

Energieeffiziente Beleuchtung für kleine und mittlere Betriebe



Schweizerische Agentur für
Energieeffizienz

[S · A · F · **E**]

 energie schweiz

Inhalt

1. Einleitung	3
Typische Anwendungen	3
2. Schnell-Check	4
Vorgehen	4
Hinweise zu den Fragen	4
3. Detailanalyse	7
Vorgehen in 10 Schritten	7
Nutzungen und typische Räume definieren	8
Leuchten und Lampen erfassen	9
Beleuchtungsstärke messen	10
Referenzwerte für die installierte Leistung	11
Tageslichtnutzung	12
Referenzwerte für die Volllaststunden	12
Energiebilanz	13
4. Massnahmen	14
Ersatz von Leuchtmitteln (Retrofit)	14
Umrüsten bestehender Leuchten	14
Lichtregelungen installieren oder optimieren	15
Gesamtplanung nach Minergie	15
5. Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit	18
Rechenbeispiel	19

Impressum

Herausgeber: Bundesamt für Energie BFE

Autor: Stefan Gasser, Schweizerische
Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E.

Herstellung: Oerlikon Journalisten AG

Januar 2011

1. Einleitung

Dieser Ratgeber hilft bei der Sanierung von Beleuchtungsanlagen in kleinen und mittleren Betrieben. Dabei geht es vorwiegend um einfachere Erneuerungen (1-zu-1-Ersatz von Leuchtmitteln oder Leuchten, Nachrüstung mit Lichtsteuerungen). Die Totalerneuerung von Beleuchtungsanlagen (mit neuem Beleuchtungskonzept) und Anlagen in Neubauten stehen dagegen nicht im Fokus dieses Ratgebers; die wesentlichen Elemente können aber sinngemäss auch im Neubaufall angewendet werden.

Zielpublikum sind Beratungsstellen der Elektrizitätswerke, technisch versierte KMU-Besitzer, Gemeindeverwaltungen, Hauswarte, Elektriker und Elektroplaner.

Typische Anwendungen

- Kleine bis mittlere Schulanlagen
- Kleinere Verwaltungen und Bürohäuser
- Kleinere Läden und Shops
- Gewerbebetriebe
- Restaurants
- Generell Zweckbauten zwischen ca. 200 m² und 2000 m² Nutzfläche.

Im Zentrum steht ein 3-stufiger Licht-Check.

Schnell-Check: Dieser beantwortet die Frage, ob eine energetische Optimierung der Beleuchtung notwendig ist. Der Schnell-Check kann auch durch Nicht-Fachleute durchgeführt werden.

Detailanalyse: Hier wird eine Ist-Analyse der bestehenden Beleuchtung und eine Energiebilanz mit Einsparpotenzial erstellt. Die Detailanalyse sollte von einem Techniker durchgeführt werden.

Massnahmenplanung: Es wird eine Massnahmenliste zur Ausschöpfung des Potenzials erarbeitet. Die Massnahmenplanung sollte durch eine Fachperson für Beleuchtung durchgeführt werden.

Der Licht-Check eignet sich auch für kleinere Betriebe, die im Wesentlichen aus einem Raum bestehen – zum Beispiel Läden, Coiffeursalons, Restaurants. In solchen Läden entfallen die Einteilung in verschiedene Nutzungen und die Definition von typischen Räumen, da sowohl im Schnell-Check als auch in der Detailanalyse nur dieser eine Raum untersucht wird.



Abbildung 1: Glüh- und Entladungslampen

2. Schnell-Check

Mittels Schnell-Check wird der grundsätzliche Nutzen einer Beleuchtungserneuerung geklärt. Der dafür verwendete Fragebogen enthält 10 relevante Fragen zur Beleuchtung und kann auch durch Nicht-Techniker beantwortet werden. Ideale Voraussetzung ist, wenn die beantwortende Person den Betrieb aus dem eigenen Alltag kennt und der Fragebogen vor Ort ausgefüllt werden kann.

Vorgehen

A Beantworten Sie einige **allgemeine Fragen** zum Gebäude (Tabelle 1):

- Beleuchtete Fläche
- Jährlicher Stromverbrauch
- Technisierungsgrad des Gebäudes

B Wählen Sie einen **typischen Raum der Hauptnutzung** im Gebäude aus; dieser soll repräsentativ für die Grosszahl der anderen Räume oder flächenmässig dominant sein (zum Beispiel Schulzimmer, Büro, Verkaufsfläche).

C Beantworten Sie die **10 Fragen** zur Beleuchtung (Tabelle 2, Seite 6) und setzen die Punktzahl (in Klammern) in die hintere Spalte unter **Raum 1** ein.

D Wählen Sie einen **typischen Teil der Verkehrsfläche** im Gebäude aus; zum Beispiel Eingangshalle oder Korridor eines Geschosses. (Dieser Punkt kann für «1-Raum-Betriebe» entfallen.)

E Beantworten Sie die **10 Fragen** zur Beleuchtung (Tabelle 2) und setzen die Punktzahl (in Klammern) in die hintere Spalte unter Raum 2 ein. (Dieser Punkt kann für «1-Raum-Betriebe» entfallen.)

F Zählen Sie die Punktzahlen für beide Räume zusammen und vergleichen Sie diese mit der Klassierung in Abbildung 2.

Hinweise zu den Fragen

1. Lichtmenge (subjektiver Eindruck)

- Wenn es in einem Büro oder Schulzimmer für einen Erwachsenen bei Kunstlicht anstrengend ist, eine 12-Punkt-Schrift auf einem weissen Hintergrund zu lesen, ist die Beleuchtung zu dunkel.
- Wenn es in einem Korridor bei Kunstlicht ähnlich hell ist wie im Büro oder Schulzimmer, ist die Beleuchtung zu hell.

2. Blendung (subjektiver Eindruck)

- Stark: direkte, störende Blendung der Lampen ohne Blick zur Decke (zum Beispiel bei Lampen ohne jegliche Abdeckung, offene Leuchtstoffröhren)
- Mässig: direkte, störende Blendung der Lampen mit Blick zur Decke
- Keine: mit Diffuser oder Lamellen weitgehend verdeckte Lampen.

Allgemeine Angaben zum Gebäude

Gebäudetyp	
Standortadresse	
Fläche in m ² (netto, brutto oder Energiebezugsfläche)	
Stromverbrauch in kWh/a (Hoch- und Niedertarif)	
Technisierung (tief = ohne mechanische Lüftung, mittel = Lüftung oder Teilklimatisierung, hoch = volle Klimatisierung)	

Tabelle 1: Allgemeine Angaben zum Gebäude

Ab 16 Punkte:

Erneuerungsbedarf gegeben, Detail-Check durchführen, (rot).

6 bis 15 Punkte:

Erneuerungsbedarf prüfen, Detail-Check empfohlen, (orange).

0 bis 5 Punkte:

Keine Erneuerung der Beleuchtung nötig, (grün).

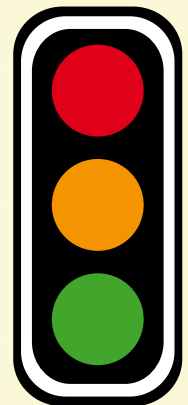


Abbildung 2: Klassierung für die Auswertung der Punktzahlen

3. Anteil Glühlampen

- Zählen Sie im betrachteten Raum alle Lampen und teilen Sie sie auf in Glühlampen und Entladungslampen (Abbildung 1).

4. Einschaltverhalten

- Glühlampen und Halogenlampen starten praktisch sofort.
- Entladungslampen mit guten elektronischen Vorschaltgeräten sind flackerfrei.
- Entladungslampen mit konventionellen Vorschaltgeräten flackern beim Einschalten; stark in die Jahre gekommene Vorschaltgeräte brummen.

