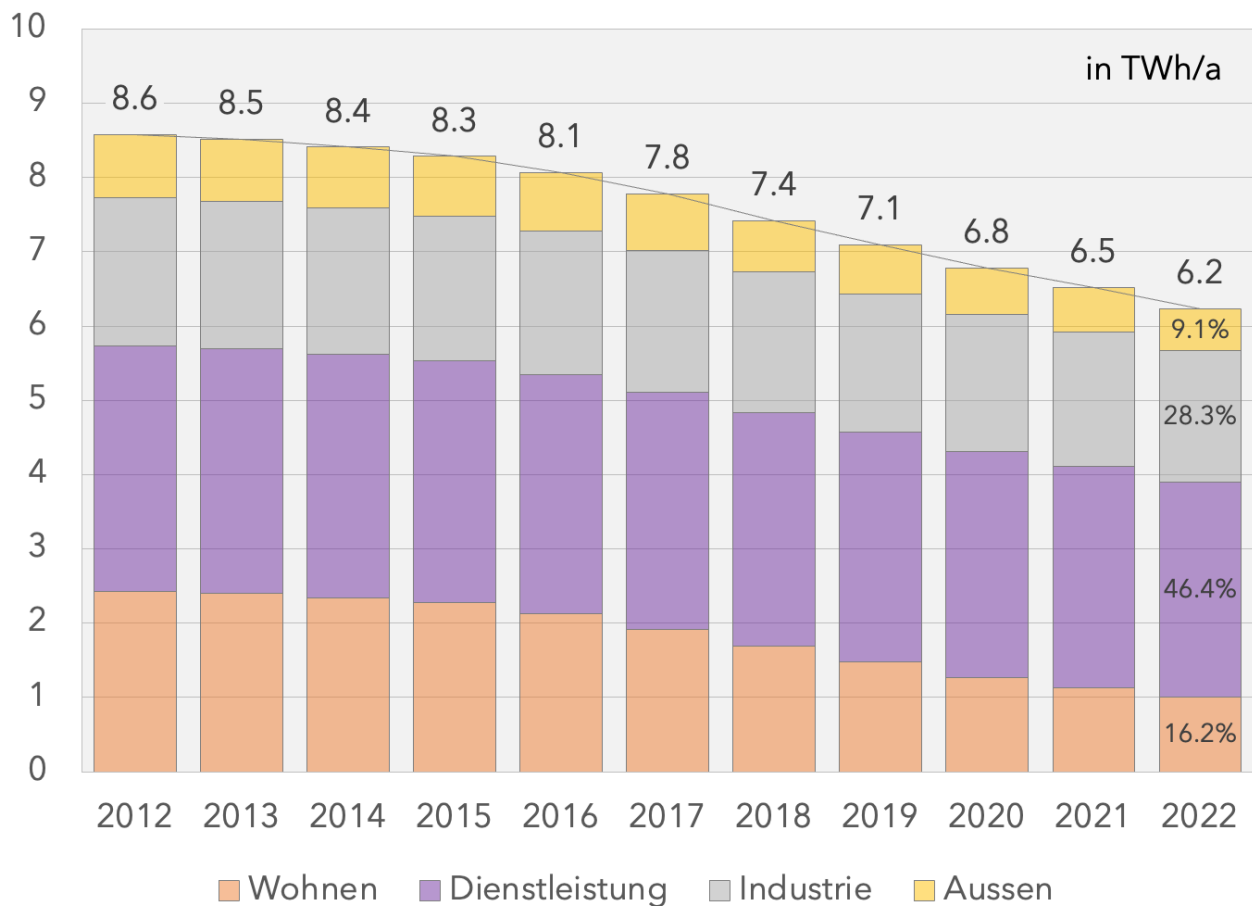


Energiemonitoring Beleuchtung, 16.1.24

Stromverbrauch für Beleuchtung in der Schweiz 2012 bis 2022



Autor

Stefan Gasser, Schweizer Licht Gesellschaft SLG, Römerstrasse 7, 4600 Olten

Experten

- Stefan Bormann, BFE
- Philippe Kleiber, SLG
- Martin Jakob und Giacomo Catenazzi, TEP Energy GmbH
- Andreas Kemmler, Prognos AG

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.

Inhalt

1 Ausgangslage	4
2 Konzept	5
3 Energiestudien der SLG	6
3.1 Lichtmarktstudien	6
3.2 Energiebilanz aus den Lichtmarkt-Studien	8
4 Monitoring und ex-post Analysen	10
5 Neues Energiebilanz-Modell für Beleuchtung	12
6 Beleuchtung im Innenraum	13
6.1 SIA-Merkblatt 2024	13
6.2 Gebäudeparkmodell und Flächen-Mix	14
6.3 SIA-Norm 387/4	17
6.4 Berechnung der installierten Leistung	17
6.5 Berechnung der Volllaststunden	20
6.6 Energieverbrauch für Innenraumbeleuchtung	23
7 Aussenbeleuchtung	27
7.1 Strassenbeleuchtung	27
7.2 Sportplatzbeleuchtung	29
7.3 Diverse Aussenbeleuchtung	30
7.4 Energieverbrauch für Aussenbeleuchtung	31
8 Energiebilanz Beleuchtung	32
8.1 Elektrizitätsverbrauch 2022	32
8.2 Energieverbrauchsentwicklung 2012 bis 2022	33
8.3 Abschätzung des Sparpotentials	34

1 Ausgangslage

Basierend auf der «Lichtvereinbarung von Davos» im September 2018 hat die SLG zusammen mit zahlreichen Partnern das Umsetzungsprogramm «energylight» lanciert. Im Rahmen von «energylight» sollen Projekte realisiert werden, die einen Beitrag zur Ausschöpfung des grossen Energiesparpotentials bei der Beleuchtung (3.5 TWh/a) leisten.

Die Steigerung der Energieeffizienz ist einer der wichtigen Pfeiler der Energiestrategie 2050 des Bundes. Die Beleuchtungsbranche kann im Strombereich einen wesentlichen Beitrag leisten. Verschiedene Studien quantifizieren den Verbrauchsanteil der Beleuchtung in der Schweiz mit 10 bis 15% des Gesamtstromverbrauchs und das Einsparpotential ist bei der Beleuchtung ungleich höher als bei anderen Verbrauchern. Allein durch den Ersatz von herkömmlichen Leuchtmitteln durch LED und die korrekte Inbetriebnahme der Anlage sind Einsparungen von über 50% möglich. Würden in allen Neuanlagen konsequent die heute verfügbaren Steuerungskomponenten installiert und richtig eingestellt, könnte die Verbrauchsreduktion gegenüber alten Installationen mehr als 80% betragen.

Eine solide Datenbasis ist Voraussetzung für die Definition von wirksamen Massnahmen, mit denen sich das Ziel, die Halbierung des beleuchtungsrelevanten Stromverbrauchs, erreichen lässt. Eine flächendeckende messtechnische Erfassung des Stromverbrauchs für Beleuchtung ist nicht möglich. Der Verbrauch kann jedoch durch diverse Berechnungsmodelle, statistische Auswertungen und Expertenwissen annähernd ermittelt werden.

Die Analyse der Stromverbrauchsentwicklung erfolgte bis 2020 durch:

- Energiestudien basierend auf den Lichtmarktstudien der SLG
- Jährliche ex-post-Analysen des Energieverbrauchs von Infrac, Prognos und TEP Energy

Die SLG und die Autoren der jährlichen ex-post-Analysen des Energieverbrauchs haben bei ihren bisherigen Studien unabhängig voneinander und mit unterschiedlichen Berechnungsmethoden gearbeitet. Eine Vergleichbarkeit zwischen diesen Ansätzen ist nur bedingt möglich. Unterschiedliche Definitionen von Nutzungsbereichen (Wohnbau, Zweckbau, öffentliche Beleuchtung etc.), aber auch die nicht einheitliche Verwendung von Datenmaterial, sind der Grund für relativ grosse Abweichungen bei der bisherigen rechnerischen Ermittlung des Verbrauchs, des Einsparpotentials sowie der Wirkung der bisher umgesetzten Massnahmen.

Seit einigen Jahren ist der Beleuchtungsmarkt in rasantem technologischem und strukturellem Umbruch. Sowohl die ex-post Analysen von TEP und Prognos i.A. des BFE, welche den Beleuchtungsbereich nur relativ grob abbilden als auch das reine Monitoring via Lichtmarktstudie der SLG stossen damit an ihre Grenzen. Gründe dafür sind:

- Rückgang des Anteils standardisierter Leuchtmittel
- Verkaufszunahme von Leuchten mit integrierten, nicht standardisierten LED-Modulen
- zunehmender Einfluss der Sensorik und Steuerung auf den Stromverbrauch
- die Ersatzrate des Beleuchtungsbestandes kann nicht mehr direkt mit der Lebensdauer von Leuchtmitteln verknüpft werden.

Der vorliegende Bericht beschreibt ein neues Modell, welches die verschiedenen Grundlagen kombiniert und daraus eine Energiebilanz für Beleuchtung für die Jahre 2020 und 2022 ableitet. Anlog sollen in den nächsten zwei Jahren weitere Energiebilanzen erstellt werden.

2 Konzept

Die Grundlage des neuen Energiebilanzmodells für Beleuchtung bilden die Lichtmarkt- und Energiestudien der Schweizer Licht Gesellschaft (SLG) aus den Jahren 2014 bis 2022. Diese liefern ein recht genaues Bild über die gesamte Energieverbrauchsentwicklung der Beleuchtung, ermöglichen aber wenig Aussagen zum Verbrauch in den einzelnen Nutzungen wie Wohnen Büro, Schule, Verkauf, Industrie, etc.

Die ex-post-Analysen von Prognos/Tep Energy/Infras modellieren den gesamten Energieverbrauch der Schweiz und differenzieren nach Branchen und Nutzungen. Im Bereich der Beleuchtung ist die Methode relativ rudimentär.

Zusammen mit weiteren Quellen, wie dem Rechenmodell der SIA-Norm 387/4 (Elektrische Energie im Gebäude für Beleuchtung), dem SIA-Merkblatt 2024 (Standardnutzungen), Produktdatenbanken der Leuchtenhersteller und Energienachweisen von Minergie und den Bundesförderprogrammen von Prokilowatt lässt sich eine differenzierte Energiebilanz für Beleuchtung erstellen.

Als Referenzbilanz wird das Jahr 2020 genommen, für welches die Energiestudien der SLG und die ex-post-Analysen weitgehend aufeinander abgestimmt werden. Das neu entwickelte Energiebilanzmodell für Beleuchtung soll in die Weiterführung der ex-post-Analysen einfließen.

Für 2021 bis 2024 werden die Energiebilanzen jeweils aktualisiert.

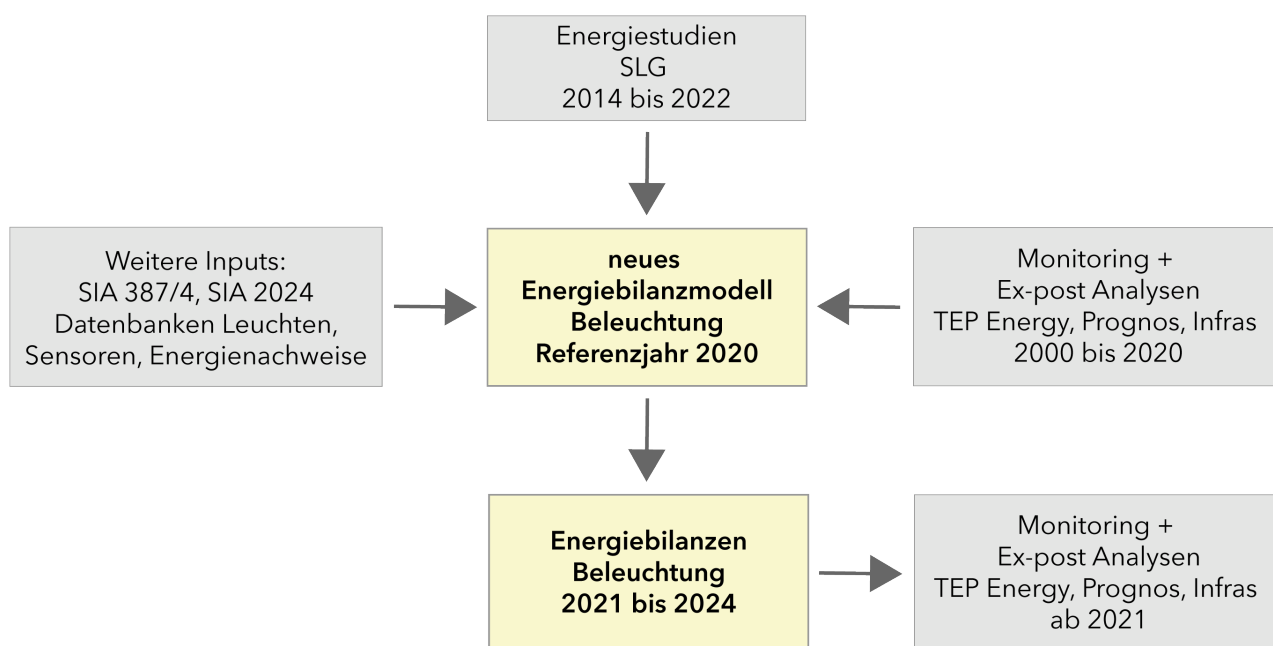


Abbildung 1: Workflow für das neue Energie-Bilanz-Modell für Beleuchtung

3 Energiestudien der SLG

3.1 Lichtmarktstudien

Die Schweizer Licht Gesellschaft (SLG) führt seit 2014 Erhebungen zu Verkaufszahlen der Beleuchtungsbranche durch und wertet diese im Auftrage des Bundesamtes für Energie aus. Die Analyse zeigt die Marktentwicklung der verkauften Lichtquellen und insbesondere den Übergang von herkömmlicher Technologie (Temperaturstrahler und Entladungslampen) zu LED.

