungen im Prinzip nicht betroffen sind.
- Lange lineare Beleuchtungsstrukturen wie insbesondere Strassenbeleuchtungen können für Insekten eine unüberwindbare Barriere darstellen und auch die Flugkorridore von Fledermäusen in ihr Jagdgebiet unterbrechen. In der Vergangenheit waren Strassenbeleuchtungen häufig während der ganzen Nacht in Betrieb. Die heutige Technologie von LED-Leuchten in Kombination mit intelligenten Steuerungen erlaubt es, auch lichtstarke öffentliche Beleuchtungen bedarfsgerecht zu steuern, und zwar sowohl zeitlich als auch bezüglich der Intensität (vgl. Anh. A5.1). Solche Systeme tragen – bei guter Planung und Ausführung – dazu bei, die Barriere-Wirkung ausgedehnter Beleuchtungsstrukturen zu vermindern.

3.3.7 Abschirmungen



Als Leitprinzip gilt: «Zusätzliche Abschirmungen in spezifischen Problemfällen.»

- In spezifischen Problemfällen können die Emissionen in die Umgebung mit zusätzlichen Abschirmungen an den Leuchten weiter beschränkt werden.
- Auf sowie in der Nähe von Wildtierpassagen, die über Verkehrsinfrastrukturen führen, sind bei Bedarf Abschirmungen anzubringen, damit die Tiere nicht von den Scheinwerfern der Autos oder Züge gestört werden.

4 Einschätzung der Relevanz der Lichtemissionen einer Anlage und der Verhältnismässigkeit von vorsorglichen Massnahmen

4.1 Kriterien

Anhand folgender Kriterien lässt sich bestimmen, welche Relevanz die von einer Anlage ausgehenden Lichtemissionen für die Belastung in der Umgebung aufweisen:

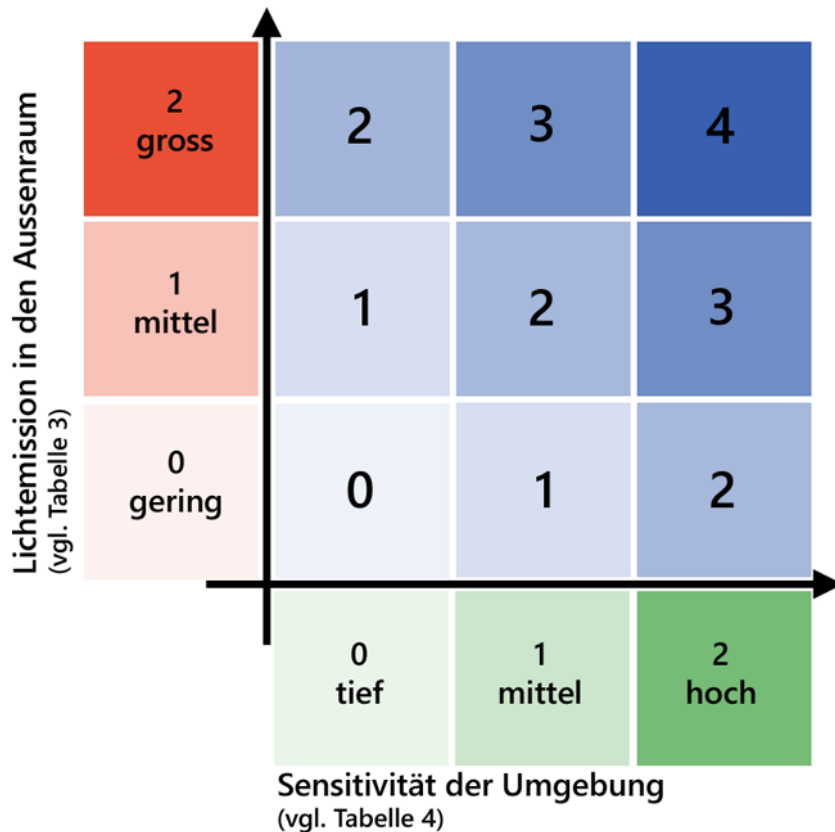
- Ausmass der Lichtemissionen in den Aussenraum: Diese kann im Einzelfall sehr gross (etwa bei der Beleuchtung von Strassen, Werkarealen oder Sportplätzen) bis sehr klein (z. B. bei einzelnen Lämpchen auf Privatgrundstücken) ausfallen. Auch die qualitative Art des Lichts hat einen Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit und den möglichen Grad der Belästigung.
- Sensitivität der Umgebung: Die Beschaffenheit und demzufolge die Sensitivität der Umgebung, wie sie ohne die zu beurteilende Lichtquelle besteht, kann ebenfalls sehr unterschiedlich sein, von sehr gross (z. B. Naturschutzgebiete) bis sehr gering (z. B. urbane Industrie- und Gewerbezone ohne nahegelegene Wohnräume oder schützenswerte Naturräume und Landschaften).

4.2 Relevanzmatrix

Die Relevanz der Lichtemissionen einer Anlage für die Umgebung kann nach der folgenden Matrix von Abbildung 3 beurteilt werden.

Abbildung 3**Matrix zur Bestimmung des Relevanzindex von Lichtemissionen einer Anlage**

Je nachdem, wie gross die Lichtemission einer Anlage ist (y-Achse) und wie sensitiv die Umgebung ist, in der sie steht (x-Achse), ergibt sich ein Relevanzindex von 0 bis 4. Je grösser der Zahlenwert, desto höher die Relevanz und desto dringlicher sind Massnahmen zur Begrenzung der Emissionen.



In Kapitel 4.3 finden sich Beispiele typischer Emissionen von verschiedenen Anlagen in den Aussenraum, und Kapitel 4.4 erläutert die verschiedenen Aspekte, die für die Einschätzung der Sensitivität der Umgebung relevant sind. Kapitel 4.5 widmet sich schliesslich den Massnahmen, die basierend auf der Relevanzmatrix und dem 7-Punkte-Plan getroffen werden sollten.

4.3 Lichtemission in den Aussenraum

Die *Emission* einer Beleuchtung in den Aussenraum hängt von folgenden Elementen ab:

- Intensität und Art der Beleuchtung (Lichtstärke, Lichtspektrum)
- Grösse und Ausdehnung der Beleuchtung
- Betriebszeiten, in welchen die Beleuchtung eingeschaltet ist

Für die Einteilung in die drei *Emissionsstufen* (gering, mittel, gross) der Relevanzmatrix dient die folgende Kategorisierung typischer Quellen in Tabelle 3 als erste Orientierungshilfe. Diese Kategorisierung hat im konkreten Einzelfall flexibel zu erfolgen; einzelne Beleuchtungen können aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften (z. B. Grösse, blinkende Lichter) auch in eine höhere oder tiefere Kategorie eingeteilt werden.

Tabelle 3**Typische Emissionen von verschiedenen Anlagen in den Aussenraum**

Anlagentyp	Emission in den Aussenraum
• Strassenbeleuchtungen • Beleuchtungen von Sportinfrastrukturen • Arealbeleuchtungen (Arbeitsplätze im Freien): Verladeeinrichtungen, Rampen, Güterbahnhöfe, Rangieranlagen, Lagerplätze, Flutlichtanlagen Autohandel etc. • Bahnhofsbeleuchtungen • Beleuchtungen weiterer Verkehrsinfrastrukturen: Haltestellen, Flughäfen, Flugplätze, Parkplätze • Industrie- und Gewerbebauten wie Einkaufszentren, Logistikzentren, Tankstellen, Autowaschanlagen, 24-Stunden-Shops etc.	Gross (2)
• Beleuchtungen öffentlicher Plätze, Begegnungszonen, Stadtpärke • Anstrahlungen von öffentlichen Gebäuden und Anlagen (Fassadenbeleuchtungen) • Reklamebeleuchtungen • Funktionale Aussenbeleuchtungen von Siedlungen • Nachtbaustellen • Gewächshäuser (Innenbeleuchtung) • Industrie- und Gewerbegebäude mit Nachtnutzung (Innenbeleuchtung) je nach Grösse • Innenbeleuchtung von Hochhäusern, Spitälern und anderen Gebäuden mit grossen Fensterflächen, verglasten Treppenhäusern	Mittel (1)
• Verwaltungs- und Bürogebäude mit Nachtnutzung • Weihnachtsbeleuchtungen und Ganzjahres-Zierbeleuchtungen • Funktionale Aussenbeleuchtungen Einfamilienhäuser • Innenbeleuchtung von Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern • Einzelne Zierleuchten	Gering (0)

Ein zusätzliches Kriterium bei der Zuteilung einer Lichtemission in eine Emissionsstufe ist ihre Dauer. Eine Dauerbeleuchtung während der ganzen Nacht hat in der Regel höhere Emissionen zur Folge als phasenweise oder akut auftretende Beleuchtungen. Die zeitliche Steuerung und temporäre Abschaltung (z. B. einer Strassenbeleuchtung oder Leuchtreklame) kann deshalb eine geeignete Massnahme zur Emissionsminderung darstellen (vgl. Kap. 3.3.6). In Einzelfällen können aber gerade auch unregelmässig auftretende Lichtemissionen (z. B. flackerndes Licht einer Lampe mit Flammeneffekt oder Scheinwerfer bei vorbeifahrenden Fahrzeugen) als besonders störend empfunden werden.

Als Nächstes zu berücksichtigen ist die Sensitivität der Umgebung (folgendes Kapitel 4.4). In der Nähe zu wertvollen Naturräumen können unter Umständen z. B. auch Innenbeleuchtungen von Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern grosse Auswirkungen haben (vgl. Kap. 4.5).

4.4 Sensitivität der Umgebung

Die Auswirkungen von Beleuchtungen auf den Menschen und die Natur sind nicht nur von der Stärke und der Qualität der Lichtemissionen abhängig, sondern auch von der Beschaffenheit der Umgebung. Um unerwünschte Auswirkungen von Beleuchtungen möglichst zu vermeiden, ist die Umgebung bereits bei der Planung von Beleuchtungsanlagen einzubeziehen.

Ein wichtiger Faktor, den es zu berücksichtigen gilt, ist die *Umgebungshelligkeit*. In dunkleren Umgebungen fallen Beleuchtungen eher auf und wirken störend, andererseits braucht es dort weniger Licht, um den beabsichtigten Beleuchtungszweck zu erfüllen. Die Charakterisierung der Umgebung kann anhand der Umgebungszonen von Tabelle 4 erfolgen. Die Auswirkungen der Beleuchtung betreffen sowohl den Menschen (Wohnräume in der Umgebung) als auch die Umwelt (schützenswerte Naturräume und Landschaften sowie nachtaktive Tiere):

- *Wohnräume* in der Umgebung:
 - Grosse Beleuchtungsanlagen führen bei nahe gelegenen Wohnhäusern unter Umständen zu störenden Wohnraumaufhellungen (vgl. Kap. 5.2 und Anh. A1.1.4).
 - Ist eine direkte Sicht in die Leuchten möglich, kann es – auch bei weiter entfernten Wohnhäusern – zu belastigender Blendung kommen (vgl. Kap. 5.3 und Anh. A1.1.3).
- *Schützenswerte Naturräume und Landschaften sowie nachtaktive Tiere*: Lichtsensible Tierarten und Lebensräume gibt es sowohl im ländlichen Raum als auch im Siedlungsgebiet (z. B. Fledermäuse). Diese Gebiete dienen unter anderem der Vernetzung und sind ein zentraler Bestandteil der ökologischen Infrastruktur, der Erhalt von Dunkelkorridoren muss entsprechend gewährleistet werden. Besondere Aufmerksamkeit erfordern Schutzgebiete nahe am Siedlungsrand oder auch Ufer von Flüssen und Seen. Für die Abklärung, ob lichtsensible Tierarten oder Lebensräume in einem konkreten Fall vorhanden sind, sind folgende Informationskanäle nützlich:
 - Kontakte zu kantonalen Fachstellen für Natur und Landschaft, Jagd und Wildtiermanagement, lokalen Naturschutzämtern und -organisationen. Allenfalls sind gezielte Untersuchungen nötig, um abzuklären, ob in einem bestimmten Gebiet lightsensible Arten vorkommen (z. B. Fledermausinventare³).
 - Auf der im Internet frei zugänglichen Geoinformationsplattform der Schweizerischen Eidgenossenschaft⁴ finden sich Karten zu geschützten Naturräumen (wie Objekte des Bundesinventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN), Auengebiete oder Moorlandschaften) sowie zur räumlichen Verbreitung von gewissen sensiblen und seltenen Arten (Wildtierkorridore, Wasser- und Zugvogelreservate, Wildruhezonen).
 - Kantonale Inventare finden sich zudem auf den Internetseiten der Kantone⁵.

Tabelle 4 ordnet die verschiedenen Umgebungszonen gemäss der Norm CIE150:2017 einer von insgesamt drei Sensitivitätsstufen der Relevanzmatrix zu. Die Einteilung trägt dem Umstand Rechnung, dass die Zonen aufgrund der bestehenden Nutzung bei Dunkelheit unterschiedlich hell sind.

³ Die Stiftung Fledermausschutz vermittelt entsprechende Fachpersonen in der ganzen Schweiz (www.fledermausschutz.ch).

⁴ Adresse: www.map.geo.admin.ch

⁵ Konferenz der Kantonalen Geoinformationsstellen KKGEO: www.kkgeo.ch > Geodaten

Tabelle 4

Umgebungszonen und ihre Merkmale, abgeleitet nach CIE 150:2017

Zone	Umgebung nach CIE 150:2017	Beispiele nach CIE 150:2017	Analoge Beispiele	Sensitivität
E0	ganz dunkel	UNESCO Sternenlicht Schutzgebiete (Starlight Reserves), Lichtschutzgebiete (IDA Dark Sky Parcs), grössere Sternwarten	• nicht besiedelte Gebiete • schützenswerte Naturräume, insb. nationale und lokale Schutzgebiete und Orte, an denen lichtsensitive Arten von nationaler Bedeutung vorkommen • Nationalparks etc.	Hoch (2)
E1	dunkel	relativ unbewohnte ländliche Gebiete	• vereinzelte Wohnhäuser in ländlicher Umgebung	Mittel (1)
E2	geringe Gebietshelligkeit	spärlich besiedelte ländliche Gebiete	• ländliche Gebiete mit mässiger Besiedelung • reine Wohngebiete • Siedlungsrand	
E3	mittlere Gebietshelligkeit	gut besiedelte ländliche und städtische Siedlungen	• Agglomeration • dicht bebaute Gebiete • Wohn- und Gewerbezone (Mischzone)	Tief (0)
E4	hohe Gebietshelligkeit	Stadtzentren und andere Geschäftszentren	• Stadt- und Geschäftszentren	

Die drei *Sensitivitätsstufen* der Relevanzmatrix sind folgende:

- Als Umgebung mit tiefer Sensitivität gelten insbesondere die Umgebungszonen E3 und E4 (städtische Gebiete, dicht bebaute Agglomerationen).
- Als Umgebung mit mittlerer Sensitivität gelten insbesondere die Umgebungszonen E1 und E2 (ländliche Gebiete, dünne oder mässige Besiedelung, reine Wohngebiete bzw. nahe gelegene Wohnräume).
- Als Umgebung mit hoher Sensitivität gelten nicht besiedelte Gebiete (z. B. schützenswerte Naturräume), besonders lichtsensible Lebensräume und lokale Vorkommen von nachtaktiven Tieren (Umgebungszone E0).

Wenn es die konkrete Situation im Einzelfall erfordert, kann von den in CIE 150:2017 genannten Beispielen abgewichen werden. Insbesondere können Gebiete oder Areale der Umgebungszonen E3 und E4 eine höhere Sensitivität aufweisen, beispielsweise bei Parkanlagen im Siedlungsraum oder bei Innenhöfen, auf welche Wohnnutzungen ausgerichtet sind. Ein Lichtplan gibt den Städten und Gemeinden die Möglichkeit zur Differenzierung und Abstimmung der Sensitivitäten auf die konkreten Verhältnisse (vgl. Anh. A4).

4.5 Verhältnismässigkeit von vorsorglichen Massnahmen

Aus der Summe der Werte der Lichtemission in den Aussenraum und der Sensitivität der Umgebung ergibt sich nach der Relevanzmatrix der Relevanzindex für eine bestimmte Lichtquelle in einer bestimmten Umgebung (vgl. Abbildung 3). Um festlegen zu können, welche vorsorglichen Massnahmen zur Begrenzung von Lichtemissionen getroffen werden müssen, ist der Relevanzindex mit dem 7-Punkte-Plan zu kombinieren:

- Im Bereich der Vorsorge müssen alle Massnahmen gemäss dem 7-Punkte-Plan ergriffen werden, die verhältnismässig sind. Je höher der Relevanzindex ausfällt, desto eher ist eine Massnahme als verhältnismässig zu beurteilen. Oder mit anderen Worten: Je höher die Relevanz einer Lichtquelle einzustufen ist, desto aufwändigere Massnahmen müssen getroffen werden, um die Emissionen vorsorglich zu begrenzen.
- Beträgt der Relevanzindex 0 – als Beispiel dienen Lämpchen auf dem Balkon einer Stadtwohnung – sind in der Regel keine Massnahmen zu ergreifen, da sie nicht verhältnismässig wären.
- Beträgt der Relevanzindex 4 – zum Beispiel im Falle einer Sportplatzbeleuchtung angrenzend an Naturschutzzonen und schützenswerten Landschaften – reichen in der Regel auch aufwändige Massnahmen nicht aus, um das hohe Interesse am Schutz vor künstlichem Licht zu wahren. Eine solche Beleuchtung ist in der Regel nicht zulässig.
- Bei einem Relevanzindex zwischen 1 und 3 ist im Einzelfall festzulegen, welche resp. wie eingreifende Massnahmen entsprechend der Relevanz der Lichtquelle als verhältnismässig einzustufen sind.

5 Empfehlungen zur Beurteilung der Störwirkung von Lichtimmissionen auf den Menschen (Einzelfallbeurteilung mittels Richtwerten)

5.1 Grundsätzliches

5.1.1 Rechtliches

Gemäss Umweltschutzgesetz (USG) sind die Emissionsbegrenzungen (in einer zweiten Stufe) zu verschärfen, wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Immissionen unter Berücksichtigung der bestehenden Umweltbelastung schädlich oder lästig werden (Art. 11 Abs. 3 USG). Für die Beurteilung der Schädlichkeit oder Lästigkeit von Lichteinwirkungen hat der Bundesrat bislang keine Immissionsgrenzwerte festgelegt. Daher hat die rechtsanwendende Behörde im Einzelfall, direkt gestützt auf das USG, zu beurteilen, wann Lichtimmissionen als schädlich oder lästig einzustufen sind, d. h. Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume gefährden oder die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden erheblich stören. Sie kann sich dabei auf Angaben von Experten und Fachstellen abstützen oder auch Grenz- und Richtwerte privater oder ausländischer Regelwerke berücksichtigen, sofern deren Beurteilungskriterien mit denjenigen des schweizerischen Umweltrechts vereinbar sind (vgl. Anh. A3.2.1).

Vollzugshilfen können Richtwerte als Hilfsmittel zur Beurteilung einer konkreten Situation enthalten. Die Richtwerte in diesem Kapitel können für die Beurteilung herangezogen werden, ob das von aussen (von Lichtquellen in der Umwelt) in einen Wohnraum gelangende künstliche Licht für die Menschen im Sinne des USG erheblich störend ist. Beurteilt werden die Wohnraumaufhellung und die belästigende Blendung. Diese beiden Belästigungswirkungen können unabhängig voneinander auftreten. Die hier empfohlenen Richtwerte sind abgeleitet aus der Richtlinie 150 der Internationalen Beleuchtungskommission CIE (vgl. Kap. A3.4.1) sowie den «Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen» der deutschen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) (vgl. Kap. A3.4.3).

Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Richtwerte nicht rechtsverbindlich sind wie Immissionsgrenzwerte, deren Erlass nach Artikel 13 Absatz 1 USG ausschliesslich in der Kompetenz des Bundesrates liegt. Sie sollen jedoch dazu beitragen, dass die Störwirkung von Lichtimmissionen bei einer Beurteilung im Einzelfall nach einer einheitlichen Praxis beurteilt wird. Im Gegensatz zu Grenzwerten bleibt der Vollzugsbehörde bei der Beurteilung mit Richtwerten ein gewisser Ermessensspielraum (vgl. Kap. A5.4).

5.1.2 Störwirkung

Die Störung des Menschen durch künstliche Lichteinwirkungen aus der Umwelt hängt grundsätzlich von folgenden Faktoren ab:

- *Intensität des Lichts*: Beleuchtungsstärke bei der Wohnraumaufhellung sowie Helligkeits- bzw. Leuchtdichteunterschiede bei der belästigenden Blendung
- *Umgebungshelligkeit*: Je dunkler die Umgebung, desto eher fallen zusätzliche Lichtquellen auf und ihre Störwirkung nimmt zu.
- *Farbe des Lichts*: Als besonders störend gelten – in der Reihenfolge zunehmender Störung – gelbes oder weisses Licht, grünes, rotes oder blaues Licht. Bei weissem Licht empfinden viele Menschen warmweisses Licht als angenehmer als neutral- oder kaltweisses.
- *Zeitliche Änderung*: Blinkendes Licht wirkt störender als Dauerlicht, wobei die Störwirkung mit zunehmender Blinkfrequenz zunimmt.
- *Zeitpunkt der Lichteinwirkung*: In der Nachtruhezeit (22 bis 6 Uhr) wirken Lichtimmissionen besonders störend.
- *Häufigkeit und Dauer der Lichteinwirkung*: Eine Beleuchtung, die jeden Abend für mehrere Stunden eingeschaltet wird, wirkt störender als eine, die nur wenige Male pro Jahr in Betrieb ist.

Die folgenden Richtwerte beziehen sich auf die *Gesamtimmission* in den betroffenen Wohnräumen. Die Gesamtimmission kann in einer gegebenen Situation gut gemessen werden (bezüglich Wohnraumaufhellung mit einem Beleuchtungsstärkemessgerät (Luxmeter) und bezüglich belästigender Blendung mit einer Leuchtdichtemesskamera). Die Berechnung der Gesamtimmission im Voraus ist dagegen sehr aufwändig, da sämtliche Lichtquellen in der Umgebung modelliert werden müssen.

Da die Belästigungswirkung von Lichtimmissionen für den Menschen von der Nutzungsart und -intensität sowie dem Lichtschutzbedürfnis in der betroffenen Umgebung abhängt, wird empfohlen, je nach Umgebungszone (vgl. Tabelle 4 in Kap. 4.4) unterschiedlich hohe Richtwerte anzuwenden. Wenn möglich werden nachfolgend auch Korrekturfaktoren für farbiges oder blinkendes Licht angegeben.

5.2 Richtwerte für die Wohnraumaufhellung

5.2.1 Grundsätzliches

Die Wohnraumaufhellung (vgl. Anh. A1.1.4) wird anhand der vertikalen Beleuchtungsstärke E_v in Lux am Fenster des betroffenen Wohnraums beurteilt (vgl. Abbildung 4).

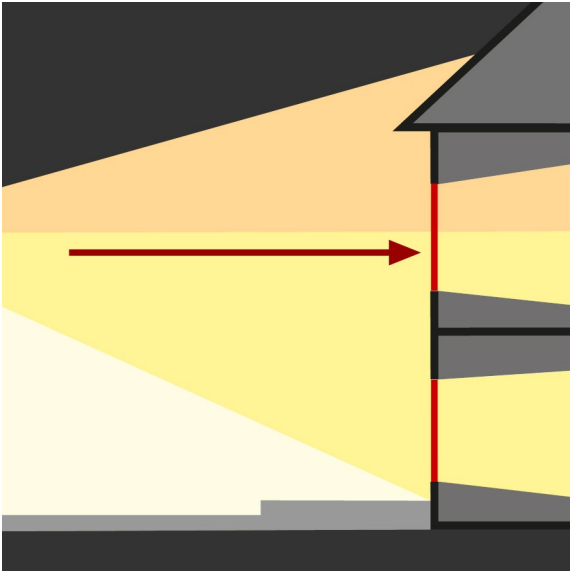
Der Zeitraum ab 22 Uhr wird in Bezug auf die Wohnraumaufhellung als besonders relevant angesehen, weil dann für einen überwiegenden Teil der Bevölkerung Nachtruhe und Schlafenszeit ist. Deshalb beziehen sich die vorgeschlagenen Richtwerte von Kapitel 5.2.2 zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung auf die Nachtruhezeit. Als Nachtruhezeit gelten die gleichen Zeiten wie beim Lärmschutz. Es handelt sich dort in der Regel um die Zeit von 22 bis 6 Uhr.

Bei Beanstandungen wegen Immissionen ausserhalb der Nachtruhezeit, also insbesondere vor 22 Uhr, wird in Kapitel 5.2.3 empfohlen, sich auf die Normen für die jeweilige Anlagekategorie zu stützen und die Einhaltung der entsprechenden Normwerte zu verlangen (vgl. Anh. A3.4). Diese Normen beziehen sich für einen bestimmten Ort aber jeweils auf die Immissionen einer einzelnen Anlage und nicht auf die Gesamtimmission.

Abbildung 4

Beurteilung der Wohnraumaufhellung

Die Wohnraumaufhellung wird anhand der von aussen senkrecht auf die Fensterebene von Wohnräumen treffenden Beleuchtungsstärke in Lux beurteilt. Die Messebene der vertikalen Beleuchtungsstärke ist in Rot eingezeichnet.



5.2.2 Beurteilung der Wohnraumaufhellung in der Nachtruhezeit (22 bis 6 Uhr)

Die je nach Umgebungszone unterschiedlichen Richtwerte zur Beurteilung der Immissionen in der Nachtruhezeit sind in Tabelle 5 aufgelistet. Sie sind von den in der Richtlinie CIE 150 für den Zeitraum ab Geltungszeit («post-curfew») empfohlenen Werten abgeleitet, die sich auf die Gesamtimmissionen durch alle Lichtquellen in der Umgebung beziehen. Während die CIE-Richtlinie die maximale vertikale Beleuchtungsstärke, die auf einer Fensterfläche auftritt, zur Beurteilung heranzieht, wird in der vorliegenden Vollzugshilfe die mittlere vertikale Beleuchtungsstärke des am höchsten belasteten Wohnraums verwendet. Dies zum einen, weil sich dieser Wert messtechnisch einfacher bestimmen lässt, und zum andern, weil Messungen gezeigt haben, dass Mittel- und Maximalwerte innerhalb einer Fensterfläche in der gleichen Grössenordnung liegen.

Tabelle 5

Richtwerte zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung (mittlere vertikale Beleuchtungsstärke E_v in Lux) an Fensterflächen von Wohnräumen je nach Umgebungszone in der Nachtruhezeit

Umgebungszone (gemäss Tabelle 4)	Mittlere vertikale Beleuchtungsstärke E_v in Lux
E0, ganz dunkel: Dark-Sky-Parks, schützenswerte Naturräume, Nationalparks etc.	–
E1, dunkel: relativ unbewohnte ländliche Gebiete	0
E2, geringe Gebietshelligkeit: spärlich besiedelte Gebiete, reine Wohngebiete etc.	1
E3, mittlere Gebietshelligkeit: gut besiedelte ländliche und städtische Siedlungen	2
E4, hohe Gebietshelligkeit: Stadt- und Geschäftszentren	5

Die Störwirkung auf den Menschen ist bei farbigem oder zeitlich veränderlichem Licht grösser als bei weissem oder konstantem Licht (vgl. Anh. A1.1.4). Um dies zu berücksichtigen, sind bei Immissionen, die überwiegend (d. h. zu mehr als 80 %) durch farbiges oder zeitlich veränderliches Licht bestehen, die Zuschlagsfaktoren gemäss Tabelle 6 anzuwenden. Diese entsprechen den von der Deutschen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz angewendeten Faktoren (LAI 2012).

Tabelle 6

Zuschlagsfaktoren zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung bei farbigem oder zeitlich veränderlichem Licht (Erläuterungen zur Anwendung siehe Hinweise zur Beurteilung).

	Zuschlagsfaktor
Farbiges Licht:	2
Zeitlich veränderliches Licht:	
<i>Periodendauer</i>	
> 5 min	1
> 4 s bis 5 min	1,5
> 2 s bis 4 s	2
> 1.5 s bis 2 s	3
<i>Frequenz (in Hertz [Hz])</i>	
0.67 bis 18 Hz	5
19 bis 24 Hz	3
25 bis 30 Hz	2
> 30 Hz	1

Anlagen zur Beleuchtung von öffentlichen Verkehrswegen können die Richtwerte zur Wohnraumaufhellung aus Tabelle 5 in vielen Fällen gut einhalten. Es kann jedoch in dicht bebauten Gebieten Situationen geben, in denen die Richtwerte auch bei einem Einsatz von Beleuchtungsanlagen nach dem besten Stand der Technik nicht eingehalten werden können. In diesen Fällen ist – mit Blick auf die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer – die Einhaltung des Normenpakets SN EN 13201 «Strassenbeleuchtung» höher zu gewichten als die Einhaltung der vorliegenden Richtwerte. Dies bedeutet jedoch nicht, dass im konkreten Einzelfall nicht trotzdem Massnahmen möglich sind (z. B. keine Überbeleuchtung, Abschirmungen, etc.). Neben vorsorglichen Massnahmen sind alle Massnahmen zu ergreifen, welche dazu beitragen, eine Überschreitung der Richtwerte zu minimieren. Eine entsprechende Beurteilung obliegt der zuständigen Vollzugsbehörde.

Weitere Hinweise zum Ermessensspielraum der Vollzugsbehörde bei der Anwendung der Richtwerte zur Beurteilung der Störwirkung finden sich in Kapitel 5.4. Hinweise zur Beurteilung, Messung und Berechnung der Wohnraumaufhellung in der Nachtruhezeit finden sich in Anhang A6.1.

5.2.3 Beurteilung der Wohnraumaufhellung ausserhalb der Nachtruhezeit

Für den Zeitraum ausserhalb der Nachtruhezeit werden keine eigenen Richtwerte zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung empfohlen (vgl. Kap. 5.2.1). In dieser Zeit sind die Emissionen mit Massnahmen an der Quelle im Sinne der Vorsorge zu begrenzen. Für gewisse Anlagekategorien bestehen Beleuchtungsnormen, die nicht nur Vorgaben zur Qualität der Ausleuchtung der Anlage, sondern auch zur Begrenzung der Lichtemissionen in die Umgebung machen (vgl. Anh. A3.4).

Diese Normen zeigen damit auf, auf welches Niveau die Immissionen in der Umgebung bei einem normgerechten Betrieb der Anlage gemäss dem Stand der Technik begrenzt werden können. Die Vorgaben beziehen sich für einen bestimmten Ort jeweils auf die Immissionen einer einzelnen Anlage und nicht auf die Gesamtimmission dort.

Bei Beanstandungen von Wohnraumaufhellungen ausserhalb der Nachtruhezeit wird empfohlen, die Einhaltung der entsprechenden Normwerte zu verlangen. Diese Normwerte können auch in Bewilligungsverfahren herangezogen werden, um Berechnungsergebnisse der vertikalen Beleuchtungsstärke für den Zeitraum vor 22 Uhr zu beurteilen.

Massgebende Vorgaben für die Beurteilung einer Beleuchtungsanlage in Bezug auf die Wohnraumaufhellung ausserhalb der Nachtruhezeit sind:

- für Sportinfrastrukturen: SN EN 12193 «Sportstättenbeleuchtung», Kapitel 6.10 «Störwirkung» (vgl. Anh. A3.4.1).
- für Arbeitsstätten im Freien⁶: SN EN 12464-2 «Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien», Kapitel 4.5 «Störlicht» (vgl. Anh. A3.4.1);
- für Leuchtreklamen: Anhang A5.8 der vorliegenden Vollzugshilfe;
- für die Strassenbeleuchtung: Anwendung des von der Schweizer Licht Gesellschaft SLG empfohlenen Verfahrens gemäss SLG 202 zur Auswahl möglichst immissionsarmer Leuchten (vgl. Anh. A5.1.3).
- Bei Beleuchtungsanlagen, für die es keine expliziten Normvorgaben gibt, wird empfohlen, sich auf die Empfehlungen der Deutschen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) abzustützen (vgl. Anh. A3.4.3).

Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung, Messung und Berechnung der Wohnraumaufhellung ausserhalb der Nachtruhezeit finden sich in Anhang A6.2.

⁶ Z. B. Baustellen, Tankstellen, Industrieanlagen, gewisse Areale auf Flughäfen oder Bahnsteige A3.4.1

5.3 Richtwerte für die belästigende Blendung in der Nacht

5.3.1 Grundsätzliches

Von belästigender Blendung in der Nacht spricht man, wenn sich Menschen durch helle Lichtquellen in ihrem Gesichtsfeld in einer ansonsten dunklen Umgebung gestört oder belästigt fühlen (vgl. Anh. A1.1.3). Solche Belästigungen können nur auftreten und beurteilt werden, wenn vom Immissionsort (z. B. einer Wohnung) aus ein direkter Blick zur Blendquelle hin möglich ist.

Die *Störwirkung* hängt ab von:

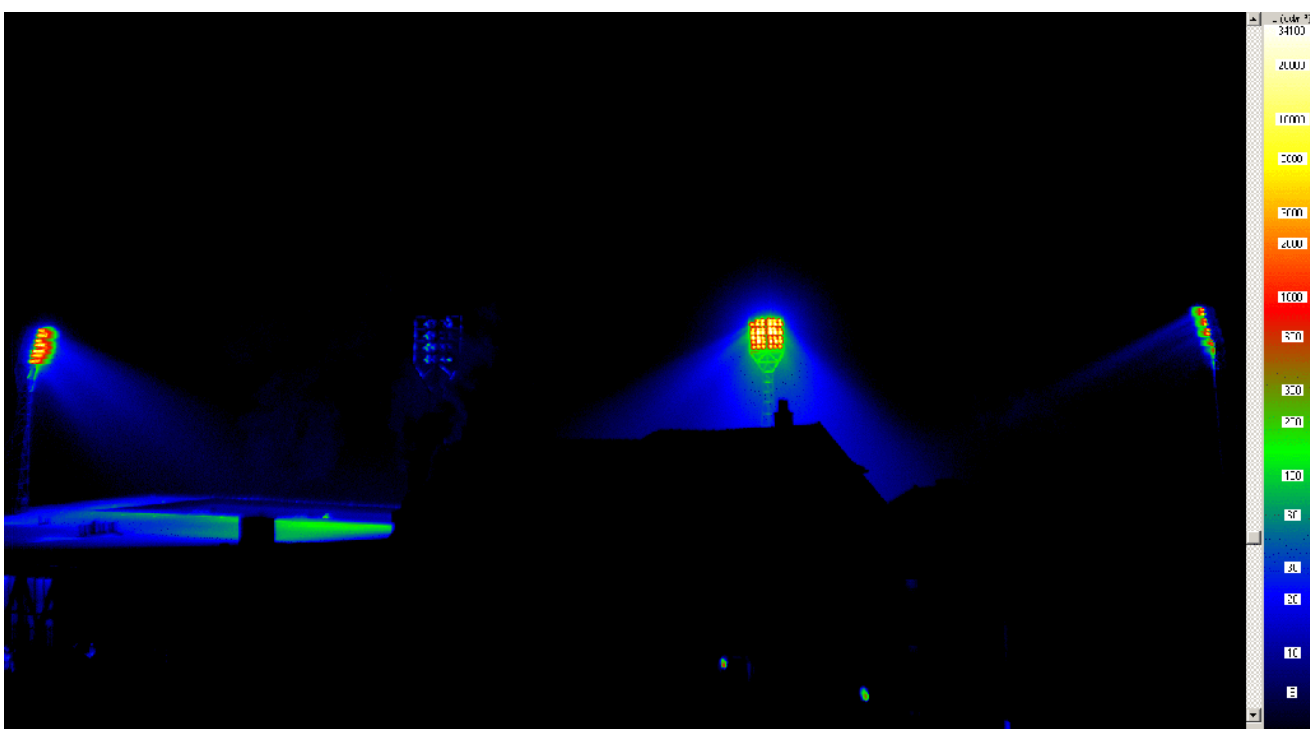
- der Leuchtdichte der Lichtquelle (in Candela pro Quadratmeter [cd/m^2]),
- der Fläche der Lichtquelle, ausgedrückt als Raumwinkel (in Steradian [sr]), unter dem diese vom Betroffenen aus gesehen wird (scheinbare Grösse), und
- der Umgebungsleuchtdichte (in cd/m^2).

In einer *vorhandenen Situation* lassen sich alle diese Parameter mit einer Leuchtdichtemesskamera auf einmal erfassen und mit entsprechender Software bestimmen (vgl. Abbildung 5).

Schwieriger ist eine *Prognose*. Die Leuchtdichte einer einzelnen Anlage kann zwar grundsätzlich berechnet werden. Weiter braucht es aber auch Abschätzungen zur scheinbaren Grösse der Blendquelle (Raumwinkel) aus Sicht eines oder allenfalls mehrerer betroffener Immissionsorte sowie zur Umgebungsleuchtdichte. Der Aufwand zur Bestimmung dieser Parameter kann rasch gross werden und die Abschätzungen sind mit Unsicherheiten behaftet.

Abbildung 5**Stadionbeleuchtung, mit einer Leuchtdichtemesskamera aufgenommen**

Im Leuchtdichtebild (in Falschfarbendarstellung) lassen sich mit entsprechender Software die mittlere Leuchtdichte und der Raumwinkel der Blendquelle sowie die Umgebungsleuchtdichte bestimmen (Grafik: METAS).



Die nachfolgende Beurteilung der belästigenden Blendung ist an die Hinweise der Deutschen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI 2012) angelehnt. Die CIE hat diese Methode in ihrer Richtlinie 150 im Jahr 2017 auf ihre Umgebungszonen adaptiert (CIE 2017). Die entsprechenden Richtwerte sind – im Gegensatz zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung (vgl. Kap. 5.2) – nicht auf die Nachtruhezeit beschränkt, sondern bei Dunkelheit immer anzuwenden. Für den Zeitraum vor der Nachtruhe kommen allerdings weniger strikte Richtwerte zur Anwendung als während der Nachtruhe.

5.3.2 Beurteilung der belästigenden Blendung

In der Praxis kommen zur Beurteilung der belästigenden Blendung zwei verschiedene Verfahren zum Einsatz. Zum einen wird ein Blendmass k_s verwendet, das sämtliche oben erwähnten Parameter der Störwirkung beinhaltet. Zum andern kommt ein Verfahren zur Anwendung, welches die Lichtstärke (in Candela) in Richtung des Immissionsortes bewertet.

Zur Beurteilung der belästigenden Blendung einer Lichtquelle ist das Verfahren mit dem Blendmass k_s grundsätzlich geeigneter als die Lichtstärke, da die beim Blendmass k_s einflussende Leuchtdichte direkt dem vom Menschen wahrgenommenen Helligkeitseindruck entspricht. Bei der Anwendung des Blendmasses k_s in der Nähe von Lichtquellen, die eine verhältnismässig grosse Distanz zum Boden aufweisen wie zum Beispiel Sportplatzbeleuchtungen, ergeben sich allerdings Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Umgebungshelligkeit – insbesondere bei der Prognose. Aufgrund des Raumwinkels, unter welchem die Leuchte gesehen wird, hat der Nachthimmel einen beträchtlichen Einfluss auf die Umgebungshelligkeit. Es fehlen jedoch empirische Grundlagen dazu, welche realistischen Umgebungsleuchtdichten in solchen Situationen für die Prognosen

einzusetzen sind. Vorderhand wird deshalb empfohlen, zur Beurteilung der belästigenden Blendung bei Sportplatzbeleuchtungen das Verfahren mit den Lichtstärken, bei allen übrigen Beleuchtungen hingegen das Blendmass k_S anzuwenden.

Beurteilung der belästigenden Blendung mittels Blendmass k_S

Zur Beurteilung der belästigenden Blendung ist als Hilfsgrösse das Blendmass k_S nach Gleichung 1 zu ermitteln. Dieses darf den für die betreffende Umgebungszone geltenden Richtwert k von Tabelle 7 nicht überschreiten.

Für die Bestimmung des Blendmass k_S sind die mittlere Leuchtdichte $\overline{L}_S$ der zu beurteilenden Blendlichtquelle, der zugehörige Raumwinkel Ω_S vom Immissionsort aus und die Umgebungsleuchtdichte L_U zu ermitteln (vgl. Abbildung 6).

Das Blendmass k_S ergibt sich wie folgt:

Gleichung 1

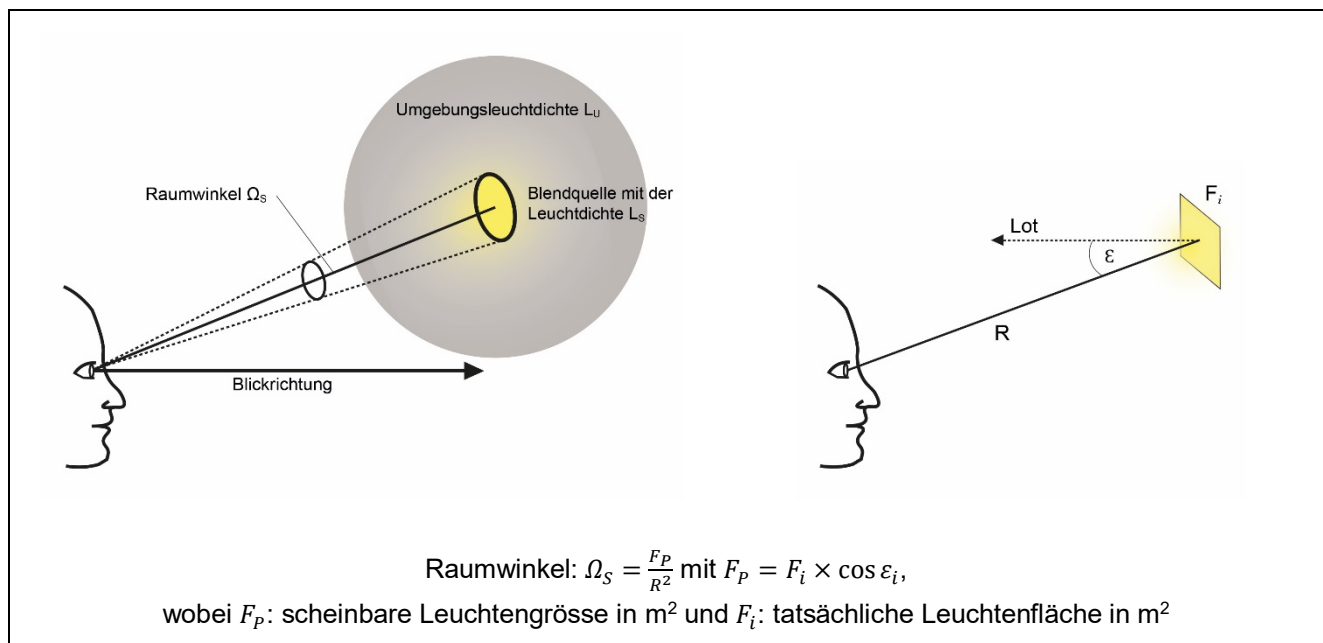
$$k_S = \overline{L}_S \times \sqrt{\frac{\Omega_S}{L_U}}$$

Dabei bedeuten:

- $\overline{L}_S$: mittlere Leuchtdichte der Blendlichtquelle in cd/m^2
- L_U : Leuchtdichte der Umgebung der Blendlichtquelle in cd/m^2
- Ω_S : Raumwinkel der vom Immissionsort aus gesehenen Blendlichtquelle in Steradian (sr)

Abbildung 6

Skizzen zur Veranschaulichung der Grössen, welche die belästigende Blendung beeinflussen und zur Berechnung des Blendmass k_S bestimmt werden müssen (nach: LiTG 12.3-2011).



Der Anwendungsbereich der Gleichung 1 ist beschränkt auf:

- Umgebungsleuchtdichte L_U zwischen 0,1 cd/m² und 10 cd/m² (falls die aus Messungen ermittelte Umgebungsleuchtdichte kleiner ist als 0,1 cd/m², wird mit $L_U = 0,1$ cd/m² gerechnet)
- Raumwinkel Ω_S zwischen 10⁻⁶ sr und 10⁻² sr:
 - Unterhalb von $\Omega_S = 10^{-6}$ sr liegt eine «punktförmige» Quelle vor. Bei dieser ist zur Beurteilung der Blendung die (Blend-)Beleuchtungsstärke E_s (in Lux) massgebend. Diese darf einen Wert von $10^{-3} \times k \times \sqrt{L_U}$ nicht überschreiten. Für k ist der massgebende Zahlenwert aus Tabelle 7 einzusetzen.
 - Oberhalb von $\Omega_S = 10^{-2}$ sr liegt eine grosse «Flächenquelle» vor. Der Raumwinkel spielt hier keine Rolle mehr. In der Gleichung 1 wird $\Omega_S = 10^{-2}$ sr gesetzt. Daraus ergibt sich, dass die mittlere Leuchtdichte der Blendquelle $\overline{L_S}$ den Wert von $10 \times k \times \sqrt{L_U}$ nicht überschreiten darf. Für k ist der massgebende Zahlenwert aus Tabelle 7 einzusetzen.

Tabelle 7

Richtwert k zur Beurteilung der belastigenden Blendung nach Umgebungszone

Umgebungszone (gemäss Tabelle 4)	Richtwert k	
	ausserhalb Nachtruhezeit	Nachtruhezeit (22 bis 6 Uhr)
E0, ganz dunkel: Dark-Sky-Parks, schützenswerte Naturräume, Nationalparks etc.	0	0
E1, dunkel: relativ unbewohnte ländliche Gebiete	32	0
E2, geringe Gebietshelligkeit: spärlich besiedelte Gebiete, reine Wohngebiete etc.	64	32
E3, mittlere Gebietshelligkeit: gut besiedelte ländliche und städtische Siedlungen	96	32
E4, hohe Gebietshelligkeit: Stadt- und Geschäftszentren	160	32

Hinweise zum Ermessensspielraum der Vollzugsbehörde bei der Anwendung der Richtwerte zur Beurteilung der Störwirkung finden sich in Kapitel 5.4. Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung der belastigenden Blendung finden sich in Anhang A6.3.

Beurteilung der belastigenden Blendung mittels Lichtstärken bei Sportplatzbeleuchtungen

Zur Beurteilung der belastigenden Blendung im Zusammenhang mit Sportinfrastrukturen wird vorderhand empfohlen, die Einhaltung der Normenwerte für die Lichtstärken in Richtung Immissionsorte gemäss der SN EN 12193 «Sportstättenbeleuchtung» zu verlangen. Die jeweiligen Richtwerte unterscheiden sich je nach Umgebungszone (dunkle Bereiche bzw. Bereiche mit geringer, mittlerer und hoher Gebietshelligkeit). Die konkreten Richtwerte sind in Anhang A3.4.2 aufgeführt.

5.4 Anwendung der Richtwerte und Ermessensspielraum bei der Beurteilung der Störwirkung im Einzelfall

Wenn für die Behörde nach Umsetzung der vorsorglichen Massnahmen zur Emissionsbegrenzung Grund zur Annahme besteht, dass die noch vorhandenen Immissionen die Betroffenen in ihrem Wohlbefinden erheblich stören könnten, sind Abklärungen notwendig. Diese umfassen die Ermittlung der Immissionen am betroffenen Wohnort und deren Beurteilung. Dabei können die Richtwerte der Kapitel 5.2 (Wohnraumaufhellung) bzw. Kapitel 5.3 (belästigende Blendung) beigezogen werden. Die Richtwerte dienen grundsätzlich als Orientierungshilfe und belassen der Vollzugsbehörde einen Ermessensspielraum bei der Beurteilung der Störwirkung im Einzelfall.

Sind die Richtwerte eingehalten, kann davon ausgegangen werden, dass die Lichteinwirkungen in der Regel nicht erheblich störend im Sinne des USG sind.

Sind die Richtwerte (bzw. Normwerte bei Sportinfrastrukturen) überschritten, ist anhand von Artikel 14 USG vertieft zu prüfen, ob die Lichteinwirkungen im Einzelfall erheblich störend sind. Es liegt somit im Beurteilungsspielraum der Vollzugsbehörde, in begründeten Fällen eine erhebliche Störung zu verneinen, obwohl die Richtwerte überschritten sind. Bei dieser vertieften Einzelfallbeurteilung sind alle Aspekte zu beachten, die einen Einfluss auf die Störwirkung haben, insbesondere die Faktoren gemäss Kapitel 5.1.2.

Ein Grund, die Einwirkungen trotz überschrittener Richtwerte nicht als erheblich störend zu beurteilen, könnte sein, dass die Richtwerte nur bei seltenen Ereignissen, welche lediglich an wenigen Tagen im Jahr stattfinden, überschritten werden. Als Anhaltspunkt für die Anzahl seltener Ereignisse kann von maximal 15 bis 20 Tagen ausgegangen werden. Eine erhebliche Störung kann im Einzelfall auch verneint werden, wenn die Lichtimmissionen einer Anlage als ortsüblich empfunden und verbreitet akzeptiert oder als Ausdruck einer Tradition bezweckt werden (vgl. dazu Urteil des BGer 1C_252/2017 vom 5. Oktober 2018, E. 5.2 und 8; BGE 140 II 33, E. 6.2 betreffend Weihnachtsbeleuchtung).

Werden die Immissionen als erheblich störend beurteilt, so hat die zuständige Behörde verschärfte emissionsbegrenzende Massnahmen anzuordnen (vgl. 7-Punkte Plan gemäss Abbildung 2 in Kap. 3), bis die erhebliche Störung beseitigt ist (Art. 11 Abs. 3 USG; vgl. auch Art. 17 Abs. 2 USG).

6 Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtemissionen am Tag

Als potenziell schädliche oder lästige Einwirkung im Geltungsbereich des Umweltschutzgesetzes (USG; SR 814.01) gilt neben künstlicher Beleuchtung in der Nacht auch Sonnenlicht, das durch den Bau oder Betrieb von Anlagen verändert wird. Hierzu zählen etwa Reflexionen von Sonnenlicht an Fassaden, Fensterflächen oder Solaranlagen (vgl. Kap. 6.1) oder eine Veränderung des Lichts durch sich drehende Rotorblätter einer Windenergieanlage (vgl. Kap. 6.2).

6.1 Reflexion von Sonnenlicht

6.1.1 Grundsätzliches

Sonnenlicht, das an künstlichen Elementen wie Glasfassaden, Metallverkleidungen, Fensterscheiben, Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) oder Sonnenkollektoren reflektiert wird, gehört zu den Einwirkungen, die vom Geltungsbereich des USG erfasst werden. Demzufolge müssen sie dem Grundsatz der vorsorglichen Emissionsbegrenzung genügen (1. Stufe der Emissionsbegrenzung) und dürfen zu keinen schädlichen oder lästigen Auswirkungen in der Nachbarschaft führen (2. Stufe der Emissionsbegrenzung, vgl. Anh. A3.2.1).

Reflexionen von Sonnenlicht an künstlichen Elementen kommen im Alltag aufgrund der vorkommenden Baumaterialien häufig vor. Umweltrechtliche Bedeutung erlangen sie erst, wenn sie an einem Ort regelmässig während einiger Zeit auftreten und Anwohner betroffen sind. Vom USG nicht erfasst werden natürliche Phänomene wie Reflexionen an Seeoberflächen oder Schnee.

Die Blendungswirkung von spiegelnden Flächen hängt im Wesentlichen ab von der Intensität der Reflexionen und deren Einwirkdauer. Die Intensität der Reflexionen ihrerseits ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Materials und vom Einstrahlungswinkel der Sonne. Mit speziellen Behandlungen der Oberfläche (sog. strukturierte «antireflex» Glasoberflächen) kann die Intensität der Reflexionen vermindert werden, indem das reflektierte Licht stärker gestreut wird. Durch die daraus resultierende Bündelaufweitung beim reflektierten Sonnenstrahl ist die Intensität am Einwirkort geringer, aber die Dauer der Einwirkung kann sich verlängern. Im Hinblick auf eine Reduktion der Blendungswirkung in der Umgebung sind somit je nach Situation unterschiedliche Lösungen betreffend Reflexionsgrad der eingesetzten Materialien sinnvoll.

Es gibt bereits einige Gerichtsentscheide zu dieser Thematik. In diesen Urteilen wurde eine Blendungsdauer von 50 Minuten pro Tag, die während mehrerer Wochen auftrat, als nicht mehr zulässig erachtet. Als zumutbar galten Einwirkdauern von 20 bis knapp 30 Minuten täglich (EBP 2016).

Solaranlagen

Ein Entscheid des Bundesgerichts (Urteil 1C_177/2011 vom 9. Februar 2012) betraf Sonnenkollektoren auf einer privaten Liegenschaft in Burgdorf BE, welche zu Blendungen auf einem etwas höher gelegenen Nachbargrundstück führten, weil sie Sonnenlicht reflektierten. Das Bundesgericht kam zum Schluss, dass in diesem Fall keine schädlichen oder lästigen Lichtimmissionen im Sinne des USG vorliegen (2. Stufe USG). Grundsätzlich seien jedoch Emissionen an der Quelle vorsorglich so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich

möglich und wirtschaftlich tragbar ist (1. Stufe USG). Im beurteilten Fall sah das Bundesgericht keine verhältnismässigen Reduktionsmöglichkeiten. Das Vorsorgeprinzip des USG verpflichtete jedoch dazu, Produkte mit möglichst niedriger Blendungswirkung zu verwenden. Dies gelte auch, wenn Sonnenkollektoren keiner Baubewilligung bedürfen.

Welche Solaranlagen von der Baubewilligungspflicht ausgenommen sind und welche nicht, regelt auf bundesrechtlicher Ebene das *Raumplanungsrecht*. Gemäss Artikel 18a des Raumplanungsgesetzes (*RPG; SR 700*), der seit dem 1. Mai 2014 in Kraft ist, brauchen «genügend angepasste Solaranlagen» auf Dächern in Bau- und Landwirtschaftszonen grundsätzlich keine Baubewilligung mehr, sondern sind der zuständigen Behörde lediglich zu melden. Solaranlagen auf Kultur- und Naturdenkmälern von kantonaler oder nationaler Bedeutung bleiben hingegen nach wie vor bewilligungspflichtig.

Gemäss der Raumplanungsverordnung (*RPV; SR 700.1*) gelten Solaranlagen als «auf einem Dach genügend angepasst», wenn sie unter anderem *nach dem Stand der Technik reflexionsarm* ausgeführt werden (Art. 32a Abs. 1 Bst. c RPV).

6.1.2 Hinweise zur Beurteilung

- Mangels empirischer Grundlagen über das Belästigungspotenzial von reflektiertem Sonnenlicht in Abhängigkeit von dessen Intensität und Einwirkdauer kann kein Grenz- oder Richtwert zur Beurteilung angegeben werden. Die gelegentlich herangezogenen Kriterien, die bei periodischem Schattenwurf durch Windenergieanlagen zur Anwendung kommen (vgl. Kap. 6.2), werden für die Beurteilung einer konstanten Blendung als ungeeignet erachtet.
- Ob eine Reflexion im Einzelfall übermässig oder zumutbar ist, muss deshalb weiterhin aufgrund von Begehungen vor Ort und der subjektiven Einschätzung von Experten entschieden werden. Nachfolgend finden sich Hinweise zu einem möglichen Vorgehen.
- Bei einer Beurteilung sind die Immissionen nicht auf dem gesamten Grundstück zu berücksichtigen, sondern nur an Orten, an denen sich Personen während längerer Zeit aufhalten, wie in Wohnräumen, auf Balkonen oder Gartensitzplätzen. Keine umweltrechtlich relevanten Immissionsorte sind Strassen, Trottoirs etc., wo man in der Regel in Bewegung ist.
- In Gerichtsurteilen wird die Übermässigkeit anhand der Dauer und der Häufigkeit der Blendungen beurteilt. Bei einer solchen Beurteilung ist zu beachten, ob es sich um tatsächlich auftretende Blendungsdauern handelt, die gemessen, beobachtet oder für realistische Bedingungen berechnet wurden (Berücksichtigung der Bündelaufweitung und Wetterkorrektur), oder ob die Blendungen unter vereinfachten Annahmen (ohne Bündelaufweitung und ohne Wetterkorrektur) prognostiziert wurden. Bei letzteren wird die Häufigkeit und Dauer von Blendungen durch Reflexionen an strukturierten Oberflächen (z. B. Solaranlagen) im Vergleich zur Realität unterschätzt.

6.1.3 Hinweise zur Prognose

Die Prognose der Blendungswirkung von spiegelnden Flächen ist je nach Situation unterschiedlich aufwändig. Während in gewissen Fällen klare Aussagen bereits mit wenig Aufwand möglich sind, braucht es in andern Fällen erweiterte Betrachtungen, und unter Umständen sind sogar anspruchsvolle Simulationen und Messungen notwendig. Nachfolgend finden sich Hinweise zu einem mehrstufigen Vorgehen für entsprechende Abklärungen (Blattner 2015).

A) Grobbeurteilung

Für eine erste Grobbeurteilung sind Angaben zur Art, Lage, Grösse und Ausrichtung der reflektierenden Fläche sowie zur Art und Lage der Immissionsorte notwendig (vgl. Tabelle 9). Diese Angaben ermöglichen eine Grobbeurteilung mithilfe von Tabelle 8.

Tabelle 8

Blendungspotenzial in verschiedenen Situationen

Potenzial für Blendung	Reflektierende Fläche	Lage des Immissionsorts
Keine Blendung	Ausrichtung gegen Norden	Südlich
	Ausrichtung gegen Norden und flache Montage der spiegelnden Fläche (z. B. PV-Modul)	Tiefer und nördlich
	Ausrichtung gegen Süden	Nördlich
	Ausrichtung gegen Osten	Südlich, westlich oder nord-westlich
	Ausrichtung gegen Westen	Nord-östlich, östlich oder südlich
Nur kurze Blendung		Ist die Distanz des Immissionsorts zur spiegelnden Fläche mehr als 9-mal so gross wie deren Durchmesser, dauern Blendungen weniger als 30 Minuten.
Potenzial für Blendung	Ausrichtung gegen Norden	Nördlich auf gleicher Höhe oder höher
	Steiler Anstellwinkel (Elevation) von mehr als 60°	Oberhalb reflektierender Fläche
Keine grundsätzliche Einschätzung möglich		Alle anderen, hier nicht erwähnten Situationen

- Kann mit der Grobabklärung eine Blendung nicht ausgeschlossen werden, ist eine erweiterte Beurteilung nötig.

Tabelle 9

Angaben zur Dokumentation von reflektierender Fläche und Umgebung für eine Prognose allfälliger Blendungen

Umfang der Abklärung	Dokumentation	Inhalt
A) Grobbeurteilung	Situation	Kartografische Darstellung der Gegebenheiten, eventuell Luftbild des Geländes
	Reflektierende Fläche	• Art (Glasfassade, PV-Modul etc.), Hersteller • Lage • Grösse • Ausrichtung
	Immissionsorte	• Art und Lage der Immissionsorte (z. B. Wohnräume, Balkone oder Gartensitzplätze)
B) Erweiterte Beurteilung	Reflektierende Fläche – Zusatzangaben	• Ortskoordinaten und Höhenangabe für Mittelpunkt der Anlage • Ortskoordinaten und Höhenangaben zu allen vier Eckpunkten der Anlage • Orientierung der reflektierenden Fläche: Azimut in Grad (Ausrichtung bezogen auf Norden, wobei N: 0°, O: 90°, S: 180°, W: 270°) • Neigung der reflektierenden Fläche: Elevation in Grad (wobei flach: 0°, senkrecht: 90°) • Angaben zum Reflexionsverhalten der spiegelnden Fläche (z. B. antireflexionsbeschichtet, texturiert, breitstreuend)
	Immissionsorte – Zusatzangaben	• Ortskoordinaten und Höhenangaben der relevanten Immissionsorte und -punkte
	Situation – Zusatzangaben	• Himmelshorizont aus Sicht der reflektierenden Fläche (z. B. Abschattung durch Berg, hohe Bauten etc.)
	Einfache Berechnungen*	• Sonnenstanddiagramm am Ort der reflektierenden Fläche (unter Berücksichtigung des Himmelshorizonts) • Reflexionsdiagramme der spiegelnden Fläche für jeden Immissionsort
C) Umfassende Beurteilung	Zusatzangaben zum Reflexionsverhalten (Bündelaufweitung)	• Reflexionskoeffizient für beliebige Einfalls- und Beobachtungswinkel (sog. bidirektionale Reflektanzverteilungsfunktion BRDF) • Alternativ: Leuchtdichtebilder oder Fotos der reflektierenden Fläche im Zeitpunkt der Blendungen zur Bestimmung der Bündelaufweitung
	Klimatische Bedingungen vor Ort	• Zeitaufgelöste Wetterkorrektur für diejenigen Zeiträume, in welchen Blendungen tatsächlich auftreten können
	Umfassende Berechnung der Leuchtdichteverteilung am Immissionsort	• Pro Immissionsort auftretende Intensität des reflektierten Sonnenlichts (Leuchtdichte in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2)) und Einwirkdauer

B) Erweiterte Beurteilung

Für eine erweiterte Beurteilung braucht es zusätzliche Angaben zur reflektierenden Fläche und den Immissionsorten (vgl. Tabelle 9). Diese Angaben ermöglichen einfache Berechnungen⁷:

- Das Sonnenstanddiagramm illustriert den Sonnenstand (Höhenwinkel versus Azimut) über den ganzen Jahresverlauf für denjenigen Ort, an welchem sich die spiegelnde Fläche befindet. Falls relevant ist der Himmelshorizont aus Sicht der reflektierenden Fläche zu berücksichtigen (z. B. Abschattung durch Berge, hohe Bauten etc.).
- Ausgehend vom Sonnenstanddiagramm kann – aufgrund der Ausrichtung und Neigung der spiegelnden Fläche – berechnet werden, in welche Richtung das Sonnenlicht reflektiert wird. Dargestellt wird dies in einem Reflexionsdiagramm.
- Befinden sich in Richtung der Reflexionen keine Immissionsorte, können Blendungen ausgeschlossen werden.
- Liegen hingegen Immissionsorte in dieser Richtung, ist für jeden einzelnen Immissionspunkt (z. B. bestimmtes Zimmer, bestimmter Balkon oder Gartensitzplatz) zu berechnen, ob, wann und wie lange er von Reflexionen betroffen ist:
 - Liegt der Immissionspunkt klar ausserhalb der reflektierten Strahlen, sind keine Blendungen zu erwarten.
 - Liegt der Immissionspunkt klar innerhalb der reflektierten Strahlen, sind Blendungen zu erwarten. Wird die berechnete Blendungsdauer als übermässig angesehen, sind Massnahmen zur Reduktion der Blendung zu prüfen und gegebenenfalls zu treffen (vgl. Kap. 6.1.4).
 - Bestehen Unklarheiten betreffend Auftreten und Dauer der Blendungen, ist eine noch umfassendere Beurteilung notwendig.

Bei der Verwendung von einfachen Berechnungstools ist zu beachten, dass diese oft nur die direkte Reflexion der eintreffenden Sonnenstrahlen berücksichtigen (Einfallswinkel = Ausfallswinkel). Je nach Oberflächenbeschaffenheit des reflektierenden Materials (Strukturierung, z. B. auch bei Solaranlagen) und je nach Einfallswinkel werden die Sonnenstrahlen in Realität jedoch nicht nur gerichtet, sondern auch diffus reflektiert (gestreut). Durch die daraus resultierende Bündelaufweitung beim reflektierten Sonnenstrahl (typischerweise 5 bis 20°) ist dessen Intensität am Einwirkort geringer, aber die Dauer der Einwirkung kann sich verlängern (um den Faktor 2 bis 5).

Werden zur Berechnung der Reflexionen von Sonnenlicht an strukturierten (Glas-)Oberflächen Tools eingesetzt, welche nur die direkte Reflexion berücksichtigen, führt dies zu einer Unterschätzung der Anzahl Blendereignisse und der auftretenden Blendungsdauern.

C) Umfassende Beurteilung

Die Berechnungen für eine umfassende Beurteilung haben die scheinbare Grösse der Sonne (0,5°), die Bündelaufweitung (0 bis 20°), die klimatischen Bedingungen vor Ort (Wetterkorrektur) und die Unsicherheit bezüglich Orientierung der reflektierenden Fläche (z. B. infolge Montage) einzubeziehen (vgl. Tabelle 9).

Um die Bündelaufweitung berücksichtigen zu können, muss der Reflexionskoeffizient für beliebige Einfalls- und Beobachtungswinkel bekannt sein. Im Idealfall liegt eine bidirektionale Reflektanzverteilungsfunktion (BRDF) für das reflektierende Material vor. Ist dies nicht der Fall, kann die Bündelaufweitung alternativ mithilfe von Leucht-

⁷ Für einfache Berechnungen von allfälligen Blendungswirkungen an Immissionsorten stehen elektronische Tools zur Verfügung.

dichtebildern oder Fotos bestimmt werden, aus welchen die Winkelgrösse des Lichtflecks und damit die winkelmässige Verbreiterung des reflektierten Sonnenstrahls eruierbar sind. Da die Bündelaufweitung stark vom Einstrahlwinkel abhängt, sind üblicherweise mehrere Bilder mit unterschiedlichen Positionen der reflektierten Sonne nötig.

Bei der Wetterkorrektur ist zu beachten, dass sie möglichst gut zeitaufgelöst für diejenigen Zeiträume erfolgt, in welchen Blendungen theoretisch auftreten können.

Die umfassenden Berechnungen sollen Auskunft geben zur Intensität des reflektierten Sonnenlichts am Immissionsort (Leuchtdichte) und zu den jeweiligen Immissionsdauern.

Ist das eintreffende Licht so intensiv, dass sich das Auge nicht mehr an die Lichtverhältnisse anpassen kann, spricht man von Absolutblendung. Diese erfolgt ab einer Leuchtdichte von 10 000 bis 160 000 Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) (SSK 2006). Die Sonne weist je nach Sonnenstand eine Leuchtdichte von 6 Mio. cd/m^2 (am Horizont) bis zu 1,6 Mia. cd/m^2 auf (am Mittag). Selbst wenn nur ein Bruchteil des Sonnenlichts reflektiert wird, führt dies zu Intensitäten, die über der Schwelle der Absolutblendung liegen.

6.1.4 Hinweise zu Massnahmen

Werden in der Planung von neuen Anlagen oder bei der Beurteilung von bestehenden reflektierenden Flächen die prognostizierten bzw. festgestellten Blendungen als übermässig beurteilt, sind Massnahmen zur Reduktion der Einwirkungen zu prüfen und umzusetzen, wie zum Beispiel:

- Erstellen der Anlage an einem andern Ort bzw. Versetzen der Anlage
- Temporäre Abdeckung der reflektierenden Fläche (z. B. durch Aussenstoren bei Glasfassaden)
- Änderung der Ausrichtung der Anlage und/oder des Anstellwinkels (bei Solaranlagen)
- Reduktion der Anlagegrösse (bei Solaranlagen)
- Geeignete Materialwahl (je nach Situation Verkürzung der Blendungsdauer durch glatte Oberflächen oder Verringerung der Intensität durch strukturierte Oberflächen; allenfalls Auftragen von Beschichtungen)
- Sichtschutz zwischen spiegelnder Fläche und Immissionsort durch Schutzwände, blickdichte Bepflanzung, Sichtschutzbleche etc.
- Verschattung der Reflexionsoberfläche / Vermeiden von kritischen Einstrahlwinkeln durch Schattenbleche (nur bei sehr flachen Einstrahlwinkeln möglich)

6.2 Lichteffekte von Windenergieanlagen

6.2.1 Grundsätzliches

Sonnenlicht wird durch die sich drehenden Rotorblätter einer Windenergieanlage künstlich verändert und kann sich als belästigende Einwirkung im Sinne von Artikel 7 Absatz 1 USG manifestieren: dies zum einen, indem es reflektiert wird (Lichtblitze, «Disko-Effekt»), und zum andern, indem es in schneller Abfolge unterbrochen wird, was als periodischer Schattenwurf, «Stroboskop-Effekt» oder als künstlich bewirktes «Flackern» bezeichnet wird. Diese Effekte treten allerdings nur bei ausreichendem Sonnenschein und genügend Wind auf (BFE 2008, LAI 2020). Im Zuge der Energiestrategie 2050 wird die Bedeutung von Windenergieanlagen künftig weiter zunehmen. Damit gewinnt auch die Thematik Lichtblitze und des periodischen Schattenwurfs an Bedeutung, sei es im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) oder Beschwerden.