5. Lichtverteilung

- Strahlt das Licht direkt oder gemischt (direkt-indirekt) aus der Leuchte heraus, dann sind die Voraussetzungen für eine effiziente Lichtlösung gut.
- Leuchten, die mehr als 90 % ihres Lichtes über die Decke abgeben oder das Licht indirekt – zum Beispiel aus einem Schlitz in der Decke herausstrahlt – sind häufig sehr ineffizient.

6. Alter der Leuchten

- Weniger als 5 Jahre: bei neueren Beleuchtungen ist eine Erneuerung meist nicht sinnvoll. Ausnahme: Ersatz von Glüh- und Halogenlampen durch Spar- oder LED-Lampen oder Installation einer Lichtsteuerung.
- Alter bis 15 Jahre: In Kombination mit verschiedenen beleuchtungstechnischen Mängeln ist eine Erneuerung unter Umständen sinnvoll. Lampenersatz wie vorher beschrieben.
- Über 15 Jahre: Eine Beleuchtungserneuerung ist häufig sinnvoll, auch wenn es Ausnahmen gibt.

7. Lichtsteuerung

- 1 Schalter pro Raum: in grösseren öffentlichen Räumen sollten mindestens Zonenschaltungen (Mehrere Schalter pro Raum) vorhanden sein, damit zum Beispiel Arbeitsplätze oder Zonen mit und ohne Tageslicht getrennt voneinander geschaltet werden können.
- Mehrzonenschaltung: Es kann auch zu viele Schalter geben oder ihre Anord-

nung ist so unübersichtlich, dass sich der Nutzer ständig vertippt.

- Bewegungsmelder oder Minuterie: in öffentlichen Räumen die optimale Lösung (wenn korrekt installiert und funktionsfähig). In Treppenhäusern und Garagen sind Minuterien häufig die effizientere und günstigere Lösung als Bewegungsmelder.

8. Benutzerakzeptanz Lichtsteuerung

- Fragen Sie die Nutzer, ob Sie zufrieden sind mit der Beleuchtungssteuerung, vor allem wenn sie automatisch ist. Sie erfahren sofort, welche Antwort die richtige ist.

9. Helligkeit

- Hell: weisse Wände, helle Möbel, weisse Decke
- Dunkel: Wände aus Sichtbeton, dunkles Holz, intensive oder dunkle Farben
- Mittel: alles, was (subjektiv) zwischen dunkel und hell liegt.

10. Sonnenschutz

- Verstellbare Lamellen: optimaler Sonnenschutz, weil das direkte, blendende Licht abgehalten wird, das diffuse, indirekte Licht aber in den Raum dringen kann. Aussen liegende Lamellen sind aus thermischen Gründen besser als innen liegende. Automatisch gesteuerte Lamellen sind in der Praxis oft störungsanfällig.
- Markisen: Rollos oder Vorhänge halten neben dem Direktlicht auch einen grossen Teil des diffusen Lichtes ab; Markisen sind günstiger und werden von Architekten häufig bevorzugt, bieten aber einen schlechteren Sonnenschutz als Lamellen.
- Kein Sonnenschutz: bei Nordfenstern meist kein Problem; bei anderen Himmelsrichtungen in Arbeitsräumen meist problematisch.

Zehn Fragen zur Beleuchtung					
Subjektiver Eindruck der Beleuchtung				Raum 1	Raum 2
1. Lichtmenge	gut (0)	zu hell (2)	zu dunkel (2)		
2. Blendung	keine (0)	mässig (1)	stark (2)		
Lampen (Leuchtmittel)					
3. Anteil Glühlampen	unter 10 % (0)	bis 50 % (4)	über 50 % (8)		
4. Einschaltverhalten	Sofortstart (0)	flackern (2)	flackern und brummen (4)		
Leuchten (Lampenschirme)					
5. Lichtverteilung	direkt (0)	direkt + indirekt (0)	über 90 % indirekt (2)		
6. Alter der Leuchten	unter 5 Jahre (0)	bis 15 Jahre (2)	über 15 Jahre (4)		
Lichtsteuerung					
7. Lichtsteuerung	Präsenzmelder oder Schaltuhr (0)	Mehrzonen Schaltung (1)	1 Schalter pro Raum (2)		
8. Benutzerakzeptanz	gut (0)	befriedigend (1)	mangelhaft (2)		
Raum					
9. Helligkeit	hell (0)	mittel (1)	dunkel (2)		
10. Sonnenschutz	Lamellen (0)	Markisen (1)	keiner (2)		
Total Punktzahl					
Detail-Check empfohlen (ja/nein)					

Tabelle 2: Zehn Fragen zur Beleuchtung

3. Detailanalyse

Die Detailanalyse soll das realisierbare Sparpotenzial der Beleuchtung aufzeigen. Zuerst wird der Ist-Zustand erfasst und eine Energiebilanz erstellt. Ein Vergleich mit Referenzwerten aus der Norm SIA 380/4 «Elektrische Energie im Hochbau» ermöglicht eine Abschätzung des Einsparpotenzials. Dieser Schritt kann durch Kombination verschiedener Massnahmen realisiert werden. Die Detailanalyse sollte von einer Fachperson für Beleuchtung durchgeführt werden.

Vorgehen in 7 Schritten

1. Nutzungen und typische Räume definieren (dieser Punkt kann für «1-Raum-Betriebe» entfallen).
2. Leuchten und Lampen erfassen.
3. Beleuchtungsstärken messen.
4. Referenzwert für die installierte Leistung bestimmen.
5. Tageslichtsituation beurteilen.
6. Referenzwert für jährlichen Volllaststunden bestimmen.
7. Energiebilanz und Einsparpotenzial berechnen

Auf der Basis der Detailanalyse können Massnahmen definiert werden (Kapitel 4).

Schritt 1

Nutzungen und typische Räume definieren

Die Basis bilden Grundrisspläne des Gebäudes (vorzugsweise in Format A4); in diesen werden Räume gleicher Nutzung farbig markiert (Abbildung 3). Ferner werden die unterschiedlichen Raumtypen mit der jeweiligen Gesamtfläche aufgelistet (Tabelle 3). Für die flächenmässig grössten oder energetisch wichtigsten Nutzungen wird je ein typischer Raum ausgewählt. Diese typischen Räume werden für die Bestandesaufnahme im Gebäude stellvertretend für alle anderen Räume der gleichen Nutzung verwendet.

Beispiel

- 1 Schulzimmer
- 1 Büro
- 1 Stück Verkehrsfläche (rechteckiger Ausschnitt)
- Lager, Technik und WC werden nicht näher untersucht.