In Abbildung 2 sind die jährlich verkauften Lichtquellen nach Typen ab dem Jahre 2012 dargestellt. Deutlich erkennbar ist der starke Rückgang der Temperaturstrahler (Halogenglühlampen), der moderate Rückgang an Leuchtstofflampen sowie der Anstieg der verschiedenen LED-Lichtquellen. Aufgrund der deutlich längeren Lebensdauer der LED-Lichtquellen nimmt das Total der verkauften Lichtquellen (Lampen und LED-Leuchten) insgesamt ab, nämlich von rund 38 Mio. Lichtquellen im Jahre 2014 auf ca. 21.5 Mio. Lichtquellen im Jahre 2022. Im Berichtsjahr 2022 waren 76% der verkauften Lichtquellen auf LED-Basis.

Abbildung 2 berücksichtigt, dass zwischen dem Verkauf einer Lichtquelle und der effektiven Inbetriebnahme eine gewisse Zeit vergehen kann (z.B. durch Lagerhaltung); dies führt zu kleinen Abweichungen gegenüber den bisher veröffentlichten Lichtmarktstudien. Über den gesamten Zeitraum sind die Stückzahlen identisch.

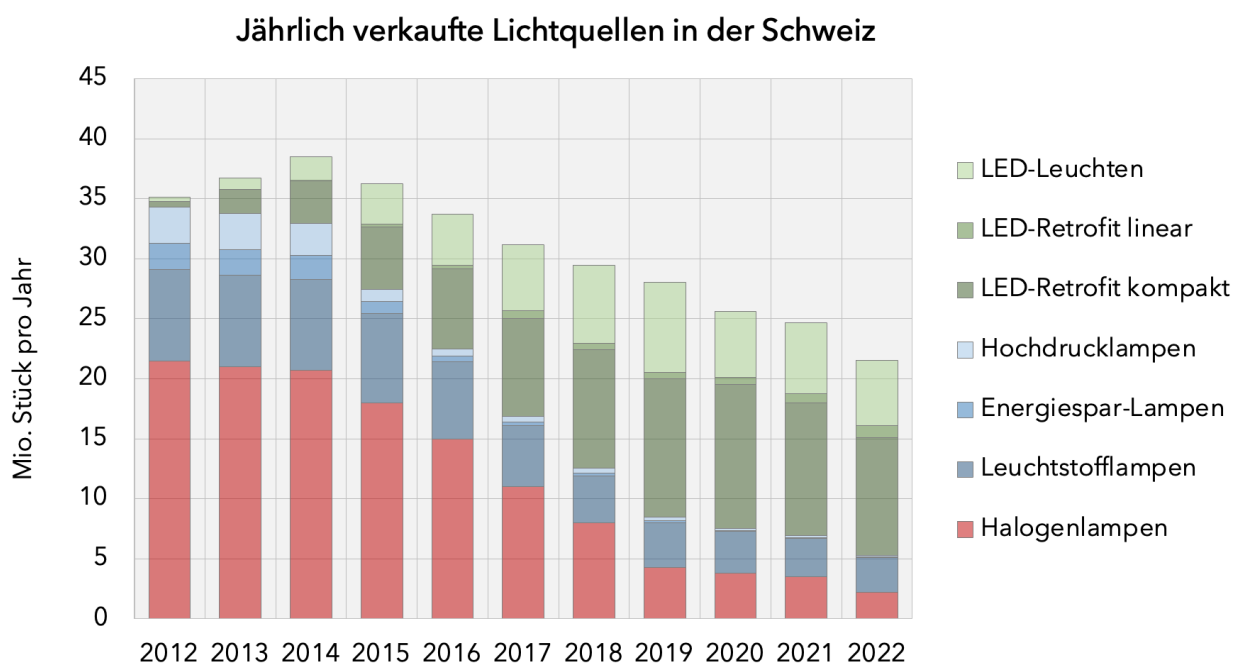


Abbildung 2: jährlich verkaufte Lichtquellen in der Schweiz ab 2012

- LED-Leuchten: Leuchten mit fest verbauten LED-Modulen
- LED Retrofit linear: «LED-Tubes» - Ersatzlampen für Leuchtstoffröhren
- LED Retrofit kompakt: Halogen-Ersatzlampen mit Gewinden E14, E27, GU10, etc.
- Hochdrucklampen: Halogenmetaldampf-, Natriumdampf-, Quecksilberdampf-Lampen
- Energiesparlampen: kompakte Leuchtstofflampen mit integriertem Betriebsgerät
- Leuchtstofflampen: stabförmig (für Langfeldleuchten) und kompakt (z.B. Downlights)
- Halogenlampen: optimierte Glühlampen mit Gewinden E14, E27, GU10, etc.

Über die Lebensdauer der Lichtquellen lässt sich der Erneuerungszyklus ableiten und so der Bestand an installierten Lichtquellen ermitteln. Die Lebensdauer ist vom Typ der Lichtquelle abhängig. Bei den herkömmlichen Lampen (also nicht LED) ist diese aufgrund der Standardisierung recht genau bekannt.

Lampentyp	Lebensdauer	Bemerkungen
Halogenlampen	2'000 Std.	(je nach Qualitätsstandard)
Leuchtstofflampen	6'000 bis 20'000 Std.	(je nach Qualitätsstandard)
Hochdrucklampen	12'000 bis 20'000 Std.	(je nach Technologie)
LED-Lichtquellen	5'000 bis 100'000 Std.	(keine Standardisierung)

Tabelle 1: Lampentypen und typische Lebensdauern

Der Bestand an Lichtquellen ist seit dem Jahre 2012 von rund 134 Mio. auf 152 Mio. Stück gestiegen. Das Wachstum beträgt also rund 1.2 % pro Jahr. In Abbildung 3 kann man den Rückgang der bisherigen Technologien und das Wachstum der LED-Lichtquellen gut erkennen – analog den Verkaufszahlen. Wegen der längeren Lebensdauer der LED-Lichtquellen sind nur wenige der bisher installierten LEDs ausgefallen. Der Anteil an LED-Installationen im Berichtsjahr beträgt 79%. (LED-Leuchten und LED-Retrofit, kompakt und linear).

In den Jahren 2020 und 2021 ist eine leichte Stagnation des Trends festzustellen. Die Coronapandemie könnte eine Rolle spielen.

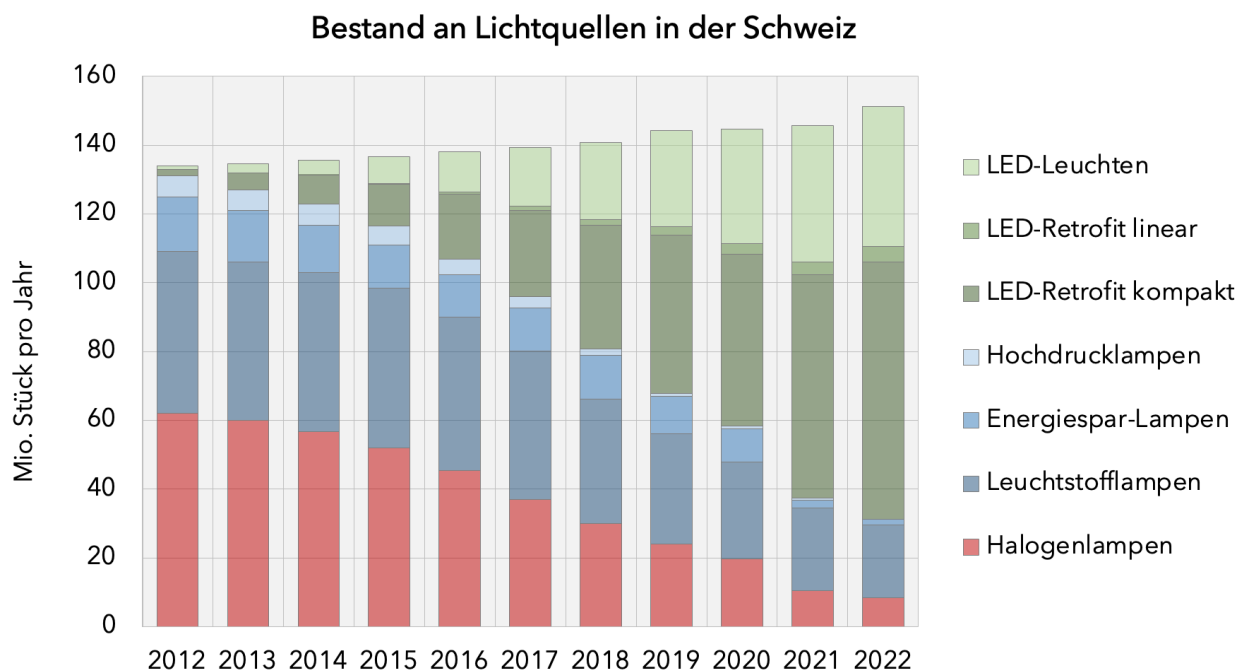


Abbildung 3: Bestand an Lichtquellen in der Schweiz ab 2012

3.2 Energiebilanz aus den Lichtmarkt-Studien

Aus dem Bestand an Lichtquellen lässt sich der gesamtschweizerische Energieverbrauch für Beleuchtung durch Multiplikation der mittleren Leistungen der verschiedenen Lampen- bzw. Leuchtentypen und deren jährlichen Betriebsstunden berechnen. Die Werte für typische Leistungen von Lichtquellen ergeben sich aus den Datenbanken der Hersteller.

Die Betriebsstunden der Lampen sind ebenfalls relativ gut bekannt: In früheren Jahren mit ausschliesslich konventionellen Leuchtmitteln war die Lebensdauer der einzelnen Lampentypen standardisiert. Eine Halogenlampe z.B. war im Mittel nach 2'000 Stunden ausgebrannt und musste also ersetzt werden. Analoges gilt auch für Leuchtstoff- und Hochdrucklampen.

Mit einer Lampe kaufte man also in der «Vor-LED-Zeit» immer ein «Energiepaket». Eine Leuchtstoffröhre z.B. mit einer Leistung von 40 Watt Leistung und 12'000 Stunden Lebensdauer verbrauchte während ihrer Brenndauer 480 kWh an elektrischer Energie. Mit der Annahme, dass die Anzahl der installierten Lichtquellen mit dem Wachstum der beleuchteten Fläche proportional steigt, ergibt sich daraus eine typische jährliche Brenndauer der einzelnen Lampentypen.

Im Jahre 2020 waren nachstehende Leistungen und Betriebsstunden für Lampen typisch:

Lampentyp	Leistung	Betriebsstunden
Halogenlampen	40 W	750 h/a
Leuchtstofflampen (kompakt und stabförmig)	28 W	2'800 h/a
Energiesparlampen mit integriertem Betriebsgerät	12 W	1'000 h/a
Hochdrucklampen	100 W	3'000 h/a
LED-Retrofit kompakt	8 W	750 h/a
LED-Retrofit linear (Ersatz für Leuchtstoffröhren)	17 W	2'800 h/a

Tabelle 2: Lampentypen, Leistungen und jährliche Betriebsstunden

In der LED-Welt sind die effektiv zu erwartenden Lebensdauern nicht mehr genau bekannt. LEDs verlieren mit der Zeit immer mehr Lichtstrom. Im Gegensatz zu konventionellen Leuchtmitteln geht das Licht in der Regel nicht plötzlich aus. Das bedeutet, dass die Lebensdauer auch vom individuellen Lichtanspruch des Nutzers abhängig ist. Der Ersatz einer Lichtquelle erfolgt nach einem Erneuerungszyklus, der von verschiedenen Faktoren abhängig ist - je nach Anwendung, typischerweise 15 Jahre.

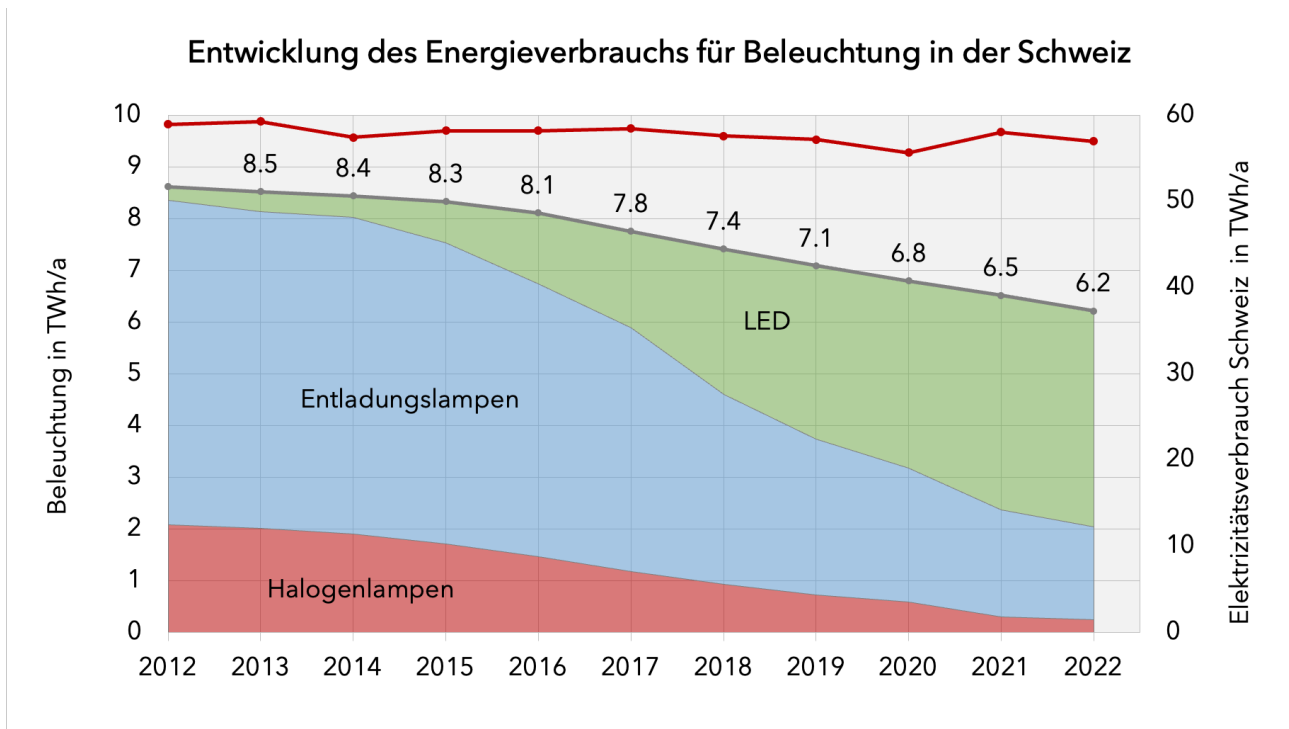


Abbildung 4: Entwicklung des Energieverbrauchs für Beleuchtung in der Schweiz

Der Energieverbrauch für Beleuchtung war zwischen 2012 und 2015 leicht abfallend – vorher leicht steigend – in etwa proportional zum Wachstum der beleuchteten Fläche. Die Effizienzgewinne der herkömmlichen Leuchtmittel (Leuchtstofflampen, Halogenlampen) wurden durch das Wachstum der Lichtpunkte kompensiert. Die Effizienz der wenigen LED-Leuchten vor 2015 war nur wenig besser als die der herkömmlichen Leuchten. Die Trendwende beim Energieverbrauch für Beleuchtung begann 2015, als Effizienz und Menge der neuen LED-Lichtquellen dominant wurden.

