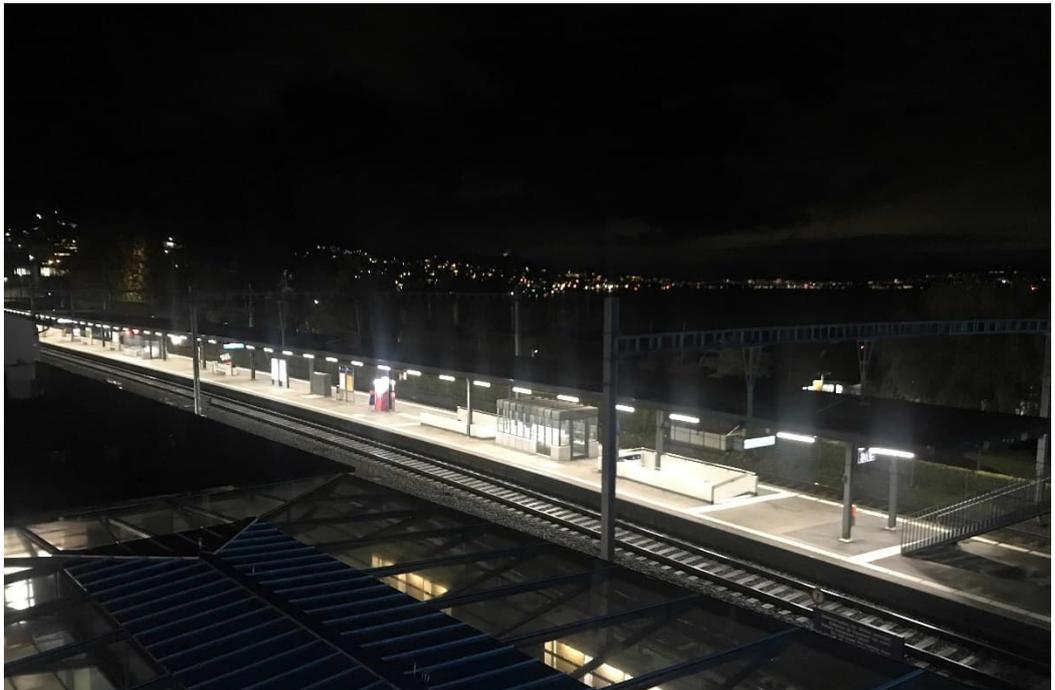


MAS Thesis 2021/22

Lichtemissionen von SBB Bahnhöfen: Bedeutung, Handlungsfelder, Lösungs- ansätze.



Quelle: Eigene Darstellung (Bahnhof Horgen)

Autor:

Dr. Andreas Heller

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Thesearbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Alle Stellen meiner Arbeit, die wörtlich oder sinngemäss aus anderen Werken, einschliesslich Werken aus dem Internet, entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quelle unmissverständlich als Entlehnung gekennzeichnet. Dasselbe gilt sinngemäss für bildliche Darstellungen, Tabellen und Ähnliches.

Ort / Datum Bern, 4. Januar 2022

Unterschrift



Start der MAS Thesis:	24. März 2021
Datum des Fachgesprächs:	24. Februar 2022
Begleitdozent:	Prof. Dr. Christoph Hugi
Experte, Expertin:	Roland Bodenmann (HEFTI. HESS. MARTIGNONI.)
Auftraggeber:	Dr. Andreas Heller
Status der MAS Thesis:	Öffentlich

© FHNW

Fachhochschule Nordwestschweiz

Hochschule für Life Sciences

Hofackerstrasse 30

CH-4132 Muttenz

Danksagung

Für seine grosse Unterstützung danke ich dem Experten vorliegen Arbeit – **Roland Bodenmann** – ganz herzlich. Er hat mit seinem grossen Fachwissen in lichttechnischen Belangen einen wichtigen Beitrag an die vorliegende Arbeit geleistet.

Meinem Begleitdozenten **Prof. Dr. Christoph Hugi** möchte ich an dieser Stelle für seine methodische und koordinierende Unterstützung danken.

Dem ehemaligen technischen Anlagenmanager Beleuchtung – **Tobias Iannaccone** – möchte ich ebenfalls meinen grossen Dank aussprechen. Er hat mich vor allem zu Beginn der Arbeit stets mit transparenten, zielführenden und umfassenden Informationen zum Thema unterstützt. Zudem hat Tobias Iannaccone insbesondere den technischen Teil vor Abgabe der Arbeit geprüft.

Weiter gebührt mein Dank auch **Gerhard Hurni**, technologischer Anlagenmanager Beleuchtung. Ihm verdanke ich zahlreiche Fachdiskussionen sowie wertvolle Inputs in den Schlusszügen vorliegender Arbeit.

Einen wichtigen Beitrag zu vorliegender Masterarbeit hat auch **Stephan Berchtold**, Projektleiter Bahnzugang und Technische Anlagen, geleistet. Er hatte sich bereit erklärt, den gesamten Lebenszyklus von der Planung bis zur Ausführung zu prüfen.

Dem Leiter Umwelt und Nachhaltigkeit von SBB Infrastruktur **Dr. Gunter Adolph** gebührt ein besonderer Dank. Er hat freundlicherweise das Lektorat übernommen.

Abschliessend möchte ich allen Interviewpartnern meinen Dank für die Beantwortung meiner Fragen ausdrücken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	18
1.1	Aufgabenstellung	18
1.2	Scope	18
2	Methodik und Vorgehen	20
3	Grundlagen zum Licht	21
3.1	Was ist Licht?	21
3.2	Wie wird Licht gemessen?	21
3.3	Wie sehen wir?	26
3.4	Warum beleuchten wir?	28
4	Lichtverschmutzung	30
4.1	Was ist Lichtverschmutzung?	30
4.2	Rechtliche Grundlagen und Vorgaben	32
4.2.1	Rechtliche Grundlagen und Vorgaben des Bundes	32
4.2.2	Rechtliche Grundlagen und Vorgaben der Kantone	38
4.2.3	Rechtliche Grundlagen und Vorgaben der Gemeinden	39
4.2.4	Privatrechtliche Normen	40
4.3	Wirkung von Licht auf die Menschen	42
4.3.1	Gesundheit	42
4.3.2	Sicherheit	50
4.4	Wirkung von Licht auf andere Säugetiere (insbes. Fledermäuse)	54
4.5	Wirkung von Licht auf Pflanzen	56
4.6	Wirkung von Licht auf Fische	58
4.7	Wirkung von Licht auf Insekten	59
4.8	Wirkung von Licht auf Amphibien	64

4.9	Wirkung von Licht auf Vögel	65
4.10	Wirkung von Licht auf Lebensräume und Ökosysteme	67
4.11	Wirkung von Licht auf die Nachtlandschaft	70
5	Beleuchtung der SBB Bahnhöfe	72
5.1	Mengengerüst zu Bahnhöfen und deren Lichtemissionen	72
5.2	Vorgaben zur Beleuchtung	75
5.2.1	Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz)	75
5.2.2	Verordnung über Unfallverhütung (VUV)	75
5.2.3	Vorgaben zur Arbeitssicherheit	75
5.2.4	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV)	76
5.2.5	SN EN 12464-2 «Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien»	76
5.2.6	R RTE 26201 Beleuchtung Bahninfrastruktur	77
5.2.7	SIA 500 Hindernisfreie Bauten	80
5.3	Von der Planung bis zur Umsetzung der Beleuchtung	82
5.3.1	Ausschreibung Rahmen- und Standardprodukte	82
5.3.2	Studie	82
5.3.3	Auftragsklärung	83
5.3.4	Vorprojekt	83
5.3.5	Bauprojekt	85
5.3.6	Plangenehmigungsverfahren (PGV)	87
5.3.7	Ausführung und Abnahme	90
5.3.8	Anspruchsgruppen der Bahnhofsbeleuchtung	91
6	Handlungsfelder	93
6.1.1	Relevanz der Lichtemissionen von SBB Bahnhöfen	93
6.1.2	Räumliche Verteilung der Bahnhöfe	95
6.1.3	Lichtplaner	99
6.1.4	Lichtfarbe	100
6.1.5	Beleuchtungsstärke	106
6.1.6	Leuchtdichte	107
6.1.7	Lichtsteuerung	107
6.1.8	Vollzug bzw. Umsetzung der Regelungen	109

6.1.9	Kommerzielle Beleuchtung	109
6.1.10	Ausnahmen	110
6.1.11	Positive Beispiele	111
6.1.12	Beispiele mit Verbesserungspotential	112
7	Lösungsansätze	122
7.1	#1: Lichtkonzept mit Vision, Strategie und Massnahmen erarbeiten	122
7.2	#2: Regelwerk RTE 26201 anpassen	123
7.2.1	Lichtfarbe von 4000 auf ≤ 3000 Kelvin senken	123
7.2.2	Lichtimmissionen reduzieren	124
7.2.3	Beleuchtungsstärke reduzieren	124
7.2.4	Kommerzielle Beleuchtung ab Ladenschluss konsequent ausschalten	126
7.3	#3: Pflichtenhefte Planerleistungen anpassen und mit Licht- und Elektroplanern sowie Architekten zusammenarbeiten, welche sich an der SIA 491 ausrichten	127
7.4	#4: Anforderungen zu Lichtemissionen im Quality-Check zum Pflichtenheft ergänzen	128
7.5	#5: Fragenkatalog zur Erstellung des Umweltberichts um Lichtemissionen ergänzen	129
7.6	#6: PGV Entscheidungshilfe anpassen	130
7.7	#7: Projektleiter sensibilisieren	131
7.8	#8: Berichterstattung BAV Richtung Leistungskennzahlen weiterentwickeln	131
7.9	#9: Screening Bahnhöfe durchführen und basierend darauf Sanierungsplan erstellen	132
7.10	#10: Lichtetikette für Bahnhöfe einführen	133
7.11	#11: SIA 491 Abnahme ein- und durchführen	134
7.12	#12: Bedarfsgerechte Lichtsteuerung intensivieren	135
8	Kurzantworten auf die Aufgabenstellung	136
9	Ausblick	138
	Anhang	140
A.	Prozesslandkarte SBB	140
B.	Bahnhof Aarau: Lichttechnische Berechnung Perron ungedeckt	141

C.	Bahnhof Aarau: Beleuchtungsplan 1:500	142
D.	Bahnhof Aarau: Beleuchtungskonzept	143
E.	Interview BAV vom 4. August 2021	144
F.	Interview BAFU vom 24./26. August 2021	146
G.	Lichttechnische Anforderungen anderer Infrastrukturbetreiber	151
Tabellenverzeichnis		158
Abbildungsverzeichnis		159
Literaturverzeichnis		161

Zusammenfassung

An den über 80'000 Lichtpunkten der SBB Bahnhöfe sterben in jeder Sommernacht schätzungsweise 12–13 Millionen Insekten. Diese Zahl tönt erschreckend, ist aber nur der wohl am besten messbare Effekt der sogenannten Lichtverschmutzung. Darüber hinaus hat die Lichtverschmutzung weitere direkte und indirekte, negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen, auf die meisten Insekten, Vögel, Fische, Pflanzen sowie Ökosysteme. Unter Lichtverschmutzung versteht man das Licht, welches räumlich, zeitlich, bezüglich Intensität oder Lichtfarbe nicht beabsichtigte Auswirkungen auf Menschen, Fauna und Flora sowie Ökosysteme hat.

A) Rechtliche Grundlagen

Lichtverschmutzung ist im Bundesrecht nicht explizit geregelt. Künstlich erzeugtes Licht in der Nacht, das durch Bahnhöfe ausgeht, fällt in den Geltungsbereich des Umweltschutzgesetzes. Für die Beurteilung von Lichteinwirkungen hat der Bundesrat bislang aber keine Immissionsgrenzwerte festgelegt. Der Schutz vor sichtbarem Licht muss mittels Verfügungen sichergestellt werden. In seiner Vollzugshilfe gibt das Bundesamt für Umwelt (BAFU) mit seinem 7-Punkte-Plan Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtemissionen ab (Notwendigkeit, Zeitmanagement, Intensität, Lichtfarbe, Platzierung der Leuchten, Ausrichtung, Abschirmungen). Das Eisenbahnrecht gibt vor, dass die Anlagen nach den Anforderungen des Umweltschutzes zu erstellen, zu betreiben, zu unterhalten und zu erneuern sind. Hierunter kann das Thema Lichtverschmutzung subsumiert werden. In der Leistungsvereinbarung zwischen Bund und Infrastrukturbetreiberinnen existiert ein Passus zu Optimierung der Anlagenbeleuchtung mit dem Ziel einer minimalen Störung von Menschen und Natur sowie zur Förderung der Nachtdunkelheit. Seit 2013 gibt es die Norm SIA 491 «Vermeidung unnötiger Lichtimmissionen im Aussenraum».

B) Wirkung von Licht

Wirkung auf Gesundheit der Menschen. Licht ist der stärkste Faktor bei der Synchronisation durch die im Gehirn lokalisierte «innere Uhr» mit der Umwelt. Da die Hirnfunktion keinen genauen 24-Stunden-Rhythmus aufweist, muss sie täglich neu justiert werden. Dies geschieht mit Hilfe des blauen Lichtanteils. Blaues Licht, das im Tageslicht ausgeprägt vorkommt, wirkt am Morgen und während des Tages anregend auf den Organismus. Am Abend oder in der Nacht kann dessen Wirkung unerwünschte Folgen haben, da es trotz der Nachtphase dem Körper die Information für die Tagesphase vorgibt. Das Merkmal der *nicht*visuellen Wirkung von Licht ist, dass elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich des Sichtbaren im Verdacht steht, humanmedizinisch relevant zu sein. Unter akuten, nichtvisuellen Lichtwirkungen wird die Unterdrückung der Produktion des Hormons Melatonin verstanden. Durch eine Störung über einen längeren Zeitraum sind negative Folgen für Schlaf, Leistungsfähigkeit und Gesundheit möglich. Künstliches Licht am Abend sowie nachts kann zu

Konzentrations- und Aufmerksamkeitsdefiziten sowie zu einem erhöhten Unfallrisiko, psychischen Belastungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes und Übergewicht führen. Es gibt fünf Faktoren, die die nichtvisuelle Wirkung von Licht beeinflussen und die Auswirkungen auf die Produktion von Melatonin haben: Lichtintensität, Lichtspektrum, Zeitpunkt und Dauer der Lichtexposition, Lichthistorie. LED mit Lichtfarbe von 3'000 Kelvin weisen tiefere melanopische Wirkungsfaktoren auf als solche mit 4'000 Kelvin.

Wirkung auf Sicherheit der Menschen. Bei der Sicherheit ist zwischen objektiver Sicherheit (Delikte wie Raubüberfälle) und dem subjektiven Sicherheitsempfinden zu unterscheiden. Für das subjektive Sicherheitsempfinden sind neben der funktionellen und einer eher ästhetischen Beleuchtung auch andere Faktoren wie soziale Kontrolle und Orientierungsmöglichkeiten massgebend. Licht kann seine Sicherheitsfunktion erst dann erfüllen, wenn soziale Kontrolle möglich ist. Eine schlechte Beleuchtung kann gefährlicher sein als keine Beleuchtung. Zudem erleichtert eine gleichmässige Beleuchtung die Erkennbarkeit und Orientierung, indem Blendungen vermieden werden. Warmweisses Licht wird von vielen Menschen als angenehmer empfunden als neutral- oder kaltweisses Licht. Dort, wo man sich wohl fühlt, fühlt man sich auch sicher.

Wirkung auf Pflanzen. Der Stoffwechsel und die Entwicklung der Pflanzen ist stark durch den Tag-Nacht-Wechsel bedingt. Zur Wahrnehmung von Licht verwenden Pflanzen unterschiedliche Photorezeptoren und steuern dadurch Prozesse der «inneren Uhr». Die Rezeptoren regeln u.a. Samenkeimung, Wachstum, Photosynthese, Fruchtentwicklung und Alterung. Die Rezeptoren sind besonders empfindlich für niedrige und hohe Wellenlängen. Da Pflanzen auch von Schmetterlingen bestäubt werden und diese von der Lichtverschmutzung betroffen sind, können Pflanzen auch indirekt durch die Lichtverschmutzung betroffen sein.

Wirkung auf Fische. Lichtquellen, die sich an den Ufern von Flüssen, Seen oder auf/unter Brücken befinden, können die Ökosysteme und ihre Arten stark stören. Künstliches Licht kann Auswirkungen auf das Wachstum, die Reproduktion und das Verhalten haben.

Wirkung auf Insekten. Abend- und nachtaktive Insekten orientieren sich im Flug an den UV-Strahlen der Abendsonne sowie am Mondlicht und fliegen daher oft bis zur völligen Erschöpfung künstliche Lichtquellen an, da sie nicht in der Lage sind, diese von den natürlichen Lichtquellen zu unterscheiden. Die meisten Insekten sind positiv phototaktisch, so zum Beispiel Nachtfalter, Käfer, Mücken, Fliegen, Wespen oder Grillen. Wenn sich Insekten einem Lichtpunkt nähern, kreisen sie um das Licht, bis sie erschöpft sind, anstatt Nahrung zu suchen oder sich zu paaren. Zudem können Insekten auf ihrer Flugbahn durch die Lichtschranke blockiert und damit ihr Lebensraum «zerschnitten». Und: Insekten, die in der Regel keinen Ortswechsel vornehmen, werden von ihrem Habitat in Richtung der Lichtquellen weggelockt. Kurzwelliges Licht gilt auf Grund des Sehmaximums bei ca. 380-400 Nanometer für Schmetterlinge, aber auch viele andere Insektengruppen als besonders gefährlich.

Wirkung auf Amphibien. Froschlurche reagieren besonders empfindlich auf künstliches Licht, weil sie a) vorwiegend nachtaktiv sind; b) mit einer aquatischen und terrestrischen Phase unterschiedliche Lebensraumtypen beanspruchen; c) wegen ihrer starken Abhängigkeit von einer Feuchtigkeitsquelle weniger mobil sind als andere Arten; d) Beute und Räuber anderer nachtaktiver Tiere sind, die ebenfalls von Licht beeinflusst werden. Lichtverschmutzung kann die Fortpflanzung von Amphibien stören.

Wirkung auf Vögel. Bei Vögeln wurde ein negativer Einfluss von Lichtverschmutzung auf die Raumorientierung, das Futtersuchverhalten und Raubtier-Beute-Interaktionen beobachtet. Ein grosser Teil der Zugvögel ist im Frühling und im Herbst in der Nacht unterwegs ist. Dabei orientieren sie sich auf ihrem Weg auch an den Sternen. Durch künstliches Licht wird diese Orientierung beeinträchtigt. Wenn Vögel in die Lichtglocken von Städten, Agglomerationen und Gebäuden geraten, fliegen sie stundenlang im Kreis herum. Auf diese Weise gehen Energiereserven für den langen, anstrengenden Flug verloren. Durch die künstliche Aufhellung beginnen bspw. Rotkehlchen oder Meisen früher am Morgen zu singen. Diese Verschiebung wirkt sich auf die Reproduktion der Vögel aus.

Wirkung auf Ökosysteme und Nachtlandschaft. Die Fragmentierung und Isolation der Lebensräume sind Hauptursachen für den Rückgang der Biodiversität. Beleuchtete Verkehrswege bilden in der Nacht Barrieren. Die Lebensräume sind untereinander nicht mehr vernetzt und verarmen. 80% der Weltbevölkerung lebt in lichtverschmutzten Regionen. Grosse, natürlich dunkle Gebiete werden immer seltener. Das Kulturgut der Sternenbeobachtung ist nur noch an wenigen Orten in Europa erlebbar.

C) Beleuchtung der SBB Bahnhöfe

Die SBB verfügt an ihren 754 Bahnhöfen über ca. 83'000 so genannte Lichtpunkte. Würde man alle Bahnhöfe aneinanderreihen, wären ca. 170 km beleuchtet. Die SBB setzt an ihren Bahnhöfen zu mehr als 50% alte Leuchtstofflampen ein. Mehr als jedes vierte Leuchtmittel ist mit LED ausgestattet, 10% mit Halogen-Metall dampflampen. Die Leuchtmittel haben eine Lichtfarbe von 4'000 Kelvin und einen Farbwiedergabeindex von 70–80.

Vorgaben zur Beleuchtung. Die RTE 26201 des Verbands öffentlicher Verkehr gibt Empfehlungen für Beleuchtungsanlagen der Schweizer Bahnen ab, beispielweise zu Themen wie Blendung, Beleuchtungszeiten, Lichtfarbe, Farbwiedergabeindex, Beleuchtung im Kontext des Behindertengleichstellungsgesetzes und des Umweltschutzes. Da sich am Bahnhof neben Kunden auch Mitarbeitende der SBB bewegen, müssen auch die Anforderungen der Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS) erfüllt werden, z.B. ein blendfrei beleuchteter Arbeitsbereich. Nach den Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung muss mit der Beleuchtung ein guter Kontrast im Bereich der Perronkanten und Treppen erreicht werden. Die Beleuchtung darf Reisende und Triebfahrzeugführende nicht blenden. Für die Anforderungen an die behindertengerechte Gestaltung von Bauten und Anlagen ist die Norm SIA 500 Hindernisfreie Bauten massgebend.

Von der Planung bis zur Umsetzung der Beleuchtung. Zuvorderst im Prozess werden vom Besteller Standardprodukte öffentlich ausgeschrieben; sie müssen eine Reihe von Vorgaben erfüllen (z.B. zur Lichtfarbe). Im «Vorprojekt» wird die Projektierungsanweisung (PA) des Bestellers ausgewertet. Der Ersteller beschafft die Elektro-/Lichtplaner. Auf Basis der PA nimmt der Elektroplaner die Planung vor. Er macht einen Vorschlag, der anschliessend zu einem Beleuchtungsunternehmen geht. Bei grösseren Projekten wird auch eine Lichtplanung durchgeführt. Die PA macht bspw. Vorgaben zur Beleuchtungsstärke oder Gleichmässigkeit, Anordnung der Leuchten oder Beleuchtungsprinzipien. Bei einer Erneuerung oder dem Neubau einer Beleuchtungsanlage muss ein Plan-genehmigungsverfahren (PGV) durchgeführt werden. Im «Bauprojekt» wird ein konkreter Beleuchtungsplan erstellt. In diesem ist bspw. ersichtlich, wo es neue Leuchten gibt. Vom Elektroplaner werden lichttechnische Berechnungen durchgeführt. Mit dem Beleuchtungskonzept werden zum einen Grundsätze und Vorgaben zur Farbtemperatur, Blendbegrenzung etc. aufgezeigt. Zum anderen werden Beleuchtungszonen und -stärken dargelegt. Das Bauprojekt wird mit einem technischen Bericht abgeschlossen. Dieser enthält u.a. das Beleuchtungskonzept und den Umweltbericht. Im Bauprojekt werden schliesslich Offerten für die Beleuchtungslieferung eingeholt. Vom Ersteller wird geprüft, ob ein PGV nötig ist. In der Ausführungsphase werden die Leuchten installiert und die Beleuchtungsstärke eingeppegelt. Am Schluss erfolgt eine Beleuchtungsmessung.

Im Rahmen des eisenbahnrechtlichen PGV prüft das BAFU die allfällige Störung und Belästigung durch Licht. Seit 2021 gibt es eine neue Checkliste Umwelt, welche sechs Checkpunkte bezüglich Notwendigkeit, Schutzgütern in der Nähe der Lichtquelle, technisch und wirtschaftlich möglichen Begrenzung von Lichtemissionen, Geltungszeit und Optimierung der Beleuchtung hinsichtlich Zwecks und Umgebung beinhaltet. Als Standardmassnahmen werden aufgeführt: 1. Beleuchtung erfüllt die BAFU Vorgaben «Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen» und der SIA-Norm «Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum». 2. Beleuchtung von Perrons, Parkplätzen etc. hält Vorgaben der SN EN 12464-2 ein. 3. Beleuchtung wird zwischen 22 Uhr bis Betriebschluss und von Betriebsbeginn bis 6 Uhr auf das notwendige Mass reduziert. Ausserhalb der Betriebszeiten wird die Beleuchtung ausgeschaltet. 4. Empfehlungen der Vogelwarte Sempach berücksichtigen (warmweisse LED).

D) Handlungsfelder

Das BAFU gibt in seinen Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen eine Relevanzmatrix mit zwei Kriterien vor: Ausmass der Lichtemissionen und Sensitivität der Umgebung. Unter die Kategorie «Grosse Lichtemissionen» werden die SBB Bahnhöfe subsumiert (Relevanzindex: 2 von maximal 2). Die Auswirkungen von Beleuchtungen sind aber auch von der Umgebung abhängig (ganz dunkel mit Relevanzindex 0 bis ganz hell mit Relevanzindex 2). Beleuchtete Bahnhöfe an/ausserhalb von Siedlungsgebieten fallen besonders ins Gewicht, da dort die Umgebungshelligkeit niedriger ist und die Lebensräume von lichtsensiblen Tieren und Pflanzen besonders

betroffen sein können. Doch auch im Siedlungsgebiet können lichtsensible Tierarten betroffen sein (z. B. Fledermäuse, Zugvögel oder Insekten). Die meisten SBB Bahnhöfe dürften bezüglich Sensitivität der Umgebung einen Index von 1 aufweisen. In der Summe weisen viele Bahnhöfe wohl einen Relevanzindex von 3 und damit einen hohen Handlungsbedarf auf.

Licht- und Elektroplaner sowie Architekten. Es ist wichtig, dass bereits bei der Ausschreibung der Lichtplaner der Aspekt Lichtverschmutzung berücksichtigt wird. Fachplaner oder Bauherren interessieren sich zu wenig für das Thema Lichtemissionen und der Stand der Technik – die SIA 491 – wird nur spärlich umgesetzt. Zurzeit arbeitet die SBB mit Licht-/Elektroplanern sowie Architekten zusammen, die sich nicht an der SIA 491 ausrichten.

Lichtfarbe. Wichtig bezüglich Sicherheit sind eine gute Farbwiedergabe, Entblendung oder Gleichmässigkeit. Trotzdem gilt in der RTE 26201 mit Hinweis auf die Sicherheit eine Empfehlung bezüglich Lichtfarbe von 4'000 Kelvin (neutralweiss). Die Beleuchtung mit neutralweissem gegenüber warmweissem (< 3'300 Kelvin) Licht hat aber keinen Nutzen, da schon bei wenigen Lux – die Bahnhöfe werden mit deutlich höheren Beleuchtungsstärken beleuchtet – das Tag- und nicht das Nachtsehen zum Tragen kommt. Auch trifft es nicht zu, dass man im Vergleich zu warmweissem Licht an Bahnhöfen mit neutralweissem Licht aufmerksamere Kunden hat. Um eine aktivierende Wirkung von Licht zu erzeugen, müsste man während 20 Minuten einer Beleuchtungsstärke von einigen tausend Lux ausgesetzt sein. Die SBB beleuchtet ihre Bahnhöfe aber mit weit tieferen Beleuchtungsstärken. Gründe, die für eine Aussenbeleuchtung mit tiefen Farbtemperaturen sprechen:

- Rechtliche Grundlagen und Normen: Aus Sicht Umweltschutzgesetz sollen LED gemäss BAFU mit einer Lichtfarbe von < 2'700 Kelvin eingesetzt werden. Die SIA 491 empfiehlt Licht, das möglichst wenig kurzwelligem Strahlungsanteil hat. Das Bundesamt für Gesundheit empfiehlt, dass an Orten, an denen sich Personen in den Abendstunden während längerer Zeit aufhalten (also z.B. Fachleute Betriebsunterhalt), warmweisse LED mit ca. 3'000 Kelvin eingesetzt werden. Eine PGV-Standardmassnahme der Checkliste Umwelt für Eisenbahnanlagen des BAV setzt auf Empfehlungen der Vogelwarte Sempach mit warmweissen LED.
- Sicherheit: Neutralweisses Licht hat einen höheren Blauanteil als warmweisses Licht. Ein höherer Blauanteil geht mit mehr Blendung einher. Diese vermindert den Sehkombfort, setzt die Sehleistung herab und kann zu Unfällen bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten führen. Zudem wird warmweisses Licht als angenehmer empfunden als kaltweisses Licht. Dort wo man sich wohl fühlt, fühlt man sich sicher. Eine tiefere Lichtfarbe beeinträchtigt die Arbeitssicherheit nicht: Die EKAS macht keine Vorgabe zur Lichtfarbe.
- Lichtverschmutzung: Wärmeres Licht hat weniger Lichtverschmutzung zur Folge, weil langwelliges, rotes Licht weniger streut. Die Anlockwirkung von Insekten ist mit 4'000 Kelvin höher als mit 3'000 Kelvin: Am wenigsten Tierarten nehmen das warme Licht als Orientierungshilfe. Tiere und Pflanzen verhalten sich nach der natürlichen Farbtemperatur des dunklen Himmels, der Sterne und des Mondes, welche einen kühleren

Farbton haben. Wenn Leuchtmittel ersetzt werden, können solche mit $\leq 3'000$ Kelvin dazu beitragen, dass der Nachthimmel weniger aufgehellt wird.

- **Best practice:** Die Schweizerische Südostbahn oder die nordischen Bahnen verwenden ohne Sicherheitsabstriche $3'000$ Kelvin. Gemeinden wie die Stadt Bern geben für die Beleuchtung von öV-Haltestellen max. $3'000$ Kelvin vor.

Beleuchtungsstärke. Eine gleichmässige, blendfreie Beleuchtung ist wichtiger als eine hohe Beleuchtungsstärke. Der Blick auf andere Infrastrukturbetreiber zeigt, dass die SBB teilweise eine höhere Beleuchtungsstärke einsetzt als nötig wäre: Bei nicht überdachten Aussenanlagen gibt die Schweizerische Südostbahn (SOB) bei Perrons von Bahnhöfen mit tiefen Frequenzen 5 Lux weniger vor. Das Wartehaus ordnen die SOB und die Österreichische Bundesbahnen (ÖBB) nicht den Innen- sondern den überdachten Aussenanlagen zu. Deren Vorgabe liegt damit 150 Lux tiefer. Bei nicht überdachten Aussenanlagen sind die Vorgaben der Deutschen Bahn bei Bahnhöfen mit tiefer Frequenz bei Perrons, Gehwegen, Rampen und Bahnhofsplätzen 5 Lux, bei Bahnhofsplätzen 7 Lux tiefer. Die italienische Staatsbahn gibt bei den nicht überdachten Perrons, Gehwegen und Bahnhofsplätzen 5 Lux weniger vor. Bei den überdachten Perrons und den nicht überdachten Treppen hat Finnland tiefere Vorgaben.

Leuchtdichte. Die Beleuchtung von Werbung, Fassaden und Objekten ist nicht betriebsnotwendig und muss daher unter dem Aspekt des Umweltschutzes beurteilt werden. Für selbstleuchtende oder beleuchtete Werbeschilder gelten bspw. in Luxemburg tiefere Leuchtdichten. Noch tiefer sind die Vorgaben der Stadt Bern.

Lichtsteuerung. Bisher setzt die SBB Infrastruktur keine bedarfsgerechte/präsenzabhängige Lichtsteuerung ein. Die Rhätische Bahn (RhB) rüstet seit 2011 ihre Bahnhöfe mit einer solchen Steuerung aus. Die SOB versieht neue LED-Leuchten mit Bewegungsmeldern. Die nordischen Länder evaluieren zurzeit, ob 1 – 2 Minuten nach Zugsausfahrt eine Absenkung um ca. 20 – 50% und eine Anhebung ca. 1 – 2 Minuten vor Zugseinfahrt auf 100% eingeführt werden soll. Aussenanlagen werden bei der ÖBB mit Präsenzmeldern ausgestattet.

Umsetzung. Die Umsetzung der RTE 26201 erfolgt bei wesentlichen Veränderungen der Beleuchtungsanlagen. Dies ist dann der Fall, wenn ein PGV für den Um-/Neubau der Anlage erstellt werden muss. Bestehende Beleuchtungen müssen die Vorgaben nicht erfüllen. Eine eigentliche «Sanierung» – wie in anderen Umweltbereichen (z.B. Altlasten oder Störfall) – ist und wird damit ausgeschlossen. Es besteht die Gefahr, dass viele Beleuchtungen übermässig Lichtemissionen erzeugen, die während Jahren oder Jahrzehnten zumindest bestimmte Taxa stören, Ökosysteme beeinträchtigen und den Nachthimmel aufhellen.

Kommerzielle Beleuchtung. An den SBB Bahnhöfen existieren 234 Kioske und 159 Convenience Läden mit entsprechenden Lichtemissionen. SBB Immobilien betreibt im Aussenraum ca. 30 digitale Werbeträger mit entsprechenden Lichtemissionen. Es ist davon auszugehen, dass die digitalen die analogen Werbeträger vermehrt ersetzen. Gemäss Bundesgerichtsentscheid (BGE) zur Bahnhofsbeleuchtung Oberrieden muss die für die Sicherheit

nicht erforderliche Beleuchtung zwischen 22 und 6 Uhr abgestellt werden. Auch 7 Jahre nach dem BGE brennt die Beleuchtung von vielen Convenience Läden nach Ladenschluss weiter.

E) Lösungsansätze

Lichtkonzept mit Vision, Strategie und Massnahmen erarbeiten. Vision: Die SBB gestaltet ihre Bahnhofsbeleuchtung bis 2040 so, dass die Lichtverschmutzung gegenüber 2020 deutlich reduziert und die Aufenthaltsqualität ihrer Kunden erhöht wird, ohne dabei die Sicherheit zu tangieren. Strategie: Mit einer Ist-Analyse (z.B. mittels Bahnhof-Screening), ambitionierten und quantifizierten Zielen, unter Einbezug der wichtigsten Stakeholder, einem Meilensteinplan und Monitoring sowie begleitenden Massnahmen wie Sensibilisierung sowie Schulungen. Ziele: z.B. Bis 2040 beleuchtet die SBB 50% aller Bahnhöfe mit warmweissem Licht. Massnahmen: z.B. Die SBB arbeitet mit Licht-/Elektroplanern und Architekten zusammen, welche die SIA 491 einhalten.

Empfehlungen der RTE 26201 anpassen.

- Lichtfarbe von 4000 Kelvin auf ≤ 3000 Kelvin senken. Im Bahnumfeld, insbesondere im Aussenraum von Publikumsanlagen, wird als Standard eine Lichtfarbe von $\leq 3'000$ empfohlen.
- Lichtimmissionen reduzieren. Neben der Leuchtdichte für betriebsnotwendige Schilder soll eine zusätzliche Kategorie für Werbeschilder eingeführt werden. Diese sollen je nach Umweltzone eine Leuchtdichte von 0 bis maximal 300 cd/m^2 aufweisen.
- Beleuchtungsstärke reduzieren. Die Vorgabe für das Wartehaus soll von 200 auf 50 Lux abgesenkt werden. Die Beleuchtungsstärken von Perrons, Rampen und Bahnhofsplätzen bei Bahnhöfen mit tiefer Frequenz sollen um jeweils 5 Lux gesenkt werden. Die Vorgaben bei den Treppen sollen um 30 bzw. 50 Lux, bei den Rampen im oberen Bereich um 30 Lux gesenkt werden. Die Reduktion der Beleuchtungsstärke muss mit Verbänden, die sich für Menschen mit Beeinträchtigungen einsetzen, vernehmlasst werden.
- Kommerzielle Beleuchtung ab Ladenschluss ausschalten. Kioske/Convenience Läden sollen seitens SBB Immobilien auf die geltende Regelung gemäss RTE 26201 hingewiesen werden. In den Mietverträgen wird der Zusatz eingefügt, dass nicht funktional notwendige Beleuchtung nach 22 Uhr abzuschalten ist.

Pflichtenhefte anpassen und mit Licht-/Elektroplanern zusammenarbeiten, welche sich an der SIA 491 ausrichten. Die Empfehlung lautet, dass die SBB mit Licht-/Elektroplanern sowie Architekten zusammenarbeiten sollte, welche sich an der SIA 491 ausrichten. Das Pflichtenheft der Planerleistungen soll mit dem Kriterium ergänzt werden, wonach die Beleuchtung nach SIA 491 geplant und erstellt werden muss.

Projektleitende sensibilisieren. Bei kleineren Beleuchtungsprojekten kommt der Sensibilisierung eine wichtige Rolle zu. Der Eigentümer von Beleuchtungen soll auf der Grundlage guter Kenntnisse von sich aus Massnahmen zur Begrenzung von Emissionen treffen. Der Besteller und Umweltfachdienst sollen Projektleitende wie folgt

sensibilisieren: Die Lichtverschmutzung muss unabhängig von der PGV-Pflicht im Sinne von Art. 11 des Umweltschutzgesetzes berücksichtigt werden. Projektleitende werden darauf aufmerksam gemacht, dass die SIA 491 Stand der Technik ist und angewendet werden muss. Im Zweifelsfall soll eine Zweitmeinung eingeholt werden.

Berichterstattung BAV Richtung Leistungskennzahlen weiterentwickeln. Es ist begrüßenswert, dass der Bund in der Leistungsvereinbarung 2021–2024 die Optimierung der Anlagebeleuchtung mit dem Ziel einer minimalen Störung von Menschen und Natur sowie zur Förderung der Nachtdunkelheit vorgibt. Im Reporting dazu fehlen aber Leistungskennzahlen (KPI), mit denen der Fortschritt gemessen werden kann. Entsprechend soll das BAV in Zusammenarbeit mit dem BAFU und der VöV Arbeitsgruppe Natur für die nächste Leistungsvereinbarung 2025–2028 KPI einführen (z.B.: %-Anteil der mit warmweissem Licht ausgestatteten Bahnhöfe).

Bahnhof-Screening durchführen und Sanierungsplan erstellen. Viele Bahnhöfe liegen in oder in der Nähe von Naturschutzflächen nach Bundesrecht, von Gewässern oder Migrationskorridoren von Vögeln. Bezüglich Lichtemissionen sind diese besonders sensibel. Heute ist aber unbekannt, welche Bahnhöfe genau betroffen sind. Entsprechend sollen für alle SBB Bahnhöfe ein Screening durchgeführt und ein Sanierungsplan erarbeitet werden.

Bedarfsgerechte Lichtsteuerung intensivieren. Ziel der SBB ist es, den Energieverbrauch, die Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie die Lichtemissionen nachhaltig zu reduzieren. Die Lösung dazu lautet: «Smart Light» bzw. bedarfsgerechte Beleuchtung (Beleuchtung zur nötigen Zeit am richtigen Ort). Dazu sollte sie in einem ersten Schritt die 11 sehr kleinen Bahnhöfe und in einem zweiten Schritt die 367 kleinen SBB Bahnhöfe fokussieren.

F) Ausblick

Die SBB ist eines der grössten «Beleuchtungsunternehmen». Ihr kommt entsprechend eine grosse Verantwortung hinsichtlich Begrenzung der Lichtverschmutzung zu. Insbesondere in den Bereichen der Lichtfarbe, Beleuchtungsstärke, kommerziellen und bedarfsgerechten Beleuchtung gibt es noch Potential nach oben. Hier gilt es mit den wichtigsten Anspruchsgruppen (u.a. Umweltschutzverbände, Behindertenorganisationen, Kunden) im Rahmen von Runden Tischen oder Lichtspaziergängen gemeinsame Lösungen zu suchen. Dabei sind Kompromisse gefordert und möglich. Beispiel: Eine Lichtfarbe von 3'000 Kelvin ist ein guter Mittelweg zwischen Umweltschutz, Energieeffizienz und der Gesundheit/dem Wohlfühlen sowie ohne Auswirkungen auf die Sicherheit. Lichtspaziergänge, vermehrte Begehungen vor Ort sowie Lichtmessungen könnten auch bei der zu optimierenden Umsetzung bzw. Vollzug der RTE 26201 einen wichtigen Beitrag leisten.

Die zunehmende Digitalisierung bietet die Chance, dass Licht nach Bedarf angeboten wird. Die enormen Fortschritte bezüglich Energieeffizienz von neuen Leuchten begünstigen aber auch den Ausbau von Beleuchtungen. Dieser sogenannte Rebound Effekt steht dem positiven Effekt von «smartem» Licht teilweise entgegen. Wichtig ist also, dass mit verbesserter Lichtausbeute und Licht nach Bedarf nicht immer mehr beleuchtet wird. Eine gesteigerte Ökoeffizienz sollte auch mit einer höheren Suffizienz einhergehen.

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Basierend auf einer Situationsanalyse werden mögliche Zielvorgaben, Handlungsbedarf und Lösungsansätze zum Thema Lichtemissionen bzw. Lichtverschmutzung an und von Bahnhöfen erarbeitet. Insbesondere sollen dabei folgende Aspekte behandelt werden:

- a) Welche **Bedeutung** haben Lichtemissionen von Bahnhöfen, wieviel Licht welcher Art wird durch die 754 SBB Bahnhöfe emittiert?
- b) Was sind **Parameter** eines gut bzw. schlecht ausgeleuchteten Bahnhofs? Gibt es Vorzeigebispiele betreffend Beleuchtungszeit und -stärke sowie -art? Gibt es objektive Kriterien?
- c) Wie erfolgt ein konkreter **Projekttablauf** von der Lichtplanung bis zur Umsetzung? Wo sind die touchpoints für das Thema Lichtemissionen aus Umwelt- und Sicherheitssicht?
- d) Welche «**Normen und Standards**» gibt es z.B. im Regelwerk Technik Eisenbahn oder beim Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein zum Thema?
- e) Hat die SBB eine «**Lichtstrategie**»? Wie wird zwischen der «umweltzentrischen und -ethischen» Sicht (wieviel Licht ertragen nachtaktive Flora und Fauna als Maximalwert) und der anthropozentrischen Sicht (wieviel Licht benötigen Menschen als Minimalwert) abgewogen? Was sind technisch-betriebliche und wirtschaftliche Anforderungen, was die Anforderungen aus Arbeits- sowie Kund*innen Sicherheit?
- f) Welcher **Handlungsbedarf** kann auf welcher Ebene identifiziert werden?
- g) **Lösungsansätze**: Wie schafft man den Spagat zwischen einer Vorzeige Strategie und der Umsetzung? Welche Rolle spielt dabei ein «gutes» Regulativ? Welche Grundsätze der SBB sollten basierend auf den Erkenntnissen neu überdacht oder geändert werden?

1.2 Scope

Die Anlagen der Eisenbahninfrastruktur sind in Anlagengattungen, Hauptanlagen und Anlagentypen und weitere unterteilt. Zur Anlagengattung «Publikumsanlage» – welche vereinfacht gesprochen dem «Bahnhof¹» entspricht – gehören Perrons und Zugänge, Fahrzeugabstell- und Lagerplätze, öffentliche Aufenthaltsbereiche,

¹ Der Bahnhof ist die gesamte Anlage innerhalb der Einfahrsignale (bzw. innerhalb der Einfahrweichen) zur Regelung des Zugverkehrs und der Rangierbewegungen, meistens mit Publikumsverkehr. (BAV, 2020a)

Güterverkehrszugänge sowie die übrigen Publikumsanlagen. Zum Hauptanlagentyp Perrons und Zugänge gehören: Perronkörper, Perrondach, Perronwartehalle, Perronausrüstung, Perronunterführung, Perronüberführung, Zugangstreppe, Zugangsrampe etc. Vgl. (VöV, 2018)

Zum Untersuchungsgegenstand vorliegender Arbeit gehören im Wesentlichen die Publikumsanlagen der 754 Bahnhöfe und Haltestellen² von SBB Infrastruktur (ohne Sensetalbahn mit 3 Bahnhöfen und Zentralbahn mit 32 Bahnhöfen). Vorliegende Arbeit fokussiert primär auf Anlagen, welche in der Verantwortung von SBB Infrastruktur liegen (vgl. grüne Elemente in Abbildung 1). Teilweise werden aber auch Anlagen von SBB Immobilien (vgl. rote Elemente in Abbildung 1, z.B. Park&Ride oder Aufnahmegebäude) oder von Dritten (vgl. hellblaue und lila Elemente in Abbildung 1, z.B. Verlängerungen von Perronunterführungen für Gemeinden/Städte) betrachtet.

Abbildung 1: Verantwortlichkeiten am Musterbahnhof SBB



Quelle: (SBB, o. J. a)

Gegenstand der Betrachtungen ist die Aussenbeleuchtung der Publikumsanlagen von SBB Infrastruktur, nicht aber die Innenbeleuchtung von Aufnahmegebäuden (z.B. Wartehalle), obwohl auch diese Licht in den Aussenraum emittieren. Out of scope sind auch die Beleuchtung von Baustellen von SBB Infrastruktur sowie die Gleisfeldbeleuchtung bei Rangierarbeiten des Güterverkehrs. Ebenfalls nicht betrachtet wird die Innen- und Aussenbeleuchtung von Zügen des SBB Personen- und Güterverkehrs.

² Anlage mit Publikumsverkehr auf der Strecke (BAV, 2020a)

2 Methodik und Vorgehen

Die Grundlagen zum Licht (vgl. Kapitel 3) wurden mit Hilfe der einschlägigen Normen erarbeitet. Ausmass, Bedeutung und Wirkung der Lichtemissionen (vgl. Kapitel 4) wurden auf Basis einer Literatur Recherche erörtert. Dabei wurden der Mensch, Fauna und Flora sowie auch die Ökosysteme gleichermaßen betrachtet.

Als Ausgangslage für die Betrachtungen zur Beleuchtung der SBB Bahnhöfe (vgl. Kapitel 5) hat sich der Autor vorliegender Arbeit mit dem Regelwerk der SBB bzw. des Verbands öffentlicher Verkehr auseinandergesetzt. Auf dieser Basis wurden dem Besteller der Beleuchtung (dem technischen Anlagenmanagement der SBB) und dem Ersteller (den Projektleitern Bahnzugang und Technische Anlagen der SBB) spezifische Fragen zu den Vorgaben und Mengengerüst der Beleuchtung sowie zum Lebenszyklus von der Planung bis Ausführung gestellt. Ein Vergleich der Regelwerke und Beleuchtungsvorgaben fand mit den nordischen, der deutschen, österreichischen und italienischen Infrastrukturbetreiberinnen sowie mit der Rhätischen Bahn und Südostbahn statt. Es fanden einzelne Begehungen vor Ort statt (z.B. Bahnhöfe Bern, Thalwil, Oberrieden See, Horgen).

Abgetieft und ergänzt wurden die Betrachtungen zum Lebenszyklus im Rahmen von telefonischen Interviews mit dem BAV und BAFU. Dabei standen der Ablauf eines Plangenehmigungsverfahrens sowie allgemein die Bedeutung des Themas Lichtemissionen einerseits als Besteller der Infrastruktur und andererseits als oberste Behörde für den Umweltschutz im Zentrum (vgl. Anhänge E und F). Mündliche Diskussionen sowie schriftlicher Austausch wurden zudem auch mit weiteren Anspruchsgruppen von Beleuchtung geführt: Mit dem Arbeits- und Gesundheitsschutz der SBB (Konzern), den Sicherheits- und Umweltaustragen von Personenverkehr, Infrastruktur und Konzern, einem Umwelt-Projektleiter von Immobilien sowie einem Lokführer des Personenverkehrs. Schliesslich hat der Autor an der Tagung der Vereinigung für Umweltrecht zum Thema «Lichtemissionen – Rechtliche Instrumente zur Verhinderung von unerwünschtem Licht in der Umwelt» vom 5. November 2021 teilgenommen.

Basierend auf der Ist Analyse wurden Handlungsfelder und Lösungsansätze über den gesamten Lebenszyklus identifiziert und diskutiert, vgl. Kapitel 6 und 7.

3 Grundlagen zum Licht

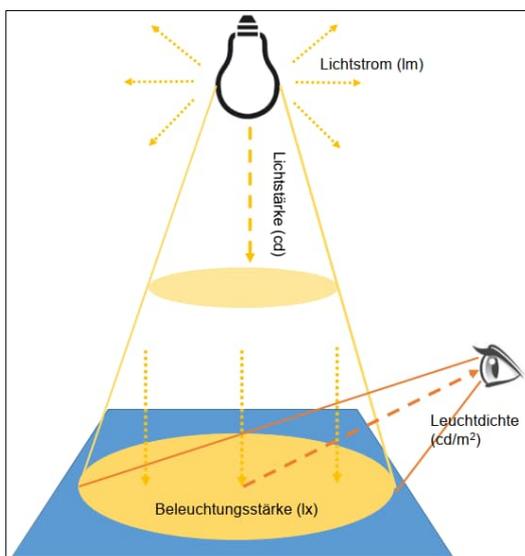
3.1 Was ist Licht?

Licht ist eine Welle, die in kleinen Stössen (Quanten) ausgesandt wird. Anders ausgedrückt: Licht ist der sichtbare Teil der elektromagnetischen Strahlung, die aus schwingenden Energiequanten besteht. Licht kann also sowohl als Welle als auch Teilchen verstanden werden. (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, o. J. a) und (Bundesamt für Strahlenschutz, 2021)

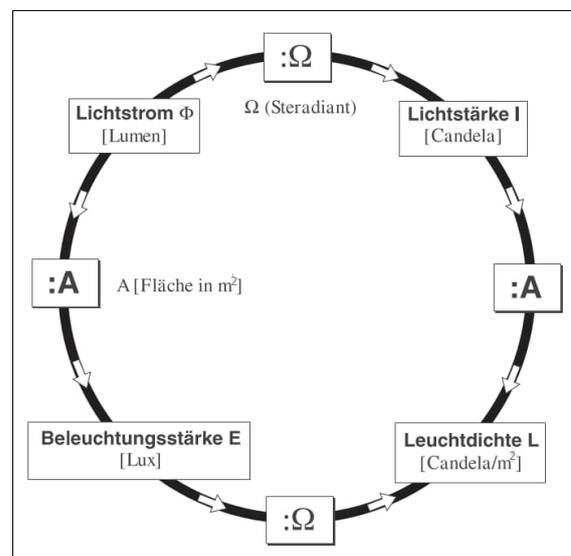
3.2 Wie wird Licht gemessen?

Licht kann in vielen Dimensionen gemessen werden, vgl. Abbildung 2. Grundsätzlich ist zwischen dem Ort der Entstehung des Lichtes (der Emission) und jenem des Einwirkens (der Immission) zu unterscheiden. Für beide existieren unterschiedliche Messgrössen.

Abbildung 2: Lichttechnische Grössen und deren Beziehungen



Quelle: (BAFU, 2021)



Quelle: (seco, 2016)

Lichtstrom Φ [Lumen]: «Grösse, die aus der Strahlungsleistung Φ_e durch die Bewertung der Strahlung gemäss ihrer Wirkung auf den photometrischen Normalbeobachter CIE erhalten wird» (DIN, 2011). Die Lichtleistung oder der Lichtstrom ist die Gesamtmenge an Licht, die von einer Quelle in alle möglichen Richtungen im Raum zu einer bestimmten Zeit ausgestrahlt und vom menschlichen Auge im photopischen Sehen – d.h. im Tageslichtsehen – empfangen wird (MEB/ANPCEN, 2015). Eine klassische Glühlampe mit 25 Watt Leistungsaufnahme liefert einen

Lichtstrom von 220 Lumen. Den gleichen Lichtstrom erreicht z. B. eine LED-Lampe bereits mit 2 Watt Leistungsaufnahme (Stand 2017). (Kuechly et al, 2018)

Lichtstärke I [Candela = Lumen/Steradian³]: «Quotient aus dem Lichtstrom $d\Phi$, der von einer Strahlungsquelle in ein Raumwinkelement $d\Omega$ ausgesandt wird, das die gegebene Richtung enthält, und dem Raumwinkelement» (DIN, 2011). Die Lichtstärke gibt die Stärke des Lichtstromes an, den eine Lichtquelle in eine bestimmte Richtung ausstrahlt, gewichtet mit der spektralen Empfindlichkeit des Auges. Die Verteilung der Lichtstärke im Raum wird grafisch in Form von Lichtstärke-Verteilungskurven (LVK) dargestellt. (BAFU, 2021) Das von einer Kerze ausgestrahlte Licht entspricht im Durchschnitt 1 Candela (lat. Kerze) (MEB/ANPCEN, 2015).

Beleuchtungsstärke E [Lux = Lumen/m²]: «Quotient des Lichtstroms $d\Phi$, der auf ein den Punkt enthaltendes Element der Oberfläche auftrifft, und der Fläche dA dieses Elements» (DIN, 2011). Die Beleuchtungsstärke misst den Lichtstrom, der auf die Fläche von 1 m² auftrifft. Sie kann mit einem Luxmeter gemessen werden. Die Beleuchtungsstärke kann bezogen auf eine horizontale E_H (z.B. Fahrbahn oder Perron) oder vertikale Fläche E_v (z.B. Gebäudefassade) bezogen werden. Vgl. (BAFU, 2021) Die natürliche Nacht ohne Mond und mit klarem Himmel hat eine Beleuchtungsstärke von ca. 0.0001 Lux, die Nacht mit Vollmond 0.1–0.2 Lux. Die öffentliche Beleuchtung auf einem Trottoir beträgt 5 Lux. In der Wohnung beträgt die Stärke 100–400 Lux, im Büro 100–1'000 Lux; die Sonne leuchtet mit 100'000 Lux. (MEB/ANPCEN, 2015)

Leuchtdichte L [Lumen/m² · Steradian bzw. Candela/m²]: «Grösse, definiert durch die Gleichung

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cos \vartheta d\Omega}$$

Dabei ist L die Leuchtdichte in einer gegebenen Richtung oder in einem gegebenen Punkt einer Oberfläche; $d\Phi$ der Lichtstrom, der in einem elementaren Bündel durch den gegebenen Punkt geht und sich in dem Raumwinkel $d\Omega$, der die gegebene Richtung enthält, ausbreitet; dA eine Querschnittsfläche dieses Bündels, die den gegebenen Punkt enthält; $d\Omega$ der Raumwinkel; θ der Winkel zwischen der Normalen der Querschnittsfläche und der Richtung des Bündels.» (DIN, 2011) Die Leuchtdichte ist die visuelle Wahrnehmung einer beleuchteten Fläche. (MEB/ANPCEN, 2015) Sie ist das fotometrische Mass für die Helligkeit und massgebend für den vom Auge wahrgenommenen Helligkeitseindruck, den eine leuchtende oder beleuchtete Fläche vermittelt. Die Leuchtdichte kann mit einem Leuchtdichtemessgerät oder einer -kamera gemessen werden. (BAFU, 2021) Die Leuchtdichte liefert detaillierte Information über die Orts- und Richtungsabhängigkeit des von einer Lichtquelle abgegebenen Lichtstroms. Für den Helligkeitseindruck einer Lichtquelle sind neben dem ausgesandten Lichtstrom vor al-

³ Der Steradian ist eine Masseinheit für den Raumwinkel; auf einer Kugel mit 1 m Radius umschließt ein Steradian eine Fläche von 1 m² auf der Kugeloberfläche. (Wikipedia, 2021a)

lem zwei weitere Grössen massgebend: a) die Fläche, von der dieser Lichtstrom ausgeht. Eine kleine Fläche erscheint heller als eine grosse Fläche, die gleich viel Licht abstrahlt, b) der Raumwinkel, in den das Licht abgestrahlt wird. Bei Bündelung in einen kleinen Raumwinkel erscheint die Lichtquelle heller. Der Begriff der Leuchtdichte kombiniert beides und beschreibt auf diese Weise sowohl die Orts- als auch die Richtungsabhängigkeit des abgegebenen Lichtstroms. (Wikizero, 2021)

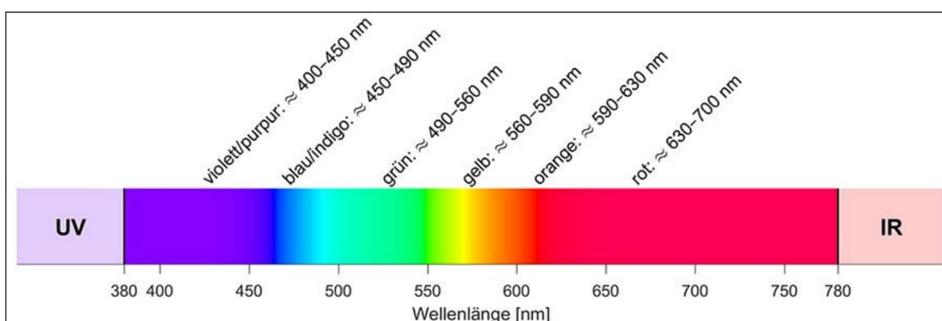
Lichtfarbe und Farbtemperatur [Kelvin]: Lichtfarbe: «Die Farbe einer Lichtquelle kann durch ihre ähnlichste Farbtemperatur beschrieben werden.» (DIN, 2011). Farbtemperatur: «Temperatur des Planck'schen Strahlers, bei der dieser eine Strahlung der gleichen Farbart hat wie der zu kennzeichnende Farbreiz» (DIN, 2011). Leuchtmittel erzeugen Licht in unterschiedlichen Farbtönen. Die Farbverteilung wird mittels Farbtemperatur beschrieben. Leuchten mit einer Farbtemperatur < 3'300 K werden als warmweisses Licht bezeichnet, solche von 3'300–5'300 Kelvin als neutralweiss und > 5'300 Kelvin als kaltweiss. (BAFU, 2021)

Die Farbtemperatur des Vollmondes beträgt ca. 4'185 Kelvin (Schuler, 2017) Die Farbtemperatur ändert sich abends deutlich von der «Goldenen Stunde» vor Sonnenuntergang (geringer Anteil an kurzwelliger Strahlung) zur «Blauen Stunde» nach Sonnenuntergang (sehr hoher Anteil) (Brehm et al., 2021). Eine Kerze spendet Licht mit einer Farbtemperatur von ca. 1'500 Kelvin (Deutscher Bundestag, 2020). «Die Farbe des Lichts ist abhängig von der Wellenlänge. Monochromatisches Licht besteht nur aus einer Wellenlänge, weisses Licht hingegen entsteht durch die Überlagerung vieler Wellen mit unterschiedlicher Wellenlänge.» (Universität Wien, o. J.)

Zwischen der Lichtfarbe und der Farbwiedergabe gibt es keinen Zusammenhang (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, o. J. b).

Lichtspektrum: Das Licht- oder Farbspektrum sagt etwas über die Intensitätsverteilung der im Licht vorhandenen Farben (Wellenlängen) aus, vgl. Abbildung 3. Weisses Sonnenlicht enthält alle für den Menschen sichtbaren Farben, aber in unterschiedlicher Intensität. (BAFU, 2021)

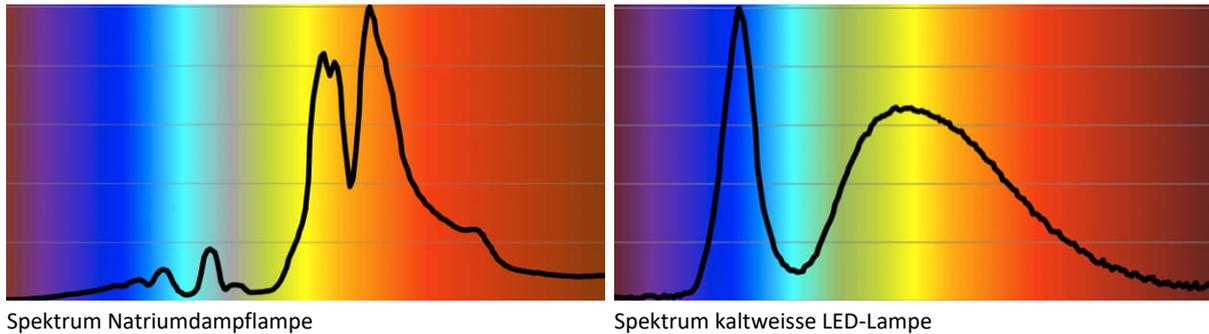
Abbildung 3: Lichtfarbe und Wellenlänge



Quelle: (BAFU, 2021)

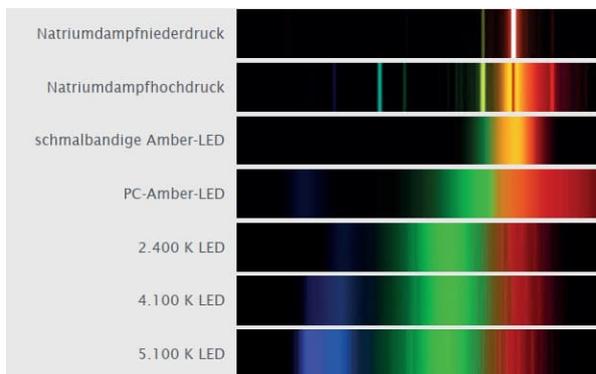
Das Lichtspektrum kann in drei Kategorien unterteilt werden: Ultraviolette Strahlung: < 400 nm; sichtbare Strahlung: 400–700 nm; infrarote Strahlung: > 700 nm (MEB/ANPCEN, 2015). Jedes emittierte Licht bzw. jede Lampe hat ihre eigene Signatur. Während das Spektrum einer Natriumdampf Lampe unserem Auge gelblich-orange erscheint, empfinden wir das Spektrum einer kaltweissen LED-Lampe als weiss mit einem blendend oder grell empfundenen Ton ins Blaue (Dark-Sky Switzerland, 2021a).

Abbildung 4: Spektren von Lampen



Quelle: (Dark-Sky Switzerland, 2021a)

Abbildung 5: Lichtspektren unterschiedlicher Leuchtmittel



Quelle: (Deutscher Bundestag, 2020)

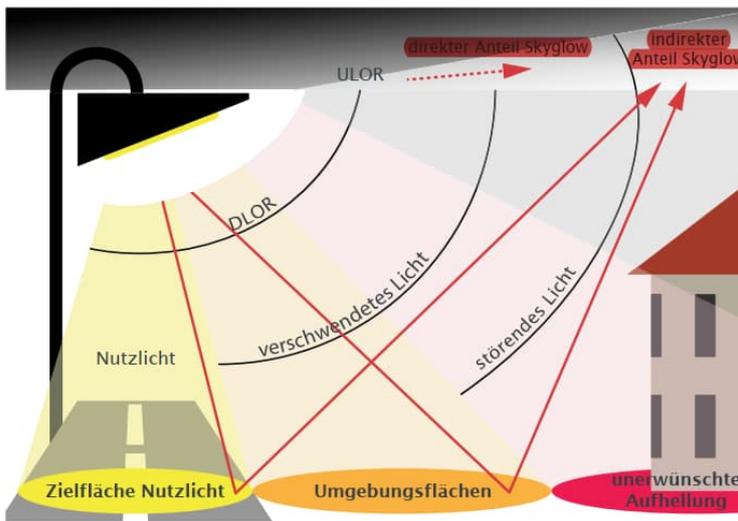
Farbwiedergabe/-index (Colour Rendering Index CRI) [R_a]: Farbwiedergabe: «Auswirkung einer Lichtart auf den Farbeindruck von Objekten, die mit ihr beleuchtet werden, im bewussten oder unbewussten Vergleich zum Farbeindruck der gleichen Objekte unter einer Bezugslichtart» (DIN, 2011). Farbwiedergabeindex: «Mittelwert der speziellen Farbwiedergabe-Indizes CIE 1974 für einen festgelegten Satz von acht Testfarben» (DIN, 2011). Der farbliche Eindruck eines beleuchteten Objekts ist abhängig vom Spektrum der emittierenden Lichtquelle. Leuchten mit vollständigem Spektrum ermöglichen, dass beleuchtete Objekte einen natürlichen Farbeindruck wiedergeben. Fehlen im Spektrum Farbbereiche, die das beleuchtete Objekt aufweist, kann dieses nicht klar identifiziert werden. Entsprechend gibt der Farbwiedergabeindex an, wie gut die Farbwiedergabe eines Leuchtmittels ist. Bei einem Wert von 100 werden alle Farben des Spektrums wahrgenommen. Die Einteilung in der Praxis wird wie folgt vorgenommen: R_a > 90: sehr gute, 80 < R_a < 89 gute, 70 < R_a < 79 befriedigende, 60 < R_a < 69 ausreichende,

$R_a < 60$ mangelhafte Farbwiedergabe. Vgl. (BAFU, 2021) Eine gute Farbwiedergabe verbessert Sehleistung, Behaglichkeit und Wohlbefinden (Schweizer Norm, 2014). Der Farbwiedergabeindex gibt an, wie natürlich die Farben von Gegenständen oder der Umgebung bei einer bestimmten Lichtquelle wirken. Der Farbwiedergabeindex ist unabhängig von der Farbtemperatur. (Steinmann, o. J.) Gemäss Iannaccone (2021) ist dies aber nur bis zu einem gewissen Grad so: Amber-LED-Leuchten mit orangem Licht (ca. 2'000 Kelvin) haben einen deutlich schlechteren R_a (knapp über 60) als weisse LED.