Raum	Fläche
Schulzimmer	372m ²
Verkehrsfläche	352m ²
Büro	120m ²
Lager, Technik	80m ²
WC	17m ²
Total	941m²

Tabelle 3: Raumliste mit Flächen

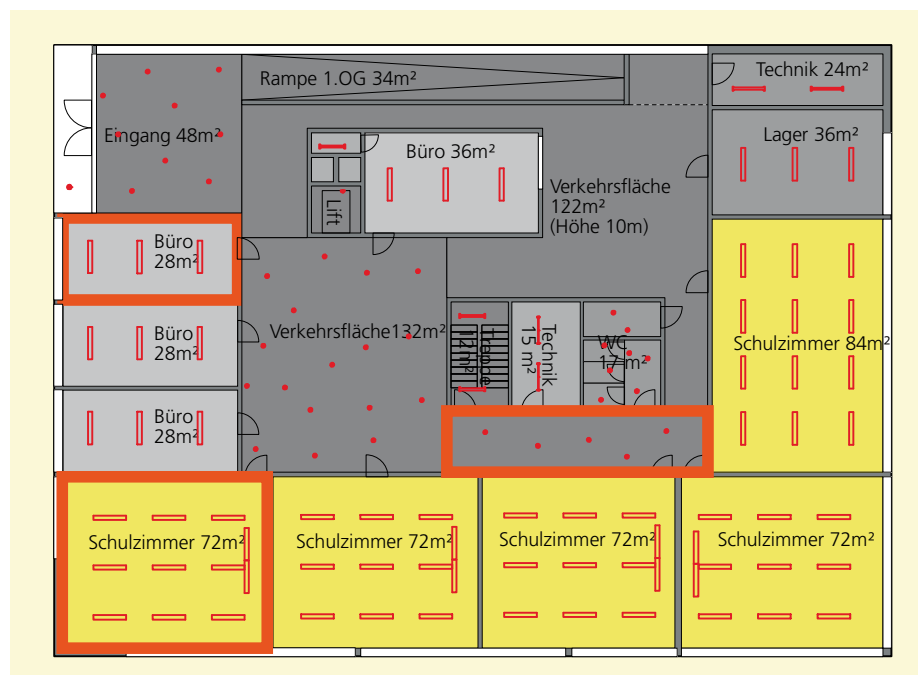


Abbildung 3: Grundriss eines typischen Geschosses im Beispielgebäude

Schritt 2**Leuchten und Lampen erfassen**

In jedem typischen Raum werden Fläche, Leuchenzahl und deren Leistungen erfasst (Abbildung 4) und die spezifische installierte Leistung berechnet.

Leuchtentyp 1

- Deckenleuchten: 9 Stück
- Lampen: pro Leuchte 2-mal 54 Watt Leuchtstofflampen
- Vorschaltgeräte: elektronisch, 1 Stück pro Leuchte, 6 Watt Verlustleistung
- Systemleistung pro Leuchte: 114 Watt

Leuchtentyp 2

- Wandtafelbeleuchtung: 2 Stück
- Lampen: pro Leuchte 1-mal 35 Watt Leuchtstofflampe
- Vorschaltgeräte: elektronisch, 1 Stück pro Leuchte, 3 Watt Verlustleistung
- Systemleistung pro Leuchte: 38 Watt

Installierte Leistung

Aus obigen Angaben wird die installierte Leistung in W/m^2 berechnet:

$$\begin{aligned} & 9 \text{ Deckenleuchten à } 108 \text{ Watt} \\ + & 9 \text{ Vorschaltgeräte à } 6 \text{ Watt} \\ + & 2 \text{ Wandtafelleuchten à } 35 \text{ Watt} \\ + & 2 \text{ Vorschaltgeräte à } 3 \text{ Watt} \\ = & 1102 \text{ W} \end{aligned}$$

Fläche: 72 m^2

➔ **Spezifische Leistung: $15,3 \text{ W/m}^2$**

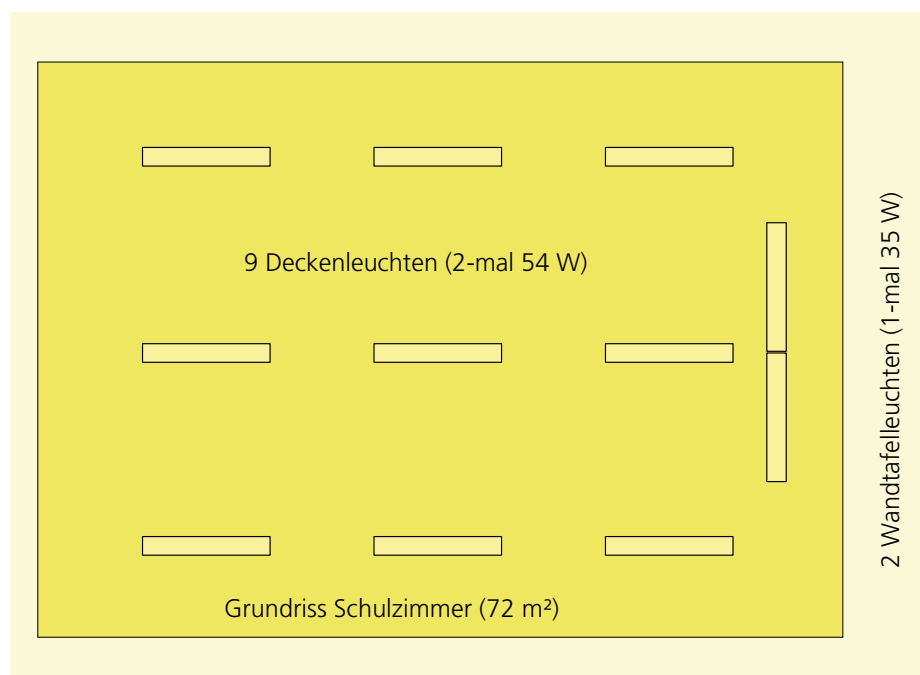


Abbildung 4: Plan zur Erfassung der Anzahl Leuchten und ihren Leistungen

Schritt 3**Beleuchtungsstärke messen**

Mit einem Luxmeter (Abbildung 5) werden die (horizontalen) Beleuchtungsstärken im verdunkelten Raum an verschiedenen Stellen gemessen. In Arbeitsräumen wird die Beleuchtungsstärke auf Tischhöhe, in allen übrigen Räumen auf dem Boden gemessen. Das Luxmeter sollte von guter Qualität sein und eine so genannte v-Lambda-Korrektur aufweisen. (Farbempfindlichkeits-Verteilung des menschlichen Auges).

Vorgehen zur Ermittlung der mittleren Beleuchtungsstärke

- Zuerst wird ein virtuelles Raster in den Raum gelegt und an jedem Schnittpunkt die Beleuchtungsstärke gemessen und registriert (Abbildung 6).
- Eine Messung erfolgt an der hellsten Stelle, meist in der Raummitte. Ferner wird in ca. 1 Meter Abstand von der Wand gemessen. 10 bis 15 Messpunkte pro Raum sind genügend.
- Aus den Messpunkten wird der Mittelwert gebildet und auf 50 Lux gerundet; eine genauere Angabe ist nicht zweckmäßig.
- Im günstigen Fall sollte der Maximalwert nicht mehr als doppelt so hoch sein wie der Minimalwert.

➔ Mittlere Beleuchtungsstärke im Beispiel: 750 Lux

➔ Maximale zu minimaler Beleuchtungsstärke: $650/880 = 0,74$

Hinweise zur Messung

- Die volle Helligkeit erreichen Leuchtstofflampen erst nach ca. 10 Minuten. Eine solche Beleuchtung muss also zuerst 10 Minuten brennen, bis gemessen werden kann.
- Wenn der Raum nicht ausreichend verdunkelt werden kann, ist es möglich, eine so genannte Differenzmessung durchzuführen. Zu diesem Zweck misst man im Raster an jedem Punkt mit und ohne künstliche Beleuchtung und subtrahiert die beiden gemessenen Werte voneinander. Dieses Vorgehen ist nur empfehlenswert, wenn durch das Kunstlicht mindestens eine Verdoppelung der Beleuchtungsstärke im Raum erreicht wird.