Im Jahre 2022 lag der Elektrizitätsverbrauch der Beleuchtung bei 6.2 TWh/a. Das sind 27.9 % weniger als im Jahr des höchsten Verbrauchs (2012). Im Jahr 2022 lag der Stromverbrauch für Beleuchtung also 2.4 TWh unter dem Wert von 2012. Verglichen mit dem Gesamtstromverbrauch der Schweiz sank der Beleuchtungsanteil von 14.6 % (2012) auf 10.9 % im Jahre 2022.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beleuchtung	8.6	8.5	8.4	8.3	8.1	7.8	7.4	7.1	6.8	6.5	6.2
Andere Verbraucher	50.3	50.8	49.0	49.9	50.1	50.7	50.2	50.1	48.9	51.6	50.8
Gesamtverbrauch	59.0	59.3	57.5	58.2	58.2	58.5	57.6	57.2	55.7	58.1	57.0
Anteil Beleuchtung	14.6%	14.4%	14.7%	14.3%	13.9%	13.3%	12.9%	12.4%	12.2%	11.2%	10.9%

Tabelle 3: Entwicklung des Stromverbrauchs der Schweiz und Anteil Beleuchtung

4 Monitoring und ex-post Analysen

Monitoring und ex-post Analysen sind wichtig, um die Wirkung von durchgeführten Massnahmen zu überprüfen. Sie ermöglichen es, Veränderungen im Energieverbrauch und in der Emissionsentwicklung zu erfassen und zu analysieren. Mit Energiemodellen können die Veränderungen in den Verbrauchssektoren den Entwicklungen der wichtigsten Einflussfaktoren (z.B. Witterung, Produktion, Energiebezugsflächen, Bevölkerung, Technik und Politik, Substitutionen etc.) zugeordnet werden. Für sektorale ex-post Analysen (d.h. Private Haushalte, Industrie, Dienstleistungen, Landwirtschaft und Verkehr) werden spezifische Bottom-up-Modelle benutzt, die im Rahmen der Energieperspektiven für das BFE entwickelt wurden.

Drei Partner-Firmen haben die «Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2022 nach Verwendungszwecken» erarbeitet und in einem Bericht veröffentlicht.

- Prognos AG: Private Haushalte und Industrie
- TEP Energy GmbH: Dienstleistungen und Landwirtschaft
- Infras AG: Verkehr

Verbrauchsentwicklung Beleuchtung

Unter anderem ist auch der Verwendungszweck «Beleuchtung» Bestandteil der Analyse. Der Vergleich zwischen den Analysen von SLG und ex-post-Analysen im Bereich Beleuchtung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Nachdem die zwei Modelle in den Jahren 2020 und 2021 noch ziemlich unterschiedliche Verbrauchsentwicklungen zeigten, konnte für 2022 eine Harmonisierung herbeigeführt werden. Der Abwärtstrend ist nun übereinstimmend. Der Unterschied bei der Totalen beruht auf dem Umstand, dass beim Modell der ex-post-Analysen die öffentliche Beleuchtung nicht der Kategorie Beleuchtung, sondern dem Verkehr zugeordnet wird.

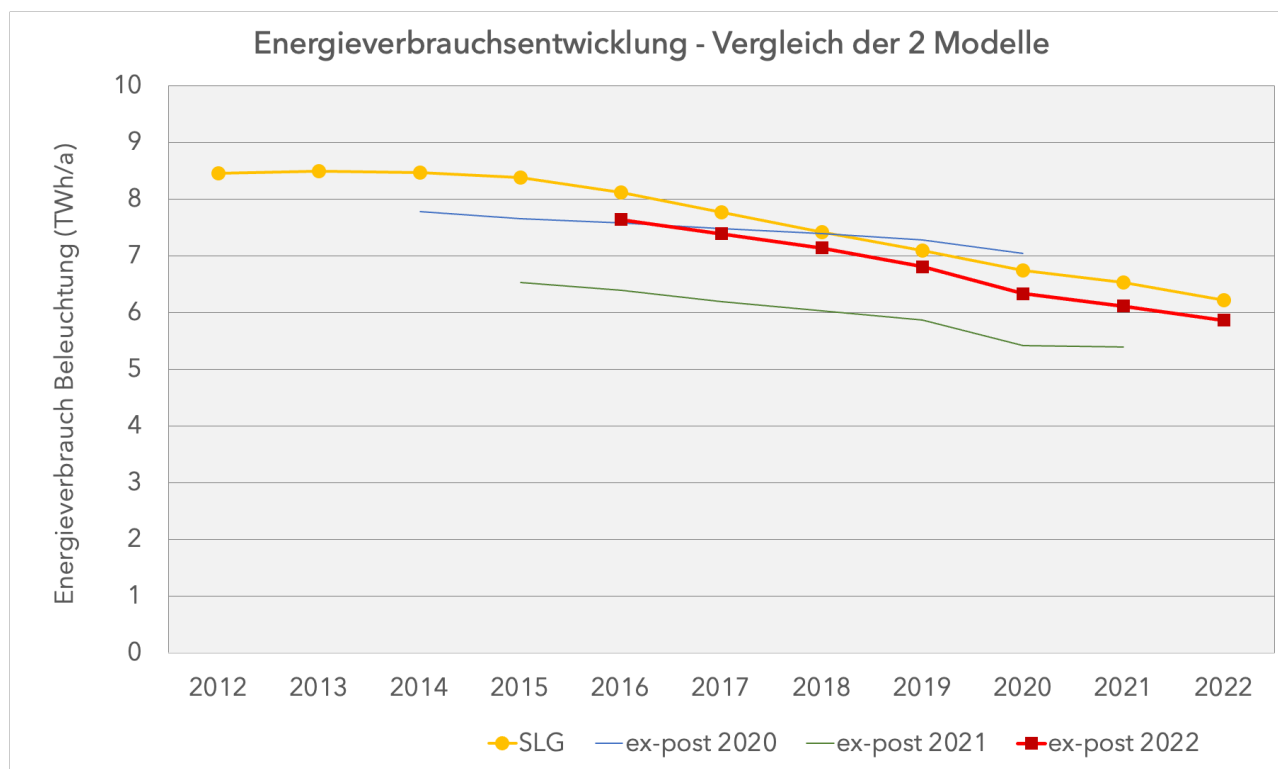


Abbildung 5: Entwicklung des Energieverbrauchs für Beleuchtung - Vergleich der 2 Modelle

Vergleich SLG-Modell und ex-post-Analysen

Verschiedene Ursachen führten dazu, dass die Modelle der SLG und der ex-post-Analysen in den Jahren 2020 und 2021 nicht übereinstimmten. Für das aktuelle Berichtsjahr 2022 wurden die zwei Ansätze weitgehend harmonisiert.

Sektor	SLG	ex-post	Abweichung ex-post
Wohnen	1.01	0.97	-4.0 %
Industrie	1.77	1.78	+0.6%
Dienstleistung	2.89	3.14	+ 8.6%
Strassenbeleuchtung	0.30	0.30	0%
übrige Aussenbeleuchtung	0.27	Bei Dienstleistung	
Total Beleuchtung	6.24	6.19	-0.8%

Tabelle 4: Abweichungen zu den ex-post-Analysen (Werte in TWh/a im Jahr 2022)

Wohnen

Der kleine Mehrverbrauch beim SLG-Modell könnte eine Folge von Lagerkäufen infolge des Verbotes der Halogenlampen sein. Ggf. spielt auch eine leicht unterschiedliche Abgrenzung zwischen Dienstleistungs- und Wohnnutzung eine Rolle.

Industrie

Die Modelle führen zu identischen Resultaten.

Dienstleistung

Die Aussenbeleuchtung (ohne Strassen und Sportplätze) ist beim ex-post-Modell Teil des Dienstleistungssektors; dies führt zu einem Mehrverbrauch gegenüber dem SLG-Modell, welches die Aussenbeleuchtung separat betrachtet.

Strassenbeleuchtung (Öffentliche Beleuchtung)

Die Daten stammen in beiden Modellen aus der Elektrizitätsstatistik des Bundesamtes für Energie. Bei den ex-post-Analysen ist die Öffentliche Beleuchtung nicht als Beleuchtung ausgewiesen, sondern Teil des Sektors Verkehr.

5 Neues Energiebilanz-Modell für Beleuchtung

Das Energie-Monitoring für Beleuchtung basiert auf mehreren Untersuchungen und Methoden, die zu einem Gesamtmodell zusammengefügt werden. Die einzelnen Elemente sind in Abbildung 6 dargestellt und werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

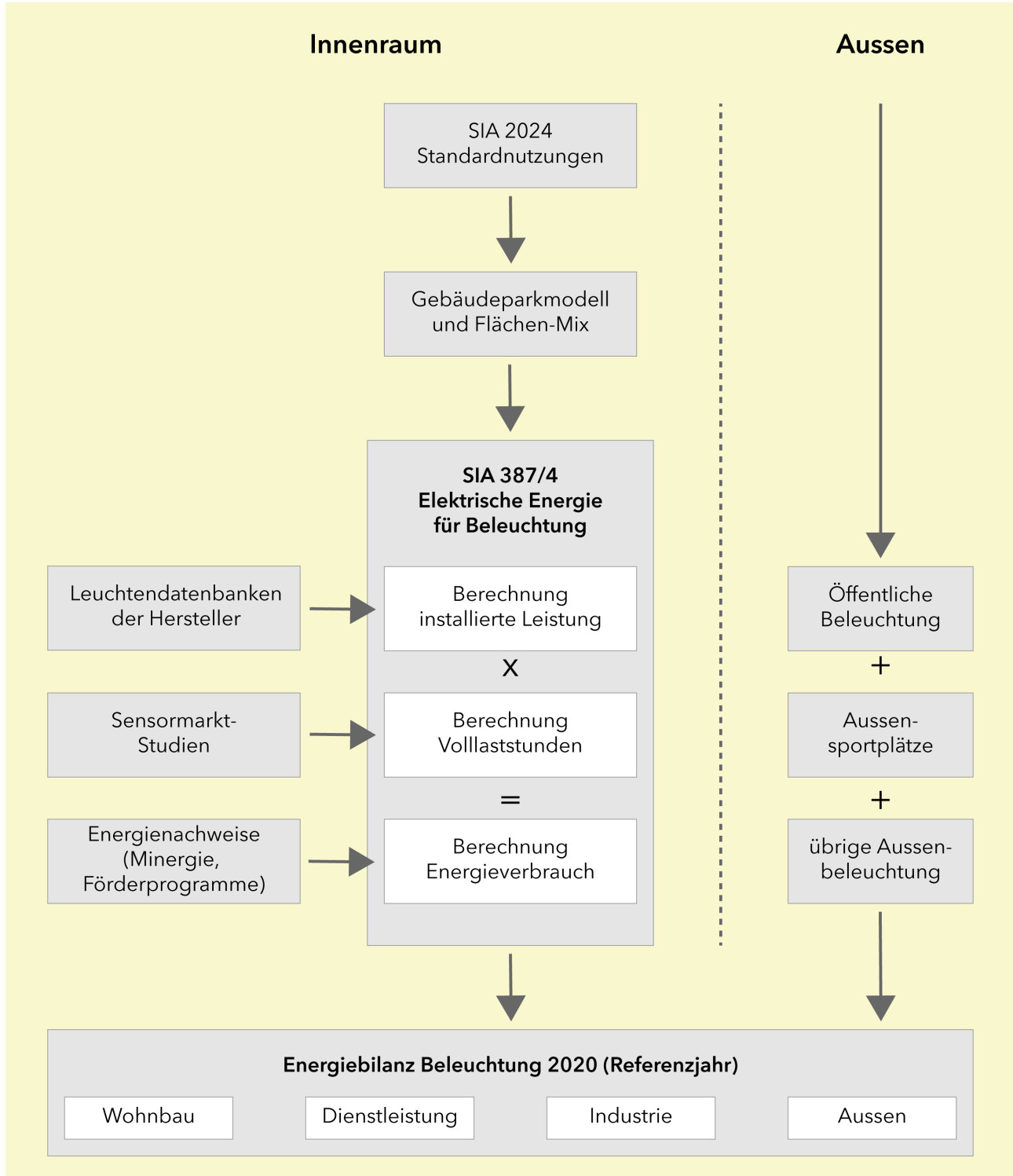


Abbildung 6: Überblick zu den Inputdaten für das Energiebilanz-Modell Beleuchtung

6 Beleuchtung im Innenraum

6.1 SIA-Merkblatt 2024

Im SIA-Merkblatt 2024 (Raumnutzungsdaten für Energie- und Gebäudetechnik) werden für 48 verschiedene Nutzungen (z.B. Büro, Schulzimmer, Verkaufsfläche, Produktion, Verkehrsfläche, etc.) und für verschiedene Anlagen (Heizung, Lüftung, Klima, Beleuchtung, Geräte, Prozesse, u.a.) standardisierte Raumdaten definiert.

Für die Beleuchtung werden für jede Nutzung folgende Angaben gemacht:

- Vermessung der typischen Räume (Länge, Breite, Höhe)
- Reflexionsgrade der Räume
- Fenstergrössen bzw. Glasanteil
- Jährliche Nutzungsstunden (pro Tag, in der Nacht, Jahresarbeitsstage)
- Nutzungsintensität (normal, sporadisch, dauernd)
- Geforderte Beleuchtungsstärken (entsprechend EN 12464-1)

Mit den im Merkblatt 2024 definierten Bedingungen können für die einzelnen Standardnutzungen installierte Leistungen, Volllaststunden und Energieverbrauchswerte für alle Stromverbraucher berechnet werden. Für die Beleuchtung werden die Standardnutzungen mit der SIA-Norm 387/4 synchronisiert.

