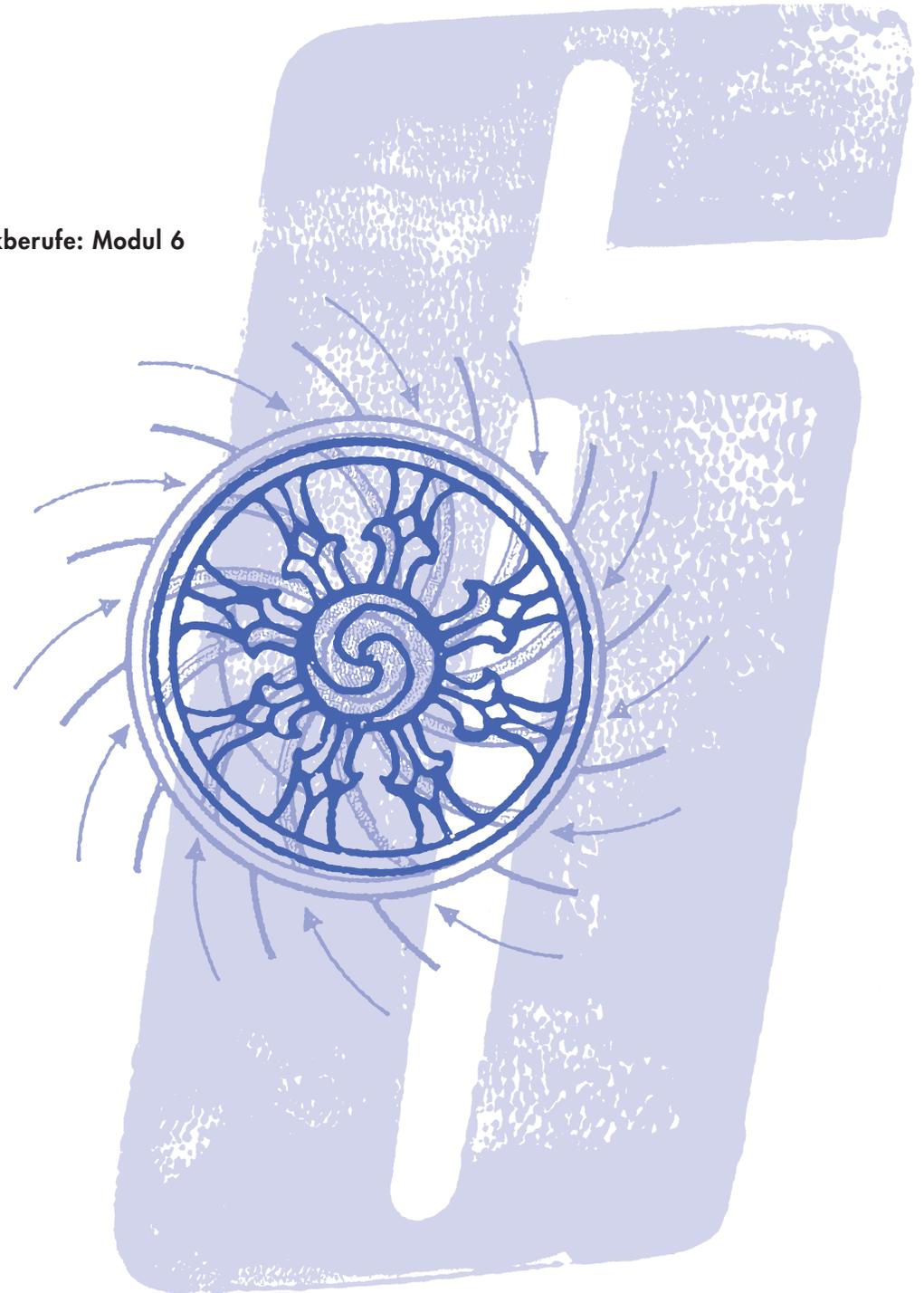


Beleuchtung

Energie im Unterricht, Module für Maschinenbau-, Elektro- und Informatikberufe: Modul 6

- 1 Einführung: Worum geht es ?**
- 2 Lernziele**
- 3 Vorschläge für den Unterricht**
- 4 Fachinformation**
 - **Physikalische Grundlagen**
 - **Lichttechnische Begriffe**
 - **Beleuchtungsplanung**
 - **Lichtquellen**
 - **Tageslichtnutzung**
 - **Automatische Steuerungen**
- 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge**
- 6 Weiterführende Literatur**
- 7 Bild- und Textnachweis**
- 8 Vorlagen**



1 Einführung: Worum geht es ?

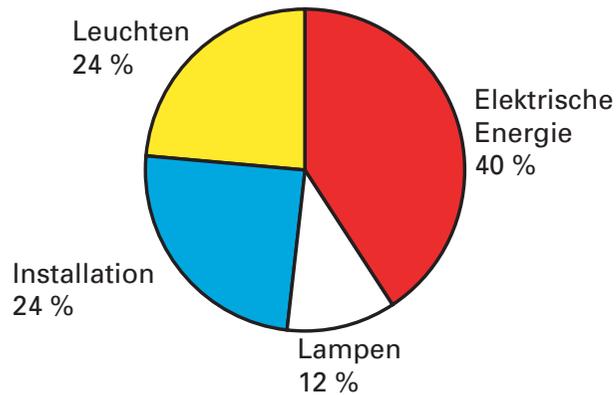


Abb. 1: Aufwendungen für die künstliche Beleuchtung

3 Milliarden Franken jährlich kostet die künstliche Beleuchtung in der Schweiz. 40% davon entfallen auf die für den Betrieb notwendige elektrische Energie. 24 % der Gesamtkosten gehen für den Kauf neuer Leuchten weg, für Planung und Installation entfallen ebenfalls 24 %. Der Rest, nämlich 12 %, wird für den Kauf von Lampen und das Auswechseln derselben benötigt.

Aus dieser Grafik ist ersichtlich, dass das Sparpotenzial bei der Beleuchtung recht gross ist. Betrachtet man zusätzlich die folgenden Aspekte, so wird das Energiesparen bei der Beleuchtung erst recht interessant:

- Elektrische Energie ist eine wertvolle und teure Energie.
- Die Energiesparmöglichkeiten sind z.T. recht gross und noch lange nicht ausgeschöpft.
- Das Energiesparen ist ohne Komforteinbusse möglich oder bringt, wie beispielsweise die Beleuchtungssteuerung, sogar eine Komfortsteigerung.

Natürliche Beleuchtung

Die am wirkungsvollsten gesparte Energie ist selbstverständlich diejenige, die man überhaupt nicht braucht. Also wird man, wo immer es möglich ist, durch bauliche und technische Massnahmen so