Abbildung 5: Luxmeter

680	Lux	750	Lux	800	Lux
x		x		x	
	650		820		
	Lux		Lux		
	x		x		x
720	Lux	850	Lux	880	Lux
x		x		x	
	780		800		
	Lux		Lux		
	x		x		x
700	Lux	720	Lux	780	Lux
x		x		x	

Abbildung 6: Virtuelles Raster zur Ermittlung der mittleren Beleuchtungsstärke

Schritt 4

Referenzwerte für die installierte Leistung

Der Referenzwert, der dem ermittelten Wert im typischen Raum gegenübergestellt wird, ist abhängig von der geforderten **Beleuchtungsstärke** und der **Raumgröße**. Die Referenzwerte werden von den Zielwert-Anforderungen der SIA-Norm 380/4 abgeleitet. Der Zielwert der SIA 380/4 wird auch für Projekte mit 2000-Watt-Standard angewendet. Nicht in jedem Fall ist allerdings die komplette Zielwerterreichung auch die wirtschaftlichste Lösung (Abbildung 7).

Je nach Raumtyp gelten andere Soll-Beleuchtungsstärken (Tabelle 4). Für einige Nutzungen gelten spezielle Referenzwerte:

- Schulsporthalle (300 Lux): 10,0 W/m²
- Parkhaus (75 Lux): 2,5 W/m²
- Laden (inkl. Akzentbeleuchtung): 16,0 W/m²

Raumtypen	Soll-Beleuchtungsstärke
Büro, Sitzungszimmer, Schulzimmer, Werkstatt (feine Arbeit), Behandlungszimmer	500 Lux
Werkstatt (grobe Arbeit), Aufenthaltszonen, Mehrzweckhallen	300 Lux
Schalterhalle, Restaurant, WC, Garderoben, Treppenhaus	200 Lux
Bettzimmer, Korridore, Lager, Nebenräume	100 Lux
Wohnen, Hotelzimmer	50 Lux

Tabelle 4: Beleuchtungsstärken je nach Raumtyp

Richtwert für die installierte Leistung in Abhängigkeit von Raumgröße und Beleuchtungsstärke

Installierte Leistung in W/m²

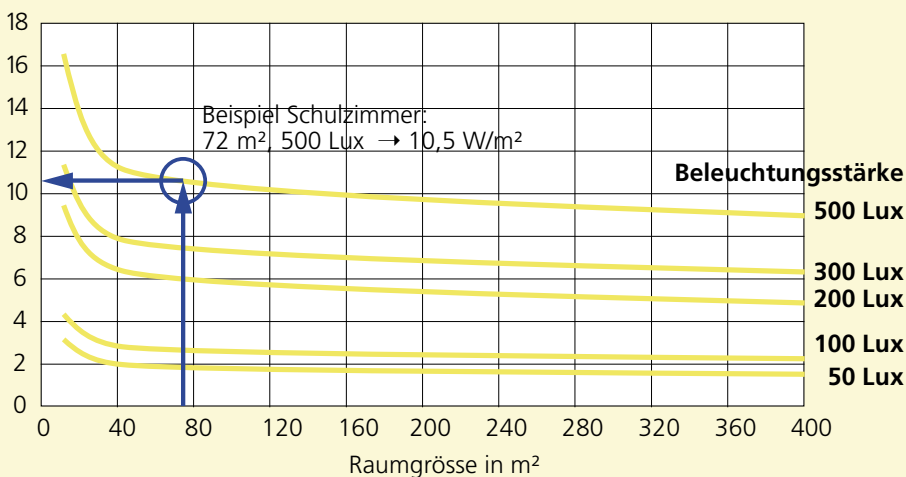


Abbildung 7: Richtwerte für die installierte Leistung in Abhängigkeit von Raumgröße und Beleuchtungsstärke

Schritt 5**Tageslichtnutzung**

In Räumen mit Tageslicht ist die Art des Sonnenschutzes dafür massgebend, wie viel Kunstlicht mittels Lichtsteuerung eingespart werden kann. Es gibt – aus Gründen der Tageslichtnutzung – gute, mittlere und ungenügende Arten des Sonnenschutzes (Tabelle 5).

Hinweis: In der SIA 380/4 sind weitere Tageslichteinflussfaktoren definiert. Aus Gründen der Handhabbarkeit werden hier nur die 3 wichtigsten verwendet.

Nicht immer ist ein Sonnenschutz zwingend nötig. Vor allem nach Norden ausgerichtete Räume oder Räume, bei denen das Direktlicht durch die Umgebung (Gebäude, Berge oder Bäume) teilweise abgeschirmt wird, können an sich schon einen mittleren bis guten Sonnenschutz bieten.

Neben dem Sonnenschutz sind die Grösse und die Lichttransmission des Fensterglases Einflussfaktoren für die Kunstlichtminderung mittels Lichtsteuerung (Tabelle 6). Für die Gesamtbeurteilung der Tageslichtsituation ist die tiefste Bewertung aller drei Einflussfaktoren massgebend.

Beispiel

- Guter Sonnenschutz
- Mittलगrosse Fensterfläche
- Hohe Glasdurchlässigkeit

➔ ergibt mittlere Tageslichtnutzung

Gut	<ul style="list-style-type: none"> • Aussen liegende, helle Lamellenstoren (Jalousien); elektrisch oder mechanisch.
Mittel	<ul style="list-style-type: none"> • Dunkle Lamellenstoren, elektrisch oder mechanisch. • Lichtundurchlässige Stoffmarkisen, aussen oder innen liegend. • Baulicher Sonnenschutz (unbeweglich)
Ungenügend	<ul style="list-style-type: none"> • Lichtdurchlässige Stoffmarkisen, aussen oder innen liegend • Vorhänge, Läden

Tabelle 5: Arten des Sonnenschutzes

Kunstlichtminderung	Verhältnis Glas- zu Bodenfläche	Lichttransmission Gläser
Gut	über 25 %	über 70 %
Mittel	15 % bis 25 %	50 % bis 70 %
Gering	unter 15 %	unter 50 %

Tabelle 6: Einflussfaktoren für die Kunstlichtminderung

Schritt 6
Referenzwerte für die Volllaststunden

Die effektiven Volllaststunden einer Beleuchtung hängen stark von der individuellen Nutzung ab und sind daher nur qualitativ bestimmbar. Um trotzdem Referenzwerte anbieten zu können, wird ein Modell nach SIA 380/4 verwendet. Dieses geht von einem standardisierten Benutzerverhalten aus. Daraus lassen sich in Abhängigkeit von Tageslichtsituation, Art der Lichtsteuerung und der Nutzung vergleichbare Volllaststundenzahlen ableiten.

Volllaststunden in Räumen mit regelmässiger Nutzung

Tageslicht und Präsenzsteuerung in Räumen mit regelmässiger Nutzung, zum Beispiel Büro, Schulzimmer, Erschliessungsflächen zu den Hauptnutzungen (Tabelle 7).

Volllaststunden von Flächen mit sporadischer Nutzung

Tageslicht und Präsenzsteuerung in Räumen mit sporadischer Nutzung, zum Beispiel WC, Garderoben, Lager, Erschliessungsflächen zu den Nebennutzungen. Die Zahlen gelten für Objekte mit einer typischen Jahresnutzungszeit von 2750 Stunden (entspricht 250 Tagen à 11 Stunden). In Verkaufsflächen gelten die effektiven Öffnungszeiten (Standardwert: 3600 Stunden pro Jahr)

Beispiel

- Nutzung Schulzimmer
- Tageslichtsituation: mittel
- Lichtregelung Tageslicht und Präsenz automatisch aus, manuell ein.

➔ Volllaststunden pro Jahr: 1000 h/a

Schritt 7

Energiebilanz

Die ermittelten Werte im typischen Raum (gemäss den vorherigen Kapiteln) werden den Referenzwerten gegenübergestellt und eine Energiebilanz mit Einsparpotenzial erstellt (Tabelle 9).