Gegenüber SIA 2024 werden ein paar Nutzungen zusätzliche differenziert (Produktion, Parking). Die vollständige Liste der Nutzungen ist in Tabelle 7 ersichtlich.

6.2 Gebäudeparkmodell und Flächen-Mix

Die Firma TEP Energy GmbH hat im Rahmen der ex-post-Analysen des Bundesamtes für Energie ein Modell entwickelt, welches den Gebäudepark der Schweiz strukturiert und die Entwicklung von Gebäudeflächen quantifiziert. Das Modell wird für alle Energieverbraucher in Dienstleistungsbetrieben angewendet (Wärme und Elektrizität) und fliesst zusammen mit analogen Auswertungen der Partnerfirma Prognos AG in die Expost-Analysen des Bundes ein.

Im Gebäudeparkmodell werden die Energiebezugsflächen nach Branchen jährlich erfasst. Insgesamt werden 44 verschiedenen Branchen unterschieden. Zusammengefasst auf die 16 Oberkategorien ergibt sich die Flächenaufteilung gemäss Tabelle 5:

Branche	EBF 2022 (Mio. m ²)	Anteil 2022	Zunahme 2012 bis 2022
Einfamilienhäuser	172.0	21.3%	+ 9.5%
Mehrfamilienhäuser	369.9	45.7%	+ 13.2%
Dienstleistung	50.5	6.2%	+ 11.9%
Verwaltung	6.9	0.8%	+ 10.8%
Finanzwesen	7.6	0.9%	+ 5.2%
Internet und Kommunikation	3.2	0.4%	+ 9.6%
Detailhandel	19.5	2.4%	+ 10.5%
Grosshandel	7.0	0.9%	+ 7.4%
Erziehung	29.4	3.6%	+ 11.0%
Beherbergung	8.1	1.0%	+ 4.2%
Gastronomie	4.9	0.6%	+ 11.5%
Gesundheit	17.8	2.2%	+ 14.0%
Soziales	3.5	0.4%	+ 12.4%
Industrie	96.7	12.0%	+ 8.6%
Landwirtschaft	6.7	0.8%	+ 4.4%
Verkehr	5.1	0.6%	+ 9.6%
Gesamtfläche	808.8	100.0%	+ 11.4%

Tabelle 5: Branchen und Energiebezugsflächen nach dem Gebäudeparkmodell von TEP Energy

Flächen-Mix

Damit die Energieverbräuche der Beleuchtung für die Standardnutzungen nach SIA 2024 berechnet werden können, müssen zuerst die Energiebezugsflächen der Branchen aus dem Gebäudeparkmodell durch Definition eines Flächen-Mixes auf Nettoflächen der Standardnutzungen umgelegt werden. Jede Branche hat eine bestimmte Zusammensetzung an Standardnutzungen aus SIA 2024. Das Rechenschema dieser Umlegung von Flächen aus dem Gebäudeparkmodell (GPM) in die Standardnutzungen nach SIA 2024 ist in Abbildung 7 dargestellt.

SIA 2024 / GPM		44 Branchen: Energiebezugsflächen in m ²								
		1	2	3	4				43	44
48 Standardnutzungen: Nettoflächen in m ²	1				↓					
	2				↓					
	3	←			%					
	4				↓					
					↓					
		←			%					
	47	←			%					
	48									

Abbildung 7: Schema für die Berechnung der Flächen aus dem GPM in die Nutzungen SIA 2024

Beispiel: Branche «Volksschule» nach GPM

Standardnutzung SIA 2024	Nettofläche in Mio. m ²	EBF in Mio. m ²	Flächenanteil
Schalterhalle, Empfang	0.12	0.13	1.0%
Schulzimmer	6.38	7.09	53.5%
Lehrerzimmer	0.42	0.46	3.5%
Bibliothek	0.84	0.93	7.0%
Hörsaal	0.38	0.42	3.2%
Schulfachraum	0.24	0.27	2.0%
Turnhalle	1.11	1.24	9.3%
Verkehrsfläche	1.79	1.99	15.0%
Nebenraum	0.24	0.27	2.0%
WC	0.22	0.24	1.8%
Garderobe, Dusche	0.13	0.15	1.1%
Serverraum	0.06	0.07	0.5%
Total	11.93	13.25	100%

Tabelle 6: Beispiel für die Berechnung der Flächen aus dem GPM in die Nutzungen SIA 2024

Das Gebäudeparkmodell weist für die Branche «Volksschule» eine gesamte Energiebezugsfläche von 13.25 Mio. m² aus. Über die prozentualen Flächenanteile der einzelnen Standardnutzungen nach SIA 2024 für die Volksschulen errechnen sich die Energiebezugsflächen (beheizte Bruttoflächen, inkl. Mauern) der Nutzungen. Die für die weitere Berechnung des Energieverbrauchs verwendete (beleuchtete) Nettogeschossfläche wird mit 90% der Energiebezugsfläche angenommen.

Wendet man dieses Rechenschema auf alle Branchen und Nutzungen an, ergibt sich die Flächenzusammenstellung gemäss Tabelle 7 - separiert nach Verbrauchersektoren Wohnen, Dienstleistung und Industrie.

Nr.	Nutzung	Wohnen	Dienstleistung	Industrie	Total
1.1	Wohnen MFH	302.8	0.9	0.0	300.1
1.2	Wohnen EFH	149.9			152.6
2.1	Hotelzimmer		3.5		3.6
2.2	Empfang, Lobby		1.8	0.2	2.0
3.1	Einzel-, Gruppenbüro		20.9	9.5	30.5
3.2	Grossraumbüro		13.4	4.4	17.9
3.3	Sitzungszimmer		3.5	0.7	4.2
3.4	Schalterhalle, Empfang		3.1	0.6	3.9
4.1	Schulzimmer		10.9		10.8
4.2	Lehrerzimmer		0.6		0.6
4.3	Bibliothek		1.9		1.9
4.4	Hörsaal		3.8		3.7
4.5	Schulfachraum		2.4		2.5
5.1	Lebensmittelverkauf		3.2		3.2
5.2	Fachgeschäft		7.2		7.3
5.3	Verkauf Möbel, Bau+Garten		3.5		3.6
6.1	Restaurant		1.7		1.8
6.2	Selbstbedienungsrestaurant		2.4		2.4
6.3	Küche zu Restaurant		0.6		0.6
6.4	Küche zu SB-Restaurant		1.3		1.3
7.1	Vorstellungsraum		0.8		0.8
7.2	Mehrzweckhalle		3.5		3.6
7.3	Ausstellungshalle		1.5		1.5
8.1	Bettzimmer		4.2		4.2
8.2	Stationszimmer		1.0		1.0
8.3	Behandlungsräume		2.4		2.4
9.1	Produktion (grob, 1-Schicht)		1.2	9.0	10.3
9.1	Produktion (grob, 2-Schicht)			9.2	9.2
9.2	Produktion (fein, 1-Schicht)			12.4	12.6
9.2	Produktion (fein, 2-Schicht)			12.6	12.7
9.3	Laborraum		0.1	2.6	2.7
10.1	Lagerhalle		9.4	20.4	30.0
11.1	Turnhalle		4.5		4.5
11.2	Fitnessraum		1.1		1.1
11.3	Schwimmbhalle		0.7		0.6
12.1	Verkehrsfläche		19.4	0.6	20.1
12.2	Verkehrsfläche 24h Spitäler		1.2	0.4	1.7
12.3	Treppenhaus	34.0	0.2	0.0	33.8
12.4	Nebenräume		3.4	0.3	3.7
12.5	Küche, Teeküche		0.9		0.9
12.6	WC, Bad, Dusche		1.6		1.5
12.7	WC		2.1	0.2	2.3
12.8	Garderoben, Duschen		2.3		2.3
12.9	Parkhaus (privat)*	10.3	7.2	3.1	20.5
12.9	Parkhaus (öffentlich)*	10.3	7.2	3.1	20.5
12.1	Wasch- und Trockenraum	3.4	0.2	0.0	3.6
12.11	Kühlraum		1.7	2.5	4.3
12.12	Serverraum		1.7	0.3	2.1
	Total	510.6	166.2	92.1	769.0

Tabelle 7: Nettoflächen (in Mio. m²) in Schweizer Gebäuden nach Nutzungen SIA 2024 (2022)

*) die Parkflächen sind im Gebäudeparkmodell (Tabelle 4) nicht enthalten.

6.3 SIA-Norm 387/4

Die SIA-Norm 387/4 «Elektrische Energie in Gebäuden – Teil Beleuchtung» stellt ein Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs von Beleuchtungsanlagen in Zweckbauten zur Verfügung. Die SIA-Norm wird bei Minergie, dem behördlichen Vollzug der Kantone (MuKEn 2014) und im Rahmen der Förderprogramme von Prokilowatt angewendet. Das Modell ist auch für Wohnbauten anwendbar. Der Energiebedarf wird aus der Multiplikation von installierter Leistung und Volllaststunden ermittelt.

6.4 Berechnung der installierten Leistung

Die Berechnung für der installierten Leistung erfolgt für jede Nutzung mit folgender Formel:

$$\text{Installierte Leistung (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Beleuchtungsstärke (Lux)} * \text{Dimensionierungsfaktor}}{\text{Wartungsfaktor} * \text{Leuchtenlichtausbeute} * \text{Raumwirkungsgrad}}$$

- Beleuchtungsstärke: Die EN-Norm 12464 gibt Normbeleuchtungsstärken für die meisten Anwendungen vor. Diese werden in die SIA-Norm 387/4 übernommen und für alle 50 Standardnutzungen gemäss SIA-Merkblatt 2024 angewendet.
- Wartungsfaktor: Dieser berücksichtigt den Lichtstromrückgang von Lichtquellen in Folge von Alterung und Verschmutzung. Praktisch bedeutet er eine Erhöhung der Anfangsbeleuchtungsstärke von z.B. 500 auf 625 Lux (bei einem Wartungsfaktor von 0.8)
- Leuchtenlichtausbeute: Die Effizienz der eingesetzten Lichtquelle in Lumen pro Watt (abgegebener Lichtstrom im Verhältnis zur aufgenommenen elektrischen Leistung). Die aktuellen Werte können jährlich auf der Basis von Leuchten-Datenbanken der Hersteller ermittelt werden. Vergleiche dazu auch Abbildung 8. Der typische Wert ist je nach Nutzung variabel.
- Raumwirkungsgrad: hängt von der Grösse und der Helligkeit eines Raumes ab. Die Werte werden nach SIA 2024 für alle Standardnutzungen berechnet.
- **Zusätzlich** wird in der Formel von SIA 387/4 ein Faktor eingefügt, der die Über- bzw. Unterdimensionierung der Anlagen (mit Differenzierung nach Nutzungen) berücksichtigt.

Für jede Nutzung aus Tabelle 7 wird die installierte Leistung in W/m² nach dem Rechenmodell von SIA 387/4 ermittelt.

Beispiel: Treppenhaus in Wohnbauten

- Geforderte Beleuchtungsstärke: 100 Lux (gemäss Norm)
- Faktor Überdimensionierung: 1.3 (nicht Teil der Norm)
- Wartungsfaktor: 0.8 (Standardwert)
- Raumwirkungsgrad: 51% (Standard nach SIA 2024)
- Leuchtenbetriebswirkungsgrad: 105 lm/W (Leuchten-Datenbank; eine Mischung zwischen Anbau-, Einbau- und Wandleuchten)

➔ Typische Installierte Leistung für Neuanlagen 2020: **3.0 W/m²**

Leuchten-Datenbanken der Industrie

Die Hersteller von Leuchten, aber auch die Softwarefirma Relux (www.relux.com) sowie die Zertifizierungsstelle für Minergieleuchten (www.toplicht.ch/minergie/leuchtenliste) verfügen über eine grosse Anzahl von Messdaten, welche Anschlussleistungen und Energieeffizienz-Werte von professionell ausgemessenen Leuchten beinhalten.

Zur Ermittlung der typischen Energieeffizienz der verkauften Leuchten für das Jahr 2022 stehen rund 9'000 Leuchten-Daten des Herstellers Zumtobel zur Verfügung. Wertet man die Daten strukturiert nach dem Erfassungsraster der SLG-Lichtmarkt-Studie aus, ergeben sich je nach Leuchtenkategorie die typischen Energieeffizienz-Werte gemäss Abbildung 8.

Die typische Leuchten-Licht-Ausbeute im Jahr 2022 betrug 126 lm/W.

Anmerkung: Dieser Wert liegt höher als die Annahme für den Zielwert nach SIA-Norm 387/4 mit 100 lm/W (Version 2017). In der neuen Norm (Version 2023) werden Nutzungsabhängig für den Zielwert 130 (Büro, Schule, Verkauf, etc.) bzw. 160 lm/W (Industrie) angenommen.