Gleichmässigkeit U: «Verhältnis der kleinsten Beleuchtungsstärke (Leuchtdichte) zur mittleren Beleuchtungsstärke (Leuchtdichte) auf einer Fläche» (DIN, 2011). Sie beschreibt die räumliche Verteilung des Lichts und kann sich auf die Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke beziehen (BAFU, 2021).

ULOR (Upward Light Output Ratio): «Verhältnis des oberen halbräumlichen Lichtstroms der Leuchte, gemessen unter festgelegten Praxisbedingungen mit den zugehörigen Lampen und Vorschaltgeräten, zur Summe der einzelnen Lichtströme dieser Lampen bei Betrieb ausserhalb der Leuchte mit den gleichen Vorschaltgeräten unter festgelegten Bedingungen. Der obere Betriebswirkungsgrad einer Leuchte wird mitunter abgekürzt als ULOR bezeichnet.» (DIN, 2011) Die Ausrichtung eines Lichtstroms als Ganzes kann durch seinen ULOR charakterisiert werden. Dieser definiert den Anteil des Lichtstroms, der von der Lichtquelle der Leuchte oberhalb der Horizontalen abgegeben wird, vgl. auch Abbildung 6. Ein ULOR von Null bedeutet, dass kein Lichtstrom direkt von der Leuchte in den Himmel abgestrahlt wird. (MEB/ANPCEN, 2015)

Abbildung 6: Intendierte und nichtintendierte Lichtemissionen nächtlicher Beleuchtung

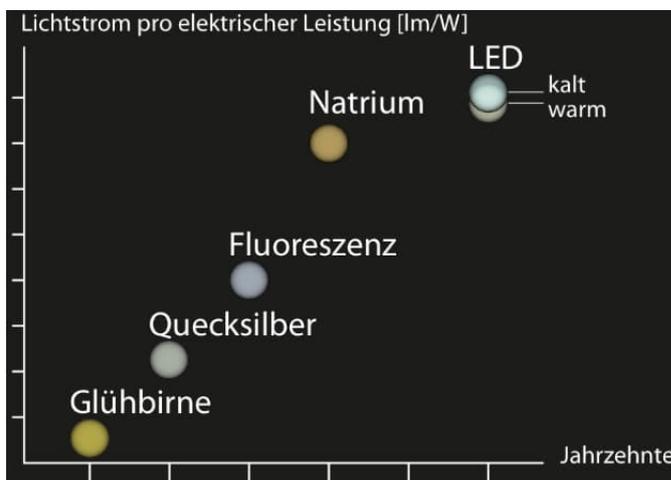


ULOR = Anteil des in den oberen Halbraum abgegebenen Lichts
DLOR = Anteil des in den unteren Halbraum abgegebenen Lichts
Skyglow = künstlich erhöhte Himmelhelligkeit durch emittiertes oder reflektiertes Licht, das von der Erdatmosphäre zurückgestreut wird

Quelle: (Deutscher Bundestag, 2020)

Lichtausbeute bzw. Effizienz [Lumen/Watt]: «Quotient aus dem ausgesandten Lichtstrom und der von der Strahlungsquelle verbrauchten Leistung» (DIN, 2011). Die Lichtausbeute beschreibt, wie viel Licht (Lichtstrom in Lumen) von einer Leuchte im Verhältnis zur aufgenommenen elektrischen Leistung (in Watt) abgegeben wird (Gouvernement Luxembourg, 2018). Der lichttechnische Fortschritt über Jahrzehnte ist bemerkenswert: Mit gleichviel elektrischer Leistung kann immer mehr Lichtstrom erzeugt werden. (Dark-Sky Switzerland, o. J. a) Das Streben nach Effizienz⁴ bevorzugt neutral- oder kaltweisse LED, weil diese effizienter als warmweisse LED oder Natriumdampflampen abschneiden. Die Effizienzmindering von deutlich unter 10% für warme LED gegenüber kalten LED ist im Vergleich zum Effizienzgewinn durch den Umstieg auf LED gering. (Dark-Sky Switzerland, 2018) Wenn Installateure und Stromanbieter die Auswahl der Leuchten treffen, landen sie oft bei kälteren LED, weil diese (leicht) effizienter sind (Dark-Sky Switzerland, o. J. a), vgl. Abbildung 7. Allerdings erzeugen weisse LED an der Quelle blaues Licht. In der Atmosphäre wird Licht umso stärker gestreut, je kleiner seine Wellenlänge ist; blaues [kurzwelliges] Licht wird daher stärker gestreut als rotes [langwelliges] (Bojahr und Rathje, 2006). Entsprechend hellt die effizientere Lampe mit mehr blauem Lichtanteil den Himmel stärker auf. (Schatz und Schuler, 2016)

Abbildung 7: Entwicklung der Lichtausbeute



Quelle: (Dark-Sky Switzerland, o. J. a)

3.3 Wie sehen wir?

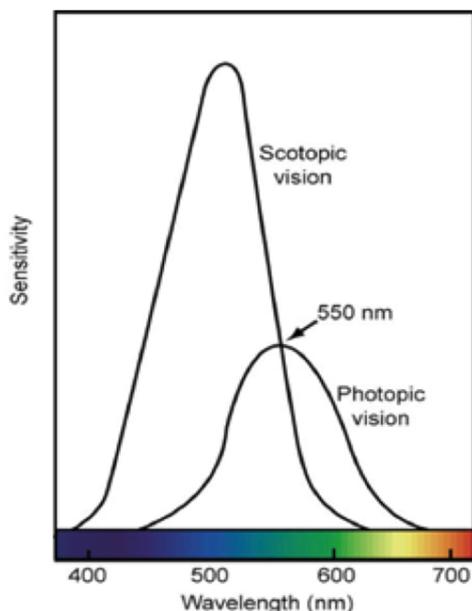
Beim Menschen wird zwischen photopischem (Tagessehen über 3 cd/m^2) und skotopischem Sehen (Nachtsehen unter $0,001 \text{ cd/m}^2$) unterschieden. Der Bereich der Anpassung dazwischen wird als mesopisches Sehen oder Dämmerungssehen bezeichnet. (MEB/ANPCEN, 2015) Bei Tageslicht erfolgt das Sehen über die Zapfen. Das photopische Sehen zeichnet sich aus durch grosse Sehschärfe, hohe Kontrastempfindlichkeit und die Möglichkeit,

⁴ Dies war bei der SBB nicht der Grund, wieso nicht auf warmweisses Licht gesetzt wurde (Iannaccone, 2021).

Farben zu erkennen. Die Stäbchen vermitteln das Sehen bei Nacht, das zwar die Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden ermöglicht, nicht jedoch das Unterscheiden von Farben. (BAFU, 2021) Dies erklärt auch den Spruch «nachts sind alle Katzen grau» (MEB/ANPCEN, 2015).

Beim Tageslichtsehen ist das Auge im gelb-grünen Spektralbereich (bei einer Wellenlänge von 555 Nanometer) am empfindlichsten, im Dämmerungs- und Nachtsehen ist das Empfindlichkeitsmaximum hingegen in den blau-grünen Bereich verschoben (509 bzw. 507 Nanometer), vgl. Abbildung 8. Entsprechend wirkt blau in der Dämmerung heller, während rot beinahe als schwarz wahrgenommen wird (Thews, Mutschler, Vaupel, 1991) und (CIE, 2010).

Abbildung 8: Skotopisches und photopisches Sehen beim Menschen



Quelle: (MEB/ANPCEN, 2015)

Die Anpassung des Sehens von heller zu dunkler Umgebung (Dunkeladaptation) dauert mit einigen Minuten eine verhältnismässig lange Zeit. Im Dunkeln und nach einer Anpassungszeit von 20 Minuten ist das menschliche Auge für viel tiefere Lichtintensitäten empfindlicher als am Tag, da die Pupille erweitert ist und die Stäbchen um den Faktor 10'000 empfindlicher sind als die Zapfen. (MEB/ANPCEN, 2015) Schneller erfolgt die Anpassung von dunklen zu hellen Umgebungen (Helladaptation): Bei plötzlich starkem Lichteinfall in das dunkeladaptierte Auge tritt zunächst eine vorübergehende Blendung⁵ ein. Danach passt sich die Empfindlichkeit des Auges innerhalb

⁵ Nach DIN EN 12665:2018-08 für Licht und Beleuchtung ist Blendung ein «Sehzustand, der als unangenehm empfunden wird oder eine Herabsetzung der Sehfunktion zur Folge hat, verursacht durch eine ungünstige Leuchtdichteverteilung oder durch zu hohe Kontraste». Dabei unterscheidet man zwischen physiologischer und psychologischer Blendung. Physiologische Blendung beschreibt eine direkte messbare Erhöhung des Erkennungsschwellenwerts. Das heißt, Hindernisse können schlechter oder nicht mehr wahrgenommen werden. Psychologische Blendung bezeichnet die subjektive Wahrnehmung von Beleuchtung als störend «durch die ständige und ungewollte Ablenkung der Blickrichtung zur Lichtquelle hin, die bei einem großen Unterschied der Leuchtdichte der Lichtquelle zur Umgebungsleuchtdichte die ständige Adaptation des Auges auslöst» (LAI, 2013). Die störende Wirkung von Blendung hat damit eine subjektive Dimension, die zudem durch individuelle körperliche Dispositionen beeinflusst wird. (Deutscher Bundestag, 2020)

von 15 bis 60 Sekunden der neuen Umgebungshelligkeit an. 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. (Thews, Mutschler, Vaupel, 1991)

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) Sie benötigen für die gleiche Sehleistung mehr Licht als jüngere. 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. (BAFU, 2021) Allerdings sind viele ältere Menschen durch diese Trübung der Augenlinsen und eine schlechtere Anpassungsfähigkeit der Augen auch schneller von künstlichem Licht geblendet (Strahlenschutzkommission, 2006).

3.4 Warum beleuchten wir?

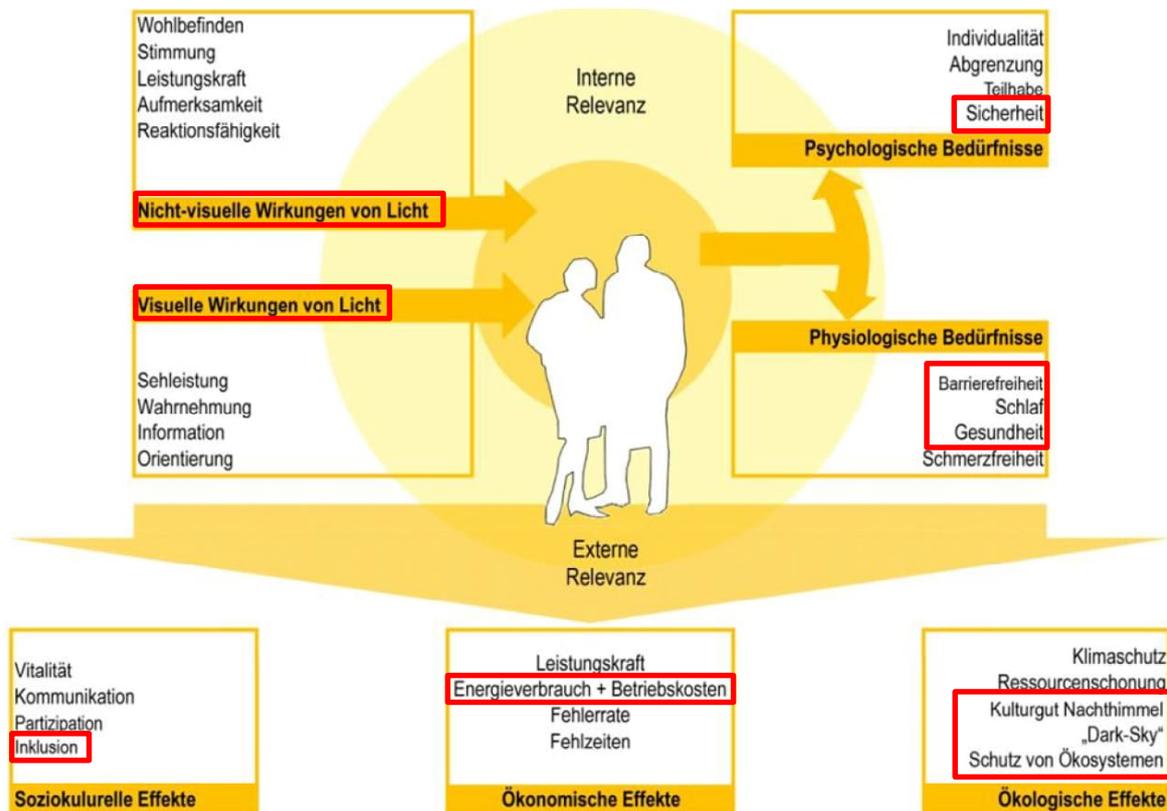
«Ohne Licht ist kein Leben auf der Erde möglich und ohne die Sonne als Energiequelle wäre die Erde ein vereister, lebensfeindlicher Planet. Licht ist Voraussetzung zum Sehen und Erkennen, wirkt auf emotionaler Ebene und hat eine komplexe nicht-visuelle Wirkung auf den Organismus von Menschen, Tieren und Pflanzen» (Gouvernement Luxembourg, 2018). Licht löst bei Menschen überwiegend positive Assoziationen aus. Die Etablierung elektrischer Lichtquellen in den 1880er Jahren führte zu erheblichen Fortschritten bzw. Veränderungen der Arbeits- und Lebensweisen der Menschen. Das künstliche Licht in der Nacht ist ein wesentliches Symbol für das Leben der Moderne und ermöglicht die Hinwendung zur 24-Stunden-Gesellschaft (Henckel et al., 2013).

Im Zuge der weltweit fortschreitenden Umstellung auf LED-Beleuchtung mehren sich aber auch Hinweise auf dadurch verursachte Schlafstörungen und damit verbundene gesundheitliche Beeinträchtigungen. Zudem beeinflusst die künstliche Beleuchtung den Lebensraum nachtaktiver Tiere, die darauf mit einer Änderung ihrer Verhaltensweisen oder dem Rückzug aus betroffenen Gebieten reagieren. Auch wenn die gesellschaftliche Wahrnehmung und Problematisierung der negativen Folgen der zunehmenden nächtlichen Beleuchtung im Vergleich zu anderen Umweltbelastungen noch nicht so ausgeprägt ist, so wächst doch das öffentliche Bewusstsein dafür. (Deutscher Bundestag, 2020)

Bahnhöfe werden zum einen für die Passagiere beleuchtet, damit für sie ersichtlich ist, wo sich die Haltestellen befinden, sie sich dort gut orientieren können, 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 Bahnhofsbelleuchtung den Lokführern dazu, wartende Passagiere zu erkennen und zu dicht am Gleis stehende Personen mittels Pfeifsignal zu warnen. (BAFU, 2021)

Der Leitfaden für eine gute Aussenbeleuchtung des Ministeriums für Nachhaltigkeit und Infrastrukturen von Luxemburg zeigt die breite Bedeutung und Wirkung des Lichts für den Menschen in Abbildung 9 auf. In vorliegender Arbeit wird insbesondere auf folgende Aspekte eingegangen: Wirkungen von Licht, psychologische und physiologische Bedürfnisse, ökologische und zu einem Teil auch ökonomische und soziokulturelle Effekte (vgl. rote Kästchen).

Abbildung 9: Wirkungen, Bedürfnisse und Effekte von Licht



Quelle: (Gouvernement Luxembourg, 2018)

4 Lichtverschmutzung

4.1 Was ist Lichtverschmutzung?

Lichtverschmutzung ist die unerwünschte Wirkung künstlicher Beleuchtung im Aussenbereich, also das Licht, das räumlich (Richtung und Fläche), zeitlich (Tages- und Jahreszeit, Dauer, Periodizität) und bezüglich der Intensität oder spektralen Zusammensetzung (z. B. Ultraviolett- oder Blauanteil) über den reinen Beleuchtungszweck hinaus nicht beabsichtigte Auswirkungen hat (Kuechly et al, 2018).

Ähnlich beschreibt und definiert auch das **BAFU** Lichtverschmutzung. Demgemäss sind für Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Umwelt und den Menschen neben dessen Intensität auch dessen spektrale Zusammensetzung (z. B. Ultraviolett- oder Blauanteile), der Zeitpunkt (Tageszeit, Jahreszeit), die Dauer, die Periodizität bei variablen Lichtquellen oder die Richtung der Beleuchtung verantwortlich. In diesem Sinne wird in der Vollzugshilfe Lichtemissionen unter «Lichtverschmutzung» dasjenige Licht verstanden, das räumlich, zeitlich oder punkto Intensität über den reinen Beleuchtungszweck hinausgeht oder aufgrund seiner spektralen Zusammensetzung negative Auswirkungen hat. (BAFU, 2021)

Die **Schweizer Licht Gesellschaft** definiert in ihrer Richtlinie Lichtverschmutzung als «unerwünschte Lichtemissionen, welche als Nebenprodukt künstlicher Beleuchtung entstehen und den nicht notwendigen Teil des Lichts bezeichnen. Ihnen werden verschiedene negative Auswirkungen auf nächtliche Ökosysteme sowie auch auf das Wohlbefinden von Menschen zugeschrieben. Typische Quellen unerwünschter Lichtemissionen sind: Abstrahlung aus Innenräumen, Anstrahlen von Gebäuden, Beleuchtung privater Liegenschaften, Fahrzeuge, öffentliche Beleuchtung, Reflexionen, Schaufenster, Sportstätten, Weihnachtsbeleuchtungen, Werbetafeln. Unerwünschte Lichtemissionen entstehen auch bei der öffentlichen Beleuchtung. Diese gilt es im Rahmen der Planung zu minimieren. Entscheidender Faktor hierbei ist die Auswahl der richtigen Leuchte und Optik. Das Bundesamt für Umwelt hat 2021 die «Vollzugshilfe Lichtemission» veröffentlicht. Darin wird auf die Einhaltung der Richtwerte in Kapitel 6 der SLG 202-Richtlinie verwiesen, mit dem Ziel, unerwünschte Lichtemissionen in der Öffentlichen Beleuchtung zu minimieren.» (Schweizer Licht Gesellschaft, 2021)

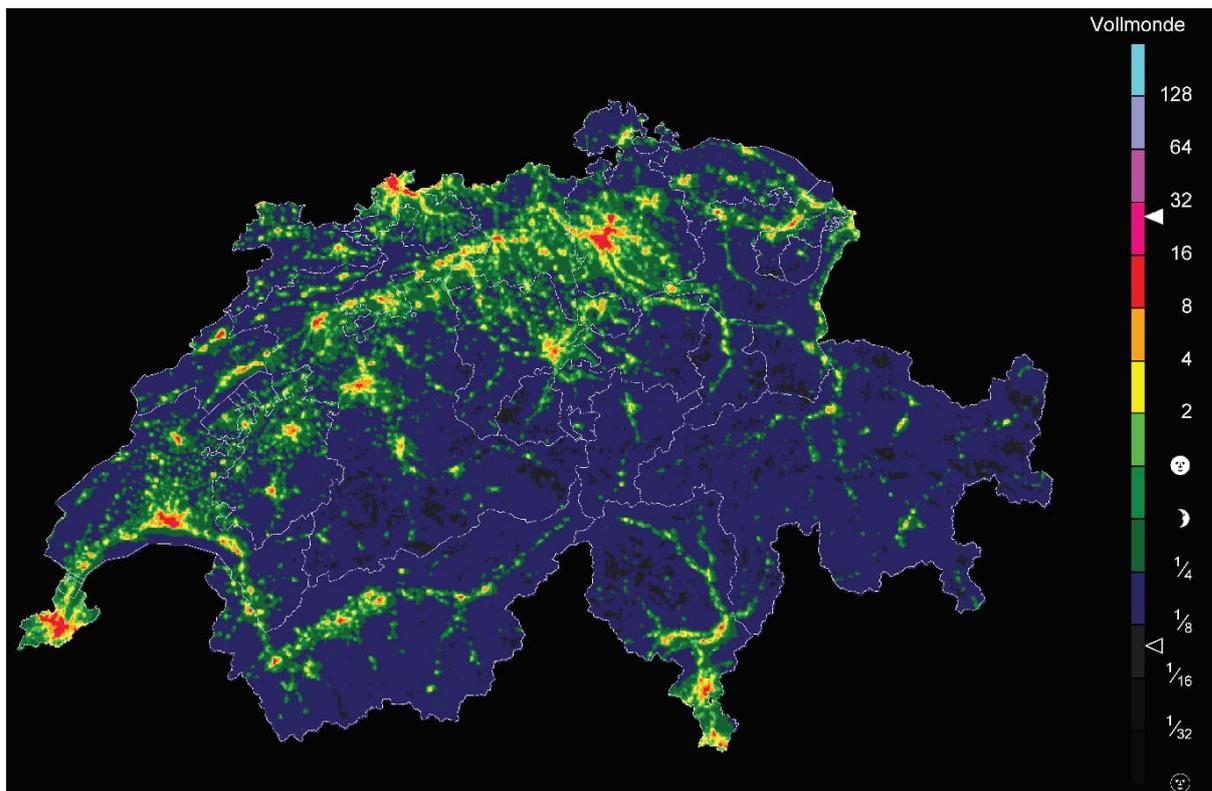
Die **EU** bezeichnet Lichtverschmutzung als die Summe aller nachteiligen Auswirkungen von Kunstlicht auf die Umwelt einschliesslich der Auswirkung von Abfalllicht. Abfalllicht bezeichnet den Teil des Lichts einer Beleuchtungsanlage, der nicht dem bestimmungsgemässen Zweck dient. Dazu gehört: Licht, das nicht in das zu beleuchtende Gebiet fällt, diffuses Licht in der Nachbarschaft der Beleuchtungsanlage, die Lichtglocke, das heisst die Aufhellung des Nachthimmels aufgrund direkter und indirekter Reflexion von (sichtbarer und nicht sichtbarer)

Strahlung, die durch die Bestandteile der Atmosphäre (Gasmoleküle, Aerosole und Partikel) in Beobachtungsrichtung zerstreut wird. (Europäische Union, 2009)

Auch die **Deutsche Norm** «Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung» bezeichnet Störlicht/Lichtimmission als Streulicht, das aufgrund von Quantität, Richtung oder spektralen Eigenschaften in einem bestimmten Zusammenhang Belästigung, Beeinträchtigung oder Ablenkung verursacht oder die Möglichkeit verringert, wesentliche visuelle Informationen aufzunehmen. Als Störwirkung in Form der Himmelsaufhellung (ULR-Wert [en: upward light ratio] bezeichnet sie den Anteil des gesamten Leuchtenlichtstroms, der oberhalb der Horizontalen von allen Leuchten emittiert wird zum gesamten Leuchtenlichtstrom von allen in Einbauhöhe angebrachten Leuchten einer Anlage. (DIN, 2011)

Schliesslich definiert **Dark-Sky Switzerland**, der Verein, welcher sich für umweltschonende Beleuchtung und den Schutz der Nacht einsetzt, Lichtverschmutzung als «künstliche Aufhellung des Nachthimmels und die störende Auswirkung von Licht auf Menschen und Natur.» (Dark-Sky Switzerland, 2021b) Vgl. nachstehende Abbildung 10.

Abbildung 10: Lichtemissionen der Schweiz 2020



Lesehilfe: Die Farbskala zeigt die Helligkeit als Vielfaches einer natürlichen Vollmondnacht (hier hellgrün) an. Die Karte zeigt das Kunstlicht im Zenit im Vergleich zur natürlichen Helligkeit des Nachthimmels.

Quelle: (Schuler, 2020)

4.2 Rechtliche Grundlagen und Vorgaben

4.2.1 Rechtliche Grundlagen und Vorgaben des Bundes

4.2.1.1 Bundesverfassung (BV)

Die BV gibt in Art. 2 vor, dass sie [die Schweizerische Eidgenossenschaft] die [...] nachhaltige Entwicklung, [...] fördert. Weiter hinten folgen die konkreteren Vorgaben mit den Artikeln 73 und 74: Bund und Kantone streben ein auf Dauer ausgewogenes Verhältnis zwischen der Natur und ihrer Erneuerungsfähigkeit einerseits und ihrer Beanspruchung durch den Menschen andererseits an. Und: Der Bund erlässt Vorschriften über den Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen. Lichtemissionen gehören potenziell zu diesen Einwirkungen (vgl. 4.2.1.5). Der Bund sorgt dafür, dass solche Einwirkungen vermieden werden. Die Kosten der Vermeidung und Beseitigung tragen die Verursacher.

4.2.1.2 Leistungsvereinbarung Bund – SBB

Der Bund, vertreten durch das BAV, und die SBB schliessen für jeweils vier Jahre Leistungsvereinbarungen ab (vgl. Art. 51 Eisenbahngesetz). Bei der Bestellung von Leistungen im Bereich Infrastruktur handelt es sich um einen Subventionsvertrag nach Art. 16 des Subventionsgesetzes.

Die Leistungsvereinbarung für die Jahre 2021–2024 enthält in den einzuhaltenden Standards zum ersten Mal einen Passus zur Lichtverschmutzung: **«Die Anlagenbeleuchtung wird mit dem Ziel einer minimalen Störung von Menschen und Natur sowie zur Förderung der Nachtdunkelheit optimiert.»** (vgl. Art. 11 Abs. 3 LV 21-24) (BAV, 2020b) Wichtig zu verstehen ist in diesem Zusammenhang auch die ökonomische Komponente. Eine Optimierung der Anlagenbeleuchtung kostet Geld. Die finanziellen Möglichkeiten sind bei der SBB bzw. im Bahninfrastrukturfonds (BIF) zurzeit aber limitiert.

Der «Leitfaden zur Berichterstattung gemäss Leistungsvereinbarungen 2021–2024 zum Thema Biodiversität» soll den Infrastrukturbetreiberinnen (ISB) helfen, ihre Berichterstattung zum Thema Biodiversität zu strukturieren. Die jährliche Berichterstattung gegenüber dem BAV erfolgt jeweils bis am 30. April des Folgejahres. Der Kurzbericht zum Thema Biodiversität wird BAV-intern der Sektion Umwelt weitergeleitet. In Zusammenarbeit mit den Fachspezialisten des BAFU wird Stellung zum Kurzbericht und den Zielen der ISB für die nächste Berichterstattung genommen. Die Arbeitsgruppe Natur VöV soll als Plattform für Fragen, Diskussionen und Lösungssuche dienen. (BAV/BAFU/VöV, 2021) Der Leitfaden gibt ein grobes Raster vor: «Grundsätzlicher Umgang inkl. langfristige Sicherstellung, umgesetzte und geplante Massnahmen (Anzahl und Lage (Standort/Streckenabschnitt), ausgewählte Beispiele mit Vorstellung der Standorte (Lage Standort/Streckenabschnitt, Begründung Auswahl), Massnahmen und Erfolgsindikatoren. (BAV/BAFU/VöV, 2021)

Im Leitfaden heisst es zur Lichtverschmutzung unter anderem: «Künstliches Licht in der Umwelt wird von der Öffentlichkeit als neue Umweltbelastung wahrgenommen, die es zu begrenzen gilt. Die Vermeidung von störenden und unnötigen Lichtemissionen ist Teil des Massnahmenplanes des Landschaftskonzeptes Schweiz (LKS)⁶ zur Steigerung der Landschaftsqualität und dient auch der Förderung der Biodiversität. Zahlreiche Studien zeigen, dass künstliches Licht in der Umwelt die Überlebensfähigkeit von Arten sowie Lebensgemeinschaften beeinträchtigen kann und zum Tod einer grossen Anzahl von Insekten führt.» (BAV/BAFU/VöV, 2021)

Im Bereich Verkehr wäre gemäss Leitfaden «u.a. an folgende Massnahmen zu denken: **Verwenden von warmweissen Licht bei Beleuchtungen, Betriebszeiten von Beleuchtungen definieren, dimmbare, bewegungsabhängige Beleuchtungen einsetzen.**» (BAV/BAFU/VöV, 2021)

4.2.1.3 SBB Gesetz und strategische Ziele des Bundesrates

Das SBB Gesetz hält in Art. 8 Abs. 1 fest, dass der Bundesrat für jeweils vier Jahre festlegt, welche strategischen Ziele der Bund als Eigner der SBB erreichen will. In den strategischen Zielen 2019–2022 ist in Art. 1.4 festgehalten, dass die SBB im Rahmen ihrer betriebswirtschaftlichen Möglichkeiten **eine nachhaltige und ethischen Grundsätzen verpflichtete Unternehmensstrategie verfolgt.** (UVEK, 2018) Dazu kann auch die Begrenzung der Lichtemissionen gehören.

4.2.1.4 Eisenbahngesetz (EBG) und Eisenbahnverordnung (EBV)

Das Eisenbahnrecht gibt in Art. 17 vor, dass die **Eisenbahnanlagen nach den Anforderungen des Umweltschutzes zu erstellen, zu betreiben, zu unterhalten und zu erneuern** sind. Hier gehört das Thema Lichtemissionen unzweifelhaft dazu. Art. 51 EBG sieht vor, dass die Abgeltungen und Darlehen dazu dienen, die Infrastruktur in gutem Zustand zu erhalten; dabei berücksichtigt werden insbesondere auch die Anliegen des Umweltschutzes. Die Eisenbahnverordnung wird in Art. 3 EBV noch etwas konkreter: **«Den Belangen [...] des Umweltschutzes [...] ist bereits bei der Planung und Projektierung Rechnung zu tragen.»** Dass unter die Belange des Umweltschutzes auch das Thema Lichtverschmutzung zu subsumieren ist, ergibt sich aus den Erwägungen im Kapitel 4.2.1.5.

4.2.1.5 Umweltschutzgesetz (USG)

Das USG 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 «Strahlen», die durch den Bau und Betrieb von Anlagen erzeugt werden.

⁶ «Ziel 3.B Gesundheitsförderung im Siedlungs- und Naherholungsraum: [...] **störende Lichtemissionen reduziert.** Ziel 10.C Lärmschutz und hochwertige Freiräume: [...] **Beleuchtungen der Verkehrsinfrastrukturen sind optimiert.**» (BAFU, 2020)

Künstlich erzeugtes Licht in der Nacht, das durch den Bau oder Betrieb von Anlagen verändert (z. B. reflektiert) wird, fällt damit in den **Geltungsbereich des USG**. (BAFU, 2021)

Der Schutz vor nichtionisierender Strahlung ist bundesrechtlich nur für den Frequenzbereich von 0 bis 300 Gigahertz konkretisiert (Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, NISV). Sichtbares Licht mit Frequenzen von 384 bis 789 Terahertz bzw. Wellenlängen von 780 bis 380 Nanometer wird vom Geltungsbereich der NISV 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). (BAFU, 2021)

Der Schutz durch das USG besteht in einem zweistufigen Konzept: Als erste Stufe verlangt Art. 11 Abs. 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). (BAFU, 2021)

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). (BAFU, 2021)

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 stützen oder Grenz- und Richtwerte privater sowie ausländischer Regelwerke berücksichtigen, sofern deren Beurteilungskriterien mit denjenigen des schweizerischen Umweltrechts vereinbar sind. Privatrechtlichen Normen und ausländische Empfehlungen sind in Kapitel 4.2.4 beschrieben.

In den letzten Jahren fällte das Bundesgericht (BG) einige Entscheide zu Lichtemissionen – unmittelbar gestützt auf das USG. Insbesondere sein **Leitentscheid zur Bahnhofsbeleuchtung Oberrieden** (BGE 140 II 214) konkretisiert, wie weit der Schutz vor Lichtimmissionen gehen soll. Das BG taxierte die konkreten Immissionen für den

Menschen nicht als übermässig im Sinne des USG (2. Stufe). Es bestätigte aber den Grundsatz, wonach unnötige Lichtemissionen 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 BG das öffentliche Interesse an einer Vermeidung von unnötigen Lichtemissionen als gegeben. Demnach sei grundsätzlich nur zu beleuchten, was beleuchtet werden müsse. Bei der **nicht sicherheitsrelevanten Beleuchtung sei**, analog zum Lärmschutz, **ein Nachtruhefenster zwischen 22 und 6 Uhr anzustreben**. (BAFU, 2021)

«In Frankreich gibt es zur Licht-Emission seit 2019 einen Artikel im Umweltgesetz. Darin wird u.a. vorgeschrieben, welche Lichtfarben bei Neu-Installationen ab 2020 einzuhalten sind (Ref. 13). Unter vielem anderen gilt z.B. für Lichtfarben: Maximal 3'000 K mit Ausnahmen sind zulässig. In Naturbereichen, bebauten Gebieten ist maximal 2'700 K, in nicht bebauten Gebieten maximal 2'400 K erlaubt.» (Imfeld, 2021)

4.2.1.6 Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG)

Lichtimmissionen können die nächtliche Landschaft und damit das Landschafts- und Ortsbild beeinträchtigen. Diesbezügliche Eingriffe sind deshalb im Rahmen der Art. 3 und 6 NHG zu beurteilen. Der Bund, seine Anstalten und Betriebe sowie die Kantone haben entsprechend bei der Erfüllung von Bundesaufgaben im Sinne von Art. 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. Dieser Schutz des NHG **gilt in besonders strenger Weise für Objekte von Bundesinventaren** nach Art. 5 (vgl. Art. 6 NHG). Für die verfassungsrechtlich geschützten Moorlandschaften finden die Art. 18 und 23b–d NHG Anwendung. (BAFU, 2021)

Auswirkungen von Lichtimmissionen auf die Artenvielfalt sind im Rahmen der Art. 18 und 20 NHG zu beurteilen. Die Bestimmungen des NHG werden in Art. 13 bis 19 der Verordnung über den Natur- und Heimatschutz (NHV) präzisiert. Dabei enthält Art. 14 Abs. 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). (BAFU, 2021)

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 Art. 18 Abs. 1^{ter} NHG und Art. 14 Abs. 7 NHV für besondere Massnahmen zu deren bestmöglichem Schutz, für Wiederherstellung oder ansonst 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.** (BAFU, 2021)

4.2.1.7 Jagdgesetz (JSG) und Fischereigesetz (BGF)

Nach Art. 1 Abs. 1 Bst. a JSG 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 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 Art. 5 BGF 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 Lichtemissionen ergriffen werden.** (BAFU, 2021)

4.2.1.8 Raumplanungsgesetz [RPG]

Das RPG verlangt von Bund, Kantonen und Gemeinden 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 Art. 3 RPG, wonach 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 Lichtemissionen in Betracht.** (BAFU, 2021)

Im Rahmen von Bewilligungsverfahren im Sinne von Art. 22 RPG (Baubewilligung innerhalb der Bauzonen) und Art. 24 RPG (Bewilligung für Bauten und Anlagen ausserhalb der Bauzonen) **können bestimmte Beleuchtungsanlagen mit Massnahmen zum Schutz vor Lichtemissionen als Auflagen und Bedingungen bewilligt oder nicht bewilligt werden.** (BAFU, 2021)

4.2.1.9 Vollzugshilfe Lichtemissionen

In seiner Vollzugshilfe macht das BAFU Empfehlungen zur Begrenzung von Lichtemissionen in der Nacht. Bei der Planung und Realisierung von Beleuchtungen sollten demgemäss Überlegungen und Abklärungen zu sieben Punkten angestellt werden (**7-Punkte-Plan**):

1. **Notwendigkeit:** Nur beleuchten, was beleuchtet werden muss; Rückbau bestehender Anlagen prüfen. Funktionales Licht (Licht zum sehen): Wo braucht es eine Beleuchtung und wo nicht? Akzentlicht (Licht zum Hinsehen): Sollen gewisse Objekte angestrahlt werden oder bestehende Beleuchtungen rückgebaut oder optimiert werden? Kommerzielles Licht (Licht zum Ansehen): Sind (strengere) Vorgaben für Reklamebeleuchtungen notwendig?
2. **Intensität / Helligkeit:** Nur so hell beleuchten, wie nötig. Die Bedürfnisse sind mit der geringstmöglichen Gesamtlichtmenge abzudecken. Umgebungshelligkeit miteinbeziehen: In einer eher dunklen Umgebung braucht es weniger intensives Licht, um einen beabsichtigten Beleuchtungszweck zu erfüllen. Dort, wo Normen eine gewisse Helligkeit verlangen, muss die Maxime lauten: Die Normwerte einhalten, aber nicht übererfüllen.⁷ LED-Leuchten lassen sich stufenlos dimmen und sehr präzise auf die erforderliche Lichtintensität einstellen.
3. **Lichtfarbe:** Aus Sicht des USG und NHG sollten möglichst warmweisse LED eingesetzt werden – gemäss Stand der Kenntnis solche einer Farbtemperatur von weniger als 2'700 Kelvin. 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.
4. **Auswahl und Platzierung der Leuchten:** Passenden Leuchtentyp wählen und Leuchten geeignet platzieren, damit die Beleuchtung möglichst präzise und ohne unnötige Abstrahlungen in die Umgebung erfolgt. Die Leuchte sollte eine gute Lichtlenkung aufweisen, damit möglichst nur diejenigen Flächen beleuchtet werden, die Licht brauchen. Damit möglichst kein Licht in sensible Lebensräume wie Biotop von nationaler und regionaler Bedeutung, Wasser- und Zugvogelreservate, Waldreservate, Fischlaichgebiete u.a.m. gelangt, können Pufferzonen zwischen Beleuchtungsanlagen und diesen Gebieten vorgesehen werden. Bei grossen Beleuchtungsanlagen wie Bahnhofsbeleuchtungen empfiehlt es sich, 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.⁸
5. **Ausrichtung:** Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten, um unnötige Abstrahlungen in den Nachthimmel zu vermeiden. Die Leuchten bei der Montage präzise ausrichten, damit nur beleuchtet wird, was zu beleuchten ist.

⁷ Zwischenzeitlich gibt es Tendenzen, dass die Normwerte unterschritten werden sollen. (Iannaccone, 2021)

⁸ Das geht gemäss Iannaccone (2021) aber nur bedingt, da jeder Bahnhof anders ist. So kann die SBB insbesondere mit LED-Leuchten und der damit verbundenen Ersatzteilproblematik nicht für jeden Bahnhof eine eigene Leuchte evaluieren. Entsprechend braucht es hier immer Kompromisse.

6. **Zeitmanagement / Steuerung:** Die Beleuchtung nach Möglichkeit bedarfsgerecht steuern und zeitweise ausschalten oder reduzieren. 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. Abschirmungen: In spezifischen Problemfällen können die Emissionen in die Umgebung mit zusätzlichen Abschirmungen an den Leuchten weiter beschränkt werden.
7. **Zusätzliche Abschirmungen:** In Problemfällen können die Emissionen 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 Züge gestört werden.

Vgl. (BAFU, 2021)

4.2.2 Rechtliche Grundlagen und Vorgaben der Kantone

Der Schutz vor Lichtimmissionen wird teilweise auch auf kantonaler Ebene geregelt. In einigen Kantonen hat er Eingang in die kantonalen **Einführungsgesetze zur Bundesgesetzgebung über den Umweltschutz** 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 erlassen. In kantonalen Energiegesetzen finden sich ebenfalls Vorgaben, die auf eine Reduzierung von Lichtemissionen abzielen.

- Beispiel Kanton Aargau: «Beleuchtungsanlagen, die Aussenbereiche erhellen oder Kulturgüter beleuchten, sind so einzurichten, dass sie ausserhalb ihres Bestimmungsbereichs keine störenden Immissionen verursachen.» Vgl. Art. 27 Abs. 1 zum Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässern (Kanton AG, 2007)
- Beispiel Kanton Freiburg: «Beleuchtungen müssen energieeffizient, umweltschonend und bestimmungsgerecht betrieben werden.» Vgl. Art. 15 Bst. a Ziffer 2 zum Energiegesetz (Kanton FR, 2000)

Einige wenige Kantone haben in ihren **Richtplänen** entsprechende Planungsgrundsätze festgelegt. Da sich das Baurecht je nach Kanton und Gemeinde unterscheidet ist nicht überall gleich geregelt, welche Arten von Beleuchtungsanlagen bewilligungspflichtig sind und welche nicht. Am häufigsten finden sich Bewilligungspflichten für Reklamebeleuchtungen, vielfach in Bezug auf die Sicherheit im Strassenverkehr (keine Blendung). Doch auch wegen Auswirkungen auf die Umwelt sind Reklamen ein Thema. Entsprechende Reklamereglementierungen finden sich sowohl auf kantonaler als auch auf kommunaler Stufe. (BAFU, 2021)

Kommunale **Bau-, Nutzungs- und Zonenordnungen oder Zonenpläne** stellen ebenfalls rechtliche Instrumente dar, um den Schutz vor Lichtmissionen zu regeln. Damit können je nach Zone unterschiedliche Nutzungsweisen und Emissionsvorschriften festgelegt werden. In Zonenplänen kann eine Gemeinde diejenigen Gebiete ausscheiden, in welchen sie einen bestimmten Einsatz von Licht zulassen oder verbieten will. Letztlich enthalten auch einige kommunale Polizeigesetze und -reglemente Vorschriften zur Vermeidung von Lichtemissionen. (BAFU, 2021)

Die meisten Kantone geben unverbindliche **Leitfäden** für Gemeinden heraus, sei es in Form eines **Merkblatts** oder einer Checkliste (Basel-Landschaft, Bern, Glarus, Jura, Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schaffhausen, Schwyz, Solothurn, Tessin, Uri, Wallis, Zug, Zürich). Einige Kantone geben zur Unterstützung der Gemeinden zusätzliche Dokumente heraus, wie z.B. Lichtemissions-Regelungsvorlagen (Sankt Gallen: Vorlage zur Lichtemissionsregelung auf Gemeindeebene). Andere Massnahmen der Kantone sind das Lichtemissions-**Monitoring** (Zürich und Uri) oder die Organisation von Treffen und offenen Konferenzen zur Aufklärung und Sensibilisierung (Thurgau, Jura). (Schönberger, o.J.)

4.2.3 Rechtliche Grundlagen und Vorgaben der Gemeinden

Schönberger (o.J.) hat **143 Gemeinden** identifiziert, die als aktiv handelnd gegen Lichtverschmutzung anerkannt werden können. Obwohl es viel mehr Gemeinden gibt, die die LED-Technologie einsetzen, heisst dies nicht automatisch, dass diese auch Lichtverschmutzung reduziert. Bezüglich Lichtfarbe kann sehr gut auch das Gegenteil der Fall sein (vgl. auch Kapitel 4.1). Normalerweise ist der Grund für die Veränderung das Energiesparen und ein Beleuchtungskonzept ist nicht darauf ausgelegt, unnötige Lichtemissionen zu vermeiden oder umweltfreundliche LED mit warmem Licht zu bevorzugen. Unter den Kantonen ist die Zahl der Gemeinden, die sich an Massnahmen gegen Lichtverschmutzung beteiligten, im Aargau (23 Gemeinden) am höchsten. Andere Kantone mit einer hohen Anzahl von Gemeinden mit Massnahmen gegen Lichtverschmutzung sind gemäss Schönberger (o.J.): Bern (16), Freiburg (14), Zürich (13), Baselland (10) und Waadt (10).

Verbindliche Vorschriften zur Beleuchtung von Gebäuden in den Nachstunden haben einige Gemeinden in ihren **Polizeiverordnungen** umgesetzt. In 18 Gemeinden gibt es Beleuchtungspläne (meist als «**Plan Lumière**» bezeichnet). In diesen Dokumenten beschreiben die Gemeinden ihre Ziele in Bezug auf den Aussenbereich bzgl. Beleuchtung. Während einige der Gemeinden in diesen Plänen mehr Wert auf die Verringerung der negativen Auswirkungen auf die Umwelt legen, äussern sich andere eher zum Thema Energiesparen. Die Massnahmen können in drei Kategorien unterteilt werden: 1) Nächtliche Absenkung (Licht aus in der Nacht); 2) Intelligentes/dynamisches Kontrollsystem (Bewegungssensoren, Dimmen), 3) Mechanische Anpassungen der Infrastruktur (Abschirmung, Anpassung der Lichtausrichtung). (Schönberger, o.J.)

Die häufigste Massnahme ist die **Implementierung einer intelligenten/dynamischen Kontrolle** des Systems, das die Anpassung der Lichtintensität an den tatsächlichen Bedarf ermöglicht (60 Gemeinden). Die Systeme können mit Bewegungssensoren ausgestattet werden, die die Helligkeit bestimmter Lichtpunkte erhöhen, wenn sich eine Person oder ein Fahrzeug nähert. Bei einfacheren Systemen wird die Beleuchtung in bestimmten Bereichen auf einen bestimmten Prozentsatz der maximalen Helligkeit gedimmt (z.B. bis zu 10% der maximalen Helligkeit). Die zweitbeliebteste Massnahme ist eine **nächtliche Absenkung**, welche 46 Gemeinden vornehmen. (Schönberger, o.J.)

Abschliessend sei an dieser Stelle auf das Positivbeispiel der **Stadt Bern** hinzuweisen: Mit der neuen **«Beleuchtungsrichtlinie»** und der **«Verordnung über das kommerzielle Licht in der Stadt Bern (VKL)»** soll die Lichtverschmutzung deutlich gesenkt werden. (Stadt Bern, 2019) und (Stadt Bern, 2021)

4.2.4 Privatrechtliche Normen

Normen sind Dokumente, welche die 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. Da Normen von privatrechtlichen Organisationen erlassen werden, haben sie grundsätzlich den Charakter einer **Empfehlung** und ihre **Einhaltung** ist **freiwillig**. Rechtlich verbindlich werden Normen erst dann, wenn die Legislative in Erlassen oder Behörden in Verfügungen auf eine Norm verweisen oder wenn sie Gegenstand von Verträgen zwischen Parteien sind (SNV, 2013). Einige Normen machen Vorgaben zur Begrenzung von Lichtemissionen in die Umgebung:

- CIE 150 «Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations»: Mit ihrem «Leitfaden zur Begrenzung der Störlichtwirkungen von Aussenbeleuchtungsanlagen» 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 Himmelaufhellung legt die CIE ebenfalls Richtwerte** fest. Als Messgrösse für die Wohnraumaufhellung dient die vertikale Beleuchtungsstärke in Lux. Bewertet werden die Gesamtmissionen, die von allen Anlagen in der Umgebung ausgehen und auf einen Wohnraum einwirken. Zur Beurteilung der belästigenden Blendung wird die Lichtstärke der Quelle in Candela herangezogen. Alle Werte unterscheiden sich je nach Siedlungsgebiet und sie werden nach zwei Zeitfenstern differenziert (Pre-curfew⁹, Post-curfew). (CIE, 2017) in (BAFU, 2021)

⁹ «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.» (BAFU, 2021)

- SIA 491 (SN 586 491) «Vermeidung unnötiger Lichtimmissionen im Aussenraum»: Die Norm 491 des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) zielt auf eine haushälterische Lichtnutzung in der Umwelt ab. Sie richtet sich 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 planerische und technische Massnahmen zur Begrenzung von unerwünschten Lichtemissionen; sie enthält aber keine Richtwerte für eine Beurteilung von übermässigen Immissionen. (BAFU, 2021)

Die SIA 491 enthält Grundsätze wie die «Abwägung zwischen Beleuchtungsbedürfnis und Umwelteinwirkungen», «Planung mit geringstmöglicher Gesamtlichtmenge» oder «keine Überschreitung der Beleuchtungsnormen». Die Anforderungen an die Planung sind deutlich: Beispielsweise sollen Lichtpunkthöhen und Abstände der Leuchten so optimiert werden, dass der Gesamtlichtstrom der Anlage minimiert wird. Der Lichtstrom soll von oben nach unten strahlen. **Im Zeitraum zwischen 22 und 6 Uhr soll auf Werbebeleuchtung und Anstrahlung von Objekten verzichtet** werden. Bei den Anforderungen an die Leuchten macht die SIA 491 zur Lichtverteilung und Leuchtmittel konkrete Vorgaben: Die Lichtlenkung ist so zu gestalten, dass unnötige Emissionen auf nicht zu beleuchtende Bereiche verhindert werden. Das Licht soll **möglichst wenig kurzwelligen Strahlungsanteil** (UV und Blauanteile) haben. Auch für den Betrieb der Anlagen formuliert die SIA 491 Anforderungen: Beispielsweise sollen Leuchten **nur in den dafür nützlichen Zeiträumen eingeschaltet** sein oder es sollen **Nachtabschaltung und -absenkung** ermöglicht werden. Für die Beleuchtung von öffentlichen Gebäuden und Anlagen wie **Bahnhöfen** gibt es in der SIA 491 ein **spezifisches Kapitel. Ganznächtlige Beleuchtung von Zugangswegen, Vorplätzen, Werbebeleuchtung sollen vermieden werden. Als unnötige Lichtemissionen bezeichnet die SIA 491 in diesem Zusammenhang auch Anleuchten von Objekten und Gebäuden, zu helles An- oder Ausleuchten von Umgebungsflächen, ungenaues Anleuchten** u.a.m. Schliesslich enthält die SIA 491 ein ganzes Kapitel zur Beleuchtung für Werbezwecke (selbstleuchtende oder angestrahlte Werbung, Konturbeleuchtung, Fahnen und Masten).

- SN EN 12464-2 «Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 2: Arbeitsplätze im Freien»: Bei der Dimensionierung von Beleuchtungen wird häufig die Norm SN EN 12464-2 herangezogen. Diese enthält neben allgemeinen Vorgaben zur Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien **auch Vorgaben an die Beleuchtung von Perrons**. Die Norm legt fest, wie verschiedene Arbeitsplätze im Freien wie Bahnsteige im Hinblick auf Sehkomfort und Sehleistung auszuleuchten sind. «Um die nächtliche Umgebung zu schützen und zu verbessern, ist es notwendig, **Störwirkungen (auch als Lichtverschmutzung bekannt) zu begrenzen, welche ernsthafte physiologische und ökologische Probleme für Personen und Umwelt verursachen können.**» (Schweizer Norm, 2014) Die Norm benennt konkrete Grenzwerte für die Störwirkung von Aussenbeleuchtungsanlagen zur Minimierung von Problemen für Menschen, Flora und Fauna. Die SN EN 12464-2 macht **keine Vorgaben zur**

Lichtfarbe: «Die Auswahl der Lichtfarbe ist eine Frage der Psychologie, der Ästhetik und dessen, was als natürlich angesehen wird.» (Schweizer Norm, 2014)

- ÖNORM O 1052 «Lichtimmissionen – Messung und Beurteilung»: Ziel der österreichischen Norm ist es, Grenzwerte für maximal zulässige Lichteinwirkungen auf Menschen und Umwelt festzulegen, die durch künstliche Lichtquellen aller Art, z.B. auch durch beleuchtete Fassaden oder Schilder, entstehen. 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, 20–22 und 22–6 Uhr). Die Richtwerte für das erste Zeitfenster entsprechen den Werten der CIE 150 und jene für die Zeiträume zwei und drei den Werten der Deutschen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionschutz (LAI). Die belästigende Blendung wird analog der LAI anhand der Leuchtdichte in Candela pro Quadratmeter bewertet. Zusätzlich macht die ÖNORM auch **quantitative Vorgaben zur Begrenzung der Wohnraumaufhellung durch Strassenbeleuchtungen sowie zur Begrenzung von «Umweltaufhellungen»**. (BAFU, 2021) Weiter finden sich Anforderungen an die Lichtfarbe: Da nachtaktive Insekten wie Nachtfalter durch **bläuliches Licht** und UV-Strahlung angelockt werden, ist die **Emission in diesen Spektralbereichen so gering wie möglich zu halten**. In den Gebieten I, II und III sind geeignete Leuchtmittel einzusetzen bzw. technische Massnahmen (UV-Filterung) vorzusehen, welche **Emissionen kleiner als 440 nm auf maximal 15 % der gesamten Strahlungsdichte** der Lichtquelle beschränken. Im Hinblick auf die Aufhellung der Umwelt und auf die Insektenanlockwirkung sind Leuchtmittel mit einer **Farbtemperatur $\leq 3'000$ Kelvin zu bevorzugen**. (Wiener Umwelt Anwaltschaft, o. J.)

4.3 Wirkung von Licht auf die Menschen

4.3.1 Gesundheit

Ganz allgemein betrachtet beeinflusst Licht nicht nur das eigentliche Sehen, sondern auch die Aktivität (Tätigkeitsdrang, Betriebsamkeit, Unternehmungsgeist), physiologische Vorgänge (Stoffwechsel, Kreislauf, Hormonhaushalt, Immunsystem) und die Psyche. (seco, 2016)

«From the molecule to the cell, from the organ to the organisms, and also from organisms to populations, all the activities of living organisms are rhythmic. In a great majority of cases, these rhythms are synchronized to the daily and annual variations of light and temperature.» (Falcón, 2011) Ein biologischer Rhythmus kann als die periodische oder zyklische Veränderung einer bestimmten Funktion eines Lebewesens definiert werden. Dieser

Rhythmus kann physiologisch (Herzschlag, elektrische Aktivität des Gehirns), biochemisch (Molekular- und Hormonsynthese usw.) oder verhaltensbedingt (Schlaf, Migration, Raubtierverhalten) sein (Bécamel, o.J.). Bei Säugetieren ist die zeitliche Struktur nach verschiedenen Perioden gegliedert: ultradiane Rhythmen (Periode weniger als 20 Stunden, z.B. Atmung, Herzschlag oder bestimmte Hormone); **zirkadiane Rhythmen** (lat. «circa» = ungefähr und lat. «dies» = Tag); infradiane Rhythmen (länger als einen Tag dauernd, z.B. Mondzyklus, Menstruationszyklus, Winterschlaf). Diese Rhythmen werden durch die hauptsächlich im Gehirn lokalisierte so genannte **«innere Uhr»** mit der Umwelt synchronisiert. Licht wirkt für all diese Rhythmen als **Zeitgeber**¹⁰, der regelmäßig die inneren Uhren stellt und damit alle Rhythmen untereinander und mit der Aussenwelt abstimmt. (MEB/ANPCEN, 2015) und (BAG, 2016), (Schroer und Hölker, 2014), in (Deutscher Bundestag, 2020).

Licht ist der stärkste Faktor bei dieser Synchronisation (Claustrat, 2009). Da die Hirnfunktion keinen genauen 24-Stunden-Rhythmus aufweist, muss sie täglich neu justiert werden. Dies geschieht mit Hilfe des **blauen Lichtanteils** des Tageslichtes, das ab den Morgenstunden auf die Netzhaut des Auges fällt. Dieses blaue Licht wird von lichtempfindlichen Nervenzellen der Netzhaut und den Sehzellen absorbiert und in Nervenimpulse umgewandelt, die an die innere Uhr im Hirn weitergeleitet werden. Blaues Licht, das im Tageslicht ausgeprägt vorkommt, wirkt am Morgen und während des Tages aktivierend auf den Organismus. Am Abend oder in der Nacht kann die Wirkung von blauem Licht unerwünschte Folgen haben, da es trotz der Nachtphase dem Körper die Information für die Tagesphase vorgibt. Damit werden diejenigen Prozesse gestört, die den Menschen auf die Schlafphase vorbereiten oder die während der Schlafphase stattfinden. «Light is a powerful synchronizer which resets the endogenous circadian pacemaker to the 24-h day in an intensity-dependent manner. [...] it is clearly recognized that bright light (1'000 Lux or more) is an effective synchronizer in humans [...]. (Cajochen et al., 2011a). Neben solchen akuten Wirkungen zeigen wissenschaftliche Erkenntnisse zunehmend, dass auf Grund der gestörten physiologischen Rhythmen auch langfristige gravierende Gesundheitsfolgen nicht auszuschliessen sind (WHO, 2010). In (BAG, 2016)

Gemäss (Kantermann, 2018) gibt es zwei Aspekte der Wirkung von Licht auf den Menschen, die bei der Betrachtung der Wirkung von Lichtverschmutzung relevant sind: eine visuelle und eine nichtvisuelle Wirkung. Die visuelle Wirkung ermöglicht die visuelle Wahrnehmung und die Orientierung im Raum – diese Wirkung ist humanmedizinisch nicht relevant. Das charakteristische Merkmal der **nichtvisuellen** Wirkung von Licht ist, dass es sich um Wirkungen von elektromagnetischer Strahlung handelt, die im Wellenlängenbereich des Sichtbaren liegt, jedoch nicht für visuelle Aufgaben verwendet wird. Diese Wirkungen stehen im Verdacht, von **humanmedizinischer Relevanz** zu sein. Unter **akuten** nichtvisuellen Lichtwirkungen werden die Erhöhung von – vor allem subjektiver und weniger objektiv messbarer – Wachheit bzw. Verringerung von Müdigkeit sowie die messbare **Unterdrückung**

¹⁰ In der Chronobiologie wird Licht auch als **«Zeitgeber»** benannt. Als Zeitgeber können auch Umgebungstemperaturen, Geräusche, soziale Interaktionen, körperliche Aktivitäten, Nahrungsaufnahmen, Wecker oder Manipulationen durch Pharmaka auftreten. (Wikipedia, 2021b)

der Produktion des Hormons Melatonin (Cajochen et al., 2011b), (Kantermann et al., 2012) und (Souman et al., 2018), in (Deutscher Bundestag, 2020) verstanden. Beispielsweise kann es aufgrund der akut wachmachenden Wirkung von Licht abends und nachts zu einer Verzögerung des Einschlafens kommen (Burgess und Molina, 2014) und (Chang et al., 2011), in (Deutscher Bundestag, 2020). Im Gegensatz zu den akuten Lichtwirkungen betrifft die Wirkung von Licht auf das zirkadiane System die Synchronisation der körpereigenen Rhythmen mit dem natürlichen Wechsel von Tag und Nacht (Roenneberg et al., 2013) und (Wright et al., 2013), in (Deutscher Bundestag, 2020). Die Anwesenheit von künstlichem Licht während der Dunkelphasen verändert den **Schlaf-Wach-Rhythmus** und ist in der Lage, biologische Rhythmen zu verändern.

Trotz noch bestehender Wissenslücken gilt, dass durch eine Störung des zirkadianen Systems über einen längeren Zeitraum negative Folgen für Schlaf, Leistungsfähigkeit und Gesundheit möglich sind. Für eine stabile Synchronisation der inneren Uhr sind Licht am Morgen, helle Tage und dunkle Nächte wesentlich. Künstliches Licht am Abend sowie nachts kann zu **Konzentrations- und Aufmerksamkeitsdefiziten** (Banks et al., 2010) und (Lim und Dinges, 2008) sowie zu einem **erhöhten Unfallrisiko** führen (Folkard, 2008) (Mitler, 1988). (Deutscher Bundestag, 2020) Auch stehen **psychische Belastungen** (Albrecht, 2013) und (Wirz-Justice, 2006), **Herz-Kreislauf-Erkrankungen** und Diabetes (Scheer et al., 2009), (Scheer et al., 2010) sowie Übergewicht (McHill et al., 2017) auf der Liste der möglichen Folgen durch eine Störung des zirkadianen Systems. Auch ein erhöhtes Risiko für **Krebserkrankungen** wird beschrieben (Bullough et al., 2006) und (Erren et al., 2008). In (Deutscher Bundestag, 2020)

Eine Störung des Tag-Nacht-Rhythmus kann auch Störungen des Menstruationszyklus bei Frauen, eine Verminderung der Abwehrkräfte gegenüber Infektionskrankheiten und verfrühtes Einsetzen der Pubertät hervorrufen (BAFU, 2021). Zahlreiche Studien haben auf einen Zusammenhang zwischen Lichtverschmutzung und Gesundheitsproblemen hingewiesen, darunter psychisches Wohlbefinden (Bedrosian and Nelson, 2013), Brustkrebs (z. B. Haim und Portnov, 2013; Stevens et al., 2014; Garcia-Saenz et al., 2018), Prostatakrebs (z. B. (Haim und Portnov, 2013), (Garcia-Saenz et al., 2018), in (Caruana, 2020). Die Störung des zirkadianen Zyklus durch Licht beeinflusst die Produktion von Hormonen wie Melatonin. Studien haben gezeigt, dass diese Störung zu einem erhöhten Krebsrisiko bei Arbeitern, die im Dreischichtbetrieb arbeiten, beitragen kann (Stevens, 2009), (Megdal et al., 2005) und (Reiter et al., 2007). Beim Menschen wurden auch Veränderungen des Gedächtnisses, des Schlafs, der Temperaturregulierung sowie neurokognitive, immunologische und kardiovaskuläre Störungen beobachtet (Najjar et al., 2014). (MEB/ANPCEN, 2015)

Licht kann auf den zirkadianen Rhythmus einwirken, indem es die **Ausschüttung von zwei Hormonen beeinflusst: Melatonin und Cortisol**. Melatonin (auch «Schlafhormon» genannt) wird in Zeiten der Dunkelheit in grossen Mengen ausgeschüttet. Melatonin ist massgeblich an der Regulation des Schlafs und der zeitlichen Koordination

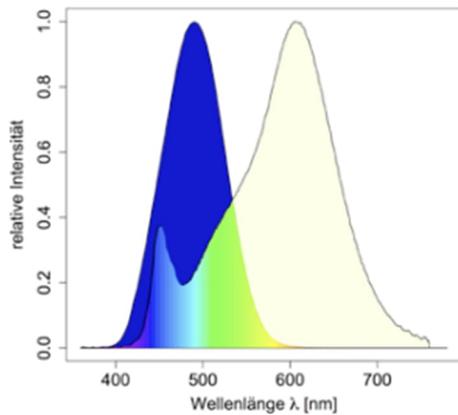
vieler Körpervorgänge beteiligt (Arendt, 2005). Das Hormon gibt das Signal, schlafen zu gehen (tagaktive Arten) oder aktiv zu sein (nachtaktive Arten). Bei tagaktiven Arten begünstigt der Anstieg des Melatonin Spiegels bei Einbruch der Dunkelheit den nächtlichen Abfall der Innentemperatur und den Beginn des Tiefschlafs. (ANPCEN/INSV/MEDDE, 2012) Melatonin fördert aber nicht nur das Ein- und Durchschlafen, sondern beeinflusst durch seine Beteiligung an vielen verschiedenen Systemen auch andere Funktionen: **antioxidative** Wirkung und damit Neutralisation von Sauerstoffradikalen im Körper; Sekretion anderer wichtiger Hormone, Steuerung von **Körpertemperatur, Blutdruck, Herzfrequenz oder Verdauung**; positive Auswirkungen auf **Gedächtnis, Lernen und Emotionen** durch den Einfluss auf den Hippocampus (einen zum limbischen System gehörigen Hirnanteil); Wachstumshemmung von bestimmten hormonabhängigen Tumoren, wie z. B. Brust- oder Prostatakrebs; **positive Wirkungen auf das Immunsystem**, z.B. die Steigerung der Wirksamkeit körpereigener «Killerzellen»; **protektive** Wirkungen in Bezug auf Migräne, Alzheimer- und Parkinsonerkrankung. (Landesumweltreferenten österreichische Bundesländer, 2017) Die Wirkung des Hormons Melatonin auf Krebs, insbesondere seine Rolle als Onkostatikum¹¹, wurde in der Literatur breit diskutiert (z. B. (Kanishi et al., 2000) oder (Bondy and Campbell, 2018) und es wurde vermutet, dass nächtliche Lichtexposition das Risiko für verschiedene Krebsarten über den Melatonin Weg erhöhen kann (Schernhammer und Schulmeister, 2004).

Während für die Ermöglichung des Sehens primär die Stäbchen und Zapfen verantwortlich sind, wird die nicht-visuelle Wirkung des Lichts über Ganglienzellen auf der Netzhaut realisiert. Ein Teil der Ganglienzellen enthält das **lichtempfindliche Pigment Melanopsin**. Dieses ist vor allem für die Wellenlängen 460–490 Nanometer sensitiv, die vom menschlichen Gehirn **als blaues Licht wahrgenommen** werden (Brainard et al., 2001) und (Hattar et al., 2002), in (Deutscher Bundestag, 2020). Künstliche Beleuchtung beinhaltet Wellenlängen, auf die die fotosensitiven Ganglienzellen reagieren (Nowozin et al., 2017) und (Zeitzer, 2000), in (Deutscher Bundestag, 2020). Dem Körper ist es dann nicht mehr möglich, zwischen Tag (hell) und Nacht (dunkel) zu unterscheiden. Eine Folge davon ist, dass die Ausschüttung des Hormons Melatonin unterdrückt oder zeitlich verschoben wird, welches im Gehirn natürlicherweise freigesetzt wird, wenn die Helligkeit der Umgebung gering genug ist. Studien im Schlaflabor zeigen, dass die Freisetzung von Melatonin durch helles und vor allem blauhaltiges Licht gehemmt wird (Cajochen et al., 2005), (Santhi et al., 2012) und (Van de Werken et al., 2013), in (Deutscher Bundestag, 2020). «It is estimated that **white LED lamps** have five times **greater impact on circadian sleep rhythms than conventional street lamps.**» (American Medical Association, 2016a) Vgl. Abbildung 11 bis Abbildung 14.