Schritt 7: Berechnung

- Aus installierter Leistung und Volllaststunden ergibt sich durch Multiplikation der spezifische Strombedarf im Beispiel und im Referenzfall
 - $15,4 \text{ W/m}^2 \times 1500 \text{ h/Jahr} / 1000 = 23,1 \text{ kWh/m}^2$
 - $10,5 \text{ W/m}^2 \times 1000 \text{ h/Jahr} / 1000 = 10,5 \text{ kWh/m}^2$
- Um den absoluten Strombedarf pro Jahr zu berechnen, wird die Gesamtfläche aller Schulzimmer mit gleicher Beleuchtung mit dem spezifischen Strombedarf multipliziert.
 - $23,1 \text{ kWh/m}^2 \times 372 \text{ m}^2 = 8742 \text{ kWh}$
 - $10,5 \text{ kWh/m}^2 \times 372 \text{ m}^2 = 3906 \text{ kWh}$
- Bei einem Strompreis von 20 Rappen pro kWh ergeben sich durch Multiplikation die jährlichen Stromkosten für die Beleuchtung der Schulzimmer.
 - $8742 \text{ kWh/Jahr} \times 20 \text{ Rp/kWh} = 1748 \text{ Fr./Jahr}$
 - $3906 \text{ kWh/Jahr} \times 20 \text{ Rp/kWh} = 781 \text{ Fr./Jahr}$
- Die Differenz zwischen unserem Beispiel und der Referenz ergibt das maximal mögliche Sparpotenzial. Dieses kann durch Umsetzung der geeigneten Massnahmen realisiert werden.
 - $1748 \text{ Fr.} - 781 \text{ Fr.} = 997 \text{ Fr./Jahr}$

Tageslicht-situation	Manuelle Steuerung	Automatisch ein/aus oder Konstantlicht	Automatisch aus, manuell ein
Gut	1000 h/a	600 h/a	500 h/a
Mittel	1500 h/a	1200 h/a	1000 h/a
Gering	2000 h/a	1800 h/a	1500 h/a
Kein Tageslicht	2750 h/a	2200 h/a	2000 h/a

Tabelle 7: Volllaststunden in Räumen mit regelmässiger Nutzung

Tageslicht-situation	Manuelle Steuerung	Automatisch ein/aus oder Konstantlicht	Automatisch aus, manuell ein
Gut	500 h/a	300 h/a	250 h/a
Mittel	1000 h/a	600 h/a	500 h/a
Gering	1500 h/a	900 h/a	750 h/a
Kein Tageslicht	2000 h/a	1100 h/a	1000 h/a

Tabelle 8: Volllaststunden Flächen mit sporadischer Nutzung

Erfasste Werte	Beispiel	Referenzwert	Schritt
Typischer Raum	Schulzimmer		1
Fläche des typischen Raumes	72 m ²		
Installierte Leistung	15,4 W/m ²	10,5 W/m ²	2 und 4
Mittlere Beleuchtungsstärke	750 Lux	500 Lux	3 und 4
Verhältnis Min./Max.	0,74	über 0,5	
Lichtregelung	Lichtschalter manuell	Präsenz und Tageslicht automatisch aus, manuell ein	
Tageslichtsituation	Mittel	Mittel	5
Volllaststunden	1500 h/a	1000 h/a	5 und 6

Tabelle 9: Erfasste Werte

Berechnung	Beispiel	Referenzwert
Spezifischer Strombedarf	23,1 kWh/m ²	10,5 kWh/m ²
Gesamtfläche aller Schulzimmer	372 m ²	
Strombedarf	8742 kWh/a	3906 kWh/a
Strompreis	20 Rp./kWh	20 Rp./kWh
Stromkosten	1748 Fr./a	781 Fr./a
Sparpotenzial pro Jahr	997 Fr./a	

Tabelle 10: Berechnung

4. Massnahmen

Es können 5 Typen von Massnahmen unterschieden werden.

1. Ersatz von Leuchtmitteln
2. Umrüsten von bestehenden Leuchten
3. Leuchtenersatz
4. Lichtregelungen installieren oder bestehende Lichtregelungen optimieren
5. Planung einer Minergiebeleuchtung

Die Investitionskosten der Massnahmen sind sehr unterschiedlich. Oft ist nicht die günstigste Variante die wirtschaftlichste.

Beispiel aus der Detailanalyse

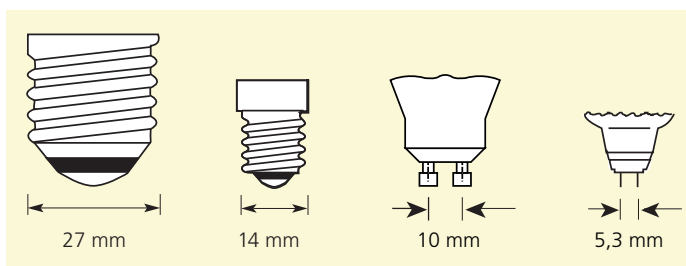
Im Beispiel «Schulzimmer» kann durch folgende Massnahmen der Strombedarf auf das Niveau des Referenzwertes gesenkt werden:

- Ineffiziente Leuchten durch effizientere mit einer niedrigeren Lampenleistung und höherem Wirkungsgrad (min. 75 %) ersetzen. (Massnahme Nr. 12).
- Manuelle Schaltungen durch Präsenzmelder, kombiniert mit Tageslichtsensoren, ersetzen. (Massnahme Nr. 21)
- Als Sonnenschutz aussen liegende, verstellbare, helle Lamellen installieren (Massnahme Nr. 25).

Ersatz von Leuchtmitteln (Retrofit)

Eine ineffiziente Lampe (= Leuchtmittel) wird 1-zu-1 durch eine effiziente mit gleichem Sockel ersetzt. Diese Massnahme ist jedoch nur bei bestimmten Sockeltypen möglich (Abbildung 8). Mögliche Massnahmen sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Abbildung 8: Die Sockeltypen, bei denen ein 1:1-Ersatz möglich ist.



Hinweise

- Für dimmbare Glüh- oder Halogenlampen gibt es spezielle Ersatz-Sparlampen. Die Qualität dieser dimmbaren Sparlampen ist aber oft nicht überzeugend.
- Dimmbare LED-Lampen sind erhältlich; die Mindestleistung des eingesetzten Dimmers ist zu beachten: Diese beträgt meistens mindestens 25 Watt.
- Nur Sparlampen mit mindestens 20000 Schaltzyklen und maximal 60 Sekunden Aufstartzeit verwenden. Diese Angaben müssen seit dem 1. September 2010 auf jeder Lampenverpackung deklariert sein.
- Nur LED-Lampen mit einem Farbwiedergabeindex (Bezeichnung Ra oder CRI) von mindestens 80 und einer Farbtemperatur von maximal 4000 Kelvin verwenden. Diese Angaben müssen seit dem 1. September 2010 auf jeder Lampenverpackung deklariert sein.
- Unbedingt die Abmessungen beachten: Einige Sparlampen und LED-Lampen sind grösser als die zu ersetzenden Glüh- oder Halogenlampen.