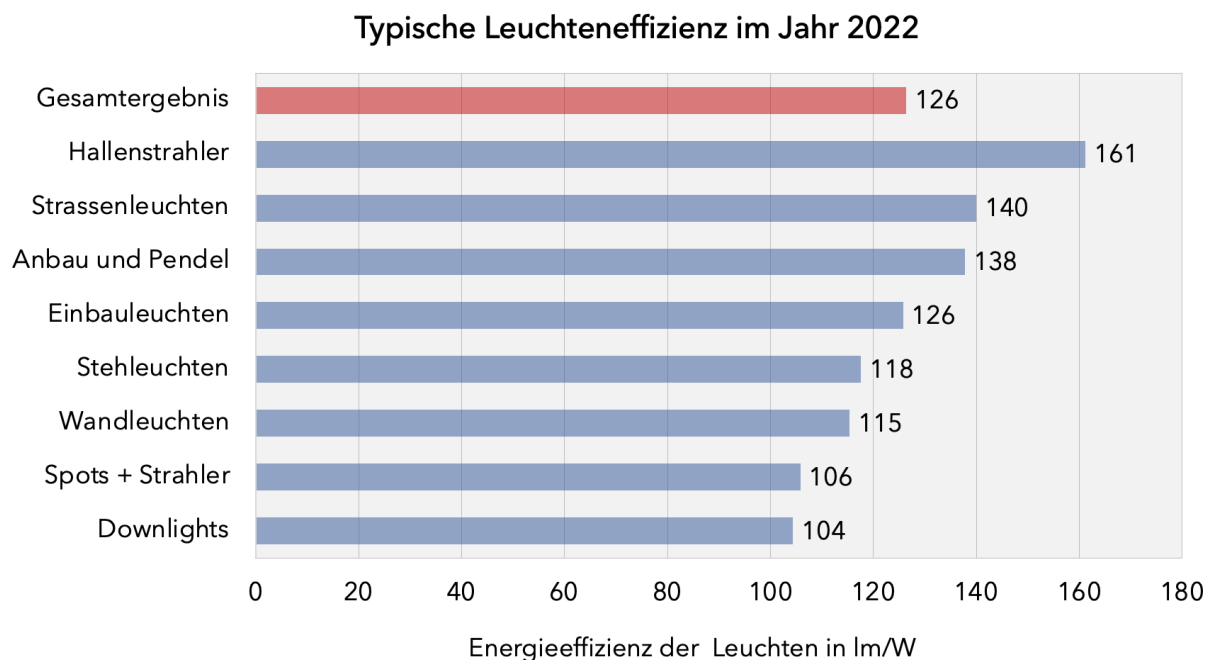


Abbildung 8: Mittlere Energieeffizienz von professionellen Leuchten im Jahr 2022

Die verkauften Leuchten teilen sich wie folgt auf:

- Anbau- und Pendelleuchten: 42.8 %
- Downlights: 13.8 %
- Einbauleuchten: 8.9 %
- Strahler und Spots: 8.2 %
- Stehleuchten: 6.4 %
- Wandleuchten: 5.6 %
- Weitere Kategorien: 14.3 % (Hallenstrahler, Strassenleuchten, diverse)

Entwicklung der Energieeffizienz von Leuchten

Eine Quelle zur Beobachtung der Entwicklung der Energieeffizienz von professionellen Leuchten bildet die Datenbank für Minergieleuchten auf www.toplicht.ch. Minergieleuchten zeichnen sich neben einer hohen Effizienz auch durch die umfassende Deklaration von (für die qualitativ hochstehende Planung) wichtigen technischen Daten aus: Blendwerte, Farbwiedergabe, Farbtoleranzen, Farbtemperatur, Lebensdauer, Standby-Leistungen, u.a.

Während die Effizienz-Anforderungen für Minergieleuchten zu Beginn der Lancierung (2007) so angelegt waren, dass ca. 20% der angebotenen Leuchten diese erreichen konnten, wurden sie nach der Umstellung auf ausschliesslich LED-Leuchten im Jahre 2016 nicht mehr verschärft. Das bedeutet, dass der mittlere Wert für konventionelle Leuchten um 2010 tiefer war als die in der Abbildung angegebenen 67 lm/W (schätzungsweise 50 lm/W), während die neusten Zahlen von 2022 eher dem allgemein typischen Wert von neuen Leuchten entsprechen.

Die Anforderungen an Minergieleuchten sollen im Jahre 2024 grundsätzlich überarbeitet werden.

In Abbildung 9 ist der Sprung der Energieeffizienz 2016 durch den Ausschluss der herkömmlichen Leuchtmittel deutlich erkennbar. Die Energieeffizienz der Leuchten erhöht sich jährlich um durchschnittlich 3%. Neben dem immer grösser werdenden Anteil von LED-Lichtquellen im Bestand verstärkt dieser Effekt der Effizienzsteigerung der LED-Leuchten den Einspareffekt zusätzlich.

In der Abbildung ist auch die Entwicklung der maximalen Effizienzwerte dargestellt. Dieser wird v.a. für Hallenstrahler und Lichtbänder mit geringer Anforderung an die Blendbegrenzung erreicht.

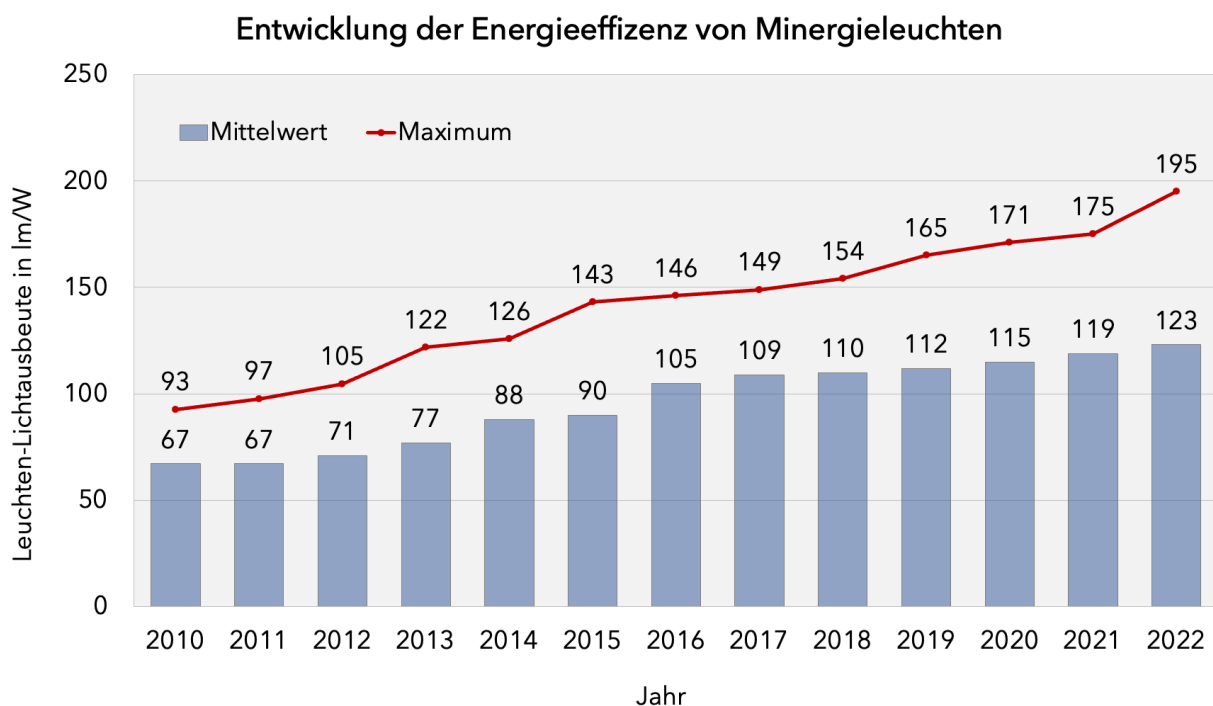


Abbildung 9: Entwicklung der Energie-Effizienz von Minergieleuchten

6.5 Berechnung der Volllaststunden

Die jährlichen Volllaststunden einer Beleuchtung werden mit mehreren Formeln, die auf Simulationen und praktischen Messungen basieren, berechnet. Die Einflussfaktoren berücksichtigen Nutzungsdauer, Tageslichtnutzung, Belegungsdichte und Regulierung der Beleuchtung.

- Nutzungsdauer: abhängig von der Nutzung. Im Merkblatt SIA 2024 sind 48 Standardnutzungen und die zugehörigen jährlichen Nutzungsstunden festgelegt.
- Belegungsintensität: Es gibt Nutzungen mit sporadischer, normaler oder ständiger Belegung durch Personen, die abhängig vom Tageslicht, künstliche Beleuchtung benötigen.
- Tageslichtnutzung: wird u.a. durch Fenstergrösse, Transmissionsgrad der Fenster, Sonnenschutz und äusserer Verbauung beeinflusst.
- Lichtregulierung: Mit der Regelung oder Steuerung der Beleuchtung nach Tageslicht und Präsenz kann der Energiebedarf der künstlichen Beleuchtung entsprechend der Anwesenheit von Personen bzw. Vorhandensein von Tageslicht automatisch angepasst werden.

Das Berechnungsmodell für die Volllaststunden ist in der SIA 387/4, Kap. 3.3 beschrieben. Für jede Standardnutzung werden Volllaststunden ohne Lichtregelung (SIA-Grenzwert) und Volllaststunden mit optimaler Tageslicht- und Präsenzregelung (SIA-Zielwert) berechnet. Die für die Nutzung typische Volllaststundenzahl ist abhängig von der Sensordichte, also dem Anteil an Sensor-gesteuerten Beleuchtungsanlagen in den bestimmten Nutzungen. Die Volllaststundenzahl liegt also stets zwischen Grenz- und Zielwert, je nach Anteil der Sensorik.

In der Tabelle 8 sind die Volllaststunden für jede Standardnutzung aufgeführt: ohne Lichtregelung (SIA-Grenzwert) und mit Lichtregelung (SIA-Zielwert mit Korrekturen: der Einsatzbereich und die Wirkung der Präsenzmelder wurden erweitert). Ferner die Sensordichte in den Jahren 2015 und 2021. Die gesamte Sensordichte 2020 (also über alle Anwendungen) für das Jahr 2020 entstammt der Sensor-Studie der SLG; die Aufteilung nach Nutzungen ist auf der Basis von Erfahrungen von Experten geschätzt. Für die Jahre 2021 und 2022 liegen keine aktualisierte Sensorstudien vor; die Werte von 2020 wurden abgeschätzt.

Es wird empfohlen, die Sensordichte künftig durch systematische Befragungen bei Gebäudebetreibern und Nutzern zu präzisieren. Da viele Sensoren nicht optimal eingestellt sind, müssten die Erhebungen auch die Einstellungen der Sensorik erfragen. Die Sensorik spielt in Zukunft eine wesentliche Rolle in Bezug auf die Energieverbrauchsentwicklung der Beleuchtung.

Beispiel: Schulzimmer

- Volllaststunden ohne Regulierung (SIA-Grenzwert): 1312 h/a
- Volllaststunden mit optimaler Regulierung
Tageslicht und Präsenz (SIA-Zielwert): 398 h/a
- Sensordichte:
Anteil Schulfachräume mit optimaler Sensorik 14.5 %

➔ Typische Volllaststundenzahl 2020: **1'179 h/a**

Nr.	Nutzung	Lichtregelung		Sensordichte	
		Ohne (h/a)	Mit (h/a)	2015	2022
1.1	Wohnen MFH	493	382		
1.2	Wohnen EFH	493	382		
2.1	Hotelzimmer	677	324		
2.2	Empfang, Lobby	4097	3155		
3.1	Einzel-, Gruppenbüro	1383	320	12%	15.5%
3.2	Grossraumbüro	1931	954	16%	20.7%
3.3	Sitzungszimmer	754	175	16%	20.7%
3.4	Schalterhalle, Empfang	1889	1509		
4.1	Schulzimmer	1312	398	12%	15.5%
4.2	Lehrerzimmer	1158	219	12%	15.5%
4.3	Bibliothek	1504	620	12%	15.5%
4.4	Hörsaal	1689	835	8%	10.3%
4.5	Schulfachraum	1312	398	8%	10.3%
5.1	Lebensmittelverkauf	4006	3205		
5.2	Fachgeschäft	4006	3205		
5.3	Verkauf Möbel, Bau+Garten	4006	3205		
6.1	Restaurant	2626	1365	4%	5.2%
6.2	Selbstbedienungsrestaurant	1564	833	4%	5.2%
6.3	Küche zu Restaurant	2458	1717		
6.4	Küche zu SB-Restaurant	1894	1560		
7.1	Vorstellungsraum	3005	2404	4%	5.2%
7.2	Mehrzweckhalle	2968	1601	4%	5.2%
7.3	Ausstellungshalle	3381	2239	4%	5.2%
8.1	Bettzimmer	1553	642	4%	5.2%
8.2	Stationszimmer	5730	3633	4%	5.2%
8.3	Behandlungsräume	1921	1147	4%	5.2%
9.1	Produktion (grob, 1-Schicht)	1431	500	4%	5.2%
9.1	Produktion (grob, 2-Schicht)	4145	2672	4%	5.2%
9.2	Produktion (fein, 1-Schicht)	1677	880	4%	5.2%
9.2	Produktion (fein, 2-Schicht)	4391	3052	4%	5.2%
9.3	Laborraum	1327	425	4%	5.2%
10.1	Lagerhalle	4145	2004	12%	15.5%
11.1	Turnhalle	2247	1073	8%	10.3%
11.2	Fitnessraum	3125	1523	8%	10.3%
11.3	Schwimmhalle	2812	1160	8%	10.3%
12.1	Verkehrsfläche	1647	505	8%	10.3%
12.2	Verkehrsfläche 24h Spitäler	3330	1226	8%	10.3%
12.3	Treppenhaus	1647	505	16%	20.7%
12.4	Nebenräume	1402	257	16%	20.7%
12.5	Küche, Teeküche	825	132	16%	20.7%
12.6	WC, Bad, Dusche	825	132	16%	20.7%
12.7	WC	794	100	16%	20.7%
12.8	Garderoben, Duschen	845	140	16%	20.7%
12.9	Parkhaus (privat)	1606	642	16%	20.7%
12.9	Parkhaus (öffentlich)	3504	1402	20%	25.9%
12.1	Wasch- und Trockenraum	1090	244	20%	25.9%
12.11	Kühlraum	73	29	16%	20.7%
12.12	Serverraum	73	73	16%	20.7%
	Mittelwert			10 %	13.1 %

Tabelle 8: Volllaststunden der Standardnutzungen mit und ohne Lichtregelung sowie Sensordichte

Sensor-Studien SLG

Seit 2018 führt die SLG analog zur Lichtmarktstudie für Lichtquellen eine zusätzliche Erhebung zu den verkauften Sensoren durch. Dabei wird nach Sensortypen und Innen- und Aussenanwendungen unterschieden.

- Bewegungsmelder: Detektieren (grössere) Bewegungen von Personen und Fahrzeugen, meistens nach dem Passiv-Infrarot-Prinzip. Bewegungsmelder haben meistens eine einfache Tageslichtmessung eingebaut. Bewegungsmelder werden v.a. in Verkehrszonen eingesetzt.
- Präsenzmelder: Detektieren auch kleine Bewegungen und haben in der Regel eine erweiterte Tageslichtmessung eingebaut. Auch die meisten Präsenzmelder funktionieren nach dem Passiv-Infrarot-Prinzip (PIR). Es gibt aber zunehmend auch Melder mit Ultraschall-, Hochfrequenz- oder Kamera-Sensorik.
- Tageslichtsensoren: In wenigen Fällen werden für die Tageslichtregelung separate Sensoren (ohne Erfassung der Bewegung) eingesetzt.
- Sensorleuchten: Leuchten mit integrierten Sensoren für Präsenz- und Tageslicht. Neben Stehleuchten zunehmend auch andere Leuchtentypen, häufig mit zusätzlicher Vernetzung.