Lichtblitze sind abhängig vom Glanzgrad der Rotoroberfläche und vom Reflexionsvermögen der gewählten Farbe. Durch Verwendung von Farben mit matten Glanzgraden für die Rotorbeschichtung – wie dies bei den modernen Anlagen der Standard ist – kann die Intensität allfälliger Reflexionen von Sonnenlicht und eine dadurch verursachte Belästigung vermindert werden (LAI 2020).

Belästigungen durch periodischen Schattenwurf bzw. künstliches Flackern bei nahegelegenen Wohn- und Arbeitsräumen oder Gärten können durch eine sorgfältige Planung der Anlage gering gehalten oder vermieden werden. Deren Auftreten kann durch eine geeignete Standortwahl und das temporäre Ausschalten der Anlage beschränkt werden.

Derzeit gibt es in der Schweiz keine Grenz- oder Richtwerte, ab wann die Immissionen von Windenergieanlagen an einem bestimmten Ort als schädlich oder lästig zu beurteilen sind. Daher hat die rechtsanwendende Behörde – die Bewilligung von Windenergieanlagen obliegt den Kantonen und Gemeinden – im Einzelfall, direkt gestützt auf das USG, zu beurteilen, wann Lichtimmissionen als schädlich oder lästig einzustufen sind. Die Behörde kann sich dabei auf Angaben von Experten und Fachstellen abstützen oder auch Grenz- und Richtwerte privater oder ausländischer Regelwerke berücksichtigen, sofern deren Beurteilungskriterien mit denjenigen des schweizerischen Umweltrechts vereinbar sind.

6.2.2 Hinweise zur Beurteilung

Eine solche Richtlinie bilden die «Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen (WKA-Schattenwurfhinweise)» der Deutschen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) aus dem Jahr 2002, die 2020 aktualisiert wurde. Die LAI wendet diese Hinweise bei der Beurteilung der beiden oben erwähnten Wirkungen von Windenergieanlagen auf den Menschen an, dies im Hinblick auf einen einheitlichen Vollzug des deutschen Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) (vgl. Anh. A3.4.3).

Nach den WKA-Schattenwurfhinweisen der LAI gilt eine Belästigung durch periodischen Schattenwurf dann als zumutbar, wenn die astronomisch maximal mögliche Einwirkdauer am jeweiligen Immissionsort (unter kumulativer Berücksichtigung der Beiträge aller Windenergieanlagen) nicht mehr als 30 Stunden pro Jahr und darüber hinaus nicht mehr als 30 Minuten pro Tag beträgt. Bei einer längeren Einwirkungsdauer zieht die LAI technische Massnahmen zur zeitlichen Beschränkung des Betriebs der Windenergieanlage in Betracht, z. B. mittels Abschaltautomatik.

Da der Wert von 30 Stunden pro Kalenderjahr auf Grundlage der astronomisch möglichen Beschattung entwickelt wurde, wird für Abschaltautomatiken ein entsprechender Wert für die tatsächliche, reale Schattendauer, die meteorologische Beschattungsdauer, festgelegt. Dieser Wert beträgt 8 Stunden pro Jahr. Gemäss LAI muss eine WEA somit abgeschaltet werden, wenn in der Realität die Störwirkung länger als 8 Stunden im Jahr dauert.

Der Richtwert von 30 Minuten pro Tag gilt bei geplanten Anlagen für die astronomisch maximal mögliche Beschattungsdauer und bei bestehenden Anlagen für die tatsächliche Schattendauer. Bei Überschreitung dieses Richtwerts an mindestens drei Tagen ist der tägliche periodische Schattenwurf auf 30 Minuten zu begrenzen.

Lichtblitze («Disko-Effekt») stellen bei modernen Windenergieanlagen in der Regel kein Problem dar, da eine nicht-reflektierende Beschichtung der Rotoren der Normalfall ist (UBA 2019). Lichtblitze aufgrund von Nässe oder Vereisung werden gemäss der WKA-Schattenwurfhinweise nicht berücksichtigt.

6.2.3 Hinweise zur Prognose

Der Schattenwurf einer Windenergieanlage ist abhängig vom Sonnenstand, den Wetterbedingungen, der Windrichtung und -geschwindigkeit sowie den Betriebszeiten. Der Tages- und Jahresverlauf des Schattenwurfs einer Windenergieanlage kann mittels gängiger elektronischer Planungstools im Rahmen einer Prognose berechnet werden. Solche Planungstools benötigen Informationen zu den Anlagenstandorten sowie zu den sensiblen Immissionsorten. Dazu gehören alle Räume in denen sich Menschen während längerer Zeit aufhalten (z. B. Wohnräume, Büroräume, Unterrichtsräume) sowie direkt an Gebäude grenzende Aussenflächen wie Balkone oder Terrassen. Auch diejenigen Bereiche von unüberbauten Grundstücken, in denen die erwähnten Räume zulässig sind, gelten als sensible Immissionsorte.

Mit Planungstools kann für alle umliegenden sensiblen Immissionsorte die astronomisch maximal mögliche Schattenwurfdauer berechnet werden (worst case). Die astronomisch maximal mögliche Schattenwurfdauer entspricht der Zeitdauer, bei der die Sonne zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang durchgehend bei wolkenlosem Himmel scheint, die Rotorfläche senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht und die Windenergieanlage in Betrieb ist. Planungstools ermöglichen zudem, unter Berücksichtigung der üblichen Witterungsbedingungen (z. B. langfristige Messreihen der Meteo-Schweiz), die meteorologisch wahrscheinliche Beschattungsdauer zu bestimmen. Grundsätzlich gilt, dass im Osten und Westen der Schatten ab einem Abstand von über 1000 m bis 1400 m (abhängig von der Höhe der Windenergieanlage von 150 m bis 200 m), immer diffuser und nicht mehr wahrgenommen wird (LfU 2016).

Sind sensible Immissionsorte in der Umgebung vorhanden, sollte ein Schattenwurf-Fachgutachten erstellt werden, welches die astronomisch maximal mögliche und die meteorologisch wahrscheinliche Schattenwurfdauer an allen sensiblen Immissionsorten aufzeigt.

6.2.4 Hinweise zu Massnahmen

- Belästigungen durch periodischen Schattenwurf bzw. künstliches Flackern an sensiblen Immissionsorten können durch eine sorgfältige Planung und eine geeignete Standortwahl der Windenergieanlagen minimiert oder sogar vermieden werden.
- Zeigt die Prognose, dass an einem Immissionsort die Schattenwurfdauer über die kritische Schwelle zu liegen kommt, können bereits in der Planungs- bzw. der Bewilligungsphase Verbesserungsmassnahmen vorgeschlagen und vorgesehen werden.
- Moderne Windenergieanlagen können mit einer Abschaltautomatik ausgerüstet werden, die mittels Strahlungs- oder Beleuchtungsstärkesensoren die konkrete meteorologische Beschattungssituation erfasst und somit die vor Ort konkret vorhandene Beschattungsdauer begrenzt.

7 Verfahren

7.1 Zuständigkeitsregelung

Die Zuständigkeiten für die Verfahren sowohl zur Planung und Beurteilung neuer oder geänderter Anlagen als auch für die Behandlung von Beschwerden in Bezug auf Lichtemissionen liegen grundsätzlich bei den durch das kantonale Recht bezeichneten Verwaltungs- und Gerichtsbehörden (vgl. Art. 36 USG). So entscheidet beispielsweise das Bauamt der Gemeinde oder das kantonale Tiefbauamt über die Erstellung einer Beleuchtung auf der Strasse. Je nach kantonaler Zuständigkeitsordnung ziehen die Baubehörden die kantonalen Umweltschutzfachstellen und – wenn geschützte, gefährdete Arten oder Arten, für die die Schweiz eine Verantwortung trägt, oder schützenswerte Lebensräume betroffen sind – die Fachstellen für Natur und Landschaft bei.

Für Beleuchtungsanlagen von Bundesinfrastrukturen liegt die Zuständigkeit bei den Bundesbehörden (vgl. Art. 41 Abs. 2 USG). Das Verfahren wird in der Regel von einer Leitbehörde geführt, die das Bundesamt für Umwelt als betroffene Fachbehörde konsultiert.

Der Bund wacht allgemein über den Vollzug des Umweltschutzgesetzes, koordiniert die Vollzugsmassnahmen und erlässt Ausführungsvorschriften und Vollzugshilfen.

7.2 Richt- und Nutzungsplanung

In der Praxis können Lichtemissionen im Rahmen von (raum)planerischen Prozessen auf verschiedenen Stufen reduziert werden:

- **Richtpläne:** Planungsgrundsätze zur Reduktion von Lichtemissionen können bereits im Richtplan festgelegt werden. Beispielsweise kann darin festgeschrieben werden, dass eine künstliche Aufhellung des Nachthimmels möglichst zu vermeiden ist und Beleuchtungsanlagen so zu optimieren sind, dass die Objekte gezielt und effizient beleuchtet werden.
- **Kommunale Bau- und Nutzungsordnungen (BNO), Bau- und Zonenordnungen (BZO) oder Zonenpläne:** Solche kommunalen Planungsinstrumente regeln die Bau- und Nutzungsweise von Grundstücken und können damit auch den Schutz vor Lichtemissionen verbindlich festlegen. Sie sind für die Reduktion der Lichtemissionen von grosser Bedeutung. Zum Beispiel können je nach Zone unterschiedliche Nutzungsweisen und Emissionsvorschriften vorgeschrieben werden. In einem Zonenplan kann eine Gemeinde ganz konkret die Gebiete ausscheiden, in welchen sie einen definierten Einsatz von Licht zulassen oder verbieten will.
- **Konzepte und Strategien:** In Ergänzung zu den raumplanerischen Instrumenten, welche die grundsätzliche Nutzung und Entwicklung einer Region oder Gemeinde regeln, wurden in den letzten Jahren an manchen Orten auch spezifische Beleuchtungskonzepte oder -strategien entwickelt, die etwa die Bezeichnungen «Plan Lumière» oder «Licht-Masterplan» tragen. Diese Instrumente berücksichtigen die Auswirkungen von Licht sowohl auf Nachbarn als auch auf Arten, Lebensräume und Landschaften (weitere Hinweise in Anh. A4).

7.3 Bewilligungsverfahren

7.3.1 Bewilligungspflicht

Nach eidgenössischem Raumplanungsgesetz (RPG) und kantonalem Baurecht können Beleuchtungsanlagen bzw. Anlagen und Bauten mit integrierten Beleuchtungen einer Bewilligungspflicht unterstellt werden (vgl. Anh. A3.2.4). Im Rahmen der entsprechenden (Bau-)Bewilligungsverfahren muss einzelfallweise geprüft werden, ob die geltenden umweltrechtlichen Vorgaben, insbesondere diejenigen zu Lichtemissionen, eingehalten werden. Welche Anlagen und Bauten bewilligungspflichtig sind und welche nicht, richtet sich nach kantonalem Recht. Da sich das Baurecht je nach Kanton und Gemeinde unterscheidet, ist nicht überall gleich geregelt, welche Beleuchtungen einer Bewilligung bedürfen und welche nicht (vgl. Anh. A3.3).

Für den Entscheid, welche Beleuchtungen einer Bewilligungspflicht zu unterstellen sind oder für welche Beleuchtungen, die in bewilligungspflichtige Bauten und Anlagen integriert sind, im Bewilligungsverfahren Dokumentationen und Massnahmen zu verlangen sind, kann die Einschätzung der Relevanz gemäss Kapitel 4 als Hilfe herangezogen werden.

7.3.2 Anforderungen an die Dokumentation

Im Rahmen des Bewilligungsverfahrens sollte der Anlageinhaber oder Bauherr verpflichtet werden, als Bestandteil der Gesuchsunterlagen auch die Dokumentation der Beleuchtung bzw. des Beleuchtungskonzepts einzureichen. Die Anforderungen an die Dokumentation gelten sowohl bei neuen Anlagen als auch bei der Änderung bzw. Sanierung bestehender Anlagen (z. B. Ersatz der Leuchten).

Je nach Relevanz der Beleuchtungsanlage sind unterschiedlich umfangreiche und detaillierte Angaben notwendig (vgl. Tabelle 10):

Tabelle 10

Umfang der Dokumentation nach Relevanz

Relevanzindex gemäss Matrix in Abbildung 3	Umfang der Dokumentation (Inhalt vgl. Tabelle 11)	Kommentar
0	–	• Keine Dokumentation erforderlich
1	Basisangaben	• Sofern für die Anlage eine Bewilligung erforderlich ist, muss die Dokumentation im Rahmen des Bewilligungsverfahrens vorgelegt werden • Führt eine (auch nicht bewilligungspflichtige) Anlage zu Beanstandungen, ist die Dokumentation im Beurteilungsverfahren einzureichen
2	Erweiterte Angaben	• Bei einer Anlage mit geringer (0) Wirkung auf den Aussenraum oder bei ortsüblichen Anlagen können ausnahmsweise Basisangaben genügen
3	Umfassende Angaben	• Bei einer Anlage mit mittlerer (1) Wirkung auf den Aussenraum oder bei ortsüblichen Anlagen können ausnahmsweise erweiterte Angaben genügen
4	Umfassende Angaben	–

Die eingereichten Unterlagen dienen der Behörde zur Überprüfung, ob die zu beurteilenden Anlagen konform mit der Umweltschutzgesetzgebung sind. Im Kapitel 3.3 sind generelle Massnahmen und im Anhang A5 anlage-spezifische Massnahmen beschrieben.

Reichen die Angaben für eine Beurteilung nicht aus oder sind zusätzliche Massnahmen notwendig, sind die Unterlagen entsprechend zu überarbeiten oder zu ergänzen.

Tabelle 11

Dokumentation der Beleuchtung im Rahmen von Bewilligungsverfahren

Dokumentation	Titel	Inhalt
Basisangaben Erweiterte Angaben Umfassende Angaben	Beleuchtungszweck	• Angaben zum Beleuchtungszweck
	Situationsplan	• Standort Beleuchtungsanlage bzw. Leuchten
	Beleuchtungstechnologie	• Eingesetzte Technologie (Basisangaben)
	Zeitmanagement	• Angaben zu Betriebszeiten und eventuell verschiedenen Betriebszuständen der Beleuchtung (z. B. Intensitäten, zeitlich unterschiedlich beleuchtete Bereiche etc.) • Gegebenenfalls Angaben zu bedarfsgerechter Steuerung (Zeitabhängig? Dynamisch? Mit Bewegungsmeldern? Dimmprofile / Schaltzyklen bei dynamischen Anpassungen? etc.)
	Massnahmen	• Vorgesehene Massnahmen zur Reduktion der Lichtemissionen und Einschätzung zu deren Wirkung
	Datenblätter Leuchten	• Bildliche Darstellung (Foto, Prinzipskizze o. ä.) der eingesetzten Leuchten • Eingesetzte(s) Leuchtmittel / Lampe(n) (z. B. LED, Natriumdampflampe, Halogen-Metaldampflampe etc.) • Lichtfarbe (Farbtemperatur in Kelvin) / Spektrum • Lichtstrom (in Lumen) • Abstrahlungscharakteristik: Lichtverteilungskurve (LVK), symmetrisch/asymmetrisch abstrahlend etc. • Höhe der Leuchten über Boden (sog. Lichtpunkthöhe) • Montageart, Ausrichtung der Leuchten, Form und Lage des Abschlussglases • Allfällige Blendbegrenzungen und Abschirmungen • Angaben zu Steuerungen (z. B. Dimmbarkeit, Bewegungsmelder etc.)
	Umgebung (vgl. Kap. 4.4)	• Umgebungszone gemäss Tabelle 4 in Kapitel 4.4 • nächste Wohnhäuser • schützenswerte Naturräume, Habitate lichtsensibler Tierarten • Eventuell Topographie ¹⁾ • Eventuell Beschaffenheit des Bodens ²⁾
	Normen oder andere Vorgaben	• Angaben zu einzuhaltenden Normen oder anderen Vorgaben ³⁾
	Beleuchtungsberechnungen	• Beleuchtungsberechnungen ⁴⁾ bezogen auf: • Nutzfläche • beleuchtete Fläche ausserhalb Nutzfläche • Fassaden angrenzender Wohnhäuser

Hinweise zur Tabelle:

¹⁾ Spezielle topographische Gegebenheiten (z. B. Hanglage, erhöhter Standort) können zu besonderen Einwirkungssituationen führen (z. B. direkter Blick in Leuchten, erhöhte Fernwirkung etc.). Dies ist bei der Planung entsprechend zu berücksichtigen.

²⁾ In gewissen Fällen kann auch die Beschaffenheit des Bodens für die Ausgestaltung einer Beleuchtung von Bedeutung sein. Denn je nach Art der Oberfläche wird mehr oder weniger Licht nach oben reflektiert. Bei Schnee beispielsweise reichen aufgrund seines hohen Reflexionsgrades bereits geringe Beleuchtungsstärken, um Pisten oder Loipen ausreichend zu erhellen.

³⁾ Normen (z. B. für Arbeitsplätze im Freien, Arealbeleuchtungen, Sportinfrastrukturen, Strassen etc., vgl. Anh. A3.4) definieren Mindestanforderungen an die Beleuchtungsqualität, andere Vorgaben (wie z. B. kommunale Reklamereglemente) eher maximal zulässige Parameter. Beide müssen bei der Beurteilung der vorgesehenen Intensität beachtet werden (z. B. Einhaltung von Maximalvorgaben; keine Übererfüllung der Minimalvorgaben von Normen).

⁴⁾ Bei Beleuchtungsanlagen, die Normen erfüllen müssen, werden in der Planung meist ohnehin Berechnungen durchgeführt, um die Einhaltung der Vorgaben (z. B. horizontale Beleuchtungsstärke oder Gleichmässigkeit) – bezogen auf die vorgesehene Nutzfläche – zu belegen. Ist die Beleuchtungsanlage für die Simulationen modelliert, kann das Modell mit relativ geringem Zusatzaufwand um zusätzliche Berechnungsebenen erweitert werden, damit auch die Einwirkungen auf benachbarte Wohnhäuser abgeschätzt werden können (insb. vertikale Beleuchtungsstärke zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung).

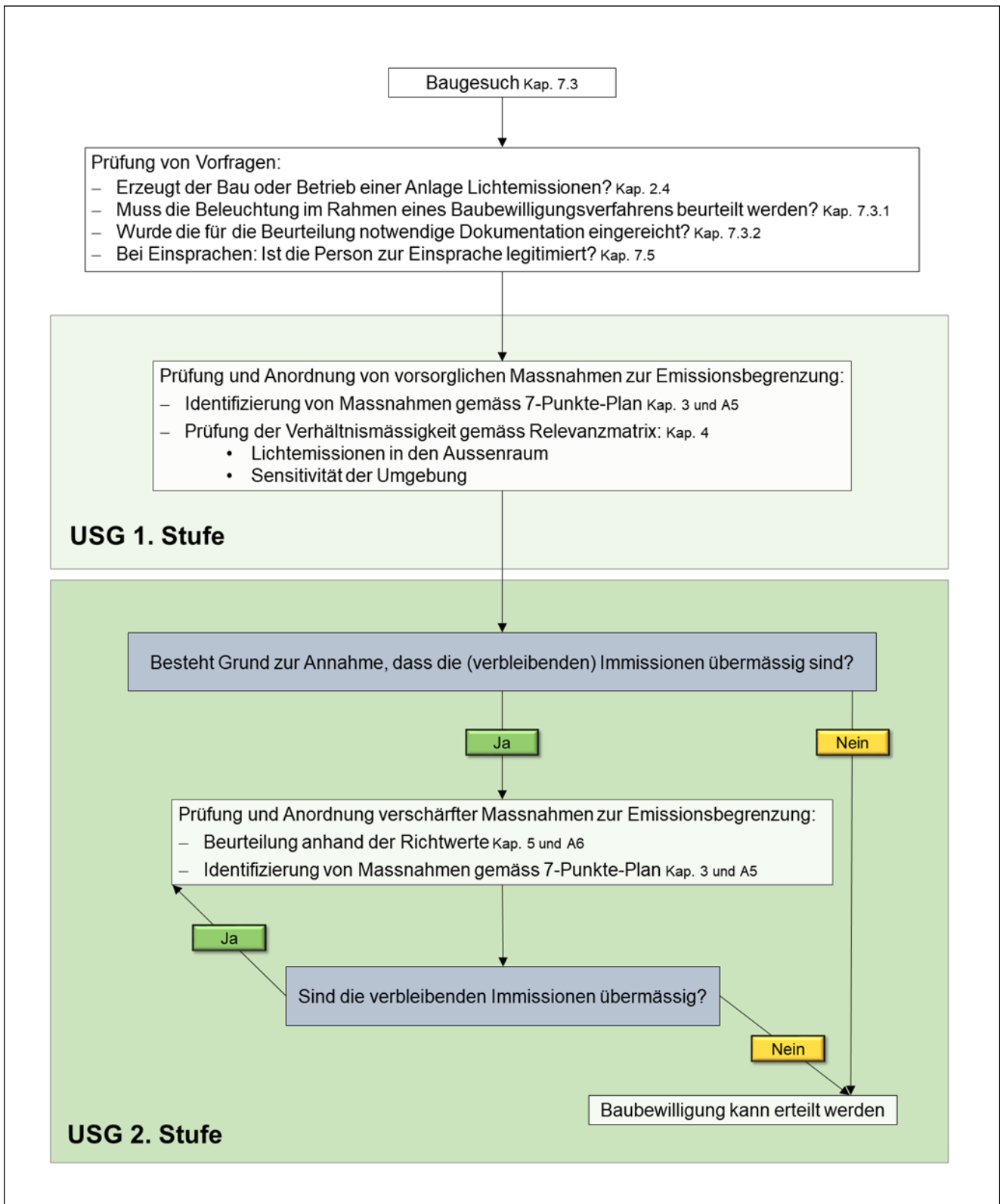
7.3.3 Vorgehen bei Bewilligungen

Der Entscheidungsbaum in Abbildung 7 erläutert die Vorgehensweise bei der Bewilligung einer Beleuchtung (als einzelne Anlage oder als Teil einer Gesamtanlage):

- Zunächst ist zu prüfen, ob der zu bewilligende Sachverhalt im Anwendungsbereich des USG liegt. Dies ist zu bejahen, wenn es sich um eine Anlage handelt, deren Bau oder Betrieb Lichtemissionen verursacht (vgl. Kap. 2.4).
- Danach stellt sich die Frage, ob die Beleuchtung bewilligungspflichtig ist resp. ob sie im Rahmen eines aus anderen Gründen notwendigen Baubewilligungsverfahrens beurteilt werden muss. Wird dies bejaht, ist sicherzustellen, dass die für die Beurteilung notwendige Dokumentation vorliegt (vgl. Kap. 7.3.2).
- Gehen Einsprachen gegen das Bauprojekt ein, muss die Legitimation der Einsprechenden geprüft werden (vgl. Kap. 7.5).
- Ist die Prüfung der Vorfragen abgeschlossen, sind die mit dem geplanten Projekt verbundenen Lichtemissionen gestützt auf Artikel 11 USG zu beurteilen. In einem ersten Schritt ist gemäss Artikel 11 Absatz 2 USG zu prüfen, ob alle vorsorglichen Massnahmen zur Begrenzung der Lichtemissionen an der Quelle im Baugesuch aufgeführt sind. Es sind alle Massnahmen anzuordnen, deren Ergreifung verhältnismässig ist. Für die Beurteilung kann auf den 7-Punkte-Plan (vgl. Kap. 3, Anh. A5) sowie die Relevanzmatrix (vgl. Kap. 4) abgestellt werden.
- Wenn für die Bewilligungsbehörde nach Umsetzung der vorsorglichen Massnahmen zur Emissionsbegrenzung Grund zur Annahme besteht, dass die noch vorhandenen Immissionen für die Betroffenen übermässig sein könnten (vgl. Kap. 5 und Anh. A6), sind vertiefte Abklärungen notwendig.
- Es sind nach Artikel 11 Absatz 3 USG weitergehende (verschärfte) Massnahmen zur Emissionsbegrenzung (vgl. Kap. 3, Anh. A5) so weit zu prüfen und anzuordnen, bis die Richtwerte eingehalten sind resp. bis die Lichtimmissionen nicht mehr als schädlich oder lästig zu beurteilen sind.

Abbildung 7

Übersicht zum Vorgehen bei Bewilligungen



7.4 Bewilligungsfreie Beleuchtungsanlagen

Bei bewilligungsfreien Beleuchtungsanlagen ist Folgendes zu beachten:

- Auch wenn (Beleuchtungs-)Anlagen keiner Bewilligungspflicht unterliegen, haben sie das Umweltschutzgesetz sowie für sämtliche Beleuchtungsanlagen geltende Vorgaben in kommunalen Lichtkonzepten, Bau-, Nutzungs- oder Zonenordnungen bzw. -plänen einzuhalten. Mangels Bewilligungsverfahrens wird dies jedoch nicht vorgängig von einer Behörde überprüft.
- Die zuständigen Behörden können von Amtes wegen oder aufgrund von Beanstandungen von Anwohnenden Kontrollen vornehmen und nötigenfalls Beschränkungen anordnen.
- Gerade bei nicht bewilligungspflichtigen Beleuchtungen kommt der Information und Sensibilisierung eine wichtige Rolle zu. Dies mit dem Ziel, dass Eigentümer von Beleuchtungen auf der Grundlage guter Kenntnisse von sich aus Massnahmen zur Begrenzung von Emissionen treffen.
- Eine besondere Kategorie von nicht bewilligungspflichtigen Beleuchtungen sind private Weihnachts- und Zierbeleuchtungen. Hierzu finden sich weitere Informationen im Anhang A5.9.

7.5 Einsprache- und Beschwerdelegitimation von Anwohnenden

Anwohnende können aus ihrer Sicht unzulässige Lichtemissionen beanstanden. Wird ein Bewilligungsverfahren durchgeführt, müssen sie dies im Rahmen dieses Verfahrens tun, z. B. mittels Einsprache. Nach der bundesgerichtlichen Rechtsprechung sind mindestens jene Nachbarn zur Äusserung von Beanstandungen inner- und ausserhalb von Bewilligungsverfahren sowie zur Erhebung von Rechtsmitteln legitimiert, welche mit Sicherheit oder zumindest grosser Wahrscheinlichkeit durch Immissionen (z. B. Licht) betroffen werden, die der Bau oder Betrieb der fraglichen Anlage hervorruft. Bei weiträumigen Einwirkungen kann ein grosser Kreis von Personen zur Beschwerdeführung legitimiert sein.

Im Falle von Lichtimmissionen ist die besondere Betroffenheit in der Regel zu bejahen, wenn eine direkte Sichtverbindung zur Lichtquelle besteht und diese deutlich wahrnehmbar ist. Dies ist in einem Umkreis von 100 m in der Regel zu bejahen, sofern die Beleuchtung eine gewisse Mindeststärke überschreitet. Bei Fehlen einer direkten Sichtverbindung bzw. grosser Entfernung trägt die Beleuchtung zur Aufhellung des Nachthimmels bei, die für praktisch alle Bewohner einer Region sichtbar ist. In solchen Fällen müssen spezielle Umstände vorliegen, damit die erforderliche besondere Betroffenheit zu bejahen ist. Ob eine Person deutlich wahrnehmbaren, sie spezifisch treffenden Lichtimmissionen ausgesetzt ist, ist aufgrund qualitativer Kriterien (Art des Lichts) und quantitativer Kriterien (z. B. Ausmass der Wohnraumaufhellung) zu beurteilen. Dabei sind insbesondere die Umgebung und die darin vorbestehenden Lichtemissionen zu berücksichtigen (BGE 140 II 214, E. 2.3 f.).

Bei grossen Anlagen kann die Beschwerdebefugnis auf einzelne Anlageteile beschränkt sein. Entsprechend können emissionsbeschränkende Massnahmen gegebenenfalls nur für einzelne Lichtquellen (z. B. Dachleuchten, beleuchtetes Werbeplakat) angeordnet werden (vgl. BGE 140 II 214, Bahnhofsbeleuchtung Oberrieden See).

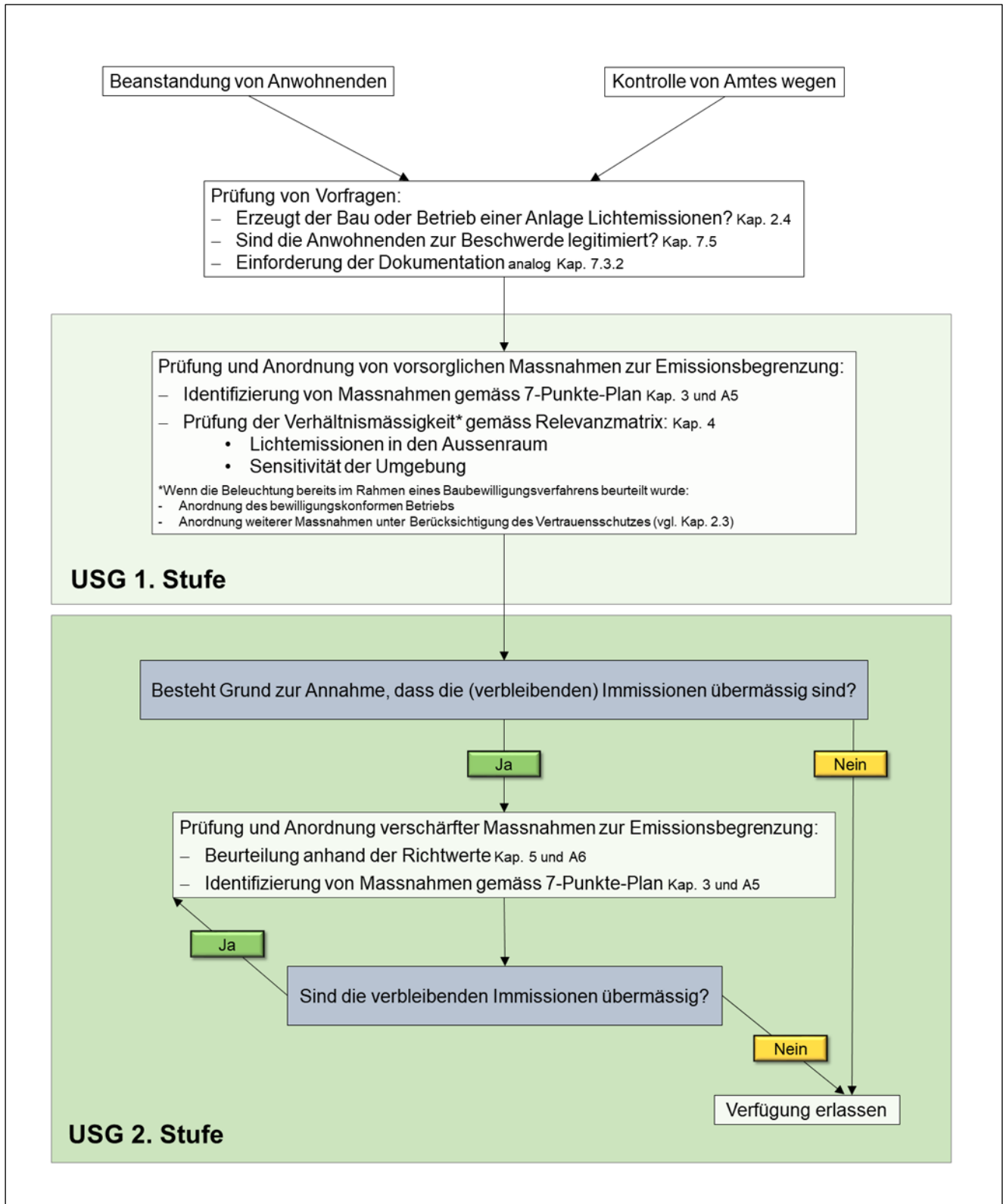
7.6 Vorgehen bei Beanstandungen und Kontrollen von Amtes wegen

Der Entscheidungsbaum in Abbildung 8 erläutert die Vorgehensweise bei Beanstandungen oder Kontrollen von Amtes wegen:

- Zunächst muss die zuständige Behörde prüfen, ob der beanstandete oder zu kontrollierende Sachverhalt im Anwendungsbereich des USG liegt. Dies ist zu bejahen, wenn Lichtemissionen vorliegen, die durch den Bau oder Betrieb einer Anlage erzeugt werden (vgl. Kap. 2.4).
- Im Falle einer Beanstandung ist zudem abzuklären, ob die betroffenen Anwohnenden zur Beschwerde legitimiert sind (vgl. Kap. 7.5).
- Sodann muss die Behörde weitere Abklärungen zum Sachverhalt treffen und die für die Beurteilung notwendige Dokumentation einfordern (analog Kap. 7.3.2).
- Ist die Prüfung der Vorfragen abgeschlossen, sind die strittigen Lichtemissionen gestützt auf Artikel 11 USG zu beurteilen. In einem ersten Schritt ist gemäss Artikel 11 Absatz 2 USG zu prüfen, welche vorsorglichen Massnahmen zur Begrenzung der Lichtemissionen an der Quelle ergriffen werden können. Es sind alle Massnahmen anzuordnen, deren Ergreifung verhältnismässig ist. Für die Beurteilung kann auf den 7-Punkte-Plan (vgl. Kap. 3, Anh. A5) sowie die Relevanzmatrix (vgl. Kap. 4) abgestellt werden.
- Wurden die Lichtemissionen bereits im Rahmen eines früheren Baubewilligungsverfahrens beurteilt, ist zudem das Interesse des Anlageinhabers am Vertrauensschutz zu berücksichtigen (vgl. Kap. 2.3).
- Wenn für die Behörde nach Umsetzung der vorsorglichen Massnahmen zur Emissionsbegrenzung Grund zur Annahme besteht, dass die noch vorhandenen Immissionen für die Betroffenen übermässig sein könnten (vgl. Kap. 5 und Anh. A6), sind vertiefte Abklärungen notwendig.
- Es sind nach Artikel 11 Absatz 3 USG weitergehende (verschärfte) Massnahmen zur Emissionsbegrenzung (vgl. Kap. 3, Anh. A5) so weit zu prüfen und anzuordnen, bis die Richtwerte eingehalten sind resp. bis die Lichtimmissionen nicht mehr als schädlich oder lästig zu beurteilen sind.

Abbildung 8

Übersicht zum Vorgehen bei Beanstandungen und Kontrollen von Amtes wegen



Anhang

A1 Auswirkungen der Lichtemissionen

Künstliches Licht kann unerwünschte Auswirkungen auf den Menschen, die Artenvielfalt und die Nachtlandschaft haben, wie nachfolgend beschrieben wird.

A1.1 Auswirkungen auf den Menschen

A1.1.1 Allgemeines

Genügend Licht zur richtigen Zeit ist unabdingbar für die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Zu viel Licht kann jedoch auch negative Folgen haben. Diese können von direkten Augen- und Hautschäden durch sehr intensives Licht bis zu eher belästigenden Wirkungen reichen, die unter Umständen (insbesondere in der Nacht) bereits durch wenig intensives Licht ausgelöst werden können (BAFU 2012). In einer Bevölkerungsbefragung gaben 22 % (Jahr 2014) bzw. 24 % (Jahr 2015) der Befragten an, dass sie das «Licht von Strassenbeleuchtungen, beleuchteten Nachbarhäusern oder Gärten, Sportplätzen, Leuchtreklamen etc.» in ihrem Zuhause als sehr oder eher störend empfanden (Schaub 2014, 2015).

Bei den künstlichen Lichtquellen im Aussenraum kann man gemäss Expertenmeinungen direkte physische Schäden an Auge oder Haut ausschliessen (LAI 2012). Hier stehen Auswirkungen im Vordergrund, die der Belästigung oder der Störung des Wohlbefindens zuzuordnen sind. Konkret genannt werden in der Literatur Blendungen und Belästigungen durch übermässige Aufhellungen des Wohnraums. Auch eine allfällige Beeinflussung des biologischen Tag-Nacht-Rhythmus durch künstliche Lichtquellen wird derzeit intensiv erforscht (sog. chronobiologische Wirkungen).

A1.1.2 Blendung

Bei der Blendung wird zwischen physiologischer und belästigender Blendung unterschieden. Letztere wird in der Literatur auch als psychologische⁸ oder subjektive Blendung bezeichnet.

Bei der *physiologischen Blendung* handelt es sich um eine objektiv messbare Verminderung der Sehleistung. Zu einer Beeinträchtigung der Sehleistung kommt es, wenn sich so viel Licht an kleinen Unregelmässigkeiten im Auge streut, dass ein Lichtschleier entsteht, der die Kontraste im Bild auf der Netzhaut reduziert. Da ältere Menschen mehr Trübungen in den verschiedenen Augenbestandteilen wie Hornhaut, Linse und Glaskörper aufweisen, sind sie empfindlicher gegenüber Blendungen als jüngere Menschen.

Ist das eintreffende Licht so intensiv, dass eine Anpassung des Auges an die Lichtverhältnisse gar nicht mehr möglich ist, spricht man von einer *Absolutblendung* (SSK 2006). In diesem Fall ist die Sehfähigkeit stark eingeschränkt oder geht (vorübergehend) gänzlich verloren. Eine Alltagssituation, in welcher es zu Absolutblendungen kommen kann, stellt die Reflexion von Sonnenlicht an spiegelnden Gebäudeelementen wie Glasfassaden, Metallverkleidungen, Fensterscheiben, Photovoltaikanlagen oder Sonnenkollektoren dar. Ab welcher Intensität und Dauer die Einwirkung solcher Blendungen schädlich ist, ist aber noch nicht bekannt (BAFU 2012).

A1.1.3 Belästigende Blendung in der Nacht

Von *belästigender Blendung* spricht man, wenn sich Menschen in der Nacht durch helle Lichtquellen in ihrem Gesichtsfeld in einer ansonsten dunklen Umgebung gestört oder belästigt fühlen. Die Bewertung als störend oder belästigend erfolgt unabhängig davon, ob die Sehfunktion beeinträchtigt ist oder nicht. Als störend wird möglicherweise empfunden, dass eine helle Lichtquelle den Blick auf sich zieht,

⁸ Moshhammer und Kundi (2013) führen aus, dass sie den Begriff «psychologische Blendung» als wenig geeignet halten, da er falsch interpretiert werden könne. Es handle sich bei dieser Einwirkung keineswegs um ein bloss subjektives Phänomen. Sie sprechen daher von Unbehaglichkeitsblendung. Im hier vorliegenden Bericht wird in Anlehnung an die Begrifflichkeiten des Umweltschutzgesetzes (USG) der Begriff «belästigende Blendung» verwendet.

ohne aber wesentliche Informationen zu liefern, und somit nur ablenkt. Eine andere Hypothese geht davon aus, dass hell und dunkel beleuchtete Stellen auf der Netzhaut dazu führen, dass die Muskulatur, welche die Pupille bei Dunkelheit öffnet, in Konflikt gerät mit der Muskulatur, welche die Pupille bei Helligkeit schliessen will (Schierz 2009).

A1.1.4 Wohnraumaufhellung

Als Wohnraumaufhellung gilt die Aufhellung des Wohnbereichs durch eine in der Nachbarschaft vorhandene Beleuchtungsanlage, welche zu einer eingeschränkten Nutzung dieses Wohnbereichs führt. Eine solche übermässige Wohnraumaufhellung kann unterschiedliche Störwirkungen zur Folge haben, am häufigsten werden Schlafstörungen genannt. Als besonders störend gelten – in der Reihenfolge zunehmender Störung – gelbes oder weisses Licht, grünes, rotes oder blaues Licht sowie blinkendes Licht mit geringer und mit hoher Blinkfrequenz (Schierz 2009).

A1.1.5 Chronobiologische Auswirkungen

Der Schlaf-Wach-Rhythmus des Menschen wird wesentlich durch das Tageslicht bestimmt. Forschungsergebnisse der letzten Jahre zeigen, dass auch künstliches Licht einen Einfluss auf diesen Tag-Nacht-Rhythmus haben kann. Blaues Licht resp. Licht mit einem hohen Blauanteil im Spektrum ist dabei besonders wirksam.

Eine Störung des Tag-Nacht-Rhythmus könnte weitere Gesundheitsfolgen nach sich ziehen wie Schlafstörungen, Veränderungen der Hormonproduktion oder Herzschlagveränderungen. Vermutet werden weiter Störungen des Menstruationszyklus bei Frauen, eine Verminderung der Abwehrkräfte gegenüber Infektionskrankheiten und verfrühtes Einsetzen der Pubertät (Gronfier 2015).

Aus wissenschaftlicher Sicht fehlen derzeit allerdings noch abschliessende Aussagen dazu, ab welchen Beleuchtungsintensitäten, Expositionszeiten und -zeitpunkten solche Wirkungen auftreten können. Im Moment konzentriert sich die chronobiologische Forschung auf Lichtquellen im Innenraum, die unmittelbar auf den Menschen einwirken und oft zu höheren Expositionen führen als Lichtquellen im Aussenraum. Neben einer Beeinflussung des Schlaf-Wach-Rhythmus durch neue Leuchtmittel wie Energiesparlampen und LED oder durch das Licht von Bildschirmen (z. B. LED-Monitore, Tablets) werden dabei auch allfällige photochemische Schäden an der Netzhaut (sog. blue-light-hazard) und Flicker-Phänomene untersucht.

Für Beleuchtungen im Innenbereich gibt das Bundesamt für Gesundheit BAG folgende Empfehlung ab: «Verwenden Sie an Orten, an denen sich Personen während der Abendstunden vor dem Schlafen während längerer Zeit aufhalten, warmweisse LED- oder Energiesparlampen mit Farbtemperaturen von ca. 3000 Kelvin. [...] Neutral- oder kaltweisse Lampen mit Farbtemperaturen von grösser als 4000 Kelvin sind für solche Orte weniger geeignet, da ihre blauen Lichtanteile aktivierend auf den Körper wirken und den Schlaf und andere Prozesse im Körper beeinflussen.» (BAG 2016, S. 1–2).

Sobald besser bekannt ist, ab welchen Lichtintensitäten und Expositionszeiten der Tag-Nacht-Rhythmus beeinflusst wird, wird sich auch abschätzen lassen, ob Lichtquellen in der Umwelt (aufgrund ihres Lichtspektrums und ihrer Intensität am Einwirkort) ebenfalls entscheidend zu dieser Wirkung beim Menschen beitragen.

A1.2 Auswirkungen auf die Natur

A1.2.1 Allgemeines

Die Lichtverschmutzung bzw. der Verlust der Nachtdunkelheit ist eine der häufigsten Arten der Umweltverschmutzung und vermutlich die am schnellsten zunehmende (Hölker et al. 2010a zitiert nach Robert et al. 2015). Global nimmt sie jährlich um rund 6% zu und gilt als eine der Hauptgefahren für die Biodiversität (Hölker et al. 2010a). Licht und Dunkelheit sind eine wichtige Ressource, so wie es auch sauberes Wasser oder Luft sind (Gaston et al. 2013). Viele physiologische Prozesse und Verhaltensweisen sind vom Licht oder der Dunkelheit abhängig (Gaston et al. 2013). So sind die meisten Pflanzen vom Sonnenlicht abhängig, um Photosynthese betreiben zu können, jedoch profitieren sie auch von der Dunkelheit. Studien konnten zeigen, dass sie die Dunkelheit nutzen, um Schäden zu re-

parieren. Dieser Prozess wird jedoch durch künstliches Licht gehemmt (Vollsnes et al. 2009). Die Dunkelheit bietet aber auch eine eigene Nische, an die sich Organismen angepasst haben, um beispielsweise Konkurrenz mit anderen Arten zu vermeiden oder Räubern aus dem Weg zu gehen (Gaston et al. 2013). Der Verlust der Nachtdunkelheit durch künstliches Licht stört also verschiedene Organismen, wirkt sich auf deren Verhalten aus und beeinflusst so auch Interaktionen zwischen Arten und letztlich das Ökosystem. Die konkreten Auswirkungen von künstlichem Licht hängen aber von verschiedensten Faktoren wie der Lichtquelle oder der Sensitivität der Organismen ab, die diesem ausgesetzt sind.

Fünf Parameter des Lichts beeinflussen Tiere und Pflanzen: die spektrale Zusammensetzung, die Intensität, die Richtung, die Dauer und die Periodizität der Beleuchtung. Jeder dieser Parameter wirkt sich je nach Sehvermögen oder Aktivitätsfenster unterschiedlich auf die einzelnen Arten aus. Jede Art reagiert auf andere Weise auf nächtliche Beleuchtung. Potenziell am stärksten betroffen sind nachtaktive Arten oder dämmerungsaktive Arten (deren Hauptaktivität in den frühen Morgenstunden und/oder in der Dämmerung liegt).

Gewisse Tiere werden beispielweise von Licht angezogen (positiv phototaktisch), während andere das Licht meiden (negativ phototaktisch) oder sich unabhängig der Lichtverhältnisse im Raum bewegen. Licht verändert auch die Orientierungsfähigkeit von Tieren. Ein Beispiel sind z. B. Zugvögel, die in ihrem Migrationsverhalten von nächtlicher Beleuchtung gestört werden (Van Doren et al. 2017).

Diese unmittelbaren Auswirkungen auf die Orientierungsfähigkeit sowie der Anziehungs- und Abstossungseffekt künstlicher Lichtquellen beeinflussen das Verhalten und dadurch Interaktionen mit Artgenossen oder zwischen Arten. Dazu gehören das Bewegungs-, Fress- Konkurrenz- oder Fortpflanzungsverhalten (Le Tallec 2014, vgl. Abbildung 9).

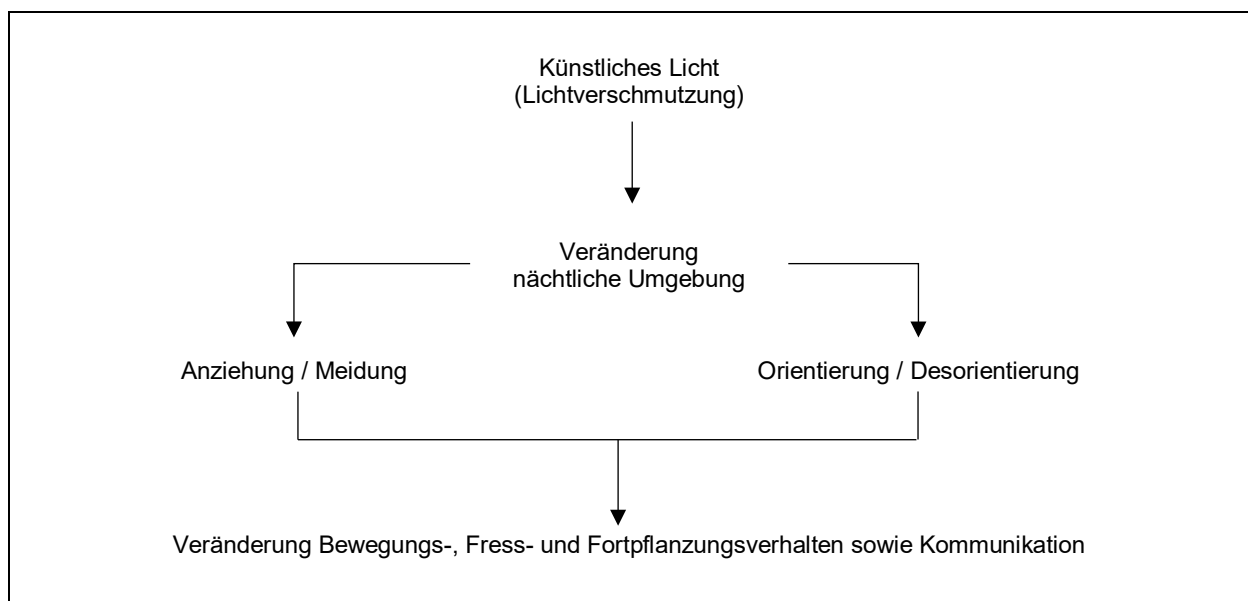


Abbildung 9: Die Lichtverschmutzung verstärkt die nächtliche Aufhellung und verändert so die Anziehung der Individuen für eine bestimmte Umgebung sowie ihre Fähigkeiten, sich darin zu orientieren. Langfristig haben diese Veränderungen einen Einfluss auf das Bewegungs-, Fress- und Fortpflanzungsverhalten sowie auf die Kommunikation (Le Tallec 2014).

Zudem kann sich Licht auch auf die Kommunikation auswirken. So ist es in einer von künstlichem Licht aufgehellten Umgebung für männliche Glühwürmchen schwieriger, weibliche Artgenossen auffindig zu machen. Weibliche Glühwürmchen locken die Männchen mit ihrem Leuchten zu sich. Dieses können die Männchen in Gebieten, die von Lichtverschmutzung betroffen sind, schlechter wahrnehmen oder sie gelangen anstelle eines Weibchens an eine künstliche Lichtquelle (Lloyd 1994).

Einige, eigentlich tagaktive Vögel und Reptilien scheinen von nächtlicher Beleuchtung zu profitieren, indem sie beleuchtete Flächen als Jagdgebiet nutzen (Schwartz and Henderson 1991 zitiert nach Longcore and Rich 2004). Ihre Beutetiere hingegen verlieren den Schutz der Dunkelheit. Welchen

Einfluss diese Veränderung der Räuber-Beute-Dynamik hat, ist unklar, es bedarf hier weiterer Forschungsarbeiten, um die Langzeitfolgen solcher Auswirkungen zu untersuchen.

Die kumulierten Auswirkungen der Anziehung/Meidung sowie der Orientierung/Desorientierung und die dadurch verursachten Veränderungen des Verhaltens können dazu führen, dass sich die Interaktionen zwischen Arten oder die Artenzusammensetzung innerhalb eines Lebensraums verändern und die Funktionsweise zentraler Ökosysteme gestört wird. So kann ein wichtiges Ökosystem durch die Auswirkungen von künstlichem Licht destabilisiert werden.

In Anbetracht der immer stärker schwindenden Biodiversität ist darauf hinzuweisen, dass künstliches Licht die Homogenisierung, die heute in der natürlichen Umwelt herrscht, weiter verstärkt (die häufigsten Arten werden noch häufiger und die seltenen Arten werden immer seltener). Lichttolerante Arten können sich an künstliche Beleuchtungen anpassen oder profitieren davon. Lichtscheue Arten hingegen leiden darunter und ihre Überlebenschancen sinken (SWILD 2011). Vielfach leiden diejenigen Arten am stärksten unter den unerwünschten Auswirkungen von nächtlicher Beleuchtung, die bereits gefährdet oder nicht in der Lage sind, sich an die Ausdehnung der Siedlungen anzupassen.

A1.2.2 Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen

Die nächtlichen Lichtverhältnisse waren über lange, geologische Zeitskalen hinweg konstant. Erst durch den Menschen respektive durch die künstliche Beleuchtung haben sich die nächtlichen Lichtverhältnisse, insbesondere in den letzten Jahrzehnten, drastisch verändert (Gaston et al. 2014a, Hölker et al. 2010b). Die meisten Organismen, einschliesslich des Menschen, haben sich entsprechend den natürlichen Tag- und Nachtzyklen entwickelt. Das Ergebnis ist die sog. Circadiane Uhr, welche eine Schlüsselrolle bei der Regulation des Metabolismus, Wachstums und des Verhaltens spielt (Dunlap 1999). Circadiane Photorezeptoren konnten bereits in der Netzhaut von rund 500 Millionen Jahren alten Säugern nachgewiesen werden. Die Aufrechterhaltung des circadianen Rhythmus ist sehr komplex und basiert auf unterschiedlichen physiologischen Feedback-Loops, welche in Abhängigkeit von aufgenommenen Reizen ständig koordiniert werden. Bei Wirbeltieren spielt das Hormon Melatonin eine zentrale Rolle bei der Regulation verschiedenster Prozesse: Schlaf / Wachphase, Wachstum, Fortpflanzungszyklus, Keimruhe, Winterschlaf oder beim Vogelzug und ist so am circadianen wie auch circannualen Rhythmus beteiligt. Melatonin wird in den Dunkelphasen gebildet, künstliches Licht kann die Produktion beeinträchtigen und dadurch den natürlichen Rhythmus stören (Mosler-Berger 2013).

Aufgrund der Anpassungen an das Leben in der Dunkelheit werden potenziell besonders nachaktive Organismen durch künstliches Licht in der Nacht gestört. Sie zeichnen sich oftmals durch geschärfte Sinne, wie beispielsweise Anpassungen des Auges, aus (Hölker et al. 2010a) und reagieren entsprechend sensitiv auf Lichtveränderungen. Es wird vermutet, dass solche Anpassungen, welche es den Säugetieren erlaubten, die Nacht zum Tag zu machen, erheblich zu deren erfolgreichen Entwicklung beigetragen haben (Hölker et al. 2010a). Heutzutage sind rund 30 % aller Wirbeltiere und über 60 % der Wirbellosen nachaktiv (Hölker et al. 2010a). Nachtaktive Organismen machen also einen substantiellen Teil der heutigen Biodiversität aus. Der vorschreitende Verlust der Nachtdunkelheit und die daraus resultierenden Auswirkungen gefährden insbesondere diese an die Dunkelheit angepassten Organismen. Künstliches Licht kann aber auch negative Folgen für tagaktive Organismen haben. So konnte man z. B. beobachten, dass Singvögel am Morgen früher oder gar während der Nacht singen, was zu energetischen Mehrkosten und letztlich reduzierter Fitness führen kann (Miller 2006; Dominoni et al. 2014). Die Auswirkungen betreffen daher eine Vielzahl von Organismen und gefährden so den Erhalt der Biodiversität (Hölker et al. 2010a).

Säugetiere

Wie Säugetiere auf Licht reagieren, hängt von verschiedenen Faktoren ab. So unterscheiden sich Arten beispielsweise hinsichtlich ihrer Aktivphasen. Und viele nachaktive Arten verfügen über besondere Anpassungen ihres Sehapparats (Walls 1942).

Es sind diese Anpassungen, die insbesondere nacht- und dämmerungsaktive Tiere, aber auch kathe-merale Arten (keine spezifischen Aktivitätsphasen) für Störungen durch künstliches Licht in der Nacht anfällig machen (Rich and Longcore 2006). Das betrifft rund 70 % der Säugetiere (Bennie et al. 2014;

Jones et al. 2009 zitiert nach Prugh and Golden 2013), 44 % gelten als nachtaktiv und 29 % sind entweder krepuscular (dämmerungsaktiv) oder kathemeral (weder tag- noch nachtaktiv). Anpassungen an das Leben in der Dunkelheit sind z. B. grosse Pupillen, die es ermöglichen, mehr Licht aufzunehmen, eine vergrösserte Linse, was die sphärische Aberration minimiert, und eine stäbchenreiche Retina (Walls 1942). Bei starkem Lichteinfall ziehen sich die Pupillen stark zusammen, doch in der Regel kann auch diese Reaktion eine Übersättigung der Stäbchen und damit eine kurzzeitige Blendung der Tiere nicht verhindern (Perlman and Normann 1998). So kommt es in durch Strassen fragmentierten Lebensräumen aufgrund der anziehenden Wirkung – oft indirekt, aufgrund der erhöhten Konzentration an Beutetieren – aber auch aufgrund der Blendung der Tiere immer häufiger zu Kollisionen (Dean et al. 2019).

Die Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung gehen aber über die simple Beeinträchtigung des Sehvermögens hinaus. Sie beeinflusst auch die biologische / innere Uhr von Säugetieren, was sich sowohl auf deren circadianen Rhythmus wie auch auf die Wahrnehmung von saisonalen Veränderungen auswirkt (Häder 2004; Arendt J. 1998). So verschieben sich unter anderem die Aktivitätsphasen von tagaktiven Organismen weiter in die Nacht hinein (Häder 2004) oder nachaktive Tiere werden erst später aktiv, wodurch sich ihre Aktivitätsphase verkürzt (Le Tallec et al. 2013). Es kann auch dazu führen, dass sich Paarungszeiten verschieben (Le Tallec et al. 2016; Robert et al. 2015), was sich auf die Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen und damit auf die Aufzucht des Nachwuchses auswirken kann. In Laborversuchen konnten zudem physiologische Auswirkungen wie eine Beeinträchtigung des Immunsystems, Veränderungen bei Stress-Reaktionen (Bedrosian et al. 2011 und 2013) sowie eine Beeinträchtigung der kognitiven Fähigkeiten (Fonken et al. 2012) durch nächtliche Beleuchtung festgestellt werden.

Selbst mit dem Mond als einziger Lichtquelle versuchen einige, meist kleinere Nagetiere, die durch das Licht erhöhte Sichtbarkeit während des Vollmonds (Daly et al. 1992) oder in klaren Nächten (Up-ham and Hafner 2013; Longland and Price 1991) und das daraus gesteigerte Prädationsrisiko zu mindern; sie meiden offene Räume, haben eine erhöhte Wachsamkeit, Herzfrequenz sowie Fluchtdistanz, schränken die Nahrungssuche und/oder die Gesamtdauer ihrer Aktivität ein oder konzentrieren ihre Aktivität auf die dunkelsten Stunden der Nacht, was wiederum Auswirkungen auf den Energiehaushalt hat und sich damit auf die Fitness auswirkt (Prugh and Golden 2014). Daraus kann aber nicht generell abgeleitet werden, dass insbesondere kleine Beutetiere eher negativ von künstlichem Licht in der Nacht betroffen sind und Jäger eher davon profitieren. Bei einigen Nagern konnte beispielsweise eine Zunahme der Aktivität festgestellt werden. Die Hypothese dahinter ist, dass diese Arten bei der Futtersuche von besseren Sichtverhältnissen profitieren und auch Räuber früher erkennen können, was zu einer Verminderung des wahrgenommenen Prädationsrisikos führt. Arten, die nicht oder kaum auf ihren Sehsinn setzen, profitieren entsprechend auch nicht von besseren Lichtverhältnissen. Wie sich Licht auswirkt, hängt letztlich auch von Faktoren wie der Umgebungsstruktur ab. In einer gut strukturierten Umgebung finden Beutetiere mehr Schutz und bewegen sich häufiger als auf offenen Flächen. Auch bei den Raubtieren zeigt sich ein ähnlich komplexes Bild. Das konnten z. B. Studien mit Dachsen (Cresswell and Harris 1988) nachweisen. Einen Aspekt, den es ebenfalls zu berücksichtigen gilt, ist, dass Raubtiere selbst Beute von anderen Jägern oder älteren Artgenossen werden können.

Fledermäuse

Die meisten Fledermausarten sind lichtempfindlich (lichtscheu), so die Mausohr-Arten, die Hufeisennasen (*Rhinolophus*) und die Gruppe der Langohren (*Plecotus*). Andere, nicht lichtscheue Arten (*Nyctalus*, *Eptesicus* und *Pipistrellus*) hingegen werden durch künstliches Licht nicht gestört, sondern erbeuten einen grossen Teil oder fast ihre ganze Nahrung (Insekten) in der Nähe von Strassenlampen und künstlichen Lichtquellen. Diese Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten können dazu führen, dass sich nächtliche Beleuchtung auf die interspezifische Konkurrenz auswirkt. Im Extremfall kann dies zum Ausschluss von konkurrierenden Arten führen. Ein gutes Beispiel ist die Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*), deren Bestände in vielen Regionen rasch gesunken ist. Sie hat heute auf nationaler Ebene eine sehr hohe Priorität. Diese Tiere sind lichtscheu und nutzen deshalb nicht die von Lampen angezogenen Insekten als Nahrungsquelle. Nachdem in verschiedenen Tälern der Walliser Alpen Strassenlampen installiert wurden, ist diese Art dort lokal fast vollständig verschwunden. Gleichzeitig wurden diese Täler stark von der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*)

besiedelt, einer verbreiteten, nicht lichtscheuen Art, die durch die leichte Beute rund um die Strassenbeleuchtung angezogen wird. Beide Arten sind ähnlich gross und fressen dieselben Insektenarten. Es kann deshalb sein, dass das lokale Aussterben der Kleinen Hufeisennase durch den Konkurrenzausschluss verursacht wurde, der sich durch die Installation der Strassenbeleuchtung in den Tälern ergab (Arlettaz et al. 2000).

Zwar ernähren sich Fledermäuse auch dort, wo künstliches Licht fehlt, von Insekten, die sich – beispielsweise durch den Wind – lokal konzentrieren. Die Gebiete in der Nähe von künstlichen Lichtquellen sind aber nicht repräsentativ für die Bedingungen, unter denen sich Fledermäuse und Insekten während Jahrtausenden entwickelt haben. Im Vergleich zu anderen Lebensräumen ist das Nahrungsangebot in der Nähe der Lampen grösser und die Fledermäuse erbeuten einen höheren Anteil an Nachtfaltern (*Lepidoptera*) als an Fliegen und Käfern. Auf lange Sicht bestätigt sich der scheinbare Nutzen für die Fledermäuse nicht, da sie viel Beute fressen, die langfristig fehlen wird (Rydell 2005).

Fledermäuse sind nachtaktiv und sehr mobil. Sie orientieren sich mithilfe ihres Echo-Nahortungssystems (Fähigkeit, das Echo der Ultraschallrufe aufzufangen, die sie ausstossen). Wenn sie von ihren Quartieren in die Jagdgebiete fliegen, folgen sie häufig traditionellen Flugrouten entlang linearer Landschaftsstrukturen wie Hecken, Baumreihen, Gebäuden, Waldrändern oder Ufergehölzen. Durch künstliche Beleuchtung von Strasseninfrastrukturen können diese Flugrouten lichtscheuer Arten völlig zerschnitten (Barrierewirkung) oder kaum überwindbar werden. Bekannt ist, dass insbesondere einige Waldfledermausarten wie Bechstein-, Fransen-, Bartfledermäuse, Mausohren und Langohren sowie die Hufeisennasen das Licht und beleuchtete Gebiete meiden. Diese Arten sind deshalb unter Umständen gezwungen, lange Umwege zu fliegen, um ihre Jagdgebiete zu erreichen.

Im Sommerhalbjahr bilden die Fledermäuse Kolonien, beispielsweise unter Dächern (meistens in Estrichen) oder in Fassadenverkleidungen. Viele Arten nutzen im Sommer vorwiegend Gebäude als Tagesquartiere und überwintern gewöhnlich in Höhlen oder Felsspalten. Die künstliche Beleuchtung der Ausflugslöcher der Tagesschlafverstecke (beispielsweise durch Fassadenbeleuchtung) wirkt sich beim Schwärmen der Fledermäuse vor dem Tagesquartier bei der Rückkehr von der Jagd am Morgen aus. Vor allem aber hat sie einen Einfluss beim Ausflug am Abend. Wird das Ausflugsloch des Tagesschlafverstecks beleuchtet, fliegen die Tiere am Abend später aus. Dadurch bleibt ihnen weniger Zeit für die Beutejagd und sie verpassen das vermehrte Beuteangebot während der Dämmerung. Dies führt insbesondere dazu, dass die Jungen später geboren werden und langsamer wachsen (Boldogh et al. 2007, Stiftung für Fledermausschutz 2015).

Es hat sich gezeigt, dass verschiedene Fledermausarten (Grosse Hufeisennase *Rhinolophus ferrumequinum*, Grosses Mausohr *Myotis myotis* oder die Gruppe der Langohren *Plecotus auritus* und *P. austriacus*) ihr Quartier am Abend über die dunkelste Seite verlassen. Wenn beispielsweise drei Fassaden eines Turms, in der sich eine Kolonie von Grauen Langohren (*P. austriacus*) befindet, beleuchtet werden, meiden die Tiere die beleuchteten Ausflugslöcher und verlassen das Quartier nur über den Ausgang auf der dunklen Seite des Turms (Beck 2005).

Vögel

Ein grosser Teil der Zugvögel ist im Frühling (März bis Mai) und im Herbst (August bis November) in der Nacht unterwegs. Dabei orientieren sie sich auf ihrem Weg primär an den Sternen und am Magnetfeld der Erde. Durch künstliches Licht wird diese Orientierung aber beeinträchtigt, insbesondere bei dichtem Nebel und Wolkenfeldern. Über Siedlungsräumen kann durch die Beleuchtung z. B. ein sogenannter «light dome», auf Deutsch Lichtdom, -Kuppel oder -Glocke, entstehen, der die Vögel anzieht und so von ihrer Wanderoute abbringt. Künstliche Beleuchtung kann auf diese Weise die Wanderung verzögern bzw. verlängern. Vögel können auch von punktuellen Lichtquellen wie Hochhäusern und Sendetürmen sowie von himmelwärts gerichteten Lichtstrahlen (Scheinwerfer oder Skybeamer) angezogen werden (Vogelwarte 2021).

Unterschiedliche Arten von Lichtquellen:

Lichtdom (auch bekannt unter den Begriffen Lichtglocke oder Lichtkuppel): Bei niedriger Wolkendecke, Dunst oder Nebel wird das Licht der Beleuchtung von Städten, Agglomerationen und Gebäuden an den Wassertröpfchen in der Luft reflektiert, was zu einem erleuchteten Areal, einer Lichtglocke oder einem Lichtdom, führt (Manville 2000). Unter solchen Wetterverhältnissen fliegen Zugvögel bei

niedriger Höhe unter der Wolkendecke ohne Orientierung an den Sternen oder an Landmarken. Trotz der Möglichkeit zur Orientierung am Erdmagnetfeld ziehen die Vögel wenn möglich die Orientierung am Licht vor. Bei schlechten Sichtverhältnissen scheinen sie häufig von den Lichtdomen über Städten angezogen zu werden. Wenn sie in die Lichtglocke geraten sind, fliegen sie stundenlang im Kreis herum, finden oft erst in der zweiten Nachthälfte aus der Falle heraus und suchen erschöpft einen Rastplatz. Auf diese Weise gehen wertvolle Energiereserven für den langen, anstrengenden Flug verloren. Oft sterben die Vögel noch im Lichtdom an Erschöpfung oder fliegen in Gebäude und verenden auf diese Weise. Jungvögel sind stärker gefährdet, die Orientierung zu verlieren, als erfahrene erwachsene Vögel.

Punktuelle Lichtquellen: Nicht nur die Summe der beleuchteten Flächen verwirrt die Vögel in der Orientierung, sondern auch einzeln stehende, beleuchtete Objekte wie Wolkenkratzer, Hochkamme, Fernseh- und Rundfunktürme, Windenergieanlagen oder Projektionen an Bergwände (Beleuchtung zu Werbe- oder Kunstzwecken). Obwohl in der Schweiz noch nicht so stark in die Höhe gebaut wird wie in anderen Ländern, können an Beispielen wie dem Prime Tower in Zürich oder dem Roche-Turm in Basel regelmässig Kollisionen von Vögeln mit den Gebäuden nachgewiesen werden. Offenbar geht die Gefahr dabei von der Blendungswirkung aus: Die Vögel nehmen Hindernisse in ihrer Flugbahn nicht mehr wahr und fliegen direkt auf die Lichtquelle zu (Wüthrich 2001). Bis heute wurden bereits zahlreiche Fälle von Massenkollisionen aufgrund der Beleuchtung kleinerer Areale verzeichnet. In der Schweiz starben in den 1970er-Jahren Tausende von Zugvögeln, als sie gegen eine Eiswand der Jungfrau flogen, die durch einen Reklamescheinwerfer beleuchtet wurde (Bruderer 2002).

Himmelwärts gerichtete Lichtstrahlen: Plötzlich auftretende starke Lichtreize von Scheinwerfern oder Skybeamern haben unabhängig von den Sichtbedingungen einen Einfluss auf das Flugverhalten von Zugvögeln. Laut Studien zeigten Vögel erhebliche Schreckreaktionen beim Einschalten eines Scheinwerfers, obwohl lediglich 200 Watt – und nicht 1000 Watt und mehr wie bei den Reklamescheinwerfern bzw. Skybeamern – eingesetzt wurden. Sie weichen von ihrer ursprünglichen Richtung ab, reduzieren ihre Fluggeschwindigkeit und versuchen, dem Lichtstrahl vertikal zu entweichen. Erst ab einer Distanz von etwa einem Kilometer ist der Einfluss des Lichtstrahls nicht mehr messbar (Bruderer et al. 1999).

Künstliches Nachtlicht wirkt sich auch auf den *circadianen Rhythmus der Singvögel* aus. Durch die künstliche Aufhellung verkürzt sich der Schlaf bei den Vögeln und sie beginnen Vögel in beleuchteten Parks oder in der Nähe von Strassenbeleuchtungen am Morgen früher als im Wald oder in der Nacht zu singen (Bergen & Abs 1997; Derrickson 1988; Rapp 2015). Je nach Vogelart ist das Ausmass der zeitlichen Verschiebung unterschiedlich, da diese mit der gesangsauslösenden Helligkeitsschwelle zusammenhängt. Die zeitliche Verschiebung des Gesangsbeginns wirkt sich auf die Reproduktion der Vögel aus. Im Einflussbereich von Strassenlaternen legen die Weibchen ihre Eier früher und die Männchen sind doppelt erfolgreich bei der Kopulation und der Produktion von Nachwuchs. Die verfrühte Eiablage bewirkt, dass wichtige biologische Prozesse nicht mehr synchronisiert ablaufen und sich der Futterbedarf (z. B. Insekten) der Jungen nicht mehr mit der grössten Verfügbarkeit des Futters deckt. Zugvögel, die in ihren Überwinterungsgebieten künstlichem Licht ausgesetzt sind, setzen schneller Fett an und ziehen im Frühling früher ins Sommerquartier als Individuen, die nicht im Einflussbereich von künstlichem Licht überwintern. Die Vögel kommen zu früh im Brutgebiet an und die Überlebenschancen sinken (Sydney et al. 2005, De Molenaar et al. 2005).

