

2.9 Beleuchtungs-Check für Zweckbauten

Zur Beurteilung einer bestehenden Beleuchtung in einem Gebäude eignet sich der Beleuchtungscheck wie im Folgenden beschrieben sehr gut. Grundlage des Checks bildet die Norm SIA 387/4. In der selben Norm sind Referenzwerte für den Vergleich der Energiebilanz verfügbar. Das erlaubt eine Abschätzung des Einsparpotenzials.

Vorgehen

1. Typische Räume auswählen
2. Leuchten erfassen
3. Beleuchtungsstärken messen
4. Blendung durch Leuchten beurteilen
5. Tageslichtsituation beurteilen
6. Lichtregelung prüfen
7. Energiebilanz erstellen

Typische Räume auswählen

In der Regel ist es nicht nötig, alle Räume in einem Gebäude zu erfassen, weil es meist sehr viele gleiche oder ähnliche Räume gibt. Die Berechnung und Bewertung erfolgt anhand von repräsentativen Räumen, zum Beispiel einem Schulzimmer oder einem Büro (Tabelle 2.16 und Abbildung 2.20).

Die Erfahrung zeigt, dass die drei bis fünf wichtigsten Nutzungen über 80 % des Stromverbrauchs für Beleuchtung ausmachen. Es ist daher von untergeordneter Bedeutung, welche Beleuchtungen z. B. in Lagern oder Toiletten installiert sind. In den Grundrissplänen des Gebäudes lassen sich die verschiedenen Nutzungen kolorieren. Von diesen typischen Räumen sind die Nettoflächen zu ermitteln. Selbstverständlich sind für eine Energiebilanz die Flächen der anderen Räume ebenfalls zu erheben.

Nutzung	Fläche typischer Raum (m ²)	Fläche aller Räume (m ²)
Schulzimmer	72	372
Büro	40	120
Korridor	50	352
Übrige Räume	–	80
Total		941

Table 2.16: Beleuchtete Flächen von typischen Räumen, Nutzungen und vom Gesamtgebäude.

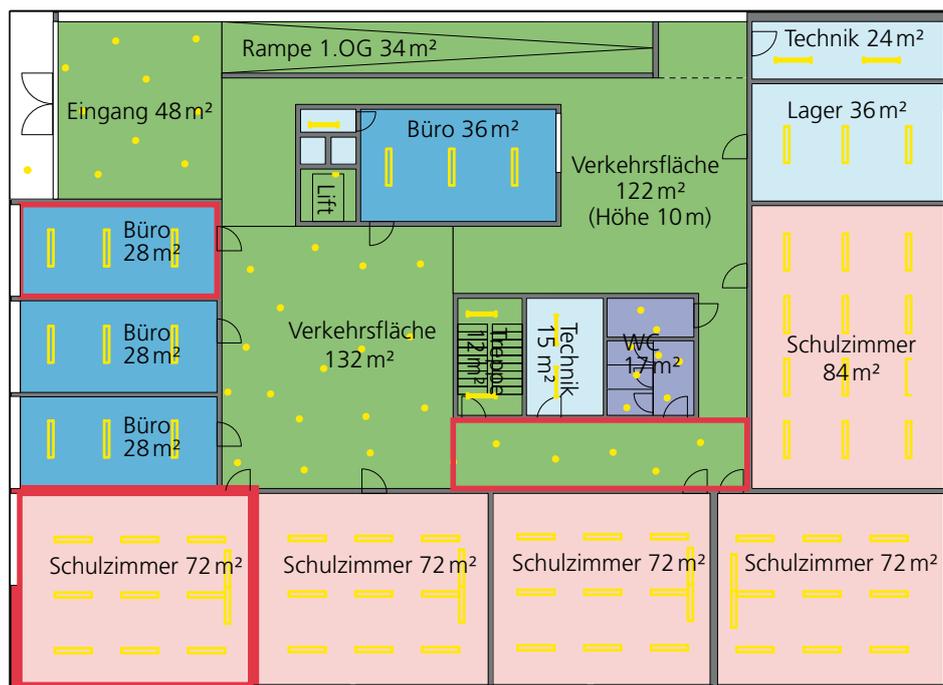


Abbildung 2.20: Grundriss eines Schulhauses mit markierten Nutzungen und typischen Räumen.