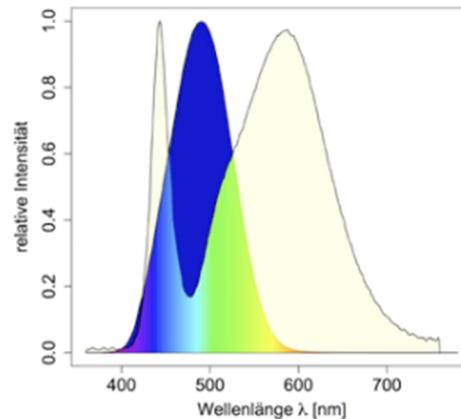
¹¹ unterdrückt Tumorwachstum (BUWAL, 2003)

Abbildung 11: Melanopische Wirkung von zwei LED

Melanopische Wirkung und 2'700 Kelvin LED



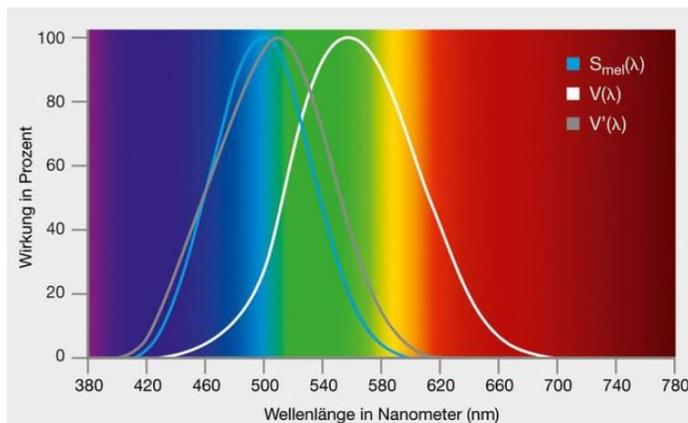
Melanopische Wirkung und 4'000 Kelvin LED



Lesehilfe: «Melanopsin ist der Farbstoff, der das blaue (Tages-)Licht unbewusst registriert. Das hat zwei Effekte: Der Pupillenreflex adaptiert auf Helligkeit und Blendung – mehr blaues Licht blendet mehr. Der Taktgeber registriert blaues Licht als Tageslicht und übersteuert die Nachtruhe. **Blau:** Die melanopische Wahrnehmungskurve für den Pupillenreflex und die innere Uhr nach DIN SPEC 5031-100:2015-08. **Lichtgelb:** Während die LED mit 4'000 Kelvin leicht effizienter ist, kann sie das Schlafhormon Melatonin unterdrücken und stört das Einschlafen stärker.»

Quelle: (Dark-Sky Switzerland, 2018)

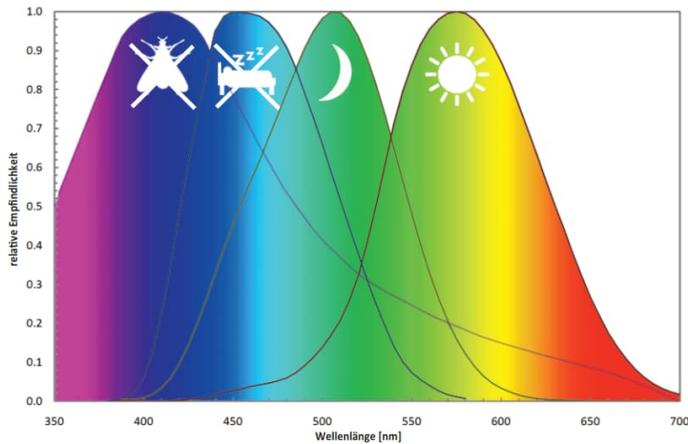
Abbildung 12: Aktionsspektrum der Melatonin Suppression im Vergleich zum Tag- und Nachtsehen



Lesehilfe: Melatonin Suppression/Unterdrückung [$S_{mel}(\lambda)$] im Vergleich zur Hellempfindlichkeit des Auges beim Tagsehen $V(\lambda)$ und beim Nachtsehen $V'(\lambda)$

Quelle: (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Abbildung 13: Empfindlichkeiten von Menschen und Nachtfalter

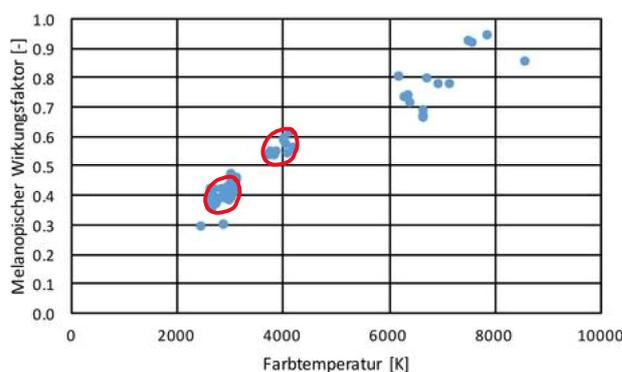


Von links nach rechts: Empfindlichkeiten der Nachtfalter, der zirkadianen Rezeptoren für die Steuerung des Tag-Nacht-Rhythmus, der in der Nacht empfindlichen Stäbchen und mittlere Empfindlichkeit der für das Tagsehen verantwortlichen Zapfen.

Quelle: (Landesumweltreferenten österreichische Bundesländer, 2017)

Im Moment sind keine Grenzwerte für zirkadiane Wirkungen von sichtbarem Licht publiziert. Die einzige die Thematik behandelnde Norm definiert das zirkadiane Wirkungsspektrum von sichtbarem Licht, um die zirkadianen Eigenschaften verschiedener Lichtquellen miteinander vergleichen zu können (DIN SPEC 5031-100): Mass ist der **melanopische oder zirkadiane Wirkungsfaktor**, der das Verhältnis des zirkadian aktiven Strahlungsanteils einer Lichtquelle zu ihrem vom Auge sichtbaren Strahlungsanteil beschreibt (Bellia et al., 2014) und (Bellia und Seraceni, 2014). Ein melanopischer Wirkungsfaktor von 1 entspricht ungefähr dem Tageslicht im Freien unter bewölkten Himmel. Melanopische Wirkungsfaktoren von kleiner 1 haben weniger aktivierende Eigenschaften auf den Organismus im Vergleich zum Tageslicht. So weisen Glühlampen oder warmweisse Energiesparlampen melanopische Wirkungsfaktoren im Bereich von 0,4 auf (Gall und Bieska, 2004). Die im Auftrag des BAG und BFE durchgeführte Studie hat die melanopischen Wirkungsfaktoren von LED bestimmt. Die Resultate zeigen, dass **LED mit Farbtemperaturen von 3'000 Kelvin melanopische Wirkungsfaktoren aufweisen, die ungefähr denjenigen von Glühlampen** und warmweissen Energiesparlampen entsprechen. Bei Farbtemperaturen von **4'000 Kelvin treten Wirkungsfaktoren von ca. 0.55 – 0.6 auf**, vgl. Abbildung 14. (BAG, 2016)

Abbildung 14: Melanopische Wirkungsfaktoren in Abhängigkeit der Farbtemperatur



Quelle: (BAG, 2016)

Zusätzlich zur Hemmung der Melatonin Sekretion kann eine längere Exposition gegenüber hellem Licht die **Cortisol Sekretion stören**. Die Aufgabe von Cortisol ist es, den Stoffwechsel von Kohlenhydraten, Lipiden, Proteinen, Ionen und Wasser zu regulieren. Wie Melatonin ist auch Cortisol ein Hormon, das den zirkadianen Zyklus reguliert. Im Gegensatz zu Melatonin, das nur nachts ausgeschüttet wird, wird Cortisol kontinuierlich ausgeschüttet. Abhängig von der Zeit der Exposition kann künstliches Licht den zirkadianen Rhythmus von Cortisol stören, indem es die ausgeschütteten Mengen erhöht oder senkt. (Jung et al., 2010) zeigen, dass die Exposition gegenüber intensivem Licht (ca. 10.000 Lux) kurz nach Sonnenuntergang oder kurz vor Sonnenaufgang das Niveau des ausgeschütteten Cortisols beim Menschen reduziert. Niedrige Lichtstärken (ca. 3 Lux in ihrer Studie) hätten nur einen geringen Effekt. Störungen in diesem Zyklus werden beim Menschen mit zahlreichen Pathologien wie Arthritis, Alkoholismus oder Depressionen in Verbindung gebracht. Sie können auch Schlafstörungen verursachen oder den Alterungsprozess fördern (Louiset, 2009). (MEB/ANPCEN, 2015)

Das BAFU kommt zum Schluss, dass Licht mit einem hohen **Blauteil** im Spektrum besonders wirksam ist (BAFU, 2021). Das BAG empfiehlt, an Orten, an denen sich Personen während der Abendstunden vor dem Schlafen während längerer Zeit aufhalten, warmweisse LED mit Farbtemperaturen von ca. 3'000 Kelvin einzusetzen. Kaltweisse Lampen mit Farbtemperaturen von grösser als 4'000 Kelvin sind für solche Orte weniger geeignet, da ihre blauen Lichtanteile den Schlaf und andere Prozesse im Körper beeinflussen. (BAG, 2016) Kurzwelliges (blaues) Licht kann den zirkadianen Rhythmus des menschlichen Körpers, der von intrinsisch lichtempfindlichen retinalen Ganglienzellen gesteuert wird, empfindlich stören und Melatonin beim Menschen unterdrücken, vgl. z. B. (West et al., 2011). Insbesondere führt eine gleich lange Bestrahlung mit monochromatischem 460-nm-Licht zu einer doppelt so starken Verzögerung der zirkadianen Phase und einer doppelt so starken Unterdrückung von Melatonin im Vergleich zu einer Bestrahlung mit 555-nm-Licht (d. h. röterem Licht) (Lockley et al., 2003). Eine Studie, die einen Vergleich zwischen 5'600 Kelvin und 2'700 Kelvin Licht durchführte, ergab, dass die Melatonin Unterdrückung durch 5'600 K Licht nicht nur stärker war, sondern bei Jugendlichen auch deutlich ausgeprägter als bei Erwachsenen (Nagare et al., 2019). (Lee et al., 2018) verglichen die Wirkung von 3'000 K und 6'200 Kelvin Licht sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen. Sie fanden heraus, dass blaues LED-Licht bei Kindern zu einer stärkeren Unterdrückung von Melatonin führt. In (Caruana, 2020)

Je nach Design wird von einigen LED, die für das blosse Auge weiss erscheinen, eine grosse Menge blaues Licht ausgestrahlt. Die übermässigen blauen und grünen Emissionen einiger LED führen zu einer erhöhten Lichtverschmutzung, da diese Wellenlängen im Auge stärker gestreut werden und schädliche Auswirkungen auf die Umwelt haben. Die erste Generation der LED-Aussenbeleuchtung, die immer noch häufig installiert werden, sind 4'000 Kelvin-LED. **29% des Spektrums der 4'000 Kelvin LED-Beleuchtung wird als blaues Licht** ausgestrahlt, das das menschliche Auge als grelles Weiss wahrnimmt. Vgl. dazu auch Abbildung 15. Da LED-Beleuchtung eine

Punktlichtquelle ist, haben Studien gezeigt, dass diese intensive blaue Punktlichtquelle zu **Unbehagen und Blendung** führt. Bei 3'000 Kelvin nimmt das menschliche Auge das Licht immer noch als «weiss» wahr; es ist aber etwas wärmer und hat nur etwa 21% seiner Emission im blauen Teil des Spektrums. Diese Emission ist für die nächtliche Umgebung immer noch sehr blau, aber sie ist eine deutliche Verbesserung gegenüber der 4'000 Kelvin Beleuchtung, weil sie das Unbehagen und die Blendwirkung reduziert. Aufgrund der unterschiedlichen Beschichtungen ist die Energieeffizienz der 3'000 Kelvin Beleuchtung nur 3 % geringer als die der 4'000 Kelvin-Beleuchtung. Das Licht ist für Menschen aber angenehmer und hat weniger Auswirkungen auf die Tierwelt. (American Medical Association, 2016b)

Abbildung 15: Blauanteil verschiedener Leuchtmittel

Leuchtmittel	Farbtemperatur in K	Blauanteil < 500 nm in %	Blauanteil < 540 nm in %
Quecksilberdampf	4.200	29	33
Fluoreszenz	3.000	22	26
Fluoreszenz	4.100	24	47
Halogenmetalllamp	3.000	25	53
Halogenmetalllamp	4.000	50	83
LED	2.400	12	21
LED	3.000	13	25
LED	4.000	24	57
PC-Amber-LED	1.800	0	0
Natriumdampfhochdruck	2.000	7	9
Natriumdampfniederdruck	1.800	0	0

Quelle: (Deutscher Bundestag, 2020)

Bei handelsüblichen LED-Lampen für den Allgemeingebrauch sind photochemische Schädigungen auf Grund des energiereichen blauen Lichtanteils nicht ausgeschlossen. Ein zu starker blauer Lichtanteil bzw. eine Blaulichtgefährdung (engl. «blue light hazard») stellt für die Allgemeinbevölkerung und insbesondere für Kinder und **Personen mit operiertem grauem Star ein Risiko** dar, deren Augenlinsen sehr klar sind, keine Filterwirkung für blaues Licht aufweisen oder in seltenen Fällen fehlen. **Photochemische Schädigungen** können zudem durch die Reaktion von blauem Licht mit im Auge eingelagerten Substanzen wie Lipofuscin entstehen, die sich mit zunehmendem Alter im Auge ablagern. Vgl. (BAG, 2016)

Gemäss (Kantermann, 2018) können **fünf Faktoren** identifiziert werden, die die nichtvisuelle Wirkung von Licht beeinflussen und die Auswirkungen auf die Produktion der Hormone **Melatonin und Cortisol** haben (MEB/ANPCEN, 2015):

1. **Lichtintensität:** Helleres Licht hat eine stärkere Wirkung als weniger helles Licht. Ein wissenschaftlich begründeter Grenzwert, ab wann eine bestimmte Lichtintensität humanmedizinisch relevante nichtvisuelle Wirkungen entfaltet, existiert jedoch nicht.
2. **Lichtspektrum:** Licht mit vielen Anteilen im Wellenlängenbereich zwischen 460 und 490 nm (die der Mensch als blau wahrnimmt) hat eine stärkere Wirkung als Licht mit weniger solchen Anteilen.

3. **Zeitpunkt** der Lichtexposition: Die Wirkung von Licht variiert mit der Tageszeit. In den Dämmerungsphasen und nachts können Wirkungen von Licht sowohl das zirkadiane System stören als auch akut Müdigkeit reduzieren und Melatonin unterdrücken und somit auf unterschiedlichen Wegen den Schlaf stören.
4. **Dauer** der Lichtexposition: Je länger die Lichtexposition, desto stärker der Effekt. Die Wirkung von hellem und blauem Licht nimmt allerdings mit zunehmender Dauer der Lichtexposition ab. Dies deutet auf ein Sättigungsverhalten des zirkadianen Systems gegenüber Licht hin. Inwieweit es Sättigungserscheinungen im Hinblick auf die nichtvisuelle Wirkung von Lichtverschmutzung gibt, ist nicht bekannt.
5. **Lichthistorie**, d. h. Dauer (Intensität, Spektrum) vorheriger Lichtexposition (Chang et al., 2011) und (Chang et al., 2013): Ein Aufenthalt mehrerer Stunden in gedimmtem Licht (Dunkeladaptation) kann dazu führen, dass das zirkadiane System auf eine darauffolgende Exposition mit hellem Licht stärker reagiert als nach vorherigem Aufenthalt in hellem Licht. In (Deutscher Bundestag, 2020)

Ganz allgemein kann also eine unangemessene Lichtexposition in der Nacht zu einer inneren Desynchronisation beitragen. Dies kann zu einer Veränderung der körperlichen und/oder geistigen Gesundheit von Menschen und zu Rhythmusstörungen bei Lebewesen beitragen. (MEB/ANPCEN, 2015)¹²

4.3.2 Sicherheit

“The primary needs of pedestrians may be summarized as four items: to see, to be seen, to be safe, to feel safe.” (CIE, 2019). Bei der Sicherheit ist zwischen objektiver Sicherheit (Delikte wie Raubüberfälle, Entreisssdiebstähle, Körperverletzungen oder Einbrüche) und dem subjektiven Sicherheitsempfinden zu unterscheiden. Letzteres kann je nach Bevölkerungsgruppe sehr verschieden sein. 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. (BAFU, 2021) Eine objektiv eingeschränkte Wahrnehmung wird auch subjektiv als unangenehm erlebt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2015).

¹² Bei anderen Wirbeltieren sind die zirkadiane Organisation und das System der Melatonin Ausschüttung anders. Die Melatonin Sekretion erfolgt nicht in einem linearen unidirektionalen Weg. Melatonin wird sowohl von der Zirbeldrüse als auch von der Netzhaut ausgeschüttet. Die Netzhautsekretion wird bei Wirbeltieren hauptsächlich in der Nacht beobachtet. Bei einigen Fischen konnten jedoch tageszeitliche Produktionsspitzen beobachtet werden. Bei vielen Wirbeltieren wie Fischen, Amphibien, Reptilien und Vögeln, ist die Zirbeldrüse lichtempfindlich. Bei Fischen befindet sich die Zirbeldrüse direkt unter dem Schädel, der leicht lichtdurchlässig ist, so dass man die Lichtverhältnisse erkennen kann. (MEB/ANPCEN, 2015)

4.3.2.1 Objektive Sicherheit

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**. Die Studie von (Steinbach et al., 2015) fand «little evidence of harmful effects of switch off, part-night lighting, dimming, or changes to white light/LEDs on [...] crime in England and Wales.» Zu komplex ist vermutlich das Zusammenspiel der Faktoren, die zur Durchführung oder Verhinderung eines Delikts führen. (EBP, 2016) «There is no clear scientific evidence that increased outdoor lighting deters crimes. It may make us feel safer, but has not been shown to make us safer.» (IDSA, o. J.)

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; 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).¹³ Auch bei Häusern und Wohnungen¹⁴ wollen Einbrecher nicht gesehen werden und niemandem begegnen. Sie brechen dann ein, wenn sie davon ausgehen, dass sich keine Personen in den Räumlichkeiten aufhalten. Einbrüche in Geschäftsräume finden daher hauptsächlich nachts statt, wenn die Räume leer stehen. (SKP, 2014). (BAFU, 2021)

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.¹⁵ 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 potenzielle 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.

¹³ Im Kontext von Park&Ride oder Bike&Ride an Bahnhöfen zu beachten.

¹⁴ Oder bei Convenience Läden an Bahnhöfen

¹⁵ Z.B. auf unterschiedlich hell beleuchteten Perronabschnitten oder Perronunterführungen

Neben einer gleichmässigen Beleuchtung 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, LED etc.) ab, resp. vom Spektrum, welches das erzeugte Licht aufweist. Vgl. (BAFU, 2021)

4.3.2.2 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 das Bedürfnis haben, sich an dunklen Orten zu treffen, meiden ältere Leute die Dunkelheit eher. 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 Angsträumproblematik ernst zu nehmen, denn sie führt dazu, dass Menschen Umwege in Kauf nehmen, bestimmte Orte meiden, nicht zu Fuss gehen, den öV nicht nutzen oder nicht mehr allein 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» ergab. Während die Beleuchtung in der Stadt 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 und Morici, 2006)

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 Situationen 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. Beleuchtung und Raumgestaltung sollten so angelegt sein, dass Wegführung, Anlaufstellen und allfällige Fluchtmöglichkeiten gut erkennbar sind. (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2015) Die **Orientierung** ist besser möglich, wenn eine

gleichmässige Beleuchtung erfolgt, damit Dunkelzonen und Blendungen vermieden werden. 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)

4.3.2.3 Planungshinweise

Um bei der Planung der Beleuchtung dem Aspekt der Sicherheit genügend Rechnung zu tragen, können gemäss BAFU (2021a) folgende Hinweise nützlich sein:

- **Soziale Kontrolle:** Licht kann seine Sicherheitsfunktion erst dann erfüllen, wenn soziale Kontrolle möglich ist. Ist dies nicht gewährleistet, verbessert eine Beleuchtung die Sicherheit 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:** Eine gleichmässige Beleuchtung erleichtert Erkennbarkeit und Orientierung, indem Blendungen und Dunkelzonen vermieden werden. Starke Lichtkontraste führen zu Blendungen und Bühneneffekten. Dadurch können z. B. potenzielle 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 die vorhandene Beleuchtung im Umfeld zu prüfen, um zu starke Kontraste zu vermeiden. Allenfalls sind bestehende Beleuchtungen zu reduzieren. Vgl. Kapitel 5.2.6 (RTE 26021: Synchronisation der Zeiten mit Gemeinden).
- **Zeitliche Veränderungen der Beleuchtung koordinieren:** Auch bei zeitlichen Veränderungen der Beleuchtung (z. B. Dimmen, Abschalten) 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 unterschiedliches Sicherheitsempfinden. Es ist daher zu berücksichtigen, welches die primären Nutzungsgruppen eines Raumes sind und wie deren Sicherheitsbedürfnisse aussehen. Bei einem Bahnhof ist dies nicht trivial; beispielsweise haben betagte Menschen oder solche mit Sehenschränkungen andere Bedürfnisse als junge Leute (Iannaccone, 2021).

- **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, vgl. auch (EBP, 2016).
- **Unterschiedliche Beleuchtung für unterschiedliche Raum Funktionen:** Innerhalb eines Raumes kann es Teilräume geben, die unterschiedliche Funktionen haben (z. B. Haupt- oder Seitenwege). Diese können durch eine unterschiedliche Beleuchtung oder durch einen Verzicht auf Beleuchtung hervorgehoben werden.
- **Besonderer Lichteinsatz bei potenziellen Gefahrenstellen:** Zum Sichtbarmachen von potenziellen Gefahren- und Konfliktstellen kann punktuell eine andere Beleuchtung gewählt werden als für den Rest eines Raumes oder punktuell eine zusätzliche Beleuchtung angebracht werden.

4.4 Wirkung von Licht auf andere Säugetiere (insbes. Fledermäuse)

«Viele Tierarten wandern im jahreszeitlichen Rhythmus viele tausend Kilometer, bei anderen findet ein Wechsel zwischen einer aktiven Phase während des Sommers und einer passiven Phase, dem Winterschlaf bzw. Winterruhe statt. Der Anteil nachtaktiver Arten, die die Dunkelheit der Nacht für ihren Lebensrhythmus benötigen beträgt bei Wirbeltieren¹⁶ immerhin fast ein Drittel der Arten, bei wirbellosen¹⁷ Tieren sind es sogar 68%.» (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Wie Säugetiere auf Licht reagieren, hängt vom Aufbau ihrer Augen ab. Die Pupillen, die verschiedenen Arten von Linsen und insbesondere die lichtempfindlichen Zellen der Netzhaut, die Stäbchen und Zapfen, spielen dabei eine Rolle. Nächtliche Beleuchtung wirkt sich auf die biologische Uhr von Säugetieren aus und verlängert insbesondere ihren zirkadianen Rhythmus. (Häder, 2004) Sämtliche Fledermäuse sowie die meisten Kleinraub- und Nagetiere sind nachaktiv und werden durch künstliche Beleuchtung stark beeinflusst. Selbst mit dem Mond als einziger Lichtquelle versuchen die meisten nachaktiven Säugetiere, das durch das Licht **erhöhte Prädationsrisiko** zu mindern. So nutzen sie offene Räume weniger, schränken ihre Nahrungssuche und/oder Aktivitätsdauer ein oder konzentrieren ihre Aktivität auf die dunkelsten Stunden der Nacht. (BAFU, 2021)

Bei Ratten hat eine Studie von (Dauchy et al., 1997) gezeigt, dass eine «Lichtverschmutzung» von nur 0,2 Lux während einer natürlichen Nachtphase die Sekretion von Melatonin hemmt, was das Risiko der Tumorentwicklung erhöht. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass ähnliche Auswirkungen auch bei anderen Artengruppen anzutreffen sein könnten (MEB/ANPCEN, 2015). Unter den Säugetieren sind die am meisten betroffenen Arten die Chiropteren [Fledermäuse] (Sibley, 2008). Bestimmte Fledermausarten sind lichtempfindlich (lichtscheu), so die Mausohr-Arten, die Hufeisennasen (Rhinolophus) und die Gruppe der Langohren (Plecotus) (BAFU,

¹⁶ Säugetiere, Vögel, Reptilien und Amphibien, Fische

¹⁷ Insekten (Schmetterlinge, Käfer), Krebstiere, Spinnentiere

2021). Auch der kleine und grosse Abendsegler meiden Lichtquellen (MEB/ANPCEN, 2015). Andere, nicht lichtscheue Arten (*Nyctalus*, *Eptesicus* und *Pipistrellus*) werden durch künstliches Licht hingegen nicht gestört, sondern erbeuten einen grossen Teil oder fast ihre ganze Nahrung (Insekten) in der Nähe von künstlichen Lichtquellen. (BAFU, 2021) und (MEB/ANPCEN, 2015) Diese Anpassungsfähigkeit verschafft ihnen einen Vorteil beim Fangen ihrer Beute. Die lichtscheuen Arten müssen dagegen in weiter entfernten Gebieten jagen, unbeeinflusst von der Anwesenheit von künstlichem Licht. Diese **«neue Organisation» der trophischen Kette** schafft neue Konkurrenz – und sogar **Überprädatation** durch nicht lichtscheue Arten (ASCEN, o.J.), in (MEB/ANPCEN, 2015).

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 aber nicht, da sie viel Beute fressen, die langfristig fehlen wird (Rydell, 2005). (BAFU, 2021)

Strassenbeleuchtung mit hohen Beleuchtungsstärken (> 10 Lux) kann selbst für die lichttolerantesten Arten wie die Zwergfledermaus in bereits fragmentierten städtischen Gebieten als zusätzliche immaterielle Barriere wahrgenommen werden (Hale et al., 2014). Diese müssen dann von ihrem idealen Weg abweichen, zum Beispiel in Bezug auf Jagdqualität und Territorium. Im Allgemeinen kann dies ihren Energieaufwand erhöhen, was möglicherweise nicht durch die Vorteile des Beutefangs ausgeglichen wird. Langfristig könnte diese zusätzliche Quelle der **Fragmentierung** durch Licht die Fledermäuse von ihrem Jagdgebiet isolieren (Stone et al., 2009). (Stone et al., 2012) zeigen, dass LED die Aktivität von langsam fliegenden Fledermausarten (z.B. kleine Hufeisennase) reduzieren würden, ohne dabei schnell fliegende Arten zu beeinträchtigen, zumindest in Umgebungen, die für ihren Lebenszyklus günstig sind. Die Entwicklung solcher Technologien könnte also einen **neuen intra-spezifischen Wettbewerb** schaffen. (Lacoeuilhe et al., 2014) weisen darauf hin, dass über die intra-spezifischen Wettbewerbe hinaus, künstliches Licht die Fledermausaktivität insgesamt reduziert. Weisses Licht von Quecksilberdampf Lampen scheint dabei störender zu sein als die orange Farbe von Natriumdampf-Niederdrucklampen. Für die Breitflügel-Fledermaus ist dies hingegen nicht der Fall, welche nur von der Natriumdampf-Niederdrucklampe negativ beeinflusst zu werden scheint. Obwohl dämmerungs- oder nachtaktiv, haben Fledermäuse die Voraussetzungen für das Tagesehen: dichromatisches Sehen [rot und violett] und UV-Sehen (Müller et al., 2009). Entsprechend sollten **Lampen vermieden werden, die in den niedrigen Wellenlängen strahlen**, da diese Insekten und damit letztlich Fledermäuse anlocken.

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, vgl. «Crash Barrier Effect» oder «Leitplankeneffekt» bei Insekten in Kapitel 4.7. Bekannt ist, dass insbesondere einige Waldfledermausarten wie Bechstein-, Fransen-, Bartfledermäuse, Maus- und Langohren sowie die Hufeisennasen das Licht und beleuchtete Gebiete meiden. Diese sind deshalb unter Umständen gezwungen, lange Umwege zu fliegen, um ihre Jagdgebiete zu erreichen. (BAFU, 2021)

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 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 höhere Beuteangebot während der Dämmerung. Dies führt insbesondere dazu, dass die Jungen später geboren werden und langsamer wachsen (Boldogh et al., 2007).

Nächtliche Beleuchtung wirkt sich auch auf die Konkurrenz aus, was zum Ausschluss einer der konkurrierenden Arten in einem bestimmten Nahrungsaufnahmegebiet führen kann. Die kleinen Hufeisennasen sind ein Beispiel für eine Population, auf welche die Beleuchtung einen negativen Einfluss hat. In vielen Regionen ist der Bestand dieser Art rasch gesunken. Sie hat heute auf nationaler Ebene eine sehr hohe Priorität. Die Tiere sind lichtscheu und nutzen als Nahrungsquelle deshalb nicht die Insekten, die sich in der Nähe von Lampen aufhalten. 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 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), in (BAFU, 2021).

4.5 Wirkung von Licht auf Pflanzen

Der Einfluss des Lichts auf Pflanzen wird deutlich, wenn man den gezielten Einsatz von Licht in der Pflanzenzucht und Agrarindustrie betrachtet. Systematisch beobachtet wurden die Blühzeiten von Pflanzen bereits durch Carl

von Linné im Jahr 1745. Durch das Anlegen einer Blumenuhr stellte der Naturwissenschaftler fest, dass die Blumen genau wie andere Lebewesen über Lichtrezeptoren verfügen und damit sehr genau auf die Tageszeit reagieren können, indem sie ihre Blüten öffnen oder schliessen. Nächtliches Kunstlicht verändert Pflanzenwachstum und Blütenstand und hat so Folgen für die Pflanzenfresser bzw. Bestäuber und deren Nahrungskette. (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Die Funktionsweise des Stoffwechsels und die Entwicklung der Pflanzen sind stark durch den Tag-Nacht-Wechsel bedingt (MEB/ANPCEN, 2015). Zur Wahrnehmung von Licht verwenden Pflanzen unterschiedliche Photorezeptoren und steuern dadurch Prozesse der «**inneren Uhr**». Die Rezeptoren regeln unter anderem zahlreiche Aspekte in der Pflanzenentwicklung wie **Samenkeimung**, Stängelwachstum (durch Licht verhindert), Blattausdehnung (durch Licht ausgelöst), Aufbau des Photosynthese-Apparats (ausgelöst), Übergang vom vegetativen in den Blühstatus, **Fruchtentwicklung** und Alterung. Im Dauerlicht (24 h) eines Versuchsaufbaus **erlahmt das Photosynthese Vermögen** bei manchen Arten. (Gouvernement Luxembourg, 2018) und (BAFU, 2021). Auch (Briggs, 2002) identifiziert mehrere Prozesse, die direkt vom Licht und damit potenziell von künstlicher Beleuchtung beeinflusst werden, so zum Beispiel die **Keimung**, die Fruchtentwicklung oder die Seneszenz (das Altern). (MEB/ANPCEN, 2015) Die Photorezeptoren sind besonders **empfindlich für niedrige (UV, Blau) und hohe (Rot und Nahinfrarot) Wellenlängen** (MEB/ANPCEN, 2015).

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). 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 (BAFU, 2021).

Da Pflanzen auch von Lepidoptera (Schmetterlinge) bestäubt werden, und diese von der Lichtverschmutzung betroffen sind, können Pflanzen auch indirekt durch die Lichtverschmutzung betroffen sein. (MEB/ANPCEN, 2015) Falter tragen an beleuchteten Standorten deutlich weniger Pollen als in natürlicher Dunkelheit. Damit kann die **Reproduktionsleistung** von Pflanzen **gemindert** werden. (Deutscher Bundestag, 2020)

Die Zahl der Bestäuber nimmt weltweit ab. Zu den anthropogenen Faktoren, die mit diesem Rückgang verbunden sind, gehören Lebensraumveränderungen, intensive Landwirtschaft, Pestizide, invasive gebietsfremde Arten und Klimawandel. In jüngster Zeit wurde vorgeschlagen, dass der rasante globale Anstieg des künstlichen Lichts bei Nacht eine neue Bedrohung für Ökosysteme darstellt. Die Folgen dieses Anstiegs für die Funktion der Ökosysteme sind noch weitgehend unbekannt. Knop et al. (2017) zeigen in ihrer Studie, dass künstliches Licht in der Nacht die nächtlichen Bestäubungsnetze stört und negative Folgen für den Erfolg der pflanzlichen Fortpflanzung hat. In künstlich beleuchteten Pflanzenbestäuber-Gemeinschaften wurden die nächtlichen **Pflanzenbesuche** im

Vergleich zu dunklen Bereichen sehr stark **reduziert**. Dies führte insbesondere zu einer Verringerung des Samen-ertrags einer bestimmten Pflanze, obwohl diese auch zahlreiche Besuche von Tagesbestäubern erhielt. Darüber hinaus zeigen die Autoren, dass die negativen Folgen einer **gestörten Nachtbestäubung** auch die **Bestäuber Gemeinschaften am Tag bedroht**. (Knop et al., 2017)

4.6 Wirkung von Licht auf Fische

Lichtquellen, die sich an den **Ufern von Flüssen, Seen, Teichen oder auf/unter Brücken** befinden, können die Funktion dieser Ökosysteme und ihrer Arten stark **stören**. Die Teleostei (echte Knochenfische) stellen 96% der lebenden Fischarten dar. Es wird angenommen, dass deren Fütterung, Migration, Fortpflanzung, Schwarmverhalten, Hautfarbe und Sauerstoffverbrauch direkt mit der Lichtintensität zusammenhängen (Nightingale et al., 2006) und (Falcón, 2011) in (MEB/ANPCEN, 2015).

«Künstliches Licht kann Auswirkungen auf das **Wachstum**, die **Reproduktion** und das **Verhalten** von Fischen haben. Nachtaktive Fische, wie beispielsweise die Regenbogen- und die Meeresforelle nutzen zur Nahrungsaufnahme vor allem dunkle Nächte, nicht aber Vollmondnächte oder künstlich beleuchtete Bereiche. Wanderfischarten wie Lachs oder Aal setzen ihre Wanderung an **illuminierten Brücken** zeitweise nicht fort. Die Tiere verlieren dadurch wertvolle Zeit und verschwenden Energie, die ihnen eventuell nicht mehr zum Erreichen des Zielorts und für eine erfolgreiche Fortpflanzung zu Verfügung steht.» (Gouvernement Luxembourg, 2018) Künstliches Licht entlang von Gewässern und unter Brücken kann dazu führen, dass **Fischartbewegungen unterbrochen** werden und sich das Prädationsrisiko erhöht. Ausserdem kann es bewirken, dass weniger Fischen die Wanderung gelingt. Künstliche Beleuchtung kann auch das Wander- und **Paarungsverhalten** von Fischen **stören** (Nightingale et al., 2005) und (Moore et al., 2005), in (BAFU, 2021).

Bei Fischen ist **Melatonin** bezüglich Zeitmessung das Schlüsselhormon. Es wirkt massgeblich bei der Synchronisation von Stoffwechsel, Physiologie und Verhalten mit den täglichen und jährlichen Schwankungen der Umwelt. (Falcón, 2011) Die Produktion von Melatonin ist extrem empfindlich gegenüber blauen und grünen Wellenlängen, die seine Sekretion stören können (Max und Menacker, 1992) und (Bayarri et al., 2002). «[...] **the blue wavelength was more effective in decreasing melatonin levels** [...]» (Bayarri et al., 2002). (Brüning et al., 2014) zeigen, dass der Flussbarsch bereits bei einer Beleuchtung von 1 Lux gehemmt wird, was ihrer Meinung nach ein ziemlich übliches Beleuchtungsniveau in städtischen Gewässern ist. (MEB/ANPCEN, 2015).

4.7 Wirkung von Licht auf Insekten

«Abend- und nachtaktive Insekten orientieren sich im Flug an den UV-Strahlen der Abendsonne sowie am Mondlicht und fliegen daher oft bis zur völligen Erschöpfung künstliche Lichtquellen an, da sie nicht in der Lage sind, diese von den natürlichen Lichtquellen zu unterscheiden» (Deutscher Bundestag, 2020). «Le phénomène d'attraction des insectes par des lumières artificielles est bien connu [...]» (MEB/ANPCEN, 2015). Die **meisten Insekten sind positiv phototaktisch**, werden also von Licht angezogen, so zum Beispiel Nachtfalter, Käfer, Mücken, Fliegen, Schnaken, Schwebefliegen, Köcherfliegen, Wespen, Wanzen oder Grillen (Eisenbeis and Hassel, 2000), (Kolligs, 2000), (Summers, 1997) und (Frank, 1988). In (BAFU, 2021)

Eisenbeis (2006) klassifiziert das Verhalten von Insekten gegenüber Lichtquellen in drei Hauptkategorien von Effekten (MEB/ANPCEN, 2015) und (BAFU, 2021):

- **«Flight-to-Light Effect»/«Fixations-» oder «Captive»-Effekt** (vgl. Abbildung 16): Wenn sich ein Insekt der Anziehungszone eines Lichtpunktes nähert, sind verschiedene Interaktionen möglich. Meistens kreisen die Insekten um das Licht, bis sie erschöpft sind, anstatt Nahrung zu suchen, sich zu paaren oder Eier abzulegen – bis sie von einem Raubtier gefangen werden. Andere sind in der Lage, den beleuchteten Bereich zu verlassen, um in die dunklen Bereiche zu flüchten.

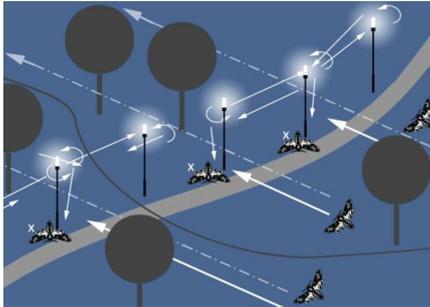
Abbildung 16: «Flight-to-Light Effect»



Quelle: (Gouvernement Luxembourg, 2018)

- **«Crash Barrier Effect» oder «Leitplankeneffekt»** (vgl. Abbildung 17): Bei diesem Phänomen werden die Insekten auf ihrer Flugbahn durch die Lichtschanke blockiert, die durch die leuchtenden Punkte am Rande eines Objektes gebildet wird. Das Licht hindert die Insekten daran, ihrer Flugbahn zu folgen. Bei einem gewissen Abstand der Lichtpunkte kann ein beleuchteter Abschnitt für nachtaktive Insekten zu einer unüberwindbaren Barriere werden und so ihren Lebensraum zerschneiden.

Abbildung 17: «Crash Barrier Effect»



Quelle: (Gouvernement Luxembourg, 2018)

- **«Vacuum Cleaner Effect» oder «Staubsauger»-Effekt** (vgl. Abbildung 18): Insekten, die in der Regel keinen Ortswechsel vornehmen, werden bei diesem Phänomen von ihrem Habitat in Richtung der Lichtquellen weg gelockt.

Abbildung 18: «Vacuum Cleaner Effect»



Quelle: (Gouvernement Luxembourg, 2018)

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. Die Anziehungskraft einzelner Leuchten hängt stark von deren Lichtspektrum ab. (BAFU, 2021) Für Insekten sind besonders die Ultraviolett-Anteile im Licht attraktiv; **durch weisses Licht werden mehr Insekten angelockt als durch gelboranges.** (Stadt Zürich, 2008). Vgl. dazu auch Abbildung 19 und Abbildung 20. Gemäss Iannaccone (2021) sind bezüglich Anlockwirkung aber auch die Form der Leuchte und die Beleuchtungsstärke zu beachten.

Eisenbeis und Hassel (2000) in (Eisenbeis, 2006) schätzen, dass **pro Sommernacht etwa 150 Insekten pro Strassenlaterne getötet** werden, was mehr als einer Milliarde getöteter Insekten pro Nacht an den 6,8 Millionen Strassenlaternen in Deutschland entspricht. **Bezogen auf die 83'000 Lichtpunkte der SBB entspricht dies zwischen 12 und 13 Millionen toter Insekten – pro Nacht.** Nicht nur an Strassen- oder Bahnhofsbeleuchtungen gehen viele Insekten zugrunde, sondern auch an Leuchtreklamen oder beleuchteten Wänden (BAFU, 2021).

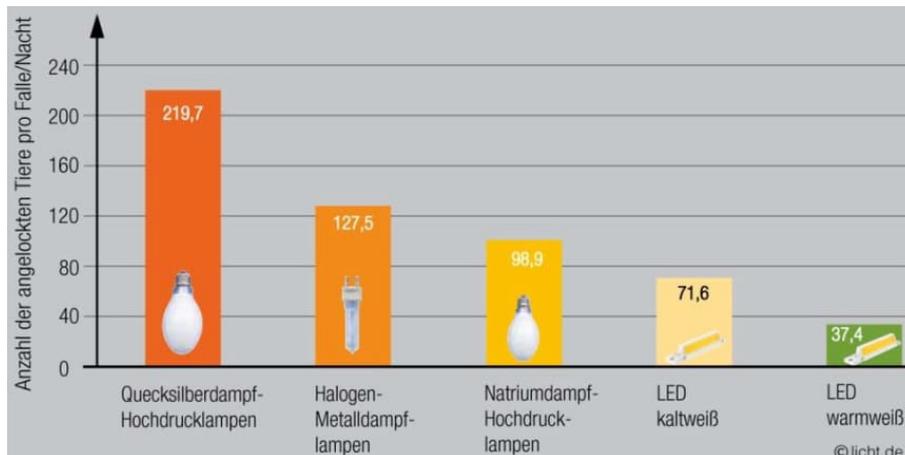
Von Strassenlampen angezogen werden vor allem Nachtfalter, nachtaktive Köcherfliegen und Eintagsfliegen. Leuchtkäfer und Glühwürmchen (Coleoptera) werden von künstlichem Licht in ihrer sexuellen **Kommunikation gestört**, da die Weibchen die Männchen über das von ihnen erzeugte Licht anlocken. Diese Kommunikation wird stark beeinträchtigt, wenn sich das Weibchen in der Nähe einer Lichtquelle befindet (Frank, 2006) und (Lloyd, 2005), in (BAFU, 2021).

Hinsichtlich der Beleuchtungsart empfiehlt Eisenbeis (2006) die Verwendung von Natriumdampf-Niederdruck- anstelle von Natriumdampf-Hochdrucklampen; noch weniger empfiehlt er Quecksilberdampflampen. Studien zeigen, dass Natriumdampf-Niederdrucklampen weniger schädlich für die nächtliche Insektenfauna sind, da sie zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ weniger Insekten anziehen. In diesem Sinne empfiehlt auch (Frank, 2006) die Verwendung von Natriumdampf-Niederdrucklampen. Um den Einfluss der künstlichen Beleuchtung auf die Entwicklungsfähigkeit der Falter zu reduzieren, empfehlen (Van Geffen et al., 2014) Lampen mit einem Spektrum in den längeren Wellenlängen zu bevorzugen. So wurde zum Beispiel beobachtet, dass die Exposition mit niedrigen Wellenlängen dazu führt, dass die Larven früher aus ihren Puppen schlüpfen, als wenn sie rotem Licht ausgesetzt sind. Bei den Männchen führt diese dazu, dass die Raupen weniger Masse haben, als sie haben sollten. Dies könnte ihre Langlebigkeit, ihre Flugfähigkeit und ihre Fruchtbarkeit verringern (Iyengar and Eisner, 1999), (Tammaru et al., 1996), (Caroll, 1994), (Shirai, 1995) und (Shirai, 1993), in (MEB/ANPCEN, 2015).

Abbildung 19 zeigt den Insektenanflug auf verschiedene Lichtquellen. «Nachtaktive Insekten sind besonders empfänglich für Licht im UV und blauem Spektralbereich. Insbesondere kurzwelliges Licht gilt auf Grund des Sehmaximums bei ca. 380-400nm für Schmetterlinge, aber auch viele andere Insektengruppen als besonders attraktiv. **LED mit warm-weisser Farbtemperatur erwiesen sich als die ökologisch verträglichste Variante, da dort der geringste Insektenanflug** zu beobachten war.» (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Gemäss (Eisenbeis und Eick, 2011) ziehen LED zwar weniger Insekten an als ältere Glühbirnen. (Davies et al., 2012) argumentieren aber, dass die neue Technologie mit einem breiteren Lichtspektrum die Auswirkungen der Lichtverschmutzung weiter verschlimmern könnte. In diese Richtung argumentieren auch (Pawson and Bader, 2014). In ihrer Studie weisen sie darauf hin, dass Lichtfallen mit 4'000 Kelvin [neutralweiss] LED 48% mehr Insekten gefangen haben als Fallen mit Natriumdampf-Hochdrucklampen. Damit wird aus Sicht von (Pawson and Bader, 2014) die Reihenfolge aus Abbildung 19 etwas zugunsten von Natriumdampf-Hochdrucklampen geändert. Vgl. in diesem Zusammenhang auch Abbildung 5.

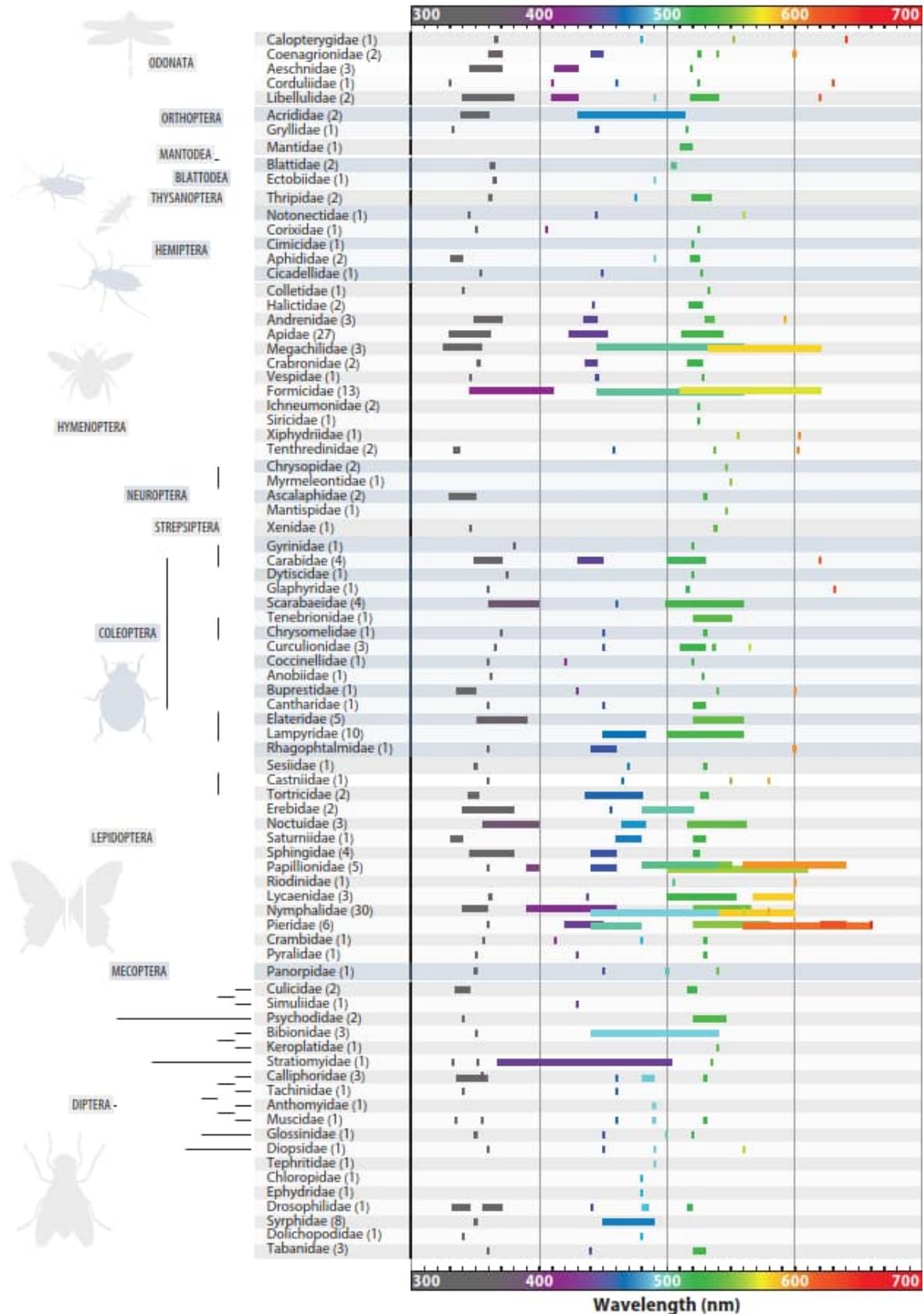
Abbildung 19: Angelockte Tiere in Feldversuchen aus Düsseldorf, Frankfurt und Tirol



Quelle: (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Die Literaturrecherche von (Van der Kooi et al., 2021) ergab Hinweise über die spektrale Empfindlichkeit der Photorezeptoren von 221 Insektenarten in 82 Gattungen aus 13 Ordnungen. Von den untersuchten Insektenarten sind die meisten trichromat, d. h. sie haben **UV-, blau- und grünempfindliche Fotorezeptoren**. Dieses Ergebnis ist jedoch wahrscheinlich durch die umfangreiche Forschung an Hautflüglern verzerrt, von denen fast alle Arten trichromat sind (99). Tetrachromaten haben einen zusätzlichen rotempfindlichen Rezeptor. Schmetterlinge und Libellen sind Insektenordnungen, in denen relativ viele Arten mehr als einen Rezeptortyp mit langwelliger Empfindlichkeit haben. Auffallend ist, dass viele Gruppen überhaupt nicht untersucht wurden und für viele Familien bisher nur eine Art untersucht wurde. Viele Insektengruppen sind nur unzureichend erforscht, darunter zahlreiche früh entstandene Taxa, z. B. Schnabelkerfen, Fransenflügler und die meisten Fliegenfamilien. Vgl. nachstehende Abbildung 20.

Abbildung 20: Spektrale Empfindlichkeitsmaxima für verschiedene Insektenordnungen



Quelle: (Van der Kooi et al., 2021)

4.8 Wirkung von Licht auf Amphibien

Anuren sind Amphibien, deren Larven im Wasser leben (Kaulquappen) und deren erwachsene Tiere, die keinen Schwanz haben, ausserhalb des Wassers leben können (z.B. Frösche und Kröten). Generell haben Anuren aufgrund ihrer Art der Fortbewegung sowie ihrer Abhängigkeit von Feuchtigkeit eine eingeschränkte Mobilität. Entsprechend sind sie im Vergleich zu anderen Arten weniger in der Lage, mit Veränderungen umzugehen bzw. sich an sie anzupassen (Buchanan, 2006) in (MEB/ANPCEN, 2015).

Frösche und Kröten werden in der Schweiz insbesondere aufgrund von anthropogenen Faktoren wie der Zerstörung ihres Lebensraums (drainierte und trockengelegte Feuchtgebiete, verbaute oder kanalisierte oberirdische Fließgewässer) oder des Pestizideinsatzes seltener. Ein wichtiger Faktor spielt dabei auch die künstliche Beleuchtung. Froschlurche reagieren **besonders empfindlich auf die negativen Auswirkungen von künstlichem Licht**, weil sie a) vorwiegend nachtaktiv sind; b) aufgrund ihres komplexen Lebenszyklus mit einer aquatischen und einer terrestrischen Phase unterschiedliche Lebensraumtypen beanspruchen; c) wegen ihrer starken Abhängigkeit von einer Feuchtigkeitsquelle weniger mobil sind als andere Arten; d) Beute und Räuber anderer nachtaktiver Tiere sind, die ebenfalls von Licht beeinflusst werden. (BAFU, 2021)

Beleuchtete Bereiche ziehen tendenziell eine grosse Anzahl von Individuen an, da sie reichlich Beute bieten und einige Arten eine **positive Phototaxis** haben. Die meisten Froschlurche werden von Licht angezogen. Eine experimentelle Untersuchung ergab innerhalb der Ordnung der Froschlurche (Frösche, Kröten, Unken), dass von 121 Arten 87 % durch Licht angelockt werden, also positiv phototaktisch sind (Jaeger and Hailman, 1973). Dies positive Phototaxis stört das natürliche Verhalten dieser Arten. Die Studie von Buchanan (1993) an grauen Laubfröschen zeigt, dass diese durch Blendung vorübergehend gelähmt werden können und dann mehr Zeit brauchen, um ihre Beute zu erkennen oder zu versuchen, sie zu fangen.

Lichtverschmutzung kann auch die **Fortpflanzung** von Amphibien **stören**. Gemäss (Baker, 2006) rufen männliche Grünfrösche, die künstlichem Licht ausgesetzt sind, weniger laut. Zudem bewegen sie sich häufiger als sie es ohne Lichtverschmutzung tun würden, was die Paarung und die Populationsdynamik beeinflusst. Künstliche Beleuchtung stört Froschlurche stark, da diese Lichtquelle intensiv und 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 Sternen- oder Mondlicht erhellt, das in der Atmosphäre 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. Weil bei starkem Licht die Gefahr zur Beute zu werden erhöht ist, ändern die Froschlurche ihr Verhalten: Bei erhöhter Lichtintensität sind die Froschlurche bei ihrer Partnerwahl weniger selektiv (Rand et al., 1997). Bei hellem Licht rufen die Männchen von bestimmten Arten nicht mehr (Longcore and Rich, 2004), in (BAFU, 2021)

Die meisten Froschlurche sehen bei Nacht sehr gut, d. h. bei äusserst schwachem Licht. Die Arten, die sich bei sehr schwacher Beleuchtung entwickelt haben, besitzen Anpassungsmöglichkeiten, dank denen sie geringe Helligkeitsveränderungen in der Umwelt nutzen können. Diese Eigenschaft beeinträchtigt aber ihre Anpassungsfähigkeit bei intensiver Beleuchtung. Beispielsweise kann die Erdkröte noch bei sehr schwacher Beleuchtung von 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 weniger Zeit für den Beutefang haben. (BAFU, 2021)

Wie die übrigen Amphibien reagieren Salamander sehr empfindlich aber auch unterschiedlich auf künstliches Licht. Während die einen Lichtquellen meiden, werden andere von ihnen angezogen. Die Auswirkungen von künstlichem Licht hängen von den Präferenzen des Salamanders für bestimmte Beutearten (Insekten, die vom Licht angezogen werden oder das Licht meiden) und von der Lichtintensität ab. Für die beiden in der Schweiz vorkommenden Salamander gibt es gemäss (BAFU, 2021) keine entsprechenden Studien.

4.9 Wirkung von Licht auf Vögel

Die Auswirkungen von künstlicher Beleuchtung auf Vögel sind gemäss (MEB/ANPCEN, 2015) besonders gut beobachtet und dokumentiert. Es ist bekannt, dass ein grosser Teil der Zugvögel im Frühling und im Herbst in der Nacht unterwegs ist. Dabei orientieren sie sich auf ihrem Weg an den Sternen und am Magnetfeld der Erde. Diese Kombination ermöglicht ihnen eine Orientierung auch bei bedecktem Himmel. Durch künstliches Licht wird diese **Orientierung** aber **beeinträchtigt**. (BAFU, 2021) Die Vögel werden von verschiedenen künstlichen Lichtquellen angezogen und von ihrer Route abgebracht:

- **Lichtglocke:** Bei tiefer Wolkendecke, Dunst oder Nebel wird das Licht von Städten, Agglomerationen und Gebäuden an den Wassertröpfchen in der Luft reflektiert, was zu einem erleuchteten Areal, einer Lichtglocke führt (Manville, 2000). Unter solchen Wetterverhältnissen fliegen Zugvögel bei niedriger Höhe unter der Wolkendecke. Trotz der Möglichkeit zur Orientierung am Erdmagnetfeld ziehen die Vögel die Orientierung

am Licht vor. Bei schlechten Sichtverhältnissen scheinen sie häufig von den Lichtglocken über Städten angezogen zu werden. Wenn sie in diese geraten, 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 Energiereserven für den langen, anstrengenden Flug verloren. Oft sterben die Vögel noch in der Lichtglocke an Erschöpfung oder fliegen in Gebäude und verenden.

- **Punktuelle Lichtquellen:** Nicht nur die Summe der beleuchteten Flächen verwirrt die Vögel in der Orientierung, sondern auch einzelne, beleuchtete Objekte. Die Gefahr geht dabei von der Blendwirkung aus: Die Vögel nehmen Hindernisse in ihrer Flugbahn nicht mehr wahr und fliegen direkt auf die Lichtquelle zu (Wüthrich, 2001).
- **Himmelwärts gerichtete Lichtstrahlen:** Plötzlich auftretende 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. 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). Vgl. (BAFU, 2021)

Neben der direkten Störwirkung kann Lichtverschmutzung auch physiologische Folgen haben, wie die **Störung von Wachstums- und Reproduktionszyklen** (De Molenaar et al., 2006). (Dominoni et al., 2013) zeigen, dass die **Melatonin** Produktion bei Amseln, die einer Lichtintensität von 0,3 Lux ausgesetzt waren, nachts reduziert war. Dies hat vor allem eine Verlängerung der täglichen Aktivitätsperiode zur Folge und könnte die Ursache für Störungen im Fortpflanzungsrhythmus sein. (MEB/ANPCEN, 2015)

Durch die künstliche Aufhellung beginnen Singvögel in beleuchteten Parks oder bspw. in der Nähe von Strassenbeleuchtungen am Morgen früher als im Wald oder in der Nacht zu singen (Bergen and Abs, 1997) und (Derrickson, 1988). Buchfinken, Rotkehlchen, Amseln, Meisenarten beginnen früher am Morgen zu singen (Gouvernement Luxembourg, 2018). 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 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) und (De Molenaar et al., 2005), in (BAFU, 2021)

4.10 Wirkung von Licht auf Lebensräume und Ökosysteme

Es ist schwierig, die Auswirkungen von künstlichem Licht in der Nacht auf Lebensräume vorherzusagen, da diese von den kumulierten Effekten des Lichtes auf die einzelnen Arten oder sogar Individuen abhängen. Zudem liegen bisher nur wenige Studien vor, die den Einfluss von Licht auf Lebensräume oder ganze Ökosysteme evaluieren. Unter Berücksichtigung aller oben erwähnten Einflüsse auf die Arten kann jedoch davon ausgegangen werden, dass nächtliche Beleuchtung **signifikante Auswirkungen auf Lebensräume** hat. (BAFU, 2021)

Die Fragmentierung und Isolation der Lebensräume sind Hauptursachen für den Rückgang der Biodiversität in der Schweiz. **Infrastruktur wie Verkehrswege bilden** am Tag, aber auch – und vielleicht sogar noch eher – **in der Nacht, wenn sie beleuchtet werden, Barrieren**. Die Lebensräume sind untereinander nicht mehr vernetzt und verarmen. Die Ökosysteme funktionieren nicht mehr richtig. Künstliches Licht wirkt sich auf bestimmte Lebensräume besonders stark aus, 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. (BAFU, 2021)

Fünf Parameter des Lichts beeinflussen Tiere und Pflanzen: die **spektrale Zusammensetzung**, die **Intensität**, die **Richtung**, die **Dauer** und **Periodizität** der Beleuchtung. Jeder dieser Parameter wirkt sich je nach Sehvermögen und physiologischer Uhr unterschiedlich auf die Arten aus. Potenziell am stärksten betroffen sind nacht- oder dämmerungsaktive Arten (deren Hauptaktivität in den frühen Morgenstunden und/oder in der Dämmerung liegt). Wenn man verstehen will, wie sich künstliches Licht in der Nacht auf Organismen auswirkt, muss man berücksichtigen, dass **Licht die Attraktion für eine bestimmte Umgebung verändert**. Während gewisse Tiere von Licht angezogen werden (positiv phototaktisch), fliehen andere davon (negativ phototaktisch). Licht verändert auch die Fähigkeiten der Tiere, sich in einer bestimmten Umgebung orientieren zu können. Die Anziehung für oder Meidung einer bestimmten Umgebung sowie ihre Orientierungsfähigkeiten können ihr **Bewegungs-, Fress-, Fortpflanzungs- und Konkurrenzverhalten sowie ihre Kommunikation beeinflussen**. (Tallec, 2014) in (BAFU, 2021)

Die kumulierten Auswirkungen der Anziehung/Meidung sowie der Orientierung/Desorientierung und die dadurch verursachten Verhaltensänderungen können dazu führen, dass die Funktionsweise zentraler Ökosysteme unterbrochen wird. Ein wichtiges Ökosystem kann 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, die seltenen Arten immer seltener. Lichttolerante Arten können sich an künstliche

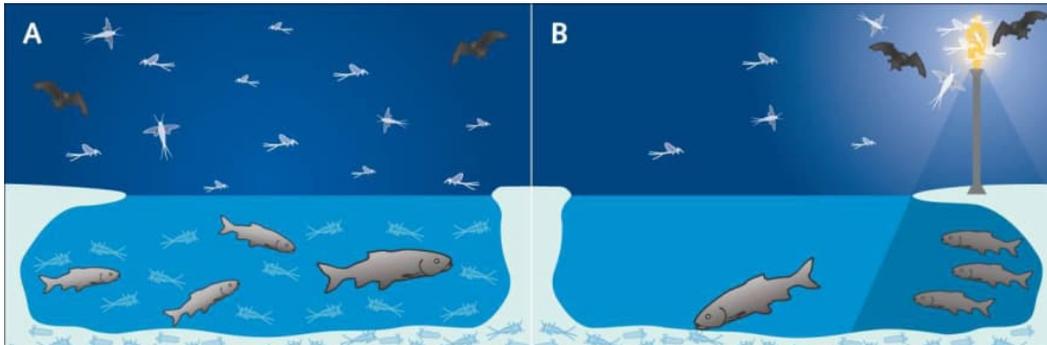
Beleuchtungen anpassen oder profitieren davon. Lichtscheue Arten hingegen leiden darunter und ihre Überlebenschancen sinken (Stadt Zürich, 2008). Vielfach leiden diejenigen Arten am stärksten unter den unerwünschten Auswirkungen von nächtlicher Beleuchtung, die bereits gefährdet oder nicht in der Lage sind, sich anzupassen. (BAFU, 2021)

Unter den vielen Belastungen für die biologische Vielfalt sind die Auswirkungen der künstlichen Beleuchtung, insbesondere in den Industrieländern, ein weit verbreitetes, aber bis etwa vor 10 Jahren noch wenig bekanntes Problem, obwohl 30 % der Wirbeltiere und mehr als 60 % der Wirbellosen teilweise oder ganz in der Nacht leben (Hölker et al., 2010) und die tagaktive Artenvielfalt einen Wechsel zwischen Tag und Nacht braucht. Das zunehmende Eindringen von künstlichem Licht in den letzten 50 Jahren hat Folgen für das natürliche Funktionieren der Ökosysteme und damit letztlich für die menschliche Gesellschaft. (MEB/ANPCEN, 2015)

Lichtverschmutzung betrifft mittlerweile 88% der europäischen und 23% der globalen Landfläche und **breitet sich jährlich um etwa 6% aus** (Falchi et al., 2016) und (Hölker et al., 2010). **80% der Weltbevölkerung leben in lichtverschmutzten Regionen** (Falchi et al., 2016). Die Wirkung von Lichtverschmutzung, insbesondere von LED-Licht, auf die Atmosphäre wird durch die Streuung des Kunstlichts an atmosphärischen Molekülen oder Aerosolen noch verstärkt (Cabrera-Cruz et al., 2018). Infolgedessen ist der Nachthimmel oft deutlich heller als die natürliche Leuchtdichte des Himmels (Van Doren et al., 2017). Lichtverschmutzung als Mass für menschliche Aktivitäten hat direkte Auswirkungen auf Pflanzen (Bennie et al., 2018), Wirbellose (Grenis und Murphy, 2019) und Wirbeltiere, z. B. Schildkröten, Fische und auch Vögel (Dimitriadis et al., 2018), (McLaren et al., 2018) und (Pulgar et al., 2019). Bei der letztgenannten Gruppe wurde ein direkter und indirekter negativer Einfluss von Lichtverschmutzung auf verschiedenen Ebenen der biologischen Organisation beobachtet, darunter die Phänologie (Bennie et al., 2018) und (Gaston et al., 2017), die Raumorientierung (Lorne und Salmon, 2007), das Futtersuchverhalten (Farnworth et al., 2018) und Raubtier-Beute-Interaktionen (Cravens et al., 2018).