Umrüsten bestehender Leuchten

Alle Lampen ausser Glühlampen benötigen ein Betriebsgerät, das den 230-Volt-Wechselstrom in eine andere Spannungsart umwandelt (Abbildung 9). Es gibt viele Bezeichnungen für dieselbe Art von Gerät: Vorschaltgerät, Betriebsgerät, Transformator, Netzteil, Treiber, Driver. Veralterte oder ungeeignete Betriebsgeräte können durch eine Fachperson ersetzt werden. Mögliche Massnahmen sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Leuchtenersatz

Wenn die Leuchtmittel wegen ungeeigneter Sockel oder Betriebsgeräte nicht ersetzt werden können und ein Umbau der bestehenden Leuchten nicht möglich ist, kommt der Ersatz von Leuchten in Frage. Oft kann die neue Leuchte am selben Ort platziert werden, so dass ein grö-

sserer Installationsaufwand entfällt. Mögliche Massnahmen sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Hinweise

- Rein indirekt strahlende Leuchten sind meist sehr ineffizient, weil das Licht über eine mehr oder weniger helle Decke und grössere Distanz reflektiert werden muss. Eine optimale Beleuchtung ist in den meisten Fällen direkt strahlend, mit einem bestimmten Indirektanteil zur Raumaufhellung.
- Überdimensionierte Beleuchtungen sind keine Seltenheit. Weil das menschliche Auge so konstituiert ist, dass es ein riesiges Helligkeitsspektrum (Sonnentag: 100 000 Lux, Mondnacht: 1 Lux) verarbeiten kann und auf kleine Helligkeitsunterschiede relativ unempfindlich reagiert (600 Lux sind für einen Menschen objektiv nicht von 500 zu unterscheiden), sollten Beleuchtungsanlagen nicht überdimensioniert werden. Denn 600 Lux statt 500 Lux bedeutet 20 % mehr Energieverbrauch, ohne dass der Mensch es wahrnimmt.

Lichtregelungen installieren oder optimieren

Lichtregelungen können unter optimalen Bedingungen sehr hohe Einsparungen bringen. In vielen Fällen sind die Rahmenbedingungen aber nicht optimal: Zu wenig effektiv nutzbares Tageslicht, falsche Platzierung der Sensoren, keine Einregulierung der Sensoren, hoher Eigenverbrauch der Regelung. Messungen in der Praxis zeigen, dass einfache Regelungen meist grössere Energieeinsparungen bringen als komplexe Systeme. Mögliche Massnahmen sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Gesamtplanung nach Minergie

Bei einer Gesamtanierung kann meist durch ein neues Beleuchtungskonzept die effizienteste Lichtlösung gefunden werden; dabei muss keine Rücksicht auf die bestehende Positionierung der Leuchten genommen werden. Auf Gesamtanierungen wird in diesem Ratgeber nicht vertieft eingegangen.

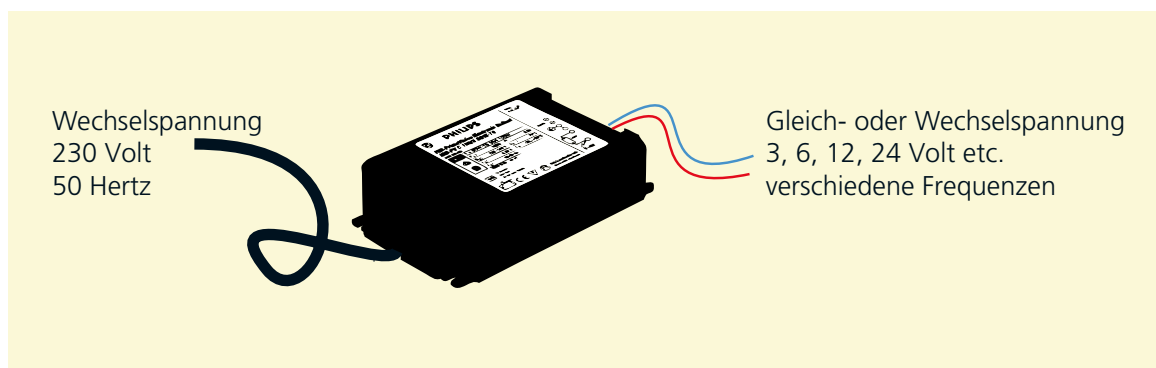


Abbildung 9: Vor-schaltgerät

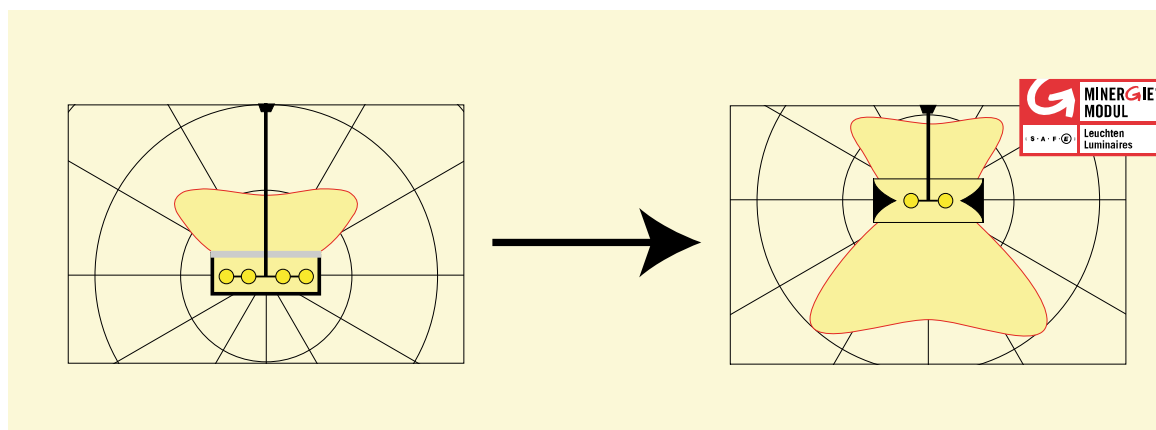


Abbildung 10: Mehr Lichteffizienz mit Minergieleuchten: toplight.ch

Nr.	Massnahmen: Retrofit	Nutzen
1	Klassische Glühlampen durch Sparlampen ersetzen. Leistungen von 100 Watt, 75 Watt, 60 Watt, 40 Watt oder 25 Watt werden durch Sparlampen mit ca. 25 % der Glühlampenleistung ersetzt. Gewindetypen: E27 oder E14.	+++
2	Glühlampenspots durch LED-Spots ersetzen. Leistungen von 100 Watt, 75 Watt, 60 Watt, 40 Watt oder 25 Watt werden durch LED-Spots mit ca. 20 % der Glühlampenleistung ersetzt. Gewindetypen: E27 oder E14.	+++
3	Halogenspots durch LED-Spots ersetzen. Interessant vor allem für die weit verbreiteten Spots vom Typ «PAR 50» mit Sockeln GU5.3, GU10, E27 und E14. Eine 35-Watt-Halogenlampe entspricht einer 4-Watt-LED. Für 50 Watt ist noch kein Ersatz verfügbar.	+++
4	Sparlampen im Aussenraum ersetzen. Durch spezielle Exterior-Sparlampen oder LED-Lampen; normale Sparlampen sind für den Aussenraum nicht geeignet.	+
5	Minderwertige Sparlampen ersetzen. Durch hochwertige und schaltfeste Typen (Schaltzyklen über 100 000-mal on-off) ersetzen.	++