Die Gegenüberstellung von verkauften Sensoren zu verkauften Leuchten gibt eine Einschätzung über die Durchdringung der Sensorik in der Lichtplanung. Unter der Annahme, dass im Mittel ein Sensor für 2.25 Leuchten eingesetzt wird (Innenraum), ergibt sich eine aktuelle Sensordichte von rund 12.5%. (Im Aussenraum 36%).

Die Sensordichte wird im Energiebilanzmodell verwendet um die jährlichen Vollaststunden einer Beleuchtungsanlage im Vergleich zum SIA-Grenzwert (keine Regelung) und zum Zielwert (weitgehende Regelung) zu ermitteln.

Verkaufte Sensoren nach Typen	Innen	Aussen	Total
Bewegung	169'758	81'176	250'934
Präsenz	110'258	6'277	250'934
Tageslicht	1'969	742	2'711
Sensorleuchten	176'021	94'267	270'288
Total Sensoren	458'006	182'462	640'468
Verkaufte Leuchten	8'229'511	763'250	8'992'761
Sensor-Anteil	5.6%	23.9%	7.1%
Anzahl Leuchten pro Sensoren	2.25	1.5	2.19
Anteil Sensor betriebener Leuchten	12.5%	35.9%	15.6%

Tabelle 9: verkaufte Sensoren und Relation zu den verkauften Leuchten (2020)

Der Sensor-Markt ist relativ stabil; ein starker (und erwünschter) Aufwärtstrend ist nicht zu verzeichnen. Die Sensorstudien liefert einen Anhaltspunkt zur Ermittlung der Sensordichte.

6.6 Energieverbrauch für Innenraumbeleuchtung

Der Energiebedarf einer Beleuchtungsanlage wird für jede Nutzung durch Multiplikation von installierter Leistung und Volllaststundenzahl berechnet. Die Summe aller Leistungen und Energiebedarfswerte der einzelnen Nutzungen ergeben die gesamte Leistung bzw. den gesamten Energiebedarf der Beleuchtung eines Gebäudes. Die Energieverbrauchswerte werden meist in MWh/a (absolute Zahlen) oder kWh/m² (spezifische Zahlen) angegeben.

$$\text{Energiebedarf (MWh/a)} = \text{Installierte Leistung (kW)} * \text{Volllaststunden (h/a)} * 1'000$$

$$\text{Energiebedarf (kWh/m}^2\text{)} = \text{Installierte Leistung (W/m}^2\text{)} * \text{Volllaststunden (h/a)} * 1'000$$

Beispiel Bürogebäude mit erneuerungsbedürftiger Beleuchtungsanlage (ca. Jahr 2000):

Nutzung	Nettogeschossfläche m ²	Installierte Leistung kW	Volllaststunden h/a	Elektrizitätsbedarf MWh/a
Einzel-, Gruppenbüro	2000 m ²	31.8	1400	44.5
Grossraumbüro	2000 m ²	25.0	1950	48.8
Sitzungszimmer	200 m ²	3.2	750	2.4
Schalterhalle. Empfang	100 m ²	1.2	1200	1.5
Nebenräume	100 m ²	0.6	1400	0.8
Selbstbedienungsrestaurant	200 m ²	1.2	1500	1.8
Küche zu SB-Restaurant	50 m ²	0.9	1900	1.8
Verkehrsfläche	600 m ²	4.2	1650	7.0
Parkhaus	1000 m ²	2.9	1600	4.6
Gesamtergebnis	6250 m²	71.1	1592	113.2

Tabelle 10: Beispielhafte Energiebilanz eines Bürogebäudes nach SIA 387/4 (Version 2017)

Anforderungen

Neben der Berechnung der Projektwerte werden auch Anforderungen in Form von Grenz- und Zielwerten definiert.

- Grenzwert SIA 387/4: Beleuchtung nach dem Stand der Technik, ohne Lichtregulierung oder Steuerung. Annahme der typischen Lichtausbeute für Leuchten: 70 lm/W
- Zielwert SIA 387/4: Beleuchtung mit Best-Produkten; Lichtregulierung Tageslicht und Präsenz überall dort, wo möglich und sinnvoll. Annahme der typischen Lichtausbeute für Leuchten: 100 lm/W

Die im Jahre 2017 neu aufgelegte Norm ist im Zuge der sehr schnellen Entwicklung bei der LED-Technik bezüglich der Anforderungen bereits überholt: die mittlere Leuchten-Licht-Ausbeute betrug im Jahre 2020 bereits 110 lm/W liegt damit bereits höher als der Zielwert der SIA-Norm. Die Norm wurde 2022 revidiert und Mitte 2023 in Kraft gesetzt.

Nutzung	Netto- geschoss- fläche m ²	Projekt- werte kWh/m ²	Grenz- werte kWh/m ²	Ziel- werte kWh/m ²
Einzel-, Gruppenbüro	2000 m ²	22.3	17.5	2.8
Grossraumbüro	2000 m ²	24.4	19.2	7.0
Sitzungszimmer	200 m ²	11.9	9.4	1.6
Schalterhalle. Empfang	100 m ²	14.9	8.5	2.1
Nebenräume	100 m ²	8.4	4.2	0.6
Selbstbedienungsrestaurant	200 m ²	9.2	5.3	2.0
Küche zu SB-Restaurant	50 m ²	35.6	28.0	14.8
Verkehrsfläche	600 m ²	11.6	5.8	1.5
Parkhaus	1000 m ²	4.6	2.2	0.7
Gesamtergebnis	6250 m²	18.1	13.5	3.7

Tabelle 11: Vergleich der Projektwerte mit Grenz- und Zielwerten nach SIA 387/4 (Version 2017)

Die Anforderungen werden für jede Nutzung einzeln als Produkt von installierter Leistung und Vollaststunden berechnet. Über die Flächengewichtung werden die Gesamtwerte für Grenz- und Zielwert für ein ganzes Gebäude berechnet. Der Gesamtwert ist entsprechend der Zusammensetzung eines Gebäudes mit einzelnen Nutzungen für jedes Projekt anders.

In Tabelle 11 liegt also der Projektwert des gesamten Gebäudes mit 18.1 kWh/m² deutlich über dem SIA-Grenzwert. Die Beleuchtung des Beispiel-Projektes ist also nicht effizient. Eine Optimierung in Richtung SIA-Zielwert würde sehr grosse Einsparungen mit sich bringen.

Energienachweise SIA 387/4

Die Berechnung der SIA-Norm SIA 387/4 wurde in Software- und Online-Tools programmiert.

- ReluxEnergy (Anbieter: www.relux.com)
- www.lighttool.ch (Anbieter: Minergie, zurzeit kostenlose Anwendung)
- www.lightbank.ch (im Rahmen der Bundes-Förderprogramme von Prokilowatt)

Zahlreiche Energienachweise der Online-Tools sind in Datenbanken abgelegt. Die Auswertung zeigt, wie hoch der Energiebedarf für Beleuchtung in realen Gebäuden im Bestand und in Neubauten, nach verschiedenen Nutzungen und Gebäudekategorien liegt. Es sind bereits mehrere hundert Energienachweise erstellt worden. Die Energienachweise nach SIA 387/4 sind je nach Anteilen der einzelnen Nutzungen in den Gebäuden sehr individuell. Für eine Auswertung nach einzelnen Nutzungen sind aktuell zu wenig Energienachweise verfügbar. Eine Auswertung nach Gebäudekategorien ist aber recht aussagekräftig.

Die Abbildung 10 zeigt, dass Sanierungsprojekte im Bestand meist über dem Grenzwert der SIA-Norm 387/4 liegen und nach der Erneuerung unter dem Zielwert. In einigen Gebäude-Kategorien sogar deutlich unter dem Zielwert.

Lesebeispiel: In Bürogebäuden (total 26 Stück) lag die installierte Beleuchtung vor der Erneuerung bei 10.2 und danach bei 4.7 W/m². Der Grenzwert (über alle Gebäude gewichtet) liegt bei 7.9, der Zielwert bei 5.0 W/m². Die neuen Werte liegen also unter dem Zielwert der SIA-Norm.

Spezifische Leistungen (W/m²) in 220 Gebäuden

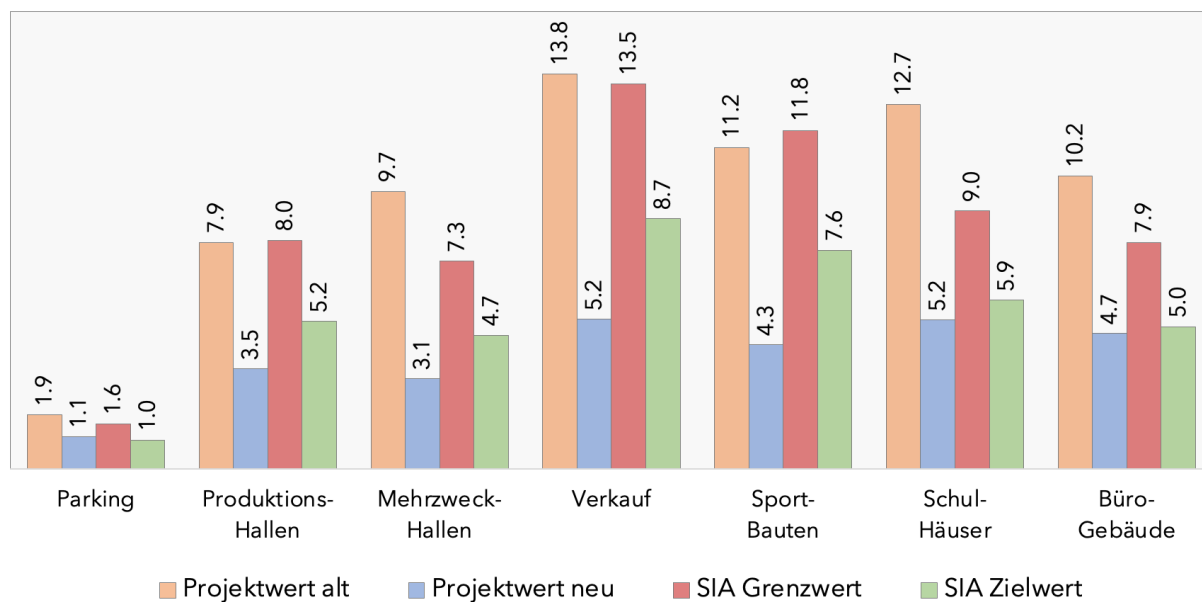


Abbildung 10: Spezifischen Leistungen nach Gebäudekategorien (Quelle: Lightbank 2019 und 2020)

Beim Energiebedarf zeigt sich grundsätzlich ein vergleichbares Bild wie bei der installierten Leistung. Weil aber die Regelungsdichte (also der Anteil der installierten Sensoren) in den Gebäuden mit durchschnittliche 14% im Jahre 2020 immer noch relativ gering ist – wird der Zielwert zwar häufig erreicht, aber nur in einigen Fällen unterschritten.

Spezifischer Energiebedarf (kWh/m²) in 220 Gebäuden

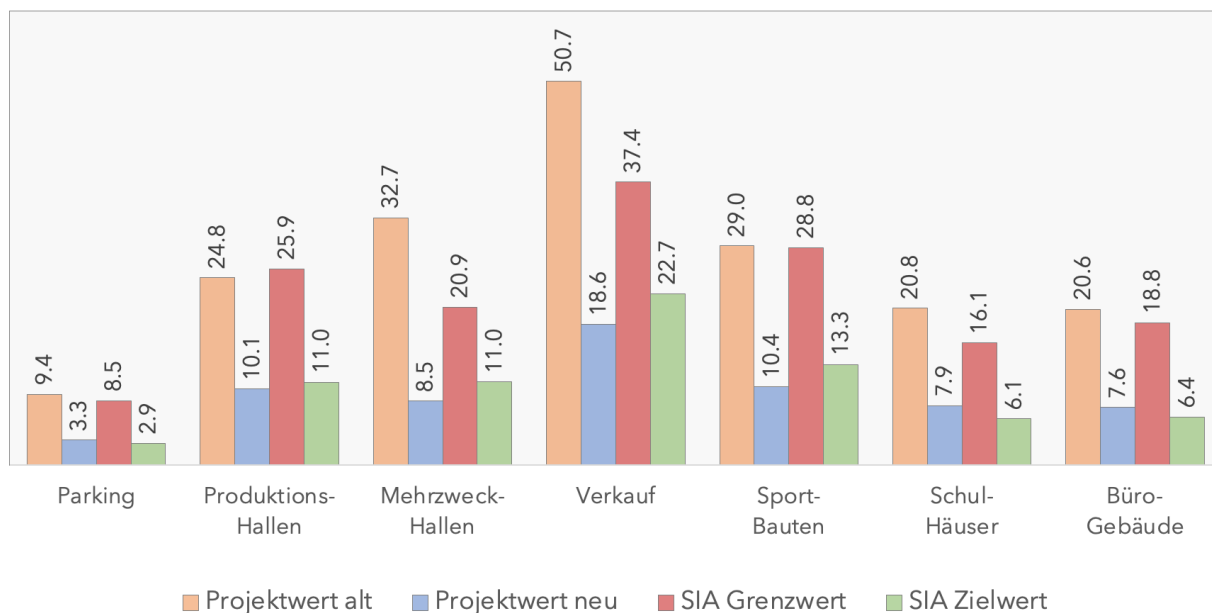


Abbildung 11: Spezifischer Energiebedarf nach Gebäudekategorien (Quelle: Lightbank 2019 und 2020)

In Tabelle 12 ist der Energieverbrauch für Beleuchtung im Jahre 2020 für alle Standardnutzungen und aufgeteilt nach Verbrauchssektoren dargestellt.

Nr.	Nutzung	Wohnen	Dienstleistung	Industrie	Total
1.1	Wohnen MFH	473.8	1.5		475.3
1.2	Wohnen EFH	234.5			234.5
2.1	Hotelzimmer		26.7		26.7
2.2	Empfang, Lobby		72.4	6.6	79.0
3.1	Einzel-, Gruppenbüro		303.8	138.2	442.0
3.2	Grossraumbüro		216.0	71.3	287.2
3.3	Sitzungszimmer		27.4	5.4	32.8
3.4	Schalterhalle, Empfang		49.8	10.1	59.9
4.1	Schulzimmer		129.4		129.4
4.2	Lehrerzimmer		6.4		6.4
4.3	Bibliothek		20.7		20.7
4.4	Hörsaal		55.0		55.0
4.5	Schulfachraum		30.2		30.2
5.1	Lebensmittelverkauf		186.2		186.2
5.2	Fachgeschäft		420.0		420.0
5.3	Verkauf Möbel, Bau+Garten		176.5		176.5
6.1	Restaurant		41.6		41.6
6.2	Selbstbedienungsrestaurant		30.2		30.2
6.3	Küche zu Restaurant		23.3		23.3
6.4	Küche zu SB-Restaurant		27.6		27.6
7.1	Vorstellungsraum		21.2		21.2
7.2	Mehrzweckhalle		92.1		92.1
7.3	Ausstellungshalle		83.6		83.6
8.1	Bettzimmer		55.8		55.8
8.2	Stationszimmer		87.4		87.4
8.3	Behandlungsräume		95.2		95.2
9.1	Produktion (grob, 1-Schicht)		9.9	75.5	85.4
9.1	Produktion (grob, 2-Schicht)			226.2	226.2
9.2	Produktion (fein, 1-Schicht)			186.6	186.6
9.2	Produktion (fein, 2-Schicht)			498.9	498.9
9.3	Laborraum		1.9	40.6	42.5
10.1	Lagerhalle		212.9	460.6	673.5
11.1	Turnhalle		102.9		102.9
11.2	Fitnessraum		19.7		19.7
11.3	Schwimmhalle		12.7		12.7
12.1	Verkehrsfläche		100.7	3.1	103.8
12.2	Verkehrsfläche 24h Spitäler		20.0	7.1	27.1
12.3	Treppenhaus	166.1	1.1	0.0	167.2
12.4	Nebenräume		12.0	1.2	13.2
12.5	Küche, Teeküche		3.8		3.8
12.6	WC, Bad, Dusche		8.1		8.1
12.7	WC		17.3	1.4	18.8
12.8	Garderoben, Duschen		11.4		11.4
12.9	Parkhaus (privat)	23.0	16.1	6.9	46.0
12.9	Parkhaus (öffentlich)	84.6	59.2	25.4	169.3
12.1	Wasch- und Trockenraum	26.3	1.6	0.0	27.9
12.11	Kühlraum		0.3	0.5	0.8
12.12	Serverraum		0.6	0.1	0.7
	Total	1008.3	2892.4	1765.7	5666.3

Tabelle 12: Energieverbrauch für Beleuchtung in GWh/a nach Standardnutzungen (2022)

7 Aussenbeleuchtung

Die Aussenbeleuchtung kann in drei Bereiche unterteilt werden:

- Strassen (Öffentliche Beleuchtung ÖB) und Tunnels
- Sportplätze
- Andere Aussenbereiche

7.1 Strassenbeleuchtung

Der Energieverbrauch für die öffentliche Beleuchtung (ÖB) wird in der schweizerischen Elektrizitätsstatistik ausgewiesen. Der Input für die Auswertung des Bundes erfolgt durch die Betreiber der Anlagen, meist Elektrizitätswerke oder Gemeinden. Zum Teil werden die Verbräuche exakt gemessen, zum Teil sind es Berechnungen aufgrund der installierten Leistungen und der Betriebsstunden. Einige Strassenbeleuchtungen werden wahrscheinlich nicht erfasst und mittels Erfahrungswerte zur Gesamtbilanz hochgerechnet.

Aus weiteren Quellen lässt sich eine Differenzierung nach verschiedenen Strassentypen sowie alten (Non-LED) und neuen Anlagen (LED) herleiten.

Mit diesen Unterlagen lässt sich eine Energiebilanz der Strassenbeleuchtung für das Jahr 2022 erstellen. Die Tunnelbeleuchtung ist in der ÖB nicht enthalten, wird aber vom Astra separat erhoben.

Allgemein	National	Kanton	Gemeinde	Tunnel	Total
Strassenlänge	2'255 km	17'227 km	65'194 km	440 km	84'676 km
Anteil beleuchtet	5%	30%	30%	100%	

Alte Leuchten					
Anteil alt (non LED)	50%	50%	50%	50%	
Effizienz Leuchten	90 lm/W	90 lm/W	90 lm/W	90 lm/W	
Installierte Leistung	14.0 W/m	7.0 W/m	3.5 W/m	25.0 W/m	
Volllaststunden	3'500 h/a	3'500 h/a	3'500 h/a	8'760 h/a	
Spez. Energieverbrauch	49.0 kWh/m	24.5 kWh/m	12.3 kWh/m	219.0 kWh/m	
Energie alt	3 GWh/a	63 GWh/a	120 GWh/a	48 GWh/a	234 GWh/a

Neue LED-Leuchten					
Anteil neu (LED)	50%	50%	50%	50%	
Effizienz Leuchten	135 lm/W	135 lm/W	135 lm/W	135 lm/W	
Installierte Leistung	10.0 W/m	5.2 W/m	2.5 W/m	15.1 W/m	
Volllaststunden	3'000 h/a	3'000 h/a	3'000 h/a	8'760 h/a	
Spez. Energieverbrauch	30.0 kWh/m	15.6 kWh/m	7.6 kWh/m	132.3 kWh/m	
Energie LED	2 GWh/a	40 GWh/a	74 GWh/a	29 GWh/a	145 GWh/a

Allgemein	National	Staat	Gemeinde	Tunnel	Total
Energieverbrauch total	4 GWh/a	104 GWh/a	194 GWh/a	77 GWh/a	379 GWh/a
Leistung total	1.4 MW	31.5 MW	58.9 MW	8.8 MW	100.6 MW

Tabelle 13: Energiebilanz Strassenbeleuchtung für 2022

Quellen:

- www.bfs.admin.ch: Strassenlängen nach Kategorien
- www.swisstunnel.ch: Längen der Tunnels
- www.streetlight.ch: Kennzahlen für effiziente Strassenbeleuchtung
- www.slg.ch: SLG-Richtlinie 202:2021, Planung und Kennzahlen
- www.astra.admin.ch: Energieverbrauch für Strassen-Tunnels
- www.ekz.ch: Anteil LED bei der Strassenbeleuchtung
- www.bfe.admin.ch: Schweizer Elektrizitätsstatistik (Öffentliche Beleuchtung)

Abschätzungen:

- Anteil der beleuchteten Strassen nach Kategorien
- Anteil LED im Jahr 2022: 50%

7.2 Sportplatzbeleuchtung

Die aus dem Jahre 2012 stammende Sportplatzstatistik des Bundesamtes für Sport gibt einen guten Überblick über Anzahl und Art der Schweizer Sportplätze. In Kombination mit den Kennzahlen aus dem Beleuchtungsförderprogrammen von Prokilowatt (effeSPORT) lässt sich eine gute Energiebilanz ableiten.

Allgemein	Fussball	Tennis	Sport	Gesamt
Anzahl 2012	3'899	4'623	3'933	12'455
Zunahme seit 2012	5%	5%	5%	
Anzahl 2022	4'094	4'854	4'130	13'078
Fläche pro Platz	7'140 m ²	660 m ²	2'000 m ²	
Beleuchtungsstärke	100 lx	200 lx	100 lx	
Anzahl Lichtpunkte	10	4	6	

Alte Leuchten				
Anteil alt	50%	50%	50%	
Lampentyp	HQI	HQI	HQI	
Effizienz	90 lm/W	90 lm/W	90 lm/W	
El. Leistung Lampe	2'000 W	1'000 W	1'000 W	
El. Leistung VG	120	60	120	
Spez. Leistung	3.0 W/m ²	6.4 W/m ²	3.4 W/m ²	
Volllaststunden	650 h/a	1'000 h/a	650 h/a	
Energieverbrauch pro Feld	13.8 MWh/a	4.2 MWh/a	4.4 MWh/a	
Energieverbrauch alt	28 GWh/a	10 GWh/a	9 GWh/a	48 GWh/a

Neue LED-Leuchten				
Anteil neu	50%	50%	50%	
Lampentyp	LED	LED	LED	
Effizienz	120 lm/W	120 lm/W	120 lm/W	
El. Leistung Lampe	1'140 W	570 W	570 W	
Spez. Leistung	1.6 W/m ²	3.5 W/m ²	1.7 W/m ²	
Volllaststunden	400 h/a	650 h/a	400 h/a	
Energieverbrauch pro Feld	4.6 MWh/a	1.5 MWh/a	1.4 MWh/a	
Energieverbrauch LED	9 GWh/a	4 GWh/a	3 GWh/a	16 GWh/a

Energieverbrauch total	38 GWh/a	14 GWh/a	12 GWh/a	63 GWh/a
Leistung total	46.7 MW	11.1 MW	14.1 MW	71.9 MW

Tabelle 14: Energiebilanz für Aussensportplätze für das Jahr 2022

Quellen:

- www.baspo.admin.ch: Sportplatzstatistik 2012
- www.effesport.ch: Förderprogramm für effiziente Sportplatzbeleuchtung
- www.effeLED.ch: Förderprogramm für Zweckbauten, zeitweise auch Sportplätze

Abschätzungen:

- Anteil LED im Jahr 2022: 50%

7.3 Diverse Aussenbeleuchtung

In den übrigen Aussenanwendungen sind meist nur geringe Beleuchtungsstärken gefordert, die Betriebszeiten können sehr unterschiedlich sein. Die Gesamtflächen sind kaum abschätzbar.

- Private Verkehrswege (z.B. Fussgängerbereiche in Wohnsiedlungen)
- Aussen-Parkplätze
- Industrieanlagen und Lager- und Logistikbereiche
- Tankstellen
- Flughäfen
- Bahnhöfe und Bushaltestellen, u.a.

Die Anforderungen sind in der Norm SN EN 12464-2: Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien festgehalten. Unter Arbeitsplätzen im normativen Sinn werden praktisch alle beleuchteten Aussen-Anwendungen verstanden - ohne Sport und Strassen, wo andere Normen zur Anwendung kommen.

Die Ermittlung des Energieverbrauchs erfolgt über die SLG-Lichtmarkstudie und Abschätzung der Anteile der Lichtquellen-Typen in den Aussenbereichen. Lesebeispiel: 1% der Temperaturstrahler werden im Aussenbereich eingesetzt.

Lampen	Anteil	Anzahl	Leistung (W)	Betriebs-Stunden (h/a)	Energieverbrauch (GWh/a)
Temperaturstrahler	1%	85'000	39	750	2.5
Leuchtstofflampen	1%	211'000	28	2'800	16.5
Energiespar-Lampen	1%	15'000	12	1'000	0.2
Halogen-Metall dampf Lampen	3%	13'000	80	3'000	3.1
Natrium-Hochdruck Lampen	2%	1'000	120	3'500	0.4
Quecksilber/Natrium ND	3%	0	153	3'500	0.0
LED-Retrofit kompakt	1%	748'000	8	750	4.5
LED-Retrofit Linear	1%	46'000	17	2'000	1.6
Diverse Lampen	1%	0	10	2'000	0.0
Total Lampen		1'119'000			28.8

LED-Leuchten					
Aussen ambiance	75%	2'867'000	8	4'000	91.7
Aussen Scheinwerfer	15%	178'000	16	1'500	4.3
Strassen	1%	8'000	72	3'500	2.0
Total		3'053'000			98.0

Total Lichtquellen		4'172'000			126.8
---------------------------	--	-----------	--	--	--------------

Tabelle 15: Energiebilanz (in GWh/a) für die übrige Aussenbeleuchtung für das Jahr 2022

- Quelle: SLG-Lichtmarkstudien
- Abschätzung: Anteil Lichtquellen im Aussenbereich

7.4 Energieverbrauch für Aussenbeleuchtung

Die Entwicklung des Energieverbrauchs für die gesamte Aussenbeleuchtung über die letzten Jahre basiert auf der Annahme, dass sich die Bereiche Tunnels, Sportplätze und übrige gleich entwickelt haben wie die Strassenbeleuchtung, die gemessen wird.

Der Faktor zwischen Strassenbeleuchtung (öffentliche Beleuchtung ÖB) gemäss Elektrizitätsstatistik) und der gesamten Aussenbeleuchtung beträgt 1.88.

Energieverbrauch (TWh/a)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Strassen (ÖB)	0.447	0.441	0.433	0.425	0.414	0.401	0.366	0.35	0.331	0.319	0.302
Tunnels	0.116	0.115	0.113	0.110	0.108	0.104	0.095	0.091	0.086	0.083	0.077
Aussen-Sportplätze	0.095	0.093	0.092	0.090	0.088	0.085	0.077	0.074	0.070	0.067	0.063
Übrige Aussenbeleuchtung	0.190	0.188	0.184	0.181	0.176	0.171	0.156	0.149	0.141	0.136	0.127
Total	0.848	0.837	0.822	0.806	0.785	0.761	0.694	0.664	0.628	0.606	0.569

Tabelle 16: Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs für Aussenbeleuchtung

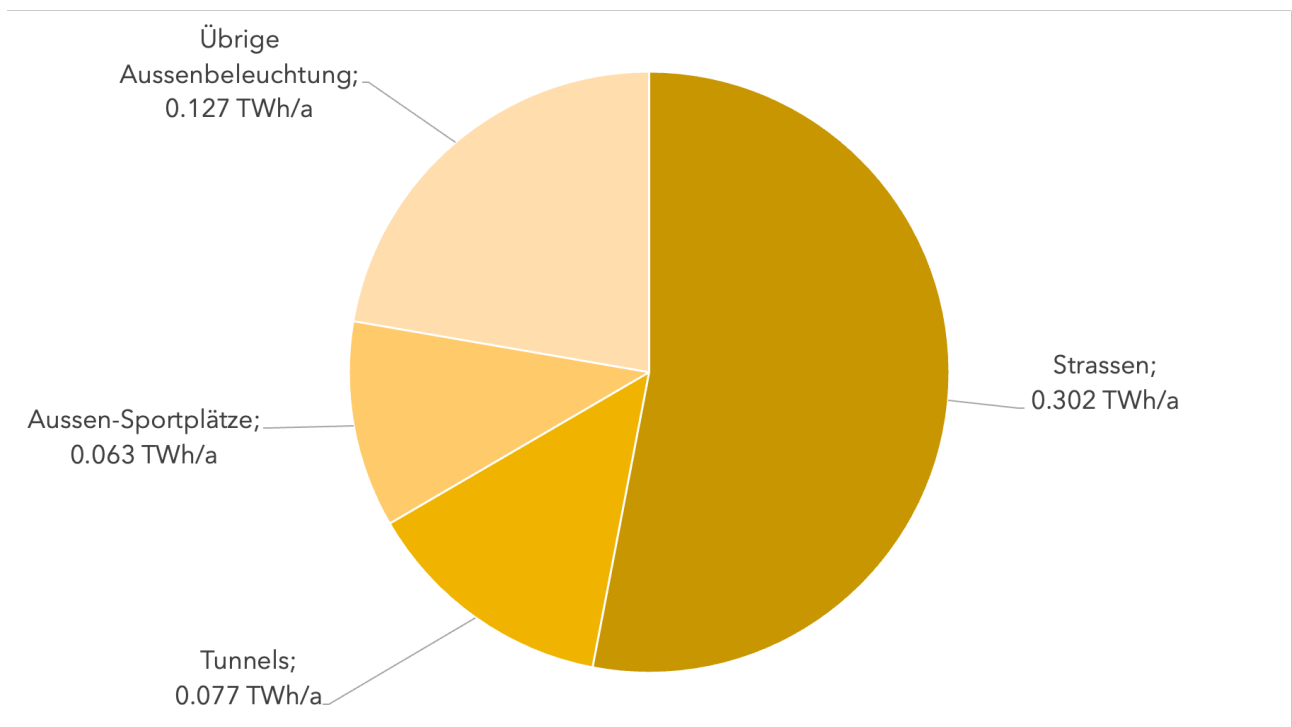


Abbildung 12: Aufteilung des Elektrizitätsverbrauchs für Aussenbeleuchtung (2022)

8 Energiebilanz Beleuchtung

8.1 Elektrizitätsverbrauch 2022

Aus dem Energiebilanzmodell lässt sich der Energieverbrauch für die Beleuchtung in der Schweiz für die einzelne Branchen im Jahre 2022 berechnen. Das Total aller Branchen ergibt den gesamten Elektrizitätsverbrauch, welcher mit der SLG-Energiestudie (vergleiche Kapitel 3.2) übereinstimmt. Der Gesamtverbrauch im Jahr 2022 beträgt 6.2 TWh/a.

Die wichtigsten Sektoren (wie sie auch in der Energiestatistik des Bundes angewendet werden) ergibt eine Aufteilung gemäss Abbildung 13. Die grossen zwei Sektoren sind Zweckbauten mit Dienstleistungs- und Industriegebäuden; hier dominieren die professionellen Beleuchtungsinstallationen, wie sie in Kapitel 6 aufgelistet sind. Zusammen machen diese 2 Sektoren 74 % des Beleuchtungsstroms aus (Dienstleistung: 2.89 TWh/a, Industrie: 1.77 TWh/a).

Die Beleuchtung in den Wohnbauten macht 17% (1.14 TWh/a) des Beleuchtungsstroms aus. Ein kleiner Teil davon wird für die allgemeine Beleuchtung in Korridoren, Treppenhäusern und Nebenräumen verwendet (ca. ein Zehntel), der grössere Teil ist die Beleuchtung in den Wohnungen.

Die Aussenbeleuchtung, welche hauptsächlich durch die Strassenleuchten verursacht wird, verbraucht 9% der Elektrizität für Beleuchtung (0.57 TWh/a).

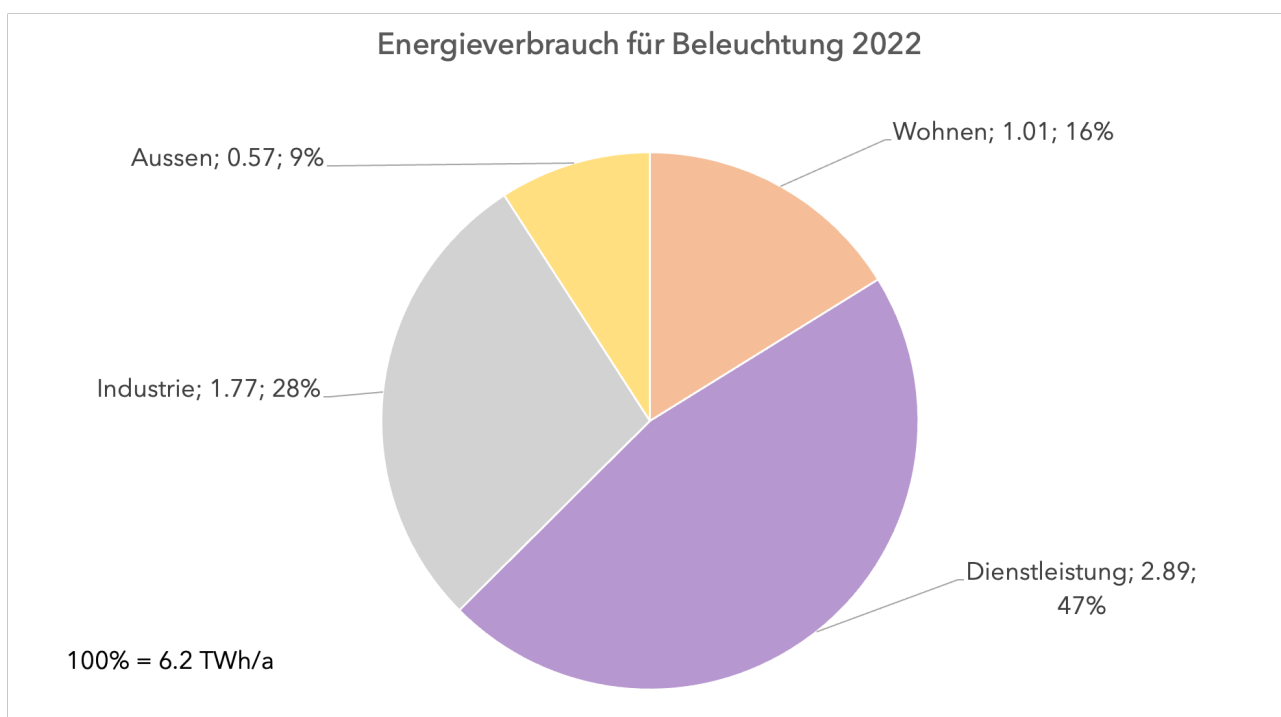


Abbildung 13: Elektrizitätsverbrauch Beleuchtung nach den 4 Hauptsektoren

8.2 Energieverbrauchsentwicklung 2012 bis 2022

Die Entwicklung des Energieverbrauchs für Beleuchtung der letzten 10 Jahre wird mit einem Kohorten-Modell nachgebildet. Für jedes Jahr (seit dem Jahre 2000) werden Annahmen zu den massgebenden, den Energieverbrauch beeinflussenden, Faktoren getroffen. Die Annahmen basieren auf Industriedaten, Energienachweisen und zum Teil auf Einschätzungen von Experten.

Der Energie-Absenkpfad für Beleuchtung stimmt mit dem Modell der SLG überein.

Annahmen

- Erneuerungsrate: Je nach Nutzung werden unterschiedliche Jahrzahlen angenommen: 5 Jahre (Wohnen), 10 Jahre (Verkauf und Gastronomie), 20 Jahre (Industrie), 15 Jahre (alle übrigen Anwendungen wie Büro, Schule, Spital...)
- Entwicklung Beleuchtungsstärke: In einigen Nutzungen bleiben die Beleuchtungsstärken konstant, in andern nehmen sie tendenziell zu (Verkehrsflächen, Industrie), in einigen nehmen sie tendenziell eher ab (grosse Verkaufsgeschäfte). Die Werte basieren auf Energienachweisen und Annahmen von Experten.
- Entwicklung Leuchtenlichtausbeute. Die Werte können recht gut auf Basis von Herstellerangaben und Kennzahlen von Minergieleuchten ermittelt werden.
- Entwicklung Sensordichte: Ein Input bildet die Sensormarktstudie der SLG. Die Spezifizierung auf einzelne Nutzungen basiert auf Energienachweisen und Annahmen von Experten. Im Bereich der Sensordichte sollten in Zukunft zusätzliche Instrumente zur Anwendung kommen (z.B. Befragungen).
- Flächenzunahme: Das Gebäudeparkmodell aus den ex-post-Analysen bildet eine sehr gute Grundlage.

Durch Anwendung des neuen Energiebilanzmodells auf die vergangenen Jahre lässt sich unter Anwendung der oben beschriebenen Annahmen eine Energieverbrauchsentwicklung der Beleuchtung ableiten, vergleiche Tabelle 17 .

Energieverbrauch(TWh/a)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Wohnbauten	2.42	2.40	2.35	2.28	2.13	1.92	1.69	1.48	1.27	1.14	1.01
Dienstleistungsbauten	3.31	3.30	3.27	3.25	3.22	3.19	3.14	3.09	3.05	2.98	2.89
Industriebauten	2.00	1.99	1.97	1.95	1.94	1.92	1.89	1.86	1.84	1.81	1.77
Aussenbeleuchtung	0.85	0.84	0.82	0.81	0.79	0.76	0.69	0.66	0.63	0.61	0.57
Total	8.58	8.52	8.41	8.29	8.07	7.78	7.42	7.10	6.79	6.53	6.24

Tabelle 17: Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs für die gesamte Beleuchtung

8.3 Abschätzung des Sparpotentials

Der Energieverbrauch für Beleuchtung ist seit 2016 jährlich um rund 0.3 TWh/a gesunken – und dies trotz einer Zunahme der Gebäudeflächen von jährlich gut 1.3%. Aufgrund der weitgehenden Leuchtmittelverbote zwischen 2021 bis und 2023 sowie der immer noch steigenden Leuchtenlichtausbeute der LED-Lichtquellen ist ab 2023 eine deutlich stärkere Absenkung bei der Beleuchtung zu erwarten.

Wenn man die Anteile herkömmlicher Leuchtmittel (Halogen- und Leuchtstofflampen, vergleiche Abbildung 3) mit den beleuchteten Flächen nach Gebäudekategorien (siehe Tabelle 7) korreliert, ergibt sich eine Abschätzung der Flächen, bei denen die Beleuchtung noch nicht erneuert wurde. Unter der Voraussetzung, dass bei der Erneuerung einer Beleuchtung mit neuester Technologie Einsparungen zwischen 50% und 90% (Ersatz Leuchtstoff- oder Halogenlampen, mit oder ohne Lichtsensoren) erzielt werden können, kann man ein noch realisierbares Sparpotential (siehe Tabelle 18) ermitteln. Das Sparpotential durch Sensorik setzt voraus, dass diese optimal in Betrieb genommen werden; ohne spezielles Augenmerk auf diese Thematik werden schätzungsweise 50% der möglichen Einsparung nicht ausgeschöpft.

Anwendung	Nicht erneuerte Flächen	Sparpotential ohne Sensoren	Sparpotential mit Sensoren
Wohnbauten (Wohnungen)	-	0.52 TWh/a	0.59 TWh/a
Wohnbauten (Allgemein)	ca. 34 Mio. m ²	0.10 TWh/a	0.15 TWh/a
Dienstleistungsbauten	ca. 99 Mio. m ²	0.81 TWh/a	1.27 TWh/a
Industriebauten	ca. 55 Mio. m ²	0.48 TWh/a	0.74 TWh/a
Aussenbeleuchtung	-	0.14 TWh/a	0.22 TWh/a
Total		2.05 TWh/a	2.97 TWh/a

Tabelle 18: noch nicht ausgeschöpftes Energiesparpotential bei der Beleuchtung

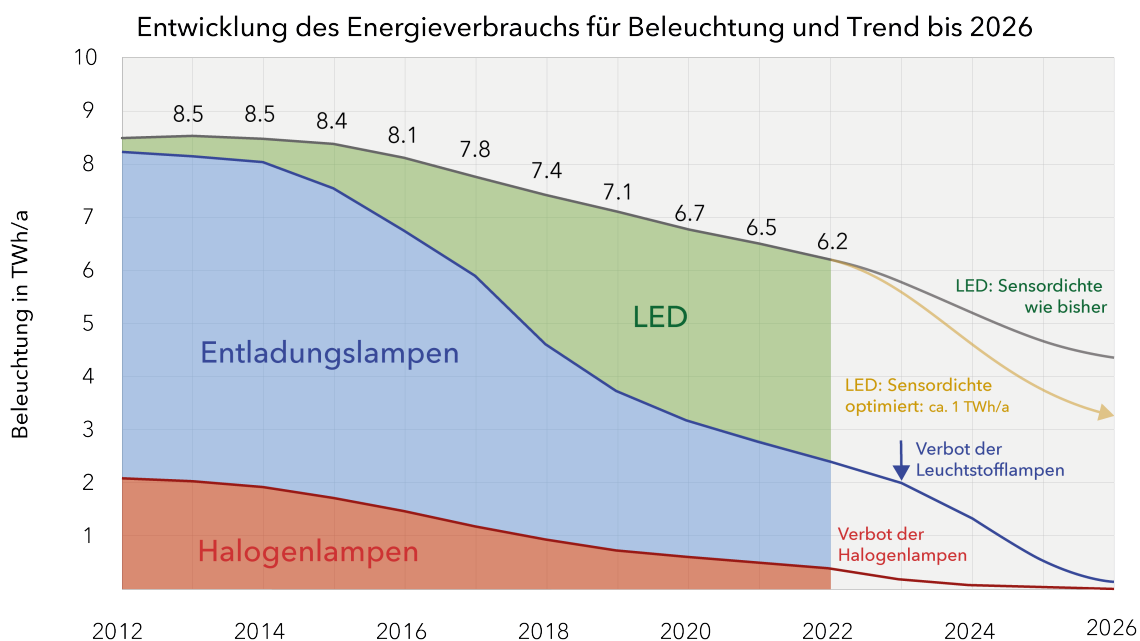


Abbildung 14: Mögliche Weiterentwicklung des Energieverbrauchs für Beleuchtung