Künstliche Beleuchtung beeinflusst zudem die Futtersuche von Vögeln. Arten, die bei der Nahrungssuche auf ihr Sehvermögen angewiesen sind, können unter Umständen von Beleuchtungen profitieren, indem sie mehr Beute machen (Dwyer et al. 2012; Mougeot and Bretagnolle 2000; Dice 1945), allerdings sind weitere Auswirkungen, wie beispielsweise das potenziell erhöhte Risiko, selbst zur Beute zu werden, in vielen Fällen noch unzureichend untersucht (Santos et al. 2010).

Reptilien

In der Schweiz ist keine Reptilienart ausschliesslich nachtaktiv, da die Nachttemperaturen zu tief sind. Je nach Art meiden Reptilien künstliche Beleuchtung am Abend und am Morgen oder werden davon angelockt. Wenn es im Sommer genügend warm ist, kann die Beleuchtung die Aktivitätszeit bestimmter tagaktiver Reptilienarten verlängern. Wie Fledermäuse nutzen bestimmte Reptilienarten die grosse Menge an Beute – beispielsweise Insekten –, die von künstlichem Licht angezogen wird (Perry & Fisher 2005).

Amphibien

Aufgrund ihres komplexen Lebenszyklus mit einer aquatischen und einer terrestrischen Phase beanspruchen Amphibien unterschiedliche Lebensraumtypen und sind damit verschiedenen Arten von Umweltstress ausgesetzt. Hinzu kommt, dass die Mehrheit der Arten dämmerungs- und nachtaktiv ist.

Froschlurche (Frösche und Kröten)

Die Froschlurchpopulationen in der Schweiz gehen insbesondere aufgrund von anthropogenen Faktoren wie der Zerstörung ihres Lebensraums (drainierte und trockengelegte Feuchtgebiete, verbaute oder kanalisierte oberirdische Fliessgewässer), des Pestizideinsatzes etc. zurück. Einer dieser Faktoren ist künstliche Beleuchtung. Froschlurche reagieren besonders empfindlich auf die negativen Auswirkungen von künstlichem Licht, weil:

- sie vorwiegend nachtaktiv sind;
- sie verschiedene Lebensphasen haben, bei der sie jeweils unterschiedliche Mikrohabitate beanspruchen und auf unterschiedliche Umweltbedingungen angewiesen sind;
- sie wegen ihrer starken Abhängigkeit von einer Feuchtigkeitsquelle weniger mobil sind als andere Arten, und
- sie Beute und Räuber anderer nachtaktiver Tiere sind, die ebenfalls von Licht beeinflusst werden.

Die meisten Froschlurche werden von Licht angezogen. So ergab experimentelle Untersuchung innerhalb der Ordnung der Froschlurche (Frösche, Kröten, Unken), dass von 121 Arten 87 % durch Licht angelockt werden, also positiv phototaktisch sind (Jaeger und Hailman 1973).

Die meisten Froschlurche sehen sehr gut bei Nacht, d. h. bei äusserst schwachem Licht. Die Arten, die sich bei sehr schwacher Beleuchtung entwickelt haben, besitzen Adaptationen, dank denen sie geringe Helligkeitsveränderungen in der Umwelt nutzen können. Diese Adaptationen beeinträchtigen aber ihre Anpassungsfähigkeit bei intensiver Beleuchtung. Die Erdkröte (*Bufo bufo*) beispielsweise kann noch bei sehr schwacher Beleuchtung (10^{-5} bis 10^{-6} Lux) Beute fangen. Froschlurche gehen in der dunkelsten Zeit der Nacht auf Beutejagd. Selbst eine geringfügige Helligkeitszunahme in ihrer Umgebung kann dazu führen, dass sie später aus ihrem Versteck kommen und so weniger Zeit für den Beutefang haben.

Künstliche Beleuchtung, beispielsweise in Form einer Strassenlampe, stört Froschlurche stark, da diese Lichtquelle nicht nur intensiv, sondern auch punktuell ist. Unter natürlichen Bedingungen kommt es höchstens einmal im Monat – bei Vollmond und klarem Himmel – vor, dass der grösste Teil des Lichts, das den Froschlurchen für die Beutejagd zur Verfügung steht, von einer punktuellen und starken Lichtquelle – dem Mond – stammt. Wenn nicht Vollmond ist oder Wolken den Mond verbergen, werden die Lebensräume der Froschlurche durch verschiedene Lichtquellen erhellt, etwa durch Sternen- oder Mondlicht, das in der Atmosphäre (unter anderem von den Wolken) reflektiert wird. Je diffuser das Licht ist, das auf den Boden gelangt, desto gleichmässiger werden die Objekte beleuchtet. Die Schattenkanten werden abgeschwächt. Somit müssen sich die Arten weniger stark an intensive Hell-Dunkel-Kontraste anpassen. Froschlurche, die in der Nähe einer intensiven Lichtquelle nach Nahrung suchen, müssen sich ständig von einem sehr hellen in einen dunklen Bereich bewegen und umgekehrt. Je stärker der Kontrast, desto langsamer ist ihre Anpassung. Bei Froschlurchen kann diese Anpassung mehrere Minuten oder sogar mehrere Stunden dauern (Buchanan 1993). Da sie sich nicht rasch an eine veränderte Beleuchtung anpassen können, beschränken sie ihre Mobilität auf einen Bereich mit konstanter Helligkeit oder bewegen sich langsamer. Sie sind auch verletzlicher, weil sie nicht

rasch vor ihren Raubfeinden fliehen können (Wise & Buchanan 2005). Zudem laufen Kröten, welche die beleuchtete Stassen als Jagdrevier nutzen, Gefahr, von Autos überfahren zu werden (Brüning und Hölker 2015).

Da bei starkem Licht die Gefahr, zur Beute zu werden, erhöht ist, ändern die Froschlurche ihr Verhalten:

- Partnerwahl: die Froschlurche sind bei erhöhter Lichtintensität weniger selektiv (Rand et al. 1997);
- Rufe der Männchen: Bestimmte Arten rufen unter künstlichem Licht weniger bis gar nicht mehr (Baker & Richardson 2006; Longcore & Rich 2004) oder wählen weniger versteckte Zonen, damit sie mögliche Raubfeinde erkennen.

Die Verminderung des Fortpflanzungserfolgs aufgrund von Verhaltensveränderungen (Touzot et al. 2020) gepaart mit dem erhöhten Risiko, erbeutet zu werden, kann zu erheblichen Fittesseinbussen und letztlich einer Schwächung der Population führen.

Schwanzlurche (Salamander und Molche)

Wie die übrigen Amphibien reagieren Salamander und Molche sehr empfindlich auf Störungen in ihrer Umwelt, insbesondere auf künstliches Licht. Ihre Bestände gehen global zurück.

Zahlreiche Studien zeigen, dass künstliches Licht in der Nacht bei Salamandern und Molchen zu Veränderungen von Verhalten und physiologischen Funktionen führen. Dazu gehören Veränderungen der Hormonproduktion, des Stoffwechsels, des Aktivitätsmusters und der Orientierungsfähigkeiten. So kann künstliches Licht unter Umständen dazu führen, dass der Orientierungssinn der Molche gestört wird und sie dadurch Mühe haben, das Laichgewässer oder ihren Landlebensraum / das Winterquartier zu finden (Perry et al. 2008; Phillips and Borland 1992).

Die verschiedenen Salamanderarten reagieren unterschiedlich auf Licht. Während die einen Lichtquellen meiden, werden andere von ihnen angezogen. Die Auswirkungen von künstlichem Licht hängen von artspezifischen Unterschieden wie beispielsweise der Präferenz für bestimmte Beutetiere (Insekten, die vom Licht angezogen werden oder die Licht meiden) und von der Art der Beleuchtung (Lichtintensität/ -Spektrum) ab (Phillips and Borland 1992). Es gibt keine entsprechenden Studien für die beiden Arten, die in der Schweiz vorkommen.

In Anwesenheit von Raubfischen, die sich mithilfe von Licht orientieren, werden die tagaktiven Salamanderlarven nachtaktiv. Bei künstlicher Beleuchtung profitieren die Larven aber nicht mehr von dieser Anpassung ihres Verhaltens, da die Raubfische sie durch das Licht auch nachts erkennen können. Durch das vermehrte Licht in der Nacht kann es auch dazu kommen, dass tagaktive Räuber länger auf Beutejagd gehen, so dass die Larven während längerer Zeit inaktiv bleiben müssen (Wise & Buchanan 2005).

Fische

Flüsse und Seen sind häufig stark von nächtlicher Beleuchtung betroffen, denn Siedlungen konzentrieren sich seit jeher oft um Gewässer und erhellen so die angrenzenden Gebiete (Brüning und Hölker 2015). Kunstlicht kann auch bei Wasserorganismen zu Blendung, Desorientierung oder Abschreckung führen. Wie auch bei anderen Artengruppen, hat Licht bei Fischen einen Einfluss auf die innere Uhr (Brüning et al. 2015). Sich verändernde Lichtbedingungen nehmen Fische primär über das Pinealorgan – eine Ausstülpung des Zwischenhirns, das unter einem lichtdurchlässigen Fenster im Schädeldach der Fische liegt – wahr.

Die Wahrnehmung von Licht unter Wasser hängt von der Fähigkeit des Wassers, Licht weiterzuleiten, und von den visuellen Fähigkeiten der Arten ab. Nicht alle Fischarten und nicht alle Individuen einer Art reagieren identisch auf künstliches Licht. Die Fische von Fließgewässern und Seen sind grundsätzlich sensibler auf rote und gelbe Anteile des Lichtspektrums (Beatty 1966, Folmar & Dickhof 1981). Besonders sensibel sind beispielsweise Egli (*Perca fluviatilis*) und Rotaugen (*Rutilus rutilus*), deren nächtliche Melatonin-Produktion bereits bei einer Beleuchtungsstärke von rund einem Lux fast

vollständig unterdrückt wird. Da Melatonin unter anderem Prozesse wie Schwarmbildung, Wanderverhalten, Fortpflanzung oder das Fressverhalten beeinflusst, kann der Einfluss von künstlicher Beleuchtung sehr weitreichend sein (Brüning et al. 2015).

Bei den Fischen korreliert die Verhaltensreaktion bei Licht mit der Nahrungssuchstrategie der Art. Arten, die Gebiete in Fließgewässern besetzen und verteidigen, sind nachts in der Regel weniger aktiv. Arten, die in Seen leben, sind nachtaktiv und meiden Licht (Godin 1982, Hoar 1951).

Künstliches Licht entlang von Gewässern (und unter Brücken) kann dazu führen, dass Fischbewegungen unterbrochen werden und sich das Prädationsrisiko erhöht. Ausserdem kann es bewirken, dass weniger Fischen die Wanderung gelingt. So unterbrechen Europäische Aale ihre Wanderungen von und zu ihren Fortpflanzungsgebieten in Vollmondnächten (Brüning und Hölker 2015) und erste Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass Aale auch künstlich beleuchtete Flussabschnitte meiden (Vowles and Kemp 2021). Künstliche Beleuchtung kann auch das Paarungs- und Jagdverhalten von Fischen stören (Becker et al. 2012; Nightingale et al. 2005; Moore et al. 2005). Dies beeinflusst Populationen verschiedenster Räuber- und Beutefische, was sich letztlich auch auf die Stabilität des Ökosystems auswirkt.

Insekten

Das Insektensterben ist ein globales Phänomen. Es existiert eine Vielzahl von Studien, die sowohl das Ausmass des Arten- und Biomasseverlusts von Insekten wie auch deren Ursache untersucht haben. Als primäre Ursachen gelten: Habitatverlust, Umweltverschmutzung (insbesondere Belastung von Böden und Gewässern durch Pestizide), Invasive Arten und der Klimawandel. Der Lichtverschmutzung wird oft weniger Aufmerksamkeit geschenkt, was unter anderem daran liegt, dass der Mensch sich eher mit dem Tag als der Nacht auseinandersetzt. Studienergebnisse weisen aber darauf hin, dass nächtliche Beleuchtung einen bedeutenden Einfluss auf Insektenpopulationen haben kann (Kalinkat et al. 2021; Owens et al. 2020). Nachweislich beeinflusst künstliches Licht die Entwicklung, Aktivität, Nahrungssuche und den Fortpflanzungserfolg. Zudem profitieren einige insektivore Räuber bei der Jagd von künstlichem Licht, was sich ebenfalls auf Insektenpopulationen auswirken kann. Im Folgenden werden Wirkungsmechanismen des Lichts auf Insekten vorgestellt.

Die meisten Insekten sind positiv phototaktisch, werden also von Licht angezogen, so zum Beispiel die Larven oder Imagos vieler nachtaktiver Insektengruppen wie Schmetterlinge (Nachtfalter), Käfer, Mücken, Fliegen, Schnaken, Schwebefliegen, Köcherfliegen, Wespen, Wanzen, Grillen etc. (Frank 1988, Eisenbeis & Hassel 2000, Kolligs 2000, Summers 1997). Negativ phototaktisch unter den Insekten sind beispielsweise die Larven von Leuchtkäferchen, welche nur Licht roter Wellenlänge gegenüber indifferent reagieren (Schwalb 1961).

Dass Insekten durch künstliches Licht und besonders durch kurzwelliges Licht (blaues und ultraviolettes Licht) angezogen werden, ist bekannt und kann leicht beobachtet werden. Dieses Verhalten der Insekten in der Nähe von Lampen hat häufig eine sehr hohe Mortalität zur Folge. Gemäss Studien werden laut Schätzungen in den Sommermonaten an einer Strassenlampe pro Nacht etwa 150 Nachtfalter angezogen. Jährlich sterben in Deutschland während dieser Zeit insgesamt 150 Billionen Insekten an den Strassenlaternen, darunter 150 Milliarden Nachtfalter (Eisenbeis & Hassel 2000, Strassmann 2002). Auch an Leuchtreklamen oder beleuchteten Wänden gehen viele Insekten zugrunde. Da Insekten eine wichtige Rolle als Blütenbestäuber und Grundlage der Nahrungskette spielen, könnten die negativen Auswirkungen der Strassenbeleuchtung auf Insekten gravierende ökologische Folgen haben.

Licht hat drei verschiedene Auswirkungen auf Insekten (Eisenbeis 2005, vgl. Abbildung 10):

A) Den «*Flight-to-Light Effect*», auch «*Fixation Effect*» oder «*Captivity Effect*» (Fesselungseffekt, Anlockwirkung) genannt: Insekten werden in ihrer normalen Aktivität durch künstliche Lichtquellen gestört. Nachtfalter beispielsweise fliegen auf der Suche nach Blumen über eine Wiese. Wenn sie in den Bereich einer Strassenlampe geraten, sind verschiedene Interaktionen möglich:

- Sie fliegen direkt auf das heisse Schutzglas und werden sofort versengt;
- häufiger umkreisen sie die Strassenlampe endlos, anstatt Nahrung zu suchen, sich zu paaren oder Eier abzulegen, bis sie von einem Raubfeind gefangen werden oder erschöpft verenden;

- einige Insekten können den Bereich in Lampennähe verlassen und in den dunklen Bereich zurückfliegen. Dort bleiben sie inaktiv auf dem Boden oder in der Vegetation sitzen. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich auf den sehr starken Blendeffekt der Lampe zurückzuführen.

B) Beim «*Crash Barrier Effect*» (Leitplankeneffekt) werden die Insekten in ihrer Flugbahn über weite Strecken gestört. Beispiel: Ein Insekt fliegt entlang eines kleinen Flusses durch ein Tal. Auf seinem Flug orientiert es sich an natürlichen Landmarken. Dann führt seine Flugbahn über eine beleuchtete Strasse. Das Licht hindert das Insekt daran, seiner Flugbahn zu folgen. Es wird vom Licht angezogen und erleidet dasselbe Schicksal wie beim «*Flight-to-Light Effect*». Bei einem gegenseitigen Abstand der Strassenlaternen von durchschnittlich 30 bis 50 Metern kann eine beleuchtete Strasse für nacht-aktive Insekten zu einer unüberwindbaren Barriere werden und so ihren Lebensraum zerschneiden.

C) Beim «*Vacuum Cleaner Effect*» (Staubsaugereffekt) werden Insekten, die in der Regel keinen Ortswechsel vornehmen, von ihrem Habitat weggelockt. Somit kann es in gewissen Gebieten zu unnatürlich hohen Dichten an Insekten kommen, während in anderen Gebieten Insekten ganz fehlen. Dies hat wiederum den Effekt, dass z. B. Fledermäusen in diesen Gebieten keine Nahrung mehr finden.

Langfristig führen diese drei Effekte zu einer Abnahme der betroffenen Insektenpopulationen. Wie gross diese Auswirkungen auf die Insekten sind, hängt von der allgemeinen Umgebungshelligkeit ab. Bei Vollmond beispielsweise sind die Auswirkungen, insbesondere der «*Flight-to-Light Effect*», weniger stark ausgeprägt.

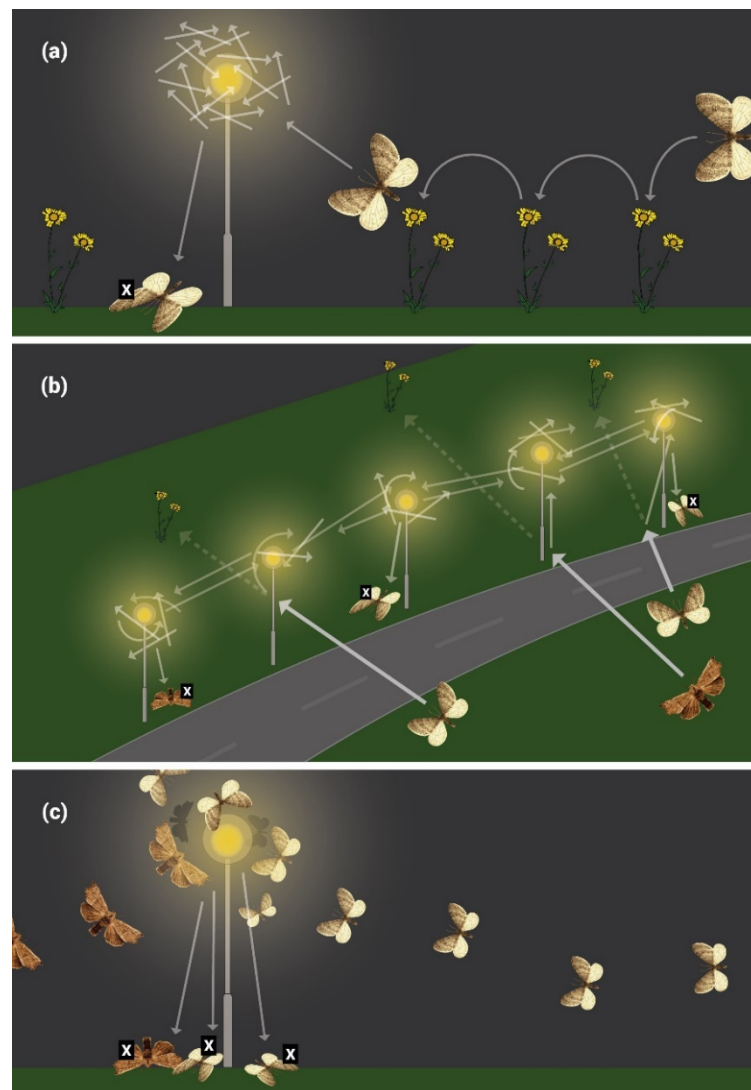


Abbildung 10: Wichtigste Auswirkungen von künstlichem Licht auf das Verhalten von Insekten in der Nähe von Strassenlampen: a) «*Fixation Effect*» oder «*Captive Effect*», b) «*Crash Barrier Effect*», c) «*Vacuum Cleaner Effect*» (nach: Eisenbeis 2005).

Die Anziehungskraft einzelner Leuchten hängt stark von ihrem Lichtspektrum ab. Für Insekten sind besonders die Ultraviolett-Anteile im Licht attraktiv. Durch weisses Licht werden im Allgemeinen mehr Insekten angelockt als durch gelboranges. Durch Lichtemissionen werden vor allem anpassungsfähigere und häufigere Arten profitieren (SWILD 2011). Von Strassenlampen angezogen werden vor allem Nachtfalter, nachtaktive Köcherfliegen und Eintagsfliegen.

Leuchtkäfer und Glühwürmchen (Coleoptera) werden von künstlichem Licht in ihrer sexuellen Kommunikation gestört, da die Weibchen die Männchen über das von ihnen erzeugte Licht anlocken. Diese Kommunikation wird stark beeinträchtigt, wenn sich das Weibchen in der Nähe einer Lichtquelle befindet (Vaz et al. 2021, Frank 2005, Lloyd 2005).

Pflanzen

Pflanzen erhalten pausenlos biotische und abiotische Signale, darunter Lichtsignale. Zur Wahrnehmung von Licht verwenden Pflanzen vier unterschiedliche Photorezeptorfamilien. Eine davon ist die Familie der Phytochrome, die für die Regelung zahlreicher Aspekte in der Pflanzenentwicklung zuständig ist: Blattausdehnung (durch Licht ausgelöst), Stängelwachstum (durch Licht verhindert), Aufbau des Photosynthese-Apparats (ausgelöst) und Blütenbildung (ausgelöst oder verhindert). Die Blütenbildung wird bei vielen Pflanzen durch eine bestimmte kritische Tageslänge ausgelöst, wobei auch die Temperatur eine Rolle spielt. Werden Pflanzen in der Mitte der Dunkelphase mit künstlichem Licht beleuchtet, kann bei gewissen Arten die Blütenbildung verhindert werden, während sie bei anderen angeregt wird (Briggs 2005).

Bis heute wurden viele Untersuchungen über die Mechanismen der Lichtwahrnehmung und über Tagesrhythmen bei Pflanzen durchgeführt. Spezifische Untersuchungen zu den Auswirkungen der künstlichen Nachtbeleuchtung auf Pflanzen sind hingegen rar. Erste Studien konnten aber physiologische Veränderungen in Pflanzen nachweisen, welche nächtlicher Beleuchtungen ausgesetzt sind (Meravi and Prajapati 2018; Bennie et al. 2016). Diese Veränderungen hatten wiederum einen Einfluss auf das Aussehen, das Wachstum und die Ressourcennutzung der Pflanzen.

Wie Beobachtungen aus dem Alltag zeigen, werfen Äste von Bäumen, die von Strassenlampen direkt beleuchtet werden, das Laub im Herbst wegen der künstlichen Verlängerung des Tages später ab (vgl. Abbildung 11).



Abbildung 11: Äste von Bäumen, die von Strassenlampen direkt beleuchtet werden, werfen das Laub im Herbst wegen der künstlichen Verlängerung des Tages später ab. Dies könnte zur Schwächung von Bäumen in Siedlungsnähe führen.

A1.2.3 Auswirkungen auf Lebensräume

Es ist schwierig, generelle Aussagen zu Auswirkungen von künstlichem Licht in der Nacht auf Lebensräume zu machen. Selbst eine Vorhersage respektive Analyse der spezifischen Auswirkungen in einem bestimmten Lebensraum ist schwierig, da diese von den kumulierten Effekten des Lichtes auf die einzelnen Arten oder gar einzelnen Individuen abhängen. Auf Basis der bisherigen Ausführungen betreffend Auswirkungen von nächtlicher Beleuchtung auf einzelne Arten(gruppen) muss aber davon ausgegangen werden, dass nächtliche Beleuchtung aufgrund ihres Einflusses auf zwischenartliche Beziehungen signifikante Auswirkungen auf Lebensräume respektive die funktionale Integrität eines Ökosystems hat. Es sollte daher immer nach dem Vorsorgeprinzip gehandelt werden.

Der Lebensraum lichtscheuer Arten wird durch den zunehmenden Verlust der Nachtdunkelheit immer kleiner und stärker fragmentiert. Dadurch wird der Genfluss von Populationen stark beeinträchtigt und damit deren Fortbestand gefährdet. So ist die Etablierung einer Ökologischen Infrastruktur einer der Kernpunkte im Aktionsplan Biodiversität, dazu gehören unter anderem die Dunkelkorridore.

Selbst wenn nur einzelne Arten von physiologischen Auswirkungen oder Verhaltensveränderungen betroffen sind und sich dies negativ auf deren Überlebensfähigkeit auswirkt, hat dies weitreichende Konsequenzen für die Artgemeinschaft bzw. das Ökosystem. Die Störung des natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus und die Verschiebung der Aktivitätsphasen können z. B. zu (erhöhter) interspezifischer Konkurrenz führen (Hoffmann et al. 2018). Strassenbeleuchtungen haben einen Einfluss auf verschiedenste Interaktionen zwischen Insekten und Pflanzen. So konnte nachgewiesen werden, dass auch in der Schweiz ein nicht unerheblicher Teil von Pflanzen auch durch nachtaktive Blütenbesucher bestäubt wird (Knop et al. 2017). Einige Arten sind gar auf nächtliche Bestäuber spezialisiert. In Experimenten konnte zudem nachgewiesen werden, dass die Bestäubungsrate in beleuchteten Arealen sinken kann, da einige der Blütenbesucher das Licht meiden (Giavi et al. 2021). Ebenso können herbivore Insekten bzw. Frassschäden durch künstliches Licht beeinflusst werden (Giavi et al. 2020). Auch Räuber-Beute-Beziehungen können gestört werden, sowohl durch Einflüsse auf die Beutetiere wie auch die Jäger (Bolliger et al. 2020).

Die unterschiedlichen Lebensräume unterscheiden sich stark in ihrer Sensitivität und Exponierung gegenüber künstlichem Licht. Besonders stark betroffen sind beispielsweise auf Gewässer, die in der Nähe von Städten häufig beleuchtet werden. Zahlreiche Wassertierarten der gesamten Nahrungskette reagieren empfindlich auf künstliches Nachtlicht. Fische, Amphibien, Köcher- und Eintagsfliegen, Wasserflöhe, Zooplankton und Strudelwürmer sind Organismen, die in Gewässern leben und durch künstliches Licht sehr stark beeinflusst werden.

Die Auswirkungen von künstlichem Licht in der Nacht respektive der daraus resultierende Verlust der Nachtdunkelheit ist so vielfältig wie die unterschiedlichen Organismengruppen und Lebensräume selbst. Viele Faktoren haben einen Einfluss, darunter die Beleuchtung selbst (Lichtintensität, Spektrum, Dauer der Beleuchtung, etc.), die Sensitivität der jeweiligen Art (Lichtwahrnehmung, Aktivitätsfenster, etc.) und verschiedenste Umweltfaktoren (Lebensraumstruktur, Saisonalität, Artengemeinschaft, etc.). Es ist jedoch unbestritten, dass nächtliche Beleuchtungen das Potenzial haben, physiologische Vorgänge wie auch das Verhalten von Tieren zu beeinflussen. Lebensräume von Tieren, welche das Licht scheuen, werden fragmentiert. Um schädliche Effekte so weit als möglich zu minimieren, sind Beleuchtungen so weit als möglich zu unterlassen (nach Vorsorgeprinzip, auch wenn im Gebiet keine unmittelbaren Auswirkungen zu erwarten sind) respektive nur dort einzusetzen, wo diese unbedingt notwendig sind.

A1.3 Auswirkungen auf die Nachtlandschaft

Die Europäische Landschaftskonvention (2000) definiert Landschaft als «ein Gebiet, wie es vom Menschen wahrgenommen wird, dessen Charakter das Ergebnis der Wirkung und Wechselwirkung von natürlichen und/oder menschlichen Faktoren ist» (Art. 1). Künstliche Beleuchtung hat eine grosse Wirkung auf die Nachtlandschaft:

Die Nachtdunkelheit nimmt durch die Zunahme von Lichtemissionen weltweit ab und wird auf immer kleinere Bereiche zurückgedrängt. Grosse, natürlich dunkle Gebiete werden in Europa immer seltener. Dies führt zum *Verlust der natürlichen Nachtlandschaft*. Im Schweizer Mittelland ist der Nachthimmel durch die künstliche Beleuchtung so stark aufgehellert, dass von blossen Auge nur noch ein Bruchteil

der potenziell wahrnehmbaren Sterne sichtbar ist. Zur Zunahme von Lichtemissionen tragen in der Schweiz unter anderem auch der hohe Zersiedelungsgrad und die grosse Anzahl von Standorten in couperten Gebieten bei, von wo aus das Kunstlicht in die Landschaft hinaus strahlt (BAFU 2012).

Die Landschaftsbeobachtung Schweiz LABES (BAFU 2010, 2013, 2017) untersucht mit einem Indikator die Entwicklung der Lichtemissionen. Anhand von Satellitenbildern wird die Intensität des *nach oben ausgestrahlten Lichts* ermittelt, welches sich aus direkt nach oben gerichteten Emissionen und diffusem Streulicht zusammensetzt. Insgesamt haben sich die gegen oben gerichteten Lichtemissionen in der Schweiz zwischen 1994 und 2020 mehr als verdoppelt (vgl. Abbildung 12). In den letzten fünfundzwanzig Jahren nahm entsprechend auch der Flächenanteil mit Nachtdunkelheit deutlich ab: 1994 konnte eine natürliche Dunkelheit nur noch auf 28 % der Fläche der Schweiz beobachtet werden, 2009 nur noch auf 18%. Im Mittelland ist bereits seit 1996 kein Quadratkilometer mit Nachtdunkelheit mehr auffindbar, im Jura seit 2008 (BAFU und WSL 2017, 2013).

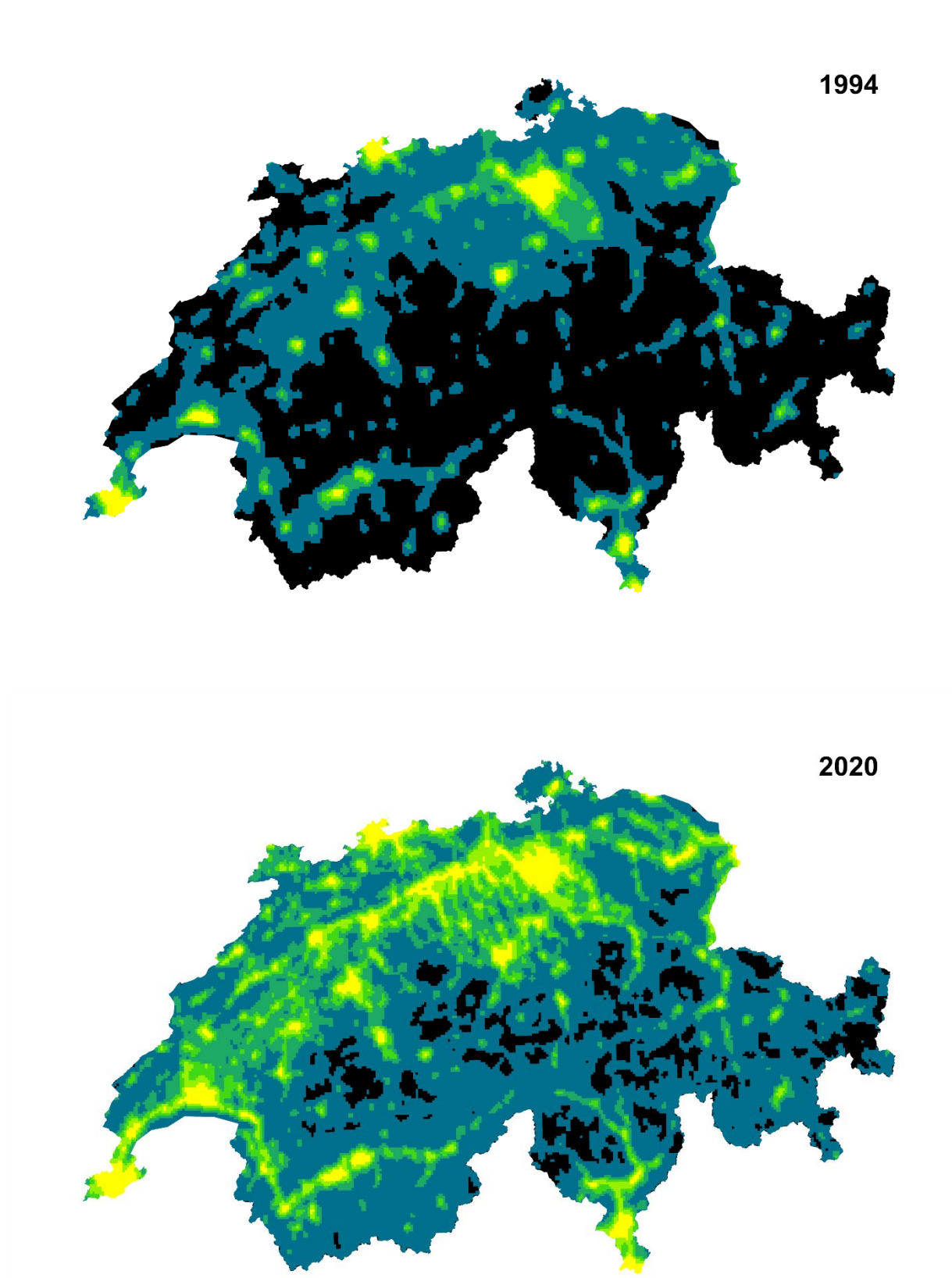


Abbildung 12: Die nach oben gerichteten und reflektierten Lichtemissionen haben sich zwischen 1994 und 2020 mehr als verdoppelt. Besonders deutlich haben sich die Lichtemissionen in den Ballungsgebieten verstärkt, aber auch in den Randregionen nimmt die Dunkelheit ab (BAFU und WSL 2017, 2013).

A2 Zielkonflikte und Synergien

Heutzutage hat die *24-Stunden-Gesellschaft* sowohl Teile des urbanen als auch des ländlichen Raums definitiv in Beschlag genommen (ARE 2015). Dies führt unvermeidbar zu einer Zunahme von Lichtemissionen: Die Beleuchtung von Arbeitsstätten (z. B. Bürohäuser, Arbeitsplätze im Freien, Fabrikhallen) bleibt bis spät in die Nacht oder sogar durchgehend eingeschaltet. Läden bleiben länger offen, Schaufenster und Reklametafeln leuchten in der Nacht, und auch Ausgangsviertel erfordern eine ständige Beleuchtung. In diesem Kapitel soll auf verschiedene Zielkonflikte, aber auch auf Synergien hingewiesen werden, die sich aus der Nutzung des Lichts für verschiedene Zwecke einerseits und dem Bestreben nach einer Reduktion der Lichtemissionen andererseits ergeben.

A2.1 Sport und Tourismus

Sportaktivitäten und Bewegung der gesamten Bevölkerung fördern – diesen Auftrag hat der Bund, zusammen mit den Kantonen, Gemeinden und Sportverbänden, aufgrund von Artikel 68 der Bundesverfassung (BV; SR 101) und dem Bundesgesetz über die Förderung von Sport und Bewegung (SR 415.0). Diese Förderung erfolgt im Interesse der körperlichen Leistungsfähigkeit und der Gesundheit der Bevölkerung, der ganzheitlichen Bildung und des gesellschaftlichen Zusammenhalts. Das Ausüben von Sport und Bewegung setzt geeignete Infrastrukturen wie Hallen, Stadien oder Sportplätze voraus. Aber auch Flächen wie Pisten, Loipen oder Finnenbahnen in der freien Natur werden benötigt, denn das «Naturerlebnis» gehört zu den wichtigsten Sportmotiven der Bevölkerung.

Die *Raumbedürfnisse von Sport und Bewegung* können jedoch zu Konflikten führen, namentlich wenn es darum geht, Verkehr, Lärm- und Lichtimmissionen gering zu halten. Wegen ihrer künstlichen Beleuchtung können Aussensportanlagen in ihrer Umgebung zu erheblichen Lichtimmissionen führen (vgl. Abbildung 13). Angesichts der knapper werdenden Flächen und der zahlreichen Nutzungs- und Schutzinteressen wird es zunehmend schwieriger, die erforderlichen Bewegungsräume zur Verfügung zu stellen. Sowohl im Interesse der Sportförderung als auch der sinnvollen verdichteten Nutzung des Siedlungsraumes sollen möglichst viel Sport und Bewegung nahe bei der Bevölkerung, also im Siedlungsraum und daran angrenzend, ausgeübt werden können. Um dem verbreiteten Mangel an Trainingsmöglichkeiten zu begegnen, werden zum Beispiel vielerorts Fussballplätze mit Kunstrasen und Beleuchtung ausgerüstet, um sie intensiver und länger im Jahr nutzen zu können (EBP 2016).



Abbildung 13: Um einer verdichteten Nutzung des Raumes Rechnung zu tragen, werden neue Sportanlagen möglichst im bestehenden Siedlungsraum und daran angrenzend erstellt. Andererseits werden auch neue Wohngebäude an bestehende Sportplätze heran gebaut. Um die Plätze intensiver und länger im Jahr nutzen zu können, werden sie vielerorts mit Kunstrasen und Beleuchtung ausgerüstet. Diese kann in der Umgebung zu erheblichen Lichtimmissionen führen.

Die Beleuchtung von Sportinfrastrukturen kann auch im Hinblick auf den *Tourismus* von Bedeutung sein. So werden beispielsweise im Wintertourismus neue Nischen gesucht, um rückläufigen Übernachtungszahlen und den Auswirkungen einer geringeren Schneesicherheit begegnen zu können. Mit beleuchteten Loipen, Schlittelwegen oder Skipisten werden Betätigungsangebote bis in die Nacht hinein erweitert, sei es als Trainingsmöglichkeit, als zusätzliches Angebot für die arbeitende Bevölkerung oder als weitere Attraktion für Gäste (Kostenzer 2013).

Auch die Inszenierung historischer Gebäude und Stadtkerne wird als Mittel eingesetzt, um Besucher in Tourismusregionen und Städte zu locken. Bei der Erarbeitung von entsprechenden *Beleuchtungskonzepten für Städte* (z. B. Plan Lumière Luzern) wurde die Erfahrung gemacht, dass die Innenstädte bereits derart hell waren, dass besondere Gebäude oder Objekte gar nicht mehr zur Geltung gebracht werden konnten und es auch aus gestalterischer Sicht Sinn machte, das Beleuchtungsniveau insgesamt zu senken (Stadt Luzern 2006).

In den letzten Jahren nahm, insbesondere in grösseren Städten, die Anzahl solcher Beleuchtungskonzepte zu. Gefördert wurde diese Entwicklung auch von neuen technologischen Möglichkeiten bei der Beleuchtung. Anstatt historische Gebäude grossflächig mit Scheinwerfern anzustrahlen, werden inzwischen zum Beispiel spezielle Projektionsverfahren angewendet, die es erlauben, die Gebäude präzise in allen gewünschten Farben und Effekten zur Geltung zu bringen. Die Präzision in der Ausleuchtung hilft, unerwünschte Emissionen zu vermindern (vgl. Kap. A5.7). Farben und Effekte können aber auch das Gegenteil bewirken.

Konkrete Massnahmen, mit welchen die Lichtemissionen bei Anlagen für den Sport und Tourismus begrenzt werden können, finden sich insbesondere in folgenden Kapiteln:

- A5.2 Weitere Verkehrsinfrastrukturen (Bahnhöfe, Haltestellen etc.)
- A5.3 Sportinfrastrukturen
- A5.6 Öffentliche Räume und Plätze
- A5.7 Öffentliche Gebäude und Objekte

A2.2 Reklamebeleuchtungen

Die Verbreitung des elektrischen Lichts führte ab Beginn des 20. Jahrhunderts auch zum Einsatz von Reklamebeleuchtungen in der Nacht. Die ersten Reklameschriftzüge bestanden aus aneinander gereihten Glühlampen. 1909 wurden Neonröhren entwickelt. Diese konnten direkt komplexe Buchstaben und Zeichen formen und in unterschiedlichen Farben zum Leuchten bringen. Sie werden zum Teil noch heute als Leuchtreklame eingesetzt (Museum für Energiegeschichte(n) 2013). Grössere Flächen wurden ab den 1960er-Jahren mit Fluoreszenzlampen hinterleuchtet. Neben Leuchtschriften, angeleuchteten und selbstleuchtenden Schildern sowie Schaufensterbeleuchtungen, die zur Eigenreklame für Geschäfte dienen, gibt es auch verschiedene Formen von Leuchtkästen und selbstleuchtenden Plakatwänden zum Anzeigen von Fremdwerbung. Mittlerweile werden auch grossflächige Medien-Screens mit bewegten Bildern zur Werbung im Aussenraum eingesetzt.

Die technologische Weiterentwicklung hin zu LED ermöglichte in letzter Zeit immer grössere Helligkeiten bei gleich bleibendem oder sogar geringerem Stromverbrauch. Gemäss einer vom Bundesamt für Energie BFE veranlassten Erhebung verbrauchte die Aussenwerbung durch Schaufensterbeleuchtungen und Leuchtreklamen im Jahr 2010 rund 900 GWh Strom. Durch Nachtabstaltungen von 0 bis 6 Uhr und Umstellungen der Schaufensterbeleuchtungen auf LED liessen sich gemäss dieser Studie 60 % des Stromverbrauchs einsparen (S.A.F.E. 2014).

Die Werbung im öffentlichen Raum ist zum einen gewollt, die Unternehmen erhoffen sich dadurch mehr Kunden oder bessere Absätze, sie bringt den Städten und Gemeinden Einnahmen und wird als Zeichen für die wirtschaftliche Vitalität einer Region angesehen. Die Werbung soll ihre Wirkung daher optimal entfalten können und zur Geltung kommen. Zum andern ist ein Wildwuchs an Aussenwerbung aus verschiedenen Gründen unerwünscht. Wenn die Werbung in der Masse untergeht, kann sie ihren eigentlichen Zweck nicht mehr erfüllen. Zudem soll sie sich nicht negativ auf das Stadtbild auswirken und die Verkehrssicherheit nicht beeinträchtigen. Weiter werden Lichtemissionen, die von Werbeanlagen ausgehen, von der Bevölkerung zunehmend als störend empfunden und sie tragen allgemein zu

einer Erhöhung der Helligkeit im Aussenraum und damit zur Lichtverschmutzung bei (Amt für Städtebau Zürich 2006, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2014).

Konkrete Massnahmen, mit welchen die Lichtemissionen bei Reklamebeleuchtungen begrenzt werden können, finden sich insbesondere in folgendem Kapitel:

→ A5.8 Reklamebeleuchtung

A2.3 Sicherheit

Der Beleuchtung kommt eine wichtige Rolle bei verschiedenen Sicherheitsaspekten und dem individuellen Sicherheitsgefühl zu. Die *Sehleistung des Menschen* kann sich an einen sehr grossen Bereich unterschiedlicher Umgebungshelligkeiten anpassen und sowohl am Tag bei viel Licht als auch in der Nacht bei wenig Licht Sinneseindrücke aufnehmen. Hierfür sind verschiedene Rezeptoren verantwortlich:

- Bei *Tageslicht* erfolgt das Sehen über die *Zapfen* (photopisches Sehen). Das photopische Sehen zeichnet sich aus durch grosse Sehschärfe, hohe Kontrastempfindlichkeit und die Möglichkeit, Farben zu erkennen.
- Die *Stäbchen* vermitteln das *Sehen bei Nacht* (skotopisches Sehen), das zwar die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden ermöglicht, nicht jedoch das Unterscheiden von Farben.
- Im Übergangsbereich spricht man vom *Dämmerungssehen* (mesopisches Sehen). Hier sind sowohl Stäbchen als auch Zapfen beteiligt, aber die Farbwahrnehmung ist eingeschränkt.

Beim photopischen Tageslichtsehen ist das Auge im gelb-grünen Spektralbereich (bei einer Wellenlänge von 555 Nanometer [nm]) am empfindlichsten, im Dämmerungs- und Nachtsehen ist das Empfindlichkeitsmaximum hingegen in den blau-grünen Bereich verschoben (509 bzw. 507 nm). Entsprechend wirkt blau in der Dämmerung heller, während rot beinahe als schwarz wahrgenommen wird (Thews et al. 1991, CIE 191:2010).

Die *Anpassung des Sehsinns* von heller zu dunkler Umgebung (Dunkeladaptation) dauert eine verhältnismässig lange Zeit (einige Minuten). Schneller erfolgt die Anpassung von dunklen zu hellen Umgebungen (Helladaptation): Bei plötzlich starkem Lichteinfall in das dunkeladaptierte Auge tritt zunächst eine vorübergehende Blendung ein. Danach passt sich die Empfindlichkeit des Auges innerhalb von 15 bis 60 Sekunden der neuen Umgebungshelligkeit an (Thews et al. 1991).

Das Auge kann sich also an Helligkeitsunterschiede über einen grossen Bereich anpassen, dies dauert jedoch eine gewisse Zeit, während welcher die Sehleistung entsprechend herabgesetzt ist. Aus diesem Grund ist im Hinblick auf Sicherheitsaspekte meist weniger das Beleuchtungsniveau entscheidend, als vielmehr die Gleichmässigkeit der Beleuchtung, damit Blendeffekte und Adaptionen möglichst vermieden werden können.

Eine objektiv eingeschränkte Wahrnehmung wird auch subjektiv als unangenehm erlebt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015). In Bezug auf die Sicherheit ist damit zwischen objektiver Sicherheit einerseits und dem subjektivem Sicherheitsgefühl andererseits zu unterscheiden.

Dem Bereich der *objektiven Sicherheit* ist die funktionelle Beleuchtung zuzuordnen, welche es dem Menschen erlauben soll, seine Tätigkeiten auch in der Nacht möglichst sicher und ohne Risiken, die sich ansonsten durch eine Einschränkung der Sehleistung ergeben würden, auszuüben.

Für das *subjektive Sicherheitsempfinden* sind neben der funktionellen und einer eher ästhetischen Beleuchtung, welche eine angenehme Atmosphäre schaffen soll, auch andere Faktoren wie soziale Kontrolle, Raumgestaltung oder Orientierungsmöglichkeiten massgebend.

A2.3.1 Arbeitssicherheit

Gemäss Artikel 35 der *Verordnung über Unfallverhütung (VUV, SR 832.30)* müssen Räume, Arbeitsplätze, Gänge und Korridore etc. innerhalb und ausserhalb der Gebäude so beleuchtet sein, dass die Sicherheit und die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht gefährdet werden. Für die Beleuchtung von Ar-

beitsplätzen im Freien verweist die Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit E-KAS in ihrer Online-Wegleitung⁹ auf die Norm SN EN 12464-2:2014: Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien.

Diese Norm gibt vor, wie verschiedene Arbeitsplätze im Freien wie Baustellen, Tankstellen, Industrieanlagen oder Bahnsteige im Hinblick auf Sehkomfort und Sehleistung auszuleuchten sind. In Kapitel 4.5 enthält sie auch Richtwerte, um die Störwirkung von Aussenbeleuchtungsanlagen für die Umgebung gering zu halten (vgl. weitere Ausführungen zu dieser Norm in A3.4.2).

A2.3.2 Verkehrssicherheit

Die Beleuchtung der Strassen wurde in Städten und grösseren Agglomerationen ursprünglich zur Verbesserung der öffentlichen Ordnung und subjektiven Sicherheit eingeführt. Mit zunehmendem Motorisierungsgrad der Verkehrsteilnehmer ist sie inzwischen zu einem zentralen Aspekt der Verkehrssicherheit geworden. Wegen der verminderten Sehleistung ist es bei Dunkelheit schwieriger, die Komplexität der Verkehrsaufgaben zu bewältigen, auf Geschwindigkeitsdifferenzen zu reagieren oder Störungen im Verkehrsablauf zu erkennen. Bei typischen Nachtunfällen sind neben der Dunkelheit aber auch andere Faktoren relevant, wie erhöhte Fahrgeschwindigkeiten infolge weniger Verkehr auf der Strasse, mehr Fahrten unter Alkoholeinfluss, die allgemeine Müdigkeit oder ein oft wenig regelkonformes Verhalten der Verkehrsteilnehmer (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Betreffend Lichtemissionen stellen insbesondere überdimensionierte Strassenbeleuchtungen mit nicht mehr zeitgemässer Lichtlenkung eine Hauptquelle dar. Im Spezialfall von Innenstadtbereichen in grossen Ballungszentren kommt hinzu, dass Strassenleuchten aufgrund der oftmals geringen Distanz zu angrenzenden Häusern zu hohen Immissionen bei den Anwohnerinnen und Anwohnern führen können (SLG 2016, Rechsteiner & Anderle 2015). Zudem locken Strassenleuchten je nach Lichtspektrum nachaktive Insekten an und können bei einem gegenseitigen Abstand der Leuchten von weniger als 30 bis 50 Meter zu einer unüberwindbaren Barriere werden und so deren Lebensraum zerschneiden (BAFU 2012).

In Bezug auf die Verkehrssicherheit zeigt sich, dass es wichtig ist, die richtige Menge Licht am richtigen Ort einzusetzen (Tiefbauamt Kanton Bern 2015a). Eine Beleuchtungsphilosophie im Sinne von «viel hilft viel» ist nicht angebracht und oftmals kontraproduktiv. So adaptiert das menschliche Auge zum Beispiel bei der Überlandfahrt an die nur von der Fahrzeugbeleuchtung erhellte Umgebung. Wenn die Person am Steuer bei der nächsten Ortseinfahrt auf eine viel zu stark dimensionierte Strassenbeleuchtung trifft, wird sie von dieser geblendet und fährt dann auch bei der Ortsausfahrt wieder sekundenlang nachtblind in die Landschaft hinaus (Tiefbauamt Kanton Bern 2015b). Um die richtige Lichtintensität am richtigen Ort einzusetzen, braucht es statt individueller Einzellösungen ein durchdachtes Gesamtkonzept.

Exkurs: Erfahrungen zu Verkehrssicherheit und Strassenbeleuchtung in Berlin

Obwohl die Bedeutung der Beleuchtung für die Verkehrssicherheit allgemein bekannt ist, scheint es nur wenige Studien zum tatsächlichen Zusammenhang zwischen dem vorhandenen Lichtniveau und der Verkehrssicherheit zu geben. Daher liess die Stadt Berlin – im Hinblick auf ein Gesamtkonzept für die Beleuchtung – die Unfälle von 2006 bis 2008 bei Tageslicht, in der Dämmerung und bei Dunkelheit untersuchen (FGS 2010).

Die Auswertungen von Berlin ergaben keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke und den Unfällen mit Personenschaden. Strassen mit einem relativ niedrigen Beleuchtungsniveau zeigten ähnliche Unfallzahlen wie Strassen mit einem eher hohen Beleuchtungsniveau. Allerdings waren Fussgängerinnen und Fussgänger bei Dunkelheit besonders häufig von Unfällen betroffen, und dies insbesondere bei Kreuzungen und Strasseneinmündungen. Die Fussgänger sind die einzigen Verkehrsteilnehmer, die kein eigenes Licht mit sich führen. Gleichzeitig sind die Unfallkonsequenzen für sie aufgrund des fehlenden Schutzes meist deutlich gravierender als für andere Verkehrsteilnehmer (FGS 2010).

⁹ www.wegleitung.ekas.ch, Kapitel 1333.2 Beleuchtung der Arbeitsumgebung (abgerufen am 6.9.2016)

Da Dunkelheit an sich kein unfallbegünstigender Faktor ist, kam die Berliner Studie zum Schluss, dass bei der Beleuchtungsplanung im Hinblick auf die Verkehrssicherheit «viel hilft viel» nicht angebracht ist, sondern die Beleuchtung vielmehr problembezogen einzusetzen sei. Für die Fahrstreifen und Seitenräume wird eine der Orientierung dienende Grundbeleuchtung als ausreichend erachtet, da die Gleichmässigkeit der Beleuchtung letztlich entscheidender sei als das Lichtniveau selbst (FGS 2010). Die Stadt Berlin hat denn auch eigene Vorgaben zur Beleuchtung der Strassen entwickelt. Im Vergleich zur europäischen Strassenbeleuchtungsnorm liegen sie bezüglich Beleuchtungsstärke teilweise deutlich tiefer (bis um die Hälfte). Bezüglich Gleichmässigkeit der Leuchtdichte hingegen sind die Vorgaben gleich (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Bei Konfliktpunkten und kritischen Bereichen ist ein punktuell verstärkter Lichteinsatz sinnvoll, wie insbesondere auch bei Fussgängerstreifen oder -übergängen. Hier sollte durch einen gerichteten Lichteinsatz sichergestellt werden, dass sich Fussgängerinnen und Fussgänger am Strassenrand durch genügend Kontrast vom Hintergrund abheben (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Vorgaben zur Beleuchtung von Strassen und Fussgängerstreifen

Hat die zuständige Behörde entschieden, einen Strassenabschnitt zu beleuchten, ist es in der Schweiz üblich, sich bei der Ausgestaltung der Beleuchtung an das Normenpaket SN EN 13201 «Strassenbeleuchtung» zu halten, welches aus fünf Teilen besteht (SNR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -5). In Anhang A4 von Teil 2 enthält die Norm auch qualitative Hinweise, wie sich Störlicht auf Anwohner und angrenzende Gebiete verringern lässt. Die Schweizer Licht Gesellschaft SLG hat in einer Richtlinie Ergänzungen zur Strassenbeleuchtungsnorm publiziert (SLG 202).

Die Norm SN 640 241 «Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Fussgängerstreifen» des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS verlangt, dass Fussgängerstreifen und ihre Annäherungsbereiche – und innerorts auch Fussgängerüberwege ohne Markierungen – nachts so beleuchtet sind, dass die querenden Personen erkennbar sind. Dafür, wie die Beleuchtung genau auszugestalten ist, verweist die Norm auf die SLG-Richtlinie 202 (vgl. für weitere Informationen auch Kap. A5.1 dieser Vollzugshilfe).

Konkrete Massnahmen, mit welchen die Lichtemissionen bei Strassenbeleuchtungen begrenzt werden können, finden sich insbesondere in folgendem Kapitel:

→ A5.1 Strassenverkehrsinfrastruktur (Strassenbeleuchtungen)

A2.3.3 Sicherheit vor Kriminalität

Noch bis ins 17. Jahrhundert hinein, bevor Strassenbeleuchtungen im Zuge der Industrialisierung in europäischen Städten zum Normalfall wurden, sorgten Verbote für Ordnung in der nächtlichen Stadt. Tore und Türen wurden abends verschlossen und Unbekannte aus der Stadt verwiesen. Wer bei Dunkelheit sein Haus verliess, musste eine Laterne oder Kerze mit sich tragen. Denn wer sich ohne Licht dem Blick der Nachtwachen entzog, machte sich verdächtig und musste Strafen fürchten (Schulte-Römer 2013).

Auch in Bezug auf Kriminalität wird Licht mit Sicherheit und Dunkelheit mit Unsicherheit assoziiert. Die Meinungen dazu, inwiefern die Intensität des Lichts dazu beiträgt, die tatsächliche Anzahl an Delikten wie Raubüberfälle, Entreisssdiebstähle, Körperverletzungen oder Einbrüche zu verringern, sind allerdings unterschiedlich (Fussverkehr Schweiz 2015).

Bislang gibt es keine Studien, die einen Zusammenhang zwischen Höhe der Lichtintensität und der Anzahl an Straftaten eindeutig belegen. Zu komplex ist vermutlich das Zusammenspiel der Faktoren, die letztlich zur Durchführung oder Verhinderung eines Delikts führen. Selbst *Licht kann je nach Situation Delikte eher verhindern oder umgekehrt eher erleichtern*. So kann zum Beispiel ein Täter erst mit ausreichender Beleuchtung erkennen, ob eine bestimmte Person je nach Hochwertigkeit der Kleidung, des Alters oder des Geschlechts ein geeignetes Opfer sein könnte. Oder ein Autodieb kann im Dunkeln nicht erkennen, ob es sich lohnt, ein Auto aufzubrechen, und er würde auffallen, wenn er mit der Taschenlampe um die Autos herumgeht und hineinleuchtet. Auf einem hell erleuchteten Parkplatz kann ein potenzieller Einbrecher hingegen unauffällig den Autos entlangschlendern und nach Beute Ausschau halten (EBP 2016).

Auch bei Häusern und Wohnungen wollen Einbrecher grundsätzlich nicht gesehen werden und möglichst niemandem begegnen. Sie brechen dann ein, wenn sie davon ausgehen, dass sich keine Personen in den jeweiligen Räumlichkeiten aufhalten. Einbrüche in Geschäftsräume finden daher hauptsächlich nachts statt, wenn die Räume leer stehen. Die grosse Mehrheit der Einbrüche in Privatwohnungen wird hingegen tagsüber oder am frühen Abend begangen, da dann die meisten Menschen nicht zuhause, sondern am Arbeitsplatz sind oder sonstigen Aktivitäten nachgehen (SKP 2014).

Auch wenn die meisten *Einbrüche in Privatwohnungen* am Tag geschehen, kommt der Beleuchtung bei der Verhinderung von Einbrüchen eine wichtige Bedeutung zu. Besonders im Herbst und im Winter häufen sich die Einbruchsdelikte in der Dämmerung. Am frühen Abend fallen potentielle Täter, die um die Häuser herum schleichen, im Unterschied zur Nacht nicht auf, weil um diese Zeit ebenfalls noch viele andere Leute unterwegs sind. Weil es aber bereits dunkel ist, sind ihre Personenmerkmale schlecht erkennbar, umgekehrt ist es für sie jedoch einfacher herauszufinden, ob jemand zuhause ist – je nachdem, ob Licht im Innenraum brennt oder nicht (EBP 2016, vgl. auch Anh. A5.9.7).

Ein Beleuchtungsaspekt mit ebenfalls zentraler Bedeutung bezüglich Straftaten ist der *Hell-Dunkel-Kontrast*. Bestehen starke Kontraste, können sich Täter in den dunklen Bereichen verstecken und potenzielle Opfer beobachten, ohne selbst erkannt zu werden. Denn Personen, die sich im hell erleuchteten Bereich – quasi wie auf einer beleuchteten Bühne – befinden, können in den dunklen Bereichen nichts erkennen, da ihre Augen an das helle Licht angepasst sind. Dort, wo infolge von grossen Helligkeitsunterschieden Fluchtwege für potentielle Täter vorhanden sind, z. B. über eine dunkle Seitengasse, steigt auch das Risiko für andere Delikte wie Vandalismus oder Einbrüche.

Hell-Dunkel-Kontraste verlängern infolge der Anpassung der Augen, die eine gewisse Zeit dauert, auch die Reaktionszeiten, was sich negativ auf die Polizeiarbeit auswirken kann. Für diese ist daher eine möglichst *gleichmässige Beleuchtung* von Vorteil. Zudem sollte das Lichtniveau genügend hoch sein, damit Gesichtsausdrücke und -merkmale erkannt werden können. Mancherorts, so z. B. in gewissen Gebieten von Bern oder Berlin, besteht die Vorgabe, dass ein Gesicht in einem Abstand von 4 m erkannt werden soll (Stadt Bern 2009, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Neben Gleichmässigkeit und Intensität spielt für die Aufklärung von Delikten auch die *Farbwiedergabe* der Beleuchtung eine Rolle. Je besser diese ist, desto präziser können auch Zeugenaussagen sein (EBP 2016). Die Farbwiedergabe hängt im Wesentlichen von der Technologie der Lichterzeugung (Glühlampe, Kompaktstofflampe, Leuchtdioden etc.) ab, resp. vom Spektrum, welches das erzeugte Licht aufweist. Natriumdampflampen, die praktisch nur im gelb-rötlichen Bereich Licht aussenden, haben z. B. eine deutlich schlechtere Farbwiedergabe als Licht emittierende Dioden (LED), die Licht über einen grösseren Spektrumsbereich aussenden¹⁰ (vgl. auch Anh. A2.4).

Hier kann es je nach verwendetem *Lichtspektrum* zu *Zielkonflikten* mit dem Schutz der Natur und der Bevölkerung kommen. Denn Licht mit einem grossen Blauanteil ist biologisch besonders wirksam und kann eine starke Anlockwirkung auf Insekten haben (vgl. Anh. A1.2.2) oder den Tag-Nach-Rhythmus von Lebewesen beeinflussen (vgl. Anh. A1.1.5). Wird bei der Lampenwahl darauf geachtet, dass das erzeugte Licht einen möglichst kleinen Blauanteil aufweist, können negative Folgen für die Umwelt verringert werden. Insbesondere warmweisse LED-Leuchten scheinen Insekten gemäss ersten Studien weniger stark anzulocken als andere Leuchtmittel und weisen gleichzeitig eine gute Farbwiedergabe auf – es sind also auch *Synergien* zwischen Sicherheits- und Schutzanliegen möglich.

Hinweise dazu, wie Massnahmen zur Begrenzung von Lichtemissionen beim Einsatz von Beleuchtungen zum Schutz vor Kriminalität getroffen werden können, finden sich insbesondere in folgendem Kapitel:

→ A5.9.7 Massvoller Einsatz von Licht zur Verhinderung von Einbrüchen

¹⁰ Innerhalb einer Beleuchtungstechnologie (z. B. LED) gibt es jedoch ebenfalls Unterschiede bezüglich Farbwiedergabe. Zur Klassifizierung wird der Farbwiedergabeindex R_a verwendet.

A2.3.4 Subjektives Sicherheitsempfinden

Licht und Dunkelheit haben nicht nur einen Einfluss auf objektive Sicherheitsaspekte, sondern ebenfalls auf das subjektive Sicherheitsempfinden. In der *Bevölkerung* gibt es hierzu je nach Alter und Geschlecht allerdings grosse *Unterschiede*. Während Jugendliche zum Teil durchaus das Bedürfnis haben, sich an dunklen Orten zu treffen, meiden ältere Leute die Dunkelheit eher. Auch Frauen fühlen sich an bestimmten Orten im öffentlichen Raum bei Dunkelheit oftmals unsicherer als Männer. Und Menschen mit körperlichen Einschränkungen haben ebenfalls andere Bedürfnisse an die Beleuchtung, um ihre Mobilität sicherzustellen (EBP 2016).

Gemäss Untersuchungen hat Dunkelheit einen grossen Einfluss darauf, ob ein öffentlicher Raum als *Angstraum* wahrgenommen wird oder nicht. Als typische Angsträume gelten etwa Tunnels und Unterführungen, Parkgaragen, Parks, menschenleere Strassen, Plätze und Haltestellen des öffentlichen Verkehrs. Auch wenn Kriminalstatistiken zeigen, dass Angsträume selten Tatorte sind, ist die Angstraumproblematik ernst zu nehmen, denn sie führt dazu, dass Menschen Umwege in Kauf nehmen, bestimmte Orte meiden, nicht zu Fuss gehen, den öffentlichen Verkehr nicht nutzen oder nicht mehr alleine ausgehen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Die Beispiele der Angsträume beziehen sich auf die Wahrnehmung von Licht bzw. Dunkelheit und Sicherheit im städtischen Raum. In *ländlicher Umgebung* kann diese Wahrnehmung anders sein, wie eine Untersuchung im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 48 «Landschaften und Lebensräume der Alpen» ergab¹¹. Während die Beleuchtung in der Stadt gemäss der Studie dazu führte, dass die (städtischen) Räume als sicher wahrgenommen wurden, fühlten sich die Dorfbewohner von der Dunkelheit hingegen nicht bedroht, und es wurden keine Bedürfnisse nach mehr Beleuchtung im dörflichen Raum geäussert: «Da, wo man sich auskennt, fühlt man sich sicher, ob bei Helligkeit oder in der Dunkelheit. [...] Nacht und Dunkelheit wird deshalb im dörflichen Kontext als etwas betrachtet, das man zu respektieren habe.» (Hungerbühler & Morici 2006, S. 178)

Beleuchtung allein steigert das subjektive Sicherheitsempfinden also nicht, dieses hängt noch von anderen Faktoren ab. Dabei ist insbesondere das Vorhandensein *sozialer Kontrolle* von zentraler Bedeutung. Erst wenn Menschen das Gefühl haben, in kritischen Situation auch gesehen zu werden und damit theoretisch auch Hilfe bekommen zu können, fühlen sie sich sicherer (EBP 2016).

Ein weiterer wichtiger Faktor für ein positives Sicherheitsgefühl ist die Möglichkeit, sich *gut orientieren* zu können. Die Beleuchtung und Raumgestaltung sollte entsprechend so angelegt sein, dass Wegführung, Anlaufstellen und allfällige Fluchtmöglichkeiten gut erkennbar sind (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2015).

Die Orientierung ist bei *gleichmässiger Beleuchtung* (ohne Dunkelzonen und Blendungen) besser möglich. Bei grossen Lichtkontrasten wirken unbeleuchtete oder schwächer beleuchtete Räume zudem viel dunkler. So können zum Beispiel sehr helle Schaufenster zur Folge haben, dass die Passanten die Strasse davor als düster wahrnehmen, obwohl sie eigentlich ausreichend beleuchtet wäre. Bei der Beleuchtungsplanung sind daher bereits vorhandene und indirekte Quellen wie die Beleuchtung umliegender Plätze und Strassen, Schaufensterbeleuchtungen oder andere nach aussen wirkende Innenbeleuchtungen miteinzubeziehen (EBP 2016).

Im Hinblick auf gute Orientierungsmöglichkeiten und die Gleichmässigkeit der Beleuchtung kann es in innerstädtischen Fussgänger- oder Begegnungszonen erwünscht sein, dass die an die Strassen und Wege angrenzenden Hausfassaden durch die Beleuchtung dezent aufgehellt werden. Denn bleiben die Fassaden ganz dunkel, kann aufgrund des vorhandenen Lichtkontrastes ein «*Tunnel- oder Höhleneffekt*» auftreten, den die Menschen auf der Strasse als negativ empfinden. Hier besteht ein Zielkonflikt mit dem Bestreben, das Licht möglichst präzise nur auf die zu beleuchtenden Flächen wie Strassen und Trottoirs zu lenken und nicht in die angrenzenden Wohnungen zu richten. Mittlerweile gibt es allerdings technische Lösungen, die es erlauben, einen Raum je nach Tageszeit unterschiedlich auszuleuchten und ab einer bestimmten Zeit das auf die Fassaden gerichtete Licht abzustellen (vgl. Anh. A5.6).

¹¹ Im Projekt «FIAT LUX! The Making of Night Landscapes in the Alpine Area» wurden hierzu Befragungen im Tessin durchgeführt, zum einen in einer Stadt (Lugano) und zum andern im ländlichen Raum (Verscio).

Auch die *Lichtfarbe (Farbtemperatur)* kann dazu beitragen, dass sich die Leute an einem öffentlichen Ort wohl fühlen. So wird bei geringen Lichtintensitäten in der Nacht warmweisses Licht, wie es von der klassischen Glühlampe her bekannt ist, von vielen Menschen als angenehmer empfunden als kaltweisses Licht, wie es häufig bei Leuchtstoffröhren verwendet wird. Und wo man sich wohl fühlt, fühlt man sich sicherer (EBP 2016).

Die Hervorhebung von Wahrzeichen oder Gebäuden, die für eine Stadt von besonderer Bedeutung sind und auch als *Orientierungspunkte* dienen können, schafft Heimat- und Verbundenheitsgefühle. Dies kann mithelfen, Vandalismus und Littering zu reduzieren, was sich in der Folge auch wieder positiv auf das Sicherheitsempfinden auswirkt (EBP 2016).

Praxisbeispiel: Miteinbezug und Reduktion vorhandener Schaufensterbeleuchtungen

Bei der Erarbeitung eines Beleuchtungskonzepts für die Stadt Luzern, dem Plan Lumière, bestand einer der ersten Schritte in einer Analyse der bestehenden Beleuchtung. Diese Erhebung ergab unter anderem, dass die Plätze und Gassen in der Altstadt vom hellen Licht der Schaufenster anliegender Verkaufslöke dominiert wurden. Die daraus resultierenden starken Kontraste führten zu einer sehr schlechten Wahrnehmung der Umgebung. Um die Helligkeit der Schaufenster zu reduzieren und damit eine gleichmässige Beleuchtung zu erreichen, definierte die Stadt Luzern in ihrem Kunstlichtreglement konkrete Grenzwerte in Bezug auf die zulässige Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte von Schaufenstern, Leucht- und Dachreklamen (Stadt Luzern 2008, vgl. auch Anh. A5.8.1).