Unabhängig davon, ob es sich direkt auswirkt oder nur als eine Massnahme menschlicher Aktivitäten betrachtet wird, **führt künstliches Licht zu einer Verschlechterung der Lebensbedingungen und zu Störungen in der Lebensweise** (Legagneux et al., 2012) sowie zu **Verzerrungen in der Populationsdynamik** (Rushing et al., 2016), in (Kosicki, 2019). Vgl. dazu auch nachfolgende Abbildung 21: Bei nächtlicher Beleuchtung suchen kleine Fische Schutz, grosse Fische verbleiben im Freiwasser und sind durch Beleuchtung in der Lage, nachts frei driftende kleine Gewässerorganismen wie Insektenlarven oder Bachflohkrebse zu fressen. Als Folge davon überleben Gewässerorganismen, die weniger driften und sich verstecken. Einige Fledermausarten und Spinnen profitieren von desorientierten Insekten im Bereich der Beleuchtung. Diese fehlen Fischen und Vögeln als Nahrungsgrundlage. Das Beispiel verdeutlicht die **Destabilisierung eines bestehenden Ökosystems**. (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Abbildung 21: Einfluss des nächtlichen Lichtes auf ein Ökosystem am Beispiel eines Gewässers



Lesehilfe: (A) Natürliche Nacht, (B) das gleiche System künstlich beleuchtet.

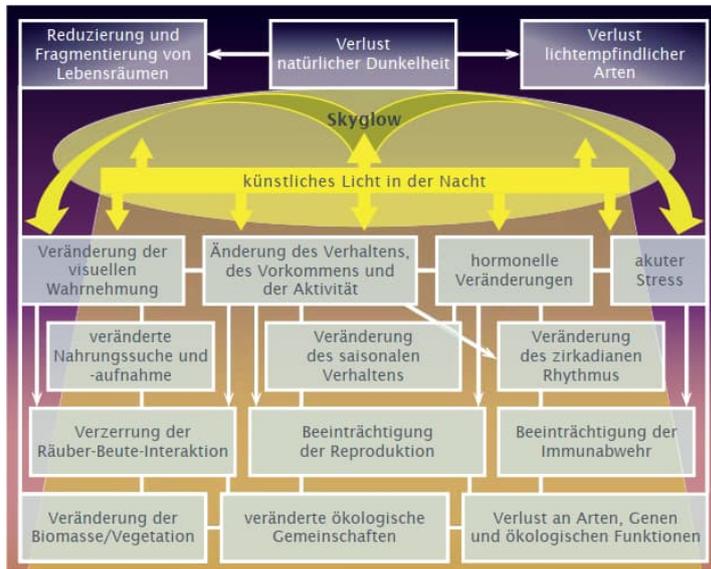
Quelle: (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Ein Grossteil der Erde ist zwar immer noch frei von direktem Kunstlicht, aber das Himmelsleuchten («**skyglow**») – Licht, das von Aerosolen und Wolken zur Erde zurückgestreut wird – ist weit verbreitet. Es kann so schwach sein, dass Menschen es nicht sehen können, es aber trotzdem eine Bedrohung für 30% der Wirbeltiere und 60% der wirbellosen Tiere sein könnte, die nachtaktiv sind und besonders empfindlich auf Licht reagieren. Skyglow hat gemäss (Gaston et al., 2014) «mit ziemlicher Sicherheit» Auswirkungen auf die Artenvielfalt, da die Werte weit über den Schwellenwerten liegen, die viele biologische Reaktionen auslösen. (Irwin, 2018)

«Kunstlicht **stört das Gleichgewicht unserer nächtlichen Ökosysteme** und beeinträchtigt das Verhalten von Tieren und Pflanzen. Die lichtscheuen Arten verlieren in einem veränderten Lebensraum plötzlich die Orientierung, zum Nachteil der lichttoleranten Arten. Dadurch verändert sich einerseits die **Nahrungskette**, andererseits werden auch Pflanzen durch nachtaktive Insekten nicht mehr in gleichem Masse bestäubt. Eine Studie der Universität Bern zeigt, dass beispielsweise die Kohldistel 13 Prozent weniger Früchte produziert und 62 Prozent weniger von bestäubenden Nachtinsekten besucht wird, wenn sie nicht in kompletter Dunkelheit gehalten, sondern künstlich beleuchtet wird. Die nächtliche Lichtverschmutzung ist ein weiteres Beispiel einer langen Liste von menschengemachten Problemen, welche die Biodiversität gefährden. Im Verlauf der letzten 30 Jahre hat sich die Lichtverschmutzung in unserem Siedlungsgebiet nahezu verdoppelt und es muss davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen auf Tier- und Pflanzenwelt weiter zunehmen werden.» (pro natura, 2019)

Die Auswirkungen durch künstliches Licht in der Nacht auf Flora und Fauna sind hochkomplex (vgl. Abbildung 22), artabhängig und insgesamt noch wenig verstanden. Die global beobachtbare Zunahme künstlicher Beleuchtung könnte weitreichende Änderungen in Ökosystemen hervorrufen, die derzeit noch nicht kalkulierbar sind. (Deutscher Bundestag, 2020)

Abbildung 22: Komplexität der Auswirkungen künstlicher Beleuchtung bei Nacht auf Pflanzen und Tiere



Quelle: (Deutscher Bundestag, 2020)

4.11 Wirkung von Licht auf die Nachtlandschaft

Das Landschaftsübereinkommen des Europarates 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» (vgl. Art. 1), (Eidg. Räte, 2012). 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 aufgehellt, dass von blossen Auge nur noch ein **Bruchteil der potenziell wahrnehmbaren Sterne sichtbar** ist. (BAFU, 2012) «Das Kulturgut der Sternenbeobachtung, welches die menschliche Entwicklung begleitet hat, ist nur noch an wenigen Orten in Europa erlebbar.» (Gouvernement Luxembourg, 2018)

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

Nächtliche Lichtglocken, die durch in Richtung des Himmels abgestrahltes oder gestreutes, künstliches Licht von Städten am Horizont gebildet werden, stören auch noch in grosser Entfernung die Sicht auf den Nachthimmel und die Himmelskörper. Die professionelle Astronomie hat sich daher mit ihren Einrichtungen in entlegene Gebiete der Erde oder sogar in den Weltraum zurückgezogen. (Gouvernement Luxembourg, 2018)

Die Landschaftsbeobachtung Schweiz LABES untersucht 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 2012 mehr als verdoppelt. Die Bevölkerung ist im gleichen Zeitraum deutlich weniger stark gewachsen! In den letzten zwanzig 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, 2021)

5 Beleuchtung der SBB Bahnhöfe

5.1 Mengengerüst zu Bahnhöfen und deren Lichtemissionen

Die Beleuchtungswerte in der Norm SN EN 12464-2 werden in Abhängigkeit zum Personenaufkommen kategorisiert. Entsprechend teilt SBB Infrastruktur ihre 754 klassifizierten Bahnhöfe in Bahnhofsklassen nach Aufkommen ein bzw. unterlegt die Wortlaute «sehr gering» bis «hoch» mit konkreten Werten zu Passagieren pro Tag (vgl. Tabelle 1):

Tabelle 1: Bahnhofsklassen und entsprechende Anzahl Bahnhöfe SBB

Bahnhof Klasse	Passagiere / Tag (Passagieraufkommen als Grundlage der Klassifizierung [Durchschnittlicher Werktagsverkehr] gemäss R RTE 26201)	Personenaufkommen (Definition gemäss SN EN 12464 Teil 1 und 2)	Anzahl Bahnhöfe SBB*
1	≥ 20'000	hoch	59
2a	10'000 – 19'999	mittel	43
2b	1'500 – 9'999	mittel	269
3	50 – 1'499	gering	367
4	< 50	sehr gering	11

* Total sind 754 Bahnhöfe klassifiziert, 4 davon haben aufgrund fehlender Personenfrequenzzahlen keine Klassenzuteilung.

Quellen: (VöV, 2021) und (Iannaccone, 2021)

Die SBB verfügt an ihren Bahnhöfen über ca. **83'000** so genannte **Lichtpunkte**¹⁸ sowie knapp **100'000 Leuchtmittel** (vgl. Tabelle 2). Im Durchschnitt zählt damit jeder Bahnhof der SBB rund 110 Lichtpunkte. Bahnhöfe der Klasse 1 mit mehr als 20'000 Kunden/Tag zählen deutlich mehr Lichtpunkte als beispielsweise Bahnhöfe der Klassen 3 und 4 mit weniger als 1'500 Kunden/Tag (VöV, 2021). Für den Unterhalt der Lichtpunkte werden pro Jahr 4 Mio. ausgegeben, für die Erneuerung 0.6 Mio. p.a. Die Beleuchtung hat einen jährlichen Stromverbrauch von rund 28.1 GWh. Dafür fallen Kosten von 4.5 Mio. an. (Etter, 2021) Im Verhältnis zur Gesamtsumme an Investitionen sowie Betriebs- und Unterhaltsausgaben pro Jahr von 1,8–2 Milliarden sind diese Kosten aber vernachlässigbar.

Von den 83'000 Lichtpunkten betreibt SBB Infrastruktur **mehr als 20'000 Lichtpunkte an Perrondächern** in der ganzen Schweiz, an **ungedeckten Perrons sind es weitere viele tausend Lichtpunkte**. Die SBB betreibt heute ungefähr **2'500 Lichtpunkte in Wartehäusern oder Wartebereichen**. In Personenunterführungen sind weitere, viele tausend Lichtpunkte in Betrieb. Schliesslich werden auch Handläufe immer mehr mit Licht ausgestattet – heute bereits einige hundert. (SBB, 2020a) Die **Länge der Bahnhöfe** beträgt bei einer durchschnittlichen Perronlänge von 225 Meter **rund 170 km**. (SBB, o. J. b) Mit anderen Worten: Würde man alle Bahnhöfe aneinanderreihen, wäre eine Strecke von ca. 170 km beleuchtet. Dies entspricht einer gefahrenen Auto Strecke von Genève bis Bern oder von Basel nach Göschenen. Zum Grössenvergleich: Die DB Station&Service betreibt rund 5'400

¹⁸ Zum System Lichtpunkt gehören ab Verteiler: der Anschlusskasten, der Kandelaber, die Halterung/der Adapterkasten, der 5-Pol Stecker, das Vorschaltgerät und die eigentliche Leuchte. Ein Lichtpunkt kann auch eine Leuchte mit zwei Röhren sein. (Etter, 2021)

Bahnhöfe mit regelmässiger Beleuchtung von Bahnhofsgebäuden und Bahnsteigen. Allein die Länge der beleuchteten Bahnsteige beträgt schätzungsweise 1'900 km und damit mehr als das zehnfache jener der Schweiz. (EBA, o. J.) Die Elektrizitätswerke Bern betreiben in der Stadt und Region Bern mehr als 20'000 Strassenleuchten (EWB, 2020), der Flughafen Zürich 2'000 Lichtpunkte (Elektron, 2020), die Gemeinde Interlaken rund 900 Lichtpunkte (Industrielle Betriebe Interlaken, 2016). Die Südostbahn (SOB) setzt an ihren 34 Haltepunkten rund 2'000 Lichtpunkte ein (Allenspach, 2021). Die **SBB verfügt damit rund vier Mal so viele Lichtpunkte an ihren Bahnhöfen wie die mittelgrosse Stadt Bern für ihre Strassenverkehrsbeleuchtung** oder 40-mal so viel wie die SOB.

Bezüglich Leuchtmittel verwendet die SBB unterschiedliche Technologien. Mehr als 50% davon betreffen die Leuchtstofflampe, welche EU-weit – und damit auch in der Schweiz – bis 2023 verboten wird. Hier ist die SBB daran, diese in zukünftigen Beschaffungen zu ersetzen. Vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3.

Tabelle 2: Mengengerüst der SBB Leuchtmittel an Bahnhöfen

Leuchtmittel-technologie	Anzahl	Lichtfarbe [Kelvin]	Farbwiedergabeindex [R _a]	Leistung [Watt Tage] *	Lebensdauer [h]	Effizienz [Lumen/ Watt]
Leuchtstofflampe (Fluoreszenzlampe) ¹⁹	53'079 (53%)	4'000	80	18W / 36W / 54W	≈ 75'000 **	≈ 100
LED ²⁰	26'874 (27%)	4'000	70–80	Diverse	≈ 80'000–100'000	≈ 170-200 ***
Metalldampf- lampe (HQL) ²¹	9'645 (10%)	4'000	80	35–1000W	≈ 30'000 **	≈ 90
Unbekannt	4'927 (5%)	-	-	-	-	-
Kompaktleucht- stofflampe (PL) ²²	2'289 (2%)	4'000	80	10 bis 55W	≈ 20'000	≈ 60
Natrium- dampflampe ²³	2'120 (2%)	2'100	ca. 20	70W / 150W / 250W	≈ 48'000 **	≈ 110
Quecksil- berdampflampe ²⁴	528 (1%)	4'000	40–50	250W / 400W	≈ 10'000	≈ 55

* häufigste Typen, ** Longlife Typen *** neuste Generation

Quelle: (Etter, 2021) und (Iannaccone, 2021)

¹⁹ Meist röhrenförmige Leuchtmittel. Das Innere der Röhre ist meist mit Quecksilberdampf und Argon unter geringem Druck gefüllt. Durch Stromfluss zwischen zwei Elektroden an den Enden wird der Quecksilberdampf zur Emission von ultraviolettem Licht angeregt. Dieses trifft auf eine weisse Schicht aus einem Leuchtstoff an der Innenseite der Glasröhre und regt den Leuchtstoff zur Abstrahlung von weissem Licht an. Der Leuchtstoff wandelt also UV-Licht in sichtbares Licht um. (Paschotta, 2021a)

²⁰ Leuchtdioden (light-emitting-diodes = LED) sind optoelektronische Halbleiterbauelemente, die direkt elektrische Energie in Licht umwandeln können (Elektrolumineszenz). (Paschotta, 2021b)

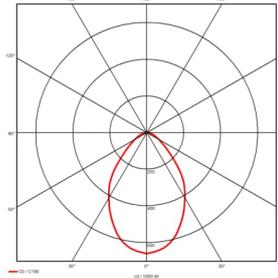
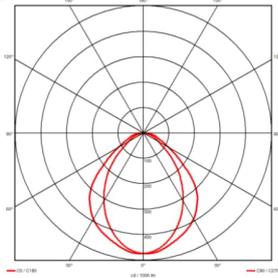
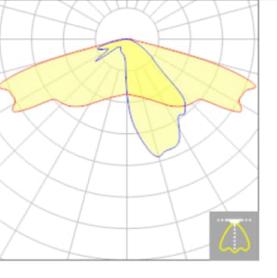
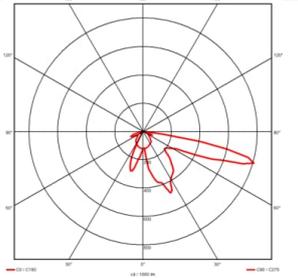
²¹ Form der Gasentladungslampe und eine Weiterentwicklung der Quecksilberdampflampe. Ihr Entladungsgefäss, welches aus Quarzglas oder einer hoch belastbaren Keramik besteht, enthält ein Gemisch verschiedener Substanzen, insbesondere von Metallen wie Quecksilber, Natrium, Rubidium, Calcium, Strontium und gewissen seltenen Erden, zusätzlich gewisse Halogenverbindungen und ein Edelgas wie Xenon oder Neon. Der elektrische Strom wird über zwei Elektroden zugeführt. Er regt diverse Atome in dem Gasgemisch elektronisch an, so dass sie Licht verschiedener Farben aussenden, was insgesamt weisses Licht ergibt. (Paschotta, 2021c)

²² Energie-/Stromsparlampen sind kompakte Leuchtmittel, die in vielen Fällen zum direkten Ersatz von Glühlampen geeignet sind. Die Lichtausbeute von ist fast so hoch wie die von grösseren Leuchtstofflampen – ca. 40 bis 60 lm/W, zu vergleichen mit gut 10 lm/W für Glühlampen und 15–20 lm/W für Halogenlampen. Entsprechend geringer fallen die Betriebskosten und Umweltbelastungen bei der Stromerzeugung aus. Ökologische Probleme ergeben sich durch das giftige Quecksilber, welches in die Umwelt gelangen kann, wenn die Lampe zu Bruch geht oder am Ende ihrer Lebensdauer nicht ordnungsgemäss entsorgt wird. (Paschotta, 2021d)

²³ Natriumdampflampen sind Gasentladungslampen. Sie benötigen ein Vorschalt- und Zündgerät. Bei der Entladung des in den Lampen enthaltenen Natriums kommt es zur Emission von nahezu monochromatischem Licht. Ihr orangefarbenes Licht ermöglicht keine gute Farbwiedergabe. Das orangefarbene Licht lockt weniger Insekten an als rein weisses. (Hoff und Haas-Arndt, o. J. a)

²⁴ Quecksilberdampflampen (HQL) sind wie Natriumdampflampen Gasentladungslampen. Zusätzlich zur Quecksilberdampffüllung enthalten sie meist Argon, um die Zündung zu erleichtern. Es gibt Niederdruck-, Mitteldruck- und Hochdruck-HQL. (Baunetzwissen, o. J. b)

Tabelle 3: LED-Leuchtenparameter

Ort	Wartehaus/Wartehalle	Perron gedeckt	Perron ungedeckt	Rampen-, Treppen- und Stufenbeleuchtung
Leuchte	Deckeneinbauleuchte z.B. Regent Murten LED 	Längsleuchte z.B. Regent Sydney LED 	Mastleuchte z.B. Pro Light Serie 105 LED 	Handlaufleuchte Regent Handlaufleuchte 
Lichtstärkeverteilungskurve ²⁵				
ULOR	0%	0%	0%	0%
Lichtstrom [Lumen]	2'170	4'700	1'120 / 2'180 / 5'460	700
Systemleistung [Watt]	24	47	10 / 19 / 48	7 – 10
Lichtausbeute [Lumen/Watt]	90	100	112 / 114 / 114	70 – 100
Lichtfarbe [Kelvin]	4'000	4'000	4'000	4'000
Farbwiedergabe [Ra]	> 80	> 80	70	> 70
Dimmbereich	10 – 100%	1 – 100%	10 – 100%	1 – 100%
Bedarfsgerechte Steuerung ²⁶	Ja	Ja	Ja	Ja

Quelle: (SBB, 2018/2019)

²⁵ «Die Darstellung der Abstrahlcharakteristik einer Leuchte erfolgt mithilfe von Lichtstärkeverteilungskurven, abgekürzt LVK. Lichtstärkeverteilungskurven beschreiben, wie viel Licht durch die Lichtquelle zur Verfügung gestellt und in welche räumlichen Bereiche Licht abgestrahlt wird.» (Gouvernement Luxembourg, 2018) Die LVK zeigt die in die jeweilige Schnittebene emittierte Lichtstärke in Candela an. (Landesumweltreferenten österreichische Bundesländer, 2017)

²⁶ Digital Addressable Lighting Interface. Mit DALI lassen sich die Leuchten bedarfsgerecht steuern. (SBB, 2020b)

5.2 Vorgaben zur Beleuchtung

5.2.1 Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz)

Am Bahnhof bewegen sich nicht nur Kunden, sondern auch Mitarbeitende der SBB: z.B. Gebäudereiniger, Fachleute des Betriebsunterhalts, Verkehrslogistiker oder Kundenbegleiterinnen. Gemäss Art. 6 Arbeitsgesetz gilt: «Der Arbeitgeber ist verpflichtet, **zum Schutze der Gesundheit der Arbeitnehmer** alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig, nach dem Stand der Technik anwendbar und den Verhältnissen des Betriebes angemessen sind». Vgl. (Eidg. Räte, 2021) Dazu gehört auch, dass **Mitarbeitende nicht durch zu viel oder «falsches» Licht Schaden an ihrer Gesundheit nehmen.**

5.2.2 Verordnung über Unfallverhütung (VUV)

Gemäss Artikel 35 VUV 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. Vgl. (Eidg. Räte, 2018)

5.2.3 Vorgaben zur Arbeitssicherheit

Die Anforderungen der **Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS)** bezüglich Beleuchtung von Arbeitsplätzen und -standorten sowie Arbeitsmitteln sind erfüllt, wenn:

- dort, wo die natürliche Beleuchtung nicht ausreicht, diese durch eine künstliche Beleuchtung ergänzt wird;
- dort, wo sicherheitsrelevante Tätigkeiten auch bei Ausfall der Normalbeleuchtung auszuführen sind, eine **Notbeleuchtung** vorhanden ist;
- der Arbeitsbereich **blendfrei** beleuchtet ist;
- grosse **Helligkeitskontraste vermieden** werden;
- das **Farbspektrum der Beleuchtung der Sehaufgabe angepasst** ist²⁷ (z.B. sicheres Erkennen der Farbe von Elektrodrähten);
- **Störeffekte** durch Flackern oder stroboskopische Wirkung **vermieden** werden. Vgl. (EKAS, o. J.)

«Die Auswahl der Lichtfarbe ist eine Frage der Psychologie, der Ästhetik und dessen, was als natürlich angesehen wird.» (EKAS, o. J.)

²⁷ Das Farbspektrum bestimmt, ob und wie die Farbeigenschaften eines festen Körpers wiedergegeben werden. Festkörperfarben, die im Spektrum der Lichtquelle fehlen, können nicht wiedergegeben werden. Beispiel: Emittiert die Lichtquelle im roten Spektralbereich nur wenig oder keine Strahlung, so wird ein roter Gegenstand eher als braun wahrgenommen. Deshalb wird den Lichtquellen auch die Farbwiedergabe zugeordnet. Als Referenz für dieses System dient eine Standardlichtquelle (eine Glühlampe). Dieser Standardlichtquelle wird die Farbwiedergabe 100 zugeordnet. Unter einer solchen Lichtquelle lassen sich alle Farben sehr gut erkennen (z. B. die Isolationen der Elektrodrähte). (Bodenmann, 2021)

5.2.4 Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV)

Gemäss Art. 34, AB 34.4, Ziff. 2 müssen Perrons ausgeleuchtet werden können. Nach Ziff. 2.1 muss mit der Beleuchtung ein guter Kontrast insbesondere im Bereich der Sicherheitslinien, der Perronkanten und Treppen erreicht und die Lenkung des Publikums in den sicheren Bereich angestrebt werden. **Die Beleuchtung darf weder Reisende noch Triebfahrzeugführende blenden.** Vgl. (BAV, 2020c)

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

Bei der Dimensionierung der Beleuchtungen wird häufig die Norm SN EN 12464-2 herangezogen. Diese enthält neben allgemeinen Vorgaben zur Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Freien auch Vorgaben an die Beleuchtung von Perrons und Gleisanlagen. (BAFU, 2021) Vgl. Tabelle 4.

Tabelle 4: Die wichtigsten Beleuchtungsanforderungen für Bahnen und Strassenbahnen

Ref. Nr.	Art des Bereiches, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m lx	U_o –	R_{GL} –	R_a –	Spezifische Anforderungen
5.12.1	nicht überdachte Bahnsteige mit sehr geringem Personenaufkommen, z. B. Bahnhofteppunkte	5	0,20	55	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/10$
5.12.6	nicht überdachte Bahnsteige mit geringem Personenaufkommen, z. B. Land- und Regionalverkehr	10	0,25	50	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/8$
5.12.7	Gehwege im Bahnbereich, nicht überdachte Fußgängerbrücken	10	0,25	50	20	
5.12.8	höhengleiche Bahnübergänge	20	0,40	45	20	
5.12.9	nicht überdachte Bahnsteige mit mittlerem Personenaufkommen, z. B. Vorort-, Regional oder Fernverkehr	20	0,30	45	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/6$
5.12.15	Treppen, geringes Personenaufkommen	50	0,40	45	40	
5.12.16	nicht überdachte Bahnsteige mit hohem Personenaufkommen, z. B. Fernverkehr	50	0,40	45	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/5$
5.12.17	überdachte Bahnsteige mit geringem Personenaufkommen, z. B. Vorort-, Regional- oder Fernverkehr	50	0,40	45	40	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/5$

Ref. Nr.	Art des Bereiches, Aufgabe oder Tätigkeit	\bar{E}_m lx	U_o –	R_{GL} –	R_a –	Spezifische Anforderungen
5.12.19	überdachte Bahnsteige mit hohem Personenaufkommen, z. B. Fernverkehr	100	0,50	45	40	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/3$
5.12.20	Treppen, hohes Personenaufkommen	100	0,50	45	40	

Quelle: (Schweizer Norm, 2014)

5.2.6 R RTE²⁸ 26201 Beleuchtung Bahninfrastruktur

Die RTE 26201 gibt Empfehlungen für sämtliche Beleuchtungsanlagen der Schweizer Bahnen ab und richtet sich an interne und externe Fachplanende im Bereich der Beleuchtungsanlagen. Die Umsetzung der Vorgaben erfolgt bei wesentlichen²⁹ Veränderungen der Beleuchtungsanlagen: Projektierung von neuen Beleuchtungsanlagen³⁰ oder bei bestehenden Anlagen, wenn es die Sicherheit zwingend erfordert (Art. 10 Abs. 2 EBV). Die RTE 26201 ersetzt die bis September 2021 geltende Regelung «SBB I-50103 Beleuchtung der Bahnhöfe, Gleisfelder und Tunnel (01.09.2018).»

Im Kapitel «Grundlagen» verweist die Regelung auf die hoheitlichen Regelungen (z.B. AB-EBV), Normen (z.B. SN EN 12464-2) sowie Richtlinien (z.B. Vollzugshilfe Lichtemissionen des BAFU). Im Vergleich zur alten I-50103 enthält die Regelung im Kapitel «Normen» neu auch die SIA 491 («Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Außenraum»). Das Kapitel «Grundsätze» behandelt Themen wie die Sichtbarkeit fahrdienstlicher **Signale** (keine Beeinträchtigung der Sichtbarkeit), **Blendung** (Entblendung, Planung der Anlagen mit Werten, die um 10 unter dem Grenzwert gemäss SN EN 12464-2 liegen [GR_L³¹-10]), **beleuchtete Flächen und Beleuchtungszeiten** (Minimum an beleuchteten Flächen, Ausschalten bzw. Dimmung auf minimalen Wert bei Nichtverwendung, Abschalten oder Reduktion der Beleuchtung zwischen 22 und 6 Uhr), **Lichtemissionen durch Streulicht** (Begrenzung auf Minimum), **Störlicht durch Reflexionen** (möglichst tiefe Leuchtdichte in Bereichen mit Überkopf-/Abfahrtanzeigen, z.B. am Perrondach), **Farbtemperatur** (Empfehlung von 4'000 Kelvin), **Farbwiedergabeindex** (Mindestwert von $R_a = 70$ bei Neuanlagen), **Ausleuchtung der Perronkante** (überdachte (nicht überdachte) Perrons: Beleuchtungsstärke eines 1 m breiten Streifens an der Perronkante sollte noch mindestens $\frac{2}{3}$ ($\frac{1}{2}$) des Beleuchtungsstärke

²⁸ Die R-Regelungen sind Ergänzungen bzw. Lösungsvorschläge zu hoheitlichen Erlassen und Normen mit Regelungs- bzw. Weisungscharakter. (VöV, 2021)

²⁹ Ersatz ganzer Anlagen. I.d.R. ist eine Veränderung dann wesentlich, wenn ein Plangenehmigungsverfahren für den Umbau der Anlage erstellt werden muss. (VöV, 2021)

³⁰ Diese Regelung gilt nur für Neuanlagen. Bestandsanlagen müssen die Vorgaben in diesem Dokument nicht zwingend erfüllen, es besteht kein Anspruch auf Nachbesserung. (VöV, 2021)

³¹ Glare rating limit; Grenzwert für die Blendung von Beleuchtungsanlagen im Freien (VöV, 2021)

wertes der gesamten überdachten Perronfläche erreichen), **Beleuchtung im Kontext des Behindertengleichstellungsgesetzes** (z.B. Blendung begrenzen, Gleichmässigkeit, Leuchten nach unten richten, keine nach oben strahlenden Leuchten), Beleuchtung im Kontext des **Umweltschutzes** (vgl. Abbildung 23)

Das Kernstück der RTE 260201 befindet sich in Kapitel «Lichtvorgaben im Bereich Bahnzugang», vgl. Tabelle 5 und Tabelle 6. Die Regelung beginnt mit der Definition von drei Betriebszeiten: Hauptfrequentierung (HF) von 06:00–22:00 Uhr, Nebenfrequentierung (NF) von 22:00–06:00 Uhr und Betriebsschluss (BS) individuell je Bahnhof. In der NF wird die Beleuchtungsstärke reduziert und an das reduzierte Passagieraufkommen angepasst. Als BS aus Sicht der Beleuchtung gilt an einem Bahnhof jener Zeitraum, in dem zwischen dem letzten Zug in der Nacht und dem ersten am Morgen keine Züge mehr einen planmässigen Halt zum Ein- und Aussteigenlassen von Passagieren einlegen. Der BS beginnt 30 Minuten nach dem Halt des letzten Zuges in der Nacht und endet 30 Minuten vor dem ersten Halt eines Zuges am Morgen. Nach dem BS ist die Beleuchtung möglichst komplett auszuschalten. In Anlagen und Bereichen, die nach BS für die Öffentlichkeit nicht mehr zugänglich (abgeschlossen) sind, ist die Beleuchtung grundsätzlich auszuschalten.

Tabelle 5: Beleuchtung von überdachten Aussenanlagen im Bahnzugang.

Bereich	E_m HF [Lux]	E_m NF [Lux]	E_m BS [Lux]	U_0 [-]	U_d [-]	GR_L [-]	R_s [-]	Quelle
Abstellbereiche für Fahrräder	5	5	0	≥ 0.25	–	≤ 55	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.9.1
Perrons überdacht								
Bhf. Klasse [1]; [2a]	100	100	0 / 50	≥ 0.50	$\geq 1/3$	≤ 45	≥ 40	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.19
Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	50	50	0 / 50	≥ 0.40	$\geq 1/5$	≤ 45	≥ 40	Ref. Nr. 5.12.17
Treppen, Rampen überdacht								
Bhf. Klasse [1]; [2a]	100	100	0 / 50	≥ 0.50	–	≤ 45	≥ 40	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.20
Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	50	50	0 / 50	≥ 0.40	–	≤ 45	≥ 40	Ref. Nr. 5.12.15

E_m : Mittlere Beleuchtungsstärke [Lux], U_0 : Gleichmässigkeit einer Beleuchtungsanlage, berechnet durch E_{min}/E_m , U_d : Ungleichmässigkeit einer Beleuchtungsanlage, berechnet durch E_{min}/E_{max}

Quelle: (VöV, 2021)

Tabelle 6: Beleuchtung von nicht überdachten Aussenanlagen im Bahnzugang.

Bereich	E_m HF [Lux]	E_m NF [Lux]	E_m BS [Lux]	U_0 [-]	U_d [-]	GR_L [-]	R_s [-]	Quelle
Bahnhofsplatz (Verkehrsflächen)								
mit langsamem Verkehr (max. 10 km/h)	10	k.A.	k.A.	≥ 0.40	–	≤ 50	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.1.2
mit regelmässigem Verkehr (max. 40 km/h)	20	k.A.	k.A.	≥ 0.40	–	≤ 45	≥ 20	Ref. Nr. 5.1.3
Gehwege im Bahnbereich, nicht überdachte Fussgängerbrücken	10	5	0 / 5	≥ 0.25	–	≤ 50	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.7
Parkplatz								
Geringes Verkehrsaufkommen	5	5	k.A.	≥ 0.25	–	≤ 55	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.9.1
Mittleres Verkehrsaufkommen	10	k.A.	k.A.	≥ 0.25	–	≤ 50	≥ 20	Ref. Nr. 5.9.2

Perrons nicht überdacht									
Bhf. Klasse [1]	50	20	0 / 5	≥ 0.40	≥ 1/5	≤ 45	≥ 20	SN EN 12464-2	
Bhf. Klasse [2a]; [2b]	20	10	0 / 5	≥ 0.30	≥ 1/6	≤ 45	≥ 20	Ref. Nr. 5.12.16	
Bhf. Klasse [3]; [4]	10	10	0 / 5	≥ 0.25	≥ 1/8	≤ 50	≥ 20	Ref. Nr. 5.12.6	
Perrons nicht überdacht <u>situativ</u>									
Alle Bahnhofsklassen	10	10	0 / 5	≥ 0.25	≥ 1/8	≤ 50	≥ 20	SN EN 12464-2	
Letzte max. 30 m der Perronendbereiche ohne Zugang von extern zum Perron. Z.B. schmale Perronenden.									
Perronzugang über das Gleis	20	20	0 / 10	≥ 0.30	≥ 1/6	≤ 45	≥ 20	SN EN 12464-2	
Ref. Nr. 5.12.9									
Rampen nicht überdacht									
Bhf. Klasse [1]	50	20	0 / 5	≥ 0.40	≥ 1/5	≤ 45	≥ 20	SN EN 12464-2	
Bhf. Klasse [2a]; [2b]	20	10	0 / 5	≥ 0.30	≥ 1/6	≤ 45	≥ 20	Ref. Nr. 5.12.16	
Bhf. Klasse [3]; [4]	10	10	0 / 5	≥ 0.25	≥ 1/8	≤ 50	≥ 20	Ref. Nr. 5.12.9	
Ref. Nr. 5.12.6									
Treppen ≤ 3 Stufen^{a)} nicht überdacht									
(als Niveaueausgleich)									
Bhf. Klasse [1]	15	15	0 / 15	≥ 0.20	–	–	–	SNR 13201-1	
Bhf. Klasse [2a]; [2b]	15	10	0 / 10	≥ 0.20	–	–	–	SN EN 13201-2	
Bhf. Klasse [3]; [4]	10	10	0 / 10	≥ 0.20	–	–	–	Klasse P1	
Klasse P1 / P2									
Klasse P2									
Treppen nicht überdacht									
Bhf. Klasse [1]; [2a]	100	100	0 / 50	≥ 0.50	–	≤ 45	≥ 40	SN EN 12464-2	
Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	50	50	0 / 50	≥ 0.40	–	≤ 45	≥ 40	Ref. Nr. 5.12.20	
Ref. Nr. 5.12.15									

Quelle: (VöV, 2021)

Abbildung 23: Beleuchtungsgrundsätze im Kontext des Umweltschutzes

Grundsätze	Mögliche Massnahmen
<p>Nur beleuchten was beleuchtet sein muss</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Beleuchtete Flächen minimieren – Auswirkungen auf angrenzende Flächen / Natur so weit als möglich vermeiden – Dekorative Beleuchtungen, Werbebeleuchtungen reduzieren / zeitlich begrenzen
<p>Korrekte Ausrichtung der Leuchten</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Leuchten korrekt auf die Zielfläche ausrichten – Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) optimieren (die richtige Leuchte am richtigen Ort)
<p>Nur dann beleuchten wenn nötig</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Zeitschaltuhr – Dämmerungsschalter (korrekt eingestellt) – Bewegungsmelder (situativ) – Werbebeleuchtungen nach Betriebsschluss ausschalten

<p>Normwerte erfüllen, aber nicht übererfüllen (betrifft insbesondere die Beleuchtungsstärke)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Anwenden der Normwerte für Flächenbeleuchtungen – Anwenden der Normwerte für Leuchtschilder (Leuchtdichte) – Korrekt gewählter Wartungsfaktor – Lichtstromkonstanthaltung (CLO) – Einsatz von Leuchten mit kleinem Temperaturdrift (z.B. LED)
<p>Kein in den Himmel strahlendes Licht</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Korrekte Ausrichtung der Leuchten – Einsatz von Full-Cutoff Leuchten (keine Lichtabgabe in den oberen Halbraum) – Anstellwinkel von Leuchten wenn immer möglich vermeiden – Verzicht auf Skybeamer o.ä. – Einsatz von Gobo-Projektionsstrahlern bei Fassadenbeleuchtungen
<p>Kein kaltweisses Licht verwenden</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Einsatz von neutralweissem (4'000 K) Licht wird empfohlen – Zusätzlich: Reduktion von IR- und UV-Anteilen im Licht durch Einsatz von LED-Leuchten

Quelle: (VöV, 2021)

5.2.7 SIA 500 Hindernisfreie Bauten

Die Verordnung des UVEK über die technischen Anforderungen an die behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen Verkehrs (VAböV) regelt unter anderem die technischen Anforderungen an die behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen Verkehrs im Allgemeinen. Gemäss Art. 2 Abs. 1 ist für die Anforderungen an die behindertengerechte Gestaltung von Bauten und Anlagen die Norm SIA 500 «Hindernisfreie Bauten», Ausgabe 2009, massgebend. «Die SIA 500 definiert, wie im Hochbaubereich das Postulat der Gleichstellung zu erfüllen ist.» *Wo* hindernisfrei gebaut werden muss, wird durch Gesetze und Vorschriften auf eidgenössischer, kantonaler und kommunaler Ebene geregelt. *Wie* hindernisfreie Bauten zu gestalten sind, definiert die SIA 500. Zu Bauten von Verkehrsanlagen gehören auch die Bahnhöfe als Bauten von öffentlich zugänglichen Verkehrsmitteln. Im Kapitel «Orientierung und Beleuchtung» ist die Anforderung stipuliert, dass Blendungen, Spiegelungen und Reflexe die Orientierung nicht beeinträchtigen dürfen. Sodann muss der Helligkeitskontrast bestimmte Mindestwerte erfüllen³². (Schweizer Norm, 2009)

³² Die Bestimmung der Kontraste kann anhand des Reflexionsgrads der beiden Flächen erfolgen. Der Reflexionsgrad bezeichnet den von einer Fläche reflektierten Anteil des Lichtes, welches auf die Fläche auftrifft. Dabei ist der Reflexionsgrad einer absolut schwarzen Fläche 0, jener einer absolut weissen Fläche 1. In der Praxis werden Reflexionsgrade von 0 oder 1 nie erreicht. Der Reflexionsgrad eines Materials oder einer Farbe kann im Labor ermittelt werden (Materialwert). Für viele Materialien und Farben werden diese Materialwerte vom Hersteller

Die Beleuchtung muss die Anforderungen gemäss Norm SN EN 12464-1³³ erfüllen. Sicherheit und Orientierung sind durch Beleuchtungsstärke, Blendungsbegrenzung und Leuchtdichteverteilung zu gewährleisten:

- **Beleuchtungsstärke:** In Anlehnung an die SN EN 12464-1 fasst die SIA 500 einige für das hindernisfreie Bauen wesentliche Beleuchtungsstärken zusammen. Interessant ist, dass demgemäss Parkflächen eine minimale Beleuchtungsstärke von 75 Lux, Zirkulationswege von 100 Lux, Treppen und Rolltreppen sowie Warteräume von 200 Lux aufweisen müssten. Nach SN EN 12464-1 soll die Beleuchtungsstärke auf Treppen und Rolltreppen 150 Lux nicht unterschreiten. Aus Gründen der Sicherheit empfiehlt die SIA 500 aber eine Beleuchtungsstärke von 200 Lux, insbesondere bei Stufen sowie beim An- und Austritt von Treppen und Rolltreppen³⁴. (Schweizer Norm, 2009) Bezüglich Beleuchtungsstärke besteht demnach eine relativ hohe Diskrepanz zu den Vorgaben der RTE 26201 des VöV. Dies ist sicherlich auch dem Grund geschuldet, dass die SIA 500 vor über 12 Jahren herausgegeben, die RTE 26201 dagegen im Jahr 2021 veröffentlicht wurde. In der Zwischenzeit haben sich die Vorgaben an die Beleuchtung der Bahninfrastruktur nach unten – also in Richtung tiefere Beleuchtungsstärken – entwickelt.
- **Leuchtdichteverteilung:** Die Gleichmässigkeit der Beleuchtung ist ausschlaggebend für die Vermeidung von Relativblendung³⁵. Folgende Anforderungen sind zu beachten: Leuchtdichtenunterschiede im Blickfeld sollen das Verhältnis von 1:10 nicht überschreiten. Dunkle Zonen und starke Schattenbildung sind zu vermeiden, welche die Sicherheit z.B. auf Verkehrswegen und Treppen beeinträchtigen. Der Reflexionsgrad von Decken soll mindestens 0,6, jener von Wänden mindestens 0,3 betragen, um eine ausgewogene Leuchtdichteverteilung zu gewährleisten. (Schweizer Norm, 2009)
- **Blendung durch Reflexion:** Reflexblendung wird verursacht durch Spiegelungen von Lichtquellen auf glänzenden Oberflächen. Dadurch können zu grosse Leuchtdichtenunterschiede im Gesichtsfeld entstehen, was Relativblendung bewirkt. Glanz auf dem Sehobjekt vermindert die dort vorhandenen Kontraste und verschlechtert damit die Sehbedingungen. Spiegelungen im Umfeld stören und ziehen die Aufmerksamkeit an. Sehbehinderte Personen haben Mühe, Spiegelungen von realen Objekten zu unterscheiden, was Fehlinterpretationen provoziert und ihre Sicherheit gefährdet. (Schweizer Norm, 2009)

angegeben. Bei höherem Beleuchtungsniveau sind dieselben Kontraste besser wahrnehmbar als bei tieferem. Insbesondere bei Informationen mit Warnfunktion sind die Anforderungen an den Mindestkontrast und die Anforderungen an die Beleuchtung nach SN EN 12464-1 gleichzeitig zu erfüllen. (Schweizer Norm, 2009)

³³ Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen. Diese für Arbeitsstätten entwickelte Norm gilt auch als Mindestvorgabe für öffentlich zugängliche Bauten. (Hindernisfreie Architektur, o. J.)

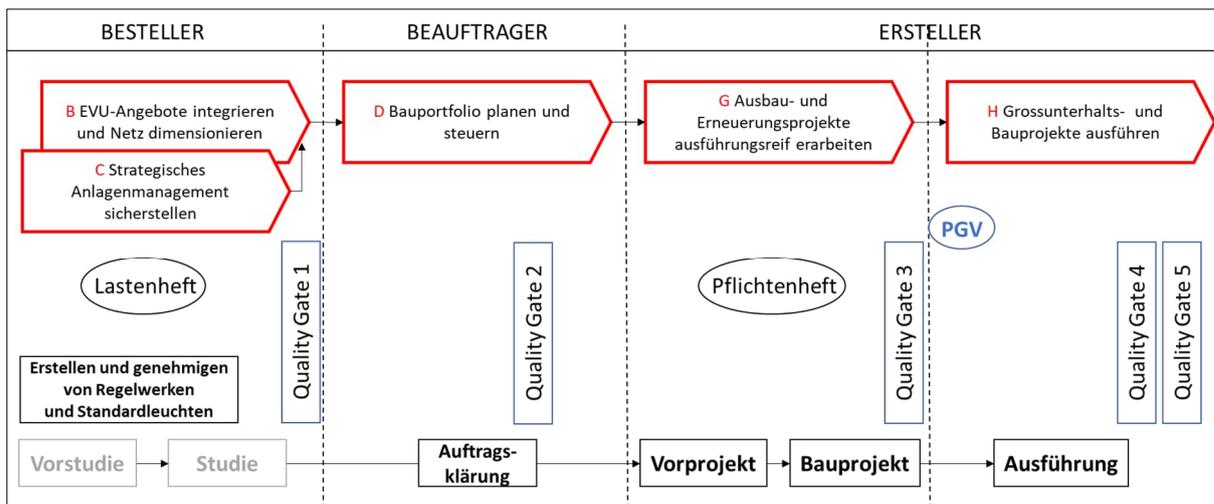
³⁴ «Die in SN EN 12464-1 angegebenen Werte der Beleuchtungsstärken gelten für die Bewertungsfläche der Sehaufgabe, welche horizontal, vertikal oder geneigt sein kann. Für das Ablesen und Absehen der Sprechbewegungen, das Lesen von Informationstafeln usw. ist die Beleuchtungsstärke auf vertikalen Flächen ausschlaggebend. Sie ist auch massgebend für die Leuchtdichte der Wände und trägt zu einer gleichmässigen Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld bei. In der Regel soll die mittlere Beleuchtungsstärke auf vertikalen Flächen das 0,3 bis 0,7-fache der horizontalen Beleuchtungsstärke betragen.» (Schweizer Norm, 2009)

³⁵ «Aufgrund ihrer Ursachen werden verschiedene Arten von Blendung unterschieden. Absolutblendung: zu hohe Leuchtdichten im Gesichtsfeld, die durch Adaptation nicht ausgeglichen werden können. Relativblendung: zu grosser Leuchtdichtenunterschied im Gesichtsfeld, z.B. zwischen der leuchtenden Fläche einer Leuchte und der Leuchtdichte der Umgebung. Adaptationsblendung: unvermittelte Änderung der Leuchtdichten im Gesichtsfeld, z.B. beim Übertritt vom Hellen ins Dunkle oder umgekehrt.» (Schweizer Norm, 2009)

5.3 Von der Planung bis zur Umsetzung der Beleuchtung

In den nachfolgenden Ausführungen wird dargestellt, wie ein Beleuchtungsprojekt von der Planung bis zur Umsetzung typischerweise entwickelt wird. Auf der Prozesslandkarte im Anhang A sind alle Prozessschritte dargestellt. Wesentlich für das vorliegende Thema sind insbesondere die Prozesse B/C, D sowie G/H. Typischerweise bestellt Prozess B/C ein Vorhaben bei Prozess D. Prozess D beauftragt ein Vorhaben an Prozess G/H, vgl. Abbildung 24. (SBB, 2021)

Abbildung 24: Von der Vorstudie bis zur Ausführung.



Quelle: Eigene Darstellung, angelehnt an (SBB, 2021a)

5.3.1 Ausschreibung Rahmen- und Standardprodukte

Nebst der Festlegung der Richtlinien (VöV Regelung RTE 26201) werden zu Beginn des Prozesses die Rahmen- und Standardprodukte ausgeschrieben. «Diese werden alle 5 Jahre öffentlich ausgeschrieben und müssen eine Reihe von Vorgaben erfüllen (Blendwerte, Stromverbrauch, Lebensdauer, Gleichmässigkeit, Lichtfarbe u.a.m.) Der Sieger dieser Ausschreibung darf seine Leuchten dann während 5 Jahren zu einem definierten Fixpreis anbieten. Diese Ausschreibung wird immer vom Besteller durchgeführt. In die Ausschreibungen werden auch neue Erkenntnisse aus Umweltschutz und Erfahrungen aus laufenden Projekten integriert.» (Berchtold, 2021)

5.3.2 Studie

Im Rahmen der Studie werden die konkreten Anforderungen und Vorgaben des Bestellers³⁶ (Prozess C) an das Projekt gestellt. Beispielsweise gibt dieser vor, welche Standardleuchten zu verwenden sind. Bereits in der Studienphase müssen Fragen beantwortet werden wie beispielsweise: Wird eine Personenunterführung mit Tages-

³⁶ I-NAT-PAG-TAMM (Infrastruktur-Netzdesign, Anlagen und Technologie-Publikumsanlagen und Gebäude-Technologisches Anlagenmanagement)

oder Kunstlicht beleuchtet? Wie viele Lampen braucht es wo? Für Beleuchtungsprojekte gibt es allerdings fast nie Studien. Meist wird im Vorprojekt oder im Bauprojekt mit den Richtlinien (RTE 26201) gestartet. (Staub, 2021) und (Berchtold, 2021)

5.3.3 Auftragsklärung

Im Rahmen der Auftragsklärung findet eine Begehung vor Ort statt. Dort wird beispielweise geprüft, ob die Leuchten gemäss Anweisungen des Bestellers montiert werden können. Sind die Kandelaber platzierbar und stimmen die Abstände? Wie gut sind die bestehenden Personenunterführungen oder Zugangswege zum Bahnhof beleuchtet? Können die Beleuchtungsprodukte gemäss Rahmenverträgen eingesetzt werden? Bei der Begehung vor Ort sind dabei: der Besteller und lokale Bahnmanager³⁷, der Ersteller³⁸ und der operative Anlagenmanager/-bewirtschafter³⁹. (Berchtold, 2021) und (Staub, 2021) Bei kleineren Projekten wird bereits bei der Auftragsklärung erörtert, ob ein Plangenehmigungsverfahren (PGV) erstellt werden muss.

5.3.4 Vorprojekt

Im Vorprojekt wird die Projektierungsanweisung des Bestellers ausgewertet. Der Ersteller beschafft die Elektro-/Lichtplaner. Die SBB kontrolliert, ob die Elektro-/Lichtplaner die Richtlinien einhalten. (Staub, 2021) Bei grossen Projekten werden die Leistungen von Elektro-/Lichtplanern ausgeschrieben. Ob nur Elektro- oder auch Lichtplaner beschafft werden, wird situativ entschieden. **Bei kleinen Bahnhöfen findet praktisch nie eine separate Lichtplanung statt.** Der Elektroplaner übernimmt diese Aufgabe.

Auf Basis der **Projektierungsanweisung** nimmt der Elektroplaner die Planung vor. Dieser macht einen Vorschlag, der anschliessend zu einem der beiden Beleuchtungsunternehmen geht: Im gedeckten Bereich handelt es sich um die Regent AG⁴⁰, im ungedeckten Bereich um die Pro Light GmbH⁴¹. Die Unternehmen prüfen den Vorschlag des Elektroplaners und schlagen ggfs. Anpassungen vor. Bei grösseren Projekten (z.B. Zürich oder Aarau) wird immer auch eine Lichtplanung erstellt. Diese stützt sich auf die Erfahrungen der vergangenen Jahre und auf Referenzplanungen. Da Lichtplanungen kaum je über die Freigrenze von 150'000 CHF zu liegen kommen, erfolgt für diese keine Ausschreibung. Für die Wahl der Lichtplaner durch die Projektleiter gibt es keinen konkreten Anforderungskatalog.

³⁷ I-NAT-PAG-BAM (Infrastruktur-Netzdesign, Anlagen und Technologie-Publikumsanlagen und Gebäude-Anlagenmanagement Bahnhof)

³⁸ I-AEP-ENG-BZT (Infrastruktur-Ausbau- und Erneuerungsprojekte-Engineering-Bahnzugang und Technische Anlagen)

³⁹ I-VU-OCT (Infrastruktur-Verfügbarkeit und Unterhalt-Operation Center Technik)

⁴⁰ «Die Regent Beleuchtungskörper AG mit Sitz in Basel beschäftigt rund 600 Mitarbeiter in sechs Ländern, ist Marktführer in der Schweiz und einer der führenden Leuchtenhersteller in Europa.» (Regent Lighting, 2021)

⁴¹ «Das Unternehmen Pro Light GmbH besteht seit Februar 2000 und hatte sich bei der Gründung als Schwerpunkt gesetzt, Planungen, Entwicklung sowie die Realisierung von innovativen Beleuchtungsanlagen durchzuführen.» (Pro Light, 2021)

Die **Lichtplaner**, mit denen die SBB aktuell zusammenarbeitet, sind unter anderem:

- Vogt und Partner aus Winterthur. Projekte: z.B. Bahnhof Hardbrücke, Bahnhof Oerlikon oder Altstetterplatz;
- Reflexion AG aus Zürich. Projekte: Zürich Museumstrasse und Zürich Tiefenbrunnen, Gleisquerung Winterthur. Ausschreibung via Elektroplaner;
- Lucet GmbH aus Bern. Projekte: z.B. Bahnhof Hardbrücke Zürich;
- Lumos Lichtplanung GmbH aus Gümligen. Projekte: z.B. Bahnhof Olten;
- Königslicht GmbH aus Zürich. (Berchtold, 2021)

Die **Projektierungsanweisung (PA)** benennt die übergeordneten und zugehörten Dokumente (z.B. Normen oder Regelwerke SBB und VöV). Die PA gilt für Neubauten, Ersatz, Teilersatz und Erweiterungen. Sie macht detaillierte Vorgaben zur Beleuchtungsstärke, Gleichmässigkeit der Beleuchtung, Vermeidung von physiologischer und psychologischer Blendung sowie wartungsfreundlichen Anordnung der Leuchten zur Reduktion der laufenden Kosten. Sie liefert konkrete Anforderungen bezüglich Anordnung und Montage, Betrieb und Unterhalt, Lieferanten und Verträge. Sie beschreibt den gesamten Systemaufbau inkl. den vorgegebenen Leuchten und der DALI⁴² Schnittstelle. Weiter macht sie Vorgaben zu mechanischen Schnittstellen (z.B. Montagematerial oder Kandelaber), elektronischen/elektrischen Schnittstellen (z.B. Verkabelung oder Erdung). In der PA werden auch die Rahmen-/Standardprodukte vorgegeben (Ausnahme sind Spezialfälle, wo nicht anders möglich) (Berchtold, 2021).

Die detailliertesten Vorgaben liefert die PA zur Projektierung und -abwicklung: Anordnung der Kandelaber Leuchten, Lichtberechnungen (Projektleiter sind bei der Wahl des Lichtplaners für die Lichtberechnung frei), Beleuchtungsprinzipien und Vorgaben (RTE 26201; Über-/Unterschreitung vermeiden; Beleuchtung auf tatsächlich genutzte Fläche begrenzen; Ausleuchten des Gleisbettes oder von angrenzenden Grundstücken ist soweit als möglich zu vermeiden; Beleuchtungsstärke zeitabhängig steuern), Entscheidungshilfe für die Wahl Kandelaber oder Hochleuchten (Kosten versus Lichtverschmutzung)).

Bei einer grundlegenden Erneuerung oder dem Neubau einer Beleuchtungsanlage muss gemäss PA in der Regel ein PGV durchgeführt werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Farbtemperatur der Beleuchtung ändert (z.B. von Natriumdampflicht mit rund 2'500 Kelvin auf LED-Licht mit 4'000 Kelvin). Ob bei einem 1:1 Ersatz ein PGV durchgeführt werden soll ist situativ mit dem PGV-Superuser zu prüfen. Zudem werden die Lieferanten der Leuchten, Kandelaber und des Zubehörs genannt. Schliesslich macht die PA die Vorgabe, dass alle neuen Projekte mit der DALI-Funktionalität zu projektieren sind. (SBB, 2020b)

⁴² Digital Addressable Lighting Interface. Mit DALI lassen sich die Leuchten bedarfsgerecht steuern. (SBB, 2020b)

5.3.5 Bauprojekt

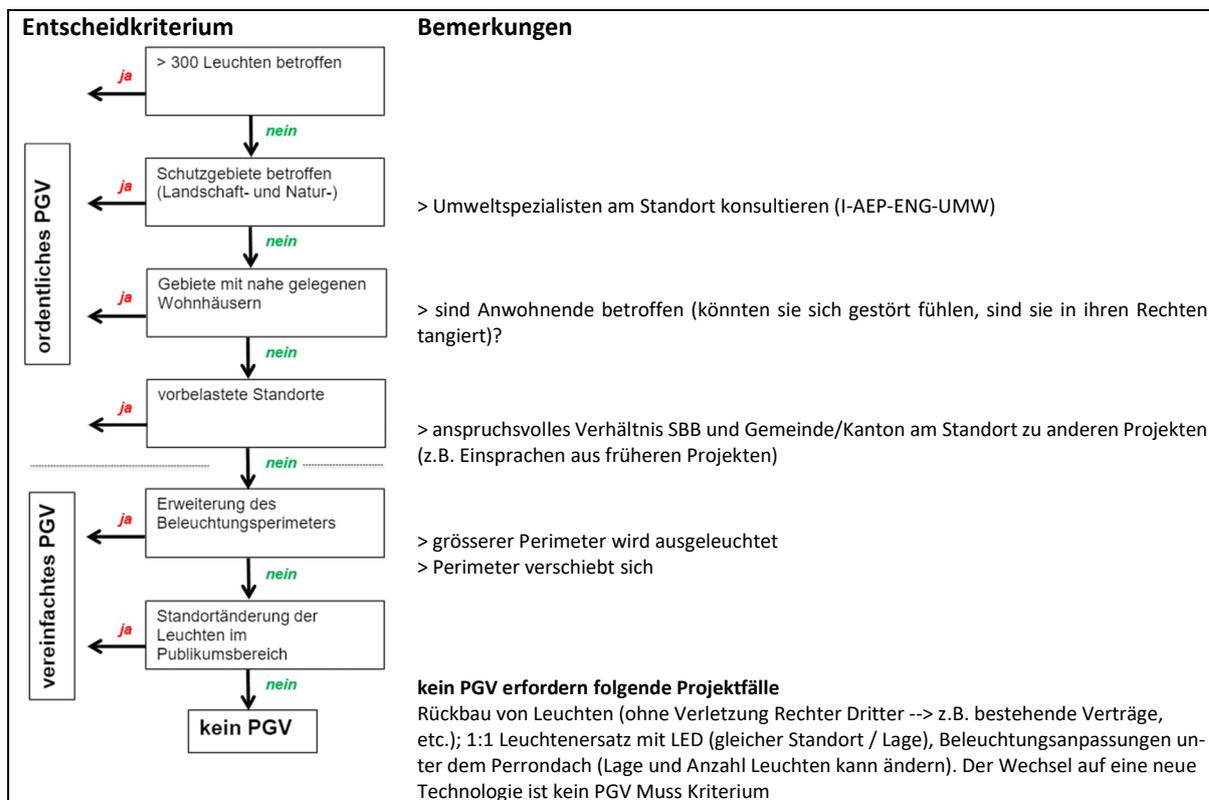
Im Bauprojekt wird ein konkreter **Beleuchtungsplan** erstellt (vgl. Beispiel im Anhang C). In diesem ist bspw. ersichtlich, wo Leuchten 1:1 ersetzt werden, es neue Leuchten gibt oder Leuchten rückgebaut werden. Vom Elektroplaner werden zudem **lichttechnische Berechnungen** durchgeführt (vgl. Beispiel im Anhang B). Mit dem **Beleuchtungskonzept**⁴³ (vgl. Beispiel im Anhang D) werden zum einen generische Grundsätze und Vorgaben zur Gleichmässigkeit, Farbtemperatur, Blendbegrenzung und Lichtverschmutzung aufgezeigt. Zum anderen werden bezüglich des konkreten Projektes Beleuchtungszonen und -stärken dargelegt (abhängig von der Bahnhofsklassifizierung). Das Bauprojekt wird mit einem **technischen Bericht** abgeschlossen. Dieser enthält die wichtigsten Informationen zur geplanten Ausführung, inkl. Ansteuerungszeiten und Ausschaltungen in der Nacht. (Berchtold, 2021) Das Beleuchtungskonzept und der Umweltbericht fliessen in den technischen Bericht ein bzw. sind Bestandteil davon. Häufig wird der technische Bericht durch den Planer erstellt (z.B. Network 41 AG). Im Bauprojekt werden schliesslich Offerten für die Beleuchtungslieferung eingeholt.

In der Phase Bauprojekt wird vom Ersteller auch geprüft, ob ein **PGV** nötig ist oder nicht. Die «PGV Entscheidungshilfe Beleuchtungsanpassungen» (vgl. Abbildung 25) zeigt dem Projektleiter auf, ob ein **a) ordentliches, b) vereinfachtes oder c) kein PGV** nötig ist. Bei kritischen Beleuchtungsprojekten wird in einem separaten Gremium – bestehend aus dem Projektleiter, dem Umweltverantwortlichen⁴⁴ in der Region/je Standort, dem PGV-Superuser – geprüft, ob ein PGV vonnöten ist oder nicht. Prüfpunkt ist dort, ob Bewilligungen nach den Bestimmungen des Bundesrechts erforderlich sind (Raumplanung, Umweltschutz, Natur- und Heimatschutz, Denkmalpflege u.a.m.). Konkret wird etwa geprüft, ob Schutzgebiete betroffen sind oder ob es Gebiete mit naheliegenden Wohnhäusern gibt. (Berchtold, 2021) Kein PGV ist gemäss Entscheidungshilfe Beleuchtungsanpassungen nötig, wenn Leuchten rückgebaut werden, ein 1:1 Leuchtensatz mit LED (gleicher Standort/gleiche Lage) erfolgt oder Beleuchtungsanpassungen unter dem Perrondach (Lage/Anzahl Leuchten kann ändern) stattfinden, vgl. Abbildung 25.

⁴³ Bei Grossbahnhöfen wird i.d.R. zuerst ein Beleuchtungskonzept durch einen Lichtplaner erstellt (z.B. von Vogt und Partner), anschliessend folgt eine Relux-Berechnung. An Kleinbahnhöfen wird i.d.R. vom Lieferanten eine Lichtberechnung in Relux gemacht, anhand der Beleuchtungsvorgaben im SBB Regelwerk (Iannaccone, 2021) Relux ist eine von der Relux Informatik AG entwickelte 3D-Grafiksoftware, die schwerpunktmässig der professionellen Lichtplanung im Innen- und Außenbereich dient. (Wikipedia, 2021c)

⁴⁴ I-AEP-ENG-UMW (Infrastruktur-Ausbau- und Erneuerungsprojekte-Engineering-Umwelt)

Abbildung 25: PGV Entscheidungshilfe Beleuchtungsanpassungen



Quelle: (Schwarzer, 2020), mit eigenen Adaptationen

Gemäss Art. 3 Abs. 2 Bst. n der Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für Eisenbahnanlagen sind für Projekte, die der UVP-Pflicht unterstehen ein **Umweltverträglichkeitsbericht (UVB)** und bei Projekten, die nicht UVP-pflichtig sind, ein **Umweltbericht** einzureichen. (Eidg. Räte, 2020) Gemäss PGV Handbuch (PGV Office SBB, 2020) sind Vorschriften bezüglich Umwelt für alle Bauvorhaben, ob gross oder klein, zu erfüllen. «Sie können mehrere Umweltbereiche betreffen und erfordern manchmal – als Konsequenz eidgenössischer Gesetze und Ausführungsverordnungen – Sonderbewilligungen, die aufgrund der Bau- oder Betriebsphase nötig sind. Das kann mehr oder weniger langwierige Studien verlangen, nicht zu unterschätzende Zusatzkosten verursachen oder gar gewisse Ausführungsvarianten verunmöglichen. Alle SBB-Auflageprojekte werden durch das BAV genehmigt. Die Fachstelle des Bundes in Sachen Umwelt ist das Bundesamt für Umwelt (BAFU). Die PGV-Verfügung schliesst die nötigen Sonderbewilligungen ein (aufgrund der im Verfahren eingegangenen kantonalen und eidgenössischen Stellungnahmen).» Da jedes Bauvorhaben Umweltauswirkungen hat, hat der Projektleiter den Umweltfachdienst der entsprechenden Region spätestens im Vorprojekt beizuziehen, um Projektverzögerungen und Zusatzkosten zu vermeiden. Damit der Umweltfachdienst seine Arbeit aufnehmen kann, ist er auf umweltspezifische Informationen angewiesen. Dazu füllt der Projektleiter das Formular «Erstellung des Umweltberichtes – Fragen an den Projektleiter» aus. Danach beurteilt der Umweltfachdienst die Umweltauswirkungen. (Vögeli, 2021).

Der Umweltfachdienst unterscheidet **zwei Fälle**:

A) UVP-pflichtige Projekte:

Neue Bauprojekte, deren Kostenvoranschlag (ohne Sicherungsanlagen) **40 Mio. übersteigt**, unterliegen einer **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)**. In diesem Falle ist ein **erweitertes Verfahren gemäss UVPV** (Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung) anzuwenden. Häufig beauftragt der Umweltfachdienst für die Abklärungen und die Berichterstattung externe Umweltbüros. In der Phase Vorprojekt ist eine Voruntersuchung UVP zu erarbeiten, deren Resultat in einer Relevanzmatrix der Umweltkonflikte und in einem Pflichtenheft für die Hauptuntersuchung besteht. Anschliessend wird im Rahmen der Auflageprojektphase die Hauptuntersuchung UVP zusammengestellt, welche integraler Bestandteil des PGV Dossiers ist. (PGV Office SBB, 2020)

B) Projekte ohne UVP-Pflicht:

Projekte, deren **Kostenvoranschlag unter 40 Mio.** liegt, müssen ebenfalls der Umweltschutzgesetzgebung entsprechen. Eine Umweltbeurteilung ist auch in PGV-Projekten ohne UVP-Pflicht auszuführen und in einem **Umweltbericht** festzuhalten. Je nach Projekt und Umständen können auch in diesem Fall Messungen oder Untersuchungen notwendig sein, für welche externe Umweltbüros beauftragt werden. In der Regel wird in der Phase Vorprojekt eine «Grobbeurteilung Umwelt» erarbeitet, im Auflageprojekt dann die eigentliche Umweltbeurteilung. Diese Umweltbeurteilung ist Bestandteil des PGV Dossiers. (PGV Office SBB, 2020) Der Umweltbericht fliesst in den so genannten technischen Bericht ein.