Leuchten erfassen

In jedem typischen Raum werden Fläche, Leuchtenzahl und -leistungen erfasst und die spezifische installierte Leistung berechnet.

■ **Leuchten mit Leuchtstofflampen:** Die eingesetzten Leuchtmittel haben eine standardisierte Leistung, z. B. 28 Watt oder 58 Watt. Die Wattage ist auf dem Leuchtmittel aufgedruckt (gegebenenfalls muss die Abdeckung der Leuchte entfernt werden, damit die Lampe identifiziert werden kann). Zusätzlich zur Lampenleistung muss die Verlustleistung des Vorschaltgeräts hin-

zugezählt werden (plus ca. 10%), um die effektive Leistung der ganzen Leuchte zu erhalten. Beispiel: Eine Leuchte mit zwei Leuchtstoffröhren à 28 Watt und einer Verlustleistung des Vorschaltgeräts von 5 Watt hat eine Gesamtleistung von 61 Watt.

■ **Leuchten mit LED:** Die elektrische Leistung ist häufig nicht so einfach ermittelbar wie bei herkömmlichen Leuchten mit Leuchtstofflampen. Meist muss ein Datenblatt der Leuchte beschafft werden, um die Leistung zu bestimmen.

Tabelle 2.17 zeigt die Bilanzierung der Leistungen der eingesetzten Leuchten zum gesamten Projektwert für das Schulzimmer (1182 Watt). In Tabelle 2.18 wird der Projektwert bezogen auf die Leistung von 72 m² angegeben und mit den Anforderungen verglichen (vergleiche Tabelle 2.15: Spalten Spezifische Leistungen für Grenz- bzw. Zielwerte). Der Projektwert von 16,4 W/m² liegt deutlich über dem SIA-Grenz- und Zielwert.

Abbildung 2.21:
Typischer Schulraum
mit Installations-
grundriss.

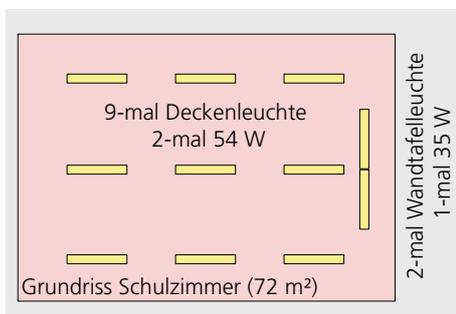


Abbildung 2.22:
Innenansicht des
gecheckten Schul-
zimmers.



Tabelle 2.17:
Leistungsbilanz im
typischen
Schulzimmer.

	Leuchtenkategorie	Systemleistung	Anzahl	Gesamtleistung
Leuchtentyp 1	Pendelleuchte	122 W	9	1098 W
Leuchtentyp 2	Wandtafel-Leuchte	42 W	2	84 W
Projektwert				1182 W

Tabelle 2.18:
Vergleich mit den
Anforderungen im
typischen
Schulzimmer.

	Fläche	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
Schulzimmer	72 m ²	16,4 W/m ²	11,0 W/m ²	7,2 W/m ²

Beleuchtungsstärke messen

Mit einem Luxmeter sind die (horizontalen) Beleuchtungsstärken im verdunkelten Raum an verschiedenen Stellen zu messen (Abbildung 2.23). In Arbeitsräumen wird die Beleuchtungsstärke auf Tischhöhe, in allen übrigen Räumen auf dem Boden gemessen. Das Luxmeter sollte von guter Qualität sein und eine V-Lambda-Korrektur generieren (Farbempfindlichkeitsverteilung des menschlichen Auges).

■ Die volle Helligkeit erreichen Leuchtstofflampen erst nach mehreren Minuten. Eine Beleuchtung sollte demnach 15 Minuten vor der Messung in Betrieb sein. Bei LED-Beleuchtung muss keine Wartezeit einberechnet werden, die Leuchten geben sofort die volle Lichtmenge ab.