A2.4 Licht emittierende Dioden (LED) in der Aussenbeleuchtung

Mit der Einführung der Licht emittierenden Dioden (LED) hat ein Umbruch in der Beleuchtungstechnik begonnen. Die *Entwicklung der Leuchtdioden* geht in die 1960-er Jahre zurück. Als erste kamen rote LED-Lämpchen auf den Markt, die zum Beispiel als Statusanzeige in elektronischen Geräten Einsatz fanden. Durch jahrzehntelange technische Weiterentwicklung gelang es, auch andere Farben herzustellen: zuerst gelbe, dann grüne und in den 1990-er Jahren auch blaue. Damit war es möglich, durch die Mischung der Grundfarben Rot, Grün und Blau erstmals auch weisses LED-Licht zu erzeugen. Der Lichtintensität waren aber noch enge Grenzen gesetzt und auch die Qualität war anfänglich nicht sehr hoch, da im Farbspektrum der Misch-LED viele Zwischenfarbtöne fehlten (EnergieSchweiz 2015).

Um weisses Licht mit einem kontinuierlichen Farbspektrum zu erhalten, begann man daher, über einem blauen LED-Chip eine hauchdünne Phosphor-Leuchtschicht anzubringen. Durch den gelben Phosphor wird ein Grossteil des blauen Lichts in weisses umgewandelt. Je nach Schichtdicke des Phosphors lässt sich die Farbtemperatur (von kalt- über neutral- bis warmweiss) steuern. Seit einigen Jahren werden LED auch in der öffentlichen Beleuchtung vermehrt eingesetzt. Bezüglich einer Verminderung der unerwünschten Auswirkungen von Lichtemissionen auf Mensch und Umwelt bieten LED gegenüber herkömmlichen Leuchtmitteln einige Vorteile, wenn sie richtig eingesetzt werden.

LED-Leuchten können wesentlich dazu beitragen, Lichtemissionen zu vermindern, da sie – aufgrund der Erzeugung des Lichts mittels kleiner Dioden – das Licht gezielter ausrichten als bisherige Leuchten. Insbesondere bei Strassenbeleuchtungen können dadurch die Immissionen in der Umgebung abnehmen (vgl. Abbildung 14). Bei Sportplatzbeleuchtungen ist hingegen weniger das Leuchtmittel (LED oder konventionelle Lampen) als vielmehr der Scheinwerfertyp (symmetrisch oder asymmetrisch strahlend) massgebend dafür, welche Immissionen im Umfeld auftreten. Mit asymmetrischen Scheinwerfern lässt sich das Licht besser auf die zu beleuchtende Fläche begrenzen (vgl. Kap. 3.3.5). Ab einer gewissen Leuchtenhöhe (ca. 20 m; hängt von der Distanz der Scheinwerfer zur Sportfläche ab) ist aber der Einsatz von symmetrischen Scheinwerfern sinnvoll, weil sie mehr Licht auf die zu beleuchtende Fläche bringen.

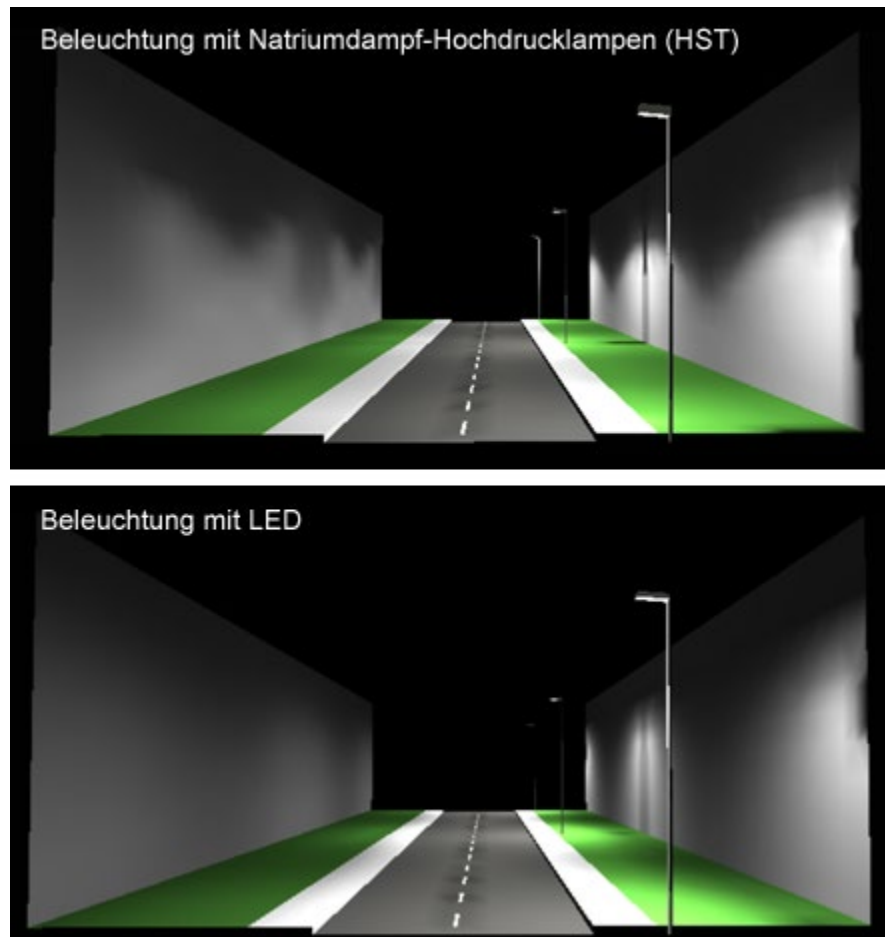


Abbildung 14: Berechnungsbeispiel für eine Strasse, die einmal mit Natriumdampf-Hochdrucklampen (HST, 100 Watt [W], oben) und einmal mit LED (78 W, unten) beleuchtet wird. Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn beträgt in beiden Situationen rund 15 Lux (HST: 14.5 Lux, LED: 15.4 Lux). Aber bei der Beleuchtung mit LED wird weniger Licht auf die angrenzenden Fassaden gestrahlt. Die maximalen vertikalen Beleuchtungsstärken auf der linken Fassade betragen bei der Beleuchtung mit LED 1.2 Lux und damit weniger als die Hälfte im Vergleich zu 2.9 Lux bei Beleuchtung mit HST-Lampen und auf der rechten Fassade 6.2 Lux (LED) oder nur noch 58 % gegenüber 10.7 Lux (HST) (SLG 2016).

Aufgrund der konzentrierten und gerichteten Erzeugung des Lichts bei Leuchtdioden besteht bei schlecht konstruierter Optik oder Lichtlenkung die *Gefahr der Blendung*, wenn ein Blick direkt in das Leuchtmittel möglich ist. Blendungen von Verkehrsteilnehmern und Fussgängern auf Strassen und Trottoirs sind nicht Gegenstand des Umweltrechts, auf das sich diese Vollzugshilfe bezieht (d. h. die Richtwerte von Kap. 5.3 zur Beurteilung der belästigenden Blendung sind nicht anwendbar). Blendungen von Verkehrsteilnehmern sind jedoch im Sinne der Verkehrssicherheit bei der Planung oder Umgestaltung öffentlicher Beleuchtungen zwingend zu berücksichtigen.

Ein weiterer Vorteil von LED-Leuchten besteht darin, dass sie sich *stufenlos dimmen* und in ihrer Intensität damit besser regulieren lassen als bisherige Beleuchtungen. Dadurch kann das Beleuchtungsniveau genauer auf vorgegebene Normwerte eingestellt und eine Übererfüllung der Normen vermieden werden. Zudem besteht bei LED die Möglichkeit, den *Lichtstrom über die gesamte Lebensdauer der Leuchte konstant* zu halten¹². Dadurch müssen beispielsweise Strassenbeleuchtungen nicht überdimensioniert werden, wie dies bei älteren Technologien der Fall war, um sicherzustellen, dass die

¹² Dies kann zum Beispiel über die sog. CLO-Technik (Constant Light Output) geschehen. Neueste LED weisen mittlerweile so kleine Abnutzungserscheinungen auf (sehr hoher Wartungsfaktor), dass ihr Lichtstrom auch ohne CLO-Technik über die ganze Lebensdauer praktisch konstant bleibt. Bei solchen LED, welche die technischen Anforderungen L90/B10 erfüllen, werden nach der angegebenen Lebensdauer noch 90% des ursprünglichen Lichtstroms erreicht und nur 10 % der Module

Strasse auch am Ende der Lebensdauer der Leuchten noch ausreichend gemäss Norm beleuchtet war (SLG 2016).

Wird (z. B. dank stufenlosem Dimmen und der CLO-Technik) nur so viel wie nötig beleuchtet, aber nicht überbeleuchtet, hilft dies nicht nur, Lichtemissionen zu reduzieren, sondern auch Energie zu sparen. Im Vergleich zu anderen Leuchtmitteln weisen Leuchtdioden bereits grundsätzlich eine *gute Energieeffizienz* auf. Es gilt allerdings aufzupassen, dass es angesichts der hohen Energieeffizienz nicht zu einem zusätzlichen Ausbau von Beleuchtungen oder einer Vielzahl neuer Beleuchtungsarten kommt, was dem Grundsatz der Emissionsminderung zuwiderlaufen würde (z. B. Inszenierung von einzelnen Bäumen, Pflanzen, etc. in Gärten oder Parks, selbstleuchtende Fassaden etc.). Dieser Effekt – eine zusätzliche Nachfrage aufgrund einer gesteigerten Effizienz – wird als *Rebound-Effekt* bezeichnet (EnergieSchweiz 2015).

Weitere Chancen und Risiken von Leuchtdioden ergeben sich aus der *farblichen Zusammensetzung* des weissen LED-Lichts. Aufgrund der Art, wie mit LED Licht erzeugt wird, enthält dieses praktisch keine Ultraviolett- und Infrarotanteile. Dafür enthält das weisse Licht fast alle Farben des Spektrums, was grundsätzlich eine *gute Farbwiedergabe* zur Folge hat. Eine gute Farbwiedergabe erleichtert das Sehen. Je nach Farbtemperatur sind die verschiedenen Anteile des Spektrums von LED indes sehr verschieden (vgl. Abbildung 15).

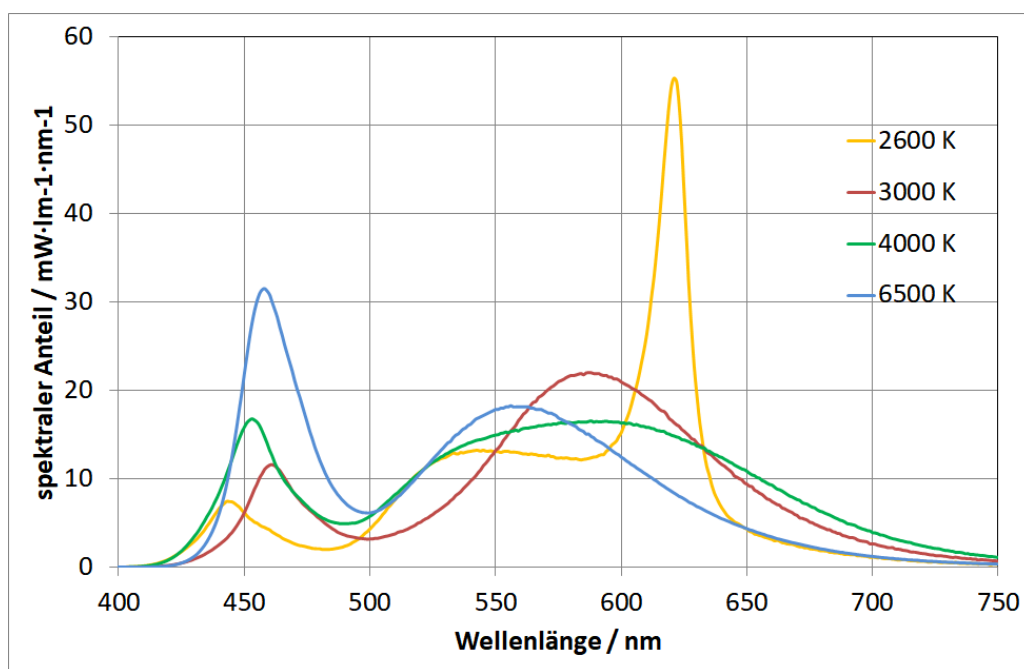


Abbildung 15: Lichtspektren typischer weisser LED-Leuchten unterschiedlicher Farbtemperatur, die das weisse Licht mittels Konversion von blauem Licht durch Phosphor erzeugen. Während das Spektrum der kaltweissen LED (6500 Kelvin [K]) einen ausgeprägten Peak im blauen Wellenlängenbereich (bei ca. 460 nm) aufweist, ist der Blauanteil bei der neutralweissen LED (4000 K) bereits deutlich geringer. Auch warmweisse LED können je nach Bauart noch Blauanteile im Spektrum aufweisen (s. Beispiel mit 3000 K). Den geringsten Blauanteil hat die warmweisse LED einer Farbtemperatur von 2600 K. Die dargestellten Lichtspektren sind photometrisch normiert, beziehen sich also auf den gleichen Lichtstrom in Lumen (Messungen und Grafik: METAS).

Neutral- und kaltweisses LED-Licht enthält im ausgestrahlten Spektrum einen ausgeprägten Peak im blauen Wellenlängenbereich (420 bis 490 nm). Die Empfindlichkeit des menschlichen Auges ist beim Dämmerungs- und Nachtsehen im Vergleich zum Tagessehen in Richtung blau verschoben. Bei gleicher Beleuchtungsstärke wirkt kalt- und neutralweisses Licht für das menschliche Auge somit heller als warmweisses.

unterschreiten diesen Lichtstrom. Eine regelmässige Reinigung (Wartung) der Leuchten und Sensoren garantiert eine nachhaltige Energieeffizienz und Funktionsfähigkeit.

Astronomen befürchten, dass die *Helligkeit des Nachthimmels* deutlich zunehmen wird, wenn die bisherigen Leuchtmittel, die zu einem grossen Teil aus Natriumdampflampen bestehen und ein warmweisses bzw. gelblichoranges Licht einer Farbtemperatur von rund 2000 K abstrahlen, in grossem Stil durch neutralweisse LED-Leuchten einer Farbtemperatur von 4000 K ersetzt werden. Denn Licht, das mehr Blauanteile im Spektrum enthält, wirkt bei gleicher Intensität nicht nur heller für das menschliche Auge, sondern die kurzwelligen blauen Lichtanteile werden in der Atmosphäre auch stärker gestreut als die langwelligen roten Anteile und tragen so mehr zur Aufhellung des Nachthimmels bei (Falchi et al. 2016).

In der Praxis wird bei LED-Leuchten in Stadtzentren, Fussgängerzonen, Quartier- und Wohnstrassen meist warmweisses Licht einer Farbtemperatur von 3000 K eingesetzt, für die funktionale Strassenbeleuchtung hingegen eher neutralweisses (4000 K). Leuchten mit Farbtemperaturen von 5000 K oder höher finden eher selten Anwendung (Humm 2015).

Warmweisse LED-Leuchten sind weniger energieeffizient als kalt- und neutralweisse LED-Leuchten: LED mit 3000 K sind im Vergleich zu LED mit 4000 K rund 10 bis 20 % weniger effizient (Herstellerangaben). Damit besteht ein gewisser Zielkonflikt zwischen dem Bestreben nach Energieeinsparungen auf der einen Seite und dem Einsatz von warmweissem Licht im Sinne des Verminderns von biologischen Auswirkungen und dem Empfinden der Bevölkerung auf der anderen Seite. Denn bei einem grossen Blauanteil besteht eine starke Anlockwirkung auf Insekten (vgl. Anh. A1.2.2) oder der Tag-Nach-Rhythmus von Lebewesen kann beeinflusst werden (vgl. Anh. A1.1.5).

Zu beachten ist letztlich auch die korrekte *Entsorgung und Verwertung von LED-Leuchten*. Gemäss der «Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte» (VREG; SR 814.620) sind Konsumenten verpflichtet, ausgediente LED-Leuchten an eine Verkaufsstelle oder an eine öffentliche Sammelstelle zurückzubringen. Die Hersteller und Importeure sind verpflichtet, defekte oder ausgediente LED-Leuchtmittel ihrer Marke kostenlos zurückzunehmen. Die ausgedienten LED-Leuchten werden in entsprechenden Verwertungsanlagen für Elektronikschrott behandelt.

Hinweise dazu, wie bei Abwägungen zum Zielkonflikt zwischen Farbtemperatur und Energieeffizienz vorgegangen werden kann, finden sich insbesondere in folgendem Kapitel:

→ 3.3.3 Lichtspektrum / Lichtfarbe

A2.5 Energieeffizienz durch intelligent gesteuerte Strassenbeleuchtung

Werden unnötige Lichtemissionen vermieden, indem nur das beleuchtet wird, was zu beleuchten ist, kann der Stromverbrauch reduziert werden. Somit leistet die Vermeidung unnötiger Lichtemissionen einen Beitrag zur sparsamen und rationellen Energienutzung gemäss Energiegesetz Artikel 1 Absatz 2b (*EnG*; SR 730.0) (EBP 2016).

Die öffentliche Beleuchtung von Strassen und Plätzen in der Schweiz verbrauchte 2015 rund 425 GWh Strom (BFE 2016). Über die Hälfte liesse sich über effizientere Leuchtmittel wie LED und eine bedarfsgerechte Absenkung oder Steuerung mit Bewegungsmeldern einsparen (vgl. Abbildung 16).

Der wesentliche Vorteil der LED-Technologie in der öffentlichen Beleuchtung besteht dabei nur bedingt in einer grundsätzlich besseren Energieeffizienz im Vergleich zu anderen Leuchtmitteln. Eine gute LED-Leuchte hat bei gleicher Beleuchtungsaufgabe einen ca. 50 % tieferen Energiebedarf (vgl. Abbildung 16). Der grosse Vorteil liegt jedoch darin, dass sich LED-Leuchten ohne Verzögerung einschalten sowie stufenlos dimmen lassen und dass sie damit optimal an das Beleuchtungsbedürfnis angepasst werden können. In Kombination mit intelligenten Steuerungssystemen ist es damit erstmals möglich, auch lichtstarke öffentliche Beleuchtungen bedarfsgerecht zu steuern und «Licht nach Bedarf» in verschiedenen Varianten anzubieten (vgl. Kap. A5.1).

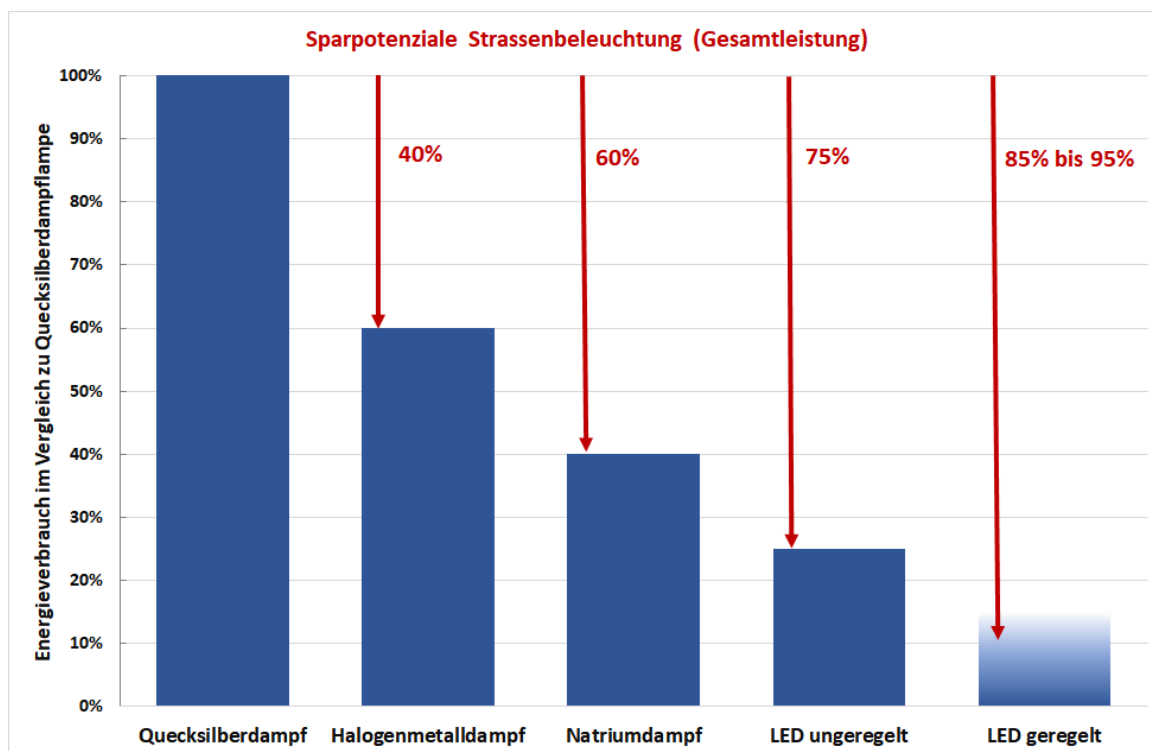


Abbildung 16: Energieverbrauch und entsprechende Sparpotenziale verschiedener Leuchtmittel von Strassenbeleuchtungen im Vergleich zu alten Quecksilberdampflampen. Der Energieverbrauch bezieht sich auf die Gesamtleistung der Leuchten (in Watt), die zur Erzeugung gleicher Beleuchtungsstärken auf der Strasse benötigt wird. Bei den hier dargestellten Sparpotenzialen handelt es sich um typische Grössenordnungen, in Einzelfällen können die Werte innerhalb einer Technologie um 10 bis 15 % abweichen. Bei geregelten LED ist das Sparpotenzial von der Steuerung abhängig (Quelle: Haller/EKZ 2017). Die nochmaligen Stromeinsparungen von gut 50 % durch intelligent geregelten LED gegenüber ungeregelten LED bestätigen sich auch im Praxisbetrieb auf Kantonsstrassen mit vergleichsweise hohen durchschnittlichen Tagesverkehr (Breuer, 2016).

An vielen Orten finden derzeit Umrüstungen bei öffentlichen Beleuchtungen statt. Mit intelligent gesteuerten LED-Leuchten kann dabei viel Energie gespart werden und – mit der richtigen Planung und Ausführung der Leuchten – können auch die Lichtemissionen auf die Umgebung reduziert werden.

Praxisbeispiel: Energieeinsparungen dank Licht nach Bedarf auf Kantonsstrassen des Kantons Bern

Rund 27'000 Strassenlampen beleuchten die Kantonsstrassen im Kanton Bern. Bis 2013 verbrauchten diese jährlich rund 16 GWh Strom – so viel wie eine Gemeinde mit rund 3000 Häusern. Da zahlreiche Beleuchtungsanlagen der ersten Generation ihr technisches Lebensende überschritten hatten, zeichnete sich bei rund der Hälfte der kantonal bernischen Strassenleuchten Ersatzbedarf in den nächsten Jahren ab. Das Tiefbauamt wollte diese Erneuerung nutzen, um einen namhaften Beitrag an die Umsetzung der Energiestrategie zu leisten.

Einsparpotenzial wurde dort gesehen, wo die Strassenleuchten in der Nacht auch auf eher leeren oder gänzlich ungenutzten Kantonsstrassen in Betrieb waren. Dass sich LED-Leuchten stufenlos dimmen und sehr rasch regulieren lassen, sollte bei der Erneuerung genutzt werden, um die Beleuchtung über «Kundenkontakt» zu steuern. Wenn sich keine Nutzer auf der Strasse befinden, werden die Leuchten in einer höchst energieeffizienten und zur Orientierung völlig ausreichenden Grundeinstellung betrieben. Und erst wenn Autos, Velos oder Fussgänger in den Bereich einer Leuchte gelangen und von dieser über Sensoren erfasst werden, steigert sie zusammen mit zwei oder drei Nachbarleuchten die Intensität auf Norm-Niveau. Den Nutzern eilt so ein Lichtteppich voraus. Verlassen sie den Erfassungsbereich einer Leuchte, dimmt diese wieder auf das Orientierungsniveau zurück. Um die Anwohner durch die zu- und abnehmenden Lichtintensitäten möglichst wenig zu stören, wird ein sanfter Übergang zwischen Orientierungsbeleuchtung und normgerechter Beleuchtung angestrebt.

In einer einjährigen Testphase wurden drei Pilotanlagen betrieben. Bereits in der Pilotphase zeigte sich, dass die Technik problemlos funktioniert und die Einsparungen sehr gross sind. Danach sind bis 2016 gut 3500 Leuchtpunkte an Kantonsstrassen umgerüstet worden. Verglichen mit alten Anlagen werden im vorliegenden Beispiel mit den intelligent gesteuerten LED-Leuchten über 80 % Strom und 90 % der Betriebskosten gespart. Hochgerechnet auf alle rund 27'000 Leuchten ergibt dies gegenüber 2013 ein Einsparpotential von 14 GWh Strom oder rund 2,4 Mio. Franken pro Jahr (Tiefbauamt Kanton Bern 2015b, Breuer 2016).

Angesichts dieser Ergebnisse hat die Strassenbeleuchtung «nach Bedarf» die Pilotphase längst verlassen und ist zum Standard im Kanton Bern geworden. Entlang seiner Kantonsstrassen betreibt das Tiefbauamt aktuell mit gut 12'000 intelligent gesteuerten Strassenleuchten die grösste solche Anlage in Europa. Die Messwerte aus dem Praxisbetrieb dieser grossen «Licht nach Bedarf»-Anlage bestätigen die Erwartungen: 80 % Energiekosten gespart, dabei rund 50 % weniger Licht emittiert und 90 % geringere Betriebskosten. Dank der öffentlich ausgeschriebenen Grossmengen entstehen nicht einmal Mehrkosten aus der Beschaffung der intelligent gesteuerten statt der nicht steuerbaren LED-Leuchten.

A3 Rechtlicher Rahmen

Dieses Kapitel stellt dar, welche Vorgaben verschiedene Rechtserlasse zum Schutz des Menschen, der Landschaft, der Tiere und Pflanzen sowie ihrer Lebensräume vor Lichteinwirkungen machen.

Eine Synthese der wichtigsten bundesrechtlichen Anforderungen ist in Anhang A3.2 zusammengestellt. Dort finden sich auch Angaben dazu, wer diesbezüglich was zu prüfen hat. Wie die entsprechenden Vorgaben technisch und betrieblich umgesetzt und erfüllt werden können und wie dies überprüft werden kann, ist in den Kapiteln 3 bis 6 beschrieben.

A3.1 Allgemeines

Auf Bundesebene gibt es verschiedene Rechtserlasse, die den Schutz der Umwelt und des Menschen vor Lichtimmissionen verlangen. Im Gegensatz zu anderen Umweltbereichen ist dieser Schutz aber bis anhin nicht in einer Verordnung konkretisiert.

Neben den Rechtsgrundlagen des Bundes (vgl. Anh. A3.2) existieren auch auf kantonaler und kommunaler Ebene rechtliche Instrumente, welche die Begrenzung von Lichtemissionen regeln (vgl. Anh. A3.3). Weiter haben auch einige privatrechtliche Normen und ausländische Empfehlungen das Ziel, negative Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung zu beschränken (vgl. Anh. A3.4).

A3.2 Rechtsgrundlagen des Bundes

Für die Vermeidung von Beeinträchtigungen und Schädigungen durch künstliches Licht sind insbesondere folgende Bundeserlasse massgebend:

- Bundesverfassung (*BV*; *SR 101*) mit Artikel 74 sowie Artikel 78.
- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, *USG*; *SR 814.01*) mit Artikel 1, Artikel 7 Absätze 1, 2 und 7 sowie den Artikeln 11 bis 14 und 16 bis 18.
- Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (*NHG*; *SR 451*) mit den Artikeln 1 bis 3, 5, 6, 18, 18a, 18b, Artikel 20 Absatz 1 sowie den Artikeln 23b bis 23d.
- Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdgesetz, *JSG*; *SR 922.0*) mit Artikel 1 Absatz 1 und Artikel 7 Absatz 4.
- Bundesgesetz über die Fischerei (*BGF*; *SR 923.0*) mit Artikel 5.
- Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, *RPG*; *SR 700*) mit den Artikeln 1, 3, 17, 22 und 24.
- Energiegesetz (*EnG*; *SR 730.0*) mit Artikel 1 sowie Artikel 3.
- Zivilgesetzbuch (*ZGB*; *SR 210*) mit den Artikeln 679 und 684.

In Tabelle 12 sind die wichtigsten bundesrechtlichen Bestimmungen zur Begrenzung von Lichtemissionen zusammengefasst. Angegeben ist auch, bei welchen Anlagen bzw. in welchen Situationen die jeweiligen Bestimmungen zur Anwendung gelangen und wer für deren Überprüfung und Einhaltung zuständig ist. Ausführlichere Erläuterungen finden sich in den Kapiteln, auf die in der Tabelle verwiesen wird.

Tabelle 12: Die wichtigsten bundesrechtlichen Bestimmungen zur Begrenzung von Lichtemissionen

Schutz des Menschen und der Umwelt: Bestimmungen gelten grundsätzlich für alle Beleuchtungsanlagen		
Anlagen / Schutzobjekte	Rechtliche Anforderungen	Zuständigkeiten
— Anlagen: Sämtliche ortsfesten Anlagen in der Umwelt, die künstliches Licht erzeugen oder natürliches Sonnenlicht verändern. Den Anlagen sind Geräte gleichgestellt (Art. 7 Abs. 7 USG). — Schutzobjekte: Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume (Art. 1 Abs. 1 USG)	— Vorsorgliche Emissionsbegrenzungen (1. Stufe): Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen bei der Quelle so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist (Art. 11 Abs. 2 USG). Mögliche Massnahmen: → Kap. 3 und A5 — Verschärfte Emissionsbegrenzungen (2. Stufe): Wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Immissionen unter Berücksichtigung der bestehenden Umweltbelastung schädlich oder lästig werden (Art. 11 Abs. 3 USG). Zur Beurteilung der Lästigkeit für den Menschen: Richtwerte → Kap. 5 → Ausführliche rechtliche Erläuterungen: Anh. A3.2.1	Für die entsprechende Anlage zuständige (Bewilligungs-) Behörde von: — Gemeinde — Kanton — Bund Die Anforderungen gelten sowohl für bewilligungspflichtige als auch für bewilligungsfreie Anlagen: — Umgang mit bewilligungspflichtigen Anlagen: → Kap. 7.3 — Umgang mit bewilligungsfreien Anlagen: → Kap. 7.4

Schutz der Biodiversität: Zusätzliche Bestimmungen bei Eingriffen in schutzwürdige Lebensräume		
Anlagen / Schutzobjekte	Rechtliche Anforderungen	Zuständigkeiten
— Anlagen: «Technische Eingriffe» (wie Lichtemissionen) in schutzwürdige Lebensräume — Schutzobjekte: Tier- und Pflanzenarten	— Lässt sich eine Beeinträchtigung schutzwürdiger Lebensräume durch technische Eingriffe (wie Lichtemissionen) unter Abwägung aller Interessen nicht vermeiden, so hat der Verursacher für besondere Massnahmen zu deren bestmöglichem Schutz, für Wiederherstellung oder ansonst für angemessenen Ersatz zu sorgen (Art. 18 Abs. 1^{ter} NHG). → Ausführliche rechtliche Erläuterungen: Anh. A3.2.2	Für den entsprechenden «technischen Eingriff» zuständige (Bewilligungs-) Behörde von: — Gemeinde — Kanton — Bund Die Anforderungen gelten sowohl für bewilligungspflichtige als auch für bewilligungsfreie Anlagen: — Umgang mit bewilligungspflichtigen Anlagen: → Kap. 7.3 — Umgang mit bewilligungsfreien Anlagen: → Kap. 7.4

Landschaftsschutz: Zusätzliche Bestimmungen bei Erfüllung von Bundesaufgaben		
Anlagen / Schutzobjekte	Rechtliche Anforderungen	Zuständigkeiten
— Anlagen: Bauten und alle Anlagen im Zusammenhang mit der Erfüllung von Bundesaufgaben im Sinne von Artikel 2 NHG — Schutzobjekte: Landschaftsbild (Nachtlandschaft), Naturdenkmäler (Art. 1 Abs. 1 NHG) sowie Objekte in Bundesinventaren (Art. 5 NHG)	— Bauten und Anlagen entsprechend gestalten und unterhalten oder gänzlich auf ihre Errichtung verzichten, Konzessionen und Bewilligungen nur unter Bedingungen oder Auflagen erteilen oder aber verweigern (Art. 3 Abs. 2 NHG) → Ausführliche rechtliche Erläuterungen: A3.2.3	— Bund (seine Anstalten und Betriebe) — Kantone

A3.2.1 Schutz des Menschen und der Umwelt (Umweltschutzgesetz [USG])

Das *Umweltschutzgesetz* (USG; SR 814.01) soll Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen schützen (Art. 1 Abs. 1 USG). Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, sind im Sinne der Vorsorge frühzeitig zu begrenzen (Art. 1 Abs. 2 USG). Als Einwirkungen im Sinne des USG gelten nach Artikel 7 Absatz 1 auch (nichtionisierende) «Strahlen», die durch den Bau und Betrieb von Anlagen¹³ erzeugt werden. Künstlich erzeugtes Licht in der Nacht oder Sonnenlicht, das durch den Bau oder Betrieb von Anlagen verändert (z. B. reflektiert) wird, fällt damit in den Geltungsbereich des USG.

Der Schutz vor nichtionisierender Strahlung ist bundesrechtlich bislang nur für den Frequenzbereich von 0 Hertz bis 300 Gigahertz konkretisiert (Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, NISV; SR 814.710). Sichtbares Licht mit Frequenzen von 384 bis 789 Terahertz bzw. Wellenlängen von 780 bis 380 Nanometer wird vom Geltungsbereich der NISV somit nicht erfasst. Der Schutz vor sichtbarem Licht, das von ortsfesten Anlagen in der Umwelt ausgeht, muss durch die rechtsanwendenden Behörden deshalb mittels Verfügungen, die unmittelbar gestützt auf die Artikel 11 bis 14 sowie die Artikel 16 bis 18 USG erlassen werden, sichergestellt werden (vgl. Art. 12 Abs. 2 USG).

Der Schutz durch das USG besteht in einem zweistufigen Konzept:

- Als *erste Stufe* verlangt Artikel 11 Absatz 2 USG, Emissionen unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist (*vorsorgliche Emissionsbegrenzungen*).
- In einer *zweiten Stufe* sind die *Emissionsbegrenzungen zu verschärfen*, wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Immissionen unter Berücksichtigung der bestehenden Umweltbelastung schädlich oder lästig werden (Art. 11 Abs. 3 USG). Solche Immissionen gelten als übermässig. Für die Beurteilung, ab wann eine Einwirkung schädlich oder lästig ist, legt der Bundesrat durch eine Verordnung Immissionsgrenzwerte fest (Art. 13 Abs. 1 USG). Gemäss Artikel 13 Absatz 2 USG berücksichtigt er dabei auch die Wirkungen der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere.

Emissionen sind durch *Massnahmen bei der Quelle* zu begrenzen (Art. 11 Abs. 1 USG). Emissionsbegrenzungen werden durch den Erlass von Emissionsgrenzwerten, Bau- und Ausführungs- sowie Verkehrs- und Betriebsvorschriften in einer Verordnung oder bei Fehlen solcher Vorschriften mittels Verfügung vorgeschrieben (Art. 12 USG).

Für die Beurteilung der Schädlichkeit oder Lästigkeit von Lichteinwirkungen hat der Bundesrat bislang keine *Immissionsgrenzwerte* festgelegt. Daher hat die rechtsanwendende Behörde im Einzelfall, direkt gestützt auf das USG, zu beurteilen, wann Lichtimmissionen als schädlich oder lästig einzustufen sind. Sie kann sich dabei auf Angaben von Experten und Fachstellen abstützen oder auch Grenz- und Richtwerte privater oder ausländischer Regelwerke berücksichtigen, sofern deren Beurteilungskriterien mit denjenigen des schweizerischen Umweltrechts vereinbar sind. Solche privatrechtlichen Normen und ausländische Empfehlungen sind in Kapitel A3.4 beschrieben. Das Kapitel 5 zeigt auf, wie die Übermässigkeit von Lichtimmissionen für den Menschen im konkreten Einzelfall mittels Richtwerten abgeklärt werden kann.

In den letzten Jahren fällte das *Bundesgericht* einige Entscheide zu Lichtemissionen unmittelbar gestützt auf das USG. Insbesondere seine *Leitentscheide* zu einer Weihnachts- und Zierbeleuchtung (BGE 140 II 33, vgl. Anh. A5.9.2) sowie zu einer Bahnhofsbeleuchtung (BGE 140 II 214, vgl. Kap. A5.7) konkretisieren, wie weit der Schutz vor Lichtimmissionen gehen soll. In beiden Fällen taxierte das Gericht die konkreten Immissionen für den Menschen nicht als übermässig im Sinne des USG (2. Stufe). Es bestätigte aber den Grundsatz, wonach unnötige Lichtimmissionen im Rahmen der Vorsorge zu vermeiden sind, sofern dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist (1. Stufe). Wegen des schleichenden Prozesses einer zunehmenden Belastung durch Lichtimmissionen und da bislang Erkenntnisse zur Quantifizierung der negativen Auswirkungen von künstlichem Licht auf Pflanzen und Tiere fehlen, erachtet das Bundesgericht das öffentliche Interesse an einer

¹³ «Anlagen sind Bauten, Verkehrswege und andere ortsfeste Einrichtungen sowie Terrainveränderungen. Den Anlagen sind Geräte, Maschinen, Fahrzeuge, Schiffe und Luftfahrzeuge gleichgestellt.» Artikel 7 Absatz 7 USG

Vermeidung von unnötigen Lichtemissionen als gegeben. Demnach sei grundsätzlich nur zu beleuchten, was beleuchtet werden müsse, und bei der nicht sicherheitsrelevanten Beleuchtung sei, analog zum Lärmschutz, ein Nachtruhefenster zwischen 22 und 6 Uhr anzustreben (Bundesgericht 2014).

A3.2.2 Schutz der Biodiversität (NHG, Jagdgesetz [JSG], Fischereigesetz [BGF])

Auswirkungen von Lichtimmissionen auf die Artenvielfalt sind im Rahmen der Artikel 18 und 20 des *Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG; SR 451)* zu beurteilen. Die Bestimmungen des NHG werden in Artikel 13 bis 19 der Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (*NHV; SR 451.1*) präzisiert. Dabei enthält Artikel 14 Absatz 2 NHV Ausführungsbestimmungen zu den Schutzmassnahmen wie insbesondere die Ausscheidung ökologisch ausreichender Pufferzonen.

Dem Aussterben einheimischer Tier- und Pflanzenarten ist durch die Erhaltung genügend grosser Lebensräume (Biotope) und andere geeignete Massnahmen entgegenzuwirken (Art. 18 Abs. 1 NHG). Besonders zu schützen sind Lebensräume wie Uferbereiche und Moore sowie weitere Standorte, die eine ausgleichende Funktion im Naturhaushalt erfüllen oder besonders günstige Voraussetzungen für Lebensgemeinschaften aufweisen (Art. 18 Abs. 1^{bis} NHG).

Bei *technischen Eingriffen* in schutzwürdige Lebensräume sind alle Interessen gegeneinander abzuwägen. Ein technischer Eingriff, der schützenswerte Biotope beeinträchtigen kann, darf nur bewilligt werden, sofern er standortgebunden ist und einem überwiegenden Bedürfnis entspricht (Art. 14 Abs. 6 NHV). Lässt sich eine Beeinträchtigung nicht vermeiden, so hat der Verursacher gemäss Artikel 18 Absatz 1^{ter} NHG und Artikel 14 Absatz 7 NHV für besondere Massnahmen zu deren bestmöglichem Schutz, für Wiederherstellung oder ansonsten für angemessenen Ersatz zu sorgen. Auch Lichtemissionen sind ein technischer Eingriff im Sinne der Bestimmungen. Sie müssen bei Zulässigkeit des Eingriffs im Rahmen der Schutzmassnahmen begrenzt werden.

Nach Artikel 1 Absatz 1 Buchstabe a des *Jagdgesetzes (JSG; SR 922.0)* sollen die Artenvielfalt und die Lebensräume der einheimischen und ziehenden wildlebenden Säugetiere und Vögel erhalten bleiben. Zur langfristigen Erhaltung der freilebenden Tierwelt müssen Vorkehrungen zum Schutz vor Störungen getroffen werden. Es gilt vor allem, Störungen durch touristische, sportliche und weitere Aktivitäten des Menschen, die mit Lichtemissionen verbunden sind, in den Lebensräumen von wildlebenden Säugetieren und Vögeln nach Möglichkeiten zu beschränken (Art. 7 Abs. 4 JSG).

Gemäss Artikel 5 des *Fischereigesetzes (BGF; SR 923.0)* bezeichnet der Bundesrat die Arten und Rassen von Fischen und Krebsen, die gefährdet sind. Zum Schutz von deren Lebensräumen müssen Massnahmen zum Beispiel auch gegen Lichtimmissionen ergriffen werden.

A3.2.3 Landschaftsschutz (Natur- und Heimatschutzgesetz [NHG])

Lichtimmissionen können die nächtliche Landschaft und damit im weitesten Sinne das Landschafts- und Ortsbild beeinträchtigen. Diesbezügliche Eingriffe sind darum im Rahmen der Artikel 3 und 6 des *Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG; SR 451)* zu beurteilen.

Der Bund, seine Anstalten und Betriebe sowie die Kantone haben entsprechend bei der Erfüllung von Bundesaufgaben im Sinne von Artikel 2 NHG dafür zu sorgen, dass das heimatliche Landschafts- und Ortsbild, geschichtliche Stätten sowie Natur- und Kulturdenkmäler geschont werden und, wo das allgemeine Interesse an ihnen überwiegt, ungeschmälert erhalten bleiben (Art. 3 NHG).

Sie erfüllen diese Pflicht, indem sie eigene Bauten und Anlagen entsprechend gestalten und unterhalten oder gänzlich auf ihre Errichtung verzichten, Konzessionen und Bewilligungen nur unter Bedingungen oder Auflagen erteilen oder aber verweigern sowie Beiträge nur bedingt gewähren oder ablehnen (Art. 3 Abs. 2 NHG).

Dieser Schutz des NHG gilt in besonders strenger Weise für Objekte von Bundesinventaren nach Artikel 5 (vgl. Art. 6 NHG). Für die verfassungsrechtlich geschützten Moorlandschaften finden die Artikel und 23b–23d NHG Anwendung.

Einen Leitentscheid auf der Grundlage des NHG fällte das Bundesgericht zur Beleuchtung des Pilatus (*BGE 123 II 256*, vgl. Anh. A5.10).

Der Bundesrat hat am 27. Mai 2020 das aktualisierte Landschaftskonzept Schweiz (LKS 2020) verabschiedet. Das LKS ist das Planungsinstrument des Bundes für seine Landschaftspolitik. Es bezweckt unter anderem, Projekte und Planungen so zu gestalten, dass die unter Druck stehenden Landschaften auch künftig als hochwertiger Wohn-, Arbeits- und Erholungsraum zur Verfügung stehen. Das aktualisierte LKS will im Ziel 3.B «Gesundheitsförderung im Siedlungs- und Naherholungsraum» auch störende Lichtemissionen reduzieren. Ein entscheidender Faktor ist dabei die Beleuchtung der Verkehrsinfrastrukturen, die inner- und ausserhalb der Siedlung massgeblich zur Lichtverschmutzung beiträgt. Gemäss Ziel 10.C sollen daher auch Beleuchtungen der Verkehrsinfrastrukturen optimiert werden.

A3.2.4 Raumplanung und Baubewilligungsverfahren (Raumplanungsgesetz [RPG])

Das *Raumplanungsgesetz (RPG; SR 700)* des Bundes verlangt von Bund, Kantonen und Gemeinden, unter anderem dafür zu sorgen, dass die natürlichen Lebensgrundlagen wie die Landschaft geschützt werden (Art. 1 Abs. 2 Bst. a RPG). Zu beachten sind dabei die Planungsgrundsätze von Artikel 3 RPG, wonach – zum Beispiel im Sinne der Schonung der Landschaft – Siedlungen, Bauten und Anlagen sich in die Landschaft einordnen und naturnahe Landschaften und Erholungsräume erhalten bleiben sollen (Art. 3 Abs. 2 Bst. b und d RPG).

Zur Erhaltung von Bächen, Flüssen, Seen, ihren Ufern und Lebensräumen für schutzwürdige Tiere und Pflanzen (schutzwürdige Lebensräume) sind *Schutzzonen* auszuscheiden (Art. 17 RPG). Als mögliche Schutzmassnahmen kommen auch Massnahmen zum Schutz vor Lichtimmissionen in Betracht.

Die mit Planungsaufgaben betrauten Behörden sollen Siedlungen nach den Bedürfnissen der Bevölkerung gestalten und dabei insbesondere *Wohngebiete* vor schädlichen und lästigen Einwirkungen, die auch in Form von Lichtimmissionen auftreten können, möglichst verschonen (Art. 3 Abs. 3 Bst. b RPG).

Im Rahmen von *Bewilligungsverfahren* im Sinne von Artikel 22 RPG (Baubewilligung innerhalb der Bauzonen) und Artikel 24 RPG (Bewilligung für Bauten und Anlagen ausserhalb der Bauzonen) können bestimmte Beleuchtungsanlagen mit Massnahmen zum Schutz vor Lichtimmissionen als Auflagen und Bedingungen bewilligt oder aber nicht bewilligt werden. Auch hierzu der in Anhang A3.2.2 bereits erwähnte Leitentscheid des Bundesgerichts zur Beleuchtung des Pilatus (*BGE 123 II 256*, vgl. Anh. A5.10).

Im Gegensatz zum Umweltrecht stellt das Raumplanungsrecht des Bundes nur eine Rahmengesetzgebung dar und ist auf grundsätzliche Regelungen beschränkt. Den Kantonen bleibt damit eine substantielle Rechtssetzungskompetenz, dies mit dem Zweck, eigenen Gegebenheiten Rechnung tragen zu können. Die Ausgestaltung der bundesrechtlichen Grundsätze und des Vollzugs ist damit im Wesentlichen die Aufgabe der Kantone. Entsprechend ist nicht in jedem Kanton gleich geregelt, welche Anlagen einer Bewilligungspflicht unterliegen und welche nicht.

A3.2.5 Weitere bundesrechtliche Erlasse

Das *Energiegesetz (EnG; SR 730.0)* bezweckt unter anderem die sparsame und rationelle Energienutzung (Art. 1 Abs. 2b EnG). Eine solche bedeutet, den Energieeinsatz so tief als möglich zu halten oder die eingesetzte Energie möglichst vollständig zu nutzen (hoher Energiewirkungsgrad, Art. 3 Abs. 2 Bst. a und c EnG). Massnahmen können nur soweit angeordnet werden, als sie technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar sind. Überwiegende öffentliche Interessen sind zu wahren (Art. 3 Abs. 4 EnG). Werden Normvorgaben an die Beleuchtung möglichst genau eingehalten und die jeweiligen Flächen nicht überbeleuchtet, entspricht dies einer rationellen Energienutzung im obigen Sinn und hilft gleichzeitig, unnötige Lichtemissionen zu vermindern.

Gemäss schweizerischem *Zivilgesetzbuch (ZGB; SR 210)* ist jedermann bei der Ausübung seines Eigentums verpflichtet, sich aller übermässigen Einwirkung auf das Eigentum der Nachbarn zu enthalten. Verboten sind dabei insbesondere alle schädlichen und nach Lage und Beschaffenheit der Grundstücke oder nach Ortsgebrauch nicht gerechtfertigten Einwirkungen unter anderem durch Strahlung (Art. 684 Abs. 1 und 2 ZGB). Der privatrechtliche Immissionsschutz des Nachbarrechts nach den

Artikeln 679 und 684 des ZGB kann unabhängig von den Begrenzungsmaßnahmen des Umweltrechts in Anspruch genommen werden. Für die Beurteilung dessen, was als übermässige Einwirkung im Sinn von Artikel 684 ZGB zu gelten hat, wird jedoch auf die entsprechenden Kriterien des Umweltschutzgesetzes abgestellt. Der privatrechtliche Immissionsschutz kennt überdies keine vorsorgliche Emissionsbegrenzung gemäss Artikel 11 Absatz 2 USG, und er gilt nur gegenüber Anlagen, die sich auf einem anderen Grundstück befinden. Für ein allfälliges zivilrechtliches Verfahren sind die Regeln des Zivilprozessrechts massgebend. Die vorliegende Vollzugshilfe beschränkt sich auf den Anwendungsbereich des öffentlichen Umweltrechts.

A3.3 Kantonale und kommunale Regelungen

Der Schutz vor Lichtimmissionen wird zum Teil auch auf kantonaler und kommunaler Ebene rechtsverbindlich geregelt. In einigen Kantonen hat er Eingang in die *kantonalen Einführungsgesetze* zur Bundesgesetzgebung über den *Umweltschutz* (EG USG, kantonales USG) und entsprechende Ausführungserlasse gefunden. Zum einen wurden dort allgemeine Anforderungen zur Vermeidung von Lichtemissionen formuliert und zum andern auch Bewilligungspflichten oder Verbote für bestimmte Beleuchtungen (z. B. «Skybeamer») erlassen.

In *kantonalen Energiegesetzen* finden sich ebenfalls Vorgaben, die auf eine Reduzierung von Lichtemissionen abzielen. Und einige wenige Kantone haben in ihren *Richtplänen* entsprechende Planungsgrundsätze festgelegt.

Das *Baurecht* unterscheidet sich je nach Kanton und Gemeinde, da das Raumplanungsrecht des Bundes grundsätzlich eine Rahmengesetzgebung darstellt (vgl. Anh. A3.2.4). Welche Arten von Beleuchtungsanlagen bewilligungspflichtig sind und welche nicht, ist entsprechend nicht überall gleich geregelt. Am häufigsten finden sich Bewilligungspflichten für Reklamebeleuchtungen. Dies vielfach in Bezug auf die Sicherheit im Strassenverkehr (keine Ablenkung oder Blendung). Doch auch wegen Auswirkungen auf die Umwelt sind Reklamen ein Thema. Entsprechende *Reklamereglementierungen* finden sich sowohl auf kantonaler als auch auf kommunaler Stufe.

Kommunale Bau- und Nutzungsordnungen (BNO), Bau- und Zonenordnungen (BZO) oder Zonenpläne stellen ebenfalls rechtliche Instrumente dar, um den Schutz vor Lichtimmissionen zu regeln. Damit können je nach Zone unterschiedliche Nutzungsweisen und Emissionsvorschriften festgelegt werden. In Zonenplänen kann eine Gemeinde ganz konkret die Gebiete ausscheiden, in welchen sie einen definierten Einsatz von Licht zulassen oder verbieten will.

Schliesslich enthalten auch einige *kommunale Polizeigesetze und -reglemente* Vorschriften zur Vermeidung von Lichtemissionen. Dabei geht es um den Umgang mit akut auftretenden Störungen, während die allgemeinen Grundsätze der Vermeidung von schädlichen und lästigen Einwirkungen abschliessend durch das USG und dessen Ausführungsbestimmungen geregelt werden.

A3.4 Normen und Empfehlungen

Normen sind Dokumente, welche die charakteristischen Eigenschaften und Merkmale eines Produkts, eines Prozesses oder einer Dienstleistung beschreiben. Sie definieren den Stand der Technik und können empfohlene Eigenschaften, Prüfverfahren oder Sicherheitsanforderungen festlegen. Die Normen werden von privatrechtlichen Organisationen erlassen. Sie haben daher grundsätzlich den Charakter einer Empfehlung und ihre Einhaltung ist freiwillig. Rechtlich verbindlich werden Normen erst, wenn der Gesetzgeber in seinen Erlassen (Gesetzen, Verordnungen o. ä.) oder Behörden in ihren Verfügungen auf eine Norm verweisen oder wenn sie Gegenstand von Verträgen zwischen Parteien sind (SNV 2013).

Die internationalen und schweizerischen Organisationen, welche für die Normierung im Bereich Licht und Beleuchtung zuständig sind, sind in Tabelle 13 aufgelistet. Alle Normen tragen vor ihrer Normennummer eine alphanumerische Bezeichnung. Anhand dieser ist ersichtlich, woher eine Norm stammt und auf welcher Ebene (national, europäisch, weltweit) sie anerkannt ist. Schweizer Normen tragen grundsätzlich die Bezeichnung «SN». Normen, die auf europäischer Ebene erarbeitet und in das Schweizer Normenwerk aufgenommen wurden, werden mit «SN EN» bezeichnet.

Die Beleuchtungsnormen enthalten keine Kriterien für den Entscheid, ob zum Beispiel eine Strasse oder eine Anlage zu beleuchten ist. Ist der Entscheid für eine Beleuchtung gefallen, machen Normen Angaben dazu, wie viel Licht an einem bestimmten Ort vorhanden sein sollte, damit bestimmte Tätigkeiten ohne Schwierigkeiten oder Sicherheitsrisiken ausgeführt werden können. Einige wenige Normen machen zudem Vorgaben zur Begrenzung von Lichtemissionen in die Umgebung. Diese werden nachfolgend kurz beschrieben.

Tabelle 13: Überblick über die Zuständigkeiten für die Normierung im Bereich Licht und Beleuchtung

	Normen für Produkte (z. B. Sicherheitsaspekte, Leistung)	Normen für Anwendungen in spezifischen Situationen	Normen für Grundlagen und Messungen
Weltweit	IEC TC 34	ISO TC 274 Light and lighting (CIE)	CIE
Europa (EN Standard)	CENELEC TC 34	CEN TC 169 Light and lighting	(CEN TC 169)
Schweiz	CES TK 34	SNV INB NK 199 Licht und Beleuchtung	SLG

Abkürzungen: CEN: *Comité Européen de Normalisation / Europäisches Komitee für Normung*
 CENELEC: *Comité Européen de Normalisation Électrotechnique / Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung*
 CES: *Comité Électrotechnique Suisse*
 CIE: *Commission Internationale de l'Éclairage / Internationale Beleuchtungskommission*
 IEC: *International Electrotechnical Commission*
 INB: *Interdisziplinärer Normenbereich*
 ISO: *International Organization for Standardization*
 NK: *Normenkomitee*
 SLG: *Schweizer Licht Gesellschaft*
 SNV: *Schweizerische Normenvereinigung*
 TC/TK: *Technical Committee / Technisches Komitee*

A3.4.1 Internationale Norm

CIE 150 «Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations» (Leitfaden zur Begrenzung der Störlichtwirkungen von Aussenbeleuchtungsanlagen)

Mit ihrem «Leitfaden zur Begrenzung der Störlichtwirkungen von Aussenbeleuchtungsanlagen» (CIE 150) will die Internationale Beleuchtungskommission CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) mithelfen, Einflüsse von Aussenbeleuchtungen auf den Menschen und die Umwelt in einem tolerierbaren Rahmen zu halten. Sie empfiehlt dazu unter anderem auch Richtwerte zur Begrenzung der Wohnraumaufhellung und der belästigenden Blendung. Für eine Minderung der Himmelsaufhellung legt die CIE ebenfalls Richtwerte fest. Alle Werte unterscheiden sich je nach Siedlungsgebiet, und sie werden nach zwei Zeitfenstern differenziert (Pre-curfew¹⁴, Post-curfew); eine spezifische Uhrzeit wird jedoch nicht genannt.

Als Messgrösse für die Wohnraumaufhellung dient die vertikale Beleuchtungsstärke in Lux. Bewertet werden die Gesamtmissionen, die von allen Beleuchtungsanlagen in der Umgebung ausgehen und auf einen Wohnraum einwirken (vgl. Tabelle 14).

¹⁴ Unter «curfew» (= «Sperrstunde») wird eine «Ruhezeit» oder «Nachtzeit» verstanden. Nach dieser Zeit, die in den Schweizer Normen zur Beleuchtung von Sportstätten bzw. Arbeitsplätzen im Freien mit «Geltungszeit» bezeichnet wird, gelten strengere Richtwerte als vorher.

Tabelle 14: Normwerte zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung gemäss CIE (Auszug den Tabellen 1 und 2 der CIE150:2017)

Umgebungszone	Maximale vertikale Beleuchtungsstärke E_v in Lux	
	Pre-curfew (vor Geltungszeit)	Post-curfew (nach Geltungszeit)
E0 Intrinsically dark – UNESCO Starlight Reserves, IDA Dark Sky Parks, Major optical observatories	n/a*	n/a*
E1 Dark – Relatively uninhabited rural areas	2	<0.1**
E2 Low district brightness – Sparsely inhabited rural areas	5	1
E3 Medium district brightness – Well inhabited rural and urban settlements	10	2
E4 High district brightness – Town and city centres and other commercial areas	25	5

* n/a: nicht anwendbar

** Bei öffentlichen (Strassen-) Beleuchtungen darf dieser Wert bis 1 Lux betragen.

Zur Beurteilung der belästigenden Blendung wird die Lichtstärke der Leuchtquelle in Candela herangezogen. Die einzuhaltende maximale Lichtstärke variiert je nach Fläche der Leuchte und dem Abstand des Immissionsortes (vgl. Tabelle 3 der CIE150:2017). Für die Überprüfung bestehender Anlagen ist im Anhang C der CIE150:2017 eine Methode beschrieben (vgl. Tabelle 16), die auf der in Deutschland angewendeten Blendungsbewertung beruht (vgl. A3.4.3).

Tabelle 15: Proportionalitätsfaktor k zur Bestimmung der maximal zulässigen Leuchtdichte von technischen Lichtquellen während der Dunkelstunden auf Basis der Umweltzonen E0 bis E4 (gemäss Tabelle C.1 der CIE150:2017)

Umgebungszone	Proportionalitätsfaktor k	
	Pre-curfew (vor Geltungszeit)	Post-curfew (nach Geltungszeit)
E0 Intrinsically dark – UNESCO Starlight Reserves, IDA Dark Sky Parks, Major optical observatories	0	0
E1 Dark – Relatively uninhabited rural areas	32	0
E2 Low district brightness – Sparsely inhabited rural areas	64	32
E3 Medium district brightness – Well inhabited rural and urban settlements	96	32
E4 High district brightness – Town and city centres and other commercial areas	160	32

A3.4.2 Schweizerische Normen

SIA 491 (SN 586 491) «Vermeidung unnötiger Lichtimmissionen im Aussenraum»

Die Norm 491 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) «Vermeidung unnötiger Lichtimmissionen im Aussenraum» (SN 586 491) zielt ganz direkt auf eine haushälterische Lichtnutzung in der Umwelt ab. Sie richtet sich insbesondere an Architekten, Planer, Bauherren, Eigentümer, Betreiber und Vollzugsbehörden und soll diese Berufsgruppen auf das Thema aufmerksam machen. Die Norm versteht sich als Leitlinie beim gesamten Ablauf von Planung, Erstellung, Betrieb und Überprüfung von Aussenbeleuchtungen. Hierzu empfiehlt sie allgemeine planerische und technische Massnahmen zur Begrenzung von unerwünschten Lichtemissionen, sie enthält aber keine Richtwerte für eine Beurteilung von übermässigen Immissionen.

SN EN 12193 «Sportstättenbeleuchtung»

Die SN EN 12193 regelt, wie Sportstätten in Innen- und Aussenanlagen zu beleuchten sind. Sie gibt Sollwerte für Beleuchtungsstärken, Gleichmässigkeit, Blendungsbegrenzung und Farbeigenschaften der Lichtquellen an, die zur Planung und Überprüfung der Beleuchtung von Sportanlagen herangezogen werden können.

In Kapitel 6.10 «Störlicht» enthält die SN EN 12193 auch Richtwerte zur Begrenzung der Störwirkung auf Menschen in der Nachbarschaft. Dabei stützt sich die Norm auf die Vorgaben in der CIE 150 ab. Betrachtet werden jedoch nicht die Gesamtimmissionen, sondern die von einer einzelnen Anlage verursachten Immissionen. Die Messgrösse zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung ist die vertikale Beleuchtungsstärke in Lux. Zur Begrenzung der belastigenden Blendung wird die Lichtstärke der Leuchtquelle in Candela herangezogen. Die jeweiligen Richtwerte unterscheiden sich je nach Umgebungszone (dunkle Bereiche bzw. Bereiche mit geringer, mittlerer und hoher Gebietselligkeit). Die Werte werden nach zwei Zeitfenstern differenziert (vor und nach Geltungszeit); eine spezifische Uhrzeit wird jedoch nicht genannt (vgl. Tabelle 16).

Die Schweizer Lichtgesellschaft SLG hat mehrere Richtlinien mit Ergänzungen zu den Beleuchtungen für verschiedene Sportarten herausgegeben. In der Richtlinie SLG 301 «Beleuchtung von Sportanlagen: Teil 1 – Grundlagen, allgemein» finden sich auch Hinweise zur Reduktion von Lichtemissionen in die Umgebung einer Beleuchtungsanlage.

Tabelle 16: Normwerte zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung und Begrenzung der Lichtstärke gemäss SN EN 12193 «Sportstättenbeleuchtung» (Auszug der Tabelle 2 der SN EN 12193:2019)

Umgebungszone	Durchschnittliche vertikale Beleuchtungsstärke $E_{\text{vert Ave}}$ in Lux		Lichtstärke der Leuchte in Candela (cd)	
	Vor Geltungszeit	Nach Geltungszeit	Vor Geltungszeit	Nach Geltungszeit
E1 Dunkle Bereiche, wie z. B. Nationalparks oder geschützte Stätten	2	0	2 500	0
E2 Bereiche mit geringer Gebietselligkeit, wie z. B. Industriegebiete oder Wohngebiete in ländlicher Umgebung	5	1	7 500	500
E3 Bereiche mit mittlerer Gebietselligkeit, wie z. B. Industriegebiete oder Wohngebiete in Vororten	10	2	10 000	1 000
E4 Bereiche hoher Gebietselligkeit, wie z. B. Stadtzentren und Geschäftszentren	25	5	25 000	2 500

SN EN 12464-2 «Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien»

Die SN EN 12464-2 legt fest, wie verschiedene Arbeitsplätze im Freien wie Baustellen, Tankstellen, Industrieanlagen oder Bahnsteige im Hinblick auf Sehkomfort und Sehleistung auszuleuchten sind. In Kapitel 4.5 enthält die SN EN 12464-2 auch Richtwerte, um die Störwirkung von Aussenbeleuchtungsanlagen für die Umgebung gering zu halten. Dabei stützt sich die Norm auf die Vorgaben in der CIE 150 ab. Betrachtet werden jedoch nicht die Gesamtimmissionen, sondern die von einer einzelnen Anlage verursachten Immissionen. Die Messgrösse zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung ist die vertikale Beleuchtungsstärke in Lux (vgl. Tabelle 17). Zur Beurteilung der belästigenden Blendung wird die Lichtstärke der Leuchtquelle in Candela herangezogen.

Die jeweiligen Richtwerte unterscheiden sich je nach Umgebungszone (dunkle Bereiche bzw. Bereiche mit geringer, mittlerer und hoher Gebietshelligkeit). Die Werte werden nach zwei Zeitfenstern differenziert (vor und nach Geltungszeit); eine spezifische Uhrzeit wird jedoch nicht genannt.

Tabelle 17: Normwerte zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung gemäss SN EN 12464-2 «Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien» (Auszug der Tabelle 2 der SN EN 12464-2:2014)

Umgebungszone	Maximale vertikale Beleuchtungsstärke E_v in Lux	
	Vor Geltungszeit	Nach Geltungszeit
E1 Dunkle Bereiche, wie z. B. Nationalparks oder geschützte Stätten	2	0
E2 Bereiche mit geringer Gebietshelligkeit, wie z. B. Industriegebiete oder Wohngebiete in ländlicher Umgebung	5	1
E3 Bereiche mit mittlerer Gebietshelligkeit, wie z. B. Industriegebiete oder Wohngebiete in Vororten	10	2
E4 Bereiche hoher Gebietshelligkeit, wie z. B. Stadtzentren und Geschäftszentren	25	5

SN EN 13201 (SNR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -5) «Strassenbeleuchtung»

Die aus fünf Teilen bestehende SN EN 13201 (SNR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -5) gibt vor, wie Strassen zu beleuchten sind. In Anhang A4 von Teil 2 enthält die Norm auch qualitative Hinweise darauf, wie sich Störlicht auf Anwohner und angrenzende Gebiete verringern lässt. Seit 2016 lässt es die Norm zu, dass das Beleuchtungsniveau in verkehrsärmeren Zeiten abgesenkt wird, was neben Energieeinsparungen auch zur Verringerung von Lichtemissionen beitragen kann (vgl. Kap. A5.1). Die SLG hat in einer Richtlinie Ergänzungen zur Strassenbeleuchtungsnorm publiziert (SLG 202).

A3.4.3 Ausländische Regelungen, Normen und Empfehlungen

Deutschland: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI): «Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen» (2012)

Lichtemissionen und -immissionen fallen in den Geltungsbereich des Deutschen Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), dem Pendant zum Schweizerischen Umweltschutzgesetz in Deutschland. Gleich wie in der Schweiz hat auch in Deutschland der Gesetzgeber bislang keine konkreten Regelungen für Immissionen von künstlichem Licht erlassen. Um im Vollzug eine einheitliche Beurteilung der Lichtimmissionen bezüglich einer Schädlichkeit im Sinne des BImSchG vornehmen zu können, hat die Deutsche Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) im Jahr 1993 erstmals eine «Richtlinie zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen» publiziert. Nach umfangreichen Messungen von Beleuchtungsanlagen wurde die Richtlinie im Jahr 2000 eingehend überarbeitet und als

«Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen» veröffentlicht und 2012 nochmals angepasst. Strassenbeleuchtungen sind von den Empfehlungen ausgenommen (LAI 2012).

In den LAI-Hinweisen wird betreffend Wohnraumaufhellung die gleiche Beurteilungsgrösse wie bei der CIE herangezogen (Beleuchtungsstärke in Lux). Beurteilt werden hier jedoch nicht die Gesamtimmissionen, sondern die Immissionen, die eine einzelne Beleuchtungsanlage verursacht (vgl. Tabelle 18).

Bei der Beurteilung der belästigenden Blendung wendet die LAI im Vergleich zur CIE ein anderes Konzept an. Bei der LAI erfolgt eine Beurteilung, indem die mittlere Leuchtdichte der Blendlichtquelle in Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) mit einer maximal zulässigen mittleren Leuchtdichte verglichen wird. Diese ist abhängig von der Umgebungsleuchtdichte und vom Raumwinkel, unter dem die Blendlichtquelle am Immissionsort gesehen wird.

Die jeweiligen Richtwerte zur Bewertung der Wohnraumaufhellung und der belästigenden Blendung unterscheiden sich je nach Art des Siedlungsgebietes (Kurgebiete, reine Wohngebiete, Mischgebiete, Gewerbe- und Industriegebiete) und nach zwei Zeitfenstern (6–22 Uhr, 22–6 Uhr). Was die Höhe der Richtwerte anbelangt, folgt die LAI den «Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen» der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft (LiTG 12.3–2011).

In einem ersten Anhang gibt die LAI zudem «Hinweise über die schädliche Einwirkung von Beleuchtungsanlagen auf Tiere – insbesondere auf Vögel und Insekten» und unterbreitet «Vorschläge zu deren Minderung». Es handelt sich dabei um planerische und technische Massnahmen (z. B. Lichtlenkung, Spektrum der eingesetzten Leuchten etc.).

In einem zweiten Anhang (Stand 3.11.2015) finden sich «Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendungswirkung von grossflächigen Freiflächen-Photovoltaikanlagen im Rahmen von Baugenehmigungsverfahren».

Tabelle 18: Immissionsrichtwerte zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung gemäss LAI (Auszug der Tabelle 1 aus LAI 2012)

Immissionsort (Einwirkungsort)	Mittlere vertikale Beleuchtungsstärke E_v in Lux	
	6 bis 22 Uhr	22 bis 6 Uhr
Gebietsart nach deutscher Baunutzungsverordnung (BauNVO)		
1 Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten*	1	1
2 reine Wohngebiete allgemeine Wohngebiete besondere Wohngebiete Kleinsiedlungsgebiete Erholungsgebiete	3	1
3 Dorfgebiete Mischgebiete	5	1
4 Kerngebiete** Gewerbegebiete Industriegebiete	15	5

* Wird die Beleuchtungsanlage regelmässig weniger als eine Stunde pro Tag eingeschaltet, gelten auch für die in Zeile 1 genannten Gebiete die Werte der Zeile 2.

** Kerngebiete können in Einzelfällen bei geringer Umgebungsbeleuchtung auch Zeile 3 zugeordnet werden.

Frankreich: Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses

Die «Verordnung zur Vermeidung, Reduktion und Begrenzung der Lichtverschmutzung vom 27. Dezember 2018» (Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses) stützt sich auf das französische Umweltschutzgesetz (Code de l'environnement) ab, in welchem vorgeschrieben wird, dass belästigende Lichtemissionen zu vermeiden sind. Die französische Verordnung enthält technische Vorschriften zur Gestaltung und zum Betrieb von Aussenbeleuchtungsanlagen sowie Innenbeleuchtungen, deren Licht nach aussen dringt.