5.3.6 Plangenehmigungsverfahren (PGV)

Bei einem ordentlichen PGV werden standardmässig die Kantone einbezogen, da sie von Gesetzes wegen Partei sind (vgl. Art. 18 Bst. d Abs. 1 Eisenbahngesetz [EBG]). Beim vereinfachten PGV kann das BAV von den Kantonen ebenfalls Stellungnahmen einholen. Es zieht diese aber standardmässig mit ein (vgl. Art. 18 Bst. i Abs. 3 EBG). Ausserdem werden miteinbezogen: das BAFU, selektiv das BAK bzgl. Denkmalschutz, das SECO, die Eidg. Arbeitsinspektion (falls Arbeitsplätze betroffen sind). (Rohrer, 2021)

Die Sektion Elektrische Anlagen des BAV prüft im Rahmen des PGV primär Fahrleitungen, aber auch Beleuchtungen. Dies tut sie allerdings nur im Bereich Strom und Erdung; deren Beurteilung beschränkt sich auf technisches und betriebliches. Nach Art. 62 Bst. a des Regierungs- und Verwaltungsorganisationsgesetzes (RVOG) ist **im Bereich Licht das BAFU die Fachbehörde**. Die Sektion Nichtionisierende Strahlung der Abteilung Lärm und Nichtionisierende Strahlung prüft die allfällige Störung und Belästigung von Licht bezüglich verschiedener Parameter wie Beleuchtungsstärke, Lichtfarbe oder Blendung. (Rohrer, 2021)

Insgesamt behandelt das BAV pro Jahr rund 450–500 ordentliche und vereinfachte PGV. Weil bei den vereinfachten PGV keine schutzwürdigen Interessen Dritter betroffen sind, erhält das BAFU nur die **ordentlichen PGV zur Beurteilung – ca. 100–150 Projekte pro Jahr**. Im Zuge der Sanierung im Rahmen des Behindertengleichstellungsgesetzes (BehiG) haben die PGV auch bezüglich Beleuchtung zugenommen. Diese wird häufig zum gleichen Zeitpunkt miterneuert. Dabei sind die allerwenigsten Projekte UVP-pflichtig. (Rohrer, 2021)

Als Leitbehörde sammelt das BAV die Stellungnahmen aller Fachbehörden (technische/betriebliche, raumplanungsrechtliche oder umweltrechtliche Anordnungen, Anordnungen des BAK, des SECO und weiteren). Auch das BAFU verfasst eine Stellungnahme mit konkreten Anträgen. Diese werden seitens BAV an die Infrastrukturbetreiberinnen (ISB) weitergeleitet bzw. direkt als Auflage angeordnet (**PGV-Verfügung**). Wenn eine ISB mit einer Anordnung des BAFU bezüglich Beleuchtung nicht einverstanden ist, muss das BAV entscheiden. Wenn das BAFU auf seiner Anordnung beharrt, entscheidet das BAV in den meisten Fällen zugunsten des Fachamtes. Ist dies nicht der Fall, wird ein Bereinigungsverfahren nach Art. 62 Bst. b RVOG eingeleitet. (Rohrer, 2021)

Dass Privatpersonen wie im Fall Oberrieden See eine Einsprache zu Beleuchtungen machen ist die Ausnahme. Die Anträge kommen meistens von Kantonen, v.a. Zürich aber auch Bern. Seitens BAFU werden häufig Ansprüche bezüglich Nachtabstaltung nach Betriebsschluss (z.B. von Reklamen), Helligkeit oder Unterstellung eines Bahnhofs unter die jeweilige Bahnhofskategorie gestellt. (Rohrer, 2021)

BAV und BAFU führten die zu untersuchenden Umweltbereiche in der Checkliste Umwelt für nicht UVP-pflichtige Eisenbahnanlagen des BAV/BAFU (BAV/BAFU, 2010) auf. **Seit 2021⁴⁵ gibt es seitens BAV/BAFU eine neue Checkliste Umwelt für nicht UVP-pflichtige Eisenbahnanlagen**. Diese **gilt neu auch für UVP-pflichtige Anlagen** und enthält im Vergleich zur alten Checkliste ein **eigenes Kapitel zum Thema Licht**. In der Einleitung dazu steht, dass «Menschen, Tiere, Pflanzen und ihre Lebensgemeinschaften, aber auch die Artenvielfalt mit ihren zum Teil spezifischen Lebensräumen sowie die nächtliche Landschaft vor zu viel Kunstlicht geschützt werden sollen, da dieses schädlich oder lästig werden kann. Das Thema ist von besonderer Relevanz bei der Beleuchtung von **Bahnhofarealen** (inkl. Perrons und Gleisfelder) sowie bei langdauernden **Nachtbaustellen**, an die empfindliche Nutzungen (insb. Wohnen) angrenzen.» (BAV/BAFU, 2021)

Weiter wird ausgeführt, dass «die Beleuchtung solcher Anlagen dem Grundsatz der vorsorglichen Emissionsbegrenzung genügen muss und zu keinen schädlichen oder lästigen Auswirkungen führen darf». Dazu wird in der Checkliste auf den Leitentscheid zur Bahnhofsbeleuchtung Oberrieden See (ZH) verwiesen, bei dem das Bundesgericht verlangte, dass die für die Sicherheit des Bahnbetriebs nicht erforderliche Beleuchtung zwischen 22 und 6 Uhr abgestellt bzw. reduziert werden muss (BGE 140 I 1 214). Die Einleitung der Checkliste schliesst mit dem wichtigen Hinweis ab, dass «im UVB [Umweltverträglichkeitsbericht] bzw. Umweltbericht aufzuzeigen ist, welche

⁴⁵ Inkraftsetzung der Checkliste erfolgt voraussichtlich anfangs 2022. (Rohrer, 2021)

Massnahmen zur Begrenzung der Emissionen getroffen werden, damit die Beleuchtung Menschen nicht stört und die Lebensräume nachtaktiver Tiere nicht beeinträchtigt (v.a. unerwünschte Wohnraumaufhellung oder belästigende Blendung).» (BAV/BAFU, 2021)

Im Anschluss an die Einleitung werden in der Checkliste die einzelnen Checkpunkte im Detail genannt. Vorangehend wird die Leitfrage gestellt, ob «Beleuchtungen neu erstellt oder ersetzt werden». Konkret führt die Checkliste hier auf, dass «neben der Beleuchtung von Gebäuden, Perrons und Gleisfeldern auch beleuchtete Parkplätze (Park & Rail), Werbeflächen und Nachtbaustellen zu beachten sind». Wird die Frage mit Ja beantwortet, müssen durch die Infrastrukturbetreiberinnen im Folgenden sechs Checkpunkte bearbeitet werden, vgl. (BAV/BAFU, 2021):

1. Ist die Beleuchtung notwendig? (Art. 1 und Art. 11 USG): Nur beleuchten, was zu beleuchten ist; Rückbau bestehender Beleuchtungen prüfen;

2. Hat es Wohnräume oder schützenswerte Naturräume in der Nähe? (Art. 11 USG, Art. 3 und 18 Abs. 1^{bis} und 1^{ter} NHG, Art. 7 Abs. 4 JSG): Unerwünschte Wohnraumaufhellung oder belästigende Blendung vermeiden. Kunstlicht beeinträchtigt die Lebensräume nachtaktiver Tiere – mit teilweise tödlichen Folgen für unzählige Lebewesen. Die Anziehungskraft einzelner Leuchten für nachtaktive Tiere hängt stark vom Lichtspektrum ab. Insekten werden insbesondere durch die Ultraviolett- und Blau-Anteile im Licht angelockt; warmweisses LED-Licht zieht Insekten weniger an als kaltweisses;

3. Werden Lichtemissionen soweit begrenzt als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist? (Art. 11 Abs. 2 USG; «Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen» (BAFU 2021); SIA-Norm 491; SN EN 12464-2): Intensität: Nur so hell beleuchten, wie nötig. Dort, wo Normen aus Sicherheitsgründen Mindestanforderungen an die Helligkeit stellen, sind diese möglichst genau einzuhalten, aber nicht zu überschreiten (keine Überbeleuchtung). Ausrichtung: Grundsätzlich von oben nach unten beleuchten. Möglichst präzise Beleuchtung ohne unnötige Abstrahlungen in die Umgebung. Allfällige zusätzliche Abschirmungen und Blendbegrenzungen anbringen;

4. Kann die Beleuchtung zeitweise abgestellt oder reduziert werden? (BGE 140 11 214): Die Beleuchtung ausserhalb der Betriebszeiten ausschalten oder reduzieren, wenn das Ausschalten aus Sicherheitsgründen nicht möglich ist Reduktion der sicherheitsmässig nicht notwendigen Beleuchtung zwischen 22 Uhr bis Betriebsschluss und von Betriebsbeginn bis 6 Uhr;

5. Müssen zusätzliche Massnahmen getroffen werden, um schädliche oder lästige Lichtemissionen zu vermeiden? (Art. 11 Abs. 3 und Art. 14 USG; SN EN 12464-2. Ziff. 4.5): Zeigt sich aufgrund von Berechnungen oder Messungen, dass Lichtemissionen für den Menschen schädlich oder lästig sind oder werden können, sind zu-

sätzliche Massnahmen zur Reduktion der Emissionen zu treffen; zur Beurteilung der Störwirkung auf Tiere existieren derzeit keine quantitativen Richtwerte. Für diesbezügliche Abklärungen sind gegebenenfalls die lokalen Fachstellen für Natur und Landschaft einzubeziehen;

6. Ist die Beleuchtung auf ihren Zweck und die Umgebung optimiert? Eine optimierte Beleuchtung erfolgt am richtigen Ort (möglichst präzise), zur richtigen Zeit (beschränkt auf Betriebszeiten) und in der richtigen Intensität (keine Überbeleuchtung), Nachtabenkung in Abhängigkeit der Nutzung. Die Auswirkungen auf angrenzende Wohnhäuser und/oder schützenswerte Naturräume werden möglichst geringgehalten.

Im Kapitel «Benötigte Angaben und Nachweise» wird relativ genau aufgelistet, was im Projekt mitgeliefert werden muss: «Beleuchtungskonzept mit Angaben zu Notwendigkeit, Beleuchtungszweck und allenfalls einzuhaltenen Normen sowie zu Wohnräumen oder schützenswerten Naturräumen in der Umgebung der Beleuchtung. Dokumentation der eingesetzten Beleuchtung mit Situationsplan (Standort Beleuchtungsanlagen bzw. Leuchten), mit Datenblättern zu den Leuchten (Leuchtmittel, Farbtemperatur, Lichtstrom, Lichtverteilungskurve etc.) und Informationen zur Steuerung (z.B. Dimmbarkeit, Bewegungsmelder, Betriebszeiten) sowie mit konkreten Zeitangaben zu den verschiedenen Beleuchtungszuständen. Hinweise auf getroffene Massnahmen zur Begrenzung von Emissionen und zur Reduktion der Beleuchtung in den Randbetriebsstunden zwischen 22 und 6 Uhr.» (BAV/BAFU, 2021)

Als «**Standardmassnahmen**» werden vier konkrete Massnahmen aufgeführt:

- **Li 1:** Die Beleuchtung **erfüllt die Vorgaben** der Publikation «**Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen**» (BAFU 2021) und der SIA-Norm «Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum» (**SIA 491**).
- **Li 2:** Die Beleuchtung von Perrons, Gleisfeldern, Parkplätzen, Baustellen etc. hält die Vorgaben der Schweizer Norm SN EN 12464-2 ein und führt zu **keiner Überbeleuchtung**.
- **Li 3:** Die Beleuchtung wird **zwischen 22 Uhr bis und von bis 6 Uhr** auf das notwendige Mass reduziert. Ausserhalb der Betriebszeiten wird die Beleuchtung ausgeschaltet.
- **Li 4:** Die **Empfehlungen der Vogelwarte Sempach bzgl. [...] Beleuchtung sind zu berücksichtigen**, siehe: Schmid H., Doppler W., Heynen D., Rössler M. (2012), «Vogelfreundliches Bauen mit Glas und Licht», Schweizerische Vogelwarte Sempach.

5.3.7 Ausführung und Abnahme

In der Ausführungsphase werden die Leuchten installiert und am DALI aufgeschaltet sowie programmiert. Dann wird die Beleuchtungsstärke eingeregelt. Am Schluss erfolgen die SIA Abnahmen sowie eine Beleuchtungsmessung (meist durch Regent und Prolight). Eine explizite Abnahme der SIA 491 findet nicht statt, jedenfalls nicht bei

den Leuchten, da diese bereits Rahmenprodukte der SBB sind, welche vorgängig ausgeschrieben wurden. Werden nicht Standardprodukte verbaut, muss in jedem Fall eine SIA Abnahme erfolgen. Eine solche erfolgt auch für die Installation, falls diese durch externe Elektriker ausgeführt wird. (Berchtold, 2021) Schliesslich erfolgt die Übergabe an den Betrieb (Iannaccone, 2021).

5.3.8 Anspruchsgruppen der Bahnhofsbeleuchtung

SBB Infrastruktur beleuchtet ihre Bahnhöfe nicht zum Selbstzweck. **Kunden** wollen und sollen am Bahnhof sicheren Weg zu den Zügen finden und sich am Bahnhof wohl fühlen. Sie möchten – auch wenn dies nur ein kleiner Teil sein dürfte – auch mitten in der Nacht ein Billett am Automaten lösen oder eine Cola aus dem Selecta Automaten beziehen können. «Entsprechend muss der sichere Weg zu diesen Services ausgeleuchtet werden» (Iannaccone, 2021).

Wichtig ist auch das Thema «**Behindertengleichstellung**» bzw. «**Barrierefreiheit**». **Barrierefrei bauen** [im Kontext dieser Arbeit: beleuchten] **heisst «für alle Bauen», sowohl für Menschen mit visuellen, kognitiven, auditiven und motorischen Einschränkungen, als auch allgemein für Ältere ohne Behinderung oder z.B. Menschen, die einen Kinderwagen oder Rollkoffer schieben.** (Gouvernement Luxembourg, 2018). Folgende Faktoren der Beleuchtung sind relevant für eine barrierefreie Umgebung: die Lichtquantität, die Qualität als Farbtemperatur und -wiedergabe, eine gute Entblendung der Lichtquellen, der Einfluss von Gleichmässigkeit der Beleuchtung sowie der Schattenwurf.» (Gouvernement Luxembourg, 2018)

SBB Mitarbeitende – z.B. Gebäudereiniger, Fachleute des Betriebsunterhalts, Verkehrslogistiker oder Kundenbegleiterinnen – wollen an ihrem Arbeitsort – dem Bahnhof – eine angenehme Arbeitsumgebung vorfinden. Lokführer und Lokführerinnen möchten durch Werbe-Leuchttafeln nicht abgelenkt werden. «Der Halt vor einem Prellblock ist anspruchsvoll, der Bremsvorgang schwierig. Der grosse Monitor/Display, welcher im Bahnhof Luzern vor ein paar Jahren über den Gleisen 2 – 14 installiert wurde, war im Sichtfeld der Lokführer. Dies kann ablenken. Die Lokführer haben interveniert – sie wollen eine möglichst zurückhaltende Lichtstärke und nur stehende Bilder. Das gleiche Problem stellte sich bei der Leuchtreklame eines Restaurants in Ballwil. Im Zürich Museumsbahnhof wird das Problem mit den seitlichen Leuchtreklamen so gelöst, dass die Filmwerbung bei Zugs-einfahrt kurz auf dunkel gestellt werden muss.» (Muri, 2021) Es gibt aber auch den umgekehrten Fall. Nicht zu viel (falsche) Beleuchtung kann stören, sondern auch eine komplett fehlende Beleuchtung eines Bahnhofs. «Ab und zu melden Lokführer fehlende Beleuchtung in einem Bahnhof oder an einer Haltestelle. Fehlendes Licht ist sehr unschön für den Lokführer, weil er in der Nacht seine Orientierungspunkte verliert. Das Risiko einer Durch-fahrt oder ein Anhalten an einem unerwünschten Ort ist in dieser Situation gross.» (Reymond, 2021)

Anwohnende in Bahnhofsnähe wünschen sich möglichst wenig Beleuchtung – ausser natürlich dann, wenn sie als Kunden selbst den Bahnhof frequentieren. Auch **Gemeinden** haben teilweise Ansprüche an die Bahnhofsbeleuchtung. Dies ist dann der Fall, wenn sie «unsere Anlagen als Verbindungswege nutzen oder unsere Beleuchtung für angrenzende Bereiche mitnutzen» (Iannaccone, 2021).

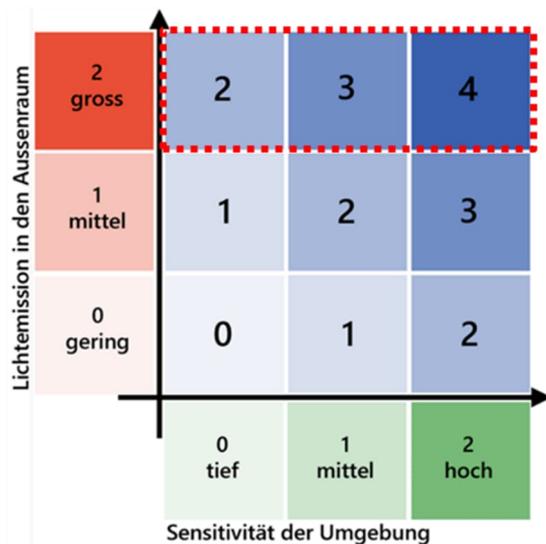
Das **BAFU** als Bundesumweltbehörde sowie einzelne **kantonale** Energie-, Umwelt- und Baudepartemente haben ebenfalls den Anspruch, dass die Natur und der Mensch durch Licht möglichst wenig gestört werden. **Umweltverbände und -stiftungen** – bspw. die Schweizerische Vogelwarte, Dark-Sky Switzerland oder Pro natura – machen sich stark für möglichst wenig Lichtverschmutzung.

6 Handlungsfelder

6.1.1 Relevanz der Lichtemissionen von SBB Bahnhöfen

Das BAFU gibt in seinen «Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen» eine Relevanzmatrix zur Bewertung von Anlagen bezüglich derer Lichtemissionen vor. Dabei gibt es zwei Kriterien zur Einordnung einer Anlage in die Matrix, vgl. (BAFU, 2021): **Ausmass** der Lichtemissionen und **Sensitivität** der Umgebung, vgl. Abbildung 26.

Abbildung 26: Matrix zur Bestimmung des Relevanzindex von Lichtemissionen einer Anlage



Lesehilfe: 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. **Rot gestrichelt: Die Einstufung (der Relevanzindex) für die SBB Bahnhöfe.**

Quelle: (BAFU, 2021)

Y-Achse: Lichtemissionen in den Aussenraum: Die Emission einer Beleuchtung hängt von der Intensität und Art der Beleuchtung (Lichtstärke, Lichtspektrum), der Grösse und Ausdehnung der Beleuchtung und den Betriebszeiten ab, in welchen die Beleuchtung eingeschaltet ist. (BAFU, 2021) In die Kategorie «Grosse Lichtemissionen» (vgl. Abbildung 27) wird der Anlagentyp «Bahnhofsbeleuchtungen» und damit die SBB Bahnhöfe subsumiert.

X-Achse: Sensitivität der Umgebung: Die Auswirkungen von Beleuchtungen sind nicht nur von der Stärke und der Qualität der Lichtemissionen abhängig, sondern auch von der Umgebung. Die Charakterisierung der Umgebung kann anhand der Umgebungszonen von Tabelle 7 erfolgen. Die Auswirkungen der Beleuchtung betreffen sowohl den Menschen als auch die Umwelt. Die Tabelle 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. (BAFU, 2021) Die SBB Bahnhöfe liegen in allen Umgebungszonen mit Sensitivitäten von 0 bis 2, wobei die meisten eine Sensitivität von 1 aufweisen dürften. Vgl. Tabelle 7.

Abbildung 27: Emissionen von Anlagen in den Aussenraum

Anlagentyp	Emission in den Aussenraum
<ul style="list-style-type: none"> • Strassenbeleuchtungen • Beleuchtungen von Sportinfrastrukturen • Arealbeleuchtungen (Arbeitsplätze im Freien): Verladeeinrichtungen, Rampen, Güterbahnhöfe, Rangieranlagen, Lagerplätze, Fluchtanlagen, Autohandel etc. • Bahnhofsbeleuchtungen • Beleuchtungen weiterer Verkehrsinfrastrukturen: Haltestellen, Flughäfen, Flugplätze, Parkplätze • Industrie- und Gewerbebauten wie Einkaufszentren, Logistikzentren, Tankstellen, Autowaschanlagen, 24-Stunden-Shops etc. 	Gross (2)
<ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtungen öffentlicher Plätze, Begegnungszonen, Stadtpärke • Anstrahlungen von öffentlichen Gebäuden und Anlagen (Fassadenbeleuchtungen) • Reklamebeleuchtungen • Funktionale Aussenbeleuchtungen von Siedlungen • Nachtbaustellen • Gewächshäuser (Innenbeleuchtung) • Industrie- und Gewerbegebäude mit Nachnutzung (Innenbeleuchtung) je nach Grösse • Innenbeleuchtung von Hochhäusern, Spitälern und anderen Gebäuden mit grossen Fensterflächen, verglasten Treppenhäusern 	Mittel (1)
<ul style="list-style-type: none"> • Verwaltungs- und Bürogebäude mit Nachnutzung • Weihnachtsbeleuchtungen und Ganzjahres-Zierbeleuchtungen • Funktionale Aussenbeleuchtungen Einfamilienhäuser • Innenbeleuchtung von Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern • Einzelne Zierleuchten 	Gering (0)

Quelle: (BAFU, 2021)

Tabelle 7: Umgebungszonen zur Ableitung der Sensitivität

Zone	Umgebung nach CIE 150:2017	Beispiele nach CIE 150:2017	Analoge Beispiele	Sensitivität
E0	ganz dunkel	UNESCO Sternlicht Schutzgebiete (Starlight Reserves), Lichtschutzgebiete (IDA Dark Sky Parcs), grössere Sternwarten	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • ländliche Gebiete mit mässiger Besiedlung • reine Wohngebiete • Siedlungsrand 	
E3	mittlere Gebietshelligkeit	gut besiedelte ländliche und städtische Siedlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Agglomeration • dicht bebaute Gebiete • Wohn- und Gewerbebezonen (Mischzonen) 	Tief (0)
E4	hohe Gebietshelligkeit	Stadtzentren und andere Geschäftszentren	• Stadt- und Geschäftszentren	

Quelle: (BAFU, 2021)

Einordnung: Relevanzindex.

Die Werte des Ausmasses und der Sensitivität werden in der Relevanzmatrix abgetragen und ergeben den entsprechenden Relevanzindex für eine bestimmte Lichtquelle in einer bestimmten Umgebung. Um festlegen zu können, welche vorsorglichen Massnahmen zur Begrenzung von Lichtemissionen getroffen werden müssen, ist der Relevanzindex mit dem so genannten 7-Punkte-Plan zu kombinieren (vgl. 4.2.1.9).

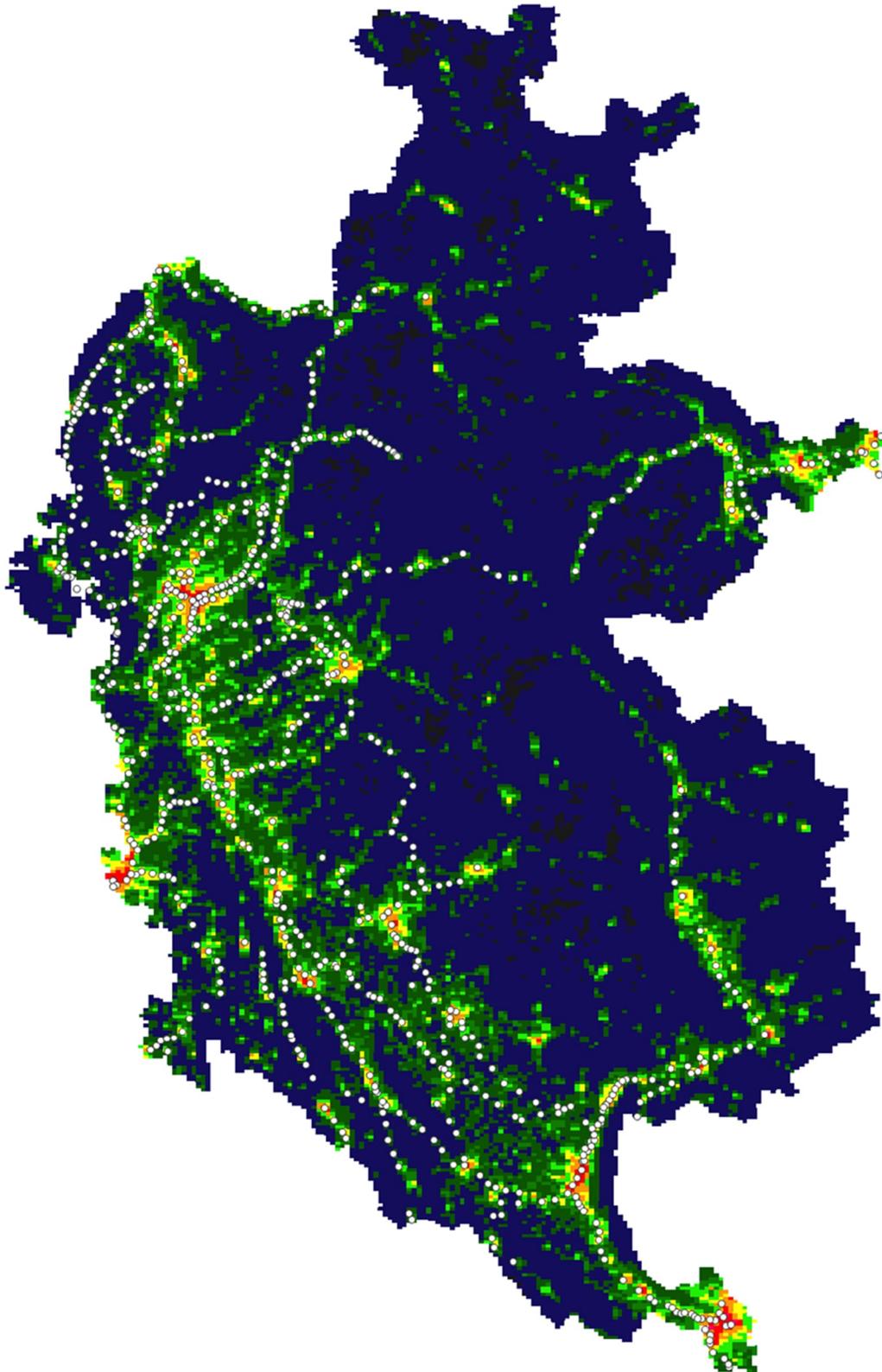
Die SBB Bahnhöfe liegen im Bereich grosser Lichtemissionen (Index 2) und in allen Sensitivitätsbereichen (tiefer bis hoher Index von 0 bis 2). Entsprechend beträgt der Relevanzindex für SBB Bahnhöfe zwischen 2 und 4; die **meisten Bahnhöfe dürften einen Index von 3 aufweisen.**

6.1.2 Räumliche Verteilung der Bahnhöfe

Die allermeisten Bahnhöfe befinden sich naturgemäss im Siedlungsgebiet. Beleuchtete Bahnhöfe an Siedlungsrändern oder ausserhalb von Siedlungsgebieten fallen besonders ins Gewicht, da dort die Umgebungshelligkeit meist niedrig ist und die Lebensräume von lichtsensiblen nachtaktiven Tierarten und Pflanzen besonders betroffen sein können. Doch auch im Siedlungsgebiet können lichtsensible Tierarten betroffen sein, z. B. Fledermäuse, Zugvögel, Insekten oder Glühwürmchen. Vgl. (BAFU, 2021)

Lichtemissionen von Bahnhöfen tragen dazu bei, dass die **Umgebungshelligkeit zunimmt** und Menschen, Flora und Fauna sowie gesamte Ökosysteme gestört werden können, vgl. Abbildung 28. Hinzu kommt, dass **viele Bahnhöfe in der Nähe von** fliessenden oder stehenden **Gewässern sowie in oder um Schutzgebiete nach Bundesrecht liegen**, vgl. Abbildung 29. In der Abbildung sind kantonale Inventare nicht berücksichtigt. Schliesslich kommt dazu, dass ein sehr **grosser Teil der lichtemittierenden Bahnhöfe in Migrationskorridoren von Vögeln** liegt, vgl. Abbildung 30.

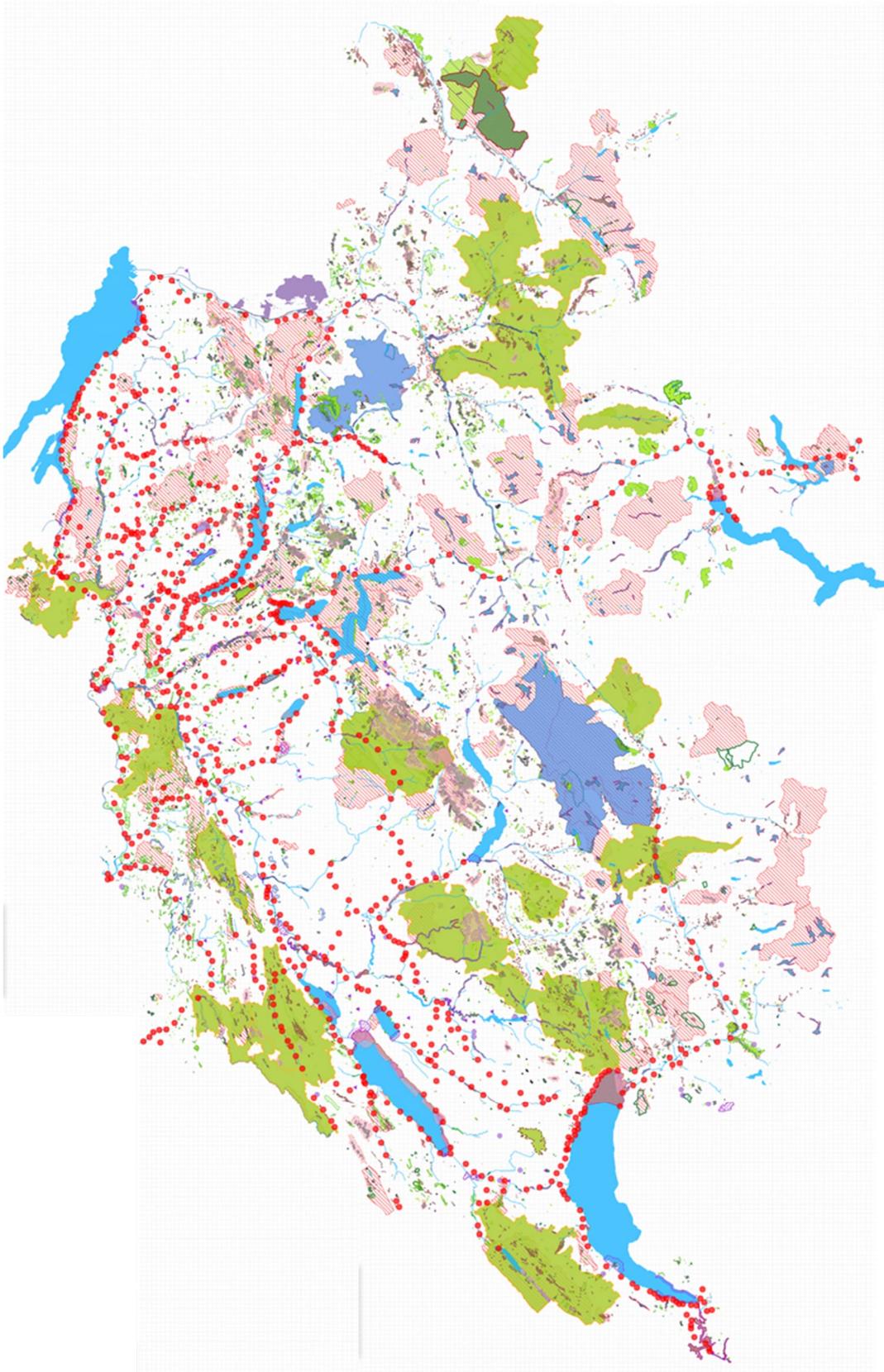
Abbildung 28: Lichtemissionen Schweiz 2020 und Verortung der Bahnhöfe SBB



Lesehilfe: Die Karte zeigt das Kunstlicht im Zenit im Vergleich zur natürlichen Helligkeit des Nachthimmels. Die weissen Punkte entsprechen den Betriebspunkten der SBB Infrastruktur.

Quellen: Lichtemissionen (Schuler, 2021), Betriebspunkte (Winklehner, 2021), Darstellung (Stocker, 2021)

Abbildung 29: Umweltschutzgebiete und Verortung der SBB Bahnhöfe



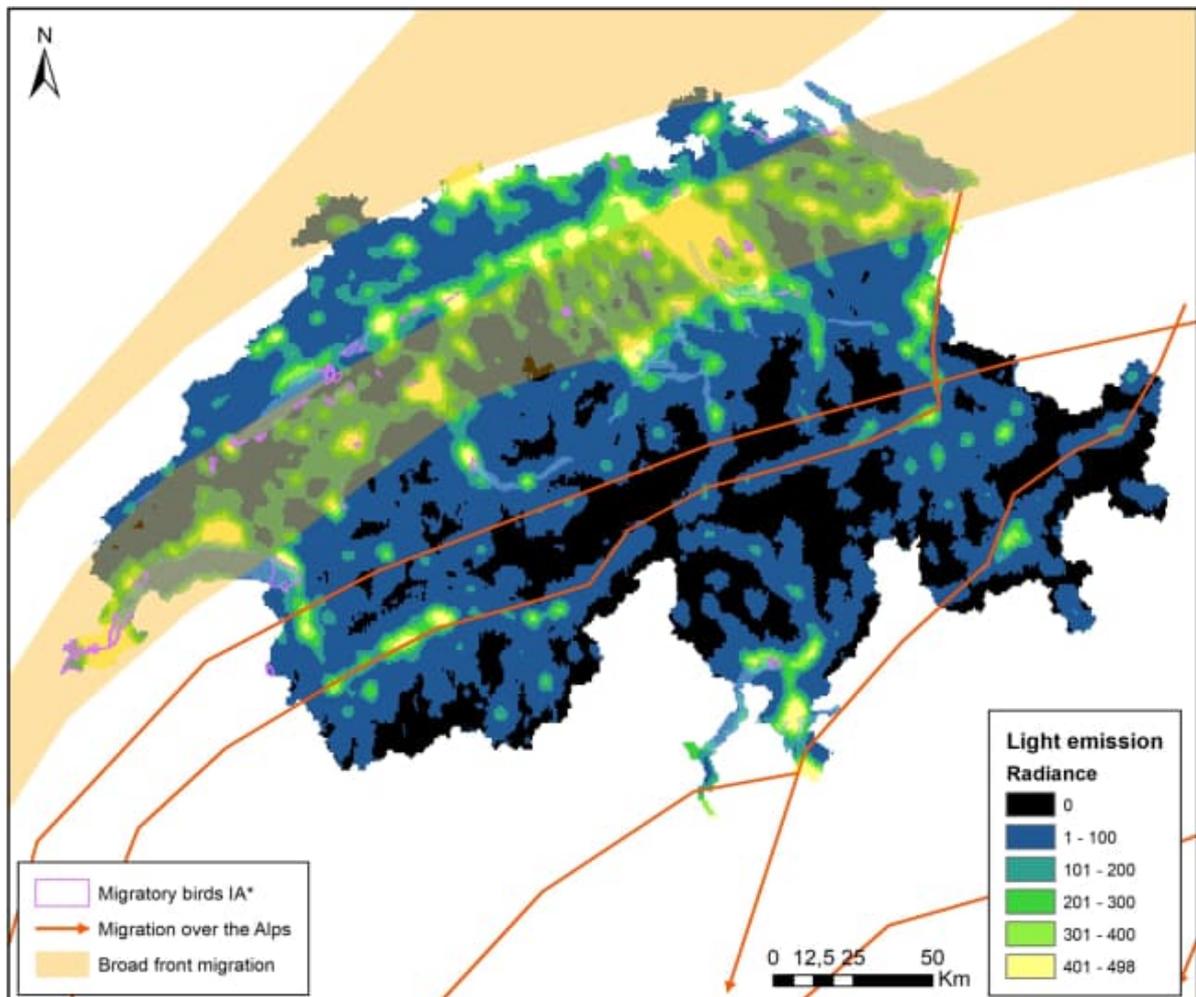
Lesehilfe: Die roten Punkte entsprechen den Betriebspunkten der SBB Infrastruktur.

Quellen: Betriebspunkte: (Winklehner, 2021), Umweltschutzgebiete: (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2021)

<p>BLN</p> <p> BLN-Gebiete</p> <p>Moorlandschaften</p> <p> Moorlandschaften</p> <p>Flachmoore</p> <p> Flachmoore</p> <p>Hochmoore</p> <ul style="list-style-type: none">  Primäres Hochmoor  Sekundäres Hochmoor  Hochmoorumfeld  Wasser  Torf <p>Pro Natura Naturschutzgebiete</p> <p> Pro Natura Naturschutzgebiete</p> <p>Biosphärenreservate</p> <ul style="list-style-type: none">  Kernzone  Umgebungszone  Übergangszone <p>UNESCO-Welterbe Naturstätten</p> <p> UNESCO Welterbe Naturstätten</p> <p>Waldreservate</p> <ul style="list-style-type: none">  MCPFE1.1 Keine aktiven Eingriffe  MCPFE1.2 Minimale Eingriffe  MCPFE1.3 Biodiversitätsförderung durch gezielte Eingriffe <p>Amphibien Anhang 3</p> <p> Amphibien Anhang 3</p> <p>Amphibien Wanderobjekte</p> <p> Amphibien (Wanderobjekte)</p> <p>Schweizer Pärke (Perimeter)</p> <ul style="list-style-type: none">  Schweizerischer Nationalpark in Betrieb  Nationalpark in Betrieb  Nationalpark Kandidat  Regionaler Naturpark in Betrieb  Regionaler Naturpark Kandidat  Naturerlebnispark in Betrieb  Naturerlebnispark Kandidat 	<p>Schutzgebiete Liechtenstein AuLaV</p> <p> Aussenlandungen sind gemäss Art. 4 der Liechtensteinischen Aussenlandeverordnung in den folgenden besonders schützenswerten Gebieten im Sinne des Naturschutzgesetzes (NSchG) nicht zulässig.</p> <p>Auengebiete</p> <p> Auenfläche</p> <p>Auengebiete AuLaV</p> <p> Aussenlandungen in Auengebieten sind unter Vorbehalt von Art. 19 Abs. 3 sowie Art. 28 nicht zulässig. Aussenlandungen für die Abwehr von Naturgefahren, für den Bau oder den Unterhalt von Bauten und Anlagen im öffentlichen Interesse und Aussenlandungen im Auftrag der zuständigen kantonalen Behörden sowie von diesen Behörden bewilligte Aussenlandungen für den Bau oder Unterhalt von Bauten und Anlagen sind zulässig.</p> <p>Übrige Schutzgebiete AuLaV</p> <p> Aussenlandungen in den übrigen Schutzgebieten sind unter Vorbehalt von Art. 19 Abs. 3 sowie Art. 28 nicht zulässig.</p> <p>REN Fließgewässer / Seen</p> <ul style="list-style-type: none">  Kerngebiet Fließgewässer / Seen  Ausbreitungsgebiet Fließgewässer / Seen  Korridor Fließgewässer / Seen <p>Flachmoore regional</p> <p> Flachmoore regional</p> <p>Trockenwiesen und -weiden (TWW)</p> <p> Trockenwiesen und -weiden</p> <p>Ramsar</p> <p> Ramsar</p> <p>Wasser- und Zugvogelreservate</p> <p style="text-align: center;">Schutzkategorie</p> <ul style="list-style-type: none">  Jagd und Schifffahrt verboten  Jagd und Schifffahrt verboten; weitere Bestimmungen gemäss Objektblatt  Jagd verboten; Schifffahrt eingeschränkt  Jagd verboten; Schifffahrt eingeschränkt; weitere Bestimmungen gemäss Objektblatt  Jagd verboten; Schifffahrt nicht eingeschränkt  Jagd verboten; Schifffahrt nicht eingeschränkt; weitere Bestimmungen gemäss Objektblatt  Wildschadenperimeter <p>Moorlandschaften AuLaV</p> <p> Aussenlandungen in Moorlandschaften sind gemäss Art 32 h für nichtgewerbsmässigen Flüge nicht zulässig.</p>
--	---

Quelle: (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2021)

Abbildung 30: Migrationskorridore von Vögeln in der Schweiz



Quelle: (Schönberger, o.J.)

6.1.3 Lichtplaner

Der Lichtplaner bestimmt gemäss EKZ (2021) u.a. die Beleuchtungskategorie anhand baulicher, Verkehrs- und Umgebungsparameter, setzt spezielle Lichtberechnungssoftware zur Planung ein und wählt die passende Leuchte zur Reduktion unerwünschter Lichtemissionen. Die Einflussmöglichkeiten bzw. Freiheitsgrade des Lichtplaners liegen bei der **Lichtverteilung** (Optik, Lichtlenkung, Masthöhe und Abstände) sowie der **Helligkeit** (Auswahl und Einstellung Leuchte, Steuerung). In der Planung kommt gemäss EKZ (2021) der Durchführung einer **professionellen Lichtplanung eine wichtige Rolle zur Erfüllung und Umsetzung des Umweltschutzgesetzes** zu. Sie ist der **zentrale Schlüssel zur Erfüllung des 7-Punkte-Plans des Vollzugsleitfadens des BAFU**.

Es ist wichtig, dass bereits bei der Ausschreibung der Lichtplaner der Aspekt «Lichtverschmutzung» berücksichtigt wird (Staub, 2021). «Wir beobachten, dass die Branche (also Hersteller, Fachplaner aber auch Bauherren)

sich nicht immer für das Thema Lichtemissionen interessiert und **die SIA 491 nur spärlich umgesetzt wird, obwohl es als Stand der Technik** deklariert ist.» (Vogelsang, 2021)

Mit der Neuerstellung der RTE 26201 ist im Vergleich zur alten SBB Regelung I-50103 neu auch die SIA 491 Bestandteil der dort genannten Normen. **Zurzeit arbeitet die SBB aber mit Lichtplanern zusammen, die sich nicht an der SIA 491 ausrichten.** Beispielsweise wurden die wenig vorbildlichen Beleuchtungen der Bahnhöfe Zürich-Oerlikon oder St. Gallen nach Inkrafttreten der SIA 491 realisiert, vgl. Abbildung 42 und Abbildung 45.

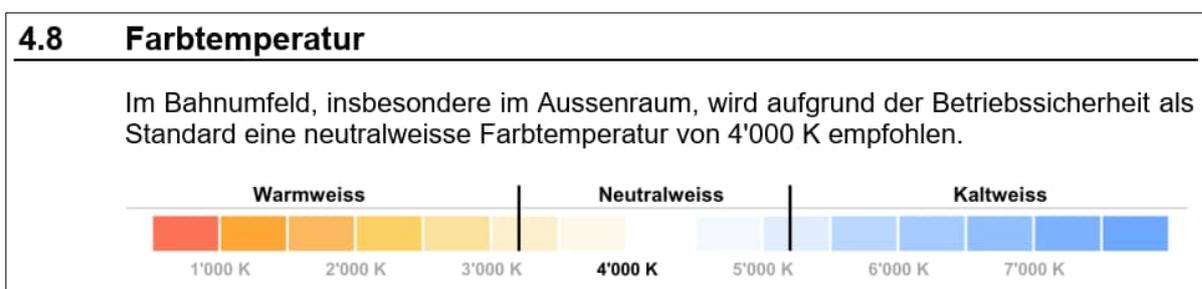
Problematisch ist auch, dass ein Lichtplaner nur bei rund 5% der Projekte zum Zug kommt; meist übernimmt diesen Part der Elektroplaner (Berchtold, 2021). Ob der Elektroplaner das Thema «Lichtverschmutzung» in seiner Lichtplanung berücksichtigt, ist zumindest in Frage zu stellen.

Als positives Beispiel sei hier die Beleuchtung des Bahnhofs Langnau im Emmental erwähnt. Dort hat die SBB den Lichtplaner darauf hingewiesen, das konkrete Beleuchtungsprojekt sicherheitshalber mit Dark-Sky Switzerland zu erörtern.

6.1.4 Lichtfarbe

Die Lichtfarbe der LED-Aussenbeleuchtung der SBB Bahnhöfe beträgt standardmässig 4'000 Kelvin. Die RTE 26201 empfiehlt als Standard ebenfalls 4'000 Kelvin, vgl. Abbildung 31.

Abbildung 31: Auszug aus der RTE 26201



Quelle: (VöV, 2021)

Die Empfehlung «wird aufgrund der Betriebssicherheit als Standard 4'000 K empfohlen» ist nicht objektivierbar. **Wichtiger Aspekt bezüglich Sicherheit ist nicht die Lichtfarbe, sondern die Farbwiedergabe** (und andere Faktoren wie keine Blendung). Die Farbwiedergabe an sich hat aber keinen Zusammenhang zur Farbe des Lichts⁴⁶. Dass eine höhere Lichtfarbe automatisch eine bessere Farbwiedergabe mit sich bringt, ist nicht korrekt. «Das Licht von Lampen mit gleicher Lichtfarbe kann eine völlig unterschiedliche spektrale Zusammensetzung haben und deshalb auch eine andere Farbwiedergabe. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, aus der Lichtfarbe einer Lampe auf die

⁴⁶ Gemäss Iannaccone (2021) ist dies aber nur bis zu einem gewissen Grad der Fall: Amber-LED-Leuchten mit orangem Licht (ca. 2'000 Kelvin) haben einen deutlich schlechteren Farbwiedergabeindex R_a (knapp über 60) als weisse LED.

Qualität ihrer Farbwiedergabe zu schliessen.» (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, o. J. b) Erscheint die Hautfarbe fahl und farblos, liegt das nicht an der Lichtfarbe einer Lampe, sondern eher an ihrer schlechten Farbwiedergabe-Qualität, vgl. (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, o. J. c)

Es ist auch wichtig zu verstehen, dass schon bei Vollmond mit 0.1–0.2 Lux oder bei mehr als 3 cd/m² das Tagsehen via Zäpfchen zum Tragen kommt, vgl. (MEB/ANPCEN, 2015). Bei der Beleuchtung der SBB Bahnhöfe werden diese Werte überall überschritten. Mit anderen Worten: Das Auge sieht am Bahnhof in der Dämmerung und in der Nacht nicht mit den für das Nachtsehen relevanten Stäbchen (skotopisches Sehen), sondern immer so, als ob es Tag wäre (photopisches Sehen). Die Empfindlichkeiten des skotopischen Sehens liegen im grün/blauen, jene des photopischen Sehens im gelb/grünen Bereich (vgl. Abbildung 8). Damit wird klar, dass der für das Nachtsehen relevante Spektralbereich mit höherem Blauanteil nicht relevant ist. Die Beleuchtung mit neutralweissem Licht (3'300–5'300 Kelvin) hat somit gegenüber warmweissem Licht (< 3'300 Kelvin) keinen Nutzen.

Häufig hört man auch das folgende Argument: Leuchten mit 4'000 Kelvin haben einen höheren Blauanteil als solche mit 3'000 Kelvin. Damit habe man wachere/aufmerksame Kunden an den Bahnhöfen. Dem ist folgendes entgegenzuhalten: Um eine aktivierende Wirkung von Licht zu erzeugen, müsste man einer Beleuchtungsstärke von 1'000–2'000 Lux während 20 Minuten ausgesetzt sein, vgl. (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, o. J. d). Die SBB beleuchtet ihre Bahnhöfe aber mit weit tieferen Beleuchtungsstärken (vgl. Kapitel 5.2.6.). Entsprechend taugt die Vorgabe von 4'000 Kelvin aus Gründen der «Aktivierung» nicht.

Zudem birgt eine solche Argumentation auch aus folgenden Gründen gewisse Limitationen: Die Aufmerksamkeit auf den Perrons und im Bahnzugang hängt primär von folgenden Faktoren ab: Herumtippen auf dem Mobiltelefon beim Ein- und Aussteigen, Kramen in Taschen und Rucksäcken, Littering von Zigaretten auf den Boden, statt nach vorne zu sehen (mit Stolpergefahr!), beim Ein- und Aussteigen Gespräche mit dahinterstehenden Personen führen, anstatt nach vorne zu blicken etc.

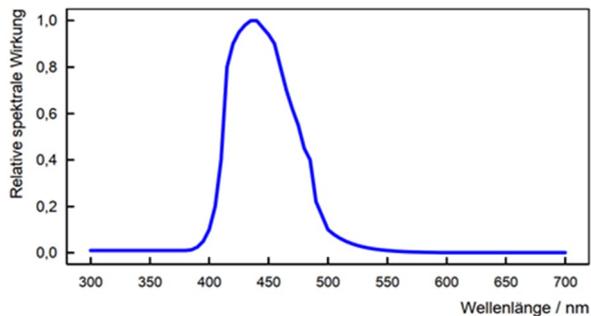
Und: Mit 4'000 Kelvin besteht die Gefahr der Blendung, wenn man aus einem Zug aussteigt, der im Innenraum eine Lichtfarbe von < 3'000 Kelvin aufweist. Mit dieser Blendung wird sogar auf eine negative Art und Weise Aufmerksamkeit erzeugt.

Dagegen gibt es viele **Gründe, die für eine Aussenbeleuchtung mit tiefen Farbtemperaturen** (warmes, gelbes Licht) sprechen, vgl. auch Kapitel 4.3 bis 4.9:

- Ein höherer Blauanteil geht mit **mehr Blendung** einher. Diese vermindert den Sehkomfort, beeinträchtigt das subjektive Wohlbefinden und **setzt die physiologische Sehleistung herab**. Die Blendung, die zwar nicht mit einer direkten Schädigung des Auges verbunden ist, kann das Sehen beeinträchtigen und damit zu **Unfällen bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten** führen (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013)

- Photoretinitis (**photochemische Netzhautschädigung**), vgl. Abbildung 32: Blau- und Weisslicht emittierenden Lampen können chemische Reaktionen im Auge auslösen und dadurch das Gewebe schädigen. (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013)

Abbildung 32: Spektrale Wirkungsfaktoren für photochemische Netzhautgefährdung.



Lesehilfe: Die spektrale Wirkungsfunktion $B(\lambda)$ für photochemische Netzhautgefährdung hat im Spektralbereich um 435 – 440 nm ihr Maximum.

Quelle: (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2013)

- Die **SIA 491 empfiehlt** Licht mit möglichst **wenig kurzwelligem Strahlungsanteil** (UV und Blauanteile).
- Die **Norm SN EN 12464-2** macht **keine Vorgabe zur Lichtfarbe**.
- **Gesundheitsschutz:** Das **BAG empfiehlt**, dass an Orten, an denen sich Personen während den Abendstunden vor dem Schlafen während längerer Zeit aufhalten, warmweisse LED mit ca. **3000 Kelvin** eingesetzt werden. (BAG, 2016) SBB Mitarbeitende wie Gebäudereiniger, Fachleute des Betriebsunterhalts, Verkehrslogistiker oder Kundenbegleiterinnen halten sich zweifelsohne längere Zeit am Bahnhof – ihrem Arbeitsort – auf. Vgl. auch Kapitel 4.3.1.
- **Eisenbahnrecht:** Die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (**AB-EBV**) machen keine direkte Aussage zur Lichtfarbe, **sprechen aber indirekt für warmweisses Licht**. Nach AB-EBV zu Art. 34, AB 34.4, Ziff. 2.1 muss mit der Beleuchtung ein guter Kontrast insbesondere im Bereich der Sicherheitslinien, der Perronkanten und Treppen erreicht und die Lenkung des Publikums in den sicheren Bereich angestrebt werden. «Die Beleuchtung darf weder Reisende noch Triebfahrzeugführende blenden.» Da mit einem höheren Blauanteil auch mehr Blendung einhergeht, würden hier tiefere Kelvin-Werte besser abschneiden.
- **Höhere subjektive Sicherheit:** Die Lichtfarbe kann dazu beitragen, dass sich die Leute an einem öffentlichen Ort wohl fühlen. So wird bei geringen Lichtintensitäten in der Nacht warmweisses Licht von vielen Menschen als angenehmer empfunden als kaltweisses Licht. Dort wo man sich wohl fühlt, fühlt man sich auch sicher. Vgl. (EBP, 2016)
- **Keine negativen Auswirkungen auf die objektive Sicherheit:** Soziale Kontrolle, gleichmässige Beleuchtung oder gute Orientierungsmöglichkeiten sind wichtig, um die objektive Sicherheit positiv zu beeinflussen. Dagegen gibt es keine Hinweise darauf, dass eine Absenkung der Lichtfarbe von 4'000 auf 3'000 Kelvin negative Auswirkungen haben könnte.

- **Keine Beeinträchtigung der Arbeitssicherheit:** Die Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS) macht keine Vorgabe zur Lichtfarbe. Die Auswahl der Lichtfarbe ist gemäss EKAS eine Frage der Psychologie, der Ästhetik und dessen, was als natürlich angesehen wird. Die Anforderungen der EKAS bezüglich Beleuchtung von Arbeitsplätzen und -standorten sind u.a. dann erfüllt, wenn der Arbeitsbereich blendfrei beleuchtet ist oder grosse Helligkeitskontraste vermieden werden, grosse Helligkeitskontraste vermieden werden. (EKAS, o. J.)
- Die Sicherheitsabteilung von SBB Infrastruktur (I-SQU-SI) macht keine Vorgaben zur Lichtfarbe (Leuenberger, 2021).
- **Geringere Lichtverschmutzung:** langwelliges, rotes Licht verlässt die Atmosphäre wahrscheinlicher, als dass es streut. (Schuler, 2017)
- Am **wenigsten Tierarten nehmen das warme Licht (gelb) als Orientierungshilfe.** Tiere und Pflanzen verhalten sich nach der natürlichen Farbtemperatur des dunklen Himmels, der Sterne und des Mondes, welche einen kühleren Farbton haben, vgl. Abbildung 33.

Abbildung 33: Zu vermeidendes Lichtspektrum [x] nach Artengruppe

Nanometer	UV < 400	400 - 420	420 - 500	500 - 575	575 - 585	585 - 605	605 - 700	IR > 700
Süswasserfische	x	x	x	x	x	x	x	
Zooplankton	x*	x*	x*					
Amphibien und Reptilien	x	x	x	x**	x	x	x	x
Vögel	x	x	x	x		x	x	x
Säugetiere (ausser Fledermäuse)	x	x	x	x			x	
Fledermäuse	x	x	x	x				
Insekten	x	x	x	x				

* möglich, jedoch ohne wissenschaftliche Hinweise
** < 500 und > 550

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (MEB/ANPCEN, 2015)

Die durchschnittliche **Anlockwirkung von Insekten ist mit 4'000 Kelvin LED höher als mit 3'000 Kelvin LED.** Vgl. (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, o. J. e) Warmweisse LED mit einer nominell ähnlichsten Farbtemperatur von 3'000 Kelvin oder geringer weisen meist einen sehr geringen Blauanteil in der Strahlung auf und können vom gesundheitlichen und ökologischen Standpunkt empfohlen werden. Hinsichtlich Anlockwirkung auf nachtaktive Insekten wurden die Hochdruck-Natriumdampflampe, warmweisse LED (2'700 Kelvin) sowie neutralweisse LED (4'000 Kelvin) getestet. Dabei werden die meisten nachtaktiven Insekten von der Hochdruck-Natriumdampflampe und die geringste Anzahl von den warmweissen LED angezogen. Signifikante Ergebnisse liegen auf Ordnungsebene insbesondere für Nachtfalter und Zweiflügler vor. (Landesumweltreferenten österreichische Bundesländer, 2017)

- **Tiefere Aufhellung des Nachthimmels:** Der Weltatlas der künstlichen Aufhellung des Nachthimmels von (Falchi et al., 2016) zeigen: Werden alle Aussenleuchten durch neutralweisse LED ersetzt, wird sich die Lichtverschmutzung in der Schweiz gegenüber 2015 mindestens verdoppeln. Durch die komplette Umrüstung auf

neutralweisse LED werden weite Teile der Schweiz noch stärker durch Kunstlicht aufgehellt und die minimale Aufhellung der natürlichen Helligkeit in den Alpen würde von derzeit 8% auf 32% ansteigen, während in den hellsten Städten mit heute mindestens 1020%, danach 2050% Aufhellung der Atmosphäre im Zenit zu rechnen ist. Eine Verdoppelung gegenüber der natürlichen Himmelhelligkeit um Städte wie Zürich war bisher im Umkreis von ca. 25 km zu erwarten – danach wären es etwa bis 50 km. (Schatz und Schuler, 2016)

- Die **SOB** setzt seit vielen Jahren standardmässig auf Leuchtmittel mit 3'000 Kelvin (warmweiss) – ohne Sicherheitsabstriche. Beispiel: Vgl. Bahnhof Mogelsberg (SG) in Abbildung 34. Diese Farbtemperatur wurde seinerzeit von einem Beleuchtungsplaner der SOB vorgeschlagen und beim Bahnhofsumbau Wattwil im Jahr 2008 zum ersten Mal umgesetzt. Grund für die Wahl des warmweissen Leuchtmittels waren Überlegungen zum Wohlbefinden der SOB Kunden am Bahnhof. Für die Kunden wurde eine Art «Wohnzimmer Atmosphäre» geschaffen. «In der vergangenen Zeit gab es dazu nie positive oder negative Kundenfeedbacks.» Und: «Wir haben keinerlei Hinweise auf fehlende Aufmerksamkeit unserer Kunden, die Unaufmerksamkeit rührt wie so oft von anderen Faktoren wie Smartphone, Alkohol, gewissen Gruppen usw. her, dies lässt sich auch klar belegen.» Mittlerweile werden an rund 34 Haltepunkten mit 2'000 Lichtpunkten standardmässig 3'000 Kelvin eingesetzt. (Allenspach, 2021)

Abbildung 34: Bahnhof Mogelsberg (SG)



Quelle: (Allenspach, 2021)

- Für alle drei **nordischen Länder** (Trafikverket – Swedish Transport Administration) / Danske Statsbaner (DSB) / Norges Statsbaner (NSB)) gilt – aus Rücksicht auf die Lichtverschmutzung – der **Standard von 3'000 Kelvin**. « [...] att vi i armaturkraven har valt att endast ha armaturer med 3'000K för att försöka minska ljusförorening » (Hafdell, 2021b). Vgl. Abbildung 35.

Abbildung 35: Auszug aus «Trafikverket, Vejdirektoratet, Statens vegvesen: Technical specification»

Location	Correlated colour temperature T_{cp}	Colour rendering index R_a
Roads ^{a,b} , road and railway tunnels, railway yards	4 000 K	$R_a \geq 70$
Public areas and railway stations	3 000 K	$R_a \geq 80$
^a In Swedish Transport Administration and Norwegian Public Roads Administration road projects values 3 000 K and $R_a \geq 70$ shall be used.		
^b In Danish Road Directorate road projects, values 3 000 K or 4 000 K are specified at the project level.		

Quelle: (Nordiskt Möte för Förbättrad vägutrustning, 2021)

- Die «Linee Guida: Illuminazione nelle stazioni e fermate» des italienischen Infrastrukturbetreibers **Rete Ferroviaria Italiana (RFI)** empfehlen Farbtemperaturen von **3'000** bis 4'200 Kelvin. (RFI, 2017) Mit anderen Worten: Auch in Italien sind warme Lichtfarben im Regelwerk hinterlegt.
- Auch Gemeinden wie die **Stadt Bern** geben als Richtlinie für die öffentliche Beleuchtung im Aussenraum nur noch warmweisses Licht vor, z.B. zur **Beleuchtung von ÖV-Haltestellen max. 3'000 Kelvin**. (Stadt Bern, 2019)
- Als **Standardmassnahme** sieht die neue **Checkliste Umwelt für Eisenbahnanlagen** (BAV/BAFU, 2021) vor, dass die Empfehlungen der Vogelwarte Sempach bzgl. Beleuchtung zu berücksichtigen sind. Diese Empfehlung sieht als Merkpunkt des vogelfreundlichen Bauens vor: «Verwendung insektenfreundlicher Leuchtmittel, die möglichst wenig Strahlung im kurzwelligen und UV-Bereich des Farbspektrums abstrahlen» sowie «LED mit **warmweisser Lichtfarbe** (2'700–3'000 Kelvin) zeichnen sich dabei nach vorläufigen Ergebnissen durch eine besonders geringe Insektenanziehung aus.» (Vogelwarte Sempach, 2012)
- Gemäss American Medical Association (2016b) ist die Energieeffizienz einer 3'000 Kelvin Beleuchtung nur 3% geringer als die der 4'000 Kelvin Beleuchtung. Dieser **kleine Effizienzverlust** kann problemlos über bedarfsgerechte Beleuchtung oder leicht tiefere Beleuchtungsstärken kompensiert werden.
- «Aus **Sicht des USG und NHG** sollten **möglichst warmweisse LED** eingesetzt werden – gemäss Stand der Kenntnis solche einer Farbtemperatur von weniger als 2'700 Kelvin. 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.» (BAFU, 2021)
- Aus Sicht **BAFU** wäre «aus Umweltsicht **warmweisses Licht** wünschbar» (Reichenbach und Kretzer, 2021b). Es hat diesen Antrag von «weniger als 3'000 Kelvin» bei der SBB im Rahmen von PGV schon einige Male gestellt. Die SBB hat immer dagegen argumentiert, dass neutralweisses Licht aus Sicherheitsüberlegungen besser sei. Das BAFU hat in Aussicht gestellt/signalisiert, dass es seine Forderung wieder anbringen werde. (Reichenbach und Kretzer, 2021b) Wie obenstehende Diskussion zeigt, sind mit tieferen Kelvin-Werten indes keine Sicherheitsabstriche verbunden.