■ Der Raum sollte möglichst gut verdunkelt werden. Wenn dies nicht möglich ist, kann auch eine Differenzmessung durchgeführt werden. Zu diesem Zweck misst man an definierten Punkten die Beleuchtungsstärke mit und ohne Kunstlicht und subtrahiert die zwei gemessenen Werte voneinander. Bei zu grossem Tageslichteintrag ist diese Methode nicht empfehlenswert.

■ Die Messpunkte richten sich sinnvollerweise nach einem Raster (Abbildung 2.24).

■ Eine Messung soll an der hellsten Stelle, zum Beispiel in der Raummitte, erfolgen; ferner sollen Messungen ca. 1 Meter von der Wand entfernt erfolgen. 10 bis 15 Messpunkte pro Raum sind genügend.

■ Aus den Messergebnissen wird der Mittelwert gebildet und auf 50 Lux gerundet; eine genauere Angabe ist nicht zweckmässig.

■ Die gemessene Beleuchtungsstärke kann mit den entsprechenden Werten der Norm SIA 387/4 verglichen werden.

Blendung beurteilen

Für die Blendung gibt es gemäss der EN 12464 neben der Beleuchtungsstärke ebenfalls einzuhaltende Anforderungen. Diese zu messen, ist relativ aufwendig. Beim Beleuchtungsscheck kann nur eine subjektive Beurteilung durchgeführt werden. Folgende Anhaltspunkte für erhöhte Blendung können beobachtet werden.

■ Kleine Leuchten mit geringer Leuchtfläche blenden stärker als Leuchten mit grosser Leuchtfläche.

■ Wenn der direkte Sichtkontakt in die Leuchte abgeschirmt ist, wird die Blendung reduziert.

■ Eine grosse Anzahl von Leuchten mit kleiner Leistung blenden weniger als wenige Leuchten mit hoher Leistung (z. B. in Turn- und andern Hallen wichtig)

Wichtig für die Beurteilung ist eine Betrachterposition, die der typischen Nutzung im Raum entspricht – wenn man auf den Boden liegt und senkrecht in die Leuchte schaut, blendet jede Leuchte!

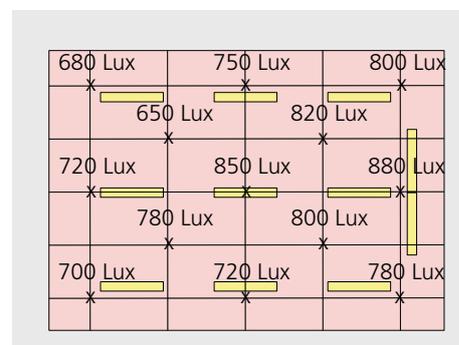


Abbildung 2.23 (links): Luxmeter zur Messung der Beleuchtungsstärke.

Abbildung 2.24 (rechts): Messraster für die Beleuchtungsstärke.

	Beleuchtungsstärke E			Gleichmässigkeit U_0
	E_{mittel}	E_{min}	E_{max}	$E_{\text{min}}/E_{\text{mittel}}$
Schulzimmer	750	650	850	0,88
Anforderung	500	–	–	mindestens 0,6

Tabelle 2.19: Anforderungen EN 12464 und SIA 387/4 an die Beleuchtungsstärke und Gleichmässigkeit.

Tageslichtnutzung beurteilen

Die Möglichkeit der Tageslichtnutzung – und die damit verbundene Einsparung bei der künstlichen Beleuchtung – hängt von zahlreichen Einflussfaktoren ab. In erster Näherung kann die Tageslichtnutzung auf der Basis von 5 Einflussfaktoren beurteilt werden. Das hier dargestellte Verfahren ist eine Vereinfachung des Beleuchtungsmodells nach SIA 387/4 und für Beleuchtung checks zweckmässig (Tabelle 2.20).

■ **Glas- zu Bodenfläche:** Verhältnis zwischen der Nettobodenfläche eines Raumes zur Nettoglasfläche der Fenster im Raum.

■ **Verschattung der Umgebung:** Steht das Gebäude im innerstädtischen Umfeld oder auf der freien Wiese – oder irgendwo dazwischen?

■ **Raumhelligkeit:** Helle Räume haben nebst weissen Wänden und Decken auch helle (und wenige) Möbel. Dunkle Räume weisen Wände in intensiven oder dunklen Farben, Sichtbeton oder Holz aus. Als «normal» kann alles dazwischen betrachtet werden.