Wie z. B. in der CIE 150 werden in dieser Verordnung verschiedene Umgebungszonen definiert, für die – je nach Sensibilität – unterschiedlich strenge Vorschriften hinsichtlich Beleuchtungsdauer, Beleuchtungsstärke und Farbtemperatur gelten. Grundsätzlich steht festgeschrieben, dass Beleuchtungsanlagen keinen Lichtstrom über die Horizontale abgeben dürfen. Ausserdem darf die Farbtemperatur bei der öffentlichen Beleuchtung (inkl. Baustellenbeleuchtung) höchstens 3000 K betragen. In regionalen Naturparks darf die Farbtemperatur in bebauten Gebieten nicht höher als 2400 K sein, in unbebauten Gebieten nicht höher als 2000 K.

Österreich: ÖNORM O 1052 «Lichtimmissionen – Messung und Beurteilung»

Ziel der österreichischen ÖNORM O 1052 ist es, Richtwerte für maximal zulässige Lichteinwirkungen auf Mensch und Umwelt festzulegen, die durch künstliche Lichtquellen aller Art, aber auch durch beleuchtete Fassaden oder Schilder entstehen. Die Einwirkungen von Strassenbeleuchtungen auf die Umgebung fallen ebenfalls unter diese Norm.

Messgrösse zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung ist die vertikale Beleuchtungsstärke in Lux. Massgebend sind die Gesamtimmissionen. Die Richtwerte unterscheiden sich je nach Siedlungszone (bebautes Gebiet mit besonderem Schutzbedürfnis, Wohngebiet, Mischgebiete, Kerngebiete) und nach drei Zeitfenstern (6–20 Uhr, 20–22 Uhr, 22–6 Uhr). Die Richtwerte für das erste Zeitfenster entsprechen den Werten der CIE 150 und die Werte für die Zeiträume zwei und drei den Werten der LAI. Die belästigende Blendung wird analog der LAI anhand der Leuchtdichte in Candela pro Quadratmeter bewertet.

Zusätzlich macht die ÖNORM – als einzige der hier erwähnten Normen – auch quantitative Vorgaben zur Begrenzung der Wohnraumaufhellung durch Strassenbeleuchtungen sowie zur Begrenzung von Aufhellungen der Natur und Umwelt («Umweltaufhellungen»).

A4 Grossräumige Lichtplanung und Konzepte

A4.1 Grundsätzliches

In der Praxis finden sich verschiedene Ansätze, um das Thema Reduktion von Lichtemissionen in (raum)planerischen Prozessen einzubeziehen:

- *Richtpläne*: Einzelne Kantone haben in ihren Richtplänen Planungsgrundsätze zur Reduktion von Lichtemissionen festgelegt. So halten zum Beispiel die Kantone Schaffhausen und Thurgau in ihren Richtplantexten fest, dass eine künstliche Aufhellung des Nachthimmels möglichst zu vermeiden ist und Beleuchtungsanlagen so zu optimieren sind, dass die Objekte gezielt und effizient beleuchtet werden (Kanton Schaffhausen 2014, Kanton Thurgau 2009).
- *Kommunale Bau- und Nutzungsordnungen (BNO), Bau- und Zonenordnungen (BZO) oder Zonenpläne*: Solche kommunalen Planungsinstrumente regeln die Bau- und Nutzungsweise von Grundstücken und können damit auch den Schutz vor Lichtimmissionen verbindlich festlegen und zum Beispiel je nach Zone unterschiedliche Nutzungsweisen und Emissionsvorschriften vorschreiben. In einem Zonenplan kann eine Gemeinde ganz konkret die Gebiete ausscheiden, in welchen sie einen definierten Einsatz von Licht zulassen oder verbieten will.
- In Ergänzung zu den raumplanerischen Instrumenten, welche die grundsätzliche Nutzung und Entwicklung einer Region oder Gemeinde regeln, wurden in den letzten Jahren an manchen Orten auch spezifische *Beleuchtungskonzepte oder -strategien* entwickelt, die etwa die Bezeichnungen «*Plan Lumière*» oder «*Licht-Masterplan*» tragen.

Die ersten derartigen Beleuchtungskonzepte waren in erster Linie als strategische gestalterische Mittel gedacht, um den öffentlichen Raum und die städtische Landschaft in der Nacht aufzuwerten und gut präsentieren zu können. Als Vorreiterin im europäischen Raum gilt die Stadt Lyon in Frankreich, die 1989 ihren ersten Plan Lumière erstellte. Anliegen bezüglich Ökologie oder Energieeffizienz kamen bei solchen Licht-Masterplänen erst im Laufe der Zeit dazu, im Beispiel von Lyon erst bei der zweiten Version im Jahr 2004 (Daouk 2015).

Eine Reduktion der Lichtemissionen dient dabei nicht nur dem Umweltschutz, sondern auch der Qualität des Ortsbildes in der Nacht. Bei der Erarbeitung von entsprechenden Konzepten (z. B. bei den Plans Lumière in Luzern und Zürich) wurde nämlich die Erfahrung gemacht, dass die Innenstädte bereits derart hell waren, dass besondere Gebäude oder Objekte gar nicht mehr zur Geltung gebracht werden konnten, weshalb es auch aus gestalterischer Sicht Sinn machte, das Beleuchtungsniveau insgesamt zu senken (Stadt Luzern 2006, Hönig 2004). Der zunehmend bewusster Umgang mit Helligkeit und Dunkelheit führte dazu, dass in Ergänzung zum «Plan Lumière» zum Teil auch in einem «*Plan des ombres*» Zonen ausgeschieden werden, in welchen auf einen Einsatz von Licht zu verzichten ist, so etwa in der Stadt Lausanne (Henninger 2015).

Neben grösseren Städten wie Basel, Genf, Lausanne, Luzern, Winterthur oder Zürich haben mittlerweile auch kleinere Städte und Gemeinden (wie Carouge, Thalwil, Ortszentrum Schwyz, Rheinfelden oder Zofingen) ein Lichtkonzept entwickelt oder sind dabei, ein solches zu erstellen.

Ein derartiges Beleuchtungskonzept dient:

- der übergeordneten strategischen Planung von Licht (und Dunkelheit) in einem grösseren Gebiet und für einen längeren Zeitraum;
- als Koordinationsinstrument für die verschiedenen beteiligten Stellen und Akteure.

A4.2 Beleuchtungskonzepte

A4.2.1 Empfehlung zur Erstellung eines Beleuchtungskonzepts

Eine bewusste Auseinandersetzung mit Beleuchtung und Dunkelheit in einer Region oder in einer Gemeinde führt idealerweise zu einem haushälterischen Umgang mit Licht und Energie und zu einer Verminderung von Lichtemissionen.

- Wenn in einer Region oder Gemeinde grössere Erneuerungen der Beleuchtung anstehen (wie ein Ersatz von Strassenbeleuchtungen), empfiehlt es sich, als strategisches Instrument ein übergeordnetes Beleuchtungskonzept, eine Beleuchtungsplanung oder -strategie zu entwickeln.
- Ein solches Konzept kann je nach Grösse der Region, für die es vorgesehen ist, unterschiedlich umfangreich ausfallen. Im Minimum sollten allgemeine Grundsätze zur Beleuchtung vorhanden sein.

A4.2.2 Hinweise zur Erarbeitung eines grossräumigen Beleuchtungskonzepts

Eine in die Stadt- oder Regionalplanung eingebettete Lichtplanung ist eine relativ junge städtebauliche-gestalterische Disziplin. Es hat sich daher noch kein Instrumentarium etabliert, mit dem Lichtkonzepte entwickelt, beschlossen, umgesetzt und hinsichtlich der Einhaltung ihrer Vorgaben rechtlich abgesichert werden. In der Praxis geschieht die Erarbeitung und Umsetzung entsprechender Beleuchtungskonzepte oft in drei Phasen: Bestandsaufnahme, Konzeption und Umsetzung. Dabei werden etwa folgende Fragestellungen erörtert (vgl. z. B. Schmidt 2007, Stadt Zürich 2004, Stadt Luzern 2006, Aeberhard 2015, Herfort 2015, Gemeinde Thalwil 2015):

A) Bestandsaufnahme

- Unterscheidung verschiedener Gebiete und ihrer Funktion innerhalb des Projektperimeters (z. B. Kernzone, Wohnzonen, Gewerbe- und Industriegebiete, Grünräume, Schulen, Sport- und Freizeitanlagen, Wohnen im Alter etc.)
- Vorhandene Verkehrsachsen, Strassen, Wege, Plätze
- Vorhandene Naturräume und Vorkommen lichtsensibler Tierarten (z. B. Parks, Uferbereiche, Waldränder, Tagesquartiere von Fledermäusen, Brut- und Nistplätze von Vögeln in Stadtmauern und -türmen, etc.)
- Vorhandene öffentliche und private Beleuchtungen (samt Leuchtentypen, Energieverbrauch, z. T. Messungen vorhandener Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten auf Strassen und Plätzen sowie an Gebäudefassaden)
- Analyse der nächtlichen Nutzung der identifizierten Gebiete in der Stadt durch ihre Bewohner
- Evaluation der bestehenden Beleuchtung:
 - Wo ist die Beleuchtung bereits sinnvoll eingesetzt?
 - Wo gibt es Defizite bei der Beleuchtung (z. B. Angsträume, die gemieden werden)?
 - Wo ist zu viel Licht vorhanden?
 - Wo gibt es Streulicht in den Nachthimmel oder in angrenzende Wohnungen oder Naturräume?
 - Wo sind licht sensible Tierarten beeinträchtigt?

B) Konzeption

- Definition grundsätzlicher Ziele und Leitideen (z. B. bezüglich Verbesserung von Orientierungsmöglichkeiten und Sicherheit, Energie- und Kosteneinsparungen, Reduktion der Lichtemissionen, Einbezug der Bevölkerung etc.)
- Definition raumbezogener Ziele
Wie soll die nächtliche Strukturierung einer (Stadt-)Landschaft erfolgen? Welche Räume sollen nachts wie genutzt oder geschützt werden? Wie sollen die Verbindungswege aussehen? Die Auscheidung verschiedener räumlicher Zonen, in welchen Beleuchtung und Dunkelheit unterschiedlich angewendet werden sollen, lassen sich auch in einem Plan bildlich darstellen (vgl. Abbildung 17).
- Entwicklung von Beleuchtungskonzepten für den gesamten Perimeter und für einzelne Teilbereiche. Die Lichtplanung unterscheidet folgende Aufgaben des Lichts (vgl. z. B. Schmidt 2007, Ullmann 2015):

- Licht zum Sehen: funktionales Licht (z. B. öffentliche Beleuchtung von Strassen und Plätzen)
- Licht zum Hinsehen: Akzentlicht (z. B. Anstrahlung von besonderen Gebäuden): Dient dazu, einen Nachraum erfahrbar zu machen, indem gewisse Bereiche oder Objekte hervorgehoben und andere zurückgenommen werden. Dabei soll Licht die Wahrnehmung lenken, aber nicht selbst in Erscheinung treten, sondern «es soll den Anschein erwecken, als würden die Elemente aus sich selbst leuchten» (Schmidt 2007, S. 28).
- Licht zum Ansehen, zum Darstellen: Licht wird zum Informationsträger (z. B. Leuchtreklame)
- Planung der Bau- und Betriebskosten für die Umsetzung

C) Umsetzung

- Rechtsinstrumente:
Sind Anpassungen in Rechtserlassen notwendig (z. B. Bau- und Zonenordnung, Planungs- und Baugesetz, Reklamereglement etc.)?
- Zusammenarbeit:
 - Behörden untereinander:
Überprüfen von Verfahrensabläufen bei Bewilligungen (Sicherstellung des Miteinbezugs aller relevanten Fachstellen und allenfalls Optimierung der diesbezüglichen Abläufe).
 - Public-Private-Partnership:
Ziel von Public-Private-Partnership-Projekten ist es, private Akteure, die ihre Liegenschaften beleuchten (z. B. Hotels, Restaurants etc.), in das übergeordnete Beleuchtungskonzept einzubinden. Dabei sollen Synergien zwischen der öffentlichen Hand und den privaten Akteuren geschaffen und die Finanzierung ausgehandelt werden. Die Privaten profitieren dabei von einer fachgerechten Planung und Ausführung, und die öffentliche Hand hat Gewähr, dass im spezifischen Projekt die Grundsätze des übergeordneten Konzepts umgesetzt werden.
- Realisierungsplan / Etappierung:
Ein Plan Lumière besteht aus verschiedenen Vorhaben, die in der Regel über einen längeren Zeitraum (mehrere Jahre) realisiert werden. Entsprechend ist ein Realisierungsplan in Phasen notwendig.
- Controlling:
 - Überprüfung der Einhaltung der Vorgaben des Konzepts bei der Realisierung einzelner Vorhaben
 - Periodische Überprüfung der grundsätzlichen Vorgaben des Beleuchtungskonzepts:
Da die Umsetzung eines solchen strategischen Beleuchtungskonzepts über einen längeren Zeitraum erfolgt, in welchem es zu einer Weiterentwicklung der Beleuchtungstechnik, der Normen oder Regelwerke kommen kann, braucht es von Zeit zu Zeit eine Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung der grundsätzlichen Vorgaben.

Praxisbeispiel: Definition raumbezogener Ziele im Masterplan Licht der Gemeinde Thalwil

Abbildung 17: Beispiel einer bildlichen Darstellung, welche Lichtgestaltungen in welchen Gebieten der Gemeinde vorgesehen sind (Quelle: Gemeinde Thalwil 2015).

A4.2.3 Einbezug mitinteressierter Stellen und der Bevölkerung

Von verschiedener Seite bestehen unterschiedliche Ansprüche an die Raumnutzung und die Beleuchtung bzw. Dunkelheit. Bei der Ausarbeitung eines übergeordneten Beleuchtungskonzepts sind daher die betroffenen Fachstellen der Verwaltung und Akteursgruppen einzubeziehen, damit die verschiedenen Anliegen gegeneinander abgewogen und allenfalls Kompromisse gefunden werden. Bei einem partizipativ entwickelten Konzept ist davon auszugehen, dass es anschliessend auch bei der Umsetzung von allen beteiligten Akteuren mitgetragen wird.

Wichtige einzubeziehende Stellen und Akteure sind zum Beispiel:

- Politisch Verantwortliche (z. B. Gemeinderat, Stadtrat)
- Baubehörde (z. B. Tiefbauamt, Planungsamt, Bauamt etc.)
- Finanzverantwortliche

- Betreiber der öffentlichen Beleuchtung (Kanton, Gemeinde, z. T. Elektrizitätswerk, Dritte)
- Beleuchtungsexperten, Lichtplanerinnen und -planer
- Zuständige für die öffentliche Sicherheit (z. B. Polizei, Stadtplanungsamt etc.)
- Umwelt- und Naturschutzbehörden
- Andere Akteure wie Denkmalpflege, touristische Akteure, Schulverwaltung, Sportbehörden, Umweltschutzorganisationen etc.
- Bevölkerung

Menschen haben je nach Alter, Geschlecht oder Lebensumständen unterschiedliche Sicherheitsbedürfnisse und Ansprüche an die Beleuchtung (vgl. auch Anh. A4.2.5). Um diese verschiedenen Bedürfnisse abzuholen sowie um Verständnis für eine geplante Änderung der Beleuchtung zu schaffen, empfiehlt es sich, die Bevölkerung in die Erarbeitung des Beleuchtungskonzepts miteinzubeziehen. Dies kann zum Beispiel geschehen über:

- Informationsveranstaltungen:
Öffentliche Angebote für Informationen und Anschauungsbeispiele können zum Austausch und zur Sensibilisierung der Bevölkerung dienen (vgl. Praxisbeispiel «Fête de la Nuit» in Anh. A5.1.4).
- Befragungen:
Befragungen können sowohl den Ist-Zustand, die Ansprüche an eine zukünftige Beleuchtung als auch Erfahrungen in einem Testbetrieb mit umgestellter Beleuchtung zum Gegenstand haben. Auch wenn Ängsten im Zusammenhang mit der Sicherheit wegen der Änderung des Beleuchtungskonzepts (z. B. bei Nachtabstaltungen oder -reduktionen) begegnet werden soll, sind anonyme Befragungen wichtig, denn bei öffentlichen Veranstaltungen werden solche Ängste in der Regel nicht geäußert.
- «Lichtspaziergänge»:
Auf nächtlichen «Lichtspaziergängen» mit Gruppen aus der Bevölkerung können diese direkt vor Ort auf Räume hinweisen, die sie als zu dunkel und unsicher empfinden. Oder verschiedene Varianten einer neuen Beleuchtung können in der realen Umgebung bemustert und diskutiert werden.

A4.2.4 Fragestellungen im Hinblick auf eine Begrenzung der Emissionen

Die nachfolgenden Fragen und Hinweise können helfen, um bei der Entwicklung von übergeordneten Beleuchtungskonzepten auch unerwünschte Emissionen zu begrenzen.



[1] Notwendigkeit

- Wo, in welchen Gebieten braucht es Licht und in welchen soll kein Licht zum Einsatz kommen?
- Wie will die Region / die Gemeinde mit öffentlichen Lichtern umgehen? Zum Beispiel:
 - Funktionales Licht (Licht zum Sehen): Wo braucht es eine Beleuchtung von Strassen und Plätzen und wo nicht?
 - Akzentlicht (Licht zum Hinsehen): Sollen gewisse Gebäuden angestrahlt werden oder sollen bestehende Beleuchtungen rückgebaut oder optimiert werden?
- Wie will die Region / die Gemeinde mit privaten Lichtern umgehen? Zum Beispiel:
 - Kommerzielles Licht (Licht zum Ansehen): Sind (strengere) Vorgaben für Reklamebeleuchtungen notwendig?
 - Privates Licht wie Schaufensterbeleuchtungen, Anstrahlung privater Häuser, Weihnachtsbeleuchtungen etc.: Sollen Public-Private-Partnership-Projekte zum Einbezug von Privaten aufgelegt, allgemeine Vorgaben in der Bau- und Zonenordnung festgeschrieben oder eine Sensibilisierungskampagne gestartet werden?



[2] Intensität / Helligkeit

- Wo braucht es (zu welcher Zeit) welche Helligkeit?
- Gibt es Normvorgaben, die einzuhalten sind?
- Passt eine bestimmte Beleuchtung in die Umgebung?



[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

- In grossräumigen Beleuchtungskonzepten wird teilweise auch festgelegt, in welchen Gebieten welche Lichtfarbe (Farbtemperatur) zur Anwendung kommen soll. Hierbei kann es zu Zielkonflikten zwischen verschiedenen Anforderungen wie gestalterischen Aspekten (bebagliche Atmosphäre), Sicherheitsüberlegungen, Energieeffizienz und möglichst geringen negativen Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen kommen (vgl. Kap. 3.3.3).



[4] Auswahl und Platzierung von Leuchten

- Zum Teil werden in übergeordneten Beleuchtungskonzepten auch konkrete Anforderungen an die technische Ausgestaltung der Beleuchtungen und deren Anordnung definiert oder sogar der Einsatz von bestimmten Technologien vorgeschrieben (z. B. Anstrahlungen von Fassaden nur mit Projektionsverfahren oder fokussierter Beleuchtung, vgl. Anh. A5.7).
- Um solche Vorgaben machen zu können, muss Klarheit über die aktuellen technischen Lösungen bestehen: Welche technischen Möglichkeiten existieren, um die situationsspezifischen erforderlichen Beleuchtungsbedürfnisse zu erfüllen und gleichzeitig die unnötigen Emissionen zu begrenzen?



[6] Zeitmanagement / Steuerung

- Wann braucht es Licht? Können bestimmte Beleuchtungen ab einer gewissen Zeit reduziert oder ganz ausgeschaltet werden?
- Welche (technischen oder betrieblichen) Möglichkeiten zur zeitlichen Steuerung bestehen bei verschiedenen Beleuchtungsquellen?

Praxisbeispiel: Grundsätzliche Vorgaben zur Verringerung der Lichtemissionen im Plan Lumière Lausanne

Im Plan Lumière der Stadt Lausanne wurde mit folgenden Grundsätzen auf eine Reduktion der Lichtemissionen hingewirkt (Henninger 2015):

- Ein «Plan des ombres» legt Gebiete fest, in welchen die nächtliche Dunkelheit zu respektieren ist.
- Die Beleuchtung im Stadtgebiet wird auf die je nach Tageszeit verschiedenen Aktivitäten angepasst. Dabei kommen folgende konkreten Zeiträume zur Anwendung:
 - 17 bis 21 Uhr: Ende von Schule und Arbeit
 - 21 bis 24 Uhr: nächtliche Aktivitäten wie Restaurant- und Kinobesuche etc.
 - 0 bis 5 Uhr: Ausgang in Bars und Diskotheken, aber auch durchgehende Aktivitäten bei Spitälern und Apotheken
 - 5 bis 8 Uhr: Pendlerwege zur Schule und zur Arbeit
- Die Höhe der Leuchten über Boden (sog. Lichtpunkthöhe) wurde verringert, was es erlaubt, das Licht gezielter auszurichten.
- Rückbau von Kugelleuchten: 1310 bestehende Kugelleuchten wurden durch abgeschirmte Leuchten ersetzt.

Praxisbeispiel: Grundsätzliche umweltspezifische Vorgaben im Plan Lumière Luzern zum Schutz von Arten und ökologisch sensiblen Lebensräumen

Um die ökologischen Auswirkungen der Beleuchtung möglichst gering zu halten, macht der Plan Lumière von Luzern folgende grundsätzlichen Vorgaben:

- «Ein massvoller Einsatz von Licht, abgestimmt auf ökologische Belange insbesondere hinsichtlich Beleuchtungsstärken und Zeitmanagement, ist einzuhalten.
- Die Anstrahlung von ökologisch sensiblen Bereichen, wie z. B. Waldränder, Ufergebiete naturnaher Gewässer, Nistplätze, ist generell nicht zulässig.
- Ist dies aus Sicherheitsgründen nicht möglich, muss die ökologisch verträglichste Beleuchtung gewählt werden.
- Die vermehrte Anziehung von Insekten durch frei abstrahlende oder ungenügend abgeschirmte Leuchtmittel ist nicht zulässig. Um das Eindringen von Insekten in die Leuchten zu verhindern, müssen geschlossene Leuchten eingesetzt werden.
- Das künstliche Erhellten des Nachthimmels (Lichtemissionen) durch übermässiges Streulicht ist nicht zulässig. Der Einsatz von Skybeamern oder ungenügend ausgerichteten Uplights ist nicht gestattet.» (Stadt Luzern 2010a, S. 3)

A4.2.5 Einbezug sicherheitsrelevanter Aspekte in übergeordnete Beleuchtungskonzepte

Bei der *Sicherheit* ist grundsätzlich zwischen *objektiver Sicherheit* (Delikte wie Raubüberfälle, Entreissdiebstähle, Körperverletzungen oder Einbrüche) und dem *subjektiven Sicherheitsempfinden* zu unterscheiden (vgl. A2.2). Letzteres kann je nach Bevölkerungsgruppe sehr verschieden sein. Um bei der Planung der Beleuchtung unnötige Lichtemissionen zu vermeiden und dabei gleichzeitig dem Aspekt der Sicherheit genügend Rechnung zu tragen, können folgende Hinweise nützlich sein:

- *Soziale Kontrolle:*
Licht kann seine Sicherheitsfunktion erst dann erfüllen, wenn soziale Kontrolle möglich ist. Ist keine soziale Kontrolle möglich, verbessert eine Beleuchtung die Sicherheit eines Raumes nicht.
- *Licht richtig einsetzen:*
Zur Erhöhung der Sicherheit braucht es nicht mehr Licht, sondern das richtige Licht. Eine schlechte Beleuchtung kann gefährlicher sein als keine Beleuchtung.
- *Möglichst gleichmässig beleuchten, keine abrupten Lichtkontraste:*
Eine gleichmässige Beleuchtung erleichtert Erkennbarkeit und Orientierung, indem Blendungen und Dunkelzonen vermieden werden. Starke Lichtkontraste führen zu Blendungen und Bühneneffekten. Dadurch können z. B. potentielle Täter andere Personen beobachten, ohne dass sie selbst gesehen werden, oder nach Delikten durch dunkle Seitengassen unerkannt flüchten.
- *Vorhandene Beleuchtung miteinbeziehen:*
Bei der Beleuchtungsplanung ist auch die vorhandene Beleuchtung im Umfeld zu prüfen, um zu starke Kontraste zu vermeiden. Allenfalls sind bestehende Beleuchtungen zu reduzieren.
- *Zeitliche Veränderungen der Beleuchtung koordinieren:*
Auch bei zeitlichen Veränderungen der Beleuchtung (z. B. Herunterdimmen, Abschaltungen) empfiehlt es sich, die Umgebung miteinzubeziehen, so dass die Änderungen zeitlich und räumlich gleichmässig erfolgen.
- *Orientierungsmöglichkeiten schaffen:*
Eine gute Orientierungsmöglichkeit hat einen positiven Einfluss auf das Sicherheitsempfinden. Neben der richtigen Beleuchtung trägt auch eine gute Raumgestaltung (Sichtachsen, Wegführung, Zielpunkte etc.) zu einer Verbesserung der Orientierung bei.
- *Unterschiedliche Sicherheitsbedürfnisse berücksichtigen:*
Verschiedene Gruppen der Bevölkerung haben ein sehr unterschiedliches Sicherheitsempfinden. Es ist daher zu berücksichtigen, welches die primären Nutzungsgruppen eines Raumes sind und

wie deren Sicherheitsbedürfnisse aussehen. Hinweise dazu, wie die Bevölkerung einbezogen werden kann, finden sich in Anhang A4.2.2.

- *Angenehme Atmosphäre mit warmweissem Licht:*
Warmweisses Licht wird von vielen Menschen als angenehmer empfunden als neutral- oder kaltweisses Licht. Dort, wo man sich wohl fühlt, fühlt man sich auch sicherer.
- *Unterschiedliche Beleuchtung für unterschiedliche Raum-Funktionen:*
Innerhalb eines Raumes kann es Teilräume geben, die unterschiedliche Funktionen haben (z. B. Haupt- und Seitenwege in einem Park). Diese Funktionen können durch eine unterschiedliche Beleuchtung (Intensität, Lichtfarbe) oder durch einen Verzicht auf Beleuchtung hervorgehoben werden.
- *Besonderer Lichteinsatz bei potentiellen Gefahrenstellen:*
Zum Sichtbarmachen von potentiellen Gefahren- und Konfliktstellen kann punktuell eine andere Beleuchtung gewählt werden als für den Rest eines Raumes (z. B. neutralweisses Licht gezielt in einem Raum einsetzen, in dem sonst warmweisses Licht eingesetzt wird) oder eine punktuelle zusätzliche Beleuchtung angebracht werden (vgl. Abbildung 18).

A4.2.6 Einbezug der Ansprüche von älteren Menschen an die Beleuchtung

Im Laufe des Lebens nimmt die Sehleistung der Augen ab und die Blendungsgefahr steigt, da die Trübungen in den verschiedenen Augenbestandteilen wie Hornhaut, Linse und Glaskörper zunehmen. Ältere Menschen haben daher andere Bedürfnisse an die Beleuchtung, um sich sicher fortbewegen zu können (Age Stiftung 2006):

- Ältere Menschen benötigen für die gleiche Sehleistung mehr Licht als jüngere. Gleichzeitig sind ihre Augen empfindlicher für Blendungen. Im Innenraum ist daher eine indirekte Beleuchtung (weniger Blendung) von Vorteil. Im Aussenraum können farbliche Kontraste von Oberflächen (z. B. bei Absätzen, Strassenübergängen etc.) zu einer besseren Orientierungsmöglichkeit für ältere Menschen beitragen (vgl. Abbildung 18).
- Im Dämmerungs- und Nachtsehen ist die Empfindlichkeit des menschlichen Auges in Richtung des grün-blauen Spektrumbereichs verschoben, weshalb Licht mit einem hohen Blauanteil für den Menschen bei gleicher Intensität heller erscheint als Licht mit wenig Blau im Spektrum. Mit zunehmendem Alter kommt es zu einer Gelbtrübung der Linsen. Solche Linsen streuen kurzwellige Lichtanteile stärker und filtern den Blauanteil des Lichts heraus. Da neutral- und kaltweisses Licht in der Regel einen höheren Blauanteil aufweist als warmweisses, hat es für ältere oder sehbehinderte Menschen den Vorteil, dass trotz stärkerer Filterung in der Linse noch gewisse Blauanteile auf der Netzhaut ankommen. Bei Beleuchtungen im Aussenraum kann die Anwendung von neutral- oder kaltweissem Licht jedoch zu Zielkonflikten mit dem Schutz der Natur oder der jüngeren Bevölkerung führen, da Licht mit einem möglichst geringen Blauanteil weniger potentiell negative Auswirkungen hat und oft auch als angenehmer empfunden wird.
- Ältere Menschen sehen Lichtquellen im Vergleich zu jüngeren häufig aus einer anderen Perspektive (Rollstuhl, gebeugte Haltung). Deshalb können sie auch solches Licht als störend empfinden, das jüngeren Menschen nichts ausmacht (z. B. Blendung infolge Blick von unten in eine Lichtquelle).
- Für ältere Menschen hat Licht häufig auch eine Orientierungs- und Leitfunktion. Dies kann unterstützt werden, indem unterschiedliche Raumtypen unterschiedlich beleuchtet werden.



Abbildung 18: Im Quartier du Rôtillon von Lausanne werden die Treppen mit im Handlauf platzierten LED zusätzlich beleuchtet. Die einzelnen Absätze sind zudem noch mit weissen, rutschfesten Streifen versehen, die den Kontrast erhöhen (Quelle: Ville de Lausanne¹⁵).

¹⁵ <https://www.lausanne.ch/ressources/diapos/urbanisme/eclairage-public/rotillon/index.html>, Foto: Elisabeth Fransdonk - EMO-PHOTO

A5 Spezifische Massnahmen für verschiedene Beleuchtungssituationen und -anlagen

A5.1 Strassenverkehrsinfrastruktur (Strassenbeleuchtungen)

A5.1.1 Grundsätzliches

Die Beleuchtung der Strassen – ursprünglich zur Verbesserung der öffentlichen Ordnung und sozialen Sicherheit eingeführt – ist mit zunehmendem Motorisierungsgrad der Verkehrsteilnehmenden zu einem zentralen Aspekt der Verkehrssicherheit geworden (vgl. Anh. A2.3.2).

Wegen der langen zusammenhängenden Beleuchtungsstruktur und der oftmals geringen Distanz zu angrenzenden Häusern können Strassenbeleuchtungen jedoch auch eine Hauptquelle von Lichtemissionen für angrenzende Naturräume sowie für Anwohnerinnen und Anwohner darstellen. So haben Berechnungen und Messungen gezeigt, dass bei sehr nahe an den Fassaden positionierten Leuchten (1 m oder weniger) sehr hohe vertikale Beleuchtungsstärken auf den Fassaden erreicht werden (z. T. weit über 100 Lux). Sind die Distanzen zwischen der nächsten Leuchte und der Fassade grösser, ist auch die Intensität der Immissionen bedeutend kleiner und kann deutlich unter 1 Lux liegen (SLG 2016, Rechsteiner & Anderle 2015).

2018 wurden in der Energieeffizienzverordnung (*EnEV*, SR 730.02) neue Effizienzvorschriften für Leuchtmittel festgelegt¹⁶. Entsprechend dürfen ineffiziente Leuchtmittel wie Quecksilberdampflampen nicht mehr verkauft werden, und es sind stattdessen effizientere Technologien wie insbesondere LED einzusetzen. Öffentliche Beleuchtungen werden daher vielerorts auf energieeffizientere Systeme umgerüstet. Bei der Erneuerung bestehender Anlagen beträgt der LED-Anteil heute rund 85 % und beim Bau neuer Strassenbeleuchtungen gelangt sogar fast ausschliesslich LED zur Anwendung (Energie-Schweiz 2016).

Neben ihrer grundsätzlich guten Energieeffizienz bergen LED-Leuchten zusätzlich grosse Einsparpotenziale, weil sie sich ohne Verzögerung einschalten sowie stufenlos dimmen lassen. In Kombination mit intelligenten Steuerungssystemen ist es damit möglich, auch lichtstarke öffentliche Beleuchtungen bedarfsgerecht zu steuern und so im Vergleich zu bestehenden Anlagen mit Natriumdampflampen über 80 % Strom einzusparen (vgl. Anh. A2.5).

Die Umrüstungen von Strassenbeleuchtungen zur Steigerung der Energieeffizienz bieten immer auch eine Gelegenheit, die Lichtemissionen in die Umgebung zu reduzieren. So können LED-Leuchten das Licht gezielter ausrichten und in ihrer Intensität genauer regulieren als bisherige Technologien (vgl. Anh. A2.4).

Eine Strasse liegt entweder in der Zuständigkeit des Bundes (Nationalstrassennetz), eines Kantons (Kantonsstrassen) oder einer Gemeinde. Der Entscheid, ob eine bestimmte Strasse beleuchtet werden soll oder nicht, wird entsprechend durch die zuständige nationale, kantonale oder kommunale Behörde getroffen (z. B. Tiefbauamt des Kantons oder der Stadt bzw. Bauamt der Gemeinde).

[1]¹⁷ Notwendigkeit der Beleuchtung



Nur dort beleuchten, wo es Licht braucht. Dies kann im Rahmen des Planungsprozesses unter Miteinbezug der relevanten Fachstellen und Interessengruppen (vgl. Anh. A5.1.3) definiert werden:

- Wo braucht es eine Beleuchtung?
- Wo kann auf eine Beleuchtung verzichtet werden?
- Rückbau bestehender Anlagen prüfen.

Zur Frage, auf welchen Strecken und zu welchem Zeitpunkt eine Strassenbeleuchtung notwendig ist, gibt es keine allgemeingültigen Richtlinien, sondern es handelt sich dabei um ein individuelles, situati-

¹⁶ Die EnEV enthält Anforderungen an die Energieeffizienz von Leuchtstofflampen, Hochdruckentladungslampen sowie von Vorschaltgeräten und Leuchten (Anhang 1.11 und Anhang 2.11) und von netzbetriebenen elektrischen Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazu gehörenden Geräten (Anhang 2.15).

¹⁷ Diese Nummerierung bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.

onsbezogenes, lokales und politisches Thema. Es kommt sehr auf die konkrete Situation, deren Umgebung sowie das komplexe Zusammenspiel wechselnder Einflüsse (wie z. B. der Verkehrszusammensetzung oder dem Umgebungslicht) an. Dabei muss auch unterschieden werden, ob sich ein Strassenabschnitt in bebautem Gebiet, innerorts oder ausserorts befindet.

Grundsätzlich soll eine Strassenbeleuchtung die Verkehrssicherheit erhöhen, indem sie die Sehbedingungen für alle Verkehrsteilnehmenden und die optische Führung im Strassenverlauf verbessert. Im Beleuchtungsfokus stehen Strassen, auf denen sich motorisierter Verkehr und Langsamverkehr häufig begegnen – also der Innerortsbereich. Mit der Beleuchtung soll die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass die Fahrzeuglenker Hindernisse und Personen frühzeitig erkennen können. Innerorts können zusätzliche Kriterien hinzukommen, wie die Absicht, das subjektive Sicherheitsgefühl für Passanten und Anwohner zu stärken, die räumliche Wahrnehmung des Strassenraums zu verbessern oder die Attraktivität von innerstädtischen Bereichen zu steigern (SLG 2018).

Wo es eine Beleuchtung braucht und wo nicht, ist somit situativ zu entscheiden, zum Beispiel im Rahmen eines Planungsprozesses unter Miteinbezug der relevanten Fachstellen und Interessengruppen (vgl. Anh. A5.1.3).

Praxisbeispiel zu [1]: Kriterien zur Abschätzung der Notwendigkeit von Strassenbeleuchtungen

Eine praxiserprobte Wegleitung für einen faktenbasierten Entscheid, wo beleuchtet werden sollte und wo nicht, bietet zum Beispiel die Beleuchtungsrichtlinie des Tiefbauamts des Kantons Bern (2015a). Gemäss dieser ist der Entscheid für oder gegen eine Beleuchtung von folgenden Parametern abhängig:

- *Schwierigkeit der Fahraufgabe:*
Je komplexer eine Strassenanlage und damit je höher der Grad der Anstrengung, die ein Benutzer aufbringen muss, um andere Verkehrsteilnehmer wahrzunehmen und die Verkehrssituation unfallfrei zu bewältigen, desto eher ist eine Strassenbeleuchtung notwendig.
- *Verkehrsaufkommen während der Beleuchtungszeit:*
Die Sicherheit muss gewährleistet sein, dies auch bei hohem Verkehrsfluss.
- *Sind Konfliktzonen vorhanden?*
Als Konfliktzonen gelten Flächen, auf denen sich motorisierte Verkehrsströme kreuzen oder die auch von andern Verkehrsteilnehmern genutzt werden (wie Abzweigungen, Kreuzungen oder Kreisel). Konfliktzonen mit Radfahrern und Fussgängern sind besonders zu beachten.
- *Komplexität des visuellen Feldes / der Sehaufgabe:*
Sind visuelle Elemente im Sichtfeld des Verkehrsteilnehmers vorhanden, die stören könnten wie parkierte Autos, ist die Sehaufgabe erschwert. Je komplexer die Sehaufgabe, desto eher braucht es eine Beleuchtung.
- *Niveau der Umgebungshelligkeit:*
Je mehr störende Lichteinflüsse auf der Strasse vorhanden sind (z. B. durch Schaufensterbeleuchtungen, Leuchtreklamen etc.), desto eher braucht es eine Beleuchtung. Bei einer Abnahme der Umgebungshelligkeit (weil z. B. Schaufenster ausgeschaltet werden) kann die Beleuchtung reduziert werden (vgl. [2] in Anh. A5.1.4).
- *Weitere Einflussfaktoren:*
Wird der Strassenabschnitt zum Beispiel als Schulweg benutzt oder bestehen aus andern Gründen erhöhte Sicherheitsanforderungen, kann dies dafür sprechen, den entsprechenden Abschnitt in den Hauptnutzungszeiten zu beleuchten.

Zur Bewertung und Gewichtung dieser Parameter enthält die Beleuchtungsrichtlinie zwei Tabellen, die dazu dienen, im konkreten Fall zu entscheiden, ob es eine Beleuchtung braucht oder nicht oder ob weitere Abklärungen durch einen Fachexperten nötig sind.

Die Richtlinie empfiehlt auch, das geplante Projekt mit bereits realisierten Anlagen in ähnlichen Situationen zu vergleichen, um die tatsächliche Wirkung einer vorhandenen oder fehlenden Beleuchtung auf die Verkehrssicherheit besser einschätzen zu können. Im Anhang der Richtlinie sind zudem konkrete Praxisbeispiele dokumentiert, insbesondere auch zur Redimensionierung von Beleuchtungen.

Praxisbeispiel zu [1]: Keine Beleuchtung auf Kantonsstrassen ausserorts

Wie in anderen Kantonen werden auch im Kanton Zürich Strassenbeleuchtungen nur dort eingesetzt, wo Fussgänger und der motorisierte Verkehr häufig miteinander in Kontakt kommen, also insbesondere im bebauten Innerortsbereich (Baudirektion Kanton Zürich 2005). Auf Fahrbahnen ausserorts wird hingegen auf eine Beleuchtung grundsätzlich verzichtet. Ausnahmen bilden Strassenabschnitte mit besonderer Nutzung wie Schulwege zwischen Ortschaften oder Kreisel, die eine erhöhte Unfallgefahr bergen (EBP 2016).

A5.1.2 Normen zur Strassenbeleuchtung

Hat die zuständige Behörde entschieden, eine Strasse zu beleuchten, ist es in der Schweiz üblich, sich bei der Ausgestaltung der Beleuchtung an das Normenpaket SN EN 13201 «Strassenbeleuchtung» zu halten. Dieses ist 2016 revidiert und erweitert worden und besteht aus fünf Teilen:

- *SNR 13201-1: Strassenbeleuchtung – Teil 1: Leitfaden zur Auswahl der Beleuchtungsklassen*
Diese «Schweizer Regel» (SNR) enthält Anleitungen, wie eine Strasse anhand von verschiedenen Parametern (wie zugelassener Geschwindigkeit, Zusammensetzung oder Volumen des Verkehrs) einer bestimmten Beleuchtungsklasse zuzuordnen ist. Die je nach Beleuchtungsklasse unterschiedlichen Vorgaben an die Beleuchtung sind in Teil 2 geregelt und ergeben sich aus den visuellen Bedürfnissen der jeweiligen Strassennutzer. Da die visuellen Bedürfnisse zu verschiedenen Nacht- und Jahreszeiten ändern können, können auch die anzuwendenden Beleuchtungsklassen während diesen Zeiten variieren. Teil 1 enthält daher auch Angaben zu normgerechten dynamischen Beleuchtungen oder Nachtabenkungen.
- *SN EN 13201-2: Strassenbeleuchtung – Teil 2: Güteermkmale*
Unterschiedliche Beleuchtungsklassen müssen unterschiedlichen visuellen Bedürfnissen gerecht werden. Welche photometrischen Güteermkmale wie Leuchtdichte, Beleuchtungsstärke oder Gleichmässigkeit der Beleuchtung auf einer Fahrbahn der entsprechenden Klasse einzuhalten sind, legt Teil 2 der Norm fest. In seinem Anhang A4 enthält dieser Teil auch qualitative Hinweise, wie sich Störlicht auf Anwohner und angrenzende Gebiete verringern lässt.
- *SN EN 13201-3: Strassenbeleuchtung – Teil 3: Berechnung der Güteermkmale*
Wie die in Teil 2 festgelegten Güteermkmale bei der Planung einer Strassenbeleuchtung im Voraus zu berechnen sind, definiert Teil 3. Dieser enthält auch Vorgaben zur Verteilung der Berechnungs- und Messpunkte (Berechnungs- und Messraster).
- *SN EN 13201-4: Strassenbeleuchtung – Teil 4: Methoden zur Messung der Güteermkmale von Strassenbeleuchtungsanlagen*
Teil 4 legt die Messbedingungen und das Verfahren zur Messung der in Teil 2 vorgegebenen photometrischen Güteermkmale fest. Die Messungen können unter anderem zur Überprüfung dienen, ob eine erstellte Strassenbeleuchtungsanlage die Anforderungen der Beleuchtungsnorm einhält.
- *SN EN 13201-5: Strassenbeleuchtung – Teil 5: Energieeffizienzindikatoren*
Teil 5 definiert Indikatoren zur Beurteilung der Energieeffizienz von Strassenbeleuchtungsanlagen.

Mit Fragen zur Anwendung dieses Normenpakets in der Praxis beschäftigt sich die Fachgruppe «Öffentliche Beleuchtungen – Strassen und Plätze» der Schweizer Licht Gesellschaft SLG. Die SLG hat in einer Richtlinie Ergänzungen zur Strassenbeleuchtungsnorm publiziert:

- *SLG 202: Strassenbeleuchtung – Ergänzungen zu SNR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -5:*
Diese Richtlinie enthält zum einen Erläuterungen zum Normenpaket SN EN 13201 und beschreibt zum Beispiel, wie die Beleuchtungsklassen festgelegt werden oder wie eine Reduktion der Beleuchtung in verkehrsärmeren Nachtzeiten begründet werden kann. Zum andern umfasst die Richtlinie auch Ergänzungen wie beispielsweise zum Abschalten der Beleuchtung in der Nacht oder dazu, wie Fussgängerstreifen und Verkehrskreisel zu beleuchten sind.

Beleuchtung von Fussgängerstreifen

Die Norm SN 640 241 «Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Fussgängerstreifen» des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS verlangt, dass

Fussgängerstreifen und ihre Annäherungsbereiche nachts so beleuchtet sind, dass die querenden Personen erkennbar sind. Dafür, wie die Beleuchtung genau auszugestaltet ist, verweist die Norm auf die SLG-Richtlinie 202. Diese enthält in Kapitel 2.3 Hinweise zur «Beleuchtung von Fussgängerüberwegen». Markierte und nicht-markierte Fussgängerüberwege (z. B. mit Mittelinsel aber ohne Streifen) werden darin lichttechnisch gleich behandelt.

Gemäss dieser SLG-Richtlinie ist bei hell beleuchteten Strassen (Fahrbahnleuchtdichte von 1.5 Candela pro Quadratmeter [cd/m^2] resp. horizontale Beleuchtungsstärke von 20 Lux) in der Regel keine zusätzliche Beleuchtung des Fussgängerstreifens notwendig, um die erforderliche Sichtbarkeit von Personen am Strassenrand oder auf dem Fussgängerstreifen zu erzielen. Bei weniger intensiver Beleuchtung (tiefere Beleuchtungsklassen) braucht es hingegen eine Zusatzbeleuchtung. Diese soll auf der Fahrbahn eine gewisse Helligkeit (Leuchtdichte bzw. horizontale Beleuchtungsstärke) und zusätzlich auch auf einer vertikalen Bezugsfläche eine Beleuchtungsstärke von mindestens 5 Lux gewährleisten. Diese Vorgaben bezwecken eine Anleuchtung der am Strassenrand stehenden oder sich auf dem Fussgängerstreifen befindenden Personen, damit sie – durch den entstehenden Kontrast zum Hintergrund – für heranfahrende Autolenkerinnen und -lenker genügend sichtbar werden.

A5.1.3 Empfehlungen für den Planungsprozess von Strassenbeleuchtungen

Eine Strasse liegt entweder in der Zuständigkeit des Bundes (Nationalstrassennetz), eines Kantons (Kantonsstrassen) oder einer Gemeinde. Die Beleuchtungsanlagen werden in vielen Fällen jedoch nicht von den Eigentümern selbst geplant und betrieben, sondern von regionalen oder lokalen Netzbetreibern (Elektrizitätswerken) oder von Dritten.

Dies hat zur Folge, dass Fachkenntnisse oft unterschiedlich verteilt sind. Häufig verfolgen verschiedene Anspruchsgruppen unterschiedliche und teilweise auch gegensätzliche Interessen. Damit beim Neubau oder bei der Sanierung von Strassenbeleuchtungen unterschiedlichen Interessen Rechnung getragen werden kann, ist eine frühzeitige interdisziplinäre Planung und Koordination der Arbeiten notwendig. Die folgenden Empfehlungen zum Planungsprozess können mithelfen, unerwünschte Lichtemissionen möglichst gering zu halten.

[A] Übergeordnetes Beleuchtungskonzept / übergeordnete Beleuchtungsgrundsätze

Bau und Erneuerung von Strassenbeleuchtungen sollten nicht isoliert erfolgen, sondern in ein übergeordnetes Beleuchtungskonzept oder einen grossräumigen Beleuchtungsplan eingebettet sein. So lassen sich Fehlentwicklungen und damit verbundene Fehlinvestitionen vermeiden. Ein solches Konzept kann je nach Grösse der Region, für die es vorgesehen ist, unterschiedlich umfangreich ausfallen. Im Minimum sollten allgemeine Grundsätze zur Beleuchtung vorhanden sein.

[B] Einbezug relevanter Fachstellen und Interessengruppen

Damit den unterschiedlichen Interessen und Ansprüchen an eine Beleuchtung (wie Sicherheit, Gestaltung, Energieeffizienz, Vermeidung unnötiger Lichtemissionen etc.) Rechnung getragen werden kann und allenfalls Kompromisse gefunden werden können, sind die relevanten Fachstellen und Interessengruppen bereits im Planungsprozess miteinzubeziehen. Dies können folgende Stellen sein:

- Politisch Verantwortliche (z. B. Gemeinderat, Stadtrat)
- Baubehörde (z. B. Tiefbauamt, Planungsamt, Bauamt, Denkmalpflege etc.)
- Finanzverantwortliche
- Betreiber der öffentlichen Beleuchtung (Kanton, Gemeinde, z. T. Elektrizitätswerk, Dritte)
- Beleuchtungsexperten, Lichtplanerinnen und -planer
- Zuständige für die öffentliche Sicherheit (z. B. Polizei, Stadtplanungsamt, Sicherheitsbeauftragten)
- Umwelt- und Naturschutzbehörden
- Bevölkerung

- Andere Akteure wie Schulverwaltung, Umwelt- und Naturschutzorganisationen, Tourismusverantwortliche etc.

[C] Beleuchtungsberechnung / Beleuchtungsplan für die Strassenbeleuchtung

Es empfiehlt sich, sowohl bei der Sanierung von Strassenbeleuchtungen (Wechsel des Leuchtentyps) als auch bei Neubauten einen Fachexperten beizuziehen und Beleuchtungsberechnungen erstellen zu lassen. Damit können die für den konkreten Fall am besten geeigneten Leuchten und deren optimale Platzierung und Ausrichtung ausgewählt werden (vgl. Anh. A5.1.4, Punkt [5]).

Praxisbeispiel zu [A]: Masterplan Licht Thalwil

Die Gemeinde Thalwil im Kanton Zürich erarbeitete 2015 einen sog. «Masterplan Licht», in welchem sie für das gesamte Gemeindegebiet definierte, in welchen Zonen welche Aktivitäten stattfinden und welche Beleuchtungsniveaus dementsprechend dort vorhanden sein sollten. Ein solches Gesamtkonzept kann mithelfen, anschliessend auch die Strassenbeleuchtungen in den jeweiligen Zonen passend zu dimensionieren oder wegzulassen (Gemeinde Thalwil 2015).

Praxisbeispiel zu [A]: Konzeptionelle Neuausrichtung der Beleuchtungsstrategie auf Berner Kantonsstrassen

Zahlreiche Beleuchtungsanlagen auf den Kantonsstrassen im Kanton Bern hatten 2013 ihr technisches Lebensende erreicht. Da sich bei der Hälfte der rund 27'000 Strassenleuchten Ersatzbedarf in den nächsten Jahren abzeichnete, war dies der geeignete Zeitpunkt, die Beleuchtungsstrategie umfassend zu überdenken. Einerseits sollte ein Beitrag an die Energiewende bzw. die Energiestrategie 2050 des Bundes geleistet werden (vgl. Anh. A2.5). Und andererseits sollten Strassenbeleuchtungen nicht mehr – wie in der Vergangenheit häufig – überdimensioniert werden (vgl. Anh. A2.3.2). Zur Erreichung dieser Ziele wurde in einem ersten Schritt eine Neuausrichtung der Beleuchtungsstrategie beschlossen, die folgende fünf Stossrichtungen umfasst (Tiefbauamt Kanton Bern 2015b, Breuer 2016):

- Beleuchtung am richtigen Ort – und nur dort
- Beleuchtung zur richtigen Zeit – und nur dann
- Sanierung der «Stromfresser» (systematischer Ersatz der Quecksilberdampflampen)
- Watt sparen – Dimensionierung auf die minimal zulässige Beleuchtungsklasse
- Potential der LED-Technologie nutzen: Licht nach Bedarf

A5.1.4 Massnahmen zur Begrenzung von Emissionen bei Strassenbeleuchtungen

Folgende Massnahmen können dazu beitragen, die Emissionen von Strassenbeleuchtungen in die Umgebung zu vermindern. Die Nummerierung bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[2] Intensität / Helligkeit

Nur so viel beleuchten, wie nötig. Das Normenpaket SN EN 13201 gibt vor, wie ein Strassenabschnitt je nach Beleuchtungsklasse zu beleuchten ist. Die Devise muss lauten: Die Normwerte einhalten, aber nicht übererfüllen. LED-Leuchten haben diesbezüglich folgende Vorteile (vgl. auch Anh. A2.4 und A2.5):

- Da es bei LED möglich ist, den Lichtstrom über lange Zeit konstant zu halten¹⁸, müssen Strassenbeleuchtungen weniger stark überdimensioniert werden, als dies bei älteren Technologien der Fall

¹⁸ Dies kann zum Beispiel über die sog. CLO-Technik (Constant Light Output) geschehen. Neueste LED weisen mittlerweile so kleine Abnützungserscheinungen auf (sehr hoher Wartungsfaktor), dass ihr Lichtstrom auch ohne CLO-Technik über die ganze Lebensdauer praktisch konstant bleibt. Bei solchen LED, welche die technischen Anforderungen L90/B10 erfüllen, werden nach der angegebenen Lebensdauer noch 90% des ursprünglichen Lichtstroms erreicht und nur 10% der Module unterschreiten diesen Lichtstrom. Eine regelmässige Reinigung (Wartung) der Leuchten und Sensoren garantiert eine nachhaltige Energieeffizienz und Funktionsfähigkeit.

war, um sicherzustellen, dass die Strasse auch am Ende der Lebensdauer der Leuchten noch ausreichend gemäss Norm beleuchtet war.

- In verkehrsärmeren Zeiten kann die Beleuchtung einer Strasse gemäss der Norm SN EN 13201 reduziert werden. Da sich LED-Leuchten ohne Verzögerung einschalten sowie stufenlos dimmen lassen, kann der Lichtstrom sehr genau auf die Anforderungen der jeweiligen Beleuchtungsklasse angepasst und eine Überbeleuchtung vermieden werden (vgl. [2] oben).

Werden die Strassen nur so intensiv wie nötig, aber nicht überbeleuchtet, hilft dies nicht nur, Lichtemissionen zu reduzieren, sondern auch Energie zu sparen.



[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

Auf den Beleuchtungszweck und die jeweilige Umgebung abgestimmte Wahl des Lichtspektrums.

Warmweisse LED-Leuchten sind etwas weniger energieeffizient als kalt- und neutralweisse LED-Leuchten¹⁹. Dafür weisen sie im Lichtspektrum einen geringeren Blauanteil auf, der eine besonders negative biologische Auswirkung hat. So werden viele nachtaktive Tiere, insbesondere viele Insekten, durch Licht mit kurzen Wellenlängen (UV- und Blaulicht) angezogen. Zudem empfinden viele Menschen warmweisses Licht als angenehmer als neutral- oder kaltweisses hat (vgl. Anh. A2.4 und A1.1.5).

- Aus Sicht des USG und NHG sollten deshalb möglichst warmweisse LED eingesetzt werden.
- Die Anliegen des Energiesparens und des Vermeidens von blauen Lichtanteilen sind jedoch fallweise gegeneinander abzuwägen.
- Kaltweisse LED sollten nicht verwendet werden.
- In Bezug auf die Lichtfarbe oder das Lichtspektrum macht die SN EN 13201 keine Vorgaben.
- Die Norm SIA 491 (SN 586 491 vgl. Anh. A3.4.2) empfiehlt für die Beleuchtung der Verkehrsinfrastruktur, in ökologisch sensiblen Gebieten Blau-Anteile im Licht, UV- und Infrarot-Strahlung möglichst zu vermeiden.

In der Praxis wird bei LED-Leuchten in Stadtzentren, Fussgängerzonen, Quartier- und Wohnstrassen meist warmweisses Licht einer Farbtemperatur von 3000 K eingesetzt, für die funktionale Strassenbeleuchtung hingegen eher neutralweisses (4000 K). Leuchten mit Farbtemperaturen von 5000 K oder höher finden eher selten Anwendung (Humm 2015).



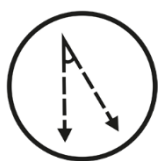
[4] Auswahl und Platzierung der Leuchten

- Es empfiehlt sich, sowohl bei der Sanierung von Strassenbeleuchtungen (Wechsel des Leuchtentyps) als auch bei Neubauten einen Fachexperten beizuziehen und Beleuchtungsberechnungen erstellen zu lassen. Damit können die für den konkreten Fall am besten geeigneten Leuchten und deren optimale Platzierung und Ausrichtung ausgewählt werden.
- Bei der Auswahl des Leuchtentyps ist nicht nur darauf zu achten, dass dieser die vorgesehenen Nutzflächen möglichst präzise ausleuchtet, sondern auch, dass unerwünschte Lichtemissionen in die Umgebung vermieden werden. Auch hierfür können die erwähnten Beleuchtungsberechnungen dienen, wenn sie nicht nur auf die Strasse und Trottoirs beschränkt sind, sondern auch angrenzende Flächen und Ebenen (vertikale Beleuchtungsstärke auf angrenzende Wohnhäuser) miteinbeziehen.
- Für den Fall, wo die Simulation einer konkreten Situation mit gegebenem Verlauf der Strasse und tatsächlich vorhandenen Wohnhäusern zu aufwändig ist, hat die Schweizer Lichtgesellschaft SLG ein Beurteilungsverfahren entwickelt, um die Berechnungsergebnisse verschiedener Leuchten in

¹⁹ Warmweisse LED mit einer Farbtemperatur von 3000 Kelvin (K) sind im Vergleich zu neutralweissen LED mit 4000 K gemäss Herstellerangaben rund 10 bis 20% weniger energieeffizient. Unabhängig von der Farbtemperatur weisen LED im Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln aber bereits eine bessere Energieeffizienz auf. Diese kann durch den Einsatz von dynamischen Steuerungen für Licht nach Bedarf nochmals deutlich gesteigert werden (vgl. Anh. A2.5).

Bezug auf ihre Emissionen in die Nachbarschaft zu vergleichen (SLG 202). Dies erlaubt es dem Lichtplaner, den für die betreffende Situation am besten geeigneten Leuchtentyp zu identifizieren.

- Je grösser der Abstand von Leuchten zu benachbarten Wohnungen oder schützenswerten Naturräumen ist, desto geringer sind auch die Immissionen an diesen Orten. Die Leuchten sollten daher nach Möglichkeit in der Strassenmitte oder auf derjenigen Seite der Strasse platziert werden, auf der die betreffend Lichteinwirkungen weniger empfindlichen Räume liegen.
- Durch eine Optimierung der Lichtpunkthöhe lassen sich die Fernwirkung der Leuchten und die Emissionen auf direkt angrenzende Wohnräume vermindern.
- Die Fernwirkung kann weiter reduziert werden, indem ein flaches Abschlussglas horizontal montiert wird. Denn bei einem wannenförmigen Abschlussglas wird das ganze Volumen der Wanne erleuchtet und die Leuchte ist von weitem einsehbar.
- Die Leuchten sollten dicht sein, damit Kleinlebewesen wie Insekten oder Spinnen nicht eindringen können²⁰.



[5] Ausrichtung der Beleuchtung

- Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten, um unnötige Abstrahlungen in den Nachthimmel zu vermeiden.
- Dort, wo es zur Verhinderung eines «Tunnel- oder Höhleneffektes» gewünscht ist, dass zu gewissen Zeiten auch die Fassaden dezent angeleuchtet werden, können Systeme eingesetzt werden, die je nach Nachtzeit unterschiedlich geschaltet werden können (vgl. Anh. A5.6.2).
- Den Leuchtenkopf bei der Montage präzise ausrichten, damit nur beleuchtet wird, was zu beleuchten ist.



[6] Zeitmanagement / bedarfsgerechte Steuerung

Nur dann beleuchten, wenn es Licht braucht. Je nachdem sind zu verschiedenen Zeiten oder bei unterschiedlichen Bedingungen unterschiedlich intensive Beleuchtungen notwendig.

- Zu welchen Tages-/Nachtzeiten braucht es eine Beleuchtung?
- Sind Nachtabsenkungen oder sogar Nachtabschaltungen möglich?
- Ist eine dynamische oder adaptive Beleuchtung möglich?

[6a] Nachtabschaltungen / Nachtabsenkungen

Gemäss dem 2016 aktualisierten Normenpaket SN EN 13201 kann die Beleuchtung einer Strasse in verkehrsärmeren Zeiten, bei einer Änderung der Verkehrszusammensetzung oder bei einer Abnahme der Umgebungshelligkeit (weil z. B. Schaufenster ausgeschaltet werden) reduziert werden (SLG 202).

Solche Nachtabsenkungen können über ein zeitlich festgelegtes Dimmprofil erfolgen, bei dem zum Beispiel eine leichte Reduktion ab 21 Uhr und eine stärkere Absenkung ab 23 Uhr erfolgt. Auf kaum oder gar nicht befahrenen Strassen kann die Beleuchtung in der Nacht auch ganz ausgeschaltet werden (Topstreetlight 2015).

Nachtabsenkungen und -abschaltungen sind bei Neuanlagen heute der Normalfall. Begleitende Massnahmen können die Akzeptanz von Nachtabschaltungen in der Bevölkerung erhöhen.

[6b] Adaptive Nachtabsenkungen

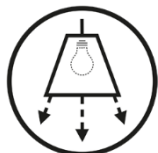
Wird der Verkehrsfluss über einen bestimmten Zeitraum in Echtzeit erfasst (z. B. mit einem Videosensor), kann die LED-Beleuchtung auf diesem Strassenabschnitt einheitlich und aktuell an die Verkehrsmenge angepasst werden. Solche verkehrsabhängigen oder «verkehrsbeobachtenden» Beleuchtungssysteme wurden in ersten Pilotprojekten erfolgreich einem Praxistest unterzogen.

²⁰ Bei Leuchten der Schutzart IP65 und höher ist dies gegeben.

[6c] Dynamische Beleuchtungen

Werden die LED-Leuchten mit Bewegungssensoren kombiniert, kann die Beleuchtung einer Strasse auch an einzelne Verkehrsteilnehmer angepasst werden:

- Mit solchen dynamischen Beleuchtungen können – ohne dass die Verkehrssicherheit darunter leidet – Lichtemissionen reduziert und Energie gespart werden.
- Das Ein- und Ausschalten der Beleuchtung sollte sanft, also über einen gewissen Zeitraum gedimmt erfolgen (Topstreetlight 2015). Dies um Anwohnerinnen und Anwohner nicht zu stören.



[7] Abschirmungen

- In spezifischen Problemfällen können die Emissionen in die Umgebung mit zusätzlichen Abschirmungen an den Leuchten weiter beschränkt werden.

Exkurs: Auf flimmer- und flickerfreie Beleuchtung achten

Je nach Bauart oder Betriebsmodus versorgen die elektronischen Wandler die Leuchtdioden mit einem Strom, der mehr oder weniger stark schwankt. Dies hat zur Folge, dass auch die Intensität des abgestrahlten Lichts flimmert bzw. so genannte Flicker aufweist. Flicker können aber auch beim Dimmen von LED entstehen, so dass bereits im nicht gedimmten Zustand vorhandene Flicker verstärkt oder bei flimmerfreien LED neue Flicker verursacht werden.

Zur Anpassung der Lichtintensität gibt es zwei verschiedene Dimmverfahren, die bei neuartigen Beleuchtungssystemen meist kombiniert eingesetzt werden. Zum einen braucht es eine Ansteuerungselektronik mit einem Vorschaltgerät, das den Strom, der durch die LED fliesst, drosselt. Zum andern kann die LED auch mit der sog. Pulsweitenmodulation stufenlos bis auf tiefe Niveaus gedimmt werden. Hier wird der Strom in der LED binär, mit Frequenzen von 100 Hertz (Hz) und mehr, ein- und ausgeschaltet. Ändert man nun das Verhältnis von der Einschalt- zur Ausschaltdauer, ändert sich die mittlere Helligkeit der Lichtquelle. Dabei ist wichtig, dass die gewählte Modulationsfrequenz hoch genug ist, um vom Menschen nicht wahrgenommen zu werden (Blattner 2018).

Flicker mit Frequenzen unterhalb von 80 Hz sind visuell wahrnehmbar und können als sehr störend empfunden werden. Bei Personen, die an fotosensitiver Epilepsie erkrankt sind, können Flickerfrequenzen zwischen 3 und 70 Hertz sogar epileptische Anfälle auslösen. Flicker mit Frequenzen von 100 Hz und höher, wie sie typischerweise bei LED entstehen, sind für Menschen nicht mehr bewusst erkennbar. Allerdings kann die Netzhaut Flicker bis zu 200 Hz auch ohne bewusste visuelle Wahrnehmung detektieren. Auch bei solchen Flickerfrequenzen sind negative Auswirkungen auf den menschlichen Organismus festgestellt worden. Länger andauernde Flickererscheinungen können zu Kopfweh, Migräne, Augenschmerzen, eingeschränkter Sehleistung, Ablenkung oder eingeschränkter Leistungsfähigkeit führen (BAG 2016).

Bezüglich Gesundheitsauswirkungen besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf, welche Faktoren wie die Flickerfrequenz oder die Modulation (Form der Schwingung) genau welchen Einfluss auf den Organismus haben. Daher kann die Wissenschaft auch noch keine quantitativen Wirkungsschwellen und Grenzwerte angeben. Auch ist davon auszugehen, dass die bisher verwendeten Messgrößen wie die Modulationstiefe und der Flickerindex nicht ausreichen, um die komplexen gesundheitlichen Auswirkungen abzubilden (Blattner 2018).

Trotzdem sollte der Aspekt Flicker bei der Produktauswahl vor Beschaffungen beachtet werden, damit neu installierte Beleuchtungen nicht aufwändig saniert werden müssen, falls sich die Benutzer nach Inbetriebnahme nicht wohl fühlen. Hilfreich sind hierfür Angaben wie der «output current ripple» (möglichst 5 % oder weniger), die Modulationstiefe (Mod%), der Flickerindex (FI) oder «Prozent Flicker» (< 5 % gilt als flimmerfrei). Bei LED im Betrieb lassen sich Flimmereigenschaften auf dem Display einer Smartphone- oder Digitalkamera, die aus kurzer Distanz auf die LED scharfgestellt wird, einfach feststellen. Wenn die LED flimmert, ist auf dem Display ein Bild mit Streifen sichtbar (BAG 2016, Blattner 2018).

Praxisbeispiele zu [6a]: Nachtabschaltungen und begleitende Massnahmen («Fête de la nuit»)

In Liechtenstein erfolgten die Umstellungen des Betriebs von Strassenbeleuchtungen auf Nachtabschaltungen und -absenkungen jeweils im Sommer. Einzelne Gemeinden arbeiteten dabei mit Testphasen, in denen nachts das Licht vorerst versuchsweise abgeschaltet wurde. Diese Versuche wurden mit Informationsveranstaltungen begleitet, und im Anschluss daran wurden Befragungen der Bevölkerung durchgeführt, um die Akzeptanz der Nachtabschaltungen zu erheben. Wenn Ängsten im Zusammenhang mit der Abschaltung (z. B. bezüglich Sicherheit) begegnet werden soll, sind Befragungen wichtig, denn bei öffentlichen Veranstaltungen werden solche Ängste in der Regel nicht geäußert. Nachdem sich in der Gemeinde Platten etwas mehr als zwei Drittel und in Triesenberg sogar über drei Viertel der Bevölkerung für die Nachtabschaltungen ausgesprochen hatten, wurden diese nach dem Testbetrieb definitiv eingeführt (A. Matt, pers. Mitt., 2015).

Ein weiteres von zahlreichen Beispielen ist die Gemeinde Corgémont (BE), welche seit November 2014 die öffentliche Beleuchtung zwischen 0:30 und 5:30 Uhr abschaltet. Als besondere Begleitmassnahme führte die Gemeinde im Voraus eine Veranstaltung unter dem Titel «Fête de la nuit» durch. Diese umfasste verschiedene Informationsangebote und Anschauungsbeispiele zur Sensibilisierung der Bevölkerung. Nach einer 4-monatigen Testphase sprachen sich im Februar 2015 rund 59 % der Bevölkerung für die Beibehaltung der Nachtabschaltung aus. Neben einer Verminderung der Lichtemissionen konnte die Gemeinde damit auch 42 % ihres Energieverbrauchs für die Strassenbeleuchtung einsparen (Klopfenstein 2015, Debrot 2015).

Praxisbeispiel zu [6b]: Verkehrsbeobachtendes Licht

Im Oktober 2015 wurden entlang einer rund ein Kilometer langen Teststrecke in Urdorf, Kanton Zürich, 27 LED-Leuchten installiert, die abhängig vom Verkehrsfluss aller Verkehrsteilnehmer gesteuert werden. Zu diesem Zweck misst ein an einem Kandelaber angebrachter Videosensor die Anzahl Fahrzeuge in Echtzeit. Die Daten werden an eine zentrale Steuereinheit geschickt, welche den aktuellen Verkehrsfluss in Beziehung mit den entsprechenden Normvorgaben für die Beleuchtung setzt und den LED-Leuchten die passende Lichtstärke per Funk kommuniziert. Dadurch wird die Beleuchtungsstärke auf dem gesamten Abschnitt gleichzeitig und einheitlich an das aktuelle Verkehrsaufkommen angepasst.

Nach einem Jahr im Pilotbetrieb zeigte sich, dass die intelligente Steuerung der Strassenbeleuchtung sehr zuverlässig funktionierte. Im Vergleich zur bereits auf LED umgerüsteten und in der Nacht zwischen 1 und 5 Uhr ausgeschalteten Beleuchtung konnte mit diesem System nochmals 30 % Energie gespart werden. Zudem gingen während des Testbetriebs keinerlei Beanstandungen aus der Bevölkerung ein (Haller 2016, Aeberhard 2016). 2018 hat das Bundesamt für Energie BFE dieses Projekt mit dem Energiepreis Watt d'Or in der Kategorie Energietechnologien ausgezeichnet (BFE 2018).