Fazit: Gemäss EKZ (2021) ist die Lichtfarbe von 3'000 Kelvin bei der öffentlichen Beleuchtung ein guter Kompromiss zwischen Umweltschutz, Energieeffizienz und der Gesundheit/dem Wohlfühlen. «Als Kompromiss zwischen Erkennbarkeit, Energieeffizienz und Umweltschutz werden heute in der Regel Leuchten mit 3'000 K eingesetzt. Wärmere Lichtfarben im Bereich um 2'000–3'000 K können in sensiblen Gebieten, wie z.B. Umweltschutzgebieten, Wäldern, in Gewässernähe oder in Bereichen mit bedrohten Arten sinnvoll sein, um schädliche Auswirkungen der Beleuchtung zu reduzieren und bestenfalls zu vermeiden.» (Schweizer Licht Gesellschaft, 2021)

6.1.5 Beleuchtungsstärke

Der Blick auf einige inländische und ausländische Infrastrukturbetreiber zeigt, dass die SBB teilweise eine höhere Beleuchtungsstärke einsetzt als vielleicht nötig wäre:

- **Schweizerische Südostbahn AG (SOB):** Bei nicht überdachten Aussenanlagen gibt die SOB bei Perrons bei Bahnhöfen mit tiefen Frequenzen – ähnlich wie die DB – 5 Lux weniger vor als die SBB. Das Wartehaus ordnet die SOB nicht den Innenanlagen zu, sondern subsumiert dieses unter die überdachten Aussenanlagen – den Perrons. Entsprechend liegt die Vorgabe bei «nur» 50 Lux und damit 150 Lux tiefer als bei der SBB. Vgl. Anhang G.⁴⁷
- **DB Station&Service AG:** Bei den nicht überdachten Aussenanlagen sind die Vorgaben bei Bahnhöfen mit tiefer Frequenz bei Perrons, Gehwegen, Rampen und Bahnhofsplätzen im Vergleich zur SBB jeweils 5 Lux tiefer. Bei Bahnhofsplätzen, auf denen sich nur Fussgänger bewegen, sind es 7 Lux weniger. Im unteren und oberen Bereich unterschreiten die Vorgaben der DB bei den Treppen jene der SBB um 30 bzw. 50 Lux, bei den Rampen im oberen Bereich um 30 Lux. Vgl. Anhang G.
- **ÖBB Infrastruktur AG:** Das Wartehaus (Wartekoje) ordnet die ÖBB – gleich wie die SOB – nicht den Innenanlagen zu, sondern subsumiert dieses unter die überdachten Bahnsteige, vgl. Fussnote 47. Entsprechend liegt die Vorgabe bei 50 Lux und damit 150 Lux tiefer als bei der SBB. Vgl. (ÖBB, 2019)

⁴⁷ Im PGV zum «Bahnhof Schönenwerd, BZU, Perronerhöhung P55» hat das BAV am 16.11.2021 geprüft, «ob rundum verglaste Wartehallen auf einem überdachten Perron bei Anwendung der EN 12464-1/2 und unter Berücksichtigung des umweltrechtlichen Gebots, unnötige Lichtemissionen zu vermeiden, als Innen- oder als Aussenraum zu behandeln sind. Die SN EN 12464-1 darf dahingehend interpretiert werden, dass sich der Begriff «Innenraum» auf Orte bezieht, in die nur begrenzt Tageslicht einfällt, wie das bei den dort erwähnten vollständig umschlossenen Bahnsteigen, Personenunterführungen, Schalterhallen, Büros, Warteräumen, Eingangshallen, Betriebsräumen etc. der Fall ist (vgl. SN EN 12464-1, Tab. 5.53). Gläserne Wartehallen benötigen dagegen tagsüber wegen ihrer Bauart keiner Beleuchtung, was sie in Bezug auf die Beleuchtung eher als Aussenräume erscheinen lässt. Gläserne Wartehallen auf Perrons dienen den Bahnkunden als Schutz vor der Witterung und deren Beleuchtung soll ihr Sicherheitsgefühl erhöhen (vgl. BGE 140 II 214 E. 6.4). Als Arbeitsplatz für Bahnkunden sind sie dagegen nicht gedacht. Deren Beleuchtung kann aber wegen den Glaswänden zu einer unnötigen Lichtverschmutzung der Umgebung führen. Weiter verfängt das Argument, gläserne Wartehallen müssten mit Rücksicht auf Sehbehinderte heller beleuchtet sein als die übrige Perronfläche, nicht. Wären Sehbehinderte auf überdachten Perrons auf mehr Lichtstärke angewiesen, müssten diese als Ganzes wie Innenräume behandelt werden. Solches lässt sich den einschlägigen Regelwerken aber nicht entnehmen (vgl. Art. 6 Abs. 4 Verordnung des UVEK über die technischen Anforderungen an die behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen Verkehrs; VAböV). Entspricht die Helligkeit in gläsernen Wartehallen jener der übrigen Perronfläche, werden sehbehinderte Personen auch nicht diskriminiert. Es ist daher nichts dagegen einzuwenden, gläserne Wartehallen in Bezug auf die Beleuchtungsstärke wie die übrige Fläche überdachter Perrons und damit nach der SN EN 12464-2 zu beurteilen. Diese sieht bei überdachten Bahnsteigen mit geringem Personenaufkommen eine Beleuchtungsstärke von 50 Lux vor (vgl. Tab. 5.12; Ref. Nr. 5.12.17, Vorort-, Regional- oder Fernverkehr). Dasselbe gilt entsprechend gemäss der RTE (Ziff. 5.3)». Entsprechend hat das BAV verfügt, dass die SBB die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke des Wartebereiches des Perrons 1 und der Wartehalle des Perrons 2 während der HF und der NF auf 50 Lux zu reduzieren sind. (BAV, 2021)

- **Rete Ferroviaria Italiana (RFE):** Bei den nicht überdachten Perrons, Gehwegen und Bahnhofsplätzen (Verkehrsflächen) unterschreiten die Vorgaben im unteren Bereich jene der SBB um 5 Lux.
- **Finnische Infrastruktur Agentur (Väylävirasto):** Bei den überdachten Perrons hat Finnland im unteren Bereich tiefere Vorgaben bezüglich Beleuchtungsstärke, allerdings abweichend zur Norm (20–100 Lux im Vergleich zur SBB mit 50–100 Lux). Bei den nicht überdachten Treppen ist die Vorgabe im oberen Bereich tiefer als bei der SBB: bis 50 Lux im Vergleich zur SBB mit bis 100 Lux. Vgl. Anhang G.

6.1.6 Leuchtdichte

«Die Beleuchtung von Werbung, aber auch Fassaden- und Objektbeleuchtung gilt als nicht notwendige Beleuchtung und muss daher unter dem Aspekt des Natur- und Landschaftsschutzes beurteilt werden. Dies bezieht sich auf die Betriebszeiten und den Schutzgrad der jeweiligen Umweltzone.» (Gouvernement Luxembourg, 2018) Für selbstleuchtende oder beleuchtete Werbeschilder gelten in Luxembourg folgende maximalen Leuchtdichten: In der Zone 2 gilt eine maximale Leuchtdichte von 100 Candela/m², in Zone 3 von 250 Candela/m² und in Zone 4 von 650 Candela/m². Die Stadt Bern macht in ihrer Verordnung über das kommerzielle Licht folgende Vorgaben:

² Zudem sind folgende technische Anforderungen einzuhalten:

b. Leuchtdichte: [...]. Ab Einsetzen der Dämmerung und bei Dunkelheit darf ein Wert von 300 cd/m² (Referenz=weiss), unabhängig von der Blickrichtung, nicht überschritten werden. (Stadt Bern, 2021)

Im Vergleich dazu sind die Leuchtdichten von Schildern bei der SBB mit 50–1'000 Candela/m² deutlich höher angesetzt, vgl. (VöV, 2021)

6.1.7 Lichtsteuerung

Es gibt grundsätzlich vier verschiedene Methoden zur (intelligenten) Lichtsteuerung: 1. Abschaltung, 2. Dimmung, 3. Sensorbasiert, 4. Verkehrsabhängige Lichtregelung. Möglich ist auch eine Kombination der vier Methoden. Vgl. (EKZ, 2021) Nachfolgend wird unter Lichtsteuerung insbesondere die sensorbasierte Steuerung verstanden werden.

Bisher setzt die SBB keine bedarfsgerechte bzw. präsenzabhängige Lichtsteuerung ein. In Ebikon gibt es einen ersten Teststandort in der Unterführung. Am Bahnhof Tann-Dürnten (ZH) soll alsbald eine Sensorsteuerung in Betrieb genommen werden. Zudem hatte es in der Vergangenheit in der Personenunterführung am Bahnhof Neuchâtel im Jahr 2013 bereits eine erste Versuchsanlage gegeben. Bei dynamischen Absenksystemen ist auch immer der ökonomische Aspekt zu berücksichtigen. Sie eignen sich nur für sehr kleine Bahnhöfe, an denen nachts auch wirklich mal die Beleuchtungsstärke reduziert werden kann. Zudem müssen auch allfällige negative Aspekte für die Anwohnerschaft durch ein sich ständig änderndes Beleuchtungsniveau sauber geklärt werden. Je nach dem kann ein solches störender sein als ein höheres, dafür konstantes Lichtniveau. (Iannaccone, 2021)

Die **Rhätische Bahn (RhB)** «hat den ersten Bahnhof im Jahr 2011 mit einer präsenzabhängigen Steuerung ausgerüstet. Seitdem ist das bei uns Standard» (Cotti, 2021). In der Betriebszeit des Bahnhofs soll bei Zugseinfahrten oder anwesenden Personen eine möglichst optimale, den Normen entsprechende, Beleuchtung vorhanden sein. Halten sich keine Personen auf dem Bahnhof auf oder ausserhalb der Betriebszeiten, wird die Beleuchtung aus Gründen der Energieeffizienz und Verhinderung von Lichtverschmutzung auf ein Minimum reduziert oder ausgeschaltet. Die Automation der Beleuchtung erfolgt über DALI Speisegeräte, heute vorzugsweise an LED-Leuchten. (Cotti, 2015) Die Beleuchtung auf den Perrons wird in Gruppen unterteilt, welche jeweils eine besondere Funktionalität aufweisen, bspw. Perron Normalbetrieb, Perron Aufgang PU, Perron Randzone oder PU. Im Automatikmodus wird die Beleuchtung über die Kriterien Dämmerung, Betriebszeit und Präsenz auf das erforderliche Beleuchtungsniveau reguliert. Fährt bei Dämmerung ein Zug ein oder nähern sich Personen den mit Präsenzmeldern ausgerüsteten Zonen, so wird die Beleuchtung auf das von der Norm festgelegte Beleuchtungsniveau reguliert. Die restliche Zeit verbleibt die Beleuchtung auf einem sehr tiefen Beleuchtungsniveau (z.B. 10%), das zur Erkennung des beleuchteten Bahnhofs immer noch ausreicht. Die präsenzabhängige Regulierung besitzt eine Ausschaltverzögerung von 5 Minuten. Damit wird eine dauernde Regulierung verhindert. (Cotti, 2015)

Die **SOB** 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 2 Minuten ohne Aktivität auf dem Perron wird die Intensität wieder 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 2 Minuten ohne registrierte Bewegung wieder auf 0% heruntergefahren. (BAFU, 2017) und (BAFU, 2021)

Ausserhalb der «rush hour» erfolgt in den drei nordischen Ländern **Schweden, Dänemark und Norwegen** unabhängig von der Bahnhofsklasse eine Dimmung der Beleuchtungsstärke um 50%. Zurzeit wird evaluiert, ob 1–2 Minuten nach Zugsausfahrt eine Absenkung um ca. 20–50% und eine Anhebung ca. 1–2 Minuten vor Zugseinfahrt auf 100% eingeführt werden soll. Gemäss Hafdell (2021) ist es wichtig, dass die Perrons bei Zugseinfahrt auch bei wenigen Kunden 100% beleuchtet sind. Damit wird gewährleistet, dass Kunden, die sich an ein höheres Beleuchtungsniveau aus dem Zug gewöhnt sind, nicht in eine dunkle Umgebung aussteigen. Insgesamt können mit dieser bedarfsgerechten Steuerung die Lichtverschmutzung und der Energieverbrauch vermindert werden, ohne dabei die Sicherheit der Kunden zu tangieren. (Hafdell, 2021b) Finnland kennt bisher keine Vorgaben zur Dimmbarkeit. Es herrscht keine Einigkeit darüber, auf welcher Basis das Licht gedimmt werden sollte (z.B. Fahrplan, Ein- und Ausfahrt, Zeit). (Saari, 2021)

Sämtliche überdachte und nicht überdachte Aussenanlagen müssen bei der **ÖBB** mit LED ausgestattet werden. Diese werden mit Dämmerungsschaltern und Präsenzmeldern ausgestattet. Die Dämmerungsschalter bewirken eine Ein- bzw. Ausschaltung bei genügender bzw. ungenügender Beleuchtung. In bestimmten Wartebereichen

und -räumen werden **Präsenzmelder** eingesetzt. Schliesslich garantiert die zeitabhängige Steuerung, dass zu personenverkehrsfreien Zeiten nicht beleuchtet wird. Vgl. (ÖBB, 2019)

6.1.8 Vollzug bzw. Umsetzung der Regelungen

Die RTE 26201 gilt «für sämtliche Beleuchtungsanlagen [...] der Schweizer Bahnen und deren Vertragspartner. [...] Die Umsetzung erfolgt bei wesentlichen¹⁾ Veränderungen der Beleuchtungsanlagen: Projektierung von neuen Beleuchtungsanlagen²⁾; bei bestehenden Anlagen, wenn es die Sicherheit zwingend erfordert (Art. 10 Abs. 2 EBV).» (VöV, 2021)

¹⁾ «Als wesentliche Veränderung ist der Ersatz ganzer Anlagen zu verstehen. I.d.R. ist eine Veränderung dann wesentlich, wenn ein Plangenehmigungsverfahren für den Umbau der Anlage gemacht werden muss.»

²⁾ «Diese Regelung gilt nur für Neuanlagen. Bestandsanlagen müssen die Vorgaben in diesem Dokument nicht zwingend erfüllen, es besteht kein Anspruch auf Nachbesserung.» (VöV, 2021)

Obenstehender Passus ist hinsichtlich der Umsetzung der Vorgaben bzw. Empfehlungen der RTE stark einschränkend. Es werden nur selten ganze Anlagen ersetzt. Bestehende Beleuchtungen müssen die Vorgaben nicht erfüllen. Dies ist auf den ersten Blick auch einleuchtend. «Es kann unmöglich von Infrastrukturbetreibern verlangt werden, dass sie bei einer Normänderung all ihre Anlagen umbauen gehen, das wäre weder technisch, ökonomisch noch ökologisch sinnvoll. Eine Anlage muss bei ihrer Erstellung den geltenden Regeln der Technik entsprechen. Natürlich gibt es hier Ausnahmen, wenn z.B. eine Leuchte einen Anwohner blendet oder ähnliches» (Iannaccone, 2021)

Eine eigentliche «Sanierung» – wie in anderen Umweltbereichen (z.B. Altlasten oder Störfall) – ist und wird damit ausgeschlossen. Damit besteht die Gefahr, dass problematische Beleuchtungen übermässig Lichtemissionen erzeugen, die während Jahren oder Jahrzehnten zumindest bestimmte Taxa stören, Ökosysteme beeinträchtigen und den Nachthimmel aufhellen können.

6.1.9 Kommerzielle Beleuchtung

An den Bahnhöfen der SBB existieren total 234 Kioske und 159 Convenience Läden (aperto, avec, coop pronto, migrolino, Spar) (SBB, o. J. c). Insgesamt existieren knapp 8'000 analoge und digitale Werbeflächen (SBB, o. J. c). Davon betreibt SBB Immobilien im Aussenraum (Eingang Bahnhof, Perron) ca. 30 digitale Werbeträger mit entsprechenden Lichtemissionen (Holliger, 2021). Es ist davon auszugehen, dass die digitalen die analogen Werbeträger vermehrt ersetzen werden. Migrolino, aperto und coop pronto befinden sind fast alle im Aufnahmegebäude oder im Anbau der SBB. Die Mehrzahl der Läden ist bei fast allen mittelgrossen und kleinen Bahnhöfen von aussen am Bahnhof ersichtlich (bei den 9 grössten Bahnhöfen nicht). (Widmer, 2021)

Dass die Beleuchtung von Convenience Läden im Aussenraum nach Ladenschluss weiterhin brennt, ist nicht nachvollziehbar (vgl. zum Beispiel in Abbildung 36).

Abbildung 36: Bahnhof Bülach (ZH), Aufnahme vom 23. September 2021 (23:20 Uhr)



Quelle: Eigene Darstellung.

Gemäss Bundesgerichtsentscheid zur Bahnhofsbeleuchtung Oberrieden muss die für die Sicherheit des Bahnverkehrs nicht erforderliche Beleuchtung zwischen 22 und 6 Uhr abgestellt bzw. reduziert werden (BGE 140 I 1 214). Zudem verlangt auch die RTE 26201, dass «Beleuchtungsanlagen bei Nichtverwendung wenn möglich auszuschalten oder auf einen minimalen Wert zu dimmen sind. Insbesondere für den Zeitraum zwischen 22:00 Uhr und 06:00 Uhr, analog den Bestimmungen für Lärmemissionen, ist das Abschalten oder eine Reduktion anzustreben.» (Iannaccone, 2021) hält dazu fest: «Gemäss BGer Urteil müssten Werbebeleuchtungen eigentlich nach 22:00 Uhr ausgeschaltet werden – macht aber natürlich niemand...». Die Werbebeleuchtungen liegen in der Hoheit von SBB Immobilien.

«Je mehr störende Lichteinflüsse [...] 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. (BAFU, 2021) Das hiesse, dass man nicht nur, weil die Umgebungsbeleuchtung schon hoch ist, noch höhere Werte ansteuern soll, nur um sich vom Rest der Beleuchtung abzuheben. Viel eher ist bspw. darauf hinzuwirken, dass auch die andere Beleuchtung (z.B. Werbung etc.) abgestellt oder reduziert wird.

6.1.10 Ausnahmen

Die Lichtvorgaben am Bahnhof gemäss RTE 26201 lassen im Einzelfall sehr viel Spielraum: «Aufgrund situativer Gegebenheiten kann es sein, dass das Licht am gesamten Bahnhof oder Teilen davon nicht gelöscht werden darf

(nachfolgende Aufzählung ist nicht abschliessend): a) Angebot von Services (z.B. Billettautomat, Verpflegungsautomat, etc.): der gesamte sichere Weg, vom öffentlichen Bereich bis zu diesen Services, muss mindestens gemäss Regelung ausgeleuchtet sein (Werte gemäss Betriebsschluss), b) Personenunterführung, Perrons, oder Teile des Bahnhofes werden als Verbindungsweg der Gemeinde genutzt (Werte gemäss Betriebsschluss), ausgenommen die Gemeinde schaltet im selben Zeitraum auch die angrenzende öffentliche Beleuchtung aus (Zeiten sind zu synchronisieren), c) Ausgewiesener Vandalismus, d) Installierte Videoüberwachung. (VöV, 2021)

De facto heisst dies in der Praxis, dass mit Hinweis auf diesen Passus bei einem sehr grossen Teil der Bahnhöfe das Licht am gesamten Bahnhof oder Teilen davon gar nie gelöscht werden darf. Auch aus Sicht des BAFU sind diese Ausnahmen «aus Umweltsicht problematisch bzw. nicht verhältnismässig» (Reichenbach und Kretzer, 2021b).

Störend ist dabei insbesondere Buchstabe a). Dass ein Billettautomat auch um 2 Uhr nachts funktionieren und der Weg dorthin ausgeleuchtet werden sollte, leuchtet ein. Die SBB muss gewährleisten, dass angebotene Dienstleistungen ohne Gefahr in Anspruch genommen werden können. Dass Teile oder der gesamte Bahnhof wegen eines einzelnen Selecta Automaten die ganze Nacht beleuchtet werden müssen, ist dagegen weniger einsichtig bzw. nicht verhältnismässig. Dass auch der Billettautomat im Zuge der Digitalisierung in der Nacht zukünftig weniger frequentiert werden dürfte, ist ebenfalls klar. Neben der ökologischen Dimension ist auch die ökonomische Sichtweise wichtig: Kosten für das Licht in der Nacht versus Umsatz des Selecta- oder Billettautomaten.

Die Frage ist auch, ob Beleuchtung an sich Vandalismus begünstigt oder eher verhindert. Zumindest im Lichte der Erörterungen in Kapitel 4.3.2.1 ist folgendes zu berücksichtigen: Wenn eine Beleuchtung als nötig angesehen wird, sollte diese ohne grosse Hell-Dunkel-Unterschiede und möglichst gleichmässig betrieben werden.

6.1.11 Positive Beispiele

Positivbeispiele sind gemäss (Iannaccone, 2021) jene Anlagen, die seit 2018/2019 gebaut werden. Dazumal wurde die neue Leuchte (Mastleuchte, z.B. Pro Light Serie 105 LED) eingeführt, die massiv **weniger Streulicht** hat. Ausserdem wird **DALI** konsequent überall eingesetzt. **Ab 2022** werden alle neue Leuchten Full-Cut-Off sein, das heisst mit einem **ULOR von 0%**. Die Nachtabsenkung ist dagegen noch nicht auf dem Optimum.

Am 1. November 2021 fand mit dem technologischen und strategischen Anlagenmanagement eine Begehung der Bahnhöfe Oberrieden (See), Thalwil und Horgen statt. Die Anwesenden haben sich unter anderem einen Eindruck zu den unterschiedlichen Lichtfarben an den drei Bahnhöfen verschafft. Dabei wurden innerhalb von 2 Stunden mehrere Wechsel von 4'000 Kelvin (Thalwil und Horgen) zu 3'000 Kelvin (Oberrieden) vorgenommen: Einsteigen in Oberrieden (See), Aussteigen in Horgen, Einsteigen in Horgen, Aussteigen in Oberrieden (See), Einsteigen in Oberrieden (See), Aussteigen in Thalwil etc. Die Wahrnehmung des Autors bezüglich Lichtfarbe kann

wie folgt zusammengefasst werden: Am Bahnhof Oberrieden (See) dominieren Geborgenheit, Sicherheit und Wohlfühlen, vgl. Abbildung 37. An den Bahnhöfen Thalwil und Horgen wurde der Autor durch das unangenehme Blendgefühl, herabgesetzte Aufenthaltsqualität sowie Ausgesetzttheit begleitet. Die Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491 findet sich in Tabelle 8.

Abbildung 37: Bahnhof Oberrieden (See), 1.11.2021 (19:04)



Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 8: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	An der Begehung vor Ort (1.11.2021) fanden sich keine Hinweise darauf, dass unnötig beleuchtet wird.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten		●
Nur dann beleuchten, wenn nötig		●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen	An der Begehung vor Ort (1.11.2021) wurde der Normwert zur Beleuchtungsstärke im Wartehaus übertroffen.	●
Kein in den Himmel strahlendes Licht		●
Möglichst wenig kurzwelligen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Als einziger SBB Bahnhof in der Schweiz wird Oberrieden (See) mit warmweissem Licht (< 3'000 Kelvin) beleuchtet.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12 Beispiele mit Verbesserungspotential

Anfällig für Negativbeispiele sind häufig solche Anlagen, bei denen beim Umbau externe Architekten oder schlechte Lichtplaner involviert sind, die sich verwirklichen wollen und sich teils auch um die Standardprodukte

der SBB foutieren (Iannaccone, 2021). Das BAFU (2021b) kennt kein Positivbeispiel bzw. konnte keines nennen. Wenn Massnahmen aus Umbauten die Normwerte einhalten oder Licht ausgeschaltet wird, ist dies aber positiv zu werten. Generell erachtet es das BAFU als negativ, wenn ein transluzentes Dach installiert wird, welches Lichtemissionen in den Nachthimmel zulässt.

Nachfolgende Beispiele zeigen den Handlungsbedarf exemplarisch auf. Einige Beleuchtungen dieser Bahnhöfe wurden vor Inkrafttreten der SIA 491 im Jahr 2013 geplant. Allerdings hatte das BAFU bereits 2005 Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen herausgegeben, vgl. (BUWAL, 2005).

6.1.12.1 Chêne-Bourg (VD)

«Schlechtes Beispiel aus dem Projekt Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse (CEVA). Es wurden keine Full-Cut-Off Leuchten eingesetzt und das rote Licht, welches weitem alles beleuchtet, spricht Bände» (Iannaccone, 2021). Vgl. Abbildung 38 und Tabelle 9.

Abbildung 38: Bahnhof Chêne-Bourg (VD)



Quelle: (Iannaccone, 2021)

Tabelle 9: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Beleuchtung der angrenzenden Häuserfassaden sind aus Sicht des Betriebs und der Sicherheit nicht notwendig.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig		●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen		●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Es werden keine Full-Cut-Off Leuchten eingesetzt. Die Dächer sind transluzent, so dass Licht in den Nachthimmel strahlen kann.	●

Möglichst wenig kurzwelligen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	●
---	---

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.2 Bern

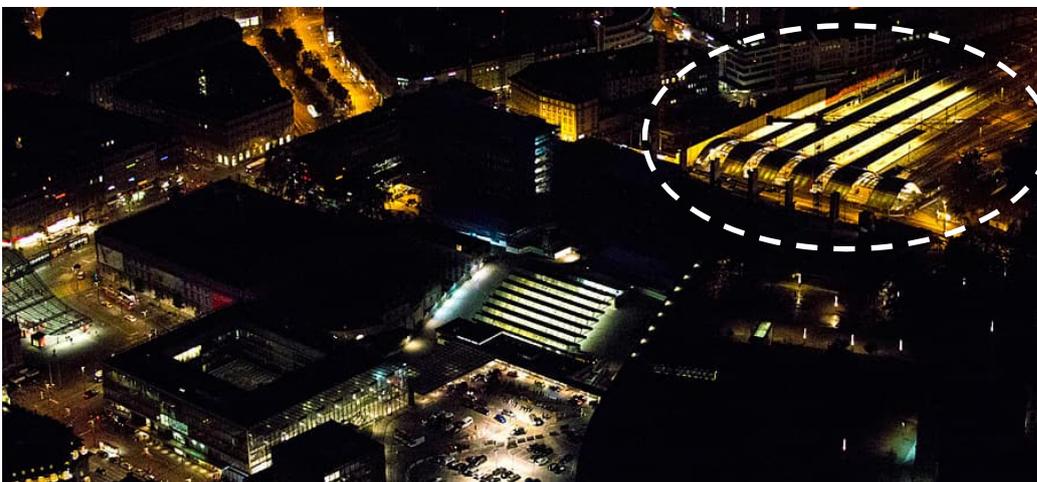
Der südliche Teil des Bahnhofs Bern ist durch eine nicht durchgehend abgeschirmte Wellenkonstruktion erkennbar. Bezüglich Lichtemissionen ist diese Bauweise suboptimal. Vgl. Abbildung 39, Abbildung 40 und Tabelle 10.

Abbildung 39: Bahnhof Bern am Tag (Welle), 1.11.2021 (14:45)



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 40: Bahnhof Bern in der Nacht (Welle)



Quelle: (Hodel, o. J.)

Tabelle 10: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Licht im Bahnzugang unterhalb der «Welle» ist betriebs- und sicherheitsrelevant. Bauliche Lücken der einzelnen Wellen führen aber dazu, dass viel Streulicht in den Nachthimmel abgestrahlt wird und zur Akzentuierung der Lichtglocke über Bern beitragen sowie bspw. nachaktive Insekten anziehen.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig		●

Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen		●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Leuchten strahlen ohne Abschirmung nach oben.	●
Möglichst wenig kurzwelligen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Nach einem Augenschein vor Ort (1.11.2021, 14:45) kann davon ausgegangen werden, dass warmweisses Licht eingesetzt wird.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.3 Zug

«Die transparenten Glasfassaden des Hallendaches werden mit Licht angestrahlt und durch die Hinterleuchtung der Bauteile entsteht eine intensive räumliche Lichtwirkung, die sich mit der Architektur des Bahnhofs verbindet. Die Lichtfarben werden durch separat ansteuerbare rot, grün und blau befilterte Fluoreszenzröhren erzeugt. Die Lichtinstallation verändert die Bahnhofshalle zum Lichtraum, zu einem leuchtenden Volumen, das nachts in die Stadt hinaus strahlt. Der amerikanische Lichtgestalter J. Turrell hat sich über mehrere Jahre mit verschiedenen Raum Lichtinstallationen einen Namen gemacht.» (Lichtzone, o. J.) Vgl. Abbildung 41 und Tabelle 11.

Abbildung 41: Bahnhof Zug



Quelle: (Kathriner, o. J.)



Quelle: (Abicht Gruppe, o. J.)



Quelle: (Abicht Gruppe, o. J.)

Tabelle 11: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Die mit Licht bespielten Glasfassaden sind weder betriebs- noch sicherheitsrelevant. Es handelt sich um reine dekorative Beleuchtung.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig	Es kann davon ausgegangen werden, dass die Glasfassaden nicht nur in der Dämmerung, sondern zumindest bis Betriebsschluss leuchten.	●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Licht kann teilweise in den Himmel strahlen.	●
Möglichst wenig kurzwelligen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Wechselndes Licht aus Fluoreszenzröhren strahlt im ganzen Spektrum, also auch im kurzwelligen Bereich.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.4 Zürich-Oerlikon

Der Bahnhof Oerlikon ist durch transluzente Glasfassaden bzw. Kuben gekennzeichnet. Vgl. Abbildung 42 und Tabelle 12.

Abbildung 42: Bahnhof Zürich-Oerlikon



Quelle: (vogtpartner, 2017)

Tabelle 12: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

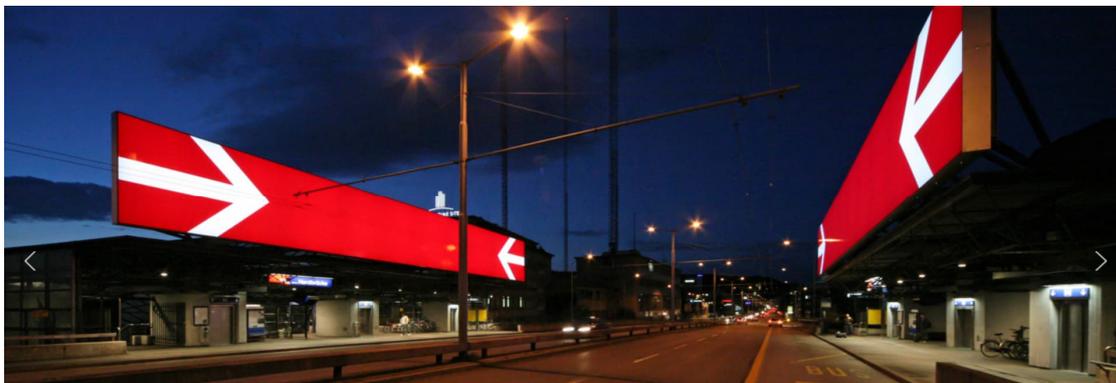
Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Die mit Licht bespielten Glasfassaden sind weder betriebs- noch sicherheitsrelevant. Es handelt sich um reine dekorative Beleuchtung.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig		●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen		●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Licht kann – zumindest teilweise – in den Himmel strahlen.	●
Möglichst wenig kurzwelligen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Es wird zumindest kein warmweisses Licht gemäss SIA 491 verwendet.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.5 Zürich Hardbrücke

Die roten Lichtbänder am Bahnhof Hardbrücke wurden 2007 fertiggestellt (vgl. Abbildung 43). Das neue Dach in Form von Kuben (vgl. Abbildung 44) wurde 2017 errichtet. Vgl. dazu auch die Grobbeurteilung in Tabelle 13.

Abbildung 43: Bahnhof Zürich Hardbrücke 2007



Quelle: (vogtpartner, 2007)

Abbildung 44: Bahnhof Zürich Hardbrücke 2017



Quelle: (Lucet, 2017)

Tabelle 13: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

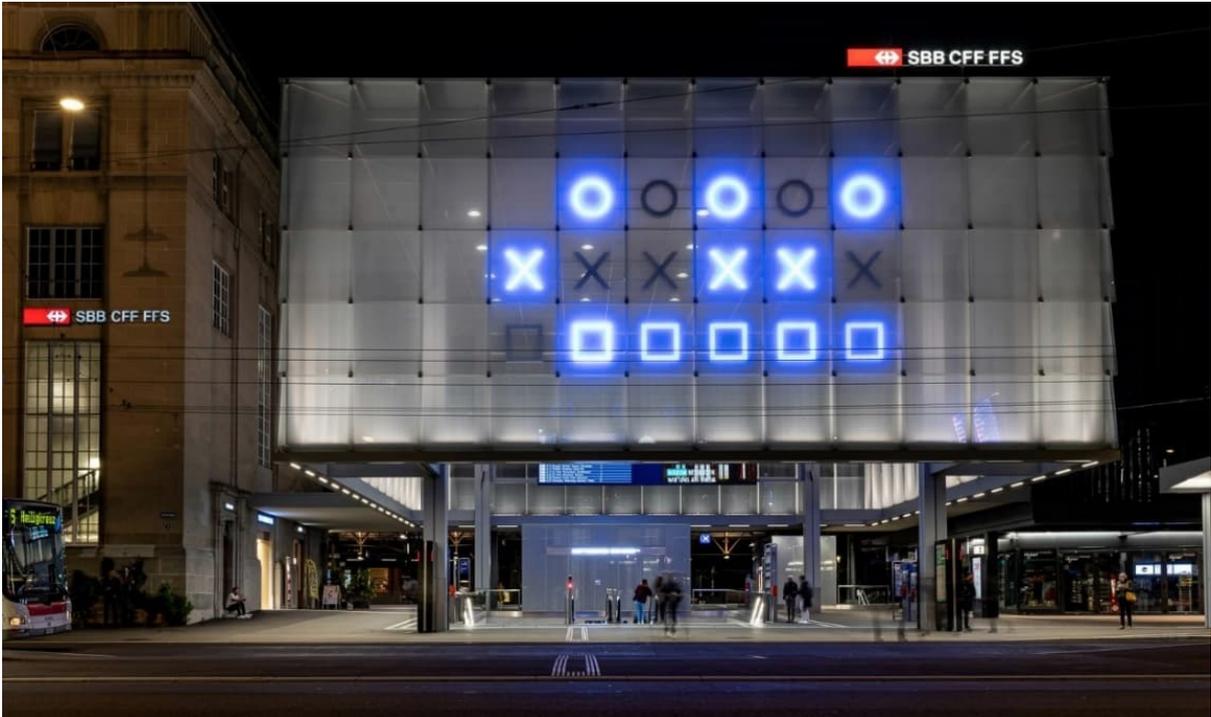
Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Reines «Kommerzlicht» bzw. Werbung für die SBB. Den Bahnhof findet man auch ohne die roten Lichtbänder.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig	Es kann davon ausgegangen werden, dass die Lichtbänder nicht nur in der Dämmerung, sondern auch in der Nacht leuchten; ebenso das violette, atmosphärische Indirektlicht des «Catwalks».	●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Licht kann teilweise in den Himmel strahlen.	●
Möglichst wenig kurzwelligem Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Violettes Licht des «Catwalks» dürfte wohl im Bereich von <500nm strahlen.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.6 St. Gallen

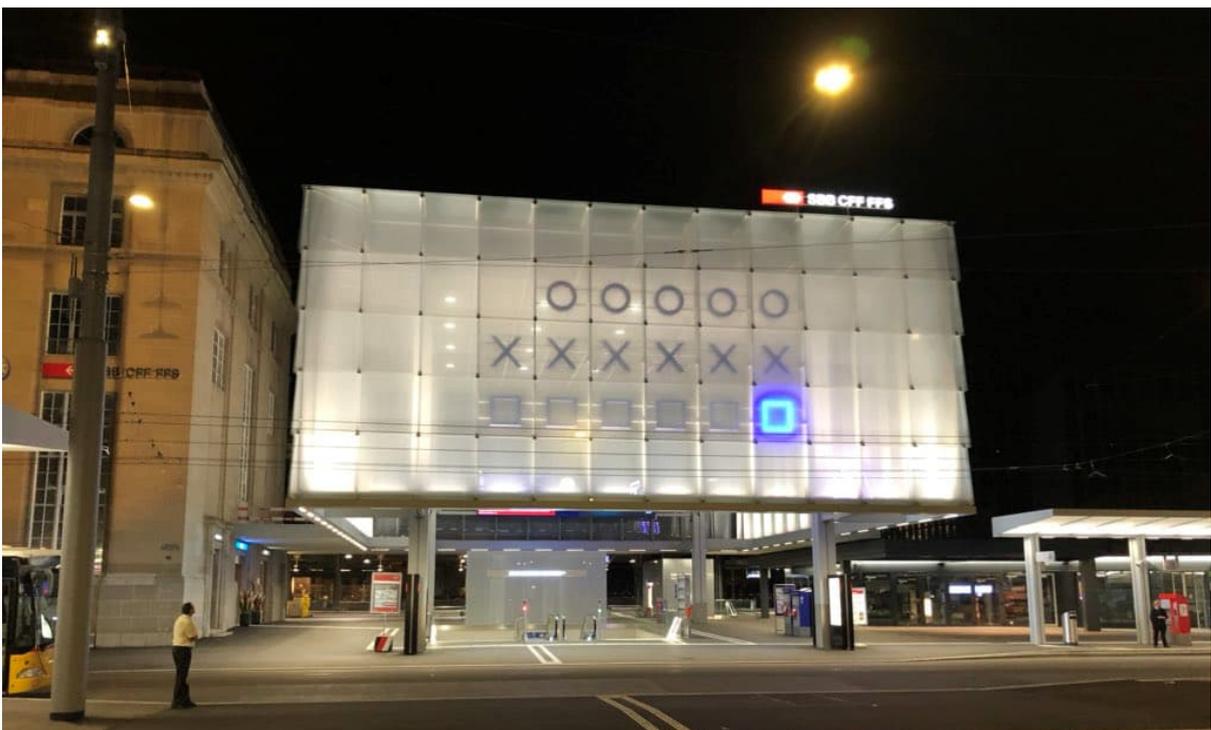
Der Bahnhof St. Gallen zeichnet sich durch den lichtdurchlässigen Kubus mit der binären Uhr aus, vgl. Abbildung 45 und Abbildung 46. Vgl. die Grobbeurteilung in Tabelle 14.

Abbildung 45: Bahnhof St. Gallen



Quelle: (Liachtblick, o. J.)

Abbildung 46: Bahnhof St. Gallen



Quelle: (Borth, 2018)

Tabelle 14: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Nicht betriebs- oder sicherheitsrelevantes Kunst-/Akzentlicht des Kubus und der Uhr.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig	Zumindest die «Uhr» strahlt wohl auch in der Nacht.	●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Licht kann teilweise in den Himmel strahlen.	●
Möglichst wenig kurzwelligigen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Zumindest die «Ziffern» der Uhr strahlen wohl unterhalb 500nm. Das Licht des Kubus dürfte nicht warmweiss strahlen.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.7 Bellinzona

Der 2016 realisierte Bahnhof wird aus architektonischen Gründen beleuchtet, vgl. Abbildung 47 und Tabelle 15.

Abbildung 47: Bahnhof Bellinzona



Quelle: (vogtpartner, 2015)

Tabelle 15: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Nicht betriebs- oder sicherheitsrelevante Beleuchtung der gesamten Gebäudefassade.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig	Ob eine Nachtabsenkung und/oder -ausschaltung erfolgt, ist nicht klar.	● / ●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Licht kann teilweise in den Himmel strahlen.	●
Möglichst wenig kurzwelligigen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.8 Olten

Der lichtdurchlässige Kubus als Teil des Bahnhofs strahlt rotes und weisses Licht in die Umgebung ab, vgl. Abbildung 48. Vgl. Tabelle 16 für die Grobbeurteilung hinsichtlich Lichtemissionen.

Abbildung 48: Bahnhof Olten



Quelle: (Lumos, o. J.)

Tabelle 16: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Nicht betriebs- oder sicherheitsrelevante Beleuchtung mit roten Lichtpunkten.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig	Ob eine Nachtabsenkung und/oder -ausschaltung erfolgt, ist nicht klar.	● / ●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Licht kann teilweise in den Himmel strahlen. Transluzente Fassaden.	●
Möglichst wenig kurzweiligen Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●

Quelle: Eigene Darstellung

6.1.12.9 Basel

Ähnlich wie der Bahnhof Bellinzona wird der Bahnhof Basel aus Gründen der Architektur angeleuchtet, vgl. Abbildung 49. Die Grobbeurteilung zu den Lichtemissionen ist in Tabelle 17 dargestellt.

Abbildung 49: Bahnhof Basel



Quelle: (Baselferien, o. J.)

Tabelle 17: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491

Grundsatz gemäss RTE 26201 und SIA 491	Grobe Beurteilung	Erfüllt ● / Erfüllung unklar ● / Nicht erfüllt ●
Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss	Angestrahlte Gebäudefassade ist nicht betriebs- oder sicherheitsrelevant.	●
Korrekte Ausrichtung der Leuchten	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Nur dann beleuchten, wenn nötig	Ob eine Nachtabsenkung und/oder -ausschaltung erfolgt, ist nicht klar.	●
Normwerte erfüllen aber nicht übererfüllen	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●
Kein in den Himmel strahlendes Licht	Licht kann teilweise in den Himmel strahlen.	●
Möglichst wenig kurzwelligem Strahlungsanteil haben (SIA 491)	Beurteilung nur vor Ort mit professionellem Lichtplaner möglich.	●

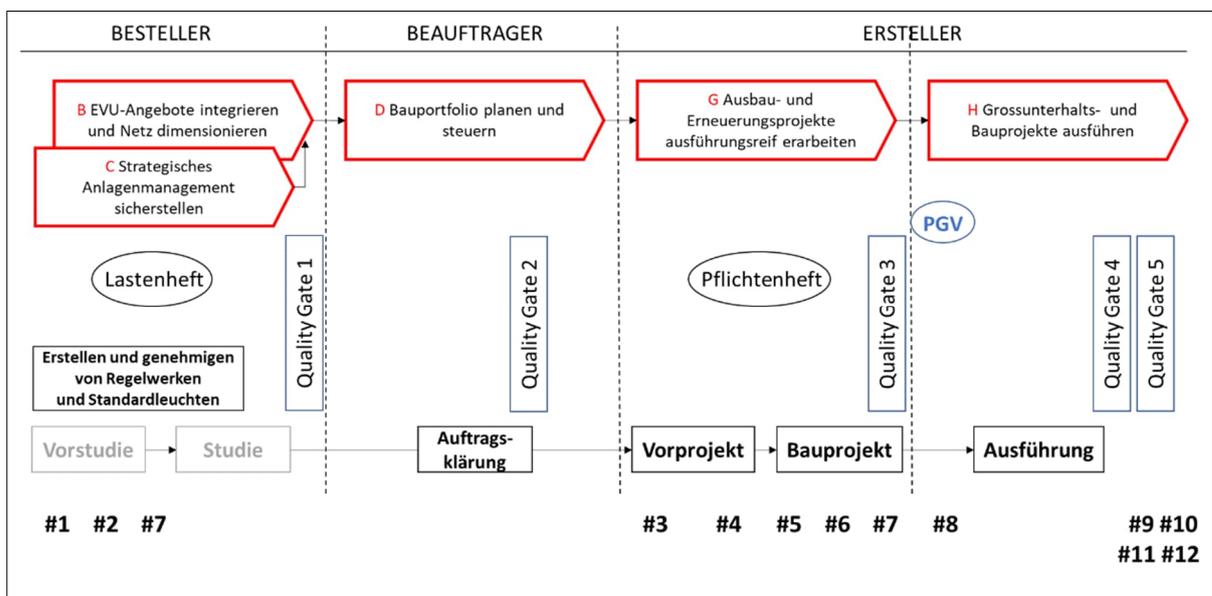
Quelle: Eigene Darstellung

Das BAFU hat gemäss (Reichenbach und Kretzer, 2021b) keine Kenntnis von obenstehenden Beispielen mit Verbesserungspotential bzw. hat im Rahmen allfälliger PGV dazu keine Stellung genommen. Viele Beleuchtungen wurden in den Nullerjahren erstellt und damit gemäss BAFU vor der eigentlichen Wahrnehmung des Themas Licht als Problem. An dieser Stelle ist allerdings anzufügen, dass das BAFU (bzw. dazumal BUWAL) bereits im Jahr 2005 Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen im Vollzug herausgegeben hatte, vgl. (BUWAL, 2005)

7 Lösungsansätze

«Der **Bauherr oder Eigentümer** löst durch den Auftrag für eine emissionsarme Aussenbeleuchtung den ersten wichtigen Schritt aus. Der **Planer** unterstützt den Bauherrn und projiziert die optimierte Beleuchtungsanlage, unter Einhaltung der einschlägigen Normen. Die **Behörden** nehmen massgeblichen Einfluss auf die Durchsetzung optimaler und haushälterischer Lichtnutzung. Die Behörden spielen eine wichtige Rolle bei der Umsetzung von Art. 73 der Bundesverfassung.» (Schweizer Norm, 2013) Dieses Zitat aus der SIA 491 zeigt, dass eine emissionsarme Aussenbeleuchtung und mögliche **Lösungen an mehreren Stellen ansetzen müssen** bzw. von mehreren Stakeholdern beeinflusst werden. Die nachfolgenden Lösungsvorschläge setzen entsprechend in allen Prozessschritten von der Vorstudie bis zur Ausführung an, vgl. Nummern in nachfolgender Abbildung 50.

Abbildung 50: Lösungsvorschläge (#1 – #12) entlang des Prozesses Vorstudie bis Ausführung



Quelle: Eigene Darstellung

7.1 #1: Lichtkonzept mit Vision, Strategie und Massnahmen erarbeiten

Zurzeit verfügt die SBB über kein Lichtkonzept. Gewisse Ansätze davon sind zwar in der neuen RTE 26201 erkennbar. Sie haben aber übergeordneten Charakter und sind nicht auf eine einzelne Infrastrukturbetreiberin zugeschnitten. Es fehlen eine Vision und Ziele, welche die SBB mit ihrer Beleuchtung an Bahnhöfen erreichen möchte. Davon abgeleitete Massnahmen fehlen entsprechend ebenfalls. Wo möchte die SBB mit ihrer Beleuchtung hin? Ist das Ziel «so viel wie nötig» oder «so wenig wie möglich»? In der Strategie könnte nicht nur erörtert werden, wieviel mindestens zu beleuchten ist, sondern auch wieviel maximal. Inwiefern weicht man beispielsweise zugunsten der Umwelt oder der Kunden von privatrechtlichen Normen ab? Was gewichtet im konkreten Fall mehr: Der Arbeitnehmende der SBB, der Kunde oder die Umwelt? Und wie ist das Zusammenspiel mit ökonomischen

Betrachtungen (Energieeffizienz, life cycle, Kreislaufwirtschaft u.a.m.)? Auch der Einbezug der Anspruchsgruppen ist nicht immer gewährleistet. So werden zu Beleuchtungen – bspw. im Werbebereich – die Lockführer «fast nie vorgängig miteinbezogen». (Muri, 2021) Dies ist gemäss Iannaccone (2021) aber primär ein Immobilien Thema. So hatte SBB Infrastruktur in der Vergangenheit im Rahmen von Ausschreibungen Lokführerbefragungen (Kandelaberleuchte) oder Musterinstallationen (Perrondachleuchte) durchgeführt. Um die verschiedenen Bedürfnisse abzuholen sowie Verständnis für eine geplante Änderung der Beleuchtung zu schaffen, empfiehlt es sich, die unterschiedlichen Anspruchsgruppen in die Erarbeitung der Beleuchtungsstrategie miteinzubeziehen.

Empfehlung:

Es wird der SBB empfohlen, ein **Lichtkonzept** für ihre Bahnhöfe nach folgendem Schema zu erarbeiten:

- **Vision** (*Wo will die SBB hin?*): z.B. «Die SBB gestaltet ihre Bahnhofsbeleuchtung bis 2040 so, dass die Lichtverschmutzung gegenüber 2020 deutlich reduziert und die Aufenthaltsqualität ihrer Kunden erhöht wird, ohne dabei die Sicherheit zu tangieren.»
- **Strategie** (*Wie soll die SBB vorgehen?*): Mit einer Ist-Analyse (z.B. mittels Screenings, vgl. Kapitel 7.9), ambitionierten und quantifizierten Zielen, unter Einbezug der wichtigsten Stakeholder⁴⁸, einem Meilensteinplan und Monitoring sowie begleitenden Massnahmen wie Sensibilisierung und Schulungen.
- **Ziele** (*Was soll die SBB konkret erreichen?*): z.B. «Bis 2040 beleuchtet die SBB 50% aller Bahnhöfe mit warmweisse Licht» z.B. «Bis 2050 werden 25% aller Bahnhöfe mit bedarfsgerechter Lichtsteuerung betrieben»
- **Massnahmen** (*Wie kann die SBB die Ziele erreichen?*): z.B. «Die SBB arbeitet mit Licht- und Elektroplanern sowie Architekten zusammen, welche sich zur Einhaltung der SIA 491 verpflichten». z.B. «Die kommerzielle Beleuchtung von Convenience Läden wird nach Ladenschluss konsequent ausgeschaltet».

7.2 #2: Regelwerk RTE 26201 anpassen

Die bei der SBB seit 15. September 2021 geltende RTE 26201 «Beleuchtung Bahninfrastruktur» soll in nachfolgenden Punkten angepasst werden:

7.2.1 Lichtfarbe von 4000 auf ≤3000 Kelvin senken

Empfehlung:

- Anpassung von Kapitel 4.8 Farbtemperatur: «Im Bahnumfeld, insbesondere im Aussenraum von Publikumsanlagen, wird aufgrund der Betriebssicherheit als Standard eine neutralweisse Farbtemperatur von ≤3'000

⁴⁸ Der Einbezug kann beispielsweise wie folgt erfolgen: **Informationsveranstaltungen** durchführen: Öffentliche Angebote und Anschauungsbeispiele können zum Austausch und zur Sensibilisierung der Bevölkerung dienen. **Befragungen** können sowohl den Ist-Zustand, die Ansprüche an eine zukünftige Beleuchtung als auch Erfahrungen in einem Testbetrieb mit umgestellter Beleuchtung zum Gegenstand haben. «**Lichtspaziergänge**» an Bahnhöfen: Auf nächtlichen «Lichtspaziergängen» mit Gruppen aus der Bevölkerung können verschiedene Varianten einer neuen Beleuchtung in der realen Umgebung bemustert und diskutiert werden. Vgl. (BAFU, 2021)

- 4'000 K empfohlen.» [Neuer Passus] Kommerzielle Beleuchtung: «Ab Einsetzen der Dämmerung und bei Dunkelheit beträgt die Farbtemperatur ≤ 3000 K.»
- Anpassung von Kapitel 4.13 Beleuchtung im Kontext mit Umweltschutz (USG): «Einsatz von ~~neutralweissen~~ (~~4'000 K~~) $\leq 3'000$ K Licht wird empfohlen.»
 - Anpassung Anhang A5 Farbtemperatur: «Bei der SBB werden als Standard Leuchten mit $\leq 3'000$ K ~~4'000 K~~ Farbtemperatur eingesetzt.»

7.2.2 Lichtimmissionen reduzieren

Empfehlung:

In Anlehnung an die Beleuchtungsvorgaben für kommerzielle Beleuchtungen der Stadt Bern sowie Luxemburg soll eine zusätzliche Kategorie für Werbeschilder eingeführt und die Leuchtdichten abgesenkt werden, vgl. Tabelle 18. Damit ist auch gewährleistet, dass betriebs- und/oder sicherheitsrelevante Schilder mit einer höheren Leuchtdichte betrieben werden können als kommerzielle Informationsträger.

Tabelle 18: RTE 26201: Lichtimmissionen durch Streulicht im Aussenraum.

Umweltzone	Licht am Immissionsort		Leuchtdichte		
	Ev		L _b	L _s	L _s
	Lux		cd/m ²	cd/m ²	cd/m ²
	Vor Geltungszeit ¹⁾	Nach Geltungszeit	Gebäudefassade	Schilder	Werbeschilder
E1	2	0	0	50	0
E2	5	1	5	400	100
E3	10	2	10	800	200
E4	25	5	25	1'000	300

Erläuterungen:

E1 Dunkle Bereiche, wie z.B. Nationalparks oder geschützte Stätten.
 E2 Bereiche mit geringer Gebietshelligkeit, wie z.B. Industriegebiete oder Wohngebiete in ländlicher Umgebung.
 E3 Bereiche mit mittlerer Gebietshelligkeit, wie z.B. Industriegebiete oder Wohngebiete in Vororten.
 E4 Bereiche mit hoher Gebietshelligkeit, wie z.B. Stadtzentren oder Geschäftszentren.
 Ev Ist der Maximalwert der vertikalen Beleuchtungsstärke am Immissionsort in Lux.
 L_b Ist die höchste mittlere Leuchtdichte einer Fassade eines Gebäudes in cd/m².
 L_s Ist die höchste mittlere Leuchtdichte von Schildern in cd/m².

¹⁾ Die Geltungszeit wird dem Betriebsschluss der jeweiligen Anlage gleichgesetzt.

Quelle: (VÖV, 2021)

7.2.3 Beleuchtungsstärke reduzieren

Hinweis: Die Reduktion der Beleuchtungsstärke muss mit Verbänden, die sich für Menschen mit Beeinträchtigungen einsetzen, vernehmfasst werden. Gegebenenfalls bestehen Zielkonflikte bezüglich Reduktion der Lichtemissionen und den Anforderungen an hindernisfreie Bauten gemäss Verordnung des UVEK über die technischen Anforderungen an die behindertengerechte Gestaltung des öffentlichen Verkehrs (VAböV) bzw. SIA 500.

Empfehlungen:

- Das **Wartehaus** soll unter die überdachten Aussenanlagen subsumiert und der Lux Wert entsprechend von 200 auf 50 Lux abgesenkt werden. Vgl. Tabelle 19
- Es wird zur Prüfung empfohlen, die Vorgabe zur Beleuchtungsstärke von **überdachten Perrons** von 50–100 auf 20–100 zu senken und die Bahnhofsklassen 3 und 4 dem untersten Bereich zuzuordnen, vgl. Tabelle 20.
- Die Beleuchtungsstärken von **Perrons, Rampen und Bahnhofsplätzen** sollen im unteren Bereich um jeweils 5 Lux gesenkt werden. Die SN EN 12464-2 gibt in Ref. Nr. 5.12.1 ebenfalls 5 Lux vor. Vgl. Tabelle 21.
- Bei den **Treppen** soll geprüft werden, ob die Vorgaben im unteren und oberen Bereich um 30 bzw. 50 Lux gesenkt werden können. Im oberen Bereich soll bei den **Rampen** eine Absenkung um 30 Lux geprüft werden. Vgl. Tabelle 21.

Tabelle 19: 5.2 Beleuchtung von Innenanlagen: Wartehaus.

Bereich	E _m HF [Lux]	E _m NF [Lux]	E _m BS [Lux]	U ₀ [-]	U _d [-]	UGR _L [-]	R _a [-]	Quelle
Wartehaus								
Bhf. Klasse [1]; [2a]	200	200	0 / 50	≥ 0.40	–	≤ 22	≥ 80	SN EN 12464-1 Ref. Nr. 5.53.7
Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	200	100	0 / 50	≥ 0.40	–	≤ 22	≥ 80	Ref. Nr. 5.53.7

Quelle: (VöV, 2021)

Tabelle 20: 5.3 Beleuchtung von überdachten Aussenanlagen: Perrons.

Bereich	E _m HF [Lux]	E _m NF [Lux]	E _m BS [Lux]	U ₀ [-]	U _d [-]	GR _L [-]	R _a [-]	Quelle
Abstellbereiche für Fahrräder	5	5	0	≥ 0.25	–	≤ 55	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.9.1
Perrons überdacht								
Bhf. Klasse [1]; [2a]	100	100	0 / 50	≥ 0.50	≥ 1/3	≤ 45	≥ 40	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.19
Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	50	50	0 / 50	≥ 0.40	≥ 1/5	≤ 45	≥ 40	Ref. Nr. 5.12.17
Bhf. Klasse [3]; [4]	20	20	0 / 20					
Wartehaus								
Bhf. Klasse [1]; [2a]	50							
Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	50							
Treppen, Rampen überdacht								
Bhf. Klasse [1]; [2a]	100	100	0 / 50	≥ 0.50	–	≤ 45	≥ 40	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.20
Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	50	50	0 / 50	≥ 0.40	–	≤ 45	≥ 40	Ref. Nr. 5.12.15

Quelle: (VöV, 2021)

Tabelle 21: 5.3 Beleuchtung von nicht überdachten Aussenanlagen.

Bereich	E _m HF [Lux]	E _m NF [Lux]	E _m BS [Lux]	U ₀ [-]	U _d [-]	GR _L [-]	R _a [-]	Quelle
Bahnhofplatz (Verkehrsflächen)								
mit langsamem Verkehr (max. 10 km/h)	10 5	k.A.	k.A.	≥ 0.40	–	≤ 50	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.1.2
mit regelmässigem Verkehr (max. 40km/h)	20	k.A.	k.A.	≥ 0.40	–	≤ 45	≥ 20	Ref. Nr. 5.1.3

Bereich	E_m HF [Lux]	E_m NF [Lux]	E_m BS [Lux]	U_0 [-]	U_d [-]	GR_L [-]	R_a [-]	Quelle
Gehwege im Bahnbereich, nicht überdachte Fussgängerbrücken	10	5	0 / 5	≥ 0.25	–	≤ 50	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.7
Parkplatz Geringes Verkehrsaufkommen Mittleres Verkehrsaufkommen	5 10	5 k.A.	k.A. k.A.	≥ 0.25 ≥ 0.25	– –	≤ 55 ≤ 50	≥ 20 ≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.9.1 Ref. Nr. 5.9.2
Perrons nicht überdacht Bhf. Klasse [1] Bhf. Klasse [2a]; [2b] Bhf. Klasse [3]; [4] Bhf. Klasse [3]; [4]	50 20 10 5	20 10 10 5	0 / 5 0 / 5 0 / 5	≥ 0.40 ≥ 0.30 ≥ 0.25	$\geq 1/5$ $\geq 1/6$ $\geq 1/8$	≤ 45 ≤ 45 ≤ 50	≥ 20 ≥ 20 ≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.16 Ref. Nr. 5.12.9 Ref. Nr. 5.12.6 Ref. Nr. 5.12.1
Perrons nicht überdacht <u>situativ</u> Alle Bahnhofsklassen Letzte max. 30 m der Perronendbereiche ohne Zugang von extern zum Perron. Z.B. schmale Perronenden	10	10	0 / 5	≥ 0.25	$\geq 1/8$	≤ 50	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.6
Perronzugang über das Gleis	20	20	0 / 10	≥ 0.30	$\geq 1/6$	≤ 45	≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.9
Rampen nicht überdacht Bhf. Klasse [1] Bhf. Klasse [2a]; [2b] Bhf. Klasse [3]; [4]	50 20 20 10 10 5	20 10 10 5	0 / 5 0 / 5 0 / 5	≥ 0.40 ≥ 0.30 ≥ 0.25	$\geq 1/5$ $\geq 1/6$ $\geq 1/8$	≤ 45 ≤ 45 ≤ 50	≥ 20 ≥ 20 ≥ 20	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.16 Ref. Nr. 5.12.9 Ref. Nr. 5.12.6
Treppen ≤ 3 Stufen nicht überdacht (als Niveaueausgleich) Bhf. Klasse [1] Bhf. Klasse [2a]; [2b] Bhf. Klasse [3]; [4]	15 15 10	15 10 10	0 / 15 0 / 10 0 / 10	≥ 0.20 ≥ 0.20 ≥ 0.20	– – –	– – –	– – –	SNR 13201-1 SN EN 13201-2 Klasse P1 Klasse P1 / P2 Klasse P2
Treppen nicht überdacht Bhf. Klasse [1]; [2a] Bhf. Klasse [2b]; [3]; [4]	100 50 50 20	100 50 50 20	0 / 50 0 / 50	≥ 0.50 ≥ 0.40	– –	≤ 45 ≤ 45	≥ 40 ≥ 40	SN EN 12464-2 Ref. Nr. 5.12.20 Ref. Nr. 5.12.15

Quelle: (VöV, 2021)

7.2.4 Kommerzielle Beleuchtung ab Ladenschluss konsequent ausschalten

Das BG hat beim Fall Oberrieden v.a. zur Geltungszeit und zur Beleuchtung von Werbeflächen entschieden. Auf Basis dieses BG Entscheids sehen das BAV und BAFU im Rahmen der PGV bei Bahnhofsumbauten genauer hin, ob die kommerzielle Beleuchtung nach 22 Uhr ausgeschaltet wird. (Reichenbach und Kretzer, 2021b) Schwierig ist allerdings nicht die Planung einer solchen Vorgabe, sondern die Umsetzung vor Ort bzw. das «sich-daranhalten» über die Zeit hinweg. Es kommt gemäss Iannaccone (2021) immer wieder vor, dass sich Mieter an Bahnhöfen nicht an die Vorgaben halten.

Empfehlung:

- Kioske und weitere Convenience Läden (aperto, avec, coop pronto, migrolino, Spar) sollen seitens SBB Immobilien angeschrieben und auf die Problematik bzgl. deren Lichtemissionen **aufmerksam gemacht** werden.
- Sie werden auf die geltende Regelung gemäss RTE 26201 und auf deren Einhaltung hingewiesen: «Werbebeleuchtungen nach Betriebsschluss ausschalten».
- **In den Mietverträgen** zwischen SBB Immobilien und den Mietenden wird der Zusatz eingefügt, dass nicht funktional notwendige Beleuchtung nach 22 Uhr abzuschalten sei.
- Die RTE 26201 wird dahingehend präzisiert, dass die Beleuchtung nicht nach Betriebsschluss des Bahnhofs, sondern nach **Betriebsschluss des entsprechenden Ladens** ausgeschaltet werden muss.

Grundsätze	Mögliche Massnahmen
Nur dann beleuchten wenn nötig	<ul style="list-style-type: none"> – Zeitschaltuhr – Dämmerungsschalter (korrekt eingestellt) – Bewegungsmelder (situativ) – Werbebeleuchtungen nach Betriebsschluss Ladenschluss ausschalten
	

Quelle: (VöV, 2021)

7.3 #3: Pflichtenhefte Planerleistungen anpassen und mit Licht- und Elektroplanern sowie Architekten zusammenarbeiten, welche sich an der SIA 491 ausrichten

Dark-Sky Switzerland hat eine spezielle Fachmitgliedschaft für Lichtplaner eingeführt. Demgemäss verpflichten sich Lichtplaner dazu, Lösungen nach der Norm SIA 491 zu konzipieren und planen. Darüber hinaus sollen sie sich aktiv und gezielt darum bemühen, Lichtverschmutzung zu reduzieren und verhindern. (Dark-Sky Switzerland, 2016) Einige dieser Lichtplaner haben diesbezüglich bereits mit anderen Bahnen bzw. Infrastrukturbetreibern (RBS, SOB, BLS) in diversen Projekten Erfahrungen sammeln können. Unter anderem wollen nachfolgende Lichtplaner ihre Arbeiten nach diesen Grundsätzen ausführen, vgl. Tabelle 22.

Tabelle 22: Lichtplaner, welche Beleuchtungslösungen nach SIA 491 planen (Auswahl).

Name / Ort / www	Projekte von Bahnen (Beispiele)
Hefti. Hess. Martignoni. Aarau, hhm.ch	<p>BLS – Werkstätte Chliforst Bern, Minimierung Lichtemissionen im Aussenraum und Minimierung Blendung der Lokführer; Nachweis der Minimierung der Lichtemissionen der Innenraumbeleuchtung in Aussenraum; Beleuchtungssteuerung www.esaveag.ch, LED mit Farbtemperatur $\leq 2'200$ Kelvin (geringer Blauanteil bei gleichzeitig annehmbarer Energie-Effizienz und angemessener Farbwiedergabe von $R_a > 70$)</p> <p>RBS – naturverträgliche Gleisfeld-Beleuchtung Depot Bätterkinden – ab 2020: Minimierung Lichtemissionen im Aussenraum und Minimierung Blendung der</p>

	Lokführer; Nachweis der Minimierung Lichtemissionen der Innenraumbeleuchtung in Aussenraum. Beleuchtungssteuerung www.esaveag.ch , max. 3'000 Kelvin
correLight GmbH, Scherz, correlight.ch	
Astra LED GmbH, Gossau SG, astra-led.ch	SOB – Bahnhof Einsiedeln, Lichtsteuerung mit Bewegungsmelder, Helligkeitssensoren und Bluetooth Beacons (Pilotprojekt), 3'000 Kelvin SOB – Bahnhof Mogelsberg, Intelligente Lichtbänder, Leuchten mit integrierter Sensorik sorgen für optimale Beleuchtung und bedarfsgerechte Lichtregelung, 3'000 Kelvin
Soluxa Suisse SA, Marin- Epagnier, soluxa.ch	Unterführung SBB Bahnhof Villeret (BE), 3'000 Kelvin
Gruner AG, Basel, gruner.ch	Beratung des Umweltfachdienstes der SBB bzgl. Lichtemissionen von Beleuchtungsprojekten.
nachtaktiv GmbH, Zürich, nachtaktiv.gmbh	Langsamverkehrsverbindung Wankdorf, Bern (Bauherr: ASTRA), 3'000 Kelvin
Partner Ingenieure AG, Bern partneringenieure.ch	

Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an (Dark-Sky Switzerland, o. J. b)

Empfehlung:

- Grundsätzlich sollte die SBB mit Licht- und Elektroplanern sowie Architekten zusammenarbeiten, welche sich an den Grundsätzen der SIA 491 ausrichten.
- Da viele Licht- und Elektroplaner die SIA 491 (noch) nicht kennen, soll das **Pflichtenheft** der Planerleistungen von Elektro- und Lichtplanern sowie Architekten durch den Ersteller (I-AEP-ENG-BZT) **mit dem Kriterium ergänzt werden, dass die Beleuchtung nach SIA 491 geplant und erstellt werden muss.**

7.4 #4: Anforderungen zu Lichtemissionen im Quality-Check zum Pflichtenheft ergänzen

Über den ganzen Prozess zur Realisierung eines Infrastruktur Vorhabens wird zwischen dem «Was» und dem «Wie» unterschieden. Dabei ist das «Was» im Lastenheft durch den Besteller zu beschreiben, das «Wie» im Pflichtenheft durch den Ersteller. **(SBB, 2021a)** Der Besteller macht den Ersteller im Lastenheft darauf aufmerksam, dass dieser in der Sollsituation die gesetzlichen Anforderungen im Umweltbereich erfüllt und die strategischen Schwerpunkte der Nachhaltigkeitsstrategie (Biodiversität, Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft) berücksichtigt. Im Pflichtenheft wird dargestellt, wie diese generischen Anforderungen erfüllt werden.