■ **Art des Sonnenschutzes:** Der Behang kann aus aussenliegenden Storen bestehen (hell, mittel, dunkel) oder aussen- respektive innenliegenden Stoffmarkisen (hell, mittel, dunkel). Nicht immer ist ein Sonnenschutz zwingend nötig. Vor allem Räume gegen Norden oder Räume, bei denen das Direktlicht durch die Umgebung (Gebäude, Berge oder Bäume) teilweise abgeschirmt wird, können durchaus einen mittleren bis guten Sonnenschutz gewähren.

Einflussfaktor	Tageslichtwirkung		
	gut	mittel	gering oder keine
Fenster zu Bodenfläche	über 25 %	15 % bis 25 % X	unter 15 %
Verschattung durch Umgebung	freie Sicht	Sicht teilweise eingeschränkt X	innerstädtisch
Raumhelligkeit	hell	normal	dunkel X
Sonnenschutz Behang	helle Lamellen X	dunkle Lamellen oder helle Markisen	dunkle Markisen
Sonnenschutz Regelung	voll automatisiert, wetterabhängig	einfache Automatisierung X	manuell
Gesamtbewertung		X	

Tabelle 2.20:
Einfaches Beurteilungsraster für die Tageslichtnutzung.

Abbildung 2.25:
Sonnenschutz im Vergleich mit heller Lamelle (gut), Markise (mässige Wirkung) oder Rollo innen (ungünstig).
(Bilder: Schenker Storen AG, Stobag AG, JalouCity)



■ **Regelung des Sonnenschutzes:** Ist die Regelung des Sonnenschutzes voll automatisiert und wetterabhängig geregelt oder mit einfacher Regelung oder manuell (elektrisch oder mechanisch) bedienbar?

Eine einfache Gesamtbeurteilung kann mit Tabelle 2.20 durchgeführt werden. Die Mehrheit der zutreffenden Beurteilungen bestimmt den Gesamtwert.

Lichtregulierung prüfen

Die effektiven Volllaststunden einer Beleuchtung hängen von der individuellen Nutzung ab und sind daher von Projekt zu Projekt verschieden. Die Referenzwerte nach Norm SIA 387/4 basieren auf einem standardisierten Benutzerverhalten. Daraus lassen sich in Abhängigkeit von der Tageslichtsituation, der Art der Lichtsteuerung und der Nutzung vergleichbare Volllaststundenzahlen für den Projektwert ableiten. Dieser kann an den SIA-Grenz- und Zielwerten gemessen werden.

■ **SIA-Grenzwert:** Manuelle Steuerung von Tageslicht und Präsenz. Die Beleuchtung wird über Lichtschalter von Hand ein- und ausgeschaltet.

■ **SIA-Zielwert:** Präsenzregelung mit einer Nachlaufzeit von 5 Minuten und Tageslichtregelung durch Konstantlicht-Dimnung.

In der Praxis werden meistens kombinierte Tageslichtpräsenzsensoren eingesetzt, die das Licht in Abhängigkeit von Personen und Tageslicht ein- und ausschalten. Aktuell werden häufig sogenannte Passiv-Infrarot-Sensoren (PIR) eingesetzt (vergleiche Abbildung 2.26). Zunehmend kommen auch andere Sensortechniken zur Anwendung (z. B. Hochfrequenz oder Mikrowellen). Der typische Präsenzmelder hat 3 Einstellmöglichkeiten:

■ **Voll- oder halbautomatisch:** Bei vollautomatischem Betrieb wird die Beleuchtung ein- und ausgeschaltet (auto on-off); beim halbautomatischen Betrieb wird nur automatisch abgeschaltet, das Einschalten erfolgt von Hand (auto-off).

■ **Nachlaufzeit:** Zeitspanne zwischen der Detektierung von Personenabwesenheit und dem automatischen Abschalten der Beleuchtung.

■ **Beleuchtungsstärke:** Bei welcher gemessenen Lux-Zahl auf der Arbeitsfläche soll der Sensor ein Ein- bzw. Ausschaltsignal erhalten. Diese Messung (in einem kombinierten Tageslichtpräsenzsensoren) ist sehr ungenau, da die Platzierung der Sensoren meist auf Anwesenheitsmessung und nicht auf Tageslicht optimiert ist.