Praxisbeispiele zu [6c]: Volldynamische LED-Beleuchtungen

Volldynamische LED-Leuchten stehen mittlerweile an zahlreichen Orten im Einsatz. Seit 2010 zum Beispiel in Yverdon-les-Bains, und seit 2015 ebenfalls in der Stadt Chur sowie mit über 12'000 Leuchtpunkten auch auf Berner Kantonsstrassen (vgl. Anh. A2.5).

Zu den ersten, die in der Schweiz Erfahrungen mit verschiedenen dynamischen LED-Beleuchtungen sammelten, gehörten im Jahr 2009 die Sankt Galler Stadtwerke. Erste Versuche lieferten ihnen wichtige Erkenntnisse und Erfahrungswerte, um drei Jahre später in einem Wohnquartier, entlang der Hüttenwiesstrasse, eine volldynamische LED-Strassenbeleuchtung zu realisieren. Diese funktioniert wie folgt: Eine Grundbeleuchtung reicht aus, damit Velofahrer und Fussgänger genügend sehen, um sicher nach Hause zu kommen. Aufgrund von Rückmeldungen aus der Bevölkerung wurde der Grundlevel von ursprünglich geplanten 30 % auf 50 % erhöht. Nähern sich Autos, werden diese von Radarsensoren an den Lichtmasten erfasst und die Beleuchtung regelt auf 100 % hoch. Über Funk werden auch die nachfolgenden Leuchten angesteuert, so dass den Autolenkerinnen und -lenkern ein Lichtteppich vorauseilt. Nach rund 120 Sekunden ohne Bewegung dimmen die Leuchten wieder sanft auf den Grundzustand zurück.

2014 ersetzten die Sankt Galler Stadtwerke an der Demutstrasse bestehende Natriumdampf-Hochdrucklampen. Da diese Strasse durch einen naturnahen Lebensraum führt, sollte die Beleuchtung auf

das absolut Nötige beschränkt werden. Hierzu wurde eine voll-dynamische und intelligent gesteuerte LED-Beleuchtung der zweiten Generation eingesetzt. Diese kann Verkehrsteilnehmer unterscheiden und die Beleuchtung je nachdem verschieden anpassen. Befinden sich keine Personen oder Autos auf der Strasse, sind die Leuchten im Ruhemodus und geben kein Licht ab. Erfassen die Detektoren einen Fussgänger, regeln die folgenden zwei Leuchten auf 30 % hoch. Nähert sich ein Fahrzeug, regeln die nachfolgenden fünf Leuchten auf 100 % hoch (vgl. Abbildung 19). Trotz komplexer Technik funktionierten die voll-dynamischen Anlagen nach Inbetriebnahme störungsfrei und stabil (Etter 2015).

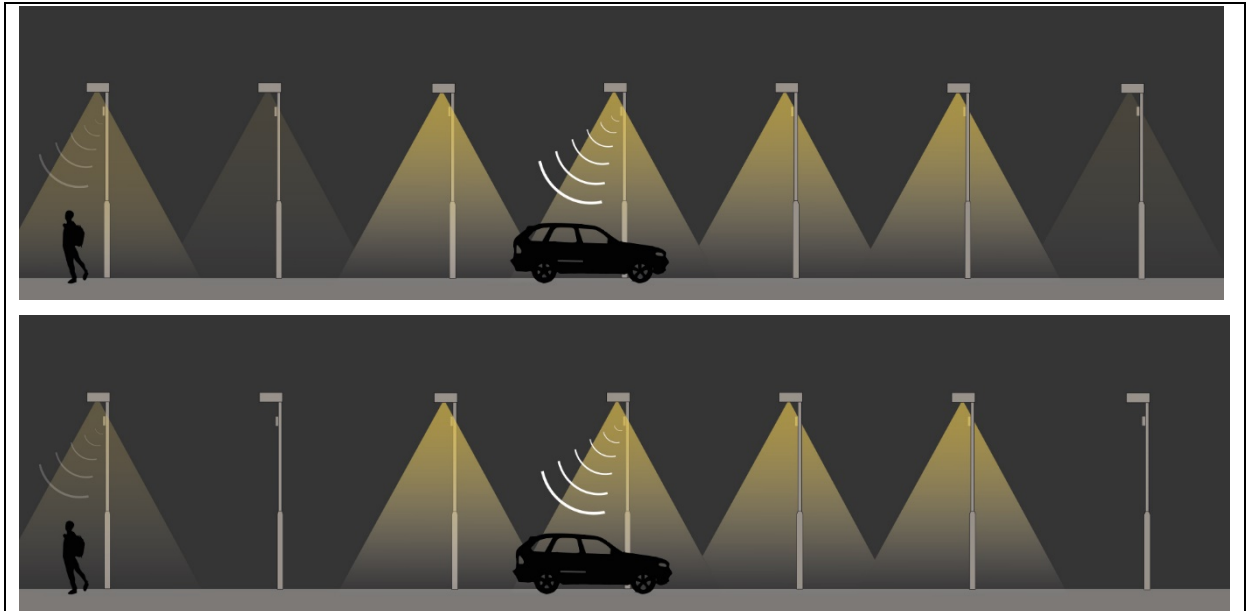


Abbildung 19: Dynamische Steuerung von Strassenbeleuchtungen: Sensoren erfassen die Verkehrsteilnehmenden und die Helligkeit der folgenden Leuchten wird erhöht – im dargestellten Beispiel auf ein unterschiedliches Niveau, abhängig davon, ob es sich um eine Person oder ein Fahrzeug handelt. Anschliessend gelangen die Leuchten wieder in den Ruhemodus, in welchem sie, je nach Einstellung, eine Grundbeleuchtung sicherstellen (oben) oder kein Licht abgeben (unten).

A5.2 Weitere Verkehrsinfrastrukturen (Bahnhöfe, Haltestellen etc.)

A5.2.1 Grundsätzliches

Neben der Strassenbeleuchtung können auch die Beleuchtungen der Infrastruktur weiterer Verkehrsmittel wie Bahnen, Trams, Busse oder Flugzeuge zu Quellen von Lichtemissionen in die Umgebung werden.

Haltestellen und Perrons werden zum einen für die Passagiere beleuchtet, damit für sie ersichtlich ist, wo sich die Haltestellen befinden, sie sich dort gut orientieren können, sie nicht im Gefahrenbereich stehen, sich sicher fühlen und auch genügend sehen, damit sie beim Einsteigen nicht stolpern oder in Bahnhöfen nicht vom Perron auf die Gleise fallen.

Zum andern dient die Stations- oder Haltestellenbeleuchtung den Tram- oder Bus-Chauffeuren dazu, wartende Passagiere zu erkennen, oder den Lokomotivführern von ein- oder durchfahrenden Zügen, dass sie dicht am Gleis stehende Personen sehen und notfalls mittels Pfeifsignal warnen können.

Weiter werden gewisse Areale von Bahnhöfen, Gleisfeldern oder Flugplätzen auch für nächtliche Rangier- oder Verladearbeiten beleuchtet.

Bei der Dimensionierung der entsprechenden Beleuchtungen wird häufig die Norm SN EN 12464-2 «Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien» herangezogen. Diese enthält neben allgemeinen Vorgaben zur Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien auch Vorgaben an die Beleuchtung von Perrons und Gleisanlagen sowie an verschiedene Arbeitsbereiche auf Flughäfen (Ladebereiche, Tanklager, Flugzeugwartung). In Kapitel 4.5 «Störlicht» enthält die SN EN 12464-2 auch Normwerte zur Begrenzung der Emissionen in die Umgebung (vgl. Anh. A3.4.2).

Im Jahr 2014 fällte das Bundesgericht einen Leitentscheid zu einer Bahnhofbeleuchtung.

A5.2.2 Leitentscheid des Bundesgerichts zu einer Bahnhofsbeleuchtung (BGE 140 II 214)

Im Juli 2007 erneuerten die Schweizerischen Bundesbahnen SBB die Beleuchtung des Bahnhofs Oberrieden See im Kanton Zürich komplett. Zwei Nachbarn, Eigentümer einer Wohnliegenschaft in rund 80 m Entfernung am Hang oberhalb des Bahnhofs, erachteten die nächtliche Beleuchtung als übermässig im Sinne des Umweltschutzgesetzes (USG), reichten daher Beschwerde ein und zogen das Verfahren bis vor Bundesgericht.

Das Bundesgericht hiess die Beschwerde am 2. April 2014 teilweise gut. Es erinnerte in diesem Entscheid an den Grundsatz, wonach unnötige Lichtimmissionen zu vermeiden sind, sofern dies technisch sowie betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Diese Pflicht ergibt sich aus dem im Umweltschutzgesetz verankerten Vorsorgeprinzip (vgl. Anh. A3.2.1).

Bei der Beurteilung der konkreten Situation im Bahnhof Oberrieden See legte das Bundesgericht auch massgebliches Gewicht darauf, dass die Kanten der Perrons aus Sicherheitsgründen während der gesamten Betriebszeit beleuchtet sind. Es gelte zu verhindern, dass Personen auf die Gleise stürzen, und Lokführer müssten zu nahe am Gleis stehende Personen erkennen und warnen können (Bundesgericht 2014).

Die Beleuchtung in den unüberdachten Aussenbereichen der Perrons war mit Blick auf dieses Bedürfnis gemäss dem Bundesgericht nicht zu beanstanden. Die sehr viel hellere Beleuchtung im zentralen überdachten Perronbereich erachtete es dagegen zur Sicherheit des Bahnverkehrs nicht als betrieblich erforderlich – zumindest nicht in der Nachtruhezeit (22 bis 6 Uhr) –, und eine entsprechende Reduktion beurteilte es als technisch ohne weiteres möglich und wirtschaftlich tragbar.

Das Bundesgericht ordnete daher an, dass beim überdachten Perron mit direkter Sichtverbindung zu den Beschwerdeführenden die Beleuchtung zwischen 22 und 6 Uhr rund um die Hälfte zu reduzieren ist. Für die Umsetzung verblieb den SBB ein gewisser Ermessensspielraum. Einzig die Abschaltung von zwei Perrondachleuchten um 22 Uhr, die ein von der Liegenschaft der Beschwerdeführenden aus sichtbares Werbeplakat anleuchteten, verlangte das Gericht zwingend.

Praxisbeispiele zur Umsetzung des Leitentscheids *BGE 140 II 214* bei anderen Bahnhöfen

Auch wenn Gerichtsentscheide keine Rechtssetzung per se bedeuten und sich jeweils auf den konkret zu beurteilenden Einzelfall beziehen, helfen sie mit zu konkretisieren, wie geltendes Recht zu interpretieren ist. Im Entscheid *BGE 140 II 214* vom 2. April 2014 zum Bahnhof Oberrieden See bestätigte das Bundesgericht den Grundsatz, wonach unnötige Lichtimmissionen gemäss USG zu vermeiden sind, sofern dies technisch sowie betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist, und dass die für die Sicherheit (in diesem Fall des Bahnbetriebs) nicht erforderliche Beleuchtung zwischen 22 und 6 Uhr abzustellen bzw. zu reduzieren ist.

In der Praxis zeigen sich verschiedene Wege, wie die Bahnunternehmen diese Grundsätze bei der Erneuerung von Bahnhofbeleuchtungen umsetzen. Zu Gute kommen den Bahnen dabei auch die neuen Möglichkeiten von LED-Leuchten. Diese lassen sich gezielter ausrichten und in ihrer Intensität sehr rasch und genauer regulieren als bisherige Technologien (vgl. Anh. A2.4). Neben der Reduktion von Lichtemissionen können damit auch Energiekosten gespart werden (vgl. Anh. A2.5).

Eine Bahnbetreiberin teilt ihre Bahnhöfe je nach Personenaufkommen in verschiedene Kategorien ein. Die je nach Kategorie unterschiedlichen Beleuchtungsstärken richten sich dabei nach der Norm SN EN 12464-2. Vor dem Hintergrund, dass die von der Norm geforderte Beleuchtungsstärke von der Personenfrequenz abhängt und diese wiederum je nach Tageszeit verschieden ist, reduziert die Bahnbetreiberin die Beleuchtung in den Randbetriebszeiten nach 22 Uhr und vor 6 Uhr situativ.

Ein anderes Bahnunternehmen versieht sämtliche neuen LED-Leuchten mit Bewegungsmeldern. Während den Betriebszeiten erfolgt eine Grundbeleuchtung mit 10 % der maximal möglichen Beleuchtungsstärke. Sobald sich Personen auf dem Perron aufhalten oder ein Zug einfährt, wird die Beleuchtungsstärke auf 80 % erhöht, wodurch die Normvorgaben eingehalten werden können. Nach zwei Minuten ohne Aktivität auf dem Perron wird die Intensität wieder sanft auf 10 % reduziert. Ausserhalb der Betriebszeiten wird die Beleuchtung grundsätzlich abgestellt (0 %). Erfassen die Bewegungsmelder eine Aktivität, wird das Licht jedoch eingeschaltet (80 %). Auch dieses wird nach zwei Minuten ohne registrierte Bewegung wieder auf 0 % heruntergefahren.

Eine dritte Bahngesellschaft setzte in einem ihrer Bahnhöfe ein Konzept einer abschnittswisen Perronbeleuchtung nach Bedarf um. Hier werden beim Perron von Gleis A die vorhandenen LED-Kandleaber nur eingeschaltet, wenn das Gleis A benutzt wird. Und beim Perron von Gleis B werden die LED-Leuchten im nicht überdachten Bereich nach 21.30 Uhr ausgeschaltet, wenn nur noch kurze Züge in Einfachtraktion verkehren. Für diese reicht die Beleuchtung im überdachten Perronbereich.

A5.2.3 Empfehlungen an die Bewilligungsbehörden von Beleuchtungen weiterer Verkehrsinfrastrukturen (Bahnhöfe, Haltestellen etc.)

- Ist beim Um- oder Neubau von Bahnhöfen und Haltestellen des Öffentlichen Verkehrs auch die Beleuchtung betroffen, kann anhand von Unterlagen gemäss Kapitel 4 eingeschätzt werden, ob die bundesrechtlichen Bestimmungen zur Begrenzung von Lichtemissionen eingehalten sind.
- Bei Bahnhöfen dienen die Unterlagen auch zur Beurteilung, ob die Beleuchtung im Einklang mit den im Leitentscheid *BGE 140 II 214* festgehaltenen Grundsätzen stehen (Reduktion der sicherheitsmässig nicht notwendigen Beleuchtung zwischen 22 und 6 Uhr).

A5.3 Sportinfrastrukturen

A5.3.1 Grundsätzliches

Ein Grossteil der beleuchteten Sportanlagen wird im Siedlungsgebiet oder in Siedlungsnähe erstellt. Zunehmend werden aber auch Sportinfrastrukturen in der freien Natur wie Skipisten, Loipen, Schlittelwege, Joggingstrecken im Wald, Kajakstrecken oder Aussenreitplätze nachts beleuchtet.

Vorgaben dazu, wie die Räume und Plätze für die am häufigsten betriebenen Sportarten in Innen- und Aussenanlagen zu beleuchten sind, finden sich in der Norm SN EN 12193 «Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung» (vgl. Anh. A3.4.2). Diese Norm gibt Werte für Beleuchtungsstärken, Gleichmässigkeit, Blendungsbegrenzung und Farbeigenschaften der Lichtquellen an, die zur Planung und Überprüfung der Beleuchtung von Sportanlagen herangezogen werden können. In einem Kapitel «Störlicht» enthält die SN EN 12193 auch Normwerte zur Begrenzung der Emissionen in die Umgebung (vgl. Anh. A3.4.2).

Mit Praxisfragen zu Sportplatzbeleuchtungen setzt sich die Fachgruppe «Beleuchtung von Sportanlagen» der Schweizer Lichtgesellschaft SLG auseinander. Die SLG hat mehrere Richtlinien mit Ergänzungen zur genannten Norm für die Beleuchtungen bei verschiedenen Sportarten herausgegeben. Diese umfassen einen Grundlagenteil sowie 13 sportartenspezifische Teile. Im Grundlagenteil (SLG 301: «Beleuchtung von Sportanlagen: Teil 1 – Grundlagen, allgemein») finden sich in Kapitel 1.7 auch Hinweise zur Reduktion von Lichtemissionen in die Umgebung einer Beleuchtungsanlage, die in Anhang A5.3.5 dieser Vollzugshilfe eingeflossen sind.

A5.3.2 Sportinfrastrukturen im Siedlungsraum

A5.3.2.1 Grundsätzliches

Für die Beleuchtung von Sportinfrastrukturen im Freien (Trainingsplätze, Stadien) wird oft sehr viel Licht benötigt. Immer mehr sind LED-Scheinwerfer mit entsprechend hohen Lichtströmen verfügbar.

Im Einsatz stehen aber nach wie vor auch andere Leuchtmittel wie Halogen-Metall dampf- oder Natrium-Hochdrucklampen. Diese sind im Gegensatz zu LED weniger gut oder nicht dimmbar. Die Beleuchtungsanlage kann aber mit unterschiedlichen *Schaltstufen* versehen werden, die je nach Trainings- oder Wettkampfbetrieb eine unterschiedlich helle Beleuchtung ergeben. So kann bei einem Fussballplatz, der für Meisterschaftsspiele in den Amateurligen mit einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 120 Lux ausgeleuchtet werden muss, zum Beispiel noch eine 80-Lux-Stufe für den Trainingsbetrieb installiert werden. Und bei einem 200-Lux-Platz für Wettkämpfe in der 1. Liga können zusätzliche Schaltstufen für 120 und 80 Lux vorgesehen werden, wobei darauf zu achten ist, dass auch die Anforderungen an die Gleichmässigkeit der Beleuchtung noch eingehalten werden (EBP 2016, SLG 302).

Der verwendete *Scheinwerfertyp* hat einen grossen Einfluss darauf, wie gut das Licht auf die zu beleuchtende Fläche begrenzt werden kann. Unterschieden wird grundsätzlich zwischen Scheinwerfern, die das Licht entweder symmetrisch oder asymmetrisch abstrahlen. Bei Lichtpunkthöhen bis zu ca. 20 m (die entsprechende Höhe hängt auch von der Distanz der Scheinwerfer zur Sportfläche ab) begrenzen asymmetrische Scheinwerfer die beleuchtete Fläche besser als Scheinwerfer mit symmetrischer Lichtverteilung und sind heute in vielen Fällen Stand der Technik (SLG 301, vgl. Abbildung 20).

Diese Aussagen zum Scheinwerfertyp gelten auch für Sportplatzbeleuchtungen mittels LED. Viele Hersteller bieten symmetrische LED-Scheinwerfer an, welche zu höheren Immissionen in der Umgebung führen als asymmetrische. Doch auch bei den asymmetrischen Scheinwerfern kann es grosse Qualitätsunterschiede geben. Es macht daher Sinn, beim Neubau oder der Erneuerung von Sportinfrastruktur-Beleuchtungen die Lichteinwirkungen auf die Umgebung im Einzelfall abzuklären.

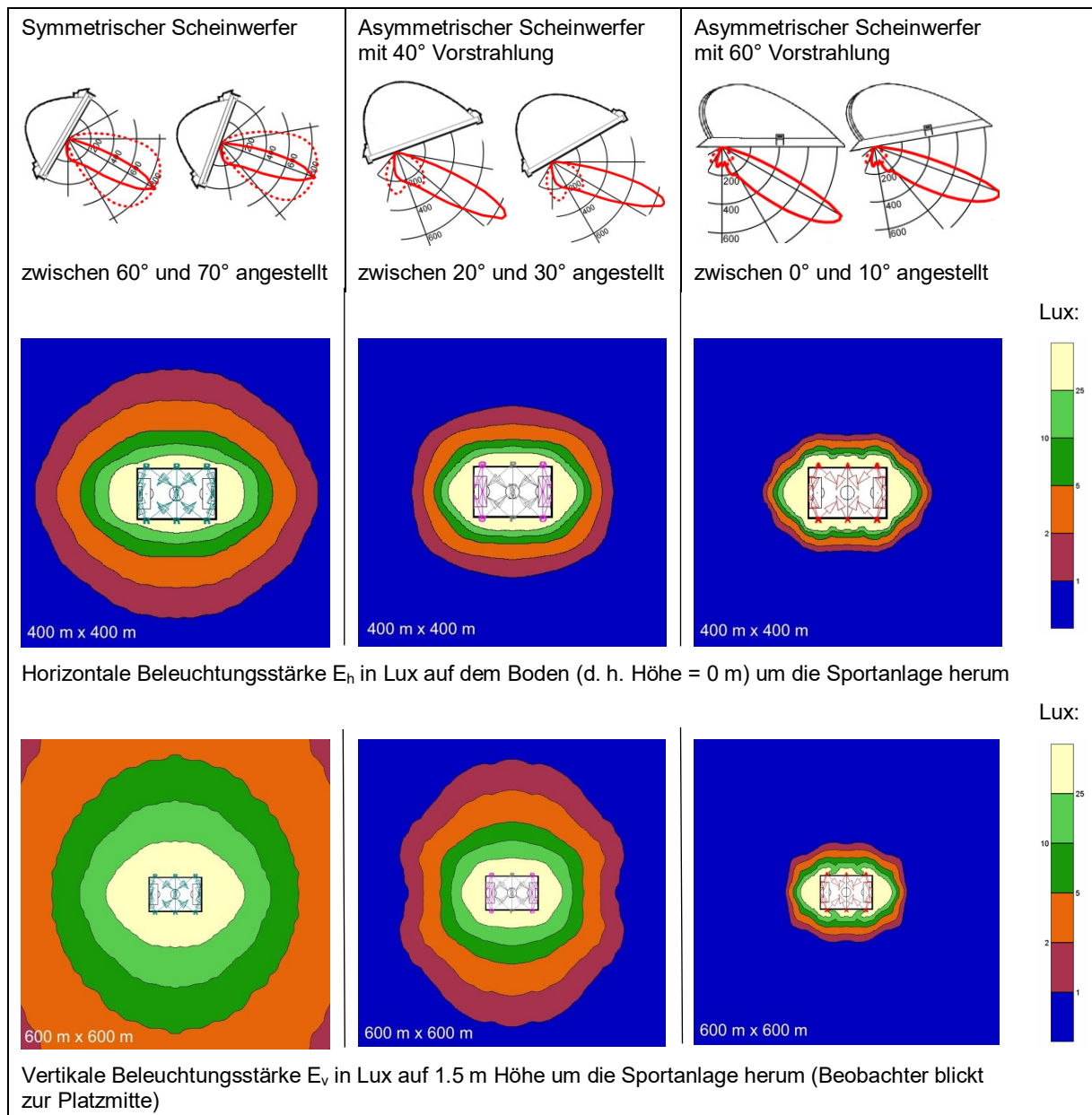


Abbildung 20: Das Beispiel zeigt einen 100 m x 64 m grossen Sportplatz, der mit 18 Scheinwerfern (Beispiel links und in der Mitte) bzw. mit 16 Scheinwerfern (Beispiel rechts) an 6 Masten einer Höhe von 16 m beleuchtet wird. Die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke auf dem Spielfeld beträgt in allen drei Varianten 200 Lux. Je nach eingesetztem Scheinwerfertyp lässt sich die Beleuchtung besser oder schlechter auf das Spielfeld begrenzen. Die obere Reihe zeigt die horizontale Beleuchtungsstärke auf dem Boden, die untere Reihe die vertikale Beleuchtungsstärke in einer Höhe von 1.5 m über dem Boden, jeweils für den Bereich um die Sportanlage herum. Auf den blauen Flächen beträgt die Beleuchtungsstärke weniger als 1 Lux. In den orangen Bereichen liegen die Werte zwischen 2 und 5 Lux und in den dunkelgrünen Bereichen zwischen 5 und 10 Lux. Beim asymmetrischen Scheinwerfer mit 60° Vorstrahlung (rechte Spalte) nehmen die Beleuchtungsstärken mit zunehmender Distanz zum Sportplatz am deutlichsten ab (Quelle: SLG 301).

A5.3.2.2 Empfehlungen an die Bewilligungsbehörden von Sportinfrastruktur-Beleuchtungen im Siedlungsgebiet

[A] Beleuchtungskonzept

Die Planung der Beleuchtung von Sportinfrastrukturen erfordert Fachleute. Diese orientieren sich bei der Ausgestaltung, Berechnung und Überprüfung der Beleuchtung meist an der Norm SN EN 12193 «Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung» und an ergänzenden Richtlinien der SLG (vgl. Kap. A5.3.1). Verlangen Sie im Rahmen eines Bewilligungsverfahrens ein Beleuchtungskonzept, um beurteilen zu können, ob richtig beleuchtet wird und die Auswirkungen auf die Umgebung möglichst gering sind. Hinweise zu weiteren Unterlagen, die für die Beurteilung der Lichtemissionen nützlich sind, finden sich in Kapitel 4.

[B] Berücksichtigung der Umgebung

Beim Beleuchtungskonzept ist auch die Umgebung (wie Wohnungen oder schützenswerte Naturräume, Topographie etc.) zu berücksichtigen. Diese hat einen Einfluss auf die Wahl von Maststandorten und Höhe der Masten sowie von Typen und Ausrichtung der Scheinwerfer (s. unten).

– Wohnraumaufhellung:

- Um allfällige Konflikte der geplanten Beleuchtungsanlage mit angrenzenden Wohngebäuden zu erkennen, sollte die vertikale Beleuchtungsstärke an den Fensterflächen der betroffenen Fassaden berechnet werden. Dies ist mit relativ wenig Aufwand verbunden, wird doch in der Regel die Beleuchtungsanlage bereits in einem Berechnungsmodell erfasst, um die Lichtverhältnisse auf dem Sportplatz selbst zu simulieren. Dieses Modell lässt sich mit zusätzlichen vertikalen Ebenen für die Berechnung der vertikalen Beleuchtungsstärke ergänzen.
- Für die Zeit vor 22 Uhr können die Richtwerte der SN EN 12193 für eine Beurteilung herangezogen werden (vgl. Tabelle 16 in Anh. A6.2 der vorliegenden Vollzugshilfe). Die dort angegebenen Werte sind Zielwerte, die den aktuellen Stand der Technik repräsentieren. Sie konkretisieren somit die vorsorgliche Emissionsbegrenzung nach Umweltschutzgesetz (USG) (Bau- und Ausrüstungsvorschrift bzw. Betriebsvorschrift nach Art. 12 Abs. 1 Bst. b bzw. c USG).
- Für die Zeit ab 22 Uhr wird empfohlen, die Richtwerte von Kapitel 5.2.2 dieser Vollzugshilfe anzuwenden. Diese Richtwerte dienen der Beurteilung, ob im konkreten Einzelfall die Wohnraumaufhellung übermässig ist und damit verschärfte Emissionsbegrenzungen gemäss Artikel 11 Absatz 3 USG anzuordnen sind (2. Stufe).

– Belästigende Blendung des Menschen:

- Diese lässt sich im Voraus nur schwierig prognostizieren. Einen groben Anhaltspunkt gibt die Abklärung, ob von kritischen Immissionsorten in der Umgebung aus ein direkter Blick in die Leuchte möglich ist. Gegebenenfalls wäre mit den unten beschriebenen technischen Massnahmen zu versuchen, einen solchen direkten Blick zu verunmöglichen.
- Bei bestehenden Situationen wird zur Abklärung der belästigenden Blendung empfohlen, sich an das Vorgehen und die Richtwerte gemäss Kapitel 5.3 zu halten.

– Beeinträchtigung des Naturraums:

- Zur Beurteilung der Auswirkungen auf nachtaktive Tiere bzw. schützenswerte Naturräume gibt es keine Richtwerte. Hier muss zum Beispiel mit einer geeigneten Standortwahl und genügend grossen Abständen darauf geachtet werden, unerwünschte Auswirkungen gering zu halten (vgl. hierzu auch Anh. A5.3.6).

[C] Festlegung von verbindlichen Betriebszeiten

Zum Schutz von Anwohnerinnen und Anwohner sollte der Betrieb in der Regel nicht länger als bis 22 Uhr dauern und die Beleuchtung danach möglichst rasch ausgeschaltet werden. Je nach Nutzung (Trainings- oder Wettkampfbetrieb) können für verschiedene Tage und Zeiten unterschiedliche Beleuchtungszustände festgelegt werden. Für spezielle Ereignisse können auch Ausnahmen vorgesehen werden.

A5.3.2.3 Massnahmen zur Begrenzung der Lichtemissionen bei Sportplatzbeleuchtungen

Folgende Massnahmen können dazu beitragen, die Emissionen von Sportplatzbeleuchtungen in die Umgebung zu vermindern (SLG 301, EBP 2016, Lichtplan GmbH 2019). Die Nummerierung bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.

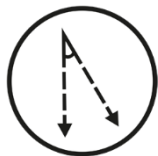


[2] Intensität / Helligkeit

- Nur so viel Beleuchtungsstärke vorsehen, wie nötig; Überbeleuchtung vermeiden. Dies senkt auch den Energieverbrauch.
- Mit dem Einsatz von LED-Scheinwerfern kann auf eine Überbeleuchtung zum Zeitpunkt der Installation verzichtet werden. LED bietet die Möglichkeit, den abgegebenen Lichtstrom optimal an die Anlage und an die je nach Nutzung nötige Beleuchtungsstärke (Training, Wettkampf) anzupassen.
- Bei Leuchtmitteln, die nicht dimmbar sind, lässt sich die Beleuchtungsstärke über Schaltstufen an die jeweilige Nutzung (Trainings-, Wettkampfbetrieb) anpassen (vgl. Anh. A5.3.3).



[4], [5] Auswahl und Platzierung der Leuchten; Ausrichtung

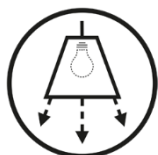


- Möglichst asymmetrische Scheinwerfer mit grosser Vorstrahlung (60°) verwenden und diese mit horizontalem oder nur leicht angestelltem Abschlussglas installieren.
- Werden asymmetrische Scheinwerfer mit 60° Vorstrahlung mit 2° bis 8° leicht angestellt, können Lichtemissionen auf der Rückseite der Kandelaber minimiert werden. Ist das Abschlussglas stärker angestellt (vgl. Abbildung 20, linke und mittlere Spalte), ist die Leuchte von weitem einsehbar und kann dadurch eher zu Blendungen bei Anwohnern führen oder mehr Insekten anziehen.
- Eine kleinere Änderung der Ausrichtung (Azimuth) um ein paar Meter kann die Störwirkung im Bedarfsfall spürbar reduzieren.
- Masthöhen und Maststandorte optimieren: Mehr Masten mit niedrigerer Lichtpunkthöhe können im Hinblick auf eine Reduktion der Lichtemissionen in die Umgebung des Sportplatzes unter bestimmten Umständen besser sein als wenige zentrale Leuchten.



[6] Zeitmanagement / Steuerung

- Verbindliche Betriebszeiten festlegen, und mit Dimm- und Schaltstufen arbeiten (s. oben). LED-Beleuchtungen müssen nicht früher eingeschaltet werden.
- In der Regel spätestens um 22 Uhr ausschalten.



[7] Abschirmungen

- Auch bei asymmetrischen LED-Scheinwerfern darauf achten, dass sie eine gute Abschirmung nach oben aufweisen (dies ist bei asymmetrischen LED-Scheinwerfern nicht generell gegeben).
- Unter Umständen können die Emissionen in die Umgebung mit zusätzlichen Blenden und Rastern an den Scheinwerfern weiter beschränkt werden. Dies kann im Gegenzug allerdings die Einhaltung der lichttechnischen Anforderungen auf dem Spielfeld erschweren.
- Bauliche Massnahmen zwischen Beleuchtungsanlage und Umgebung helfen, eine direkte Lichtwirkung zu vermeiden oder abzuschwächen.

A5.3.3 Sportinfrastrukturen im Naturraum

A5.3.3.1 Grundsätzliches

Mit der Beleuchtung von Skipisten, Loipen, Schlittelwegen, Joggingstrecken im Wald, Fahrradwegen, Kajakstrecken oder Aussenreitplätzen werden zunehmend auch Sportangebote in der freien Natur bis in die Nacht hinein erweitert, sei es als Trainingsmöglichkeiten für die Jugend, als zusätzliches Angebot für die arbeitende Bevölkerung oder als Attraktion für Touristen (vgl. Anh. A2.1). Auch dafür erforderliche Infrastrukturen wie Seilbahnen sind bis in die Nacht hinein in Betrieb. Für die Beleuchtung dieser Sportinfrastrukturen in der Natur genügen meist deutlich geringere Intensitäten als bei Sportplätzen im Siedlungsraum. Aufgrund der natürlicherweise dunkleren Umgebung kann aber auch von ihnen ein erhebliches Störpotenzial ausgehen. Hinzu kommt, dass schützenswerte Naturräume oder lichtsensible Arten stärker betroffen sind als im Siedlungsgebiet.

A5.3.3.2 Massnahmen zur Begrenzung der Lichtemissionen bei Sportinfrastruktur-Beleuchtungen im Naturraum

Die Nummerierung der folgenden Massnahmen bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[1] Notwendigkeit

Wegen der natürlicherweise dunkleren Umgebung sind Zielkonflikte zwischen Nutz- und Schutzinteressen besonders ausgeprägt, wenn Bereiche in der freien Natur beleuchtet werden sollen. Es empfiehlt sich deshalb, bereits bei der Abklärung, ob eine Sportinfrastruktur beleuchtet werden soll oder nicht, alle relevanten Stellen miteinzubeziehen (wie politisch Verantwortliche, touristische Akteure, Sportverbände, Naturschutzbehörden und -organisationen etc., vgl. Kap. 3.2).



[2] Intensität / Helligkeit

- Nur so hell beleuchten, wie nötig: Die erforderlichen Bedürfnisse mit der geringstmöglichen Gesamtlichtmenge abdecken. Dies spart auch Energie.
- Umgebungshelligkeit miteinbeziehen: In einer eher dunklen Umgebung braucht es weniger intensives Licht, um einen beabsichtigten Beleuchtungszweck zu erfüllen.
- Im Winter den Reflexionsgrad von Schnee berücksichtigen. Eine ausreichend hohe Helligkeit der Pisten oder Loipen (gemessen als Leuchtdichte) ist aufgrund des hohen Reflexionsgrades von Schnee bereits mit geringen Beleuchtungsstärken möglich.



[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

- Sorgfältige, auf den Beleuchtungszweck, den Beleuchtungsort und dessen Umgebung abgestimmte Wahl des verwendeten Lichtspektrums.
- Je kleiner der Blauanteil des künstlichen Lichts ist, desto geringer sind negative biologische Auswirkungen (Anlockwirkung auf Insekten, Beeinflussung des Tag-Nacht-Rhythmus von Lebewesen). Sollen Sportinfrastrukturen in der freien Natur beleuchtet werden, empfiehlt es sich daher, Licht mit einem möglichst geringen Blauanteil, das heisst möglichst warmweisses Licht, einzusetzen.

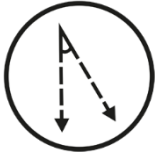


[4] Standortwahl / Platzierung der Leuchten

Ist der Entscheid für eine Beleuchtung gefällt worden, gilt es die Auswirkungen auf die Umgebung möglichst gering zu halten. Dies beginnt bereits mit einer sorgfältigen Standortwahl der Sportinfrastruktur und der Beleuchtungsanlagen. Auch hierzu empfiehlt es sich, die relevanten Fachstellen und Akteure frühzeitig miteinzubeziehen und abzuklären, welche Gebiete vor Lichteinwirkungen besonders zu schützen sind. Bei der Standortwahl ist insbesondere Folgendes zu beachten:

- Keine Beleuchtungen in Schutzgebieten, in Habitaten von geschützten Tier- und Pflanzenarten oder an Schlaf- und Brutplätzen.

- Genügend Abstand zu solchen geschützten und schützenswerten Naturräumen oder Landschaften einhalten.
- Zusammenhängende Dunkelkorridore erhalten, damit die Lebensräume nachtaktiver Tiere vernetzt bleiben.
- Fernwirkung von Leuchten durch entsprechende Standortwahl, geringe Höhe der Masten und gezielte Ausrichtung der Leuchten möglichst vermeiden.



[5] Ausrichtung

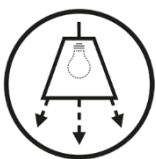
- Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten, um unnötige Abstrahlungen in den Nachthimmel zu vermeiden.
- Bei der Ausrichtung der Leuchten auch darauf achten, dass kein Streulicht in schützenswerte Naturräume oder Landschaften gelangt oder dass es – infolge der Topographie (Höhenunterschiede) – nicht zu belästigenden Blendungen bei Wohnhäusern in der Umgebung kommt.
- Die Beleuchtung möglichst gut ans Gelände anpassen (Unebenheiten, Topographie etc. berücksichtigen).



[6] Zeitmanagement / Steuerung

Bei der Ausarbeitung eines Beleuchtungskonzeptes ist auch der zeitlichen und bedarfsgerechten Steuerung der Beleuchtung Rechnung zu tragen. Hierzu können folgende Überlegungen hilfreich sein:

- Nicht allabendlich beleuchten: Festlegen, an welchen Wochentagen oder an wie vielen Tagen pro Woche die Beleuchtung in Betrieb ist.
- Berücksichtigung der Wetterverhältnisse: z. B. keine Beleuchtung bei Nebel, tief hängenden Wolken oder Regen.
- Berücksichtigung der Jahreszeit: z. B. Rücksichtnahme auf Vogelzug im Frühling und Herbst.
- Berücksichtigung der natürlichen Umgebungshelligkeit: z. B. Betrieb eher auf helle Nächte (Vollmond) legen und in dunklen Nächten (Neumond) darauf verzichten.
- Maximale Betriebszeiten festlegen: Zum Schutz von Anwohnerinnen und Anwohner, aber auch der Natur sollte der Betrieb in der Regel nicht länger als bis 22 Uhr dauern und die Beleuchtung danach möglichst rasch ausgeschaltet werden.



[7] Abschirmungen

- Das Licht möglichst präzise auf die zu beleuchtende Fläche beschränken. Allenfalls zusätzliche Abschirmungen an den Leuchten anbringen.
- Abgedunkelte, mattierte Gläser bei Gondeln, Seilbahnen oder Gebäuden verwenden, damit Innenbeleuchtung nicht nach aussen dringt.

A5.4 Gewerbe- und Industrieanlagen, Baustellen und Arbeitsplätze im Freien

A5.4.1 Grundsätzliches

Bei der Beleuchtung von Gewerbe- und Industrieanlagen, Baustellen oder Arbeitsplätzen im Freien kann es aus verschiedenen Gründen zu Konflikten wegen Lichtemissionen kommen (EBP 2016, Tschanz 2015):

- So befinden sich grössere Gewerbe- und Industrieanlagen häufig am Siedlungsrand. Zum einen ist dort die Umgebungshelligkeit meist niedrig, weshalb Beleuchtungen eher auffallen und auf Anwohner störend wirken können. Zum andern sind dort aber auch die Abstände zu natürlichen Lebensräumen kleiner, was das Risiko von negativen Auswirkungen auf lichtsensible nachtaktive Tierarten erhöht und auch die natürliche Nachtdunkelheit beeinträchtigt.
- Bei Gewerbebetrieben, die in Mischzonen liegen, kann insbesondere auch die (Innen-)Beleuchtung am frühen Morgen zur Aufhellung von Wohn- und Schlafräumen bei benachbarten Wohngebäuden führen.
- Bei Baustellen sind auch direkte Blendungen durch Schweinwerfer möglich. Bei nachts unbenutzten Baustellen können auch Beleuchtungen an Baukränen (inkl. Reklamebeleuchtungen) als störend empfunden werden.

Gemäss der Verordnung über Unfallverhütung (VUV, SR 832.30) müssen Räume, Arbeitsplätze, Gänge und Korridore etc. innerhalb und ausserhalb der Gebäude so beleuchtet sein, dass die Sicherheit und die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht gefährdet werden. Für Arbeitsplätze im Freien gibt die Norm SN EN 12464-2 «Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien» vor, wie sie im Hinblick auf Sehkomfort und Sehleistung auszuleuchten sind, damit die Arbeiten möglichst ohne Unfallgefahr ausgeführt werden können. Die Norm behandelt etwa:

- Be- und Entladestellen;
- Baustellen;
- Industrieanlagen und Lagerbereiche;
- Tankstellen;
- Lade- und Wartungsbereiche von Flughäfen;
- Perrons und andere Bereiche von Bahnhöfen (vgl. weitere Informationen in Anh. A5.2).

In Kapitel 4.5 enthält die SN EN 12464-2:2014 zudem Richtwerte – zum Beispiel bezüglich Beleuchtungsstärke auf der Fassade angrenzender Wohnhäuser –, um die Störwirkung von Aussenbeleuchtungen gering zu halten (vgl. weitere Ausführungen in Anh. A3.4.2).

A5.4.2 Empfehlungen zur Begrenzung der Emissionen bei der Beleuchtung von Gewerbe- und Industrieanlagen sowie Baustellen und Arbeitsplätzen im Freien

Die Nummerierung der folgenden Massnahmen bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[1] Notwendigkeit

- Bei Anlagen bzw. Arbeitsplätzen im Freien, welche Normvorgaben betreffend Beleuchtung einzuhalten haben, ist deren Notwendigkeit nicht in Frage zu stellen. Es empfiehlt sich, im Rahmen des Bewilligungsverfahrens ein Beleuchtungskonzept und eine Dokumentation gemäss Anhang A4 zu verlangen (von Seiten der Behörden) bzw. einzureichen (vom Anlageinhaber).



[2] Intensität / Helligkeit

- Dort, wo Normen eine gewisse Helligkeit verlangen, muss die Maxime lauten: Die Normwerte einhalten, aber nicht übererfüllen.
- Ansonsten ist die Umgebungshelligkeit miteinzubeziehen: In einer eher dunklen Umgebung braucht es weniger intensives Licht, um einen beabsichtigten Beleuchtungszweck zu erfüllen.

- Potentielle Gefahrenstellen können durch eine punktuell andere Beleuchtung hervorgehoben werden (z. B. andere Farbtemperatur oder Intensität als bei der Grundbeleuchtung).



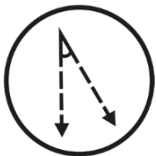
[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

- Sorgfältige, auf den Beleuchtungszweck, den Beleuchtungsort und dessen Umgebung abgestimmte Wahl des verwendeten Lichtspektrums. Bei Arbeitsplätzen im Freien bestehen zum Teil Vorgaben an die Farbwiedergabe-Eigenschaft des verwendeten Leuchtmittels, damit beispielsweise Sicherheitsfarben auf Beschilderungen als solche erkennbar sind.



[4] Auswahl und Platzierung der Leuchten

- Durch mehr Masten mit einer geringeren Höhe der Leuchten über Boden (sog. Lichtpunkthöhe) und niedrigeren Lichtströmen kann gleichmässiger beleuchtet und die Lichtemissionen in die Umgebung können im Vergleich zu höheren Masten reduziert werden (Verringerung der Fernwirkung, präzisere Lichtlenkung).
- Bei Verwendung von Leuchten mit einer asymmetrischen Lichtverteilung kann das Licht – im Vergleich zu symmetrisch abstrahlenden Leuchten – besser auf die tatsächlich zu beleuchtende Fläche begrenzt werden.



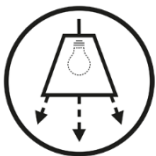
[5] Ausrichtung

- Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten, um unnötige Abstrahlungen in den Nachthimmel zu vermeiden.
- Das Abschlussglas des Leuchtenkopfs möglichst horizontal ausrichten. Ist die Leuchte stärker angestellt, ist sie von weitem einsehbar und kann dadurch eher zu Blendungen bei Anwohnern führen oder mehr Insekten anziehen.



[6] Zeitmanagement / Steuerung

- Nach Betriebsschluss ist die Beleuchtung ganz auszuschalten. Andernfalls ist nachvollziehbar dazulegen, weshalb eine vollständige Ausschaltung aus technischen oder betrieblichen Gründen nicht möglich ist.
- Auch für die Beleuchtung während des Betriebs ist durch den Einsatz geeigneter Leuchten und Steuerungsmöglichkeiten (wie z. B. Bewegungsmelder) anzustreben, nur diejenigen Flächen zu beleuchten, auf welchen tatsächlich gearbeitet wird. Bei Tankstellen kann dies zum Beispiel bedeuten, dass nach Schliessung des Shops nur noch die Zapfsäulen beleuchtet werden.
- Emissionen, die von der Innenbeleuchtung ausgehen, können ebenfalls reduziert werden, indem nur diejenigen Räume beleuchtet sind, in denen tatsächlich gearbeitet wird. Dies kann über eine intelligente Lichtsteuerung geschehen, welche anwesende Personen registriert. Dies hilft zudem, Energie zu sparen.



[7] Abschirmungen

- In spezifischen Problemfällen können die Emissionen in die Umgebung mit zusätzlichen Abschirmungen an den Leuchten weiter beschränkt werden.
- Bei temporären Baustellen können die Einsehbarkeit und die Emissionen in die Umgebung auch mit zusätzlichen Sichtschutzwänden oder Ähnlichem beschränkt werden.
- Bei grossen Gebäuden oder solchen mit grossen Fensterflächen lassen sich die Emissionen, die zu frühen Morgenstunden oder spätabends von der Innenbeleuchtung ausgehen, durch Storen, Fensterläden oder blickdichten Vorhängen reduzieren.

A5.5 Befeuerung von Luftfahrthindernissen

A5.5.1 Grundsätzliches

Als Luftfahrthindernisse gelten Objekte (Gebäude, Antennen, Türme, Kräne, Seilbahnen, Windenergieanlagen, Hochspannungsleitungen oder weitere hohe Anlagen sowie auch Pflanzen), wenn sie in bebauten Gebieten eine Höhe von 60 Metern und mehr sowie in unbebauten Gebieten eine Höhe von 25 Metern und mehr erreichen. Eigentümer solcher Anlagen sind verpflichtet, ein Hindernisobjekt zu registrieren oder vom Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL bewilligen zu lassen. Die Einzelheiten sind in Artikel 63 ff. der Verordnung vom 23. November 1994 über die Infrastruktur der Luftfahrt (VIL, SR 748.131.1) geregelt. Das BAZL prüft, ob eine Anlage mit Blick auf die Sicherheit des Luftverkehrs errichtet werden darf und welche Sicherheitsmassnahmen wie Markierung und/oder Befeuerung vorzunehmen sind.

Bei der Befeuerung von Luftfahrthindernissen steht der Sicherheitsaspekt für (tieffliegende) Luftfahrzeuge im Vordergrund. Das BAZL stützt sich bei den Auflagen zur Befeuerung von Luftfahrthindernissen hauptsächlich auf folgende Rechtsgrundlagen:

- Regelungen der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO): ICAO Annex 14 Vol. I / Kapitel 6
- VIL: Die Verordnung regelt den Bau von Infrastrukturanlagen der Luftfahrt (Flugplätze und Flugsicherungsanlagen) und den Betrieb von Flugplätzen. Sie enthält zudem die Bestimmungen über die Luftfahrthindernisse.
- Richtlinie AD I-006 D, Luftfahrthindernisse, BAZL 1.7.2019: Diese Richtlinie führt geordnet nach Hindernistypen die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen auf.

Befeuerungen von Hindernissen können sowohl für Menschen als auch für Tiere (Zugvögel, Fledermäuse) Störwirkungen mit sich bringen. Ausserhalb von Siedlungsgebieten fallen diese besonders ins Gewicht, da dort die Umgebungshelligkeit meist niedrig ist. In klaren Nächten ist die Störwirkung grösser als bei bewölkten Verhältnissen.

Untersuchungen (z. B. Azam 2017) haben gezeigt, dass Zugvögel durch permanentes weisses Licht stärker angezogen werden als durch rotes Blinklicht. Bei den Fledermäusen wirkt sich die Befeuerung stärker auf lokal ansässige Arten als auf wandernde Arten aus. Grundsätzlich werden lokal ansässige Fledermäuse jedoch durch rotes Licht weniger gestört als durch weisses.

A5.5.2 Massnahmen zur Verminderung der Störwirkungen durch die Befeuerung von Luftfahrthindernissen

Folgende Massnahmen können dazu beitragen, die Störwirkungen von Befeuerungen von Luftfahrthindernissen für Menschen und Tiere zu vermindern. Die Nummerierung bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[2] Intensität

- Anpassung der Beleuchtungsintensität an Sichtweiterehältnisse (mittels Sichtweitemessgeräte)



[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

- Wenn möglich rot blinkendes Licht einsetzen



[6] Zeitmanagement / Steuerung

- Synchronisierung der Blinklichter, falls mehrere Objekte befeuert werden müssen
- Bedarfsgerechte Befeuerung, d. h. Erkennung von Luftfahrzeugen mittels Radar

Diese Massnahmen sind kongruent mit den Vorgaben der BAZL-Richtlinie AD I-006 D «Luftfahrthindernisse», welche für Nachtbefeuerungen rotes Blinklicht sowie die Synchronisierung der Blinkimpulse bei einer permanenten Anlage oder einem permanenten Anlagenkomplex (z. B. Windpark) verlangt.

A5.6 Öffentliche Räume und Plätze

A5.6.1 Grundsätzliches

In Städten spielt sich das soziale Leben zu einem grossen Teil in Fussgängerzonen, auf öffentlichen Plätzen oder in Stadtpärken ab. In der Nacht soll die Beleuchtung solcher Begegnungszonen den Menschen zu einer Sicherheit und Orientierungshilfe bieten, zum andern soll sie auch eine einladende und angenehme Atmosphäre schaffen.

Hierfür spielen neben der Beleuchtungsstärke auch Aspekte wie die Farbtemperatur oder die Farbwiedergabe-Eigenschaften des verwendeten Lichts eine Rolle sowie die Möglichkeit, den Raum und die Gesichter der Menschen in der Umgebung gut wahrnehmen zu können. So empfinden viele Leute warmweisses Licht angenehmer als neutralweisses. Bei einer guten Farbwiedergabe wirken die andern Menschen natürlicher und nicht fahl wie bei Licht, das nur aus einem engen Spektrum besteht wie beispielsweise das gelblich-orange Licht von Natriumdampf-Niederdrucklampen. Die Gesichtserkennung ist zudem bei diffuser Lichtabstrahlung besser möglich als bei stark gerichtetem Licht. Und beleuchtete vertikale Elemente wie Fassaden verhindern einen oft als negativ empfundenen «Tunnel- oder Höhleneffekt» und erleichtern die räumliche Wahrnehmung und Orientierung, was sich wiederum positiv auf das Sicherheitsgefühl auswirkt (vgl. Anh. A2.3.4).

Einige dieser Aspekte stehen auf den ersten Blick im Widerspruch zu den Grundsätzen, die für die Vermeidung unnötiger Lichtemissionen gelten, nämlich das Licht möglichst von oben gegen unten gerichtet und nur auf die Flächen abzugeben, die beleuchtet werden sollen. Dieser Widerspruch wird dadurch gemildert, dass eine Ausleuchtung von öffentlichen Räumen und Plätzen, einschliesslich vertikaler Elemente, bereits mit geringen Beleuchtungsstärken funktionieren kann – es gibt keine Normvorgaben, die hier einzuhalten wären. Durch niedrige (horizontale) Beleuchtungsstärken können die Reflexionen vom Boden in den Nachthimmel hinauf gering gehalten werden. Zudem bieten neue Technologien die Möglichkeit, Fassaden sehr präzise zu beleuchten (vgl. Anh. A5.7.2) oder die Beleuchtung zeitlich so zu schalten, dass Fassaden ab bestimmten Zeiten nicht mehr mitbeleuchtet werden.

A5.6.2 Empfehlungen zur Begrenzung der Emissionen bei der Beleuchtung öffentlicher Räume und Plätze

Die Nummerierung der folgenden Massnahmen bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[1] Notwendigkeit

- Die Beleuchtung öffentlicher Räume sollte in ein übergeordnetes Beleuchtungskonzept oder einen grossräumigen Beleuchtungsplan eingebettet sein. Grundsätzliche Hinweise dazu finden sich in Anhang A4.1.
- Für den Entscheid, ob es notwendig ist, einen Stadtpark in der Nacht zu beleuchten, ist seine Funktion von zentraler Bedeutung:
 - Ist der Park in erster Linie für eine Nutzung tagsüber vorgesehen, ist eine Beleuchtung in der Nacht zu vermeiden.
 - Erfüllt der Park auch in der Nacht eine Funktion – dient er zum Beispiel für Fussgänger oder Velofahrer als direkte Verbindungsachse zwischen anderen wichtigen Stadträumen, so dass sie keine langen Umwege in Kauf nehmen müssen –, dann kann eine den Bedürfnissen angemessene Beleuchtung angezeigt sein.
 - Dabei gilt es aufzupassen, dass mit einer Beleuchtung im Park keine Sicherheit vorgetäuscht wird, die in Realität allenfalls gar nicht besteht. So kann Licht seine Sicherheitsfunktion für die Verhinderung von Delikten zum Beispiel erst dann erfüllen, wenn soziale Kontrolle möglich ist. Oder eine schlechte Beleuchtung, die zu Blendungen führt, kann das Risiko für Unfälle oder Delikte sogar noch erhöhen (weitere Hinweise zum Einbezug sicherheitsrelevanter Aspekte bei Beleuchtungsplanungen finden sich in Anh. A4.2.5).

[2] Intensität / Helligkeit

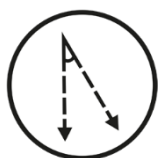
- Für eine gute Raumwirkung reicht oft bereits eine dezente Beleuchtung. Allenfalls kann zum Hervorheben potentieller Gefahrenstellen punktuell eine andere Beleuchtung gewählt werden als für den Rest eines Raumes.
- Die umliegenden Strassen und Plätze sind bei der Planung der Beleuchtung eines öffentlichen Raumes ebenfalls einzubeziehen, damit keine zu starken Helligkeitsunterschiede zwischen den verschiedenen Räumen entstehen. Bei starken Hell-Dunkel-Kontrasten können potenzielle Täter in der deutlich dunkleren Umgebung leichter untertauchen. Betreffend Kriminalität sind meist nicht historische Plätze problematisch, sondern die Seitengassen (EBP 2016).
- Je nachdem, ob und wie ein Park beleuchtet wird, sind an der Peripherie Adaptionsflächen zu schaffen, die einen sanften Übergang von helleren in dunklere Stadträume und umgekehrt ermöglichen.
- Bei Beleuchtungen von Wegen in einem Park ist ebenfalls darauf zu achten, dass keine starken Hell-Dunkel-Kontraste entstehen, wodurch Personen auf den (zu hell) beleuchteten Wegen nicht mehr erkennen können, was in der näheren Umgebung vor sich geht («Bühneneffekt»). Zu einer Verbesserung der Übersichtlichkeit tragen neben einer angemessenen Beleuchtung auch eine gute Planung von Wegführung und Orientierungsmöglichkeiten (Beschilderung, keine Mauern, welche die Sicht versperren) sowie eine geeignete Platzierung und Bewirtschaftung von Büschen, Hecken und Bäumen bei.

**[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe**

- Um auf öffentlichen Plätzen und in Parks eine gemütliche und einladende Atmosphäre zu schaffen, wird in der Praxis (trotz der geringeren Energieeffizienz) meist warmweisses Licht mit guter Farbwiedergabe eingesetzt, da es die meisten Menschen als angenehmer empfinden als kalt- oder neutralweisses.

**[4] Auswahl und Platzierung der Leuchten**

- Sollen Fassaden besonderer Gebäude flächig beleuchtet oder Objekte inszeniert werden, stellt das Lichtprojektionsverfahren bzw. eine fokussierte LED-Beleuchtung derzeit den besten Stand der Technik im Hinblick auf eine Vermeidung unnötiger Lichtemissionen dar (vgl. Anh. A5.7.2).
- Historische Leuchten geniessen in der Bevölkerung oft einen starken Rückhalt, auch wenn sie ineffizient sind, das Licht nicht gerichtet abgeben und zu Blendungen führen können. Grundsätzlich lassen sich aber auch diese auf LED-Technik umrüsten und hinsichtlich der Vermeidung unnötiger Lichtemissionen anpassen.

**[5] Ausrichtung**

- Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten, um unnötige Abstrahlungen in den Nachthimmel zu vermeiden.
- Naturnahe Gewässer, ihre Ufer sowie Bäume sind möglichst nicht zu beleuchten.

**[6] Zeitmanagement / Steuerung**

- Wird ein öffentlicher Platz nicht mehr genutzt (z. B. nach Schliessung der Restaurants), lässt sich die Beleuchtung deutlich reduzieren.
- Dort, wo es zur Verhinderung eines «Tunnel- oder Höhleneffektes» gewünscht ist, dass zu gewissen Zeiten auch die Fassaden dezent angeleuchtet werden, können Systeme eingesetzt werden, die je nach Nachtzeit unterschiedlich geschaltet sind und die umliegenden Fassaden ab einer bestimmten Zeit nicht mehr mitbeleuchten (vgl. Praxisbeispiel unten).

Praxisbeispiel: Verhinderung von Höhleneffekten bei öffentlichen Plätzen in Luzern

Um im Stadtzentrum von Luzern eine gemütliche und familiäre, aber auch lebendige Atmosphäre zu schaffen, finden dort grundsätzlich Leuchtmittel mit warmweisser Lichtfarbe und sehr guter Farbwiedergabe Anwendung. Für die Beleuchtung der innerstädtischen Gassen wurden zudem spezielle direkt/indirekt strahlende Wandleuchten entwickelt, die zwei unabhängig voneinander schaltbare Lichtquellen aufweisen, die in verschiedene Richtungen strahlen. In den frühen Abendstunden wird damit zur Verhinderung eines «Höhlen- oder Tunneleffektes» das gesamte Volumen der Gassenräume ausgeleuchtet. Später in der Nacht wird das gegen die Fassaden gerichtete Licht abgeschaltet und es wird nur noch nach unten auf die Strasse bzw. den Gehweg geleuchtet. Ähnlich erfolgt die Beleuchtung der Plätze, hier jedoch mit unterschiedlich angeordneten und geschalteten Leuchten (vgl. Abbildung 21).

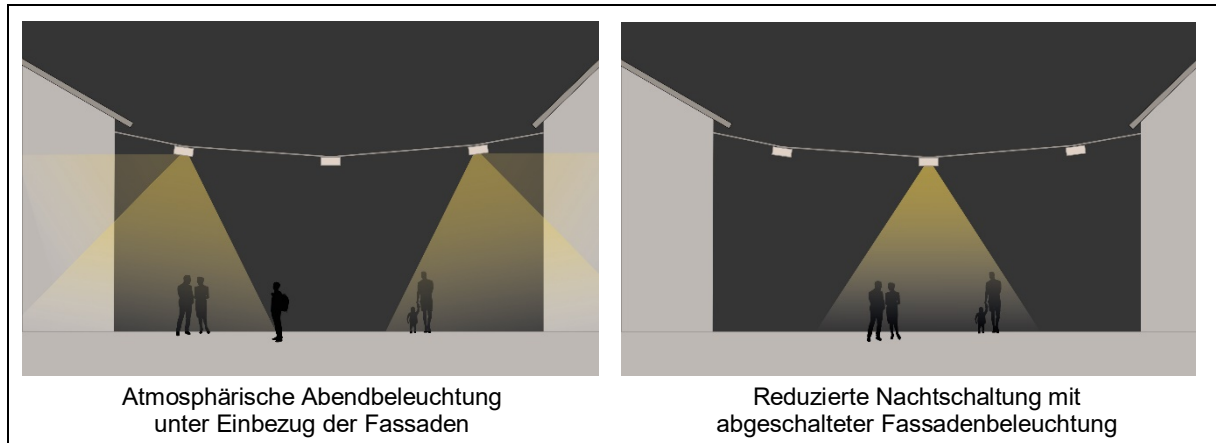


Abbildung 21: Schematische Anordnung und Funktionsweise der Seilpendelleuchten, mit denen innerstädtische Plätze in Luzern beleuchtet werden. In den frühen Abendstunden (Bild links) strahlen die äusseren Leuchten auch die Fassaden an. Durch das Sichtbarmachen der Architektur wird ein Höhleneffekt vermieden und eine optimale Wahrnehmung des Ortes in seiner Dreidimensionalität erreicht. Die mittlere Leuchte bleibt ausgeschaltet. In den späten Abend- bzw. Nachtstunden wechselt die Beleuchtung von den äusseren auf die innere, über der Platzmitte angeordnete Seilpendelleuchte (rechtes Bild). Die Fassadenbeleuchtung erlischt und allfällige Störungen der anliegenden Wohnungen werden eingeschränkt (nach: Stadt Luzern 2006).

A5.7 Öffentliche Gebäude und Objekte

A5.7.1 Grundsätzliches

Bei öffentlichen Gebäuden (Verwaltungsgebäude, Schulen etc.) können funktionale *Aussenbeleuchtungen* (z. B. bei Zugangswegen und Vorplätzen) Lichtemissionen verursachen. Bei grossen Gebäuden (z. B. Hochhäuser, Spitäler) oder Gebäuden mit grossen Fensterflächen oder verglasten Treppenhäusern können zusätzlich auch von der **Innenbeleuchtung** namhafte Emissionen nach aussen gelangen, wenn die Fenster nicht mit Storen oder Fensterläden abgedeckt werden. Es handelt sich dabei um unnötige Beleuchtung, die nach aussen dringt.

Weiter werden aus gestalterischen Gründen auch Fassaden von historischen Gebäuden oder Kirchen sowie Objekte wie Stadtmauern oder Denkmäler beleuchtet. Diese *Fassaden- oder Objektanstrahlungen* erfolgten in der Vergangenheit meist über das Flutlicht- oder das Mehrleuchtenverfahren.

Beim *Flutlichtverfahren* werden um das Gebäude herum ein oder mehrere Scheinwerfer aufgestellt und die Fassaden grossflächig beleuchtet. Diese Art der Beleuchtung ist zwar verhältnismässig einfach zu realisieren, aber nicht besonders präzise. Nahe am Gebäude platzierte Scheinwerfer, die stark gegen oben gerichtet sind, strahlen einen grossen Teil des Lichts ungenutzt in den Nachthimmel ab. Und Scheinwerfer in grösserer Distanz zur Fassade haben ein hohes Potenzial für Blendungen (Ulmann 2015).

Wird eine grössere Zahl von Leuchten mit niedriger Intensität direkt an der Fassade angebracht, spricht man vom *Mehrleuchtenverfahren*. Damit können architektonische Merkmale präzise zur Geltung gebracht werden. Das Verfahren ist aufwändig in Erstellung und Unterhalt, da viele einzelne Lichtpunkte, Lichtflächen und Lichtwerte zu berücksichtigen sind. Und je nach eingesetztem Leuchtmittel kann auch der Energiebedarf beträchtlich sein (Ulmann 2015, Cieslik 2010).

Zwischen 2004 und 2008 wurde in einem von der Kommission für Technologie und Innovation KTI des Bundes geförderten Projekt das sog. *Lichtprojektionsverfahren* entwickelt. Dieses kombiniert die beleuchtungstechnischen Vorteile der herkömmlichen Flutlicht- und Mehrleuchtenverfahren – eine homogene und gleichzeitig präzise Ausleuchtung von Fassaden –, reduziert aber unerwünschte Lichtemissionen über die Gebäudekanten hinaus und senkt den Energieverbrauch. Das Verfahren beruht auf der im Grunde altbekannten Projektionstechnik. Diese wurde aber im Rahmen des KTI-Projekts im Hinblick auf einen Einsatz im städtischen Aussenbereich zur Anwendungs- und Marktreife weiterentwickelt (Cieslik 2010).

A5.7.2 Lichtprojektionsverfahren und fokussierte Beleuchtung

Beim Lichtprojektionsverfahren erfolgt die Beleuchtung von Fassaden mit einem Projektor, der verzugs-korrigierte Bildvorlagen des Gebäudes an dessen Fassade projiziert. Die Bildvorlage wird per Laser auf eine chrombeschichtete Glasplatte aufgebracht oder sie wird aufgeätzt. Schwarze Flächen auf der Vorlage verhindern den Lichtaustritt, transparente Bereiche lassen das Licht passieren. Mithilfe unterschiedlicher Graustufen lassen sich auch Helligkeitsverläufe darstellen. Solche Gobo-Masken (graphical optical blackout) werden vor das Leuchtmittel in speziell konstruierte Projektoren eingesetzt (vgl. Abbildung 22). Als Leuchtmittel wurden in den ersten Jahren Halogen-Metall dampflampen verwendet, seit 2016 kommen auch LED zum Einsatz. Die Projektoren können an Masten angehängt oder an Fassaden von gegenüberliegenden Gebäuden montiert werden (Cieslik 2010).

Je nach Umgebungshelligkeit und Reflexionseigenschaften der Fassade braucht es unterschiedlich hohe Beleuchtungsstärken, um ein Objekt mittels Lichtprojektion inszenieren zu können. Das Resultat einer gut ausgeführten Projektionsbeleuchtung überzeugt zum einen aus gestalterischer Sicht: «Das Licht wirkt angenehm für das Auge, Kontraste, Vorsprünge und Strukturen sind sehr gut [...] sichtbar» (Ulmann 2015, S. 140). Zum andern werden durch die präzise Beleuchtung unnötige Lichtemissionen reduziert. Zudem können mit den Gobo-Masken auch auf dem zu beleuchtenden Objekt Bereiche ausgespart werden, die dunkel bleiben sollen, so dass zum Beispiel kein Licht auf Brut- und Nistplätze von Vögeln in Stadtmauern oder Fenstern an Fassaden fällt.

Eine Studie der Fachhochschule Nordwestschweiz bestätigte mit Messungen, dass die Abgrenzungen des Lichtkegels scharf sind und entsprechend nur sehr wenig Licht über die Gebäudekanten oder die

zu beleuchtenden Flächen hinaus strahlt. Die Studie ortet Probleme nicht in der Technik selbst, sondern durch eine allenfalls überbordende Anwendung dieses Verfahrens, wenn Behörden, Eigentümer und Planer die zu beleuchtenden Objekte nicht sorgfältig auswählen und keine Prioritäten setzen. Ist der Entscheid für eine bestimmte Fassaden- oder Objektanleuchtung getroffen worden, so stellt dieses Lichtprojektionsverfahren den derzeit besten Stand der Technik im Hinblick auf eine Vermeidung unnötiger Lichtemissionen dar (Kobler 2009).

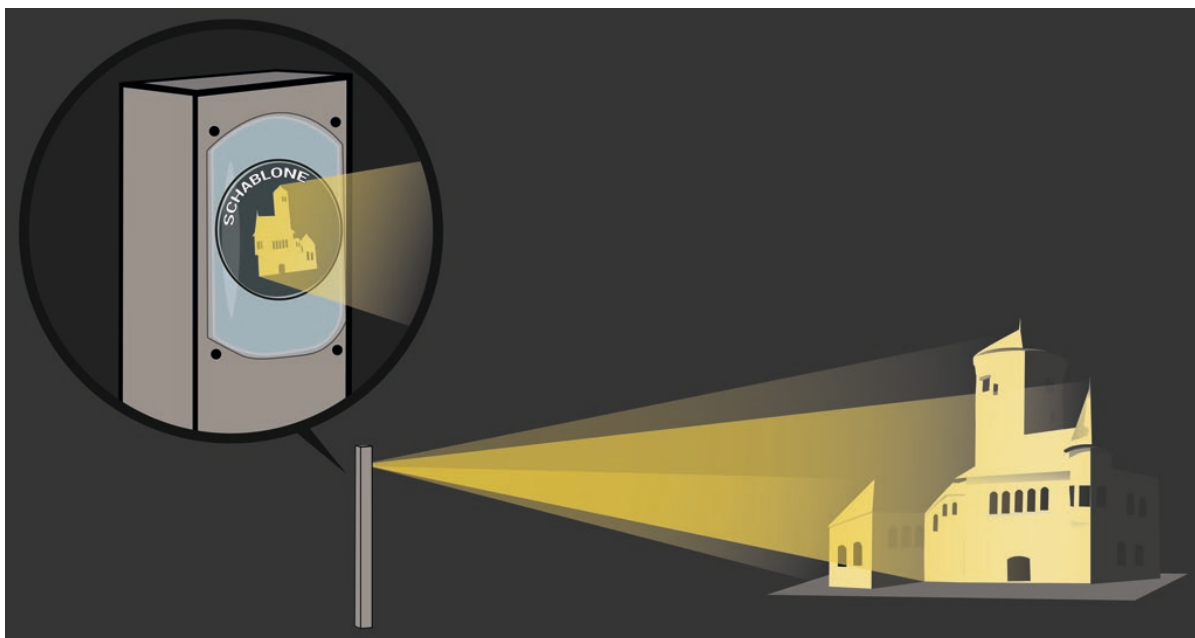


Abbildung 22: Beim Lichtprojektionsverfahren können Fassaden mittels Hell-Dunkel-Masken, die den Strahlengang des Projektors eingesetzt werden, sehr präzise beleuchtet werden.