Empfehlung:
Zu Begrenzung der Lichtemissionen soll das Pflichtenheft wie folgt ergänzt werden.

Q-Check 'Generische Anforderungen UNH QG3'									
Umwelt/ Nachhaltigkeit									
QC PflHe	Nr	Anforderung von (OE)	Abk.	DFI	Datum	Begriff/Stichwort	Anforderung	Härte	Vorgabedokument
[...]									
V2.0	xx	I-SQU-UNH	AH	D	xx.xx.xxxx	Beleuchtung Publikumsanlagen	Lichtemissionen sind auf funktionales bzw. betriebsnotwendiges Minimum begrenzt.	100%	R RTE 26201; SIA 491
[...]									

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (SBB, 2021b)

7.5 #5: Fragenkatalog zur Erstellung des Umweltberichts um Lichtemissionen ergänzen

Im Fragenkatalog zur Erstellung des Umweltberichts werden an den Projektleiter zu folgenden Themen Fragen gestellt (vgl. auch Abbildung 51): 1. Naturschutz und Landschaft, 2. Wald, 3. Grundwasser und Wasserversorgung, 4. Entwässerung, 5. Oberflächengewässer, aquatische Lebensräume, 6. Störfallvorsorge, 7. Altlasten, 8. Abfälle, Materialien und Transporte, 9. Boden, 10. Luft, 11. Nichtionisierende Strahlung (Fahr-/Starkstromleitungen), 12. Lärm, 13. Erschütterungen, Körperschall, 14. Langsamverkehr, Wanderwege sowie 15. Ortsbild, Denkmalschutz. (SBB, 2012)

Abbildung 51: Fragen an den Projektleiter zur Erstellung des Umweltberichtes

IMS Infrastruktur
Prozess Projekte durchführen
-
gültig ab 01.12.2011
Seite 1/3



Erstellung des Umweltberichtes – Fragen an den Projektleiter

Grundlagen - Pläne und andere Projektunterlagen

- Kurzbeschreibung Projektvorhaben / Anforderungsprofil
- Situationsübersicht
- Projektpläne (analog + pdf)
- Querprofile
- Lage der Installationsplätze / Baustellenzufahrten
- Geologische und hydrogeologische Berichte
- Technischer Bericht
- Ev. Fotodokumentation

1. Naturschutz und Landschaft

Quelle: (SBB, 2012)

Bezüglich Beleuchtung und Lichtemissionen werden im Katalog dagegen keine Fragen gestellt. Zum Thema Licht übernimmt der Umweltfachdienst in der Regel die Angaben der Projektleitung und macht keine eigene Umweltbeurteilung (Vögeli, 2021).

Empfehlung:

Der Fragenkatalog zur Erstellung des Umweltberichtes soll wie folgt ergänzt werden:

16. Licht im Aussenbereich von Bahnhöfen:

- *Befindest sich der Bahnhof in einem oder in der Nähe einer national geschützten Naturschutzfläche (z.B. Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN) oder Wasser- und Zugvogelreserve) oder in der Nähe von Gewässern (Flüsse und Seen)? Vgl. Umwelt GIS > <https://geo.sbb.ch/>*
- *Welche Lichtfarbe ist für die Beleuchtung im Aussenbereich vorgesehen?*
- *Wird für die Lichtplanung ein Lichtplaner ausgewählt, der sich an der SIA 491 ausrichtet («Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum»)?*

7.6 #6: PGV Entscheidungshilfe anpassen

Die «PGV Entscheidungshilfe Beleuchtungsanpassungen» ist bezüglich Ausschlusskriterien eines PGV zu wenig klar bzw. missverständlich. Gemäss Entscheidungshilfe ist für den «1:1 Leuchten Ersatz mit LED (gleicher Standort/Lage)» kein PGV vonnöten. Dies widerspricht einerseits dem PGV Handbuch der SBB (vgl. S. 10): «1:1-Erneuerung, sofern das Erscheinungsbild nicht ändert und keine Auswirkungen auf Raum und Umwelt vorhanden sind» (PGV Office SBB, 2020). Andererseits besteht damit auch ein Widerspruch zur Projektierungsanweisung: «Bei einer grundlegenden Erneuerung oder dem Neubau einer Beleuchtungsanlage muss i.d.R. ein PGV durchgeführt werden. Hierfür ist Rücksprache mit dem regionalen PGV-Superuser zu nehmen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Farbtemperatur der Beleuchtung ändert (z.B. von Natriumdampflicht mit rund 2'500K auf LED-Licht mit 4'000K).» (SBB, 2020b) Und: «Aus Sicht BAFU braucht es dann ein Verfahren, wenn es eine namhafte Auswirkung auf die Umwelt hat. Im Fall Natriumdampf zu LED bräuchte es aus Sicht BAFU ein PGV.» (Reichenbach und Kretzer, 2021b)

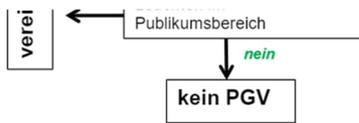
Auch beim Projektfall «Beleuchtungsanpassungen unter Perrondach (Lage/Anzahl Leuchten kann ändern)» der Entscheidungshilfe besteht Anpassungsbedarf. Eine solche Anpassung kann Auswirkungen auf Raum und Umwelt haben und müsste gemäss PGV Handbuch der SBB und Aussage BAFU allenfalls ein PGV auslösen. Zumindest ist aber klar, dass ein solcher Projektfall nicht von vorherein ein PGV ausschliesst.

Empfehlung:

Die Entscheidungshilfe soll wie folgt angepasst werden:

Entscheidungskriterium

Bemerkungen



kein PGV erfordern folgende Projektfälle

- Rückbau von Leuchten (ohne Verletzung Rechte Dritter --> z.B. bestehende Verträge, etc.)
- ~~1:1 Leuchtersatz mit LED (gleicher Standort/ Lage)~~
- ~~Beleuchtungsanpassungen unter dem Perrondach (Lage und Anzahl Leuchten kann ändern) --> der Wechsel auf eine neue Technologie ist kein PGV-Muss Kriterium~~

7.7 #7: Projektleiter sensibilisieren

«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.» (BAFU, 2021)

(Berchtold, 2021) empfiehlt, den Aspekt der Lichtemissionen auch bei kleinen Projekten zu berücksichtigen, also auch dort, wo keine PGV-Pflicht besteht und damit auch kein Umweltbericht verfasst wird.

Empfehlung:

Der Besteller (I-NAT-PAG) und der Umweltfachdienst (I-AEP-ENG-UMW) informieren und sensibilisieren die Projektleiter (I-AEP-ENG-BZT und I-AEP-PJM) wie folgt:

- Der Umweltaspekt (die Lichtverschmutzung) bei Beleuchtungsprojekten **muss unabhängig von deren Grösse und PGV-Pflicht im Sinne von Art. 11 des Umweltschutzgesetzes berücksichtigt** werden.
- Die Projektleiter werden darauf aufmerksam gemacht, dass die RTE 26201 neu auch auf die SIA 491 verweist bzw. dass die **SIA 491 Stand der Technik ist und angewendet werden muss**.
- Die SIA 491 wird den Projektleitern **zur Verfügung gestellt**. Sie werden informiert, **dass die Anlagen nach SIA 491 geplant und betrieben werden müssen**.
- Sollte es bei einem Projekt Unsicherheiten bezüglich dem Umweltaspekt Lichtemissionen geben, soll eine **Zweitmeinung zur Beleuchtung** eingeholt werden (z.B. bei Dark-Sky Switzerland).

7.8 #8: Berichterstattung BAV Richtung Leistungskennzahlen weiterentwickeln

Es ist begrüssenswert, dass der Bund als Besteller der Eisenbahninfrastruktur in seinen Subventionsverträgen mit den Infrastrukturbetreiberinnen – der Leistungsvereinbarung 2021–2024 – Ziele zur Biodiversität und konkret zur «Optimierung der Anlagebeleuchtung mit dem Ziel einer minimalen Störung von Menschen und Natur sowie

zur Förderung der Nachtdunkelheit» vorgibt. Etwas weniger ambitioniert erscheint dagegen die Aussage im Leitfadentwurf zur Berichterstattung, wonach «das Thema Reduktion der Lichtverschmutzung in der LV 21–24 nur am Rande behandelt wird. Bemühungen von Bahnen zur Reduktion von Lichtverschmutzungen werden aber begrüsst und können andere erforderliche Massnahmen zur Förderung der Biodiversität im Einzelfall und/oder vorübergehend kompensieren.» (BAV/BAFU/VöV, 2021) Mit der vorgegebenen Leitfadenstruktur wird zudem «nur» auf eine qualitative Beschreibung einzelner Massnahmen fokussiert. Es fehlt eine (oder mehrere) Leistungskennzahl (KPI), mit welcher einerseits der Fortschritt oder der Erfüllungsgrad hinsichtlich des vorgegebenen Ziels gemessen werden kann (Ist – Soll) und andererseits ein Vergleich unter den Infrastrukturbetreiberinnen möglich wäre.

Empfehlung:

Der Infrastrukturbesteller BAV soll in Zusammenarbeit mit dem BAFU und der Arbeitsgruppe VöV Natur für die nächste Leistungsvereinbarung 2025–2028 Leistungskennzahlen zur «Optimierung der Anlagenbeleuchtung» einführen. Vorstellbar wären zum Beispiel folgende KPI:

- **Lichtfarbe:** «%-Anteil der mit warmweissem Licht ausgestatteten Bahnhöfen»;
- **Kommerzielle Beleuchtung:** «%-Anteil der kommerziellen Beleuchtung, der nach Ladenschluss ausgeschaltet ist»;
- **Bedarfsgerechte Lichtsteuerung:** «%-Anteil der Bahnhöfe, welche mit einer bedarfsgerechten Lichtsteuerung ausgerüstet und operabel ist.»

7.9 #9: Screening Bahnhöfe durchführen und basierend darauf Sanierungsplan erstellen

Wie Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen, liegen viele Bahnhöfe entweder in/in der Nähe von Naturschutzflächen nach Bundesrecht (z.B. BLN, Moore, Wasser- und Zugvogelreservate, Trockenwiesen, Auen u.a.m.), von Gewässern (Seen und Flüsse) oder Migrationskorridoren von Vögeln. Bezüglich Lichtemissionen sind diese faktisch und rechtlich besonders sensibel. Heute ist aber unbekannt, welche Bahnhöfe betroffen sind.

Empfehlung:

Für alle SBB Bahnhöfe soll ein **Screening** durchgeführt werden. Dazu können im QGIS⁴⁹ oder ArcGIS⁵⁰ beispielsweise folgende Abfragen erstellt werden:

- «Bahnhof liegt in Naturschutzgebiet (z.B. BLN, Moore, Wasser- und Zugvogelreservate, Auen u.a.m.)»;
- «Bahnhof liegt in der unmittelbaren Umgebung einer Naturschutzfläche oder eines Gewässers.» Unmittelbar bzw. die kritische Distanz ist mit einer Umweltorganisation zu definieren.

Basierend darauf kann ein **Sanierungsplan** (z.B. analog Störfall oder Altlasten) erarbeitet werden. Sanierungsbedürftig wären demnach in erster Priorität **Bahnhöfe, welche in**

- in/in der Nähe/an **sensitiven** Bereichen liegen (z.B. geschütztes Naturschutzgebiet oder Gewässer);
- in Bereichen **mit geringer oder mittlerer Gebietshelligkeit** liegen (z.B. Wohngebiete in ländlicher Umgebung oder in Vororten).

Bei einer allfälligen Sanierung kann es zu einem Zielkonflikt mit der finanziellen Situation der SBB beziehungsweise des Bahninfrastrukturfonds (BIF) kommen.

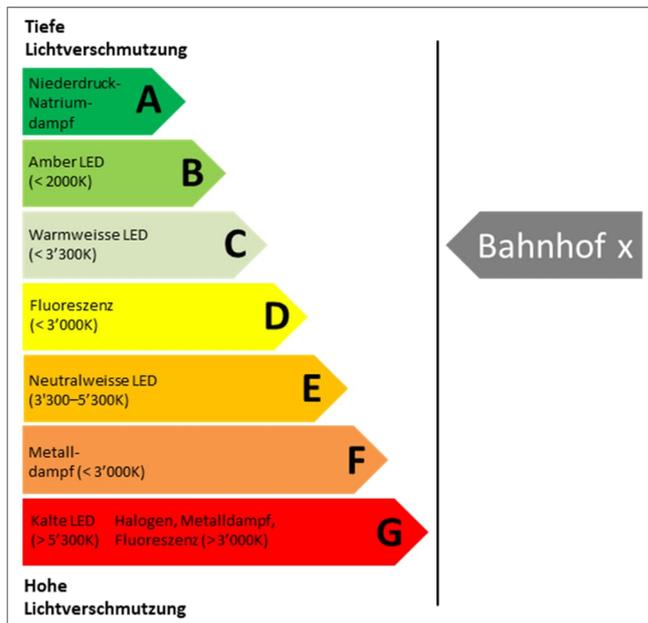
7.10 #10: Lichtetikette für Bahnhöfe einführen

Die Energieetikette ist in vielen alltäglichen Bereichen seit Jahren etabliert und bestens bekannt sowie anerkannt. In Analogie zur Energieetikette hat Dark-Sky Frankreich die Lichtetikette zur Eindämmung der Lichtverschmutzung eingeführt. Die 4 Kriterien ihrer Etikette lauten: (1) **Beleuchtungsstärke** [Lux], die zu einem bestimmten Zeitpunkt in die Umwelt abgegeben wird, (2) **ULOR** (Anteil des Lichtstroms, der von der Lichtquelle der Leuchte oberhalb der Horizontalen abgegeben wird), (3) **Lichtfarbe** [Kelvin], (4) **Energieverbrauch** der Aussenbeleuchtung [Wattstunden/m²]. Vgl. (ANPCEN, 2016) Die Etikette könnte aber bspw. auch die «**präsenzabhängige Steuerung**» beinhalten. Für die Lichtfarbe könnte die Etikette wie folgt aussehen (vgl. nachstehende Abbildung 52):

⁴⁹ QGIS ist eine Software für geografische Informationssysteme (GIS), mit der räumliche Informationen analysiert und bearbeitet sowie grafische Karten erstellt und exportiert werden können. (Wikipedia, 2021d)

⁵⁰ ArcGIS ist der Oberbegriff für verschiedene Geoinformationssystem-Softwareprodukte des Unternehmens ESRI. ArcGIS wird u. a. in der Umweltanalyse verwendet. (Wikipedia, 2021e)

Abbildung 52: Lichtetikette für das Kriterium Lichtfarbe.



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (ANPCEN, 2016)

Empfehlung:

Auf Basis der Lichtetikette von Dark-Sky Frankreich und in Zusammenarbeit mit Dark-Sky Switzerland soll für die Bahnhöfe der SBB eine Lichtetikette eingeführt werden. Damit können **Vorzeigebahnhöfe bzw. «Leuchtturm»-Beleuchtungsprojekte** gekennzeichnet, **Kunden für das Anliegen sensibilisiert** und informiert werden.

Ausserdem kann die SBB in der **Berichterstattung zur Leistungsvereinbarung 21–24** auf die Einführung der Etikette in den «Massnahmen» hinweisen und damit einen wesentlichen Schritt zur Verbesserung ihrer Umweltleistung im Bereich Biodiversität beitragen.

7.11 #11: SIA 491 Abnahme ein- und durchführen

Die SIA 491 war in der alten SBB Regelung I-50103 nicht Bestandteil der dort benannten Normen. Entsprechend wurde diese – im Vergleich zu anderen SIA-Abnahmen – bei der Übergabe an den Betrieb auch nicht abgenommen (Berchtold, 2021). Mit der vor kurzem publizierte Regelung des VöV – der RTE 26201 – ändert sich dies. Die SIA 491 wird dort neu explizit in den Normen genannt. Die SBB hat die RTE in ihr Regelwerk aufgenommen – sie ersetzt die alte Regelung I-50103.

Empfehlung:

Vor der Übergabe an den Betreiber (I-VU-OCT) ist neu auch die SIA 491 Abnahme durchzuführen.

7.12 #12: Bedarfsgerechte Lichtsteuerung intensivieren

Ziel der SBB ist es, den Energieverbrauch, die Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie die Lichtemissionen nachhaltig zu reduzieren. Die Lösung dazu lautet: «Smart Light» bzw. bedarfsgerechte Beleuchtung (Beleuchtung zur nötigen Zeit am richtigen Ort). Die Herausforderungen dazu ergeben sich unter anderem in den Bereichen des Installationsaufwands (ein Sensor je Leuchte) und Systemkomplexität (Verdrahtung und IT-Sicherheit), der Nicht- oder Falscherkennung (Kleidung, Schnee, Reflektion, Tiere) oder von unerwünschten Effekten (Disco-Effekt). Trotzdem ist klar, dass – analog zur RhB – die Beleuchtung vermehrt in diese Richtung gehen wird. (Hurni, 2021)

Empfehlung:

Die SBB soll ihre Bahnhöfe vermehrt bedarfsgerecht beleuchten. Dazu kann sie in einem ersten Schritt die **11 Bahnhöfe mit sehr tiefem Passagieraufkommen** (< 50 Passagiere/Tag) und in einem zweiten Schritt die **367 Bahnhöfe mit geringem Passagieraufkommen** (< 1'500 Passagiere/Tag) fokussieren.

8 Kurzantworten auf die Aufgabenstellung

Aufgabenstellung a) wirft die Frage auf, welche Bedeutung die Lichtemissionen von SBB Bahnhöfen haben und wieviel Licht welcher Art durch die 754 Bahnhöfe emittiert wird. Hierzu liefern insbesondere Kapitel 5.1, 6.1.1 und 6.1.2 eine Antwort. Insgesamt verfügt die SBB an ihren Bahnhöfen über rund 83'000 Lichtpunkte sowie knapp 100'000 Leuchtmittel. Dies entspricht rund vier Mal so vielen Lichtpunkte wie die mittelgrosse Stadt Bern für ihre Strassenverkehrsbeleuchtung einsetzt. Würde man alle Bahnhöfe aneinanderreihen, wäre eine Strecke von ca. 170 km nahtlos beleuchtet (gedeckt und ungedeckt). Bezüglich Leuchtmittel verwendet die SBB unterschiedliche Technologien. Mehr als 50% davon betreffen die Leuchtstofflampe, welche EU-weit – und damit auch in der Schweiz – bis 2023 verboten wird. Rund 27% der Leuchtmittel sind LED, 10% Metalldampflampen. Bezüglich Bedeutung der Lichtemissionen liegen die Bahnhöfe im Bereich grosser Lichtemissionen (Relevanz Index 2) und in allen Sensitivitätsbereichen (von 0 bis 2). Entsprechend beträgt der Relevanzindex für SBB Bahnhöfe zwischen 2 und 4, wobei die meisten Bahnhöfe einen Index von 3 und damit einen hohen Handlungsbedarf aufweisen dürften.

Die **Aufgabenstellung b)** zu Parametern eines gut bzw. schlecht ausgeleuchteten Bahnhofs sowie zu Vorzeigebeispielen werden in den Kapiteln 4.2.1.9, 4.2.4, 6.1.11 und 6.1.12 beantwortet. Die im Jahr 2021 publizierte Vollzugshilfe Lichtemissionen des BAFU und die im Jahr 2013 publizierte SIA 491 «Vermeidung unnötiger Lichtmissionen im Aussenraum» liefern die konkreten Grundsätze und Anhaltspunkte, wie eine Anlage ausgeleuchtet werden sollte, damit diese möglichst wenig störendes Licht produziert. Als mögliches, positives Beispiel kann der Bahnhof Oberrieden See genannt werden. Weitere «Normen und Standards» zum Thema sind insbesondere in den Kapiteln 4.2.4, 5.2.6 und 5.2.7 aufgeführt (vgl. **Aufgabenstellung d)**). Technisch-betriebliche und wirtschaftliche Anforderungen, sowie Anforderungen aus Arbeits- sowie Kund*innen Sicherheit werden in Kapitel 5.2 und 5.3 dargelegt. (vgl. **Aufgabenstellung e)**

Der konkrete Projektablauf von der Lichtplanung bis zur Umsetzung (vgl. **Aufgabenstellung c)** wird umfassend in den Kapiteln 5.2 und 5.3 erörtert. Aus dem konkreten Projektablauf lässt sich in allen Prozess Schritten Handlungsbedarf ableiten. Die Lösungsansätze dazu werden in Kapitel 7.1, 7.3, 7.5, 7.6, 7.7 und 7.11 aufgezeigt. Welcher Handlungsbedarf sich ausser aus dem Projektablauf ergibt, kann in Kapitel 6 nachgelesen werden (vgl. **Aufgabenstellung f)**).

Kapitel 7.1 zeigt auf, dass die SBB noch über kein Lichtkonzept mit Vision, Strategie und Massnahmen verfügt. Damit wird aktuell auch nicht zwischen der «umweltzentrischen und -ethischen» Sicht (wieviel Licht ertragen nachtaktive Flora und Fauna als Maximalwert) und der anthropozentrischen Sicht (wieviel Licht benötigen Menschen als Minimalwert) abgewogen (vgl. **Aufgabenstellung e)**).

Welche Grundsätze der SBB basierend auf den Erkenntnissen neu überdacht oder geändert werden sollten, wird in Kapitel 7 und 8 beantwortet. Hier sind namentlich die Lichtfarbe, teilweise die Beleuchtungsstärke sowie die kommerzielle und bedarfsgerechte Beleuchtung zu nennen. (vgl. **Aufgabenstellung g**)

9 Ausblick

Verantwortung und Runde Tische. Die SBB ist eines der grössten «Beleuchtungsunternehmen». Ihm kommt entsprechend eine grosse Verantwortung hinsichtlich Lichtemissionen bzw. Begrenzung der Lichtverschmutzung zu. In den letzten Jahren hat die SBB diesbezüglich bereits einige Schritte unternommen. Beispielsweise wurde eine neue Leuchte eingeführt, die massiv weniger Streulicht hat. Ausserdem wird DALI konsequent überall eingesetzt. Ab 2022 werden alle neuen Leuchten einen ULOR von 0% aufweisen. Dagegen hat die SBB **insbesondere in den Bereichen der Lichtfarbe, Beleuchtungsstärke, kommerziellen und bedarfsgerechten Beleuchtung noch Verbesserungspotential**. Hier gilt es mit den wichtigsten Anspruchsgruppen (u.a. Umweltschutzverbände, Behindertenorganisationen, Kunden, BAFU) gemeinsame Lösungen zu suchen. Runde Tische, Lichtspaziergänge oder so genannte «Plan Lumière» sind mögliche Instrumente, welche bei der Lösungsfindung helfen können. Auch sind viele bestehende Anlagen **sanierungsbedürftig** – vor allem jene, welche in der Nähe von Gewässern, Schutzzonen oder Vogel-Migrationskorridoren liegen. Hier sind einerseits genügend finanzielle Mittel bereit zu stellen, andererseits die Erstellung einer guten Grundlage zur Priorisierung der sanierungsbedürftigen Bahnhöfe.

Zielkonflikte und Normen. Eine gute Lichtqualität (z.B. möglichst hohe Farbwiedergabe, Entblendung, Vermeidung von Hell-Dunkel-Kontrasten) dürfte kaum zu Zielkonflikten führen. Es mag aber zutreffen, dass es in Einzelfällen oder bezüglich einzelner Beleuchtungsparameter Zielkonflikte hinsichtlich Ansprüche an die Sicherheit, das Wohlbefinden, den Gesundheitsschutz oder die Umweltschutzanliegen (Energieeffizienz, Lichtemissionen) gibt. Tatsache ist, dass man nicht an jedem Bahnhof eine Lösung finden wird, welche allen Ansprüchen vollumfänglich gerecht wird. In den meisten Fällen wird es wohl eher so sein, dass gute **Kompromisse** zustande kommen müssen. Beispiel Lichtfarbe 3'000 Kelvin: Aus Sicht Lichtemissionen dürfte diese noch etwas tiefer sein, aus Sicht Energieeffizienz etwas höher, bezüglich Gesundheitsschutzes und Wohlbefinden geht es in die richtige Richtung, betreffend Sicherheit gibt es gegenüber 4'000 Kelvin keine Anhaltspunkte zu einer Verschlechterung. Gemäss (BAFU, 2021) kann es zudem durchaus Synergien zwischen Sicherheits- und Schutzanliegen geben: Warmweisse LED-Leuchten locken Insekten weniger stark an als andere Leuchtmittel und weisen gleichzeitig eine gute Farbwiedergabe auf.

Auch bezüglich Beleuchtungsstärke muss genauer hingesehen werden. Zwar wird auch hier in einigen Bereichen immer noch zu stark beleuchtet. Eine Absenkung aus Sicht des Umweltschutzes, Wohlbefinden und Gesundheitsschutzes wäre also gefordert. Aber: Die Beleuchtungsstärke muss auch dem Anspruch von seh- oder gehbehinderten Menschen genügen. Die entscheidende Frage lautet: Wieviel Licht braucht «man», um die Sehaufgabe am Bahnhof wahrnehmen zu können? Vermutlich weniger als in den (veralteten) Normen heute stipuliert ist – aber wohl auch nicht überall nur noch die Hälfte der normierten Empfehlungen. Anzumerken ist hier, dass die

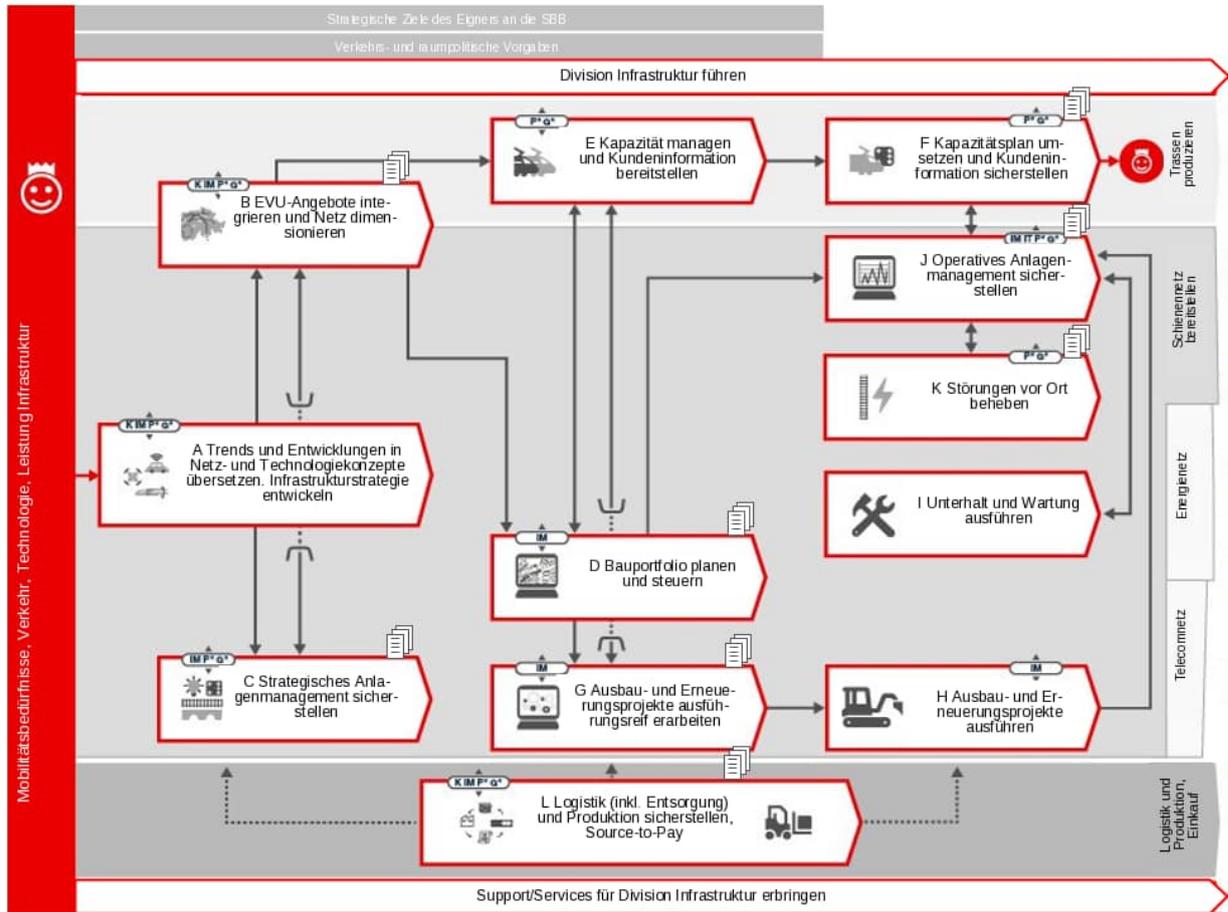
SBB bereits heute vereinzelt von den Normen abweicht. So wird bei der Planung von Anlagen im Freien empfohlen, Blendwerte zu erfüllen, die unter dem Grenzwert der Norm liegen. Schliesslich müssten sich die **Normenvereinigungen** auch Gedanken machen, ob deren Empfehlungen noch «aktuell» oder ob die normativen Mindestwerte nach heutigem Stand des Wissens nicht zu hoch angesetzt sind.

Regelwerk und Vollzug. Ein gutes Regelwerk zu haben ist das eine, der Vollzug eben dieses sicherzustellen das andere. Die Beleuchtungsgrundsätze im Kontext des Umweltschutzes sind in der RTE 26201 relativ vorbildlich stipuliert (ausgenommen die Lichtfarbe). Die konkrete Umsetzung vor Ort scheint dagegen noch nicht immer gewährleistet zu sein. Der Grundsatz «Nur beleuchten was beleuchtet sein muss» ist zumindest im Bereich der kommerziellen Beleuchtung nach 22 Uhr mangelhaft umgesetzt. Auch die Nicht-Übererfüllung der Normwerte im Bereich der Beleuchtungsstärke ist teilweise ungenügend. Zur Sicherstellung eines optimalen Vollzugs könnten vermehrte **Begehungen** vor Ort mit **Lichtmessungen** beitragen.

Lichtausbeute und Rebound Effekt. Die zunehmende Digitalisierung bietet die Chance, dass Licht nicht einfach vorgehalten, sondern nach Bedarf gesteuert und angeboten wird. Die enormen Fortschritte bezüglich Energieeffizienz von neuen Leuchten begünstigen aber auch den Ausbau von Beleuchtungen (vermehrte Dekorationsbeleuchtungen, Inszenierungen, Leuchtschriften u.a.m.). Dieser sogenannte Rebound Effekt – die höhere Nachfrage nach Licht bzw. Energie durch eine höhere Effizienz – steht dem positiven Effekt von «smartem» Licht teilweise entgegen. Wichtig ist also, dass mit verbesserter Lichtausbeute und Licht nach Bedarf nicht immer mehr beleuchtet wird. Idealerweise sollte eine gesteigerte **Ökoeffizienz** also auch mit einer höheren **Suffizienz** einhergehen.

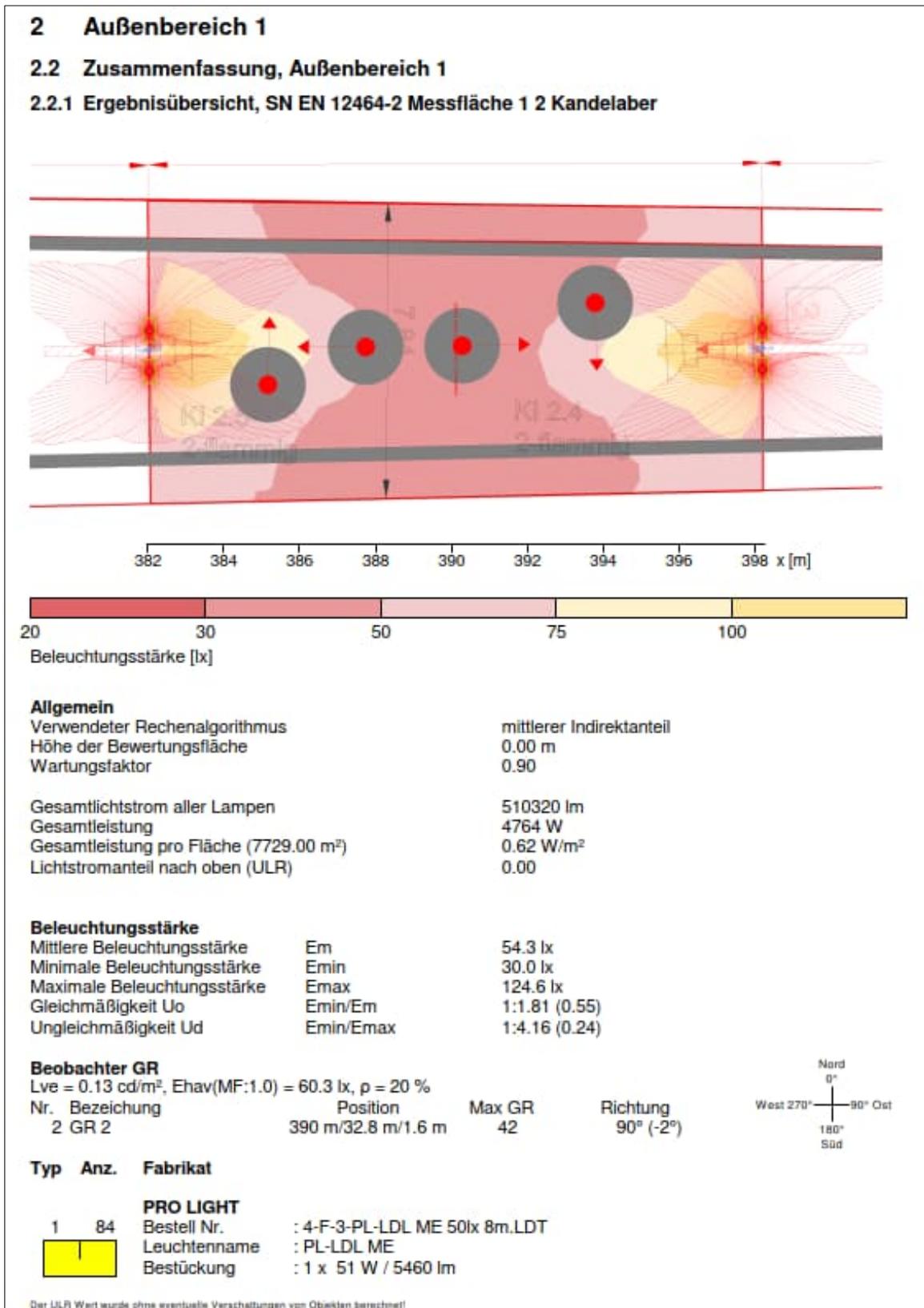
Anhang

A. Prozesslandkarte SBB



Quelle: (SBB, o. J. d)

B. Bahnhof Aarau: Lichttechnische Berechnung Perron ungedeckt



Quelle: (Schwarzer, 2021)

C. Bahnhof Aarau: Beleuchtungsplan 1:500

Legende

Farbcode

	Bestehend
	Neu
	Abbruch
	Nachbauprojekt
	Provisionium

Symbole

- Leuchte 1:1 Ersatz
- Leuchte neu
- Leuchte neu ungedecktes Perron mit Kipprichtung (beidseitig)
- Leuchte neu ungedecktes Perron mit Kipprichtung (einseitig)
- Leuchte Rückbau
- Leuchte Bestehend (keine Veränderung)
- Lautsprecher Rückbau
- Lautsprecher 1:1 Ersatz
- Lautsprecher neu
- Erschliessung Beleuchtung (VK / Leitung)
- Kabel-Trasse bestehend
- Kabel-Trasse neu
- Hinweis: Nähe zu Überspannungsleitung

Abmessungen der Kandelaber Pro Light

04.2

Line Nr.: 650
Bezeichnung: Bahnhof Aarau
Kil: 40.100 - 41.800
Kanton: Aargau
Gemeinde: Aarau
Projekt: Bahnhof Aarau Ersatz Kundeninformation ELA
ISB-Nr.: 1155530
Phase: **Auflageprojekt**

Übersichtskarte:

Unternehmen: **network 41** TECHNICAL COMMUNICATION
Network 41 AG
Helmstrasse 16
8210 Surbrunn

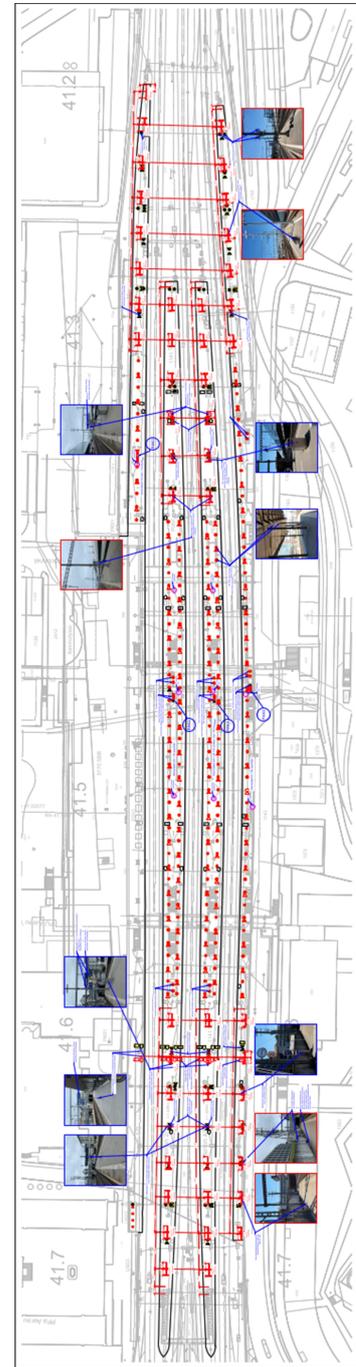
Unternehmensleitung: **Schwarzer**
Name: **Schwarzer**
Funktion: **Projektleiter**
Adresse: **Schwarzer**
Telefon: **Schwarzer**
E-Mail: **Schwarzer**
Web: **Schwarzer**
Logo: **SBB CFF FFS**

Beleuchtungsplan 1:500
Zonenklassifizierung
Bahnhof Klasse [a]

Line: 650 Km: 40.100 - 41.800
SBB AG, Infrastruktur, Ausbau- und Erneuerungsprojekte
Bahnhofstrasse 12, CH - 4600 Olten

Plan Nr.: **ANZ040 2009**

Zone: **41.5**
Zone: **41.6**
Zone: **41.7**
Zone: **41.28**



Quelle: (Schwarzer, 2021)

D. Bahnhof Aarau: Beleuchtungskonzept

Beleuchtungszonen			
Standort	Em HF (lux)	Em NF (lux)	Em BS (lux)
Perron gedeckt Gleis 1/10	100	100	0
Perron gedeckt Gleis 2/3	100	100	50
Perron gedeckt Gleis 4/5	100	100	50
Perron gedeckt Gleis 6	100	100	0
Perron ungedeckt Gleis 1/10, Seite Zürich	50	20	0
Perron ungedeckt Gleis 2/3, Seite Zürich	50	20	0
Perron ungedeckt Gleis 4/5, Seite Zürich	50	20	0
Perron ungedeckt Gleis 6, Seite Zürich	50	20	0
Perron ungedeckt Gleis 2/3, Seite Olten	50	20	5
Perron ungedeckt Gleis 4/5, Seite Olten	50	20	5
Perron ungedeckt Gleis 6, Seite Olten	50	20	0
Personenunterführung Ost	100	100	50

Hauptfrequentierung HF: Von 06:00 – 22:00 Uhr

Nebenfrequentierung NF: Von 22:00 – 06:00 Uhr

Betriebsschluss BS: So – Do: Von 01:27 – 04:26 Uhr / Fr – Sa: Von 03:37 – 04:26 Uhr

Quelle: (Schwarzer, 2021)

E. Interview BAV vom 4. August 2021

Leitfragen an
Herrn Urs Rohrer, Sektionschef-Stv., Rechtsanwalt
Bundesamt für Verkehr BAV
Sektion Bewilligungen II
3003 Bern

1. **Ablauf:** Wie läuft aus Sicht BAV ein PGV im Bereich Beleuchtung ganz grob ab [kann Mono- oder Multiprojekt sein)?
 - Sektion Elektr. Anlagen > macht primär FL, aber auch Beleuchtungen. Aber nur im Bereich Strom und Erdung et al. (evtl. auch Einhaltung SN Norm).
 - Nach RVOG 62a ist BAFU im Bereich Licht Fachbehörde (Störung, Belästigung etc.) > Abteilung Lärm und NIS, Sektion Nichtionisierende Strahlung. Sie machen Beurteilung bei Typen, Natriumdampf, LED, weiss, matt etc. Bei VNL ist auch die Beurteilung drin inkl. Anträgen.
 - BAV hat mit BAFU Abmachung, dass BAFU nur die ordentlichen PGV erhält (vPGV und oPGV zusammen > 450-500 Projekte pro Jahr). BAV schickt vereinfachte Verfahren (betrifft keine schutzwürdige Interessen Dritter) nicht, weil sonst BAFU überlastet wäre. In allermeisten Fällen, wo Licht in PGV betroffen, wird BAFU konsultiert; dies sind ca. 100 - 150 Projekte pro Jahr (wegen BehiG-Projekten momentan mehr als üblich).
 - Beurteilung BAV beschränkt sich auf technisches und betriebliches. Raumplanung, Umwelt > dazu hat man Fachbehörden (ARE, BAFU) und Kantone. BAFU macht Stellungnahme mit Anträgen > diese wird durch BAV an ISB geschickt. Werden direkt als Auflagen angeordnet. Technische/betriebliche Anordnungen, raumplanungsrechtliche Anordnungen, umweltrechtliche Anordnungen, BAK, SECO etc. So setzt sich PGV-Verfügung zusammen. Es ist eine Art Sammlung von Anordnungen. Wenn Bahn nicht einverstanden ist, entscheidet BAV. Wenn BAFU hart bleibt, wird BAV in meisten Fällen auf Seite BAFU sein (ansonsten Bereinigungsverfahren nach Art. 62b RVOG (SR 172.010)).
 - BAV eröffnet Verfahren. 30 Tage Einsprache möglich. Wenn Dritter Einsprache macht, wird diese zusammen mit den Vernehmlassungen von Kantonen an BAFU geschickt. BAFU äussert sich dazu. BAV kann Einsprachen gutheissen oder ablehnen.
2. **Prüfgegenstand:** Was prüft das BAV bei einem solchen PGV genau? Welche Parameter werden fokussiert (z.B. Lichtfarbe bei Umrüstung von Natriumdampf zu LED, Blendung, Lichtstärke Lux, mehr Leuchten/mehr beleuchtete Orte)?
 - BAV prüft technisch/betrieblich (Strom, Erdung), BAFU macht Lux, Lichtfarbe, Blendung etc.
3. **Stakeholder:** Wen bezieht das BAV bei einem solchen PGV oder bei kritischen Punkten allenfalls mit ein (z.B. BAFU bzgl. Umwelt, BAG bzgl. Gesundheits- und Arbeitsschutz, Denkmalschutz, andere)?
 - Kantone (kommt immer mehr). Im ordentlichen PGV ist Kanton per se dabei, da er von Gesetzes wegen Partei ist (Art. 18d Abs. 1 EBG; SR 742.101). Beim vereinfachten PGV > BAV kann Stellungnahmen einholen. BAV zieht diese standardmässig mit ein (Art. 18i Abs. 3 EBG).
 - BAFU
 - Evtl. BAK bei Denkmalschutz, nur sehr selektiv.
 - Seco, Eidg. Arbeitsinspektion: z.B. bei RB Limmattal (bei Arbeitsplätzen)
4. **Mengengerüst:** Gibt es viele PGV im Bereich Beleuchtung? Gibt es viele PGV mit UVP? Oder eher PGV mit Umweltbericht? Gibt es einen Trend/Entwicklung Richtung «mehr» oder «weniger»?
 - Hat zugenommen, weil BehiG > man macht auch gleich noch Beleuchtung.
 - UVP: >40 Mio. braucht schon einiges. > Allerwenigste sind bei BehiG UVP-pflichtig.
 - Checkliste BAV/BAFU gilt neu auch für UVP-pflichtige Anlagen. Also gleiche Checkliste wie für nicht-UVP pflichtige PGV.
 - UVP-Pflicht spielt eigentlich nicht mehr eine Rolle, es läuft nur formell anders ab (vgl. auch Art. 4 UVPV; SR 814.011).

- Also praktisch nur PGV mit Umweltbericht
5. **Massnahmen/Checkliste BAV¹:** Als Standardmassnahme sieht die Checkliste im Bereich «Beleuchtungsanlagen» folgendes vor: «Lichtemissionen sollten beschränkt oder vermieden werden (Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen, BUWAL, 2005²).» Wie prüft das BAV dies bzw. wie wird die Standardmassnahme umgesetzt/verfügt?
- Vgl. oben.
 - Standardmassnahmen > L1 bis L4 (L3 ist BGE Oberrieden).
6. **Bewilligung:** Welche Art der Beleuchtung erleichtern die Bewilligung in einem konkreten Beleuchtungsprojekt? Wo/bei welchen Parametern oder Bereichen müssen ISB häufig nachbessern? Welche Massnahmen verfügt das BAV bezüglich Licht am meisten?
- Fall Oberrieden ist Ausnahme, dass Private eine Einsprache machen.
 - Anträge meistens von Kantonen (v.a. ZRH, auch Bern).
 - BAFU kommt immer mit Anspruch der Nachtabstimmung (Betriebsschluss) oder Reklamen abstellen.
 - Helligkeit ist auch ein wichtiger Faktor.
 - Streitpunkt häufig auch «Bahnhofskategorie». Antrag BAFU > andere Bahnhofskategorie.

¹ Checkliste Umwelt für nicht UVP-pflichtige Eisenbahnanlagen des BAV/BAFU (BAV/BAFU, 2010)

² Empfehlungen des BUWAL (heute: BAFU) können grob wie folgt zusammengefasst werden: Grundsatz der **Begrenzung an der Quelle, Notwendigkeit** (keine überflüssigen Leuchten, keine Objektstrahlungen, keine Beleuchtungen in Naturräumen); **Abschirmung** (Licht nur dort, wo es dem Beleuchtungszweck dient; keine Beleuchtung nahe bei Naturräumen; keine Anstrahlungen von Objekten); **Ausrichtung** (von oben nach unten); **Stärke und Qualität** (nur so stark wie nötig; Vermeidung von weissem Licht (Blauanteil)); **Zeitmanagement** (Synchronisation mit Nachtruhefenster von 22 bis 6 Uhr; Reklamen und unnötige Leuchten abschalten; Betriebsdauer in Nacht durch Bewegungsmelder auf Bedürfnisse abstimmen). (BUWAL, 2005)

F. Interview BAFU vom 24./26. August 2021

Fragen an Herren

Alexander Reichenbach, Sektionsleiter Nichtionisierende Strahlung, Abteilung Lärm und NIS

Dr. David Kretzer, Mitarbeiter Sektion Nichtionisierende Strahlung, Abteilung Lärm und NIS

Bundesamt für Umwelt

3003 Bern

1. In 2019 hat die Stadt Bern Richtlinien für die öffentliche Beleuchtung im Aussenraum herausgegeben (Beleuchtungsrichtlinie). Ist die Richtlinie als Instrument vergleichbar mit der demnächst erscheinenden Vollzugshilfe des BAFU?
 - Nein, nicht direkt.
 - Stadt Bern: konkretes Reglement für die Beleuchtung in der Stadt
 - Vollzugshilfe: beschränkt sich auf den Bereich Umwelt. Hoffnung ist, dass Vollzugshilfe dazu beiträgt, dass Vorgaben zur Begrenzung von Lichtemissionen in solche Reglemente einfließen. 2009 gab es Auftrag zu prüfen, ob Vollzugshilfe 2005 ausreicht > Bericht Nov. 2012 Nov. mit Auslegeordnung > BR könnte noch keine Verordnung machen, weil empirische Grundlagen noch nicht soweit. Vollzugshilfe stützt sich direkt auf USG.

2. a) Gibt es bezüglich Umweltwirkung aus Sicht BAFU «Vorzeigebahnhöfe» oder auch «Negativbeispiele»?
 - Kein konkretes Positivbeispiel, das deutlich besser wäre als andere Bahnhofsbeleuchtungen. Aber wenn Massnahmen aus Umbauten die Normwerte einhalten oder Licht ausgeschaltet wird > dies ist grundsätzlich positiv.
 - Beispiel für generelle Herausforderung: Transluzentes Perrondach. Dies kann zu mehr Lichtemissionen gegen oben führen als andere Dächer. Hier einige Negativbeispiele aus meiner Sicht:

Bahnhof Bern (Welle).



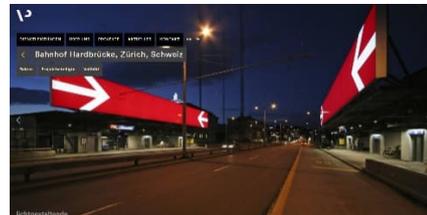
Zürich Oerlikon.



Bahnhof Chêne-Bourg (CEVA).



Zürich-Hardbrücke.



Bahnhof Zug.



Bahnhof St. Gallen.



- b) Hat das BAFU in all diesen Fällen/Beispielen im Rahmen des PGV Stellung genommen oder gab es dazu gar nie ein PGV, so dass das BAFU von solchen Projekten keine Kenntnis hat?
- Nein.
 - Bsp. Welle Bhf. Bern > war noch vor Zeitpunkt als dem Thema Licht besondere Beachtung geschenkt wurde.
 - BAFU ist nur involviert, wenn BAV eisenbahnrechtliche Genehmigung erteilt. In allen anderen Fällen hat BAFU keine Kenntnis, auch wenn Beleuchtung umweltmässig ein Problem darstellt.
3. SBB-intern gibt es bei uns eine PGV-Entscheidungshilfe. Dort steht geschrieben, dass bei einem 1:1 Leuchtener-satz mit LED (gleicher Standort / gleiche Lage) kein PGV erforderlich ist. Einverstanden?
- Aus Sicht BAFU braucht es dann ein Verfahren, wenn es eine namhafte Auswirkung auf Umwelt hat.
 - Im vorliegenden Fall (Natriumdampf zu LED) bräuhete es aus Sicht BAFU ein PGV.
 - 2012/13: Beleuchtung RB Limmattal angepasst > von Quecksilber zu LED. Damals gab es ein PGV. SBB kam auch beim BAFU vorbei.
4. Der Schutz durch das USG besteht in einem zweistufigen Konzept: Als erste Stufe verlangt Art. 11 Abs. 2 USG, Emissionen unabhängig von der bestehenden Umwelt-belastung im Rahmen der Vorsorge so weit zu be-grenzen, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist (vorsorgliche Emissions-begrenzungen). In den Lösungsansätzen hiesse dies, dass man nicht nur, weil die Umgebungs-beleuchtung schon hoch ist, noch höhere Werte ansteuern darf nur um sich vom Rest der Beleuchtung abzuheben. In der Vollzugshilfe sieht das BAFU aber sehr wohl Umgebungs-zonen vor (abgeleitet aus CIE 150), wonach die Lichtemissionen abhängig von der bereits bestehenden Beleuchtung (Besiedlung) stärker oder schwächer ausfallen dürfen. Widerspricht dies nicht Art. 11. Abs. 2 USG? Wäre nicht eher darauf hinzuwirken, dass auch die andere Beleuchtung (z.B. Werbung etc.) abgestellt oder reduziert wird?
- In der Vollzugshilfe soll es für die 1. Stufe Hinweise zu vorsorglichen Emissionsbegrenzungen geben (7-Punkte-Plan). Zudem gibt es ein Instrument zur Abschätzung, wie relevant eine Beleuchtungsanlage im Hinblick auf unerwünschte Auswirkungen auf die Umgebung ist (Relevanzmatrix). Dort spielt die Vorbe-lastung aber ebenfalls eine Rolle.
 - Verhältnismässigkeitsprinzip mitbetrachten.
5. Wie stellt das BAFU die Umsetzung des Vorsorgeprinzips sicher? Wird auch mal auf einem Bahnhof kontrol-liert («Geh-vor-Ort»)?
- 7-Punkte-Plan ist bei vorsorglichen Massnahmen anzuwenden.
 - Konkret zur Intensität > z.B. richtige Bahnhofskategorie gewählt oder reduziert ab 22 Uhr?
 - Keine Überbeleuchtung i.V.z. Norm: Wenn gemäss vorliegenden Beleuchtungsberechnungen die Per-sons mit zu hohen Beleuchtungsstärken ausgeleuchtet werden sollen, sieht der Antrag BAFU an BAV vor, dass abgesenkt wird.
6. Das BG hat beim Fall Oberrieden v.a. zur Geltungszeit und zur Beleuchtung von Werbeflächen entschieden. Nimmt das BAFU im Rahmen der PGV nun verstärkt auf diese Punkte Rücksicht und gibt Anträge dazu ans BAV ein?
- Hat grosse Auswirkungen auf Bahnhofsbeleuchtungen! Vorher wurde das Thema bei Bahnhofsumbau-ten gar nicht gross beachtet. BAV und BAFU beurteilen diesen Aspekt nun eingehend, z.B. nach 22 Uhr Licht, das nicht nötig ist > darauf wird bei PGV geschaut.
7. Wie steht das BAFU zur Farbtemperatur?

Dazu ein paar einleitende Worte:

- In der bestehenden SBB-Regelung I-50103 war bisher nicht auf SIA 491 referenziert worden. In der neuen RTE 26201 zur Beleuchtung ist SIA 491 dagegen enthalten. Interessant dazu ist, dass in der SIA 491 steht:

2.6.2 Leuchtmittel und Einzelbauteile

Die Spektren sind neben gestalterischen (inkl. Werbung) und sicherheitsrelevanten Aspekten auch bezüglich lästiger und schädlicher Auswirkungen auf Mensch und Natur anzupassen. Deshalb soll das Licht möglichst wenig kurzwelligem Strahlungsanteil haben (UV und Blauanteile). Dies gilt insbesondere auch in natürlichen und naturnahen Gebieten ausserhalb des Siedlungsraums.

- Auch die neue Checkliste BAV/BAFU für UVP und Nicht-UVP-pflichtige Eisenbahnanlagen (welche ich im Entwurf vom BAV erhalten habe) enthält einen Checkpunkt zur Lichtfarbe: «Die Anziehungskraft einzelner Leuchten für nachtaktive Tiere hängt stark vom Lichtspektrum ab. Insekten werden insbesondere durch die Ultraviolett- und Blau-Anteile im Licht angelockt [...]» In der Standardmassnahme Li 4 heisst es dann: «Die Empfehlungen der Vogelwarte Sempach bzgl. spiegelnde Glasflächen und Beleuchtung sind zu berücksichtigen». Dort steht: «Merkmale des vogelfreundlichen Bauens: Verwendung insektenfreundlicher Leuchtmittel, die möglichst wenig Strahlung im kurzwelligem und UV-Bereich des Farbspektrums abstrahlen. Einsatz von Natrium-Niederdrucklampen in sensiblen Naturräumen, ansonsten von Natrium-Hochdrucklampen oder warmweissen LED.»
- Und: Die SOB setzt seit über 10 Jahren und viele ausländische Bahnen (z.B.SJ, DSB, NSB) erfolgreich auf 3000K – ohne Sicherheitsabstriche, Reklamationen von betagten Menschen etc.

Provokativ gefragt: Wie lange wird der Standard von 4000K seitens BAFU noch akzeptiert werden? Braucht es hier zuerst auch einen BGE, bevor dazu in einem PGV eine Auflage gemacht wird?

- Aus Umweltsicht wäre warmweisses Licht wünschbar.
 - BAFU hat diesen Antrag zu weniger als 3000K bei der SBB auch gestellt (USG: soweit als technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar). SBB hat immer dagegen argumentiert, dass neutralweisses Licht aus Sicherheitsüberlegungen (Sicht) und Energieeffizienz besser. In der Summe bevorzugt SBB deshalb 4000K.
 - BAFU hat aber schon in Aussicht gestellt/signalisiert, dass diese Frage wieder aufkommen kann.
 - BAFU hat diese Diskussion nicht nur im Bahnbereich, sondern auch bei Flughäfen, NAGRA Tiefenbohrungen oder Strassenbeleuchtung. Dort macht BAFU auch Projektbeurteilungen.
8. Thema kommerzielles Licht und Akzentlicht im Aussenraum von Bahnhöfen (z.B. Beleuchtung Brezelkönig/Kiosk oder beleuchtete Fassade des Bahnhofs Basel). Neben der Tatsache, dass diese Beleuchtung nicht nötig ist und deshalb gegen das eigene Regelwerk und SIA 491 verstösst, müsste diese Beleuchtung nach 22 Uhr eigentlich auch abgestellt werden. Das macht aber niemand (sagen sogar unsere SBB-Leute). Was sagt das BAFU dazu?



Frage: Was ist nötig, ist es im Rahmen des eisenbahnrechtlichen Verfahrens?

- HB ZH: Beleuchtung wird erneuert. Beleuchtung des Bahnhofsgebäudes, z.B. blaue Anstrahlung von innen nach aussen. BAFU beantragt grundsätzlich, dass ab 22 Uhr Licht reduziert oder ausgeschaltet wird. In PGV wurde verfügt, dass eine Bemusterung vor Ort stattfindet, damit Emissionen nicht übermässig sind.
- I-50103 > Tabelle 2.4 > Betriebsschluss
- Aus Umweltsicht problematisch bzw. nicht verhältnismässig:
Kap. 5.1.5 RTE 26201 > «Aufgrund situativer Gegebenheiten kann es sein, dass das Licht am gesamten Bahnhof oder Teilen davon nicht gelöscht werden darf (nachfolgende Aufzählung ist nicht abschliessend):
– Angebot von Services (z.B. Billettautomat, Verpflegungsautomat, etc.): der gesamte sichere Weg, vom öffentlichen Bereich bis zu diesen Services, muss mindestens gemäss Regelung ausgeleuchtet sein (Werte gemäss Betriebsschluss BS)»

9. Welchen Stellenwert gibt das BAFU den Beleuchtungsnormen (z.B. CIE 150, SIA 491 oder ÖNORM O 1052)? In der Vollzugshilfe steht: «Da Normen von privatrechtlichen Organisationen erlassen werden, haben sie grundsätzlich den Charakter einer Empfehlung und ihre Einhaltung ist freiwillig. Rechtlich verbindlich werden Normen erst dann, wenn die Legislative in Erlassen oder Behörden in Verfügungen auf eine Norm verweisen oder wenn sie Gegenstand von Verträgen zwischen Parteien sind». Hat das BAFU in seinen Verfügungen bereits auf Normen im Bereich Licht verwiesen? In Erlassen kommen diese m.W. nicht vor.
- SBB argumentiert gegenüber BAFU, wenn sie sich an Normvorgaben haben, haben sie nichts falsch gemacht, wenn mal etwas passiert. Wollen auf der sicheren Seite sein.
 - Aufgabe BAFU: Normwerte nicht übererfüllen. Das BAFU ist nicht das zuständige Amt, um Sicherheitsaspekte zu beurteilen.
 - CIE 150 und SN 12464-2 nennen explizite Richtwerte bzgl. Störwirkungen. Auch SIA 491 ist hinsichtlich Umwelt sehr gut.
 - SN 12464-2: Bei nicht überdachten Bahnsteigen gibt es vier Optionen > tiefste ist 5 Lux. SBB verwendet dagegen als tiefsten Wert 10.
 - LAI Deutschland > Richtwerte zur Beurteilung der Störwirkungen
 - Da in CH bei Licht keine Grenzwerte: Basierend auf USG kann man solche Normen heranziehen.
 - Versuch der Vollzugshilfe > Synthese aus Normen. > Vorschlag zu Richtwerten.
10. «Normwerte erfüllen, aber nicht übererfüllen». Das ist das Credo der Vollzugshilfe BAFU 2017 (Entwurf) und auch der I-50103. Aber: Kann/Soll im Sinne des Vorsorgeprinzips nicht in Betracht gezogen werden, auch von der Norm abzuweichen, z.B. im Sinne von, dass Normwerte maximal erfüllt werden resp. die Werte in der Norm den Maximalwert angeben (also eine Umkehr von min auf max)?
- BAFU nimmt Stellung i.S. von keiner Übererfüllung.
 - SBB sieht bezüglich Nichterfüllung der Norm ein rechtliches Problem im Sicherheitsbereich. Wenn etwas passiert und die Norm nicht erfüllt wird, seien sie auf der sicheren Seite. Bezüglich Sicherheit ist BAFU nicht die kompetente Behörde. M.a.W. es gibt – aus Sicht SBB – ein Zielkonflikt zwischen Sicherheit und Umwelt.
 - Beispiel Strassenbereich: Gemeinden können selbst bestimmen, was sie für Intensitätswerte wollen. Einige Gemeinden gehen bewusst auch darunter. Aus Umweltsicht hat BAFU natürlich nichts dagegen.
 - Problematik bzgl. Normen: fehlende Transparenz (wie kommen diese zustande), sie kosten und sind damit nicht für die Allgemeinheit verfügbar. Demokratiepolitisch heikel.
 - Fall «Wartehäuschen»: BAFU verlangt beinigen PGV, dass Wartehäuschen nicht unter die Innen- sondern die Aussenanlagen subsumiert wird und dabei, wie ein nicht überdachter Perron behandelt werden soll.
 - Generelles Problem der Normen: Werden sie richtig angewandt oder können sie richtig angewendet werden (Unklarheiten, Interpretationsspielraum) > Gefahr der Überbeleuchtung.
 - Entwicklung der Normen in den letzten Jahrzehnten in Richtung «mehr». Zukünftig müsste dies wieder korrigiert werden.
11. «Einsatz von Gobo-Projektionsstrahlern bei Fassadenbeleuchtungen». Auch das gibt es bei der SBB – wenn auch nur wenig. Widersprechen sie nicht dem Prinzip «Nur beleuchten, was beleuchtet sein muss»?
- Fassadenbeleuchtungen war in PGV, zu denen das BAFU Stellung genommen hat, noch nie ein Thema.
 - Umgebung und Rahmenbedingungen auch wichtig: Plan lumière, Beleuchtungskonzept (Vollzugshilfe), Akteure miteinbeziehen.
 - Wenn Gebäude inszeniert werden soll > Gobo okej, weil nur das beleuchtet wird, was beleuchtet werden «muss».
12. Wieso muss aus Sicht BAFU an einem Bahnhof mit mehr Reisenden (Bahnhofsklassen 1 und 2a) durchwegs eine intensivere Beleuchtung installiert sein?
- Aus Sicht BAFU müsste das nicht so sein. Dem BAFU wurde mitgeteilt: Je mehr Leute sich auf dem Perron aufhalten, desto anspruchsvoller ist die Sehaufgabe des einzelnen Menschen auf dem Perron.
 - CIE: 1 Lux reicht, damit man nicht über einen Gegenstand stolpert.
 - Visuelle Komplexität nimmt mit Anzahl der Menschen aber schon zu.

13. Die LV für die Jahre 2021 – 2024 enthält in den einzuhaltenden Standards zum ersten Mal einen Passus zur Lichtverschmutzung: «Die Anlagenbeleuchtung wird mit dem Ziel einer minimalen Störung von Menschen und Natur sowie zur Förderung der Nachtdunkelheit optimiert.» Da ich diese LV bei der SBB selber betreut habe und eine solche – berechnete – Forderung seitens BAV nie gestellt wurde, gehe ich davon aus, dass diese direkt seitens BAFU in die LV eingebaut wurde. Wie gedenkt das BAFU diese Forderung im LV-Controling (Jahresberichterstattung, WDI etc.) umzusetzen? Wird es KPI geben? Oder werden die ISB qualitativ berichten müssen?
- Wurde nicht von BAFU eingegeben.
 - Konkret in jedem Projekt im Tagesgeschäft erwirken.