Tabelle 11: Retrofit

Nr.	Massnahmen: Umrüstung bestehender Leuchten	Nutzen
6	KVG durch EVG ersetzen. Bei Leuchten mit Leuchtstofflampen können konventionelle magnetische Vorschaltgeräte (KVG) durch elektronische Vorschaltgeräte (EVG) ersetzt werden.	+
7	38-mm durch 26-mm-Röhren ersetzen. Leuchtstoffröhren (20 Watt, 40 Watt, 65 Watt, Durchmesser 38 mm) können durch Leuchtstoffröhren (18 Watt, 36 Watt, 58 Watt, Durchmesser 26 mm) ersetzt werden; dadurch wird die Lichtmenge sowie die Farbwiedergabe erhöht und die Lebensdauer der Lampen verlängert. Gleichzeitig wird ein Umbau auf elektronische Vorschaltgeräte empfohlen.	++
8	High Efficiency statt High-Output. Bei Leuchtstoffröhren der neusten Generation (Durchmesser 16 mm) können High-Output-Röhren (80 Watt, 54 Watt, 39 Watt) durch High-Efficiency-Röhren (49 Watt, 35 Watt, 28 Watt) ersetzt werden, wenn eine um ca. 30 % zu hohe Beleuchtungsstärke gemessen wird (was nicht selten der Fall ist). In den meisten Fällen muss das Vorschaltgerät ersetzt werden.	++
9	T5-Adapter und Reflektor einbauen. Röhren mit einem Durchmesser von 26 mm und magnetischem Vorschaltgerät können durch Röhren mit einem Durchmesser von 16 mm (= 5 Zoll = T5) ersetzt werden. Die ca. 5 cm kürzeren T5-Röhren werden durch ein Adapterstück ergänzt, in welchem sich ein elektronisches Vorschaltgerät befindet. Zusätzlich sollte ein Reflektor installiert werden, der das Licht besser nach unten richtet. Diese Massnahme ist nur bei offenen Balkenleuchten und in Räumen mit niedrigen Beleuchtungsansprüchen (zum Beispiel Lager) empfehlenswert.	++
10	Überdimensionierte Downlights umbauen. Häufig werden Downlights in Verkehrsflächen zu hoch bestückt. Eine Beleuchtungsstärke von 100 Lux ist ausreichend. Durch Ersatz des Betriebsgerätes kann das Downlight umgerüstet werden. 1-lampige Downlights sind 2-lampigen vorzuziehen. Für diese Anwendung ist bereits heute LED die wirtschaftlichste Lösung (siehe Massnahme 13)	++
11	Überflüssige Leuchten entfernen. Manche Leuchten brennen ohne Nutzen oder es ist im Raum viel zu hell. Dann können einzelne Leuchten ausser Betrieb genommen werden.	+++

Tabelle 12: Umrüsten bestehender Leuchten

Nr.	Massnahmen: Leuchtersatz	Nutzen
12	Decken- und Wandleuchten 1-zu-1 ersetzen. Eine ineffiziente Leuchte durch eine effizientere mit niedrigerer Lampenleistung und höherem Wirkungsgrad (mindestens 75 %) ersetzen. Effiziente Leuchten sind unter www.toplicht.ch aufgelistet.	++
13	Downlights mit LED einbauen. Vor allem in Korridoren sind LED-Leuchten bereits heute die erste Wahl. In vielen Fällen können herkömmliche Downlights mit Kompaktleuchtstofflampen durch LED-Downlights mit halber Leistung ersetzt werden. Effiziente Downlights sind unter www.toplicht.ch aufgelistet.	++
14	Lichtbänder mit Fluoreszenzröhren durch LED ersetzen. In der Decke eingelassene Lichtbänder mit Leuchtstoffröhren (ca. 30 Watt bis 50 Watt pro Meter) durch LED-Lichtleisten ersetzen (10 Watt bis 20 Watt pro Meter).	+++
15	Stehleuchten erneuern. Ältere Stehleuchten mit 4 x 55 Watt Kompaktleuchtstofflampen können durch Stehleuchten mit 2 x 55 Watt (oder 4 x 28 Watt) und ca. 30 % Direktlichtanteil ersetzt werden. Effiziente Stehleuchten sind unter www.toplicht.ch aufgelistet.	++
16	Tischarbeitsleuchten durch LED ersetzen. Glüh- oder Halogenlampen durch Tischarbeitsleuchten mit LED ersetzen. LED sind für diese Anwendung geeigneter als Sparlampen. (ca. 10 Watt bis 15 Watt LED pro Arbeitsplatz). Effiziente Tischleuchten sind unter www.toplicht.ch aufgelistet.	+++

Tabelle 13: Leuchtersatz

Nr.	Massnahmen: Lichtregelung	Nutzen
17	Getrennte Leuchtengruppen. Die einfachste Lichtregelung ist die Aufteilung eines Lichtschalters auf 2 bis 4 Schalter, die verschiedenen Lichtgruppen in einem Raum steuern.	+
18	Zeitschaltuhren einbauen. Effizient und günstig ist es, mittels Schaltuhr die Beleuchtung über Mittag und am Abend abzuschalten.	+
19	Minuterie einbauen. In Räumen mit kurzen Aufenthaltszeiten sind Minuterien (automatische Abschaltung nach 5 bis 15 Minuten) empfehlenswert.	+++
20	Bewegungsmelder installieren. In Korridoren, Garderoben, Lagern und ähnlichen Räumen mit längeren Zeiten ohne Personenverkehr sollten Bewegungsmelder eingebaut werden; bei Räumen mit Tageslicht kombiniert mit Helligkeitssensoren. Bevorzugte Schaltung: automatisch Ein und Aus.	+++
21	Präsenzmelder installieren. In Büros und Schulzimmern sollten manuelle Schaltungen durch Präsenzmelder (bei Räumen mit Tageslicht kombiniert mit Helligkeitssensoren) ersetzt werden. Bevorzugte Schaltung: automatisch Aus, manuell Ein. (Das Licht geht nicht automatisch an, sondern muss durch Knopfdruck aktiviert werden).	++
22	Bestehende Lichtregelung justieren. Das Lichtniveau ist häufig falsch oder nicht eingestellt oder die Verzögerungszeiten sind zu lange gewählt, so dass es zu keiner Abschaltung kommt.	++
23	Vorhandene Lichtsensoren umplatzieren. Aus architektonischen Gründen werden Lichtsensoren häufig falsch positioniert, so dass die gewünschten Schaltungen ausbleiben. Eine Neuplatzierung muss strikt unter dem Gesichtspunkt der optimalen Tageslicht- oder Personenerkennung vorgenommen werden. (Ein Rauchmelder wird auch für eine optimale Rauchererkennung optimiert.)	++
24	Konstantlichtregelungen mit Nachtabstaltung. Der Eigenstromverbrauch von komplexen Regelungsanlagen ist beträchtlich: Nur bei automatischer Nachtabstaltung des Standby-Verbrauchs kann eine hohe Gesamteinsparung realisiert werden.	+
25	Sonnenschutz optimieren. Der optimale Sonnenschutz ist aussen liegend, verstellbar (Lamellen) und hell. Falls funktionstüchtig, ist eine automatische Steuerung noch besser geeignet. Vor allem innen liegende Markisen oder Vorhänge sind für die Tageslichtnutzung ungeeignet.	+++

Tabelle 14: Lichtregelung

5. Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit

Jede Massnahme kostet etwas und bringt etwas. Die Wirtschaftlichkeit bzw. die aus den Kosten und Nutzen resultierende Rückzahlzeit der Investitionen hängt von vielen Faktoren ab. Es ist daher meist unmöglich, ohne konkretes Angebot eine Amortisationszeit einer Massnahme anzugeben.

Es ist empfehlenswert, mehrere Unternehmerangebote einholen – die Preisunterschiede können enorm sein. Das günstigste Angebot ist aber oft nicht das Beste. Zuverlässigkeit, Garantiezeit und Beständigkeit des Lieferanten spielen ebenso eine Rolle. Es gibt zum Beispiel immer wieder Lieferanten, die bereits während der Garantiezeit Konkurs gehen. Als Regel gilt, dass man bei einer grösseren Anzahl an Angeboten (zum Beispiel 5 Stück) dasjenige von vornherein ausschliesst, das am günstigsten ist. Besondere Vorsicht ist bei den vielen neuen Anbietern von LED-Leuchten angezeigt.