Neben einer Fassaden- oder Objektanleuchtung mittels der Gobo-Technik, können auch spezielle LED-Lampen verwendet werden, die unauffällig an der Fassade montiert werden. Um die Beleuchtung auf die gewünschten Flächen zu reduzieren, werden solche LED-Lampen mit einer passenden Optik oder Blende ausgestattet und gezielt ausgerichtet. Diese Beleuchtungstechnik, ebenfalls ein Mehrleuchtenverfahren, wurde in der Schweiz schon bei mehreren öffentlichen Gebäuden umgesetzt.

A5.7.3 Empfehlungen zur Begrenzung der Emissionen bei der Beleuchtung von Fassaden öffentlicher Gebäude und von Objekten

Die Nummerierung der folgenden Massnahmen bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[1] Notwendigkeit

- Die Beleuchtung bzw. Anstrahlung von bestimmten öffentlichen Gebäuden oder Objekten sollte in ein übergeordnetes Beleuchtungskonzept oder einen grossräumigen Beleuchtungsplan eingebettet sein. Es stellt sich z. B. die Frage: bringt die Beleuchtung die gewünschte optische Aufwertung? Grundsätzliche Hinweise dazu finden sich in Anhang A4.1.
- Alte Bauwerke wie Stadttürme, -mauern oder Kirchen bieten häufig gute Nist- und Brutplätze für Vögel und andere Tierarten. Besteht die Absicht, solche Objekte zu beleuchten, empfiehlt es sich, von der zuständigen Naturschutzfachstelle abklären zu lassen, ob und allenfalls unter welchen Bedingungen eine Beleuchtung möglich ist (z. B. keine Beleuchtung während Brutzeiten, Abschirmungen etc.).
- In sensiblen Lebensräumen soll auf die Beleuchtung von Gebäuden und Objekten verzichtet werden.

[2] Intensität / Helligkeit

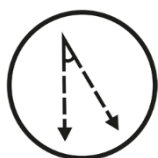
- Bei dunkler Umgebung oder hellen Fassaden braucht es weniger Licht, um ein Gebäude oder ein Objekt zu inszenieren. Bei der Festlegung der erforderlichen Intensität ist die Umgebung daher miteinzubeziehen. Gegebenenfalls ist auch eine Reduktion von bestehenden Beleuchtungen angezeigt, um ein gewünschtes Objekt besser zur Geltung bringen zu können.
- Wenn es in der Umgebung private Akteure gibt, die ihre Fassaden beleuchten, kann beispielsweise über Public-Private-Partnership-Projekte versucht werden, auch solche in das übergeordnete Beleuchtungskonzept einzubinden (vgl. Anh. A4.2.2).

[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

- Um für den Menschen eine angenehme Atmosphäre zu schaffen und negative Auswirkungen auf die Natur zu reduzieren, empfiehlt es sich, bei Beleuchtungen aus rein gestalterischen Gründen möglichst warmweisses Licht mit einem geringem Blauanteil einzusetzen.

[4] Auswahl und Platzierung der Leuchten

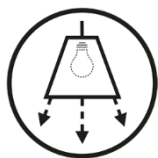
- Wenn eine Fassade oder ein Objekt flächig beleuchtet werden soll, stellen das Lichtprojektionsverfahren oder fokussierte LED-Scheinwerfer derzeit gute Lösungen im Hinblick auf eine Vermeidung unnötiger Lichtemissionen dar (vgl. Anh. A5.7.2).
- Die Standorte, Höhen und Ausrichtungen der Projektoren sind sorgfältig auszuwählen, damit die Lichtbündel möglichst waagrecht ausgerichtet sind.

[5] Ausrichtung

- Gebäude und Objekte nicht von unten gegen oben beleuchten. Auch bei Verwendung der Projektionstechnik darauf achten, dass keine steile Anstrahlung von unten erfolgt.

[6] Zeitmanagement / Steuerung

- Wenn keine oder nicht mehr viele Menschen unterwegs sind, macht eine Beleuchtung von Fassaden und Objekten keinen Sinn mehr. Es empfiehlt sich daher, in Beleuchtungskonzepten oder in der Baubewilligung für die betreffende Fassadenbeleuchtung auch die konkreten Betriebs- und Ausschaltzeiten zu regeln.
- Ebenfalls sollte geprüft werden, ob die Beleuchtung nicht allabendlich erfolgt, sondern auf einzelne Wochentage, Jahreszeiten oder anderweitig festgelegte Zeitperioden beschränkt werden kann. Ein zeitweises Ausschalten der Beleuchtung kann – neben einer Reduktion von Lichtemissionen und des Energieverbrauchs – auch dazu führen, dass das betreffende Objekt prominenter zur Geltung kommt, wenn es tatsächlich beleuchtet wird.

[7] Abschirmungen

- Mit den in die Projektoren eingesetzten Lichtmasken (Gobo-Masken) können auf dem zu beleuchtenden Objekt auch Bereiche ausgespart werden, die dunkel bleiben sollen.

Praxisbeispiel: Beleuchtung der Heiliggeistkirche in Bern mit dem Lichtprojektionsverfahren

Mit dem Lichtprojektionsverfahren werden in der Schweiz mittlerweile weit über hundert verschiedenste Objekte wie Kirchen, Schlösser, Stadtmauern und -türme, historische und moderne Gebäude oder Denkmäler beleuchtet. Das hier vorgestellte Beispiel der Heiliggeistkirche in Bern geht auch auf den Planungsablauf der Behörden und der Bauherrin ein.

Die Heiliggeistkirche in der Nähe des Hauptbahnhofs gehört gemäss Gemeinderatsbeschluss der Stadt Bern von 2016 zu denjenigen Objekten, die jede Nacht beleuchtet werden sollen (Brenndauer wie Strassenbeleuchtung). Der Entscheid zur Beleuchtung ([1] Notwendigkeit) sowie das Zeitmanagement ([6]) sind damit in ein übergeordnetes Konzept eingebunden.

Im Zuge der Neugestaltung des Bahnhofplatzes 2007 und 2008 wurde die damalige, aus 34 Scheinwerfern bestehende Flutlichtanlage demontiert. Im Jahr 2014 reichte die Betreiberin der öffentlichen Beleuchtung in Bern ein Baugesuch mit einem neuen Beleuchtungskonzept ein.

Zur Entwicklung des Beleuchtungskonzepts hatte die Bauherrin im Vorfeld das Nachtbild des ganzen Bahnhofplatzes aufgenommen und die vorhandenen Leuchtdichten auf den Fassaden rund um den Platz gemessen. Darauf basierend plante sie die neue auf der Projektionstechnik basierende Beleuchtung ([2] Intensität / Helligkeit).

13 Metaldampf-Halogen-Projektoren, die auf umliegenden Gebäuden, der Heiliggeistkirche selbst sowie auf Masten der Strassenbeleuchtung angebracht sind ([4] Auswahl und Platzierung der Leuchten), beleuchten die Kirche mit warmweissem Licht ([3] Lichtspektrum / Lichtfarbe).

Massgeschneiderte Lichtmasken werden eingesetzt, um unerwünschtes Streulicht zu minimieren, Helligkeitsunterschiede auf verschiedenen Bereichen der Fassade zu erzeugen und Details hervorzuheben ([5] Ausrichtung). Die erzeugten Leuchtdichten liegen je nach Fassadenbereich zwischen 0 bis 4 Candela pro Quadratmeter (cd/m^2). Um die Passanten nicht zu blenden, wird der Sockel der Kirche bewusst nicht beleuchtet. Die neue Beleuchtung bringt das Fassadenbild insgesamt besser zur Geltung, vermindert unerwünschte Lichtemissionen und verbraucht rund 80 % weniger Strom als bisher.

Nicht nur das Beleuchtungskonzept, sondern auch der Ablauf des Projektes, überzeugte in diesem Fallbeispiel. Denn die Baubewilligungsbehörde stellte das Baugesuch unter anderem auch dem Amt für Umweltschutz zur Beurteilung der Lichtemissionen zu. In Bezug auf allfällige Beeinträchtigungen von Tieren (Fledermäuse, Vögel) konnte die Fachstelle Natur und Ökologie von Stadtgrün Bern das Lichtkonzept ebenfalls überprüfen und hatte keine Beanstandungen. Seit März 2016 ist die neue Beleuchtung in Betrieb (vgl. Abbildung 23).



Abbildung 23: 13 Projektoren, die an sieben Standorten platziert sind und auf gegenüber liegenden Dächern sowie auf Masten der Strassenbeleuchtung (Bild links) angebracht sind, beleuchten die Heiliggeistkirche vor dem Bahnhof in Bern (Bild rechts, Quelle: Energie Wasser Bern). Durch die Verwendung von speziell angefertigten Schablonen in den Projektoren wird das Licht präzise gelenkt, es werden Helligkeitsunterschiede erzeugt sowie Details hervorgehoben, wie die Dachbrüstung mit den Vasen und Urnen auf der Längsseite der Kirche.

A5.7.4 Empfehlungen zur Begrenzung der von grossen öffentlichen Gebäuden direkt ausgehenden Lichtemissionen

Von grossen öffentlichen Gebäuden können direkt Lichtemissionen ausgehen, so insbesondere durch:

- die Innenbeleuchtung bei zahlreichen oder grossen Fensterflächen;
- grosse selbstleuchtende Fassadenelemente. Mit neuen Technologien wie zum Beispiel organischen LED (OLED) können auch grosse Flächen zum Leuchten gebracht werden. Dies wird teilweise dazu eingesetzt, Fassaden als Kunstobjekte zu gestalten.

Die Nummerierung der folgenden Massnahmen bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



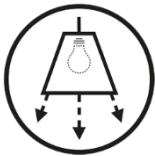
[1] Notwendigkeit

Bei Gebäuden, die der öffentlichen Hand gehören, ist im Sinne einer Vorbildfunktion auf selbstleuchtende Fassaden möglichst zu verzichten.



[6] Zeitmanagement / Steuerung

Emissionen, die von der Innenbeleuchtung grosser Gebäude (wie z. B. von Bürogebäuden) ausgehen, können reduziert werden, indem nur diejenigen Räume beleuchtet sind, in denen tatsächlich gearbeitet wird. Dies kann über eine intelligente Lichtsteuerung geschehen, welche anwesende Personen registriert. Dies hilft zudem, Energie zu sparen.



[7] Abschirmung

Bei grossen Gebäuden oder solchen mit grossen Fensterflächen lassen sich die Emissionen aus der Innenbeleuchtung durch Storen, Fensterläden oder blickdichten Vorhängen reduzieren. Im Winter werden die Storen bei grösseren Gebäuden oft auch aus Energiespargründen (Reduktion der Wärmeabstrahlung) automatisch heruntergelassen (vgl. auch Praxisbeispiel in Anh. A5.9.6).

A5.8 Reklamebeleuchtungen

A5.8.1 Grundsätzliches

Bei Reklamebeleuchtungen handelt es sich zum Beispiel um:

- Leuchtschriften, hinterleuchtete Schriften, selbst leuchtende oder angeleuchtete Schilder für die Eigenwerbung von Geschäften
- Schaufensterbeleuchtungen
- Verschiedenste Formen von Leuchtkästen und leuchtenden Plakatwänden für Fremdwerbung
- Monitore und Medienscreens (die auch bewegte Bilder darstellen können)
- Eventbeleuchtungen mit «Skybeamern» oder Himmelsstrahlern

Die technologische Weiterentwicklung (insbesondere auch hin zu LED) ermöglichte in letzter Zeit immer grössere Helligkeiten und auch bewegte Bilder. Im Bereich der Reklamebeleuchtungen kann es dabei zu Zielkonflikten zwischen Wirtschaftsfreiheit auf der einen Seite und Siedlungs- bzw. Umweltqualität sowie Energieverbrauch auf der anderen Seite kommen (vgl. Anh. A2.2).

Um Reklamen gut ins Orts-, Strassen- und Landschaftsbild integrieren zu können, machen viele Städte und Gemeinden Vorgaben in Reklame- oder Polizeireglementen. Geregelt wird beispielsweise:

- welche Reklamen bewilligungspflichtig sind und welche nicht;
- welche Art von Werbung grundsätzlich verboten ist (in der Stadt Chur z. B. Skybeamer, Laufschriften, Lichtreklamen mit wechselnder Beleuchtung oder Reklamen, die übermässige Lichtemissionen verursachen [Stadtrat Chur 2007]);
- in welchen Zonen (z. B. gemäss Nutzungsplan) welche Reklamen zugelassen sind;
- zu welchen Zeiten Reklamebeleuchtungen auszuschalten sind (so sind z. B. in der Gemeinde Köniz Leuchtreklamen zwischen 23 und 6 Uhr sowie an Wochenenden und Feiertagen auszuschalten, wobei Möglichkeiten sowohl für Ausnahmen als auch für strengere Begrenzungen der Betriebszeiten bestehen [Gemeinde Köniz 2012]).

Praxisbeispiel: Verbote von Skybeamern

Als Skybeamer oder Himmelsstrahler werden starke Scheinwerfer bezeichnet, die vor allem von Diskotheken oder Festveranstaltungen zu Werbezwecken Licht in den Nachthimmel abstrahlen. Eine Werbebotschaft wird dabei aber nicht vermittelt; der Lichtstrahl hat einzig den Zweck, Aufmerksamkeit zu erzeugen. Ein Skybeamer mit einer Reichweite von 40 Kilometern beansprucht über 10 Prozent des Nachthimmels der Schweiz als kostenlose Werbefläche. Neben einer unerwünschten Aufhellung des Nachthimmels und einer Beeinträchtigung des nächtlichen Landschaftsbildes können Skybeamer die Flugsicherheit gefährden, Verkehrsteilnehmende ablenken oder durch ihre plötzlich auftretenden starken Lichtreize auch Schreckreaktionen bei Vögeln auslösen: Diese weichen von ihrer ursprünglichen Richtung ab, reduzieren ihre Fluggeschwindigkeit und versuchen dem Lichtstrahl vertikal zu entweichen. Erst ab einer Distanz von etwa einem Kilometer ist der Einfluss des Lichtstrahls nicht mehr messbar (BAFU 2012). Skybeamer können das Ortsbild stören, die Bevölkerung verunsichern und die astronomische Fotografie verunmöglichen. Diese Gründe führen immer wieder zu Beschwerden aus der Bevölkerung.

Bereits in den Empfehlungen von 2005 hat das BAFU die Kantone eingeladen, ihre Bau- und Umwelt-erlasse und die darauf gestützten Entscheide zu überprüfen und dahingehend zu konkretisieren, dass der Betrieb von himmelwärts gerichteten Anlagen, welche keine Sicherheits- oder Beleuchtungsfunktionen von Bauten erfüllen (Skybeamer, Laserscheinwerfer, Reklamescheinwerfer oder ähnliche künstliche Lichtquellen), zum Schutz von Arten, Biotopen oder der Landschaft verboten oder, sofern das nicht möglich ist, so weit eingeschränkt wird, als es für deren Inhaber technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

Viele Gemeinden verbieten den Einsatz von Skybeamern in ihren Reklamereglementen (z. B. Burgdorf, Chur oder Köniz) oder in Polizeireglementen (z. B. Reinach, Ormalingen). Entsprechende Verbote finden sich auch auf kantonaler Ebene, so in kantonalen Einführungsgesetzen zum Umweltschutzgesetz (z. B. Kantone Aargau und Zug) oder in kantonalen Energiegesetzen (z. B. Kanton Bern).

Praxisbeispiel: Kunstlichtreglement Stadt Luzern

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung ihres Plan Lumière hat die Stadt Luzern ein Kunstlichtreglement erlassen, welches auch die Intensitäten von Schaufensterbeleuchtungen, Leucht- und Dachreklamen beschränkt (Stadt Luzern 2008). Demnach darf die mittlere Leuchtdichte von Leucht- und Dachreklamen einen Wert von 110 Candela pro Quadratmeter (cd/m^2) nicht überschreiten und dynamische Beleuchtungen wie Lauflichter sind verboten.

Für Schaufenster besteht die Vorgabe, dass durch ihre Beleuchtung auf dem Trottoir vor dem Schaufenster eine mittlere horizontale Beleuchtungsstärke von 50–70 Lux nicht überschritten werden darf. Dies mit dem Ziel, dass die Beleuchtungsstärken innerhalb des Schaufensters und jene im angrenzenden Strassenraum in einem angemessenen Verhältnis stehen. Neben diesen quantitativen Vorgaben gibt die Stadt auch qualitative Empfehlungen zur Begrenzung der Emissionen von Schaufensterbeleuchtungen ab (Stadt Luzern 2010b):

- Die Anzahl der Leuchten, die Beleuchtungsstärken und Betriebszeiten sollen auf das gestalterisch und funktional Notwendige beschränkt werden. Gemäss Studien und Analysen aus dem Detailhandel wirken sich zu helle Schaufenster, Blendungen und unregelmässige Beleuchtungen nachteilig auf das Konsumverhalten aus.
- Schaufensterbeleuchtungen sollen nach innen gerichtet sein. Direkt nach aussen gerichtete Beleuchtungssysteme sowie Text- und Bildprojektionen aus dem Schaufenster in den Aussenraum sind nicht zulässig.
- Mit abgeschirmten und gut entblendeten Leuchten können zu hohe Beleuchtungsstärken im Strassenbereich und direkte Blendungen von Passanten verhindert werden. Frei brennende Leuchten sind nicht erlaubt (vgl. Abbildung 24).



Abbildung 24: Vorgaben und Empfehlungen für Schaufensterbeleuchtungen in Luzern (nach: Stadt Luzern 2010b).

A5.8.2 Empfehlungen zur Begrenzung der Emissionen von Leuchtreklamen

Die nachfolgenden Empfehlungen dienen zur Begrenzung von Emissionen, die von Leuchtreklamen ausgehen. Dazu zählen insbesondere:

- Leuchtschriften, hinterleuchtete Schriften, selbst leuchtende oder angeleuchtete Schilder
- Leuchtkästen und leuchtende Plakatwände
- Monitore und Medienscreens. Auch grossformatige Monitore, die sich in Schaufenstern befinden, gehören dazu²¹.

Die Empfehlungen und Richtwerte gelten hingegen nicht für:

- leuchtende oder beleuchtete Verkehrsschilder, Verkehrssignaletik und Reklamen im Strassenbereich (Strassenreklamen). Diese haben im Sinne der Verkehrssicherheit den gesetzlichen Vorgaben insbesondere von Artikel 96 ff. der Signalisationsverordnung (SSV) zu genügen:
https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1979/1961_1961_1961/de.
- Schaufensterbeleuchtungen

Die Nummerierung der folgenden Massnahmen bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[1] Notwendigkeit

Wo welche Leuchtreklamen zugelassen sind, welche verboten sind und welche eine Bewilligung benötigen, kann in Bau- und Zonenordnungen, Reklame- oder Polizeireglementen rechtsverbindlich festgelegt werden.



[2] Intensität / Helligkeit

- Eine Leuchtreklame soll grundsätzlich nur so hell leuchten, wie dies für ihre Funktion nötig ist. In dunkler Umgebung braucht es weniger intensives Licht, um die gewünschte Botschaft zu vermitteln.
- Anpassung an die Umgebungshelligkeit: Moderne Leuchtreklamen lassen sich mit Sensoren und Dimmern ausstatten, welche manuelle oder automatische Anpassungen ihrer Intensität an die Umgebungshelligkeit erlauben. So bleibt die Reklame optimal lesbar, während gleichzeitig Blendungen in der Umgebung vorgebeugt und Energie gespart wird.
- Als Anhaltspunkt für eine Beurteilung und Begrenzung der Lichtemissionen von Leuchtreklamen können die Richtwerte von Tabelle 19 dienen. Diese Richtwerte sind von Empfehlungen abgeleitet, die bereits in einzelnen Städten und Gemeinden Anwendung finden²².

²¹ Die Feststellung, dass grossformatige Flachbildschirme in Schaufenstern oder Vitrinen nicht der Innen-, sondern der Aussenbeleuchtung zuzuordnen sind, machte das Bundesgericht im Entscheid 1C_12/2007 vom 8. Januar 2008. Es führte dazu aus: Bei der Beleuchtung einer Vitrine handelt es sich vom Ansatz her um eine Innenbeleuchtung. Selbst das Ausstellen kleinerer Bildschirme oder anderer leuchtender Objekte, wie z. B. von Lampen, in einer Vitrine bewirkt in der Regel nur eine punktuelle Zunahme der Lichtemissionen. Demgegenüber führt die Installation grosser Leuchtreklamen in einer Vitrine zu einer beträchtlichen Intensivierung der Lichtemissionen in der Umgebung. Derartige Apparate bzw. die von ihnen vermittelten Werbebotschaften wollen direkt ein Publikum erreichen, das in erheblicher Entfernung vom Gebäude steht oder vorbeigeht. Das hierbei ausgestrahlte Licht muss somit notwendigerweise in einer weiteren Umgebung wahrnehmbar sein. Im Ergebnis wird die Fassadenöffnung der Vitrine in einem solchen Fall dazu benutzt, das Gebäude mit einer Aussenbeleuchtung auszustatten. Mittels grossformatiger Bildschirme werden nicht nur grossflächig Lichtemissionen aus der Fassadenöffnung hinaus ausgestrahlt, sondern die Lichtbilder können auch rasch verändert werden. Die mit den Bildschirmen im Ergebnis erzielte Aussenbeleuchtung des Gebäudes wirkt unruhig bzw. instabil. In solchen Fällen kann der Grundsatz der vorsorglichen Emissionsbegrenzung (Art. 11 Abs. 2 USG) verletzt sein oder es können sogar schädliche oder lästige Immissionen verursacht werden.

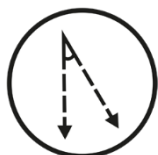
²² In einigen Schweizer Städten oder auch im Ausland gibt es bereits Richtwerte, welche die Behörden zur Beurteilung von Leuchtreklamen heranziehen (vgl. EBP 2016). Die hier vorgeschlagenen Werte in den Umgebungszonen 3 und 4 sind von der Stadt Zürich übernommen. Auch die Stadt Berlin empfiehlt je nach Umgebungszone unterschiedlich strenge Richtwerte und begrenzt die höchste zugelassene Leuchtdichte auf 500 cd/m² (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2014). Die Richtwerte für die Umgebungszonen 1 und 2 orientieren sich an den Vorgaben der ÖNORM O 1052 und der Gemeinde Balzers (LIE). Diese begrenzt die maximale Leuchtdichte von beleuchteten Reklamanlagen auf 40 cd/m² (Gemeinde Balzers 2013).

Tabelle 19: Richtwerte zur Beurteilung der Emissionen von Leuchtreklamen nach Umgebungszone

Umgebungszone	Maximale Leuchtdichte in Candela pro Quadratmeter (cd/m ²)
E0, ganz dunkel: Dark-Sky-Parks, schützenswerte Naturräume, Nationalparks etc.	-
E1, dunkel: relativ unbewohnte ländliche Gebiete	40 cd/m ²
E2, geringe Gebietshelligkeit: spärlich besiedelte Gebiete, reine Wohngebiete etc.	100 cd/m ²
E3, mittlere Gebietshelligkeit: gut besiedelte ländliche und städtische Siedlungen	300 cd/m ²
E4, hohe Gebietshelligkeit Stadt- und Geschäftszentren	500 cd/m ²

**[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe**

- Bei unbunter (schwarz, grau, weiss) Reklame ist eine warmweisse Lichtfarbe zu verwenden.

**[5] Ausrichtung**

- Angeleuchtete Schilder und Plakate sind grundsätzlich von oben nach unten zu beleuchten.

**[6] Zeitmanagement / Steuerung**

- Es empfiehlt sich, in den entsprechenden Reglementen und in Bewilligungen auch die Betriebs- und Abschaltzeiten zu regeln. Wenn keine oder nur noch wenige Leute unterwegs sind, macht Werbung keinen Sinn mehr. In grösseren Städten ist dies sicher nach Mitternacht der Fall. In andern Ortschaften kann eine Abschaltung bereits um 23 Uhr, in Wohngebieten um 22 Uhr oder 20 Uhr sinnvoll sein. An Orten mit natürlicher Nachtdunkelheit sind selbst-leuchtende Reklamen zwischen 22 und 6 Uhr ganz abzuschalten.

Hinweise zur Messung und Beurteilung

- Die Richtwerte in Tabelle 19 beziehen sich auf die hellste Stelle der Leuchtreklame. Eine Mittelung über die Fläche der Leuchtreklame ist nicht vorgesehen.
- Von farbigen und bewegten Lichtern kann ein besonders grosses Belästigungspotenzial für den Menschen ausgehen (Anh. A1.1.4). In Tabelle 6 von Kapitel 5.2 finden sich Zuschlagsfaktoren, die bei der Beurteilung der Wohnraumaufhellung durch farbiges Licht (Faktor 2) oder bewegtes Licht herangezogen werden (je nach Periodendauer bzw. Frequenz handelt es sich um Faktoren von 1,5 bis 5). Die Stadt Berlin wendet diese Zuschlagsfaktoren auch auf die Bewertung von Reklamebeleuchtungen an (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2014). In Analogie dazu wird vorgeschlagen, die ermittelte maximale Leuchtdichte von Leuchtreklamen mit intensiv farbigem Licht oder mit bewegten Lichtern oder Bildern mit den Zuschlagsfaktoren von Tabelle 6 zu multiplizieren. Der so erhaltene Wert gilt als Beurteilungswert und soll die Richtwerte von Tabelle 19 einhalten.
- Die Leuchtdichte von Leuchtreklamen kann mit Leuchtdichtemessgeräten oder Leuchtdichtemesskameras gemessen werden.
- Die Geräte und Kameras müssen mindestens die Anforderungen der Klasse B nach DIN 5032, Teil 7, mit einem Gesamtfehler < 15 % erfüllen.

- Es ist bei nächtlicher Dunkelheit und bei trockenen Wetterverhältnissen zu messen. Bei Regen, Schnee oder Nebel ist auf Messungen zu verzichten, da unter diesen Bedingungen die Messresultate stark von den Wetterverhältnissen beeinflusst werden und sich die Ergebnisse nicht replizieren lassen.
- Aussentemperaturen können den Wirkungsgrad von Reklameleuchten beeinflussen. Ist bei LED-Leuchten die Kühlleistung knapp ausgelegt, sind im Winter höhere Leuchtdichten möglich als im Sommer. Bei Fluoreszenzlampen gestaltet sich die Situation gerade umgekehrt: Diese zeigen bei tiefen Temperaturen nicht die volle Leistung.
- Es ist direkt vor der betreffenden Leuchtreklame, möglichst auf gleicher Höhe zu messen.
- Bei der Messung ist auf genaue Fokussierung und Ausrichtung des Messgerätes zu achten.

Exkurs: Keine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit durch Reklamen

Im Bereich von Strassen sind gemäss Strassenverkehrsgesetz (SVG; SR 741.01) Reklamen und andere Ankündigungen untersagt, welche die Verkehrssicherheit beeinträchtigen, sei dies, weil sie zu Verwechslungen mit Signalen oder Markierungen führen oder die Strassenbenützer ablenken könnten (Art. 6 Abs. 1 SVG). Die auf dem SVG basierende Signalisationsverordnung (SSV; SR 741.21) regelt in den Artikeln 95 bis 100 die Anforderungen an Strassenreklamen. Die Artikel 96 bis 98 legen fest, in welchen Fällen Reklamen untersagt und wann sie zugelassen sind. Gemäss Artikel 100 bleiben ergänzende Vorschriften über Strassenreklamen, namentlich zum Schutz des Landschafts- und Ortsbildes, vorbehalten.

Die bundesrechtlichen Vorgaben werden zum Teil in kantonalen oder kommunalen Erlassen wie in Strassengesetzen oder Reklamereglementen konkretisiert. In seiner «Richtlinie Reklameanlagen» verbietet zum Beispiel der Kanton Luzern im Hinblick auf die Verkehrssicherheit blinkende, bewegte oder durch wechselnde Lichteffekte wirkende Reklamen sowie jegliche Art von Displays (insb. LED) in der Nähe von Strassen und macht folgende weiteren Vorgaben (rawi Luzern 2016):

- Die Intensität selbstleuchtender Reklamen ist der Umgebungshelligkeit anzupassen.
- Die maximale Leuchtdichte der Anlage kann im Rahmen des Bewilligungsverfahrens situativ festgelegt werden, darf aber einen Wert von 500 cd/m² nicht überschreiten.
- An Orten mit natürlicher Nachtdunkelheit sind selbstleuchtende Reklamen zwischen 22 und 6 Uhr ganz abzuschalten.

Andere Kantone gewichten die Verkehrssicherheit noch höher und untersagen Leuchtreklamen im Strassenumfeld grundsätzlich.

A5.9 Private Gebäude und Anlagen, Weihnachtsbeleuchtung

A5.9.1 Grundsätzliches

Lichtemissionen von privaten Gebäuden und Anlagen gehen zum einen von *funktionalen Aussenbeleuchtungen* (z. B. bei Zugangswegen und Vorplätzen) aus oder von Beleuchtungen, die aus Sicherheitsüberlegungen eingesetzt werden (wie zur Verhinderung von Einbrüchen, vgl. Anh. A5.9.7).

Zum andern stammen sie aus *Zierbeleuchtungen* im Garten (wie Fassaden- und Objektbeleuchtungen, freistehenden Zierleuchten etc.) oder am Haus oder im Garten installierten *Weihnachtsbeleuchtungen*. Mit der Entwicklung hin zu LED haben in den letzten Jahren die Nachfrage und das Angebot solcher Zier- und Weihnachtsbeleuchtungen markant zugenommen. Neben Beleuchtungen in den verschiedensten Formen und Farben finden sich mittlerweile auch LED- und Laserstrahler auf dem Markt, die bewegliche Lichteffekte und Bilder auf Hauswände oder Bäume projizieren.

Schliesslich können bei grossen Gebäuden (z. B. Hochhäuser) oder Gebäuden mit grossen Fensterflächen oder verglasten Treppenhäusern auch von der *Innenbeleuchtung* namhafte Emissionen nach aussen gelangen, wenn die Fenster nicht mit Storen oder Fensterläden abgedeckt werden.

Solche Lichtemissionen aus privaten Gebäuden und Anlagen fallen in den Geltungsbereich des Umweltschutzgesetzes (USG). Demzufolge müssen sie dem Grundsatz der vorsorglichen Emissionsbegrenzung genügen (1. Stufe USG) und dürfen zu keinen schädlichen oder lästigen Auswirkungen in der Nachbarschaft führen (2. Stufe USG, vgl. Anh. A3.2.1). Neben dem öffentlichen Recht schreibt auch das Zivilrecht vor, dass jedermann bei der Ausübung seines Eigentums verpflichtet ist, «sich aller übermässigen Einwirkung auf das Eigentum der Nachbarn zu enthalten» (Artikel 684 des Zivilgesetzbuches [ZGB], vgl. A3.2.5).

Umgekehrt fällt das Interesse, die Aussenanlagen von Privatliegenschaften mit Beleuchtung zu schmücken (Zierbeleuchtung), grundsätzlich in den Schutzbereich der Eigentumsgarantie und allenfalls weiterer Grundrechte wie der persönlichen Freiheit oder der Kunstfreiheit. Grundrechte dürfen nur eingeschränkt werden, wenn dafür eine gesetzliche Grundlage vorliegt und die Einschränkung im öffentlichen Interesse ist oder dem Schutz von Grundrechten Dritter dient sowie verhältnismässig ist.

Mit diesem Spannungsfeld zwischen dem öffentlichen Interesse an der Vermeidung von Lichtemissionen und dem privatem Interesse am Betrieb von Beleuchtungen hat sich das Bundesgericht in einem Leitentscheid zu einer Weihnachts- und Ganzjahres-Zierbeleuchtung eingehend auseinandergesetzt.



Abbildung 25: Weihnachtsbeleuchtungen werden von vielen Menschen als festlicher Brauch geschätzt. Aufgrund der technologischen Entwicklung hat aber die Vielfalt und Verbreitung solcher Beleuchtungen in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Übermässig eingesetzt können Weihnachtsbeleuchtungen zum schleichenden Prozess der Lichtverschmutzung beitragen oder auch zu Belästigungen in der Nachbarschaft führen.

A5.9.2 Bundesgerichtsentscheide zu Weihnachts- und Zierbeleuchtungen

A5.9.2.1 Leitentscheid zu einer Weihnachts- und Ganzjahres-Zierbeleuchtung (BGE 140 II 33)

Nachbarn fühlten sich von Aufhellungen belästigt, die von der Weihnachtsbeleuchtung einer Privatliegenschaft in einem Wohnquartier in Möhlin AG ausging. Die Weihnachtsbeleuchtung ging klar über das ortsübliche Mass hinaus und wurde in etwas reduziertem Umfang auch als Ganzjahres-Zierbeleuchtung im Garten belassen.

Das Bundesgericht kam bei der strittigen Weihnachtsbeleuchtung zum Schluss, dass hier zwar keine schädlichen oder lästigen Immissionen im Sinne des USG entstünden (2. Stufe), welche verschärfte Emissionsbegrenzungen erforderten. Dennoch seien Emissionen im Rahmen der Vorsorge zu begrenzen (1. Stufe), wobei aber nicht unverhältnismässige Massnahmen gefordert werden könnten. Bei der Prüfung der Verhältnismässigkeit wog das Bundesgericht die öffentlichen Interessen an der Vermeidung von Lichtemissionen gegen die privaten Interessen der Besitzer der Zierbeleuchtung ab, denn Aussenanlagen mit Beleuchtung zu schmücken, fällt grundsätzlich in den Schutzbereich der Eigentumsgarantie.

Wegen des schleichenden Prozesses einer zunehmenden Belastung der Umwelt durch Lichtimmissionen und da bislang Erkenntnisse zur Quantifizierung der negativen Auswirkungen von künstlichem Licht auf Pflanzen und Tiere fehlen, gewichtete das Bundesgericht das öffentliche Interesse im vorliegenden Fall höher als die privaten Interessen der Besitzer der Beleuchtung. Die Einschränkung der Eigentumsgarantie beurteilte das Bundesgericht in diesem Fall als geringfügig, weil die Eigentümer ihre Beleuchtung zwar während bestimmten Zeiten abschalten müssen, ihnen ansonsten aber keine Auflagen zu Umfang, Intensität, Art und Platzierung der Zierbeleuchtung gemacht werden.

Im Fall Möhlin AG ordnete das Bundesgericht eine Abschaltung der Ganzjahres-Zierbeleuchtung von 22 Uhr bis 6 Uhr an. Die Weihnachtsbeleuchtung, die von vielen Menschen nicht als störend empfunden, sondern als festlicher Brauch geschätzt wird, darf demgegenüber während der ortsüblichen Advents- und Weihnachtszeit (1. Advent bis 6. Januar) länger brennen, und zwar jeweils bis morgens um 1 Uhr.

A5.9.2.2 Erkenntnisse aus zwei Bundesgerichtsentscheiden für den Umgang der zuständigen Behörde mit privaten Weihnachts- und Zierbeleuchtungen

Neben den Schlussfolgerungen und den Anordnungen, die sich auf den konkreten Fall bezogen, lassen sich aus den Erwägungen des Bundesgerichts im Leitentscheid *BGE 140 II 33* auch allgemeine Erkenntnisse zum Umgang der zuständigen Behörden mit Lichtemissionen aus privaten Zier- und Weihnachtsbeleuchtungen ziehen. In seinen Erwägungen bezog sich das Bundesgericht dabei auch auf einen bereits im Jahr 2007 gefällten Entscheid zu einer Weihnachtsbeleuchtung bei einem Privathaus in Uitikon ZH (1A.202/2006 vom 10. September 2007). Die Schlussfolgerungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Private Aussenanlagen mit Beleuchtung zu schmücken (Zierbeleuchtung), fällt grundsätzlich in den Schutzbereich der Eigentumsgarantie. Sie leuchten in aller Regel nicht so hell, dass ein Verstoss gegen die Immissionsvorschriften zu befürchten wäre.
- Eine aussergewöhnlich grosse und helle Dekorationsbeleuchtung hingegen kann unter Umständen gegen den Grundsatz der vorsorglichen Emissionsbegrenzung gemäss USG verstossen oder sogar schädliche oder lästige Immissionen im Sinne des USG verursachen.
- Dennoch besteht auf der Grundlage der raumplanungsrechtlichen Vorgaben des Bundes keine Notwendigkeit einer *vorgängigen* präventiven Kontrolle durch die Behörde – weder bei üblichen noch bei sehr grossen und hellen Weihnachts- und Zierbeleuchtungen von Wohnhäusern –, da solche Beleuchtungen nach der Rechtsprechung des Bundesgerichts keine bewilligungspflichtigen Bauten oder Anlagen im Sinne von Artikel 22 Absatz 1 Raumplanungsgesetz (RPG) darstellen: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1979/1573_1573_1573/de.
- Bei konkreten Beanstandungen ist jedoch eine baupolizeiliche Überprüfung anzusetzen.

- Die zuständigen (kantonalen oder kommunalen) Behörden können auch von Amtes wegen Kontrollen vornehmen und nötigenfalls Beschränkungen anordnen.
- Bei der Anordnung von vorsorglichen Emissionsbegrenzungen gemäss Artikel 11 Absatz 2 USG ist auch die Verhältnismässigkeit der Massnahme zu wahren.
- Im Fall Möhlin AG hat das Bundesgericht entsprechende Massnahmen für eine Weihnachts- und Ganzjahreszierbeleuchtung angeordnet, welche das ortsübliche Mass klar überstieg. Das Bundesgericht gewichtete das öffentliche Interesse an einer Vermeidung von Lichtemissionen hier höher als die privaten Interessen der Besitzer der Beleuchtung.
- Bei Beleuchtungen, welche das ortsübliche Mass nicht übersteigen, lassen sich aus Gründen der Verhältnismässigkeit kaum vorsorgliche Massnahmen gestützt auf Artikel 11 Absatz 2 USG anordnen.
- Aus dem im USG verankerten Vorsorgeprinzip ergibt sich die Pflicht, unnötige Lichtimmissionen zu vermeiden, sofern dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist.
- Entsprechend ist bei der nicht sicherheitsrelevanten Beleuchtung, analog zum Lärmschutz, ein Nachtruhezeit bzw. «Dunkelheitsfenster» zwischen 22 und 6 Uhr anzustreben.

A5.9.3 Empfehlungen an Behörden zum Umgang mit Beleuchtungen von privaten Gebäuden und Anlagen

- Das Baurecht unterscheidet sich je nach Kanton und Gemeinde. Welche Art von Beleuchtungsanlagen bewilligungspflichtig ist und welche nicht, ist entsprechend nicht überall gleich geregelt. Falls eine private Aussenbeleuchtung nach kantonalem oder kommunalem Recht einer Baubewilligung bedarf, ist im Rahmen des Bewilligungsverfahrens auch zu prüfen, ob die Beleuchtungsanlage die Anforderungen des Umweltrechts einhalten kann (vgl. Kap. 4).
- Bei konkreten Beanstandungen – auch bei Anlagen, die nicht bewilligungspflichtig sind – hat die zuständige Behörde abzuklären, ob der gemeldete Sachverhalt umweltrechtlich relevant ist, so dass verwaltungsrechtliche Massnahmen wie zum Beispiel die Anordnung vorsorglicher Emissionsbegrenzungen zu prüfen sind. Wie hierbei vorgegangen werden kann, ist in Kapitel 7 ausgeführt.
- Geht eine private Aussenbeleuchtung über das ortsübliche Mass hinaus und hat sie das Potential, schädliche oder lästige Immissionen zu verursachen, kann die zuständige Behörde gestützt auf das USG Reduktionsmassnahmen verfügen.
- Bei Beleuchtungen, welche das ortsübliche Mass nicht übersteigen, lassen sich aus Gründen der Verhältnismässigkeit hingegen kaum Massnahmen anordnen. In solchen Fällen kann die Behörde nur beschränkt Einfluss nehmen und muss allenfalls über Information und Sensibilisierung versuchen, den Besitzer der Beleuchtung zu einer freiwilligen Reduktion der Emissionen zu bewegen.
- Verfügt die Gemeinde über ein rechtsverbindliches Beleuchtungskonzept (z. B. Plan Lumière, Masterplan etc.) oder ein anderes geeignetes rechtliches Instrument (z. B. Bau- und Nutzungsordnung etc.), können gewisse Grundsätze zur Beleuchtung im privaten Bereich (z. B. Ausschalten von Zierbeleuchtungen nach 22 Uhr) auch dort festgeschrieben werden.

A5.9.4 Massnahmen zur Begrenzung der Emissionen von Beleuchtungen privater Gebäude und Anlagen

Die Nummerierung der folgenden Massnahmen bezieht sich auf den in Abbildung 2 von Kapitel 3 dargestellten 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen.



[1] Notwendigkeit

- Neben Aussenbeleuchtungen, die eine Funktion erfüllen (z. B. bei Zugangswegen, Vorplätzen), gibt es auch solche, die vor allem aus gestalterischen Gründen eingesetzt werden. Diese fallen grundsätzlich in den Schutzbereich der Eigentumsgarantie und lassen sich daher nicht verbieten, aber sie sollten mit Mass eingesetzt werden – sowohl was ihre Art, Anzahl, Intensität und Einschaltdauer betrifft.



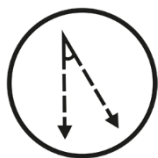
[2] Intensität / Helligkeit

- Auch bei der Intensität von privaten Aussenbeleuchtungen gilt es Augenmass zu halten und die Umgebungshelligkeit zu berücksichtigen: Je dunkler die Umgebung ist, desto weniger Licht braucht es, um sehen zu können.



[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

- «Des einen Freud, des andern Leid»: Zierbeleuchtungen werden in den verschiedensten Formen und Farben und mittlerweile auch mit beweglichen und blinkenden Lichtern angeboten. Es ist bekannt, dass von farbigen und blinkenden Lichtern ein besonders grosses Belästigungspotenzial ausgeht (vgl. Anh. A1.1.4). Auf farbige und blinkende Lichter sollte auch bei einer privaten Beleuchtung verzichtet werden.



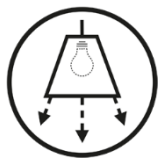
[5] Ausrichtung

- Aussenbeleuchtungen grundsätzlich von oben gegen unten ausrichten.
- Die Beleuchtung von Haus- oder Garageneingängen sowie Beleuchtungen aus Sicherheitsüberlegungen (z. B. Schockbeleuchtungen) zum Gebäude hin und nicht in die Umgebung richten.



[6] Zeitmanagement / Steuerung

- Zierbeleuchtungen sind im Nachtruhezeit zwischen 22 und 6 Uhr grundsätzlich auszuschalten. Dies kann zum Beispiel über den Einsatz von Zeitschaltuhren automatisch erfolgen. Bei effektivem Aufenthalt im Aussenbereich ist es zulässig, eine angemessene Beleuchtung einzuschalten und auch Zierbeleuchtungen länger als bis um 22 Uhr brennen zu lassen.
- Weihnachtsbeleuchtungen sind grundsätzlich auf den Zeitraum vom 1. Advent bis zum Dreikönigstag (6. Januar) zu beschränken. Während dieser Zeit dürfen sie aber auch länger als bis 22 Uhr eingeschaltet bleiben.
- Bewegungsmelder im Aussenraum:
Mit richtig eingestellten Bewegungsmeldern können (funktionale) Aussenbeleuchtungen dann – und nur dann – in Betrieb genommen werden, wenn sie benötigt werden.
- Bewegungsmelder im Innenraum:
Emissionen, die von der Innenbeleuchtung grosser Gebäude (wie z. B. von Bürogebäuden) ausgehen, können reduziert werden, indem nur diejenigen Räume beleuchtet sind, in denen tatsächlich gearbeitet wird. Dies kann über eine intelligente Lichtsteuerung geschehen, welche anwesende Personen registriert. Dies hilft zudem, Energie zu sparen.



[7] Abschirmungen

- Bei grossen Gebäuden oder solchen mit grossen Fensterflächen lassen sich die Emissionen aus der Innenbeleuchtung durch Storen, Fensterläden oder blickdichten Vorhängen reduzieren. Im Winter werden die Storen bei grösseren Gebäuden oft auch aus Energiespargründen (Reduktion der Wärmeabstrahlung) automatisch heruntergelassen.

Praxisbeispiel: Automatische Schliessung der Storen während des Vogelzugs

Eine Hauptroute der Zugvögel bei ihren Flügen im Frühling (März bis Mai) in den Norden und im Herbst (August bis November) in den Süden verläuft in der Schweiz über Luzern entlang des Alpenrands durchs Mittelland bis zum Genfersee. In den Zeiten des Vogelzugs fliegen hier pro Stunde und Kilometer bis zu 1000 Vögel. Zwei Drittel der Zugvögel sind nachts unterwegs. 2012 wurden mitten in diese Route bei der Luzerner Allmend zwei 77 und 88 Meter hohe Hochhäuser mit insgesamt 283 Wohnungen gebaut. Während am Tag spiegelnde Fassaden aus Glas und Metall zu Vogelfallen werden, können es in der Nacht beleuchtete Gebäude und deren Innenbeleuchtungen sein. Bei Nebel oder schlechtem Wetter werden die Vögel von den Lichtern verwirrt und abgelenkt und sie erkennen die Häuser nicht mehr als Hindernisse (vgl. auch 0).

Im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens musste die Bauherrin daher Experten der Vogelwarte Sempach und des städtischen Amts für Umweltschutz beiziehen und Massnahmen aufzeigen, um Kollisionen von Vögeln mit den beiden Hochhäusern möglichst gering zu halten. Als Auflage in der Baubewilligung wurde dann unter anderem verfügt, dass die Storen in den 283 Wohnungen während des Vogelzuges automatisch herunter gelassen werden (Soukup 2012).

Exkurs: Licht- und Laserstrahler zur Projektion von Weihnachts- und Zierbeleuchtungen

Insbesondere zur Herbst- und Weihnachtszeit werden im Handel verschiedene Licht-Projektoren angeboten, mit welchen sich Sterne und andere Lichteffekte auf Hauswände projizieren lassen. Die Lichtmuster sind zum Teil auch beweglich und können die Farbe ändern. Als Lichtquellen werden sowohl Leuchtdioden (LED) als auch Laser verwendet.

Solche Lichtprojektoren sind Niederspannungserzeugnisse und fallen in den Geltungsbereich der Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (*NEV*; *SR 734.26*). Diese Verordnung legt fest, welche Normen zur Produktesicherheit zu erfüllen sind. Das Eidgenössische Starkstrominspektorat ESTI kontrolliert die Einhaltung der Vorschriften mit Stichproben auf dem Markt.

Wenn die Lichtprojektoren die für sie geltenden Normen zur Produktesicherheit einhalten, dürfen sie in Verkehr gebracht werden, aber ihr Betrieb darf nicht zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen in der Nachbarschaft führen und die Verkehrssicherheit nicht gefährden. Wegen der farbigen und bewegten Bilder kann von ihnen ein besonders hohes Belästigungspotenzial ausgehen.

Bei Lasergeräten ist zudem zu beachten, dass nur Geräte der Klassen 1 und 2 nicht meldepflichtig sind. Diese stellen bei bestimmungsmässigem Gebrauch keine Gefahr für Augen oder Haut dar. Projektoren der Laserklasse 3R oder höher fallen hingegen in den Geltungsbereich der Schall- und Laserverordnung (*SLV*; *SR 814.49*) und ihr Einsatz muss den für den Vollzug zuständigen Kantonen gemeldet werden.

Bei konkreten Beanstandungen ist eine baupolizeiliche Überprüfung (in der Regel durch die Gemeinde) anzusetzen und es ist abzuklären, ob verwaltungsrechtliche Massnahmen wie die Anordnung vorsorglicher Emissionsbegrenzungen angezeigt sind. Es kann sich dabei zum Beispiel um eine Beschränkung der Betriebszeiten oder eine Justierung der Ausrichtung handeln, so dass die Projektionen nur gegen die eigene Hausfassade und nicht in den Himmel hinauf oder gegen Nachbargrundstücke erfolgen.

A5.9.5 Massvoller Einsatz von Licht zur Verhinderung von Einbrüchen

Die meisten Einbrüche in Privatwohnungen geschehen am Tag, wenn die Menschen nicht zuhause, sondern an der Arbeit sind oder sonstigen Tätigkeiten nachgehen (vgl. Anh. A2.3.3). Dennoch kommt der Beleuchtung bei der Verhinderung von Einbrüchen eine wichtige Bedeutung zu. Besonders im Herbst und im Winter häufen sich die Einbruchsdelikte in der Dämmerung. Am frühen Abend fallen potentielle Täter, die um die Häuser herum schleichen, im Unterschied zur Nacht nicht auf, weil um diese Zeit ebenfalls noch viele andere Leute unterwegs sind. Weil es aber bereits dunkel ist, sind ihre Personenmerkmale schlecht erkennbar, umgekehrt ist es für sie jedoch einfacher herauszufinden, ob jemand zuhause ist – je nachdem, ob die Innenbeleuchtung brennt oder nicht. Für die Verhinderung von

Dämmerungseinbrüchen braucht es aber keine grossflächige Beleuchtung des Aussenraumes. Licht kann stattdessen wie folgt eingesetzt werden (SKP 2014, EBP 2016)²³:

- *Innenbeleuchtung mit Zeitschaltuhr*
Häuser und Wohnungen, die in der Dämmerung und am Abend komplett dunkel bleiben, womöglich mehrere Abende in Folge, signalisieren dem Einbrecher, dass sie momentan nicht bewohnt sind. Eine Beleuchtung im Haus, die zum Beispiel mit Zeitschaltuhren automatisch und in unregelmässigen Abständen eingeschaltet wird und so Anwesenheit simuliert, ist eine der wirksamsten Massnahmen zur Vorbeugung von Einbrüchen.
- *Bewegungsdetektion im Aussenraum*
Bewegungsmelder, die eine Schockbeleuchtung oder andere Aussenleuchten aktivieren, sobald jemand das Grundstück betritt, dienen ebenfalls der Abschreckung von Einbrechern. Die Massnahme ist mit blinkender Beleuchtung noch wirksamer. Im Hinblick auf eine Vermeidung von unnötigen Lichtemissionen ist darauf zu achten, dass zum einen die Bewegungsmelder am richtigen Ort montiert und gut eingestellt sind damit sie nicht unnötig – z. B. durch Tiere – ausgelöst werden; zum andern ist darauf zu achten, dass die Beleuchtung gegen das Haus hin gerichtet ist und nicht in das Umfeld. Auch bezüglich Sicherheit ist eine vom Haus weg gerichtete Beleuchtung nicht sinnvoll, da ein Täter aufgrund der Blendungswirkung von aussen gar nicht erkannt werden kann.
- *Storen, Fensterläden und Vorhänge zur Verminderung der Einsehbarkeit*
Aufgrund der Innenbeleuchtung können die abendlichen bis frühmorgendlichen Lebensgewohnheiten der Bewohnerinnen und Bewohner für potentielle Einbrecher ablesbar sein. Dies insbesondere auch bei modernen Bauweisen mit viel Glas. Durch den Gebrauch von Vorhängen, Fenster- und Rollläden lässt sich die Einsehbarkeit erschweren und die Abstrahlung von Licht in den Aussenraum reduzieren.
- *Keine permanente Grundstückbeleuchtung in der Nacht*
Beleuchtung hat nur dann eine kriminalpräventive Wirkung, wenn soziale Kontrolle stattfindet. Diese Voraussetzung ist bei Einfamilienhäusern, bei denen man je nach Abstand und Bepflanzung die Nachbarn nicht sehen kann, nicht gegeben. In solchen Situationen kann aus dem Blickwinkel der Sicherheit auf eine Aussenbeleuchtung daher weitgehend bis ganz verzichtet werden. Auch in Situationen, in welchen eine Einsehbarkeit aus der Nachbarschaft zwar grundsätzlich vorhanden wäre, kann nachts auf eine permanente Beleuchtung des Grundstücks verzichtet werden, da in dieser Zeit eine soziale Kontrolle nicht stattfindet.

²³ Weitere Informationen über Massnahmen zur Verhinderung von Einbrüchen finden sich auf der Website der Schweizerischen Kriminalprävention SKP: www.skppsc.ch

A5.10 Beleuchtungen im Naturraum

A5.10.1 Grundsätzliches

Künstliche Beleuchtungen an Siedlungsrandern oder ausserhalb von Siedlungsgebieten fallen besonders ins Gewicht, da dort die Umgebungshelligkeit meist niedrig ist und die Lebensräume von lichtsensiblen nachtaktiven Tierarten und von Pflanzen besonders betroffen sein können. Doch auch im Siedlungsgebiet können licht sensible Tierarten betroffen sein (z. B. Fledermäuse, Zugvögel, Insekten, Glühwürmchen).

Die Anstrahlung von natürlichen Objekten wie z. B. Berggipfeln verändert zudem das nächtliche Landschaftsbild. Insbesondere in Landschaften und Naturdenkmälern von nationaler Bedeutung (BLN), in Moorlandschaften von nationaler Bedeutung, in Schutzgebieten und schutzwürdigen Lebensräumen sind solche Beleuchtungen problematisch. Zur ungeschmälerten Erhaltung eines Objekts muss der im Inventar angestrebte Schutz vollumfänglich zur Geltung gelangen. Im Fall einer grossflächigen Beleuchtung des Pilatus mit Scheinwerfern hat das Bundesgericht in einem Leitescheid (BGE 123 II 256) deshalb ein saisonales Beleuchtungsregime festgesetzt, welches insbesondere auf die natürlichen Lichtverhältnisse während der Dämmerung Rücksicht nimmt (vgl. nachfolgendes Praxisbeispiel).

Ortsfeste Beleuchtungsanlagen, die ausserhalb der Bauzone erstellt werden sollen, benötigen eine Ausnahmegewilligung gemäss Artikel 24 des Raumplanungsgesetzes (RPG; SR 700). Eine solche kann nur erteilt werden, wenn die Beleuchtungsanlage den entsprechenden Standort ausserhalb der Bauzone erfordert (Nachweis der Standortgebundenheit) und ihr keine anderen überwiegenden Interessen entgegenstehen. Hierbei sind auch die im Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz (NHG; SR 451) festgelegten Anforderungen zum Schutz der Landschaft (Art. 3 u. 6 NHG) sowie zum Schutz der Tier- und Pflanzenarten und ihrer Lebensräume (Art. 18 u. 20 NHG) zu erfüllen (vgl. Anh. A3.2.2 u. A3.2.2).

Auch von mobilen Lichtquellen, zum Beispiel infolge nächtlicher Sport- und Freizeitaktivitäten mit LED-Beleuchtungen im Wald oder auf Aussenreitplätzen, kann ein Störpotential ausgehen, insbesondere für die in der Umgebung lebenden Tiere. Veranstalter und Sporttreibende sollten für diese Belange sensibilisiert und zur Rücksichtnahme angehalten werden.

A5.10.2 7-Punkte-Plan zum Schutz von lichtsensiblen Arten und ihren Lebensräumen vor Lichtemissionen

Der in Kapitel 3 beschriebene 7-Punkte-Plan zur Begrenzung von Lichtemissionen ist überall anwendbar. Er trägt auch dazu bei, Auswirkungen auf licht sensible Arten und ihre Lebensräume zu verringern. Die grundsätzlichen Massnahmen werden nachfolgend mit spezifischen Hinweisen ergänzt.



[1] Notwendigkeit

- Auf Beleuchtungen im Naturraum ist grundsätzlich zu verzichten.
- Wenn eine Beleuchtung trotzdem als notwendig erachtet wird, sind unter Einbezug der Fachstellen für Natur- und Landschaft Zielkonflikte mit dem Schutz der Landschaft, mit sensiblen Arten und Lebensräumen frühzeitig zu erfassen und die Auswirkungen durch Lichtemissionen zu minimieren. Falls davon ausgegangen werden muss, dass eine Population von bedrohten Arten wegen künstlichem Licht negativ beeinflusst wird, ist die Beleuchtung zu verbieten.
- Hilfreich ist die Festlegung einer Pufferzone für Lichtemissionen um Schutzgebiete und sensible Lebensräume (z. B. Gewässer) in der Nutzungsplanung. Falls ein Projekt in einer Pufferzone liegt, sollten Naturschutzfachstellen im Bewilligungsverfahren beigezogen werden.



[2] Intensität / Helligkeit

- Umgebungshelligkeit miteinbeziehen: In einer eher dunklen Umgebung braucht es weniger intensives Licht, um einen beabsichtigten Beleuchtungszweck zu erfüllen.
- Zum Schutz lichtsensibler Arten vor künstlichem Licht lassen sich beim heutigen Stand der Wissenschaft keine quantitativen Beleuchtungsintensitäten (z. B. bezüglich Beleuchtungsstärke in

Lux) angeben. Klar ist jedoch, dass die Sehsysteme nachtaktiver Tiere, die sich im Laufe der Evolution an sehr geringe Beleuchtungsniveaus angepasst haben und daher sehr empfindlich sind, bereits bei geringen Intensitäten von künstlichem Licht gestört werden können. Entsprechend muss es das Ziel sein, die Intensität möglichst zu begrenzen oder ganz auf eine Beleuchtung zu verzichten.



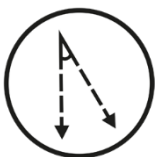
[3] Lichtspektrum / Lichtfarbe

- Um die Auswirkungen von künstlichem Licht auf Tiere zu reduzieren, kommt der Wahl des verwendeten Lichtspektrums eine besondere Bedeutung zu, denn Tiere sehen Licht und Farben anders als der Mensch. Sowohl der wahrnehmbare Bereich des Lichtspektrums als auch die Empfindlichkeit des Sehsystems für verschiedene Wellenlängen sind unterschiedlich. Viele nachtaktive Tiere, insbesondere viele Insekten, werden durch Licht mit kurzen Wellenlängen (UV- und Blauanteil) angezogen. Werden UV- und Blauanteile vermieden bzw. gering gehalten, vermindert dies die Anlockwirkung. Aus Sicht des USG und NHG sollten deshalb möglichst warmweisse LED eingesetzt werden – gemäss Stand der Kenntnis solche einer Farbtemperatur von weniger als 2700 K.²⁴
- In speziellen Situationen können die Leuchten auch mit Filtern versehen werden, um unerwünschte Spektrumsanteile zu beschränken (z. B. UV-Filter).



[4] Auswahl und Platzierung der Leuchten

- Die Beleuchtung so planen, dass Dunkelkorridore und -gebiete um beleuchtete Infrastrukturen herum erhalten bleiben (z. B. in Grüngürteln), damit die Lebensräume nachtaktiver Tiere vernetzt und intakt bleiben.
- Damit möglichst kein Licht in sensible Lebensräume wie Biotop von nationaler und regionaler Bedeutung gelangt, können Pufferzonen vorgesehen werden zwischen Beleuchtungsanlagen und schützenswerten Naturräumen oder Anlagen, die für die Wiederherstellung von ökologischen Funktionen notwendig sind (z. B. Wildtierpassagen, Fischtreppe/Fischpässe). Für Beleuchtungsanlagen in solchen Störungspufferzonen können besonders strikte Auflagen formuliert werden, um Lichtemissionen in den zu schützenden Raum möglichst gering zu halten (vgl. nachfolgendes Praxisbeispiel).
- Die Leuchten sollten dicht sein, damit Kleinlebewesen wie Insekten oder Spinnen nicht eindringen können.



[5] Ausrichtung

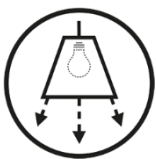
- Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten, um unnötige Abstrahlungen in den Nachthimmel zu vermeiden.
- Die Ausflughöhlen der Tagesschlafverstecke von Fledermäusen nicht beleuchten, da die Fledermäuse ansonsten später oder gar nicht zur Jagd ausfliegen und ein beleuchtetes Quartier auch ganz aufgeben können. Zudem sollte sichergestellt werden, dass Dunkelkorridore zwischen dem Quartier und dem Jagdlebensraum vorhanden sind.
- Auch Nist- und Brutplätze von Vögeln und anderen Tierarten auf alten Bauwerken wie Stadttürmen, -mauern oder Kirchen nicht direkt und dauernd beleuchten (vgl. Anh. A5.7.3).
- Gewässer sind ein Lebensraum, in welchem viele Organismen leben, die durch Licht beeinträchtigt werden können (z. B. Fische, Krebstiere, Amphibien, Köcher- und Eintagsfliegen, Wasserflöhe, Zooplankton und Strudelwürmer). Naturnahe Gewässer und ihre Ufer sollten daher nicht direkt beleuchtet werden.

²⁴ Diese Empfehlung orientiert sich an verschiedenen Studien (z. B. Longcore et al. 2018, Luginbuhl et al. 2014) und Empfehlungen anderer Länder (vgl. Frankreich in Anh. A3.4.3).



[6] Zeitmanagement / Steuerung

- Die Beschränkung von Beleuchtungen im Naturraum sollte sich nicht auf die Festlegung bestimmter Uhrzeiten beschränken (nicht die ganze Nacht hindurch beleuchten), sondern auch andere Massnahmen in Erwägung ziehen:
 - Nicht allabendlich beleuchten: Festlegen, an welchen Wochentagen oder an wie vielen Tagen pro Woche die Beleuchtung in Betrieb ist (vgl. Anh. A5.3.6 u. folgendes Praxisbeispiel Pilatus).
 - Berücksichtigung der Wetterverhältnisse: z. B. keine Beleuchtung bei Nebel, tief hängenden Wolken oder Regen.
 - Berücksichtigung der natürlichen Umgebungshelligkeit: z. B. Betrieb eher auf helle Nächte (Vollmond) legen und in dunklen Nächten (Neumond) darauf verzichten (vgl. Anh. A5.3.6).
- Berücksichtigung der Jahreszeit: Die Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf Tiere und ihre Lebensräume können je nach Jahreszeit unterschiedlich ausfallen:
 - Eine Störung des Vogelzugs ist im Frühling (März bis Mai) und im Herbst (August bis November) bei Nebel oder bedecktem Himmel möglich. Einschränkungen der Beleuchtung, die auf den Schutz der Zugvögel abzielen, sind daher insbesondere in diesem Zeitraum angezeigt (z. B. automatisches Schliessen der Storen oder anderer Beschattungssysteme von hohen Gebäuden in der Nacht, vgl. Praxisbeispiel in Anh. A5.9.6; keine Beleuchtung von Berggipfeln, vgl. nachfolgendes Praxisbeispiel zur Beleuchtung des Pilatus).
 - Für Fledermäuse ist der Lichteinfall auf die Ausflughöhlen ihrer Tagesschlafverstecke in Dachstöcken sowie die künstliche Aufhellung der Flugkorridore von dort in ihr Jagdgebiet von Frühling bis Herbst problematisch. Den Winterschlaf verbringen die Fledermäuse hingegen meist in Felshöhlen, weshalb sie in diesem Zeitraum von Beleuchtungen im Prinzip nicht betroffen sind (Stiftung Fledermausschutz 2015). Auf die Installation von neuen Beleuchtungen in Höhlen mit Vorkommen von überwinternden Fledermäusen ist zu verzichten.
- Lange lineare Beleuchtungsstrukturen wie insbesondere Strassenbeleuchtungen können für Insekten eine unüberwindbare Barriere darstellen und auch die Flugkorridore von Fledermäusen in ihr Jagdgebiet unterbrechen. In der Vergangenheit waren Strassenbeleuchtungen häufig die ganze Nacht in Betrieb. Die heutige Technologie von LED-Leuchten in Kombination mit intelligenten Steuerungen erlaubt es, auch lichtstarke öffentliche Beleuchtungen bedarfsgerecht zu steuern, und zwar sowohl zeitlich als auch bezüglich der Intensität (vgl. Anh. A5.1). Solche Systeme können – bei guter Planung und Ausführung – somit dazu beitragen, die Barrierewirkung ausgedehnter Beleuchtungsstrukturen zu vermindern.



[7] Abschirmungen

- Auf sowie in der Nähe von Wildtierpassagen, die über Verkehrsinfrastrukturen führen, können Abschirmungen angebracht werden, damit die Tiere nicht von den Scheinwerfern der Autos oder der Züge gestört werden (Sordello 2011).

Praxisbeispiel: Störungspufferzone neben Flachmoor

Das Flachmoor Schachen bei Dietikon, Kanton Zürich, grenzt direkt an dicht besiedeltes Gebiet und wird von der Autobahn A1 durchquert. Es ist ein Beispiel für raumplanerische Herausforderungen der Zukunft, da in der Schweiz die zur Verfügung stehenden Flächen immer knapper werden und sich potentielle Nutzungskonflikte entsprechend verschärfen. Damit der Schutz der Lebensräume und Arten dabei gebührend berücksichtigt wird, hat der Kanton Zürich 2017 die «Verordnung zum Schutz der Limmataltläufe in Dietikon, Gerodswil und Oetwil a.d.L.» in Kraft gesetzt. Neben verschiedenen anderen Schutzzonen ist darin – basierend auf einem biologischen Gutachten – auch die «Störungspufferzone Flachmoor» festgelegt worden (Zone IIS1, Naturschutzumgebungszone, vgl. Abbildung 26).

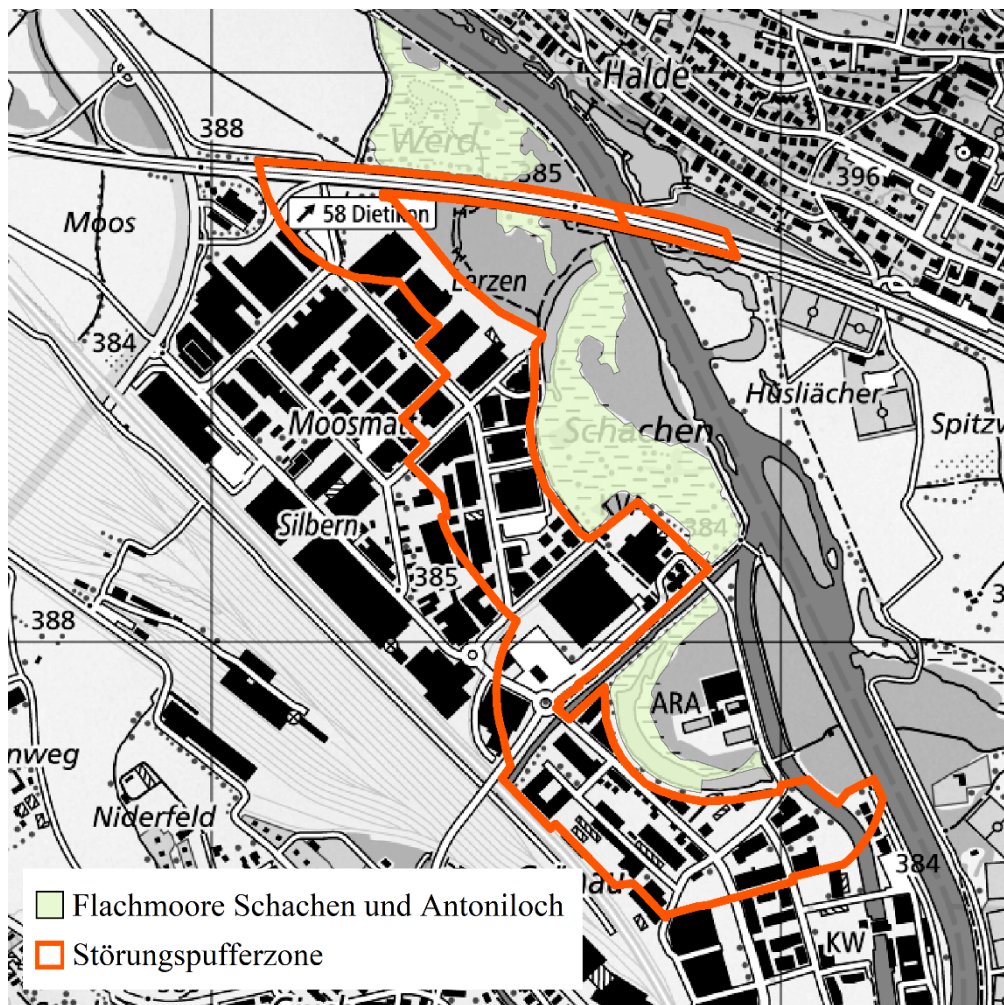


Abbildung 26: Störungspufferzone beim Flachmoor Schachen in Dietikon ZH

Diese Pufferzone soll das nationale Flachmoor vor unerwünschten Einwirkungen schützen sowie den Lebensraum für gefährdete Arten der Übergangsgebiete zwischen der intensiv genutzten Umgebung und der Naturschutzzone erhalten. Es ist die erste Naturschutzverordnung im Kanton Zürich, die auch Bestimmungen zur Vermeidung von Lichtemissionen enthält. Für die Störungspufferzone sieht die Verordnung unter anderem vor, dass die Nutzungen derart zu gestalten sind, dass:

- in einem Abstand von bis zu 50 m zur Moorgrenze direkte Sichtbezüge zwischen Aussenräumen, die regelmässig und dauerhaft von Personen genutzt werden, und dem Moor mittels geeigneter Massnahmen zu verhindern sind;
- in einem Abstand von bis zu 50 m zur Moorgrenze nachts zwischen März und Oktober keine vom Moor aus sichtbaren Dauerbeleuchtungen im Freien brennen;
- in einem Abstand grösser als 50 m die fest installierten Lichtquellen quantitativ und qualitativ so optimiert sind, dass die Anlockwirkung auf die Fauna minimal ist. Strassenbeleuchtungen sind zulässig, sofern sie mit einem Blendschutz nach neustem Stand der Technik versehen sind;

Für das Flachmoor selbst gelten die üblichen Vorschriften des Moorschutzes.