G. Lichttechnische Anforderungen anderer Infrastrukturbetreiber

Schweizerische Südostbahn (SOB)

	Beleuchtungs- stärke E_m (lux)	Gleichmässigkeit U_a (-)	Lichtfarb- e (K)	Bemerkungen
Nicht überdachte Perrons	20 (Minimallösung: 5)	0.30 (Minimallösung 0.20)	3000	<ul style="list-style-type: none"> - Entspricht der bisher bewährten Praxis (siehe Anhang mit Beleuchtungsberechnungen), Laut EN 12462-2:2014 „nicht überdachte Perrons mit mittlerem Personenaufkommen“ - Minimallösung: gem. EN 12462-2:2014 „nicht überdachte Perrons mit sehr geringem Personenaufkommen“
Überdachte Perrons	50	0.40	3000	
Treppen	50	0.40	3000- 4000	
Gehwege im Bahnbereich	10	0.25	3000- 4000	
Unterführungen	50	0.40	3000- 4000	- Gleiche Anforderungen, wie auf Treppen
Wartehäuschen	50	0.40	3000	- Gleich wie bei überdachten Perrons

Quelle: (Allenspach, 2021)

DB Station&Service AG

Abschn.	Art der Anlagen	\dot{E}_m Ix	U_0 -	GR_L -	R_a -	Bemerkungen / Zusätzliche Anforderungen
1.	Oberirdische PVA, nicht überdachte Bahnsteige					Blendung der Fahrzeugführer ist zu vermeiden.
1.1	mit sehr geringem Reisendenaufkommen, z.B. Haltepunkte mit einfachen betrieblichen Verhältnissen	5	0,20	55	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/10$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 0,4 W/m ²
1.2	mit geringem Reisendenaufkommen	10	0,25	50	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/8$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 0,8 W/m ²
1.3	mit mittlerem Reisendenaufkommen	20	0,30	45	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/6$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 1,5 W/m ²
1.4	mit hohem Reisendenaufkommen	50	0,40	45	20	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/5$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 2,3 W/m ²
2.	Oberirdische PVA, überdachte Bahnsteige (Bahnsteigdächer und/oder Bahnsteighallen)	\dot{E}_m Ix	U_0 -	GR_L -	R_a -	Blendung der Fahrzeugführer ist zu vermeiden.
2.1	mit geringem Reisendenaufkommen	50	0,40	45	40	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/5$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 2,5 W/m ²
2.2	mit mittlerem bis hohem Reisendenaufkommen	100	0,50	45	40	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/4$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 4,5 W/m ²

Abschn.	Art der Anlagen	\dot{E}_m Ix	U_o -	GR_L -	R_a -	Bemerkungen / Zusätzliche Anforderungen
3.	Oberirdische PVA, Bahnsteigzugänge					Blendung der Fahrzeugführer ist zu vermeiden.
3.1.1	Gehwege und/oder Rampen als Zugänge zu Bahnsteigen lt. Abschnitt 1.1	5	0,20	55	20	
3.1.2	Gehwege und/oder Rampen als Zugänge zu Bahnsteigen lt. Abschnitt 1.2, 1.3 und 1.4	5 bis 20	0,30		20	Je nach Nutzung gemäß der sonstigen Verkehrsflächen gem. 4.1 bis 4.6
3.1.3	Gehwege und/oder Rampen als Zugänge zu Bahnsteigen lt. Abschnitt 2.1 und 2.2	7,5 Bis 20	0,40		20	Je nach Nutzung gemäß der sonstigen Verkehrsflächen gem. 4.1 bis 4.6
3.2.1	Treppen als Zugang zu Bahnsteigen lt. Abschnitt 1.2	20	0,30	45	40	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 2,5 W/m ²
3.2.2	Treppen als Zugang zu Bahnsteigen lt. Abschnitt 1.3, 1.4 und 2.1	50	0,40	45	40	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 3,0 W/m ²
3.2.3	Treppen als Zugang zu Bahnsteigen lt. Abschnitt 2.2	100	0,50	45	40	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 4,5 W/m ²
3.3.1	Personenüberführung ohne Überdachung (Einhäusung) mit geringem Reisendenaufkommen	20	0,40	50	20	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 2,0 W/m ²
3.3.2	Personenüberführung ohne Überdachung (Einhäusung) mit mittlerem bis hohem Reisendenaufkommen	50	0,40	50	20	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 2,5 W/m ²

Abschn.	Art der Anlagen					Bemerkungen / Zusätzliche Anforderungen
4.	Sonstige oberirdische Verkehrsflächen in PVA	\dot{E}_m Ix	U_0 -	GR _L -	R _s -	Blendung der Fahrzeugführer ist zu vermeiden.
4.1	Bahnhofsvorplätze und Zuwegungen zur PVA; nur Fußgänger	3 bis 10	0,20	-	20	In Anlehnung an die Normenserie DIN 13201
4.2	Bahnhofsvorplätze und Zuwegungen zur PVA mit geringem oder mittlerem Verkehrs- und Reisendenaufkommen	5 bis 15	0,20 bis 0,30	-	20	In Anlehnung an die Normenserie DIN 13201
4.3	Bahnhofsvorplätze und Zuwegungen zur PVA mit hohem Verkehrs- und Reisendenaufkommen	7,5 bis 20	0,20 bis 0,40	-	20	In Anlehnung an die Normenserie DIN 13201
4.4	Parkplätze (Fahrradabstellplätze), geringes Verkehrsaufkommen	5	0,25	55	20	Nach DIN EN 12464-2
4.5	Parkplätze (Fahrradabstellplätze), mittleres Verkehrsaufkommen	10	0,25	50	20	Nach DIN EN 12464-2
4.6	Parkplätze (Fahrradabstellplätze), hohes Verkehrsaufkommen	20	0,25	50	20	Nach DIN EN 12464-2

Abschn.	Art der Anlagen					Bemerkungen / Zusätzliche Anforderungen
5	Unterirdische PVA	\dot{E}_m Lx	U_d -	UGR _L -	R_a -	Blendung der Fahrzeugführer ist zu vermeiden.
5.1.1	Bahnsteige, geringes Reisendenaufkommen	50	0,30		80	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/5$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 2,5 W/m ²
5.1.2	Bahnsteige, mittleres Reisendenaufkommen	100	0,40	--	80	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/5$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 4,5 W/m ²
5.1.3	Bahnsteige, hohes Reisendenaufkommen	200	0,50	--	80	1. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Bahnsteigkante 2. $U_d \geq 1/3$ 3. Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 8,5 W/m ²
5.2.1	Zugänge, Verteilerebenen, Treppen, Fahrtreppen, Fahrsteige, geringes Reisendenaufkommen	50	0,30		80	
5.2.2	Zugänge, Verteilerebenen, Treppen, Fahrtreppen, Fahrsteige, mittleres Reisendenaufkommen	100	0,40		80	
5.2.3	Zugänge, Verteilerebenen, Treppen, Fahrtreppen, Fahrsteige, hohes Reisendenaufkommen	200	0,50		80	

6.2.3	Treppen, Fahrtreppen, Fahrsteige, hohes Reisendenaufkommen	200	0,50		80	
6.3	Warteräume	200	0,40	22	80	
6.4	Schalter- und Bahnhofshallen	200	0,50	28	40	
6.5	Schalter und Büros für Fahrkarten und Gepäck	300	0,50	19	80	
7	Sonstige Anlagen	\bar{E}_m lx	U_o -	UGR_L -	R_a -	
7.1.2	Personenunterführungen bzw. Personenüberführungen mit Einhausung, mit geringem Reisendenaufkommen	50	0,30		80	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 2,5 W/m ²
7.1.2	Personenunterführungen bzw. Personenüberführungen mit Einhausung, mit mittlerem Reisendenaufkommen	100	0,40		80	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 4,5 W/m ²
7.1.3	Personenunterführungen bzw. Personenüberführungen mit Einhausung, mit hohem Reisendenaufkommen	200	0,50		80	Energieeffizienzkennzahl spezifische Anschlussleistung maximal 8,5 W/m ²

Quelle: (DB Station&Service AG, 2021)

Finnische Infrastruktur Agentur (Väylävirasto)

Tabell 1. Belysningstekniska krav på passagerarområden.

Passagerarområden	E _{hm}	U _o	U _d	GR _m	GR _{max}	R _a
Öppna perronger						
Små stationer	10	0,25	0,13	40	50	20
Medelstora stationer	20	0,40	0,20	40	45	60
- livlig verksamhet	50	0,40	0,25	40	45	60
Stora stationer	50	0,40	0,25	40	45	60
Täckta perronger						
Små stationer	20	0,40	0,25	35	50	60
Medelstora stationer	50	0,50	0,33	35	40	60
Stora stationer	100	0,50	0,33	30	35	80
Stationstunnlar						
Medelstora och stora stationer	100	0,50				60
Öppna trappor						
Små stationer	30	0,40	0,20	35	45	20
Medelstora och stora stationer	50	0,50	0,20	35	45	60
Täckta trappor						
Små stationer	50	0,40	0,20	35	45	20
Medelstora och stora stationer	100	0,50	0,20	35	45	60
Passager enligt P-klasser						
Små statopmer (P4*)	5					20
Medelstora och stora stationer (P2*)	10					20
Parkeringsområden (P2*)	10	0,40	0,20			20

* P-klassernas belysningstekniska krav presenteras i punkt 2.3.4.

Quelle: (Hafdell, 2021a)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bahnhofsklassen und entsprechende Anzahl Bahnhöfe SBB.....	72
Tabelle 2: Mengengerüst der SBB Leuchtmittel an Bahnhöfen	73
Tabelle 3: LED-Leuchtenparameter	74
Tabelle 4: Die wichtigsten Beleuchtungsanforderungen für Bahnen und Strassenbahnen.....	76
Tabelle 5: Beleuchtung von überdachten Aussenanlagen im Bahnzugang.....	78
Tabelle 6: Beleuchtung von nicht überdachten Aussenanlagen im Bahnzugang.....	78
Tabelle 7: Umgebungszonen zur Ableitung der Sensitivität.....	94
Tabelle 8: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	112
Tabelle 9: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	113
Tabelle 10: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	114
Tabelle 11: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	115
Tabelle 12: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	116
Tabelle 13: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	117
Tabelle 14: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	119
Tabelle 15: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	119
Tabelle 16: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	120
Tabelle 17: Grobbeurteilung nach RTE 26201 und SIA 491.....	121
Tabelle 18: RTE 26201: Lichtimmissionen durch Streulicht im Aussenraum.....	124
Tabelle 19: 5.2 Beleuchtung von Innenanlagen: Wartehaus.....	125
Tabelle 20: 5.3 Beleuchtung von überdachten Aussenanlagen: Perrons.....	125
Tabelle 21: 5.3 Beleuchtung von nicht überdachten Aussenanlagen.....	125
Tabelle 22: Lichtplaner, welche Beleuchtungslösungen nach SIA 491 planen (Auswahl).....	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verantwortlichkeiten am Musterbahnhof SBB	19
Abbildung 2: Lichttechnische Grössen und deren Beziehungen	21
Abbildung 3: Lichtfarbe und Wellenlänge	23
Abbildung 4: Spektren von Lampen	24
Abbildung 5: Lichtspektren unterschiedlicher Leuchtmittel	24
Abbildung 6: Intendierte und nichtintendierte Lichtemissionen nächtlicher Beleuchtung	25
Abbildung 7: Entwicklung der Lichtausbeute	26
Abbildung 8: Skotopisches und photopisches Sehen beim Menschen	27
Abbildung 9: Wirkungen, Bedürfnisse und Effekte von Licht	29
Abbildung 10: Lichtemissionen der Schweiz 2020	31
Abbildung 11: Melanopische Wirkung von zwei LED	46
Abbildung 12: Aktionsspektrum der Melatonin Suppression im Vergleich zum Tag- und Nachtsehen	46
Abbildung 13: Empfindlichkeiten von Menschen und Nachtfalter	47
Abbildung 14: Melanopische Wirkungsfaktoren in Abhängigkeit der Farbtemperatur	47
Abbildung 15: Blauanteil verschiedener Leuchtmittel	49
Abbildung 16: «Flight-to-Light Effect»	59
Abbildung 17: «Crash Barrier Effect»	60
Abbildung 18: «Vacuum Cleaner Effect»	60
Abbildung 19: Angelockte Tiere in Feldversuchen aus Düsseldorf, Frankfurt und Tirol	62
Abbildung 20: Spektrale Empfindlichkeitsmaxima für verschiedene Insektenordnungen	63
Abbildung 21: Einfluss des nächtlichen Lichtes auf ein Ökosystem am Beispiel eines Gewässers	69
Abbildung 22: Komplexität der Auswirkungen künstlicher Beleuchtung bei Nacht auf Pflanzen und Tiere	70
Abbildung 23: Beleuchtungsgrundsätze im Kontext des Umweltschutzes	79
Abbildung 24: Von der Vorstudie bis zur Ausführung	82
Abbildung 25: PGV Entscheidungshilfe Beleuchtungsanpassungen	86
Abbildung 26: Matrix zur Bestimmung des Relevanzindex von Lichtemissionen einer Anlage	93
Abbildung 27: Emissionen von Anlagen in den Aussenraum	94
Abbildung 28: Lichtemissionen Schweiz 2020 und Verortung der Bahnhöfe SBB	96
Abbildung 29: Umweltschutzgebiete und Verortung der SBB Bahnhöfe	97
Abbildung 30: Migrationskorridore von Vögeln in der Schweiz	99
Abbildung 31: Auszug aus der RTE 26201	100
Abbildung 32: Spektrale Wirkungsfaktoren für photochemische Netzhautgefährdung	102

Abbildung 33: Zu vermeidendes Lichtspektrum [x] nach Artengruppe.....	103
Abbildung 34: Bahnhof Mogelsberg (SG)	104
Abbildung 35: Auszug aus «Trafikverket, Vejdirektoratet, Statens vegvesen: Technical specification».....	105
Abbildung 36: Bahnhof Bülach (ZH), Aufnahme vom 23. September 2021 (23:20 Uhr)	110
Abbildung 37: Bahnhof Oberrieden (See), 1.11.2021 (19:04)	112
Abbildung 38: Bahnhof Chêne-Bourg (VD)	113
Abbildung 39: Bahnhof Bern am Tag (Welle), 1.11.2021 (14:45).....	114
Abbildung 40: Bahnhof Bern in der Nacht (Welle)	114
Abbildung 41: Bahnhof Zug	115
Abbildung 42: Bahnhof Zürich-Oerlikon	116
Abbildung 43: Bahnhof Zürich Hardbrücke 2007	117
Abbildung 44: Bahnhof Zürich Hardbrücke 2017	117
Abbildung 45: Bahnhof St. Gallen.....	118
Abbildung 46: Bahnhof St. Gallen.....	118
Abbildung 47: Bahnhof Bellinzona	119
Abbildung 48: Bahnhof Olten	120
Abbildung 49: Bahnhof Basel	121
Abbildung 50: Lösungsvorschläge (#1 – #12) entlang des Prozesses Vorstudie bis Ausführung	122
Abbildung 51: Fragen an den Projektleiter zur Erstellung des Umweltberichtes.....	129
Abbildung 52: Lichtetikette für das Kriterium Lichtfarbe	134

Literaturverzeichnis

- Abicht Gruppe. (o. J.). *Bahnhof Zug (ZG)*. <https://www.abicht-gruppe.ch/kompetenzen/leistungen/alle/bahnhof-zug-zg>. Abruf: 18.11.2021.
- Age Stiftung. (2006). Hinweise für die Planung von altersgerechten Wohnungen. Zürich: https://www.age-stiftung.ch/fileadmin/user_upload/Publikationen/Hilfsmittel_und_Werkzeuge/Planung_altersgerechter_Wohnungen.pdf. Abruf: 15.11.2021.
- Albrecht. (2013). Circadian clocks and mood-related behaviors. In *Handbook of Experimental Pharmacology 217* (S. 227–239).
- Allenspach. (2021). Bahnhofbeleuchtung SOB. In T. M. Markus Allenspach SOB. Schriftlicher Austausch.
- American Medical Association. (2016a). AMA adopts guidance to reduce harm from high intensity street lights. <https://www.ama-assn.org/press-center/press-releases/ama-adopts-guidance-reduce-harm-high-intensity-street-lights>. Abruf: 18.11.2021.
- American Medical Association. (2016b). Human and Environmental Effects of Light Emitting Diode (LED) Community Lighting. In *REPORT OF THE COUNCIL ON SCIENCE AND PUBLIC HEALTH. CSAPH Report 2-A-16*. <https://www.ama-assn.org/sites/ama-assn.org/files/corp/media-browser/public/about-ama/councils/Council%20Reports/council-on-science-public-health/a16-csaph2.pdf>. Abruf: 18.11.2021.
- ANPCEN. (2016). *Charte pour la protection du ciel et de l'environnement nocturnes*. https://www.anpcen.fr/docs/20161123190108_dmlqaj_doc199.pdf. Abruf: 18.11.2021.
- ANPCEN/INSV/MEDDE. (2012). Le saviez vous? Extrait de la journée d'étude INSV-MEDDE-ANPCEN. https://www.anpcen.fr/?id_rub=11&id_ss_rub=17. Abruf: 18.11.2021.
- Arendt. (2005). Melatonin: characteristics, concerns, and prospects. In *Journal of Biological Rhythms 20(4)* (S. 291–303).
- Arlettaz 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* (S. 55-60).
- ASCEN. (o.J.). Association pour la Sauvegarde du Ciel et de l'Environnement Nocturnes (ND). Recommandations pour une meilleure utilisation de l'éclairage public. www.ascen.be.

- BAFU. (2012). Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Moser 09.3285:
<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/29575.pdf>. Abruf: 06.09.2021.
- BAFU. (2017). Vollzugshilfe Lichtemissionen (Entwurf zur Konsultation).
- BAFU. (2020). Landschaftskonzept Schweiz. Landschaft und Natur in den Politikbereichen des Bundes. In *Umwelt-Info Nr. 2011: 52 S.*
- BAFU. (2021). Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Erstausgabe, 1. aktualisierte Auflage 2021. In *Umwelt-Vollzug Nr. 2117: 169 S.* Bern.
- BAG. (2016). LED-Lampen. Faktenblatt. 1. November 2016.
<https://www.bag.admin.ch/dam/bag/de/dokumente/str/nis/faktenblatt-led.pdf.download.pdf/faktenblatt%20led-lampe%20d.pdf>. Abruf: 15.11.2021.
- Baker. (2006). The effect of artificial light on male breeding-season behaviour in green frogs, *Rana clamitans malanota*. In *Vol. 36*. Department of Biological Sciences. University St. Catharines. Canada.
- Banks et al. (2010). Neurobehavioral dynamics following chronic sleep restriction: dose-response effects of one night for recovery. In *Sleep 33(8)* (S. 1013–1026).
- Baselferien. (o. J.). *Bahnhof Basel SBB und Centralbahnplatz*.
<https://www.baselferien.ch/infrastruktur/bahnhof-basel-sbb-centralbahnplatz/>. Abruf: 18.11.2021.
- Baunetzwissen. (o. J. b). *Quecksilberdampflampen*.
<https://www.baunetzwissen.de/licht/fachwissen/leuchtmittel-lampen/quecksilberdampflampen-167290>. Abruf: 21.11.2021.
- BAV. (2020a). Schweizerische Eisenbahnen, FDV, Schweizerische Fahrdienstvorschriften (R 300.1–.15), Stand 1. Juli 2020.
- BAV. (2020b). Leistungsvereinbarung zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Infrastrukturbetreiberin Schweizerischen Bundesbahnen SBB AG für die Jahre 2021–2024. Ittigen:
https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/verkehrsmittel/eisenbahn/bahninfrastruktur/substanzerhalt-und-betrieb/abgeschlossene_lv_21_24.html. Abruf: 18.08.2021.
- BAV. (2020c). Ausführungsbestimmungen zur EBV (AB-EBV), Stand am 1. November 2020.
<https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/ab-ebv/a2020/ab-ebv-a2020.pdf.download.pdf/AB-EBV.pdf>. Abruf: 18.11.2021.

BAV. (2021). Plangenehmigung. Ordentliches Verfahren nach Art. 18 ff. Eisenbahngesetz.

Plangenehmigungsgesuch der Schweizerischen Bundesbahnen SBB vom 10. März 2021, letztmals überarbeitet am 2. September 2021 betreffend Bahnhof Schönenwerd, BZU, Perronerhöhung P55 . Ittigen.

BAV/BAFU. (2010). Checkliste Umwelt für nicht UVP-pflichtige Eisenbahnanlagen des BAV. Stand: Oktober 2010. Herausgeber: BAV und BAFU.

BAV/BAFU. (2021). *Checkliste Umwelt für Eisenbahnanlagen (Korrekturversion Konsultation)*.

BAV/BAFU/VöV. (2021). *LEITFADEN Berichterstattung gemäss Leistungsvereinbarungen 2021-2024 zum Thema Biodiversität*.

Bayarri et al. (2002). Influence of light intensity, spectrum and orientation on sea bass plasma and ocular melatonin. In *Journal of Pineal Research*. Vol. 32.

Bécamel. (o.J.). Origine et différents types de rythmes biologiques. Présentation ppt UE : Physiologie intégrée et Homeostasie. Institut de Génomique Fonctionnelle. Université Montpellier 1.

Bedrosian and Nelson. (2013). Influence of the modern light environment on mood. In *Mol. Psychiatr.* 18 (S. 751–757).

Bellia et al. (2014). Indoor artificial lighting: Prediction of the circadian effects of different spectral power distributions. In *Lighting Research and Technology* 46 (6) (S. 650-660).

Bellia und Seraceni. (2014). A proposal for a simplified model to evaluate the circadian effects of light sources. In *Lighting Research and Technology* 46 (S. 493-505).

Bennie et al. (2018). Artificial light at night alters grassland vegetation species composition and phenology. In *J. Appl. Ecol.* 55 (S. 442–450).

Berchtold. (2021). Ablauf Mono- und Multiprojekt. Telefonisches Interview vom 12. Juli 2021. In S. B. (I-AEP-ENG-BZT-RME-TA2).

Bergen and Abs. (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 (S. 451–467).

Bodenmann. (2021). Schriftlicher und mündlicher Austausch.

Bojahr und Rathje. (2006). Wie entstehen Himmelsblau und Abendrot?

<https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/himmelsblau-und-abendrot/>. Abruf: 15.11.2021.

- Boldogh et al. (2007). The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. In *Acta Chiropterologica*, 9(2) (S. 527-534).
- Bondy and Campbell. (2018). Mechanisms underlying tumor suppressive properties of melatonin. In *Int. J. Mol. Sci.* 19 (8), 2205.
- Borth. (2018). *Binäre Uhr am Bahnhof St. Gallen*.
<https://twitter.com/damianborth/status/1037099491827089409/photo/2>. Abruf: 19.11.2021.
- Brainard et al. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. In *The Journal of Neuroscience* 21(16) (S. 6405-6412).
- Brehm et al. (2021). Moths are strongly attracted to ultraviolet and blue radiation. In *Insect Conservation and Diversity*. Volume14, Issue2. *Special Issue: Impacts of artificial lighting at night on insect conservation* (S. 188-198).
- Briggs. (2002). Plant photoreceptors: proteins that perceive information vital for plant development from the lighting in Ecological consequences of Artificial Night Lightning. In *Conference abstracts*, 23-24/02/2002. Los Angeles.
- Briggs. (2005). Physiology of Plant Responses to Artificial Lighting. In *Ecological Consequences of artificial Night Lighting* (S. 389-411.). London: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.). Island Press.
- Bruderer et al. (1999). Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and a bright light beam. In *Journal of Experimental Biology* 202(9) (S. 1015-1022).
- Brüning et al. (2014). Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress. In *Science of the Total Environment*. Vol. 511.
- Buchanan. (1993). Effects of enhanced lighting on the behaviour of nocturnal frogs. In *Animal Behaviour*. Vol. 45.
- Buchanan. (2006). Influence of artificial illumination on the nocturnal behavior and physiology of salamanders. Washington D.C.: Ecological consequences of artificial night lighting (C. RICH and T. LONGCORE, eds.). Island Press.
- Bullough et al. (2006). Of mice and women: light as a circadian stimulus in breast cancer research. In *Cancer Causes Control* 17 (S. 375–383.).

Bundesamt für Strahlenschutz. (2021). Was versteht man unter Licht? Stand: 1.4.2021.

<https://www.bfs.de/DE/themen/opt/sichtbares-licht/einfuehrung/einfuehrung.html>. Abruf:
21.11.2021.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. (2013). Photobiologische Sicherheit von Licht
emittierenden Dioden (LED). In F. M. L. Udovičić. Dortmund/Berlin/Dresden:

https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2115.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
Abruf: 21.11.2021.

Burgess und Molina. (2014). Home lighting before usual bedtime impacts circadian timing: a field study. In
Photochemistry and photobiology 90 (S. 723–726).

BUWAL. (2003). Hochfrequente Strahlung und Gesundheit. In *UMWELT-MATERIALIEN Nr. 162*.
Nichtionisierende Strahlung.

BUWAL. (2005). Empfehlungen zur Vermeidung von Lichtemissionen. Vollzug. Bern:

[https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/landschaft/uv-umwelt-
vollzug/empfehlungen_zurvermeidungvonlichtemissionenausmassursachenundau.pdf.download.pdf/
empfehlungen_zurvermeidungvonlichtemissionenausmassursachenundau.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/landschaft/uv-umwelt-vollzug/empfehlungen_zurvermeidungvonlichtemissionenausmassursachenundau.pdf.download.pdf/empfehlungen_zurvermeidungvonlichtemissionenausmassursachenundau.pdf). Abruf: 24.10.2021.

Cabrera-Cruz et al. (2018). Light pollution is greatest within migration passage areas for nocturnally-migrating
birds around the world. In *Sci. Rep.* 8 (1): 3261.

Cajochen et al. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to
short wavelength light. In *The Journal of clinical endocrinology and metabolism* 90 (S. 1311–1316).

Cajochen et al. (2011a). Can light make us bright? Effects of light on cognition and sleep. In *Prog. Brain Res.* 190,
5 (S. 119-133).

Cajochen et al. (2011b). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit. In *Journal of applied
physiology* 110 (S. 1432–1438).

Caroll. (1994). Interactions between body size and mating history influence the reproductive success of males
of a tortricid moth, *Zeiraphera canadensis*. In *Canadian Journal of Zoology*.

Caruana. (2020). A photometric mapping of the night sky brightness of the Maltese islands. In *Journal of
Environmental Management, Volume 261, 1 May 2020, 110196*.

Chang et al. (2011). The human circadian system adapts to prior photic history. In *The Journal of physiology* 589
(S. 1095–1102).

- Chang et al. (2013). Direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans depend on prior light history. In *Sleep* 36 (S. 1239–1246).
- CIE. (2010). Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance. Wien: Commission International de l'Eclairage (CIE).
- CIE. (2017). Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. Technical Report. 2nd Edition. Wien: Commission Internationale de l'Eclairage.
- CIE. (2019). Lighting for Pedestrians: A Summary of Empirical Data. In *Technical Report 236*.
- Claustrat. (2009). Mélatonine et troubles du rythme veille-sommeil. In *Médecine du sommeil*. N°6 (S. 12-14).
- Cotti. (2015). *Beleuchtung Perronanlagen Automation Präsenzabhängige Beleuchtung*, 30.09.2015. Landquart.
- Cotti. (2021). Bedarfsgerechte Lichtsteuerung. Landquart: E-Mail vom 29.09.2021.
- Cravens et al. (2018). Illuminating prey selection in an insectivorous bat community exposed to artificial light at night. In *J. Appl. Ecol.* 55 (S. 705–713).
- Dark-Sky Switzerland. (2016). *Fachmitgliedschaft für Lichtplaner*. http://www.darksky.ch/dss/wp-content/uploads/2016/08/Zustimmung_Lichtplaner.pdf. Abruf: 19.11.2021.
- Dark-Sky Switzerland. (2018). *Warum unter 3000K?* http://www.darksky.ch/dss/wp-content/uploads/2018/03/Warum_unter_3000K_zweiseitig_interaktiv_144dpi.pdf. Abruf: 15.11.2021.
- Dark-Sky Switzerland. (2021a). Licht. <http://www.darksky.ch/dss/de/wissen/licht/>. Abruf: 15.11.2021.
- Dark-Sky Switzerland. (2021b). Lichtverschmutzung. Allschwil: <http://www.darksky.ch/dss/de/wissen/lichtverschmutzung/>. Abruf: 15.11.2021.
- Dark-Sky Switzerland. (o. J. a). Suffizienz übertrifft Effizienz – LED richtig wählen. <http://www.darksky.ch/dss/de/2017/03/suffizienz-uebertrifft-effizienz-led-richtig-waehlen/>. Abruf: 15.11.2021.
- Dark-Sky Switzerland. (o. J. b). *Lichtplaner*. <http://www.darksky.ch/dss/de/handeln/lichtplaner/>. Abruf: 19.11.2021.
- Dauchy et al. (1997). Light contamination during the dark phase in “photoperiodically controlled” animal rooms: effect on tumor growth and metabolism in rats. In *Laboratory Animal Science*. Vol. 47.
- Davies et al. (2012). Street lighting changes the composition of invertebrate communities. In *Biology letters*. The Royal Society.

- DB Station&Service AG. (2021). *Lichttechnische Anforderungen an Personenverkehrsanlagen der DB*.
- De Molenaar et al. (2005). Road lighting and Grassland Birds: Local Influence of Road Lighting on a Black-Tailed Godwit Population. In *Ecological Consequences of artificial Night Lighting* (S. 114-136). London : Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.). Island Press.
- De Molenaar et al. (2006). Effects of Road Networks on Bird Populations. In *Conservation Biology* 25(2) (S. 241-249).
- Derrickson. (1988). Variation in repertoire presentation in northern mockingbirds. In *Condor* 90 (S. 592–606.).
- Deutscher Bundestag. (2020). Lichtverschmutzung – Ausmaß, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen sowie Handlungsansätze. Endbericht zum TA-Projekt. Arbeitsbericht Nr. 186. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Dimitriadis et al. (2018). Reduction of sea turtle population recruitment caused by nightlight: evidence from the mediterranean region. In *Ocean Coast. Manag.* 153 (S. 108–115).
- DIN. (2011). Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2011. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- Dominoni et al. (2013). Urban-like night illumination reduces melatonin release in European blackbirds (*Turdus merula*): implications of city life for biological time-keeping of songbirds. In *Front Zool* 10, 60.
- EBA. (o. J.). *Projekt Balin - Ausgangssituation*. https://www.projekt-balin.de/WebS/BALIN/DE/Projekt/Ausgangssituation/ausgangssituation_node.html. Abruf: 21.11.2021.
- EBP. (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.
- Eidg. Räte. (2012). Landschaftsübereinkommen des Europarates. Abgeschlossen in Florenz am 20. Oktober 2000, Von der Bundesversammlung genehmigt am 28. September 2012. In Kraft getreten für die Schweiz am 1. Juni 2013.
- Eidg. Räte. (2018). Verordnung über die Verhütung von Unfällen über die Verhütung von Unfällen (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV) vom 19. Dezember 1983 (Stand am 1. Mai 2018).
- Eidg. Räte. (2020). *Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für Eisenbahnanlagen vom 2. Februar 2000 (Stand am 1. November 2014)*.

- Eidg. Räte. (2021). Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG) vom 13. März 1964 (Stand am 1. Januar 2021).
- Eisenbeis. (2006). Artificial night lighting and insects: attraction of insects to street lamps in rural setting in Germany. In *Ecological consequences of artificial night lighting* (S. 281-304). Washington D.C.: C. RICH and T. LONGCORE, eds. Island Press.
- Eisenbeis and Hassel. (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) (S. 145-156).
- Eisenbeis und Eick. (2011). Studie zur Anziehung achtaktiver Insekten an die Straßenbeleuchtung unter Einbeziehung von LEDs. In *Natur und Landschaft* 7.
- EKAS. (o. J.). Lichtfarbe. <https://wegleitung.ekas.ch/uebersicht-wegleitung/arbeitsumgebung/beleuchtung-der-arbeitsumgebung/lichtfarbe>. Abruf: 19.11.2021.
- EKAS. (o. J.). Schutz vor Gefährdung wegen ungeeigneter Beleuchtung, Arbeitsmittel, EKAS-RL 6512. <https://wegleitung.ekas.ch/uebersicht-wegleitung/arbeitsmittel-richtlinie/8-schutzeinrichtungen-und-schutzmassnahmen-ekasrl-6512-arbeitsmittel/85-schutz-vor-gefaehrdung-wegen-ungeeigneter-beleuchtung-ekasrl-6512-arbeitsmittel>. Abruf: 20.10.2021.
- EKZ. (2021). Anwendung im Bereich der öffentlichen Beleuchtung, Referent: Haller, Jörg. In *Elektrizitätswerke des Kantons Zürich sowie Schweizerische Lichtgesellschaft (SLG). Tagung der Vereinigung für Umweltrecht (VUR) vom 05.11.2021*. Bern.
- Elektron. (2020). Flughafen Zürich digitalisiert die Beleuchtungsinfrastruktur. <https://www.elektron.ch/de/aktuelles/flughafen-zuerich-beleuchtung#:~:text=Auf%20dem%20Gel%C3%A4nde%20des%20Flughafens,Hindernisbefuerung%20rund%20um%20den%20Flughafen>. Abruf: 19.11.2021.
- Erren et al. (2008). Chronodisruption and cancer. In *Naturwissenschaften* 95 (S. 367–382).
- Etter. (2021). Bern: Schriftlicher und mündlicher Austausch mit Thomas Etter (I-NAT-PAG-SAMM-DM).
- Europäische Union. (2009). *Verordnung (EG) Nr. 245/2009 der Kommission vom 18. März 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates*.
- EWB. (2020). Geschäfts- und Nachhaltigkeitsbericht 2020. <https://www.ewb.ch/EnergieWasserBern/media/content/PDFs/Berichte/geschaefts-und-nachhaltigkeitsbericht-2020.pdf?ext=.pdf>. Abruf: 19.11.2021.

- Falchi et al. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. In *Sci. Adv.* 2, e16003777.
- Falcón. (2011). Melatonin, the time keeper: biosynthesis and effects in fish. In *Cybium*. Vol. 35, N°1.
- Farnworth et al. (2018). Photons and foraging: New artificial light at night generates avoidance behaviour in male, but not female. New Zealand Weta. In *Environ. Pollut.* 236 (S. 82–90).
- Folkard. (2008). Shift work, safety, and aging. In *Chronobiology International* 25 (S. 183–198).
- Frank. (1988). Impact of outdoor lighting on moths: An assessment. In *Journal of the Lepidopterists' Society* 42(2) (S. 63-93).
- Frank. (2006). Effects of Artificial Night Lighting on Moths. In *Ecological consequences of artificial night lighting* (S. 305-344). Washington D.C.: C. RICH and T. LONGCORE. Island Press.
- Fussverkehr Schweiz. (2015). Zu Fuss durch die Nacht. Eine Bestandesaufnahme der öffentlichen Beleuchtung. Zürich: Fussverkehr Schweiz.
- Gall und Bieska. (2004). Definition and measurement of circadian radiometric quantities. Non-visual effects, proceedings of the CIE symposium '04, 30 September - 2 October 2004, University of Music and Performing Arts, Vienna, Austria.
- Garcia-Saenz et al. (2018). Evaluating the association between artificial light-at-night exposure and breast and prostate cancer risk in Spain (MCC-Spain study). In *Environ. Health Perspect.* 126 (4) (S. 047011–1–047011–11).
- Gaston et al. (2014). Human alteration of natural light cycles: causes and ecological consequences. In *Oecologia* 176 (S. 917–931).
- Gaston et al. (2017). Impacts of artificial light at night on biological timings. In *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48 (S. 49–68).
- Gouvernement Luxembourg. (2018). Leitfaden „Gutes Licht“ im Außenraum für das Großherzogtum Luxemburg. <https://environnement.public.lu/dam-assets/actualites/2018/06/Leitfaden-fur-gutes-Licht-im-Aussenraum.pdf>. Abruf: 15.11.2021.
- Grenis und Murphy. (2019). Direct and indirect effects of light pollution on the performance of an herbivorous insect. In *Insect Sci.* 2019 Aug; 26(4) (S. 770-776).
- Häder. (2004). Nastien, endogene Rhythmen und Photoperiodismus, Photobiologie Vorlesung, 4. Kapitel. Nürnberg: Lehrstuhl für Ökophysiologie an der Universität Erlangen.

- Hafdell. (2021a). *Finnische Anforderungen zur Beleuchtung (übersetzt auf schwedisch)*.
- Hafdell. (2021b). Stationsbelysning. Sundbyberg: Swedish Transport Administration (Trafikverket).
- Haim und Portnov. (2013). Light Pollution As a New Risk Factor for Human Breast and Prostate Cancers. Springer, Dordrecht.
- Hale et al. (2014). The ecological impact of city lighting scenarios: exploring gap crossing thresholds for urban bats. In *Global Change Biology*.
- Hattar et al. (2002). Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. In *Science* 295 (5557) (S. 1065–1070).
- Henckel et al. (2013). Der Verlust der Nacht in der 24-Stunden-Gesellschaft. In *Das Ende der Nacht. Lichtsmog: Gefahren – Perspektiven – Lösungen* (S. 205–224). Weinheim: Posch, T.; Hölker, F.; Freyhoff, A.; Uhlmann, T. (Hg.).
- Hindernisfreie Architektur. (o. J.). SN EN 12464-1 «Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen». In H. A.-D. Fachstelle. Zürich: https://hindernisfreie-architektur.ch/normen_publicationen/sn-en-12464-1-beleuchtung-von-arbeitsstaetten-in-innenraeumen. Abruf: 21.11.2021.
- Hodel. (o. J.). *Bern von oben*. <https://www.bern-von-oben.ch/>.
- Hoff und Haas-Arndt. (o. J. a). *Natriumdampflampen*. <https://www.baunetzwissen.de/licht/fachwissen/leuchtmittel-lampen/natriumdampflampen-167288>. Abruf: 19.11.2021.
- Hölker et al. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. In *Journal ISSN*. Vol. 25. N°12.
- Holliger. (2021). *Schriftlicher Austausch mit Thomas Holliger (IM-BW-PBK-PM) vom 21.09.2021*.
- Hungerbühler und Morici. (2006). Soziologische Beobachtungen zur Wahrnehmung nächtlicher Landschaften. In *Wieviel Licht braucht der Mensch, um leben zu können, und wieviel Dunkelheit?* (S. 162-184). Zürich : Zumthor, P., Beer, I., Mathieu, J. (Hrsg.), vdf Hochschulverlag.
- Hurni. (2021). Beleuchtung im Bahnzugang und Gleisfeld. Bern.
- Iannaccone. (2021). *Schriftlicher und mündlicher Austausch mit Tobias Iannaccone (I-NAT-PAG-TAMM-EGT)*.
- IDSa. (o. J.). Lighting, Crime and Safety. <https://www.darksky.org/light-pollution/lighting-crime-and-safety/>. Abruf: 19.11.2021.

- Imfeld. (2021). *Lichtemissionen in der Praxis: Wo stehen wir heute?* Elektron AG, Vorsitz SLG Fachgruppe Öffentliche Beleuchtung.
- Industrielle Betriebe Interlaken. (2016). Analyse öffentliche Beleuchtung; 9. September 2016. www.ibi.ch.
- Irwin. (2018). The dark side of light: how artificial lighting is harming the natural world. In *268 | NATURE | VOL 553 | 18 JANUARY 2018*.
- Iyengar and Eisner. (1999). Heritability of body mass, a sexually selected trait, in an arctiid moth (*Utetheisa ornatrix*). In *Proceedings of the National Academy Sciences. USA. Vol. 96*.
- Jaeger and Hailman. (1973). Effects of intensity on the phototactic responses of adult anuran amphibians: a comparative survey. In *Z. Tierpsychol. 33* (S. 352–407).
- Jung et al. (2010). Acute Effects of Bright Light Exposure on Cortisol Levels. In *Journal of Biological Rhythms. Vol. 25. N°3* (S. 208-216).
- Kanishi et al. (2000). Differential growth inhibitory effect of melatonin on two endometrial cancer cell lines. In *J. Pineal Res. 28* (S. 227–233).
- Kantermann. (2018). Humanmedizinisch relevante Wirkungen von Lichtverschmutzung. Bochum: https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_5006406_3/component/file_5006417/content. Abruf: 26.08.2021.
- Kantermann et al. (2012). The stimulating effect of bright light on physical performance depends on internal time. In *PLoS One 7*(7).
- Kanton AG. (2007). SAR 781.200 - Einführungsgesetz zur Bundesgesetzgebung über den Schutz von Umwelt und Gewässern (EG Umweltrecht, EG UWR). https://gesetzsammlungen.ag.ch/app/de/texts_of_law/781.200/versions/2293. Abruf: 15.11.2021.
- Kanton FR. (2000). Energiegesetz (EnGe) vom 09.06.2000 (Fassung in Kraft getreten am 01.08.2013). Der Grosse Rat des Kantons Freiburg.
- Kathriner. (o. J.). *Bahnhof Zug bei Nacht*. <https://www.fotocommunity.de/photo/bahnhof-zug-bei-nacht-bruno-kathriner/10629911>. Abruf: 18.11.2021.
- Knop et al. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. In *Nature volume 548* (S. 206–209).
- Kolligs. (2000). Ecological effects of artificial light sources on nocturnally active insects, in particular on butterflies (Lepidoptera). In *Faunistisch-Oekologische Mitteilungen Supplement 28* (S. 1-136).

- Kosicki. (2019). Anthropogenic activity expressed as 'artificial light at night' improves predictive density distribution in bird populations. In *Ecological Complexity, Volume 41, January 2020, 100809*.
- Kuechly et al. (2018). Ausmaß der Lichtverschmutzung und Optionen zur Minderung der negativen Auswirkungen. LUP – Luftbild Umwelt Planung GmbH, Potsdam.
- Lacoeuilhe et al. (2014). The Influence of Low Intensities of Light Pollution on Bat Communities in a Semi-Natural Context. In *PLoS ONE. Vol. 9, N°10*.
- LAI. (2013). Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen. Beschluss der LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) vom 13.09.2012. München.
- Landesumweltreferenten österreichische Bundesländer. (2017). Österreichischer Leitfaden Aussenbeleuchtung, VSt-41/21 vom 6. Oktober 2017.
- Lee et al. (2018). Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue-enriched white LED lighting at night. In *Physiol. Rep. 6 (24), e13942*.
- Legagneux et al. (2012). Manipulating individual state during migration provides evidence for carry-over effects modulated by environmental conditions. In *Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 279 (S. 876–883)*.
- Leuenberger. (2021). Telefonisches Interview mit Christian Leuenberger (I-SQU-UNH) vom 15. Juni 2021.
- Liachtblick. (o. J.). *Nachts in St. Gallen*. <https://liachtblick.ch/sg-by-night/>. Abruf: 19.11.2021.
- Lichtzone. (o. J.). *Bahnhof Zug, James Turrell*. <http://lichtzone.ch/lichtkunst/bahnhof/zug.htm>. Abruf: 18.11.2021.
- Lim und Dinges. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. In *Annals of the New York Academy of Sciences 1129 (S. 305–322)*.
- Lloyd. (2005). Stray Light, Fireflies and Fireflies. In *Ecological Consequences of artificial Night Lighting (S. 345-364)*. London: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.). Island Press.
- Lockley et al. (2003). High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. In *J. Clin. Endocrinol. Metab. 88 (9) (S. 4502–4505)*.
- Longcore and Rich. (2004). Ecological light pollution. In *Front Ecol Environ 2(4) (S. 191-198)*.
- Lorne und Salmon. (2007). Effects of exposure to artificial lighting on orientation of hatchling sea turtles on the beach and in the ocean. Endanger. In *Spec. Res. 3 (S. 23–30)*.
- Louiset. (2009). *Perturbation du rythme social circadian du cortisol. Dossier Thématique*. Edimark Santé.

- Lucet. (2017). *1154 Bahnhof Hardbrücke Zürich*. <http://www.lucet.ch/de/project/1154a/>. Abruf: 19.11.2021.
- Lumos. (o. J.). *Olten Kubus*. <http://www.lumos-lichtplanung.ch/index.html>. Abruf: 21.22.2021.
- Manville. (2000). The ABCs of avoiding bird collisions at communication towers: the next steps. In *Proceedings of the Avian Interactions Workshop, December 2, 1999*. Charleston, SC: Electric Power Research Institute.
- Max und Menacker. (1992). Regulation of melatonin production by light, darkness, and temperature in the trout pineal. In *J. Comp. Physiol. A*, 170.
- McHill et al. (2017). Later circadian timing of food intake is associated with increased body fat. In *The American Journal of Clinical Nutrition* 106(5) (S. 1213–1219).
- McLaren et al. (2018). Artificial light at night confounds broad-531 scale habitat use by migrating birds. In *Ecol. Lett.* 21 (S. 356–364).
- MEB/ANPCEN. (2015). Eclairage du 21ème siècle et biodiversité. Pour une meilleure prise en compte des externalités de l'éclairage extérieur sur notre environnement. In L. C. COMPRENDRE., *Mission Economie de la Biodiversité/Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes*. http://www.mission-economie-biodiversite.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2015/12/n6_comprendre_fr_bd2.pdf. Abruf: 22.22.2021.
- Megdal et al. (2005). Night work and breast cancer risk: a systematic review and meta-analysis. In *European Journal of Cancer*. Vol. 41.
- Mitler. (1988). Catastrophes, sleep, and public policy: consensus report. In *Sleep* 11 (S. 100–109).
- Moore et al. (2005). Artificial Light at Night in Freshwater Habitats and Its Potential Ecological Effects. In *Ecological Consequences of artificial Night Lighting* (S. 365–384). London: Island Press, Rich, C. & Longcore, T.
- Müller et al. (2009). Bat Eyes Have Ultraviolet-Sensitive Cone Photoreceptors. In *PLoS ONE* 4(7): e6390.
- Muri. (2021). *Interview mit Markus Muri (PP-BP-ZFR-FFP-PMSD) vom 13. Juli 2021*.
- Nagare et al. (2019). Effect of exposure duration and light spectra on nighttime melatonin suppression in adolescents and adults. In *J. Biol. Rhythm* 34 (2) (S. 178–194).
- Najjar et al. (2014). Aging of non-visual spectral sensitivity to light humans: compensatory mechanisms? In *Plos Ones*. Vol. 9 (1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085837>. Abruf: 19.11.2021.

- Nightingale et al. (2006). Artificial night lighting and fishes. In *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press: Washington D.C. (Rich C. and Longcore T., eds.).
- Nordiskt Möte för Förbättrad vägutrustning. (2021). Technical Specification. NMF01:2021 LED luminaires – requirements. Edition 3.0. 6.5.2021.
- Nowozin et al. (2017). Applying Melanopic Lux to Measure Biological Light Effects on Melatonin Suppression and Subjective Sleepiness. In *Curr. Alzheimer Res.* 14 (S. 1042–1052).
- ÖBB. (2019). Beleuchtungsvorgaben. Regelwerk 12.08.02. Energietechnik, Bahnstrom, Fernwirk- und Leittechnik Beleuchtung von Bahnanlagen. Stand: 22.09.2019. Wien.
- Paschotta. (2021a). *Leuchtstofflampe*. <https://www.energie-lexikon.info/leuchtstofflampe.html>. Abruf: 19.11.2021.
- Paschotta. (2021b). *Leuchtdiode*. <https://www.energie-lexikon.info/leuchtdiode.html?s=ak>. Abruf: 19.11.2021.
- Paschotta. (2021c). *Halogen-Metall dampflampe*. https://www.energie-lexikon.info/halogen_metall dampflampe.html?s=ak. Abruf: 19.11.2021.
- Paschotta. (2021d). *Energiesparlampe*. <https://www.energie-lexikon.info/energiesparlampe.html?s=ak>. Abruf: 19.11.2021.
- Pawson and Bader. (2014). LED lighting increases the ecological impact of light pollution irrespective of color temperature. In *Ecological Society of America. Vol. 24, Issue 7* (S. 1561-1568).
- PGV Office SBB. (2020). PGV Handbuch. Leitfaden bzw. Nachschlagewerk zum Plangenehmigungsverfahren (PGV). Version: 5.5. Ausgabe: August 2020. Zürich: PGV-Office bei I-AEP-PJM-PNM-ROT-PO, K-RC-I, SU-PGV.
- Pro Light. (2021). Unternehmen. Pfalzen (Italien): <http://www.prolight.it/unternehmen/>. Abruf: 21.11.2021.
- pro natura. (2019). *Licht aus für die Nachttiere*. <https://www.pronatura.ch/de/2019/licht-aus-fuer-die-nachttiere>. Abruf: 19.11.2021.
- Pulgar et al. (2019). Artificial light pollution at night (ALAN) disrupts the distribution and circadian rhythm of a sandy beach isopod. In *Environ. Pollut.* 19 (S. 565–573).
- Rand et al. (1997). Light levels influence female choice in Túngara frogs: predation risk assessment? In *Copeia* 1997 (S. 447-450).
- Regent Lighting. (2021). Über uns. Basel: <https://www.regent.ch/unternehmen/ueber-uns/>. Abruf: 21.11.2021.

- Reichenbach und Kretzer. (2021b). *Lichtemissionen - Fragen ans BAFU*. Bern: Interviews vom 24. und 26. August mit Alexander Reichenbach und Dr. David Kretzer.
- Reiter et al. (2007). Light at night, chronodisruption, melatonin suppression, and cancer risk: a review. In *Critical Reviews in Oncogenesis*. Vol. 13.
- Reymond. (2021). Licht. E-Mail von Reymond Alexandre (PP-SQU-MAK-ERA) vom 13. Juli 2021.
- RFI. (2017). Linee Guida: Illuminazione nelle stazioni e fermate. Direzione Produzione, Direzione Asset Management e Controllo di Gestione, Servizi per le Stazioni, Progettazione Stazioni.
- Roenneberg et al. (2013). Light and the human circadian clock. In *Handbook of Experimental Pharmacology 217* (S. 311–331).
- Rohrer. (2021). *Lichtemissionen - Fragen ans BAV*. Ittigen: Interview vom 4. August 2021.
- Rushing et al. (2016). Quantifying drivers of population dynamics for a migratory bird throughout the annual cycle. In *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 283, 20152846.
- Rydell. (2005). Bats and their Insect Prey at Streetlights. In *Ecological Consequences of artificial Night Lighting* (S. 43-60). London: Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.). Island Press, London.
- Saari. (2021). E-Mail von Mika Saari vom 17.08.2021. www.licon-at.fi.
- Santhi et al. (2012). The spectral composition of evening light and individual differences in the suppression of melatonin and delay of sleep in humans. In *Journal of pineal research* 53 (S. 47–59).
- SBB. (2012). Erstellung des Umweltberichtes – Fragen an den Projektleiter. Bericht gültig ab 16.08.2012.
- SBB. (2018/2019). Datenblätter Pro Light und Regent.
- SBB. (2020a). Projektierungsanweisungen Perron gedeckt / Regent Sydney LED, Beleuchtung Bahnzugang Perron ungedeckt / Prolight Serie 105, Wartehaus und Wartebereiche: Regent Murten LED, Rampen und Treppen / Regent Handlaufleuchte 2017.
- SBB. (2020b). Projektierungsanweisung. Beleuchtung Bahnzugang Perron ungedeckt / Prolight Serie 105. 01.05.2020, Version 2-1. Bern.
- SBB. (2021a). Anforderungsmanagement Infra. Studien- und Projektbeauftragung (Standardpräsentation). Stand 12.9.2021. Bern.
- SBB. (2021b). *Q-Check_UNH_QG3.pdf: DMS ID 1161 15143*.

SBB. (o. J. a). *Musterbahnhof*.

SBB. (o. J. b). Haltestelle: Perronlänge (-körper).

https://data.sbb.ch/explore/dataset/perron/export/?flg=de&sort=p_lange&dataChart=eyJxdWVyaWVzljpbeyJjb25maWciOnsiZGF0YXNldCl6InBlcnJvbilslm9wdGlvbnMiOnsiZmxnljoiZGUifX0slmNoYXJ0cy16W3siYWxpZ25Nb250aCl6dHJ1ZSwidHlwZSI6ImNvbHVtbilslmZ1bmMiOiJBVkcilCj5QXhpcy: Abruf: 19.11.2021.

SBB. (o. J. c). *Bahnhöfe*. <https://reporting.sbb.ch/bahnhoefe>. Abruf: 19.11.2021.

SBB. (o. J. d). *Prozesse Infrastruktur*. <https://sbb.sharepoint.com/sites/intranet-topics/de/Seiten/prozesse-infrastruktur.aspx>. Abruf: 21.11.2021.

Schatz und Schuler. (2016). Forscher warnen: effiziente LED verdoppeln demnächst die Lichtverschmutzung – auch in der Schweiz? http://www.darksky.ch/dss/wp-content/uploads/2016/10/2016_10_04_PM_effizienteLEDverdoppelnLichtverschmutzung_D.pdf. Abruf: 06.09.2021.

Scheer et al. (2009). Adverse metabolic and cardiovascular consequences of circadian misalignment. In *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106 (S. 4453–4458).

Scheer et al. (2010). Impact of the human circadian system, exercise, and their interaction on cardiovascular function. In *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107 (S. 20541–20546).

Schernhammer und Schulmeister. (2004). Melatonin and cancer risk: does light at night compromise physiologic cancer protection by lowering serum melatonin levels? In *Brit. J. Cancer* 90 (5) (S. 941–943).

Schönberger. (o.J.). *A New Challenge for Spatial Planning: Light Pollution in Switzerland*.

http://www.darksky.ch/dss/wp-content/uploads/2021/02/2021.02.05_Lichtverschmutzung_Liliana-Schoenberger.pdf. Abruf: 18.11.2021.

Schroer und Hölker. (2014). Light Pollution Reduction. In *Handbook of Advanced Lighting Technology* (S. 1–17). Cham: Karlicek, R.; Sun, C.-C.; Zisis, G.; Ma, R. (Hg.).

Schuler. (2017). Das Spektrum des Vollmondes und seine Lichtfarbe. In welchem Licht strahlt der Mond? http://www.darksky.ch/dss/wp-content/uploads/2017/08/ORION_401_14-18.pdf. Abruf: 15.11.2021.

- Schuler. (2020). Lichtemissionen. In *Image and data processing by NOAA's National Geophysical Data Center. Swiss grid and boundary: Federal Office of Topography swisstopo*. Map data processing: Lukas D. Schuler for Dark-Sky Switzerland.
- Schuler. (2021). *Daten zu Lichtemissionen 2020*.
- Schwarzer. (2020). Entscheidungshilfe für PGV @ BZT, Stand 22.06.2020. Unterlage von Andreas Schwarzer (I-AEP-ENG-BZT-RME-TA2).
- Schwarzer. (2021). Bahnhof Aarau, Ersatz Kundeninformation ELA, ISP-Nr: 1155530. Olten: Unterlage von Andreas Schwarzer (I-AEP-ENG-BZT-RME-TA2).
- Schweizer Licht Gesellschaft. (2021). Richtlinien – Öffentliche Beleuchtung, Strassenbeleuchtung – Ergänzungen zu SNR 13201-1 und SN EN 13201-2, SLG 202:2021 d. Olten.
- Schweizer Norm. (2009). SIA 500:2009 Bauwesen. Hindernisfreie Bauten. In S. 5. 500. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- Schweizer Norm. (2013). Vermeidung unnötiger Lichtemissionen im Aussenraum. SIA 491:2013 Bauwesen. SN 586 491. Zürich.
- Schweizer Norm. (2014). *Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien*. Winterthur.
- Schweizerische Eidgenossenschaft. (2021). *Map Geo Admin*. Von <https://map.geo.admin.ch/> abgerufen
- seco. (2016). Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz, Artikel 15 ArGV 3 (Anhang), Beleuchtung, Ergänzung zum Kapitel über die Gütemerkmale der Beleuchtung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung. (2015). *Stadtbild Berlin – Lichtkonzept – Handbuch*. Berlin.
- Shirai. (1993). Factors influencing flight ability of male-adults of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, with special reference to temperature conditions during the larval stage. In *Appl. Entomol. Zool.* 28.
- Shirai. (1995). Longevity, flight ability and reproductive performance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae), related to adult body size. In *Res. Popul. Ecol.* 37.
- Siblet. (2008). Impact de la pollution lumineuse sur la biodiversité. Synthèse bibliographique. In *Rapport MNHN-SPN/MEEDDAT n°8*.
- SKP. (2014). *Riegel vor! 7 Tipps, wie Sie Ihr Heim gegen Einbrecher schützen sollten*. Bern.

- SNV. (2013). Normung und Recht – der rechtliche Status von Normen. Winterthur: Schweizerische Normenvereinigung.
- Souman et al. (2018). Acute alerting effects of light: A systematic literature review. In *Behavioural brain research* 337 (S. 228–239).
- Stadt Bern. (2019). Richtlinien für die öffentliche Beleuchtung im Aussenraum; Beleuchtungsrichtlinie.
https://www.bern.ch/mediencenter/medienmitteilungen/aktuell_ptk/neue-richtlinien-fuer-die-oeffentliche-beleuchtung/dokumente/richtlinien-fur-die-offentliche-beleuchtung-im.pdf/download.
Abruf: 15.11.2021.
- Stadt Bern. (2021). *Verordnung über das kommerzielle Licht in der Stadt Bern (VKL)*.
https://www.bern.ch/mediencenter/medienmitteilungen/aktuell_ptk/gemeinderat-beschliesst-verordnung-zum-kommerziellen-licht/dokumente/entwurf-der-verordnung-uber-das-kommerzielle-licht.pdf/download. Abruf: 15.11.2021.
- Stadt Zürich. (2008). Ökologische Auswirkungen künstlicher Beleuchtung. Grundlagenbericht. swild – stadtoekologie, wildtierforschung, kommunikation.
- Staub. (2021). Interview mit Simone Staub (I-AEP-ENG-BZT-RME-BAT1) vom 7. Juli 2021. Bern.
- Steinbach et al. (2015). The effect of reduced street lighting on road casualties and crime in England and Wales: controlled interrupted time series analysis. In *Journal of Epidemiology & Community Health, Volume 69, Issue 11*.
- Steinmann. (o. J.). Das bedeutet der Farbwiedergabeindex (Ra / CRI-Wert) bei LED Lampen.
<https://ledtipps.net/farbwiedergabeindex/>. Abruf: 15.11.2021.
- Stevens. (2009). Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. In *International Journal of Epidemiology. Vol. 38*.
- Stocker. (2021). Graphische Aufbereitung durch Simon Stocker (I-SQU-UNH).
- Stone et al. (2009). Street Lighting Disturbs Commuting Bats. In *Current biology: CB 19(13)* (S. 1123-1127).
- Stone et al. (2012). Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. In *Global Change Biology, Volume18, Issue8, August 2012* (S. 2458-2465).
- Strahlenschutzkommission. (2006). *Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren*. Bonn.

- Summers. (1997). Phototactic behavior of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) crawlers. In *Annals of the Entomological Society of America* 90(3) (S. 372-379).
- Sydney et al. (2005). Effects of Artificial Night Lighting on Migrating Birds. In *Ecological Consequences of artificial Night Lighting* (S. 67-93). Rich, C. & Longcore, T. (Hrsg.): Island Press, London.
- Tallec, T. L. (2014). La pollution lumineuse, Dossier, Bearbeitungsstand: 30.06.2014.
<https://webdeveloppementdurable.com/dossier-la-pollution-lumineuse/>. Abruf: 9.8.2021.
- Tamaru et al. (1996). Components of male fitness in relation to body size. In *Epirrita autumnata (Lepidoptera, Geometridae). Ecological Entomology. Vol. 21.*
- Thews, Mutschler, Vaupel. (1991). Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft; Stuttgart: 689 S.
- Universität Wien. (o. J.). Farbe & Wellenlänge.
https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/wellenoptik/3_farbe.htm. Abruf: 15.11.2021.
- UVEK. (2018). *Strategische Ziele des Bundesrates für die SBB AG 2019–2022.*
<https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/uvek/bundesnahe-betriebe/sbb/strategische-ziele.html>.
Abruf: 18.08.2021.
- Van de Werken et al. (2013). Short-wavelength attenuated polychromatic white light during work at night: limited melatonin suppression without substantial decline of alertness. In *Chronobiology International* 30 (S. 843–854).
- Van der Kooi et al. (2021). Evolution of Insect Color Vision: From Spectral Sensitivity to Visual Ecology. In *Annual Review of Entomology, Vol. 66* (S. 435-461).
- Van Doren et al. (2017). High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration. In *Proc. Natl Acad. Sci., 114* (S. 11175–11180).
- Van Geffen et al. (2014). Artificial light at night causes diapause inhibition and sex-specific life history changes in moth. In *Ecology and Evolution. John Wiley & Sons Ltd.*
- Vögeli. (2021). *Umweltbericht LED Sisikon*. E-Mail von Peter Vögeli (I-AEP-ENG-UMW-RME) vom 9. Juli 2021.
- Vogelsang. (2021). Partner Ingenieure AG: E-Mail Kontakt vom 21. September 2021.
- Vogelwarte Sempach. (2012). *Vogelfreundliches Bauen mit Glas und Licht*. Sempach: Schweizerische Vogelwarte.

vogtpartner. (2007). *Bahnhof Hardbrücke, Zürich, Schweiz*. https://vogtpartner.eu/vp_projekte/bahnhof-hardbruecke/. Abruf: 19.11.2021.

vogtpartner. (2015). *Bahnhof Bellinzona*. https://vogtpartner.eu/vp_projekte/bahnhof-bellinzona/. Abruf: 18.11.2021.

vogtpartner. (2017). *Ausbau Bahnhof Oerlikon, Zürich Oerlikon, Schweiz*.
https://vogtpartner.eu/vp_projekte/bahnhofausbau-gleis-78/.

VöV. (2018). *R RTE 29900 Netzzustandsbericht Minimalanforderungen*. Bern.

VöV. (2021). *R RTE 26201 «Beleuchtung Bahninfrastruktur», 1. Ausgabe*. Verband öffentlicher Verkehr (VöV), Technik Bahn.

West et al. (2011). Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. In *J. Appl. Physiol.* 110 (3) (S. 619–626).

WHO. (2010). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. In *VOLUME 98 Painting, Firefighting, and Shiftwork*.

Widmer. (2021). Schriftlicher Austausch mit Michael Widmer (IM-BW-PBK-PM) vom 21.09.2021.

Wiener Umwelt Anwaltschaft. (o. J.). *Naturschutz und Stadtökologie*. <https://wua-wien.at/naturschutz-und-stadtoekologie/165-weiterfrende-informationen-zum-thema17/1817-oesterreichische-gesetze-und-richtlinien>. Abruf: 15.11.2021.

Wikipedia. (2021a). *Steradian*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Steradian>. Abruf: 2. Juli 2021.

Wikipedia. (2021b). *Zeitgeber*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeitgeber>. Abruf: 10.09.2021.

Wikipedia. (2021c). *Relux*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Relux>. Abruf: 24.10.2021.

Wikipedia. (2021d). *QGIS*. <https://en.wikipedia.org/wiki/QGIS>. Abfrage: 01.10.2021.

Wikipedia. (2021e). *ArcGIS*. <https://de.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>, Abruf: 01.10.2021.

Wikizero. (2021). *Leuchtdichte*. <https://www.wikizero.com/de/Leuchtdichte>. Abruf: 04.09.2021.

Winklehner. (2021). *Betriebspunkt_SBB_Haltestelle.kml*. In *Daten zu Betriebspunkte*. Bern: Winklehner Dorothea (I-NAT-FW-DMR).

Wirz-Justice, A. (2006). Biological rhythm disturbances in mood disorders. In *International clinical psychopharmacology* 21 (1) (S. 11–15).

Wright et al. (2013). Entrainment of the human circadian clock to the natural light-dark cycle. In *Current biology* 23 (S. 1554–1558).

Wüthrich. (2001). Stress für Mensch und Tier. Macht das Licht aus! In *natur&kosmos*, 2001(2).

Zeitler. (2000). Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. In *The Journal of physiology* 526 (3) (S. 695–702).

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. (o. J. a). *Was ist Licht?*

<https://www.licht.de/de/grundlagen/ueber-licht/was-ist-licht/>. Abruf: 21.11.2021.

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. (o. J. b). *Lichtfarben – von warm bis kühl.*

<https://www.licht.de/de/grundlagen/beleuchtungsqualitaet/lichtfarbe/>. Abruf: 15.11.2021.

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. (o. J. c). *Farbwiedergabe.*

<https://www.licht.de/de/grundlagen/beleuchtungsqualitaet/farbwiedergabe/>. Abruf: 19.11.2021.

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. (o. J. d). HCL-Planung: Werte für Lichtwirkungen.

<https://www.licht.de/de/lichtplanung/planung-hcl-anlage/werte-fuer-lichtwirkungen/>. Abruf: 21.11.2019.

Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. (o. J. e). licht.forum 58. Nachhaltigkeit und Ökologie in der Außenbeleuchtung.

https://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/Sonstige/2010_LF58_Nachhaltigkeit_Ausse_nbeleuchtung.pdf. Abruf: 19.11.2021.