Die Katalogpreise für Lampen, Leuchten und Zubehör sind Preise für Einzelstücke. Bereits bei mittleren Mengen werden in der Praxis Rabatte von 20 % bis 40 % gewährt. Bei grossen Bestellungen bieten Lieferanten bis zu 70 %(!) Rabatt. Beispiel: eine Grossbank bezahlte für 500 Stehleuchten, die gemäss Katalog über 1300 Franken kosteten nur gerade 400 Franken pro Stück.

Komplizierte Installationen sind teuer

Einfache Massnahmen benötigen weniger Arbeit. Sobald Elektroinstallationen verändert werden müssen, kann es schnell aufwändig werden. Eine Lampe oder Leuchte 1-zu-1 zu ersetzen oder eine mobile Leuchte (Steh- oder Tischleuchte) einzusetzen, kann günstiger kommen, selbst wenn das Produkt teurer ist, weil der Installationsaufwand entfällt. Bei der Nachrüstung von Lichtsensoren ist es empfehlenswert, diese an Orten bestehender Kabelanschlüsse zu platzieren oder direkt in die Schaltdose einzubauen.

In der Wirtschaftlichkeitsrechnung müssen unbedingt die Mehr- oder Minderaufwendungen beim Unterhalt berücksichtigt werden. Häufiges Lampenwechseln kostet nicht nur Geld für neue Lampen sondern auch Zeit für den Ersatz. Vor allem bei LED-Installationen ist dieser Aspekt ausschlaggebend.

Rechenbeispiel

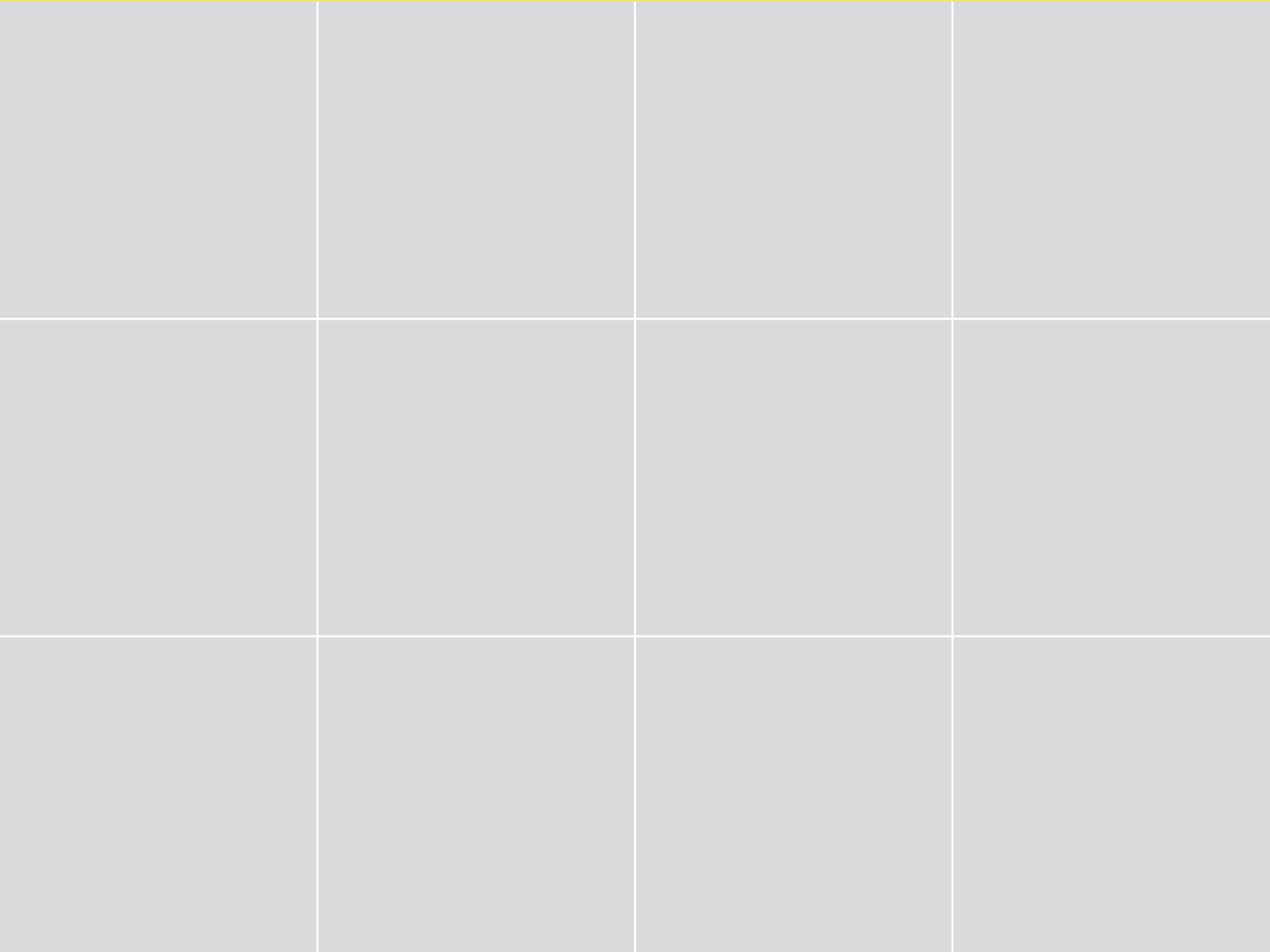
An dieser Stelle wird keine komplizierte Wirtschaftlichkeit mit Zinseszins-Rechnung, sondern eine einfache Handmethode aufgezeigt. Das Beispiel geht davon aus, dass eine Restaurantbeleuchtung 1-zu-1 ersetzt wird:

- Die bisherige Anlage hat keinen Restwert und soll ohnehin ersetzt werden.
- Es werden Leuchten ersetzt, also am selben Ort installiert, an dem die alten vorher waren. Es ergeben sich nur minimale Installationskosten.
- Der Vergleich zeigt die Wirtschaftlichkeit zwischen einer neuen konventionellen Lösung und einer modernen LED-Variante mit zusätzlichen Energie- und Betriebskosteneinsparungen.

Fazit

Mit der LED-Variante lassen sich jedes Jahr 5280 Fr. sparen. Da diese LED-Leuchten um 20000 Fr. teurer sind als die konventionelle Lösung, ergibt sich eine Amortisationszeit der Mehrinvestition von 3 Jahren und 10 Monaten.

	Konventionell	Variante LED
Nutzung	Restaurant	
Fläche (m ²)	300	
Anzahl Spot-Leuchten	100	
Systemleistung der Leuchte (W)	40	25
Installierte Leistung (kW)	4,00	2,50
Installierte Leistung (W/m ²)	13,3	8,3
Betriebsstunden (h/a)	3600	3600
Energiekennzahl (kWh/m ²)	48,0	30,0
Energieverbrauch (MWh/a)	14,4	9,0
Mittlerer Energiepreis (Fr./MWh)	200	200
Energiekosten pro Jahr	2880	1800
Ersatzlampe (Fr.)	40	0
Wechselkosten (Fr.)	20	0
Anzahl Wechsel in 10 Jahren	7	0
Wartungskosten pro Jahr	4200	0
Preis pro Spot-Leuchten inkl. Installation (Fr.)	150	350
Installation (Fr.)	50	50
Investition (Fr.)	20000	40000
Wartungs- und Energiekosten pro Jahr	7080	1800
Differenz von Konventionell und Variante LED	5280	



EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE, Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.energie-schweiz.ch

EDMZ-Bestellnummer 805.000 d/00.00/000