Praxisbeispiel: Leitentscheid des Bundesgerichts zur Beleuchtung des Pilatus (BGE 123 II 256)

Seit 1991 beleuchtet die Pilatus-Bahn-Gesellschaft zeitweise die beiden Pilatusgipfel «Esel» und «Oberhaupt» grossflächig mit neun Scheinwerfern. Gegen die Baubewilligung des Kantons Nidwalden reichte der Schweizer Heimatschutz Beschwerde ein und zog das Verfahren bis vor Bundesgericht. Denn die Beleuchtung hatte zur Folge, dass die Konturen der Berggipfel nicht mehr in ihrer ursprünglichen Form hervortraten, sondern «vielmehr als künstlich wirkende, etwas gespensterhafte Lichterscheinung aus der Dunkelheit» herausleuchteten (BGE 123 II 256, E. 6d).

Vorliegend stellte sich auch die grundsätzliche Frage, ob diese Beleuchtung überhaupt eine bewilligungspflichtige Anlage gemäss RPG darstellt. Denn die Scheinwerfer sind nicht fest im Boden verankert, sondern auf Sockeln, an Wänden und Seilen mit Schrauben festgemacht und innert kürzester Zeit demontierbar. Das Bundesgericht hielt hierzu fest, dass die Beleuchtung, auch wenn die Anlage rasch abgebaut werden könnte, doch auf Dauer angelegt sei. Die grossflächige Beleuchtung könne den Raum – und insbesondere das Landschaftsbild – zeitweise verändern. Daher komme ihr eine wesentliche räumliche Bedeutung zu. Das Bundesgericht stützte entsprechend die kantonalen Instanzen, welche die Beleuchtungskörper als bewilligungspflichtige Anlage gemäss Artikel 22 Absatz 1 RPG taxiert hatten.

Da die Anlage ausserhalb einer Bauzone liegt, war zudem eine Ausnahmegewilligung gemäss Artikel 24 Absatz 1 RPG notwendig. Eine solche kann nur erteilt werden, wenn der Zweck der Anlage einen Standort ausserhalb der Bauzone erfordert und ihr keine überwiegenden Interessen entgegenstehen. Dass sich die Scheinwerfer in der Nähe der Pilatusgipfel und damit ausserhalb der Bauzone befinden müssen, ergibt sich aus technischen Gründen – das Kriterium der Standortgebundenheit ist damit erfüllt.

Bei der Abwägung, ob der Beleuchtungsanlage überwiegende Interessen wie die des Natur- und Landschaftsschutzes entgegenstehen, spielte eine Rolle, dass der Pilatus als Objekt im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) verzeichnet ist. Gemäss NHG verdienen Objekte des BLN-Inventars in besonderem Masse die ungeschmälerte Erhaltung oder jedenfalls grösstmögliche Schonung (Art. 6 Abs. 1 NHG).

Das Bundesgericht kam im Fall des Pilatus zum Schluss, dass der BLN-Schutzzweck gemäss Artikel 6 NHG nicht massgeblich beeinträchtigt wird, wenn die Betriebszeiten der Beleuchtung klar eingeschränkt sind. Bereits die ursprüngliche Bewilligung des Kantons Nidwalden enthielt Auflagen zur zeitlichen Beschränkung:

- Beleuchtung während maximal zwei Stunden pro Nacht;
- Von Ende November bis Mitte März Beleuchtung nur am Samstag und Sonntag sowie an ausserordentlichen Anlässen;
- Keine Beleuchtung bei Nebel oder tiefhängenden Wolken.

Das Bundesgericht ordnete in seinem Entscheid von 1997 noch zusätzliche Betriebsbeschränkungen an:

- Auch während der Sommersaison darf nicht häufiger als an drei Abenden pro Woche beleuchtet werden, wobei sich nicht zwei Abende mit Beleuchtung folgen dürfen;
- Einschalten der Scheinwerfer nur im Anschluss an die (abgeschlossene) Dämmerung und nur in gestaffelter Reihenfolge (innerhalb von minimal fünf Minuten).

Diese Massnahmen gewährleisteten, dass das Naturschauspiel der Dämmerung – insbesondere die farblichen Veränderungen der Berggipfel während den Dämmerungsphasen – nicht beeinträchtigt wird und dass es nicht zu einer störenden schockartigen Erhellung der Pilatusgipfel kommt, sondern die Beleuchtung vielmehr «sanft» an die Dämmerung anschliesst.

Letztlich hielt das Bundesgericht auch fest, dass die Bewilligungserteilung für die Pilatus-Beleuchtung keine präjudizielle Wirkung auf die grossflächige Beleuchtung anderer Berggipfel habe. Eine zeitweise Hervorhebung des Luzerner «Hausbergs» durch Licht könne als Fortsetzung einer langen historischen Tradition innerhalb der «Tourismus-Landschaft» um den Vierwaldstättersee betrachtet werden. Der Pilatus und die Tourismusregion Luzern würden sich damit deutlich von andern charakteristischen Bergen in ebenfalls touristisch erschlossenen Gebieten unterscheiden.

A6 Hinweise zu den Richtwerten zur Beurteilung der Störwirkungen auf den Menschen

In Kapitel 5 finden sich Richtwerte zur Prüfung, ob das von aussen (von Lichtquellen in der Umwelt) in einen Wohnraum gelangende künstliche Licht für die Menschen im Sinne des Umweltschutzgesetzes (USG) lästig, d. h. übermässig ist. Beurteilt werden die Wohnraumaufhellung und die belästigende Blendung. Nachfolgend finden sich zusätzliche Hinweise zu diesen Richtwerten.

A6.1 Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung in der Nachtruhezeit (22 bis 6 Uhr)

A6.1.1 Hinweise zur Beurteilung

- Beurteilt werden die Gesamtimmissionen an den Fensterflächen von Wohnräumen.
- Dabei wird die über die Fensterfläche gemittelte, vertikale Beleuchtungsstärke des am höchsten belasteten Wohnraums mit den in Tabelle 5 aufgelisteten Richtwerten verglichen.
- Gemessene und berechnete Lux-Werte werden auf ganze Zahlen gerundet. Der Richtwert von 0 Lux für Umgebungszone 1 gemäss Tabelle 5 gilt deshalb bei einem ermittelten Wert von weniger als 0,5 Lux als eingehalten.
- Wenn die Immissionen überwiegend (d. h. zu mehr als 80 %) von einer Beleuchtungsanlage stammen, die farbiges oder zeitlich veränderliches Licht abstrahlt, sind die Mess- oder Berechnungsergebnisse der vertikalen Beleuchtungsstärke vor der Rundung mit den Zuschlagsfaktoren gemäss Tabelle 6 zu multiplizieren. Der so erhaltene Wert gilt als Beurteilungswert und soll die Richtwerte von Tabelle 5 einhalten. Die Faktoren für farbiges Licht und für zeitliches veränderliches Wechsellicht sind nicht zu kumulieren, sondern es gilt der höhere Wert.

A6.1.2 Hinweise zur Messung

- Die Gesamtimmission der vertikalen Beleuchtungsstärke kann in einer gegebenen Situation mit Beleuchtungsstärkemessgeräten («Luxmeter») einfach gemessen werden. Es sollen kalibrierte Messgeräte eingesetzt werden.
- Das Messgerät muss einen Wert von 0,1 Lux messen können, das heisst, seine Auflösung muss 0,01 Lux betragen. Zudem muss das Gerät mindestens die Anforderungen der Klasse B nach DIN 5032, Teil 7, mit einem Gesamtfehler < 10% erfüllen oder der Klasse CIE 2* gemäss CIE 231:2019 entsprechen.
- Es ist bei nächtlicher Dunkelheit und bei trockenen Wetterverhältnissen zu messen. Bei Regen, Schnee oder Nebel ist auf Messungen zu verzichten, da unter diesen Bedingungen die Messresultate stark von den Wetterverhältnissen beeinflusst werden und sich die Ergebnisse nicht replizieren lassen.
- Die Messung hat bei geöffnetem Fenster oder aussen unmittelbar vor der Scheibe und bei ausgeschalteter Zimmerbeleuchtung zu erfolgen.
- Ersatzweise kann auch auf Fensterhöhe aussen an der Fassade in einer mit einem Fenster vergleichbaren Fläche gemessen werden.
- Bei der Messung der vertikalen Beleuchtungsstärke ist der Sensor des Photometerkopfs parallel zur Fensterebene bzw. Fassade auszurichten.
- Zur Ermittlung der mittleren vertikalen Beleuchtungsstärke sind mehrere, gleichmässig verteilte Rasterpunkte (typischerweise 6 bis 9) in der Fensterebene zu messen. Auf die Rasterpunkte darf kein Schlagschatten (z. B. von einer dicken Hauswand oder einem Geländer) fallen. Der Beurteilungswert ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert der Einzelwerte.

A6.1.3 Hinweise zur Berechnung

Die Berechnung der Gesamtimmission im Voraus ist sehr aufwändig, da sämtliche Lichtquellen in der Umgebung modelliert werden müssen. Erachtet die Behörde die Abschätzung der Gesamtimmission in einem Bewilligungsverfahren für eine Beleuchtungsanlage als notwendig, kann sie eine solche auch

durch eine Kombination von Berechnung und Messung vornehmen oder vornehmen lassen: Hierzu ist die von der geplanten (einzelnen) Beleuchtungsanlage erzeugte vertikale Beleuchtungsstärke am Immissionsort zu berechnen und zur bereits vorhandenen, an diesem Ort mittels Messung erfassten Ausgangsbelastung hinzuzählen.

A6.2 Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung der Wohnraumaufhellung ausserhalb der Nachtruhezeit

A6.2.1 Hinweise zur Beurteilung der Normvorgaben gemäss A3.4

- Beurteilt werden die durch eine einzelne Anlage erzeugten Immissionen an den Fensterflächen von Wohnräumen.
- Gemessene und berechnete Lux-Werte werden auf ganze Zahlen gerundet.
- Bei einer Beurteilung gemäss LAI (vgl. Anh. A3.4.3, Tabelle 18) sind bei einer Beleuchtungsanlage, die farbiges oder zeitlich veränderliches Licht abstrahlt, die Mess- oder Berechnungsergebnisse der vertikalen Beleuchtungsstärke vor der Rundung mit den Zuschlagsfaktoren gemäss Tabelle 6 zu multiplizieren. Der so erhaltene Wert gilt als Beurteilungswert und soll die Normvorgaben von Tabelle 18 rechte Spalte, einhalten. Die Faktoren für farbiges Licht und für zeitliches veränderliches Wechsellicht sind nicht zu kumulieren, sondern es gilt der höhere Wert (LAI 2012).

A6.2.2 Hinweise zur Messung

- Die von einer einzelnen Beleuchtungsanlage erzeugten Immissionen können nicht direkt gemessen werden. Indirekt lassen sie sich aber bestimmen, indem die (Gesamt-)Immissionen einmal bei eingeschalteter und einmal bei ausgeschalteter Beleuchtung der Anlage gemessen und anschliessend die Differenz zwischen den Messergebnissen gebildet wird. Eine andere Methode besteht darin, bei der Messung der (Gesamt-)Immissionen der Beleuchtungsstärke gleichzeitig mit einer Leuchtdichtemesskamera auch die Leuchtdichte zu erfassen und anschliessend den Beitrag der betroffenen Beleuchtungsanlage anhand des Leuchtdichtebildes zu quantifizieren.
- Im Übrigen gelten die gleichen Anforderungen an die Messungen und an das Messgerät wie bei der Beurteilung der Wohnraumaufhellung im Nachtruhezeit beschrieben (vgl. Kap. 5.2.2).

A6.2.3 Hinweise zur Berechnung

Die von einer einzelnen Beleuchtungsanlage verursachten Immissionen lassen sich relativ einfach berechnen. In der Planung wird häufig die horizontale Beleuchtungsstärke auf dem Boden berechnet, um zu prüfen, ob die Normvorgaben zur Qualität der Beleuchtung eingehalten sind. Ist eine solche Situation in der Software modelliert, lässt sich das Modell ohne grossen Aufwand mit zusätzlichen vertikalen Ebenen für die Berechnung der vertikalen Beleuchtungsstärke ergänzen.

A6.3 Zusätzliche Hinweise zur Beurteilung der belästigenden Blendung

A6.3.1 Hinweise zum Blendmass k_s

Das Blendmass k_s ist eine Hilfsgrösse, welche die mittlere Leuchtdichte der Blendlichtquelle, deren Fläche (ausgedrückt als Raumwinkel) und die Umgebungsleuchtdichte zueinander ins Verhältnis setzt. Je nachdem wie dieses Verhältnis aussieht, welchen Zahlenwert k also erreicht, wird dies von unterschiedlich vielen Personen als belästigend wahrgenommen, wie dies anhand von Experimenten mit Probanden eruiert wurde (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 20: Zusammenhang zwischen dem Blendmass k_S und dem Anteil belastigter Personen (basierend auf Assmann et al. 1987, Hopkinson 1957, LiTG 2011, Schierz 2009).

Blendmass k_S	Anzahl belastigte Personen
32	ca. 3 – 10%
64	ca. 15 – 33%
96	ca. 30 – 50%
160	ca. 55 – 70%

A6.3.2 Hinweise zur Beurteilung

- Es wird empfohlen, die zur Berechnung des Blendmass k_S erforderlichen Parameter (mittlere Leuchtdichte $\bar{L}_S$ der zu beurteilenden Blendlichtquelle, zugehöriger Raumwinkel Ω_S und Umgebungsleuchtdichte L_U) mithilfe einer Leuchtdichtemesskamera und zugehöriger Software zu bestimmen.
- Die Aufnahme mit der Leuchtdichtemesskamera erfolgt vom Immissionsort aus.
- Als Umgebungsleuchtdichte gilt die mittlere Leuchtdichte in einem Winkelbereich von $\pm 10^\circ$ um die zu beurteilende Lichtquelle herum (was einem Kegel mit einem Öffnungswinkel von 20° entspricht). Die Blendlichtquelle bleibt bei der Aufnahme eingeschaltet, da sie die Umgebungsleuchtdichte beeinflussen kann, wird bei der Auswertung aber ausgespart (z. B. durch softwareseitige Ausblendung im Leuchtdichtebild, vgl. Abbildung 27).
- Mit den erhobenen Parametern wird das Blendmass k_S gemäss Gleichung 1 berechnet. Dieses darf den für die jeweilige Umgebungszone relevanten Richtwert von Tabelle 7 nicht überschreiten.
- Bei mehreren räumlich getrennten Blendlichtquellen im Sichtbereich ist grundsätzlich jede Quelle für sich zu beurteilen.

A6.3.3 Hinweise zur Messung

- Zur Beurteilung sollen kalibrierte Messgeräte eingesetzt werden.
- Die Qualität der Messgeräte soll der Klasse B nach DIN 5032 oder CIE 2* gemäss CIE 231:2019 entsprechen.
- Die Leuchtdichtemesskamera muss Werte von $0,01 \text{ cd/m}^2$ bis 10^6 cd/m^2 messen können (in mehreren Stufen). Ihre Auflösung muss 1 % des Skalenendwertes des jeweiligen Messbereiches betragen.
- Um Messergebnisse mit geringer Messunsicherheit zu erhalten, sind Objektive mit geeigneter Brennweite nötig, welche die Blendlichtquelle scharf und mit möglichst grosser Pixelauflösung abbilden können. Für die Messung der Umgebungsleuchtdichte ist häufig ein zusätzliches Objektiv nötig, um den Winkelbereich von $\pm 10^\circ$ um die zu beurteilende Lichtquelle herum erfassen zu können.
- Es ist bei nächtlicher Dunkelheit und bei trockenen Wetterverhältnissen zu messen. Bei Regen, Schnee oder Nebel ist auf Messungen zu verzichten, da unter diesen Bedingungen die Messresultate stark von den Wetterverhältnissen beeinflusst werden und sich die Ergebnisse nicht replizieren lassen.
- Die Messung hat bei geöffnetem Fenster oder aussen unmittelbar vor der Scheibe und bei ausgeschalteter Zimmerbeleuchtung zu erfolgen.

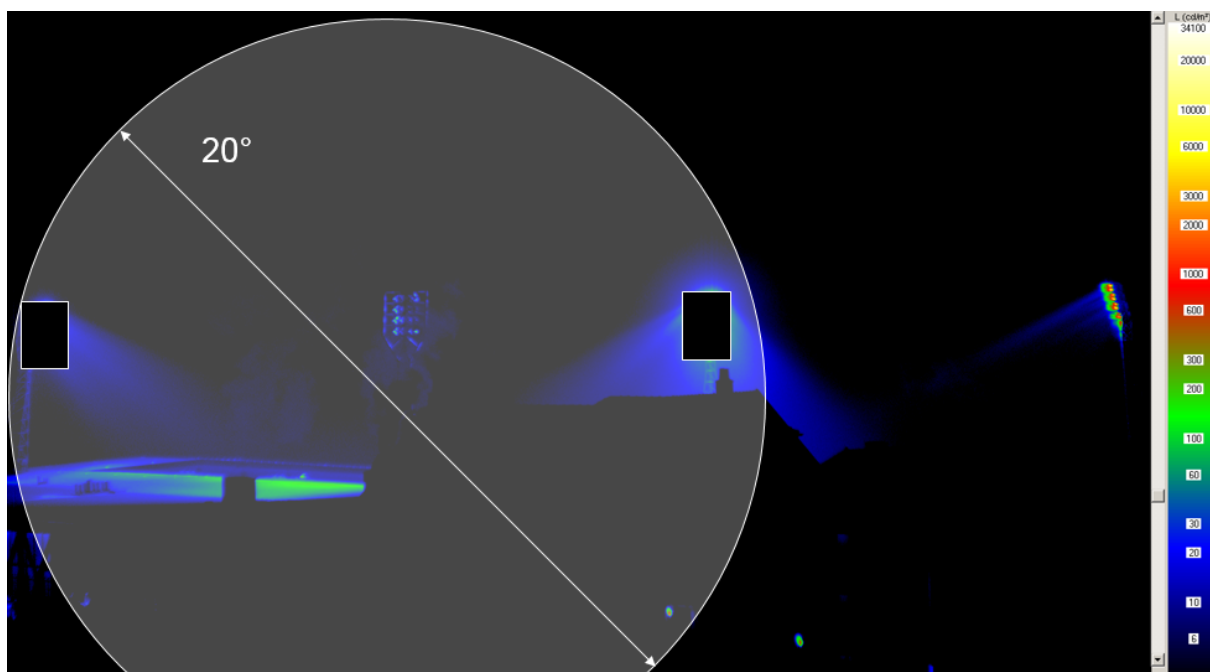


Abbildung 27: Bestimmung der Umgebungsleuchtdichte, d. h. der mittleren Leuchtdichte in einem Winkelbereich von $\pm 10^\circ$ um die zu beurteilende Lichtquelle herum. Die Blendlichtquelle muss bei der Aufnahme eingeschaltet bleiben, da sie die Umgebungsleuchtdichte beeinflussen kann (z. B. durch Reflexionen in der Atmosphäre, am Boden oder auf benachbarten Flächen), wird für die Auswertung aber ausgespart (Grafik: METAS).

A6.3.4 Hinweise zur Prognose

Die belastigende Blendung lässt sich über eine Berechnung der Leuchtdichten der Blendquelle und der Umgebung nur mit grossem Aufwand prognostizieren (vgl. Kap. 5.3.1). Daher wird in der Praxis bei der Planung einzelner Anlagen stattdessen die Lichtstärke (in Candela) in Richtung Immissionsort berechnet. Da bei diesem Vorgehen die Umgebungshelligkeit nicht berücksichtigt wird, sind diese Prognosen allerdings nur bedingt nützlich. Denn während eine Anlage mit einer bestimmten Lichtstärke in einer hellen Umgebung zu keiner Belästigung führt, kann sie in einer dunklen Umgebung durchaus Belästigungen hervorrufen.

Falls bereits im Voraus, zum Beispiel im Rahmen eines Bewilligungsverfahrens, abgeschätzt werden muss, ob es später im Betrieb zu belastigenden Blendungen kommen kann, ist als grober Anhaltspunkt abzuklären, ob von Immissionsorten in der Umgebung aus ein direkter Blick in die Leuchtmittel möglich sein wird. Gegebenenfalls sollen technische Massnahmen an der Quelle einen solchen direkten Blick möglichst verhindern.

A7 Glossar

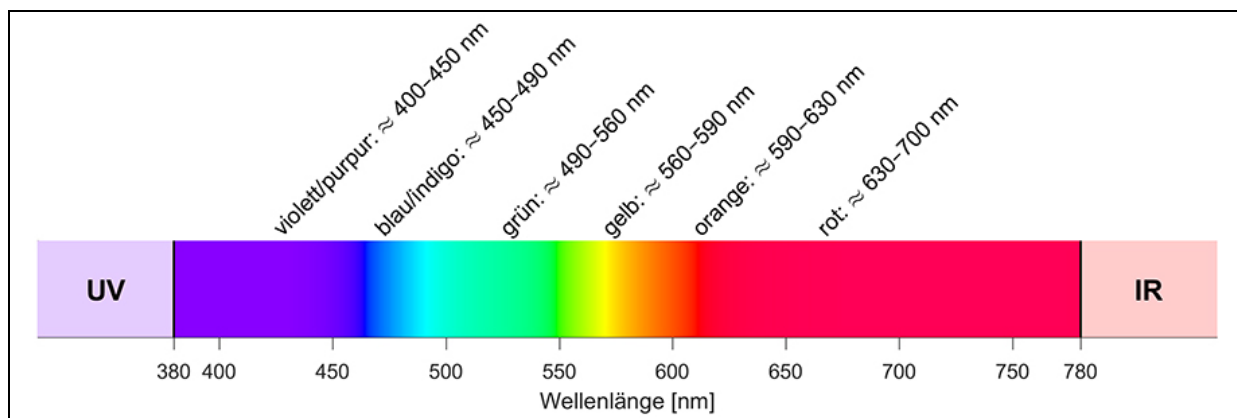


Abbildung 28: Lichtspektrum: Der Mensch kann elektromagnetische Strahlung in einem Wellenlängenbereich von ca. 380 bis 780 Nanometer (nm) wahrnehmen. Die Farbwahrnehmung ist nur mit den Zapfen der Netzhaut möglich, und dies erst ab Leuchtdichten von mehr als 0.003 Candela pro Quadratmeter (cd/m^2). Um Farben eindeutig erkennen zu können, sind Leuchtdichten von mehr als 3 cd/m^2 notwendig (Ris 2003).

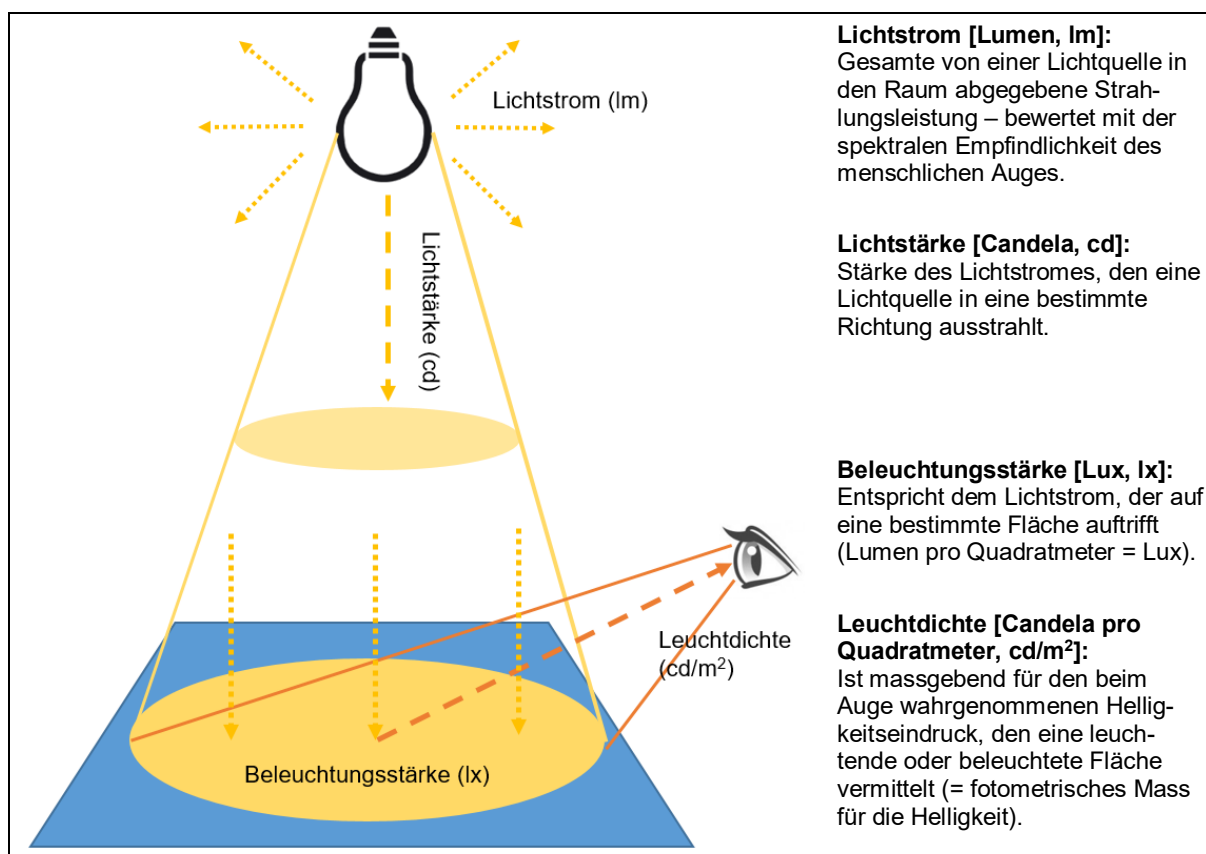


Abbildung 29: Darstellung der lichttechnischen Grössen

Beleuchtungsstärke E	— Entspricht dem Lichtstrom Φ, der auf einer Fläche A auftrifft. — Einheit: Lumen pro Quadratmeter = Lux [lx] — $E = \frac{\Phi}{A} \quad \left[lx = \frac{lm}{m^2} \right]$ — Kann mit einem Beleuchtungsstärkemessgerät («Luxmeter») gemessen werden.
Beleuchtungsstärke horizontal E_H bzw. vertikal E_V	— Beleuchtungsstärke bezogen auf eine horizontale Fläche (z. B. Fahrbahn) bzw. vertikale Fläche (z. B. Gebäudefassade)
Farbtemperatur / Lichtfarbe	— Leuchtmittel erzeugen Licht in verschiedenen Farbtönen. Die Verteilung der Farben wird mithilfe der Farbtemperatur beschrieben. — Einheit: Kelvin [K] — Es werden bei der Farbtemperatur drei Gruppen unterschieden: — warmweisses Licht: kleiner als 3300 K — neutralweisses Licht: 3300 – 5300 K — kaltweisses Licht: grösser als 5300 K (tageslichtweisses Licht) — Die Farbtemperatur einer Lampe sagt nur etwas über das farbliche Aussehen des Lichts aus, aber nichts über dessen Farbwiedergabe-Eigenschaft (Ris 2003).
Farbwiedergabe	— Der farbliche Eindruck eines beleuchteten Objekts ist abhängig von der spektralen Zusammensetzung des verwendeten Lichts. Je vollständiger das Spektrum, desto natürlicher ist der Farbeindruck. Fehlen im Spektrum bestimmte Farbbereiche, so kann ein damit beleuchteter Gegenstand, der diese Farbe aufweist, farblich nicht identifiziert werden. — Da verschiedene Leuchtmittel Licht auf unterschiedliche Weise erzeugen, weist ihr Licht unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen auf, was sich entsprechend auf ihre Farbwiedergabe-Eigenschaften auswirkt.
Farbwiedergabe-Index	— Der Farbwiedergabe-Index R_a gibt an, wie gut die Farbwiedergabe des betreffenden Leuchtmittels ist. — Der höchste Wert beträgt 100. Bei einem solchen können alle Farben des Spektrums wahrgenommen werden. Je mehr der Farbwiedergabe-Index R_a von 100 abweicht, umso schlechter werden Farben auf beleuchteten Gegenständen wiedergegeben (Ris 2003). — In der Praxis werden Leuchtmittel wie folgt in Farbwiedergabestufen eingeteilt: — $R_a = 90$ und höher: sehr gute Farbwiedergabe — $R_a = 80 - 89$: gute Farbwiedergabe — $R_a = 70 - 79$: befriedigende Farbwiedergabe — $R_a = 60 - 69$: ausreichende Farbwiedergabe — $R_a < 60$: mangelhafte Farbwiedergabe

Gleichmässigkeit U	– Die Gleichmässigkeit U beschreibt die räumliche Verteilung des Lichts. Sie kann sich auf die Leuchtdichte oder die Beleuchtungsstärke beziehen. – Die Gleichmässigkeit wird als Verhältnis der minimalen zu mittleren oder der minimalen zur maximalen Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke gebildet.
Leuchtdichte L	– Fotometrisches Mass für die Helligkeit. – Ist massgebend für den vom Auge wahrgenommenen Helligkeitseindruck, den eine leuchtende oder beleuchtete Fläche vermittelt. – Einheit: Candela pro Quadratmeter [cd/m^2] der leuchtenden Fläche A_1 – Stehen die Fläche A_1 und die Strahlungsrichtung senkrecht aufeinander, gilt: $L = \frac{I}{A_1} \quad \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2 \cdot \text{sr}} \right]$ – Wird das Licht in eine Richtung abgestrahlt, die um den Winkel γ von der Senkrechten abweicht, gilt: $L = \frac{I_\gamma}{A_1 \cos \gamma_1} \quad \text{wobei } I_\gamma = \text{Lichtstärke in Richtung des Winkels } \gamma$ – Kann mit einem Leuchtdichtemessgerät oder einer Leuchtdichtemesskamera gemessen werden.
Lichtspektrum	– Das Lichtspektrum beschreibt die Intensitätsverteilung der im Licht eines Leuchtmittels vorhandenen Wellenlängen (vgl. Abbildung 28). – Das weisse Sonnenlicht enthält sämtliche für den Menschen sichtbaren Wellenlängen, wenngleich in unterschiedlicher Intensität.
Lichtstärke I	– Gibt die Stärke des Lichtstromes an, den eine Lichtquelle in eine bestimmte Richtung ausstrahlt – gewichtet mit der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges. – Einheit Candela [cd] – $I = \frac{\Phi}{\Omega_1} \quad \left[\text{cd} = \frac{\text{lm}}{\text{sr}} \right]$ – Die Lichtstärkeverteilung im Raum von Leuchten wird grafisch in Form von Lichtstärke-Verteilungskurven (LVK) dargestellt.
Lichtstrom Φ	– Gesamte von einer Lichtquelle in den Raum abgegebene Strahlungsleistung – bewertet mit der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges. – Einheit: Lumen [lm]

A8 Literaturverzeichnis

- Aeberhard, S., 2015: Luzern im Abendkleid. In: Stadtlcht, Faktor Verlag, Zürich: 20-23.
- Aeberhard, S., 2016: Smartes Licht in Urdorf. In: Strassenbeleuchtung, Faktor Verlag, Zürich: 10-13.
- Age Stiftung (Hrsg.) 2006: Hinweise für die Planung von altersgerechten Wohnungen. Zürich: 5 S.
- Amt für Städtebau, Stadt Zürich (Hrsg.) 2006: Gesamtkonzept Aussenwerbung. Zürich: 5 S.
- Arendt J., 1998: Melatonin and the pineal gland: influence on mammalian seasonal and circadian physiology. *Reviews of Reproduction*. Jan; 3(1): 13-22. doi: 10.1530/ror.0.0030013.
- Arlettaz, R., et al., 2000: Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (*Pipistrellus pipistrellus*) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*). In: *Biological Conservation* 93: 55-60.
- Assmann, J., et al., 1987: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen. In *LICHT* 7/1987: 509-515.
- Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses. République française.
- Azam, C. 2017: Impacts of light pollution and wind turbine light emissions on nocturnal biodiversity. Vortrag an der Tagung «Immissionen von Windenergieanlagen: Befeuerung, Lärm und Infraschall» vom 8. März 2017, Deutsch-französisches Büro für die Energiewende (DFBEW), Paris.
- Baker B.J. and Richardson J.M.L., 2006: The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans melanota*, *Can. J. Zool.* 84: 1528–1532.
- Baudirektion Kanton Zürich (Hrsg.) 2005: Beleuchtungsreglement des Kantons Zürich, Grundsätze, Vorschriften und Richtlinien bezüglich Planung, Bau und Unterhalt an Staatsstrassen. Tiefbauamt, Zürich: 24 S.
- Baudirektion Kanton Zürich (Hrsg.) 2016: Schutz der Limmataltläufe in Dietikon, Geroldswil und Oetwil a.d.L. (Naturschutzgebiete mit überkommunaler Bedeutung). Entwurf vom 25. April 2016. Amt für Landschaft und Natur, Zürich: 11 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (Hrsg.) 2016: Schattenwurf von Windkraftanlagen: Erläuterung zur Simulation. LfU, Augsburg: 6 S.
- Beier, P., 2005: Effects of artificial Night Lighting on Terrestrial Mammals. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 19-42.
- Beck, A., 2005: Aargauer Beispiele zur Problematik Fledermäuse / Licht. Zusammenstellung des Kantonalen Fledermausschutz-Beauftragten des Kantons Aargau.
- Becker A., Whitfield A. K., Cowley P. D., Järnegen J. and Næsje T. F., 2012: Potential effects of artificial light associated with anthropogenic infrastructure on the abundance and foraging behaviour of estuary-associated fishes. *Journal of Applied Ecology*, Volume 50, Issue 1: 43-50.
- Bedrosian T. A., Fonken L. K., Walton J. C., Nelson R. J., 2011: Chronic exposure to dim light at night suppresses immune responses in Siberian hamsters. *Biology Letters* 7: 468–471.
- Bedrosian T. A., Aubrecht T.G., Kaugars K.E., Weil Z.M., Nelson R.J., 2013: Artificial light at night alters delayed-type hypersensitivity reaction in response to acute stress in Siberian hamsters. *Brain Behav. Immun.*, 34 (2013), pp. 39-42, 10.1016/j.bbi.2013.05.009.
- Bennie J.J, Duffy J.P, Inger R., Gaston K.J., 2014: Biogeography of time partitioning in mammals. *Proc Natl Acad Sci.*;111(38):13727–32. <https://doi.org/10.1073/pnas.1216063110>.
- Bergen, F., Abs, M., 1997: Etho-ecological study of the singing activity of the blue tit (*Parus caeruleus*), great tit (*Parus major*) and chaffinch (*Fringilla coelebs*). In: *J. Ornithol.* 138: 451–67.
- Blattner, P., 2015: Beurteilung von Solaranlagen. Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS: 12 S.
- Blattner, P.; 2018: Das richtige Licht, zur richtigen Zeit. In *METinfo*, Zeitschrift für Metrologie, Vol. 25, 1/2018: 9-13

- Boldogh, S. Á. B. et. Al., 2007: The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. In: *Acta Chiropterologica*, 9(2), 527-534.
- Bolliger J., Hennet T., Wermelinger B., Bösch R., Pazur R., Blum S., Haller J. and Obrist M. K., 2020: Effects of traffic-regulated street lighting on nocturnal insect abundance and bat activity. *Basic and Applied Ecology*, Volume 47: 44-56.
- Breuer, S., 2015: Bedarfsgerecht gesteuerte LED – die Zukunft bei der Strassenbeleuchtung. In: *Infrastruktur- und Tunnelbau*, 4/2015: 84-85.
- Breuer, S., 2016: Dreimal sparen bei der Strassenbeleuchtung. In: *ET Licht*, September 2016. *AZ Medien*, Aarau: 40-42.
- Briggs, W., 2005: Physiology of Plant Responses to Artificial Lighting In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 389-411.
- British Standard BS 5489-1:2013. Code of practice for the design of road lighting - Part 1: Lighting of roads and public amenity areas. London: 74 S.
- Bruderer, B., et al. (1999): Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and a bright light beam. In: *Journal of Experimental Biology* 202(9): 1015-1022.
- Bruderer, B., 2017: Vogelzug – Eine Schweizerische Perspektive. *Der Ornithologische Beobachter*, Beiheft 12: 209 S.
- Buchanan, B., 2005: Observed and Potential Effects of Artificial Night Lighting on Anuran Amphibians. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 192-220.
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) (Hrsg.) 2020: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen (WKA-Schattenwurfhinweise). LAI. Stand: 23.01.2020. Berlin: 11 S.
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) (Hrsg.) 2012: Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz. Stand: 08.10.2012 (Anhang 2 Stand: 03.11.2015). Berlin: 28 S.
- Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.) 2008: Windkraftanlagen in der Schweiz – Raumplanerische Grundlagen und Auswirkungen. Econcept AG und Institut für Raumentwicklung Hochschule für Technik Rapperswil IRAP-HSR, Zürich und Rapperswil: 78 S.
- Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.) 2016: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2015. Bern: 56 S.
- Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.) 2018: Bundesamt für Energie verleiht zum elften Mal den Schweizer Energiepreis Watt d'Or. Medienmitteilung vom 11. Januar 2018.
- Bundesamt für Gesundheit BAG (Hrsg.) 2016: LED-Lampen. Faktenblatt (Stand: 1. November 2016). Bern, 16 S.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (Hrsg.) 2015: Raumentwicklung und Nacht. Die Folgen der 24-Stunden-Gesellschaft. *forum raumentwicklung* 03/2015. Bern: 104 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2010: Zustand der Landschaft in der Schweiz. Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr. 1010. Bern: 64 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2012: Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Moser 09.3285, 29. November 2012. Bern: 22 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2020: Landschaftskonzept Schweiz (LKS). Landschaft und Natur in den Politikbereichen des Bundes. Umwelt-Info Nr. 2011. Bern: 52 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2013: Neue Ansätze zur Erfassung der Landschaftsqualität: Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES), Umwelt-Wissen Nr. 1325. Bern und Birmensdorf: 75 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2017: Wandel der Landschaft: Erkenntnisse aus dem Monitoringprogramm Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr. 1641. Bern und Birmensdorf: 71 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2017: Wandel der Landschaft: Erkenntnisse aus dem Monitoringprogramm Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr. 1641. Bern und Birmensdorf: 71 S.

Bundesamt für Umwelt BAFU und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2020: Auswertungsprotokoll für Indikator 14 Wandel der Landschaft: Erkenntnisse aus dem Monitoringprogramm Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES). Umwelt-Zustand Nr. 1641. Bern und Birmensdorf: 71 S.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, heute: Bundesamt für Umwelt BAFU) (Hrsg.) 2005: Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Vollzug Umwelt Nr. 8010 (VU-8010-D). Bern: 37 S.

Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) (Hrsg.) 2019: Richtlinie AD I-006 D, Luftfahrthindernisse. Version 2.0, 1.7.2019. Bern: 39 S.

Bundesgericht (Hrsg.) 2014: SBB muss Bahnhofbeleuchtung reduzieren. Medienmitteilung des Bundesgerichts vom 23. April 2014. Lausanne: 2 S.

Buchanan, B. W., 1993: Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. In: *Animal Behaviour* 45(5): 893-899.

Group and Ecological consequences of artificial night lighting (conference).

CIE 150:2017: Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. Commission International de l'Eclairage (CIE), Wien: 54 S.

CIE 191:2010: Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. Commission International de l'Eclairage (CIE), Wien: 79 S.

CIE 231:2019: CIE Classification System of Illuminance and Luminance Meters. Commission International de l'Eclairage (CIE), Wien: 42 S.

Cieslik, T., 2010: Schattentheater. In: *TEC21 – Schweizerische Bauzeitung*, 136 (2010), *espazium* – Der Verlag für Baukultur, Zürich: 34-40.

Daly M., Behrends P. R., Wilson M. I., Jacobs L. F., 1992: Behavioural modulation of predation risk: moonlight avoidance and crepuscular compensation in a nocturnal desert rodent, *Dipodomys merriami*, *Animal Behaviour*, Volume 44, 1: 1-9.

Daouk, A., 2015: Lyon: Zwischen funktionaler und ästhetischer Beleuchtung. In: *forum raumentwicklung* 03/2015. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern: S. 30-33.

Dark Sky Ireland, Espey B., 2020: BEST PRACTICE PUBLIC LIGHTING, https://www.darksky.ie/wp-content/uploads/2020/04/BestPracticesInPublicLighting_BEspey2020.pdf

de Molenaar, J., Sanders, M., Jonkers, A., 2005: Road lighting and Grassland Birds: Local Influence of Road Lighting on a Black-Tailed Godwit Population. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 114-136.

Debrot, L., 2015 : L'éclairage public : une question sociétale. Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. LAMPER – Agence suisse pour la protection de l'environnement nocturne, Fontainemelon.

Derrickson, K. C. (1988): Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. In: *Condor* 90: 592–606.

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG) (Hrsg.) 2011: Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtmissionen künstlicher Lichtquellen. 12.3. LiTG, Berlin: 34 S.

Dice LD. 1945. Minimum intensities of illumination under which owls can find dead prey by sight. *Am. Nat.* 79, 385–416. (doi:10.1086/281276).

DIN 5032-7: Lichtmessung - Teil 7: Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: 3 S.

Dominoni D. M., Carmona-Wagner E. O., Hofmann M., Kranstauber B., Partecke J., 2014: Individual-based measurements of light intensity provide new insights into the effects of artificial light at night on daily rhythms of urban-dwelling songbirds. *Animal Ecology* Volume 83, Issue 3, 681-692.

Dunlap, J. C., 1999: Molecular bases for circadian clocks. *Cell* 96, 271-290.

Dwyer RG, Bearhop S, Campbell HA & Bryant DM., 2012: Shedding light on light: benefits of anthropogenic illumination to a nocturnally foraging shorebird. *Journal of Animal Ecology*. 82, 478–485. (doi:10.1111/1365-2656.12012).

Eisenbeis, G., Hassel, F., 2000: Attraction of nocturnal insects to street lights – a study of municipal lighting systems in a rural area of Rheinhessen (Germany). In: *Natur und Landschaft* 75(4): 145-156.

Eisenbeis, G., 2005: Artificial Night Lighting and Insects: Attraction of Insects to Streetlamps in a Rural Setting in Germany. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 281-304.

EnergieSchweiz (Hrsg.) 2015: Effiziente Beleuchtung im Haushalt. Bundesamt für Energie BFE. Bern: 24 S.

EnergieSchweiz (Hrsg.) 2016: Effiziente Strassenbeleuchtung mit LED. Bundesamt für Energie BFE. Bern: 24 S.

Ernst Basler und Partner EBP (Hrsg.) 2014: Skiinfrastrukturanlagen Urserntal / Oberalp, Detailprojekt Nr. 39 Lichtschutz, Bericht 39.1 vom 31.10.2014. Bericht im Auftrag der Andermatt-Sedrun Sport AG. Ernst Basler und Partner AG, Zollikon: 21 S.

Ernst Basler und Partner EBP (Hrsg.) 2016: Grundlagenbericht zur Aktualisierung der Vollzugshilfe zur Vermeidung unnötiger Lichtemissionen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Ernst Basler und Partner AG, Zollikon: 130 S.

Etter, U., 2015: Licht nach Bedarf im Interesse der Umwelt. In: *Thema Umwelt* 4/2015: Lichtemissionen reduzieren und Strom sparen. PUSCH – Praktischer Umweltschutz, Zürich: 20-21.

Europäische Landschaftskonvention, 2000: Europäisches Landschaftsübereinkommen (Deutsche Übersetzung), Florenz: 10 S.

Falchi, F., et al., 2016: The new world atlas of artificial night sky brightness. In: *Science Advances* 2016;2:e1600377: 25 S.

FGS Forschungs- und Planungsgruppe Stadt und Verkehr (Hrsg.) 2010: Konzept für die öffentliche Beleuchtung in Berlin. Beleuchtung und Verkehrssicherheit. FGS, Berlin: 48 S.

Fonken L.K., Kitsmiller E., Smale L., Nelson R.J., 2012: Dim nighttime light impairs cognition and provokes depressive-like responses in a diurnal rodent. *Journal of Biological Rhythms*. Volume 27:319–327.

Frank, K., 1988: Impact of outdoor lighting on moths: An assessment. In: *Journal of the Lepidopterists' Society* 42(2): 63-93.

Frank, K., 2005: Effects of Artificial Night Lighting on Moths. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 305-344.

Fussverkehr Schweiz (Hrsg.) 2015: Zu Fuss durch die Nacht. Eine Bestandesaufnahme der öffentlichen Beleuchtung. Fussverkehr Schweiz, Zürich: 23 S.

Gaston K.J., Bennie J., Davies T.W., Hopkins J., 2013: The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal, *Biol. Rev.* 88: 912–927.

Gaston, K.J., Duffy, J.P., Gaston, S. et al., 2014a: Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences. *Oecologia* 176, 917–931 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3088-2>.

- Gaston K.J. and Benie J., 2014b: Deomographic effects of artificial nighttime lighting on animal populations. In: *Environmental Reviews* 22 (4): 323-330. <https://doi.org/10.1139/er-2014-0005>.
- Gemeinde Balzers (Hrsg.) 2013: Reglement der Gemeinde Balzers für Reklameanlagen (4. März 2009, Revision 20. November 2013). Balzers: 6 S.
- Gemeinde Köniz (Hrsg.) 2012: Reklamereglement (722.1, Stand vom 23.09.2012). Köniz: 21 S.
- Gemeinde Thalwil (Hrsg.) 2015: Masterplan Licht: Kunstlicht im öffentlichen und privaten Aussenraum. (Finale Version, 6. Oktober 2015). Thalwil: 38 S.
- Giavi, S., Blösch, S., Schuster, G. & Knop E., 2020: Artificial light at night can modify ecosystem functioning beyond the lit area. *Sci Rep* 10, 11870. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68667-y>
- Giavi, S., Fontaine, C. & Knop, E., 2021: Impact of artificial light at night on diurnal plant-pollinator interactions. *Nat Commun* 12, 1690. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22011-8>
- Gronfier, C., 2015: Santé en jeu: Effets positifs et négatifs de la lumière chez l'homme. Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. Institut national de la santé et de la recherche médicale Inserm, Lyon.
- Häder, D.-P., 2004: Nastien, endogene Rhythmen und Photoperiodismus. Photobiologie Vorlesung, 4. Kapitel. Lehrstuhl für Ökophysiologie an der Universität Erlangen, Nürnberg.
- Haller, J., 2016: Zwischen Rush Hour und Nachtruhe: Verkehrsabhängige Regelung der Strassenbeleuchtung. In: *Licht 11-12 2016*. Pflaum Verlag, München: 34-37.
- Haller, J., 2017: Daten Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) . Schriftliche Hinweise vom 27. Februar 2017.
- Held, M., Hölker, F., Jessel, B. (Hrsg.) 2013: Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft: Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. Bundesamt für Naturschutz, Bonn: 189 S.
- Henninger, S., 2015: Protection de l'environnement et efficience énergétique. Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. Les Services industriels de Lausanne SiL, Lausanne.
- Herfort, S., 2015: Luzern erstrahlt im rechten Licht. In: *Thema Umwelt* 4/2015: Lichtemissionen reduzieren und Strom sparen. PUSCH – Praktischer Umweltschutz, Zürich: 16-17.
- Hoffmann J., Palme R., Eccarda J. A., 2018: Long-term dim light during nighttime changes activity patterns and space use in experimental small mammal populations. *Environmental Pollution*, Volume 238: 844-51.
- Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K. & Tockner, K., 2010a: Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 681– 682.
- Hölker, F., T. Moss, B. Griefahn, W. Kloas, C. C. Voigt, D. Henckel, A. Hänel, P. M. Kappeler, S. Völker, A. Schwoppe, S. Franke, D. Uhrandt, J. Fischer, R. Klenke, C. Wolter, and Tockner K.. 2010b: The dark side of light: a transdisciplinary research agenda for light pollution policy. *Ecology and Society* 15(4): 13.
- Hönig, R., 2004: Plan Lumière: Stadtplanung in der Nacht. In: *Hochparterre* 17(2004). Hochparterre AG, Zürich: S. 20-22.
- Hopkinson, R.C., 1957: Evaluation of Glare. *Illuminating Engineering* 52: 305-316.
- Hotz, T., Kistler, C. & Bontadina, F., 2011: Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung. Grundlagenbericht. SWILD, Zürich, 121 Seiten.
- Humm, O., 2015: 10 Punkte für Gemeinden. In: *Stadtlicht*, Faktor Verlag, Zürich: 38-39.
- Hungerbühler R., Morici, L., 2006: Soziologische Beobachtungen zur Wahrnehmung nächtlicher Landschaften. In: Zumthor, P., Beer, I., Mathieu, J. (Hrsg.): *Wieviel Licht braucht der Mensch, um leben zu können, und wieviel Dunkelheit?* vdf Hochschulverlag, Zürich: 162-184.

- Jaeger, R. G., Hailman, J. P. (1973): Effects of intensity on the phototactic responses of adult anuran amphibians: a comparative survey. In: Z. Tierpsychol. 33: 352–407.
- Jones, K.E., Bielby, J., Cardillo, M., Fritz, S.A., O'Dell, J., Orme, C.D.L. et al., 2009: PanTHERIA: a species-level database of life history, ecology, and geography of extant and recently extinct mammals. Ecology, 90, 2648.
- Kalinkat, G., Grubisic, M., Jechow, A., van Grunsven, R. H. A., Schroer, S., and Hölker, F., 2021: Assessing long-term effects of artificial light at night on insects: what is missing and how to get there, Insect Conservation and Diversity. Volume 14, Issue 2: 260-70.
- Kanton Schaffhausen (Hrsg.) 2014: Richtplan. Genehmigung durch den Bundesrat am 21. Oktober 2015. Objektblatt 6 Weitere Raumnutzungen. S. 151-152.
- Kanton Thurgau (Hrsg.) 2009: Richtplan. Genehmigung durch den Bundesrat am 27. Oktober 2010. Objektblatt 1.1 Siedlungsgebiete: 4 S.
- Kölz, A.; Müller-Stahel, H-U.; Keller, H.; Brunner, U.; Vereinigung für Umweltrecht; Schweiz. -; Schweiz. - 1983. 1985-2004.J, 1985-2004
- Kienast F., Frick J., Steiger U., 2013: Neue Ansätze zur Erfassung der Landschaftsqualität. Zwischenbericht Landschaftsbeobachtung Schweiz (LABES), Umwelt-Wissen Nr. 1325, Bundesamt für Umwelt, Bern und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf: 75 S.
- Klopfenstein, E., 2015: Eteindre complètement : comment faire ? Vortrag an der PUSCH-Tagung « Réduire les émissions lumineuses dans les communes » vom 10.11.2015. Municipalité de Corgémont.
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, Ch., Hörler, M., Fontaine, C., 2017: Artificial light at night as a new threat to pollination. Nature 548, 206–209. <https://doi.org/10.1038/nature23288>
- Kobler, R. L., 2009: Lichtprojektionsverfahren aus Sicht der Eindämmung unnötiger Lichtemissionen (Lichtverschmutzung). Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Muttens: 11 S.
- Kolligs, D., 2000: Ecological effects of artificial light sources on nocturnally active insects, in particular on butterflies (Lepidoptera). In: Faunistisch-Oekologische Mitteilungen Supplement 28: 1-136.
- Kostenzer, J., 2013: Leuchtende Hänge, lange Schatten – Nachtskilauf in Tirol. In: Held et. al. (Hrsg.): Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft: Grundlagen, Folgen, Handlungsansätze, Beispiele guter Praxis. Bundesamt für Naturschutz, Bonn: 177-180.
- Le Tallec, T., Perret, M., Théry, M., 2013: Light Pollution Modifies the Expression of Daily Rhythms and Behavior Patterns in a Nocturnal Primate. PLoS ONE 8(11): e79250. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079250>
- Le Tallec, T., 2014: Dossier «La pollution lumineuse». Internet: <http://www.webdeveloppementdurable.com/dossier-la-pollution-lumineuse/>, Bearbeitungsstand vom 30.06.2014 (abgerufen am 18.10.2016).
- Le Tallec, T., Théry, M., Perret, M., 2016: Melatonin concentrations and timing of seasonal reproduction in male mouse lemurs (*Microcebus murinus*) exposed to light pollution, Journal of Mammalogy, Volume 97, Issue 3, Pages 753–760, <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw003>
- Lichtplan GmbH (Hrsg.) 2019: Berechnungen zur Blendung (k-Werte): Beleuchtungen von Fussball- und Tennisplätzen (18MR037). Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern: 58 S.
- Lloyd, J., 2005: Stray Light, Fireflies and Fireflyers. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 345-364.
- Longcore, T., Rich, C., 2004: Ecological light pollution. In: Front Ecol Environ 2(4): 191-198.
- Longcore, T., Rodríguez, A., Witherington, B., Penniman, JF., Herf, L., Herf, M., 2018: Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. J Exp Zool: 1–11. <https://doi.org/10.1002/jez.2184>

- Longland, W. S., and Price, M. V., 1991: Direct Observations of Owls and Heteromyid Rodents: Can Predation Risk Explain Microhabitat Use? *Ecology*, vol. 72, no. 6, pp. 2261–2273.
- Luginbuhl, C. B., Boley, P. A., & Davis, D. R., 2014. The impact of light source spectral power distribution on sky glow. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*: 139, 21–26.
- Manville, A. M., 2000: The ABCs of avoiding bird collisions at communication towers: the next steps. *Proceedings of the Avian Interactions Workshop*, December 2, 1999, Charleston, SC. Electric Power Research Institute.
- Matt, A., 2015: Nachtabstaltung in Liechtenstein. Schriftliche Hinweise vom 23. Juni 2015: 16 S.
- Miller, M. W., 2006: Apparent Effects of Light Pollution on Singing Behavior of American Robins, *The Condor*, 108(1), 130-139.
- Moore, M., Kohler, S., Cheers, M., 2005: Artificial Light at Night in Freshwater Habitats and Its Potential Ecological Effects. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 365-384.
- Morgan-Taylor, M., 2015: Global Approaches to the Regulation of Light Pollution. Vortrag an der ALAN 2015 vom 29.-31.05.2015 in Sherbrooke, Québec, Canada. De Montfort University, Leicester, UK (<http://artificiallightatnight.weebly.com/uploads/3/7/0/5/37053463/morgan-taylor.pdf>)
- Moshhammer, H. und Kundi, M., 2013: Medizinische Beurteilungsgrundlagen der Passiven Blendung – Version Dezember 2013. Institut für Umwelthygiene, Medizinische Universität Wien. Wien: 73 S.
- Mosler-Berger, Ch., 2013: Nächtliche Beleuchtung beeinträchtigt Lebensrhythmen – moderne Lösungsansätze. *Wildtier Schweiz, Fauna Focus 8 «Licht»*.
- Museum für Energiegeschichte(n) (Hrsg.) 2013: Licht an! Wie das Licht elektrisch wurde. Hannover: 12 S.
- Nightingale, B., Longcore, T., Simenstad C., 2005: Artificial Night Lighting and Fishes. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 257-276.
- Owens, A.C.S., Cochard, P., Durrant, J., Farnworth, B., Perkin, E.K. & Seymoure, B., 2020: Light pollution is a driver of insect declines. *Biological Conservation*, 241, 108259.
- Perlman I., Normann R.A., 1998: Light adaptation and sensitivity controlling mechanisms in vertebrate photoreceptors. *Progress in Retinal Eye Research*, Volume 17, Issue 4, pp. 523-563.
- Perry, G., Fisher, R., 2005: Night Lights and Reptiles: Observed and Potential Effects. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 169-191.
- Perry, G., Buchanan, B. W., Fisher, R. N., Salmon, M., and Wise, S. E., 2008: Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments. *Urban Herpetology* 3: 239–256.
- Phillips, J.B., and Borland, S.C., 1992: Behavioural evidence for the use of a light dependent magnetoreception mechanism by a vertebrate. *Nature* 359:142 144.
- Rand, A. S., et al., 1997: Light levels influence female choice in Túngara frogs: predation risk assessment? In: *Copeia* 1997: 447-50.
- Raum und Wirtschaft (rawi), Kanton Luzern (Hrsg.) 2016: Richtlinien Reklameanlagen. Ausgabe April 2016. rawi, Luzern: 10 S.
- Rechsteiner, M., Anderle, D., 2015: Erhebung der Lichtimmissionen in verschiedenen Beleuchtungssituationen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. art light GmbH, St. Gallen: 30 S.
- Rich, C., and Longcore, T., 2006: *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press Washington, Chapter 2: 19-37.
- Ris, H. R., 2003: *Beleuchtungstechnik für Praktiker*. VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach: 388 S.

- Robert, K. A., Lesku, J. A., Partecke, J., and Chambers, B., 2015: Artificial light at night desynchronizes strictly seasonal reproduction in a wild mammal. *Biological Sciences*, Volume 282, Issue 1816.
- Rydell, J., 2005: Bats and their Insect Prey at Streetlights. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): *Ecological Consequences of artificial Night Lighting*. Island Press, London: 43-60.
- Santos, C.D., Miranda, A.C., Granadeiro, J.P., Lourenço, P.M., Saraiva, S., and Palmeirim, J.M., 2010: Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders. *Acta Oecol.* 36, 166–172. (doi:10.1016/j.actao.2009.11.008).
- Schaub, A., 2014: UNIVOX Umwelt 2014. gfs-zürich, Markt- & Sozialforschung, Zürich: 38 S.
- Schaub, A., 2015: UNIVOX Umwelt 2015. gfs-zürich, Markt- & Sozialforschung, Zürich: 43 S.
- Schierz, C., 2009: Auswirkungen von Lichtimmissionen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik. Ilmenau: 24 S.
- Schmidt, J. A., 2007: Licht in der Stadt: Leitbilder und Strategien für innovative Lichtkonzepte. Konrad Adenauer Stiftung e. V., Sankt Augustin/Berlin: 43 S.
- Schultze-Römer, N., 2013: Städtisches Nachtleben und nächtliches Stadtlcht – Alles unter Kontrolle? In: DAS ARCHIV 62. Magazin für Post- und Telekommunikationsgeschichte (2013), 3, Frankfurt am Main: 27-35.
- Schweizerische Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E. (Hrsg.) 2014: Strom im Aussenbereich – Eine Auslegeordnung. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Zürich: 26 S.
- Schweizerische Kriminalprävention SKP (Hrsg.) 2014: Riegel vor! 7 Tipps, wie Sie Ihr Heim gegen Einbrecher schützen sollten. SKP, Bern: 20 S.
- Schweizerische Normenvereinigung (SNV) 2013: Normung und Recht – der rechtliche Status von Normen. SNV, Winterthur: 8 S.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.) 2015: Stadtbild Berlin – Lichtkonzept – Handbuch. Berlin: 75 S.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.) 2014: Stadtbild Berlin – Werbekonzept. Berlin: 110 S.
- SLG 202:2016: Richtlinien – Öffentliche Beleuchtung: Strassenbeleuchtung – Ergänzungen zu SNR 13201-1 und SN EN 13201-2 bis -5. Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Olten: 33 S.
- SLG 301:2015: Richtlinien – Beleuchtung von Sportanlagen: Teil 1 – Grundlagen, allgemein. Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Bern: 32 S.
- SLG 302:2015: Richtlinien – Beleuchtung von Sportanlagen: Teil 2 – Beleuchtung von Fussballfeldern und Stadien für Fussball und Leichtathletik. Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Bern: 14 S.
- SLG Schweizer Licht Gesellschaft (Hrsg.) 2015: Licht für die Schweiz: Lichtmarkt Schweiz - Analyse 2014. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Bern: 44 S.
- SLG Schweizer Licht Gesellschaft (Hrsg.) 2016: Ermittlung der vertikalen Beleuchtungsstärke an Fassaden im Nahbereich von optimal geplanten Strassenbeleuchtungen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU, Bern: 11 S.
- SLG Schweizer Licht Gesellschaft (Hrsg.) 2018: Schriftliche Hinweise der Fachgruppe 51 «Strassen und Plätze» vom 25. April 2018, Olten: 7 S.
- SN 586 491:2013 (SIA 491): Vermeidung unnötiger Lichtimmissionen im Aussenraum. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich: 24 S.
- SN EN 12193:2019: Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 41 S.
- SN EN 12464-2:2014: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien. SNV Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur: 32 S.

SN EN 13201-2:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 2: Gütemerkmale. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 22 S.

SN EN 13201-3:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 64 S.

SN EN 13201-4:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 4: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Strassenbeleuchtungsanlagen. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 55 S.

SN EN 13201-5:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 5: Energieeffizienzindikatoren. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 31 S.

SNR 13201-1:2016: Strassenbeleuchtung – Teil 1: Leitfaden zur Auswahl der Beleuchtungsklassen. Schweizerische Normen-Vereinigung (SNV), Winterthur: 22 S.

Sordello, R., 2011: Six propositions pour réduire les nuisances lumineuses sur la biodiversité dans les espaces naturels. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, Service du Patrimoine naturelle n° 22, Paris: 9 S.

Soukup, M., 2012: Wolkenkratzer als Vogeltöter. In: Tages-Anzeiger vom 22. Oktober 2012, S. 3.

Stadt Bern (Hrsg.) 2009: Richtlinien für die Beleuchtung öffentlicher Aussenräume. Beschluss des Gemeinderats der Stadt Bern vom 1. Juli 2009: 5 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2006: Plan Lumière – Das Beleuchtungskonzept für die Stadt Luzern. Luzern: 102 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2008: Reglement über die Kunstlichtanlagen auf Stadtgebiet (Kunstlichtreglement). Beschluss des Grossen Stadtrats von Luzern vom 15. Mai 2008: 4 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2010a: Allgemeinbeleuchtung: Empfehlungen und Richtlinien für die Stadt Luzern. Stadtrat Luzern: 8 S.

Stadt Luzern (Hrsg.) 2010b: Kommerzielles Licht: Empfehlungen und Richtlinien für die Stadt Luzern. Stadtrat Luzern: 6 S.

Stadt Zürich (Hrsg.) 2004: Plan Lumière Zürich – Gesamtkonzept. Zürich: 161 S.

Stadt Zürich (Hrsg.) 2007: Lichtblicke für eine ökologische Stadtbeleuchtung. Amt für Städtebau und Grün Stadt Zürich: 8 S.

Stadtrat Chur (Hrsg.) 2008: Reklamereglement (614, Stand vom 1.1.2012). Stadt Chur: 5 S.

Stiftung Fledermausschutz (Hrsg.) 2015: Effekte künstlicher Beleuchtung auf Fledermäuse und Massnahmen. Merkblatt (Stand: 16. Januar 2015). Zürich: 2 S.

Strahlenschutzkommission (SSK) (Hrsg.) 2006: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission. Bonn: 29 S.

Strassmann, B., 2002: Mörderischer Mond. In: Die Zeit vom 18. Dezember 2002, 52/2002.

Summers, C. G., 1997: Phototactic behavior of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. In: Annals of the Entomological Society of America 90(3): 372-379.

SWILD (Hrsg.) 2011: Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung (Grundlagenbericht, zweite aktualisierte Zusammenstellung), SWILD – Stadtökologie, Wildtierforschung, Kommunikation. Zürich 120 S.

Sydney, A., Gauthreaux, J., Besler, G., 2005: Effects of Artificial Night Lighting on Migrating Birds. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 67-93.

Thews, G., Mutschler, E., Vaupel, P., 1991: Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft; Stuttgart: 689 S.

Tiefbauamt des Kantons Bern (Hrsg.) 2015a: Öffentliche Beleuchtung an Kantonsstrassen – Richtlinie (Ausgabe: 19.06.2015). Bern: 40 S.

Tiefbauamt des Kantons Bern (Hrsg.) 2015b: Licht nach Bedarf: 3-mal sparen mit intelligent gesteuerter LED-Strassenbeleuchtung – Wettbewerbsdossier Prix Excellence. Bern: 10 S.

Topstreetlight.ch (Hrsg.) 2015: Intelligente Systeme – Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. Töpten, Zürich: 4 S.

Touzot, M., Lengagne, T., Secondi, J., Desouhant, E., Théry, M., Dumet, A., Duchamp, C., Mondy, N., 2020: Artificial light at night alters the sexual behaviour and fertilisation success of the common toad- Environ. Pollut., 259, article : 113883.

Tschanz, K., 2015: Beurteilung von Beleuchtungen und Lichtbeschwerden – Einblick in den kommunalen «Vollzugsalltag». Vortrag an der Fachtagung «Licht und Lichtverschmutzung: Mehr Konzepte – weniger Konflikte?» der Organisation Kommunale Infrastruktur OKI vom 24.11.2015. Umwelt- und Gesundheitsschutz, Stadt Zürich.

Ulmann, P. P., 2015: Licht und Beleuchtung. Handbuch und Planungshilfe. DOM publishers, Berlin: 410 S.

Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) 2019: Technische Massnahmen zur Minderung akzeptanzhemmender Faktoren der Windenergienutzung an Land. Dessau-Roßlau: 24 S.

Upham, N. S., and Hafner, J. C., 2013: Do nocturnal rodents in the Great Basin Desert avoid moonlight?, Journal of Mammalogy, Volume 94, Issue 1, Pages 59–72, <https://doi.org/10.1644/12-MAMM-A-076.1>.

Van Doren, B. M., Horton, K. G., Dokter, A. M., Klinck, H., Elbin, S. B., Farnsworth A., 2017: Intense urban lights alter bird migration. Proceedings of the National Academy of Sciences Oct 2017, 114 (42) 11175-11180; DOI: 10.1073/pnas.1708574114.

Vaz, S., Manes, S., Gama-Maia, D., Silveira, L., Mattos, G., Paiva, P. C., Figueiredo, M. and Lorini, M. L., 2021: Light pollution is the fastest growing potential threat to firefly conservation in the Atlantic Forest hotspot, Insect Conservation and Diversity, Volume 14, Issue 2: 211-224.

Vogelwarte, 2021: <https://www.vogelwarte.ch/de/voegel/ratgeber/gefahren-fuer-voegel/stoerung-durch-licht>, Stand vom 08.06.2021.

Vollsnes, AV., Eriksen, AB., Otterholt, E., Kvaal, K., Oxaal, U., Futsaether, CM., 2009: Visible foliar injury and infrared imaging show that daylength affects short-term recovery after ozone stress in *Trifolium subterraneum*. J Exp Bot. Vol.60(13):3677-86. doi: 10.1093/jxb/erp213.

Vowles, A. S., and Kemp, P. S., 2021: Artificial light at night (ALAN) affects the downstream movement behaviour of the critically endangered European eel, *Anguilla Anguilla*. Environmental Pollution-Volume 274, 116585.

WALLS, G. L., 1942: The vertebrate eye and its adaptive radiation. Hafner Publishing, New York, New York, USA.

Wise, S., Buchanan, B., 2005: Influence of Artificial Illumination on the Nocturnal Behaviour and Physiology of Salamanders. In: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Ecological Consequences of artificial Night Lighting. Island Press, London: 221-251.

Wüthrich, F. (2001): Stress für Mensch und Tier. Macht das Licht aus! In: natur&kosmos, 2001(2).

Bildnachweis

Abb. 2, 6, 10, 19, 21, 22, 24

Andréa Savoy, Abt. Lärm und NIS, BAFU

Abb. 1, 4, 9, 11, 13, 16, 23/linkes Bild, 25, 26, 28, 29

BAFU

Abb. 5, 15, 27

METAS

Abb. 12

WSL

Abb. 14, 20

SLG

Abb. 17

Gemeinde Thalwil

Abb. 18

Ville de Lausanne

Abb. 23/rechtes Bild

Energie Wasser Bern