Tabelle 2.21 zeigt das Beurteilungsraster der Lichtregelung im Schulzimmer. Die

	Projektwert	SIA-Grenzwert	SIA-Zielwert
Präsenzregelung	Auto off	manuell	Auto-on-off
Nachlaufzeit	15 Minuten	–	5 Minuten
Tageslichtregelung	Auto off	manuell	Konstantlicht
Volllaststunden	750 h/a	1300 h/a	450 h/a
	Berechnung mit www.lighttool.ch	siehe Tabelle 2.15	siehe Tabelle 2.15

Tabelle 2.21: Beurteilungsraster für die Lichtregelung am Beispiel eines Schulzimmers.



Abbildung 2.26: Bauformen von Präsenzmeldern (meist in Kombination mit Tageslichtsensor).

Volllaststunden für die Grenz- und Zielwerte können der Tabelle 2.15 entnommen werden. Die Werte für den Objektwert können mit dem Onlinetool www.lighttool.ch berechnet werden.

Energiebilanz erstellen

Die ermittelten Werte eines typischen Schulraumes werden den Referenzwerten gegenübergestellt und eine Energiebilanz mit Einsparpotenzial erstellt (Tabelle 2.22).

■ **Spezifischer Energiebedarf:** Multiplikation der installierten Leistung mit der Volllaststundenzahl.

■ **Energiebedarf:** Multiplikation des spezifischen Energiebedarfs mit der Gesamtfläche des Gebäudes.

■ **Energieeinsparung:** Differenz zwischen Grenz- und Projektwert respektive Ziel- und Projektwert.

■ **Energiekosteneinsparung:** Energieeinsparung multipliziert mit dem Energiepreis (z. B. 20 Rp./kWh)

Für alle typischen Räume wird analog vorgegangen; danach lässt sich eine Gesamtbilanz und die Energieeinsparung für das Gebäude berechnen (Tabelle 2.23 und Tabelle 2.24).

Tabelle 2.22: Energieeinsparung in einem Schulzimmer im Vergleich zu Grenz- und Zielwert nach Norm SIA 387/4 (Beispiel).

Erfassungsschritt	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
1. Typischer Raum	Schulzimmer: 72 m ²		
2. Installierte Leistung	16,4 W/m ²	11,0 W/m ²	7,2 W/m ²
3. Mittlere Beleuchtungsstärke	750 Lux	500 Lux	
4. Blendung	subjektiv i. O.	–	–
5. Tageslichtnutzung	mittel	mittel	gut
6. Lichtregelung + Volllaststunden	auto-off, 15 Min. 750 h/a	manuell 1300 h/a	auto-off, 5 Min. 450 h/a
Berechnung	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
Spezifischer Energiebedarf	12,3 kWh/m ²	14,3 kWh/m ²	3,2 kWh/m ²
Gesamtfläche	alle Schulzimmer: 372 m ²		
Energiebedarf	4580 kWh/a	5320 kWh/a	1190 kWh/a
Energieeinsparung		–	–3390 kWh/a
Energiekosteneinsparung		–	ca. –680 Fr./a

Tabelle 2.23: Energiebilanz Beleuchtung für das ganze Gebäude.

Nutzung	Fläche (m ²)	Projektwert (kWh/a)	Grenzwert (kWh/a)	Zielwert (kWh/a)
Schulzimmer	372	12,3	14,3	3,2
Büro	120	15,0	17,5	2,8
Korridor	352	6,0	4,9	0,7
Übrige Räume	(80)	–	–	–
Total	844	10,1	10,8	2,1

Tabelle 2.24: Energieeinsparung in einem Gebäude als Vergleich von Projektwert und Grenz- und Zielwert nach Norm SIA 387/4.

Berechnung	Projektwert	Grenzwert	Zielwert
Energiebedarf	8500 kWh	9100 kWh	1800 kWh
Energieeinsparung		–	– 6700 kWh
Energiekosteneinsparung			– 1340 Fr.
Einsparung in 15 Jahren			–20 000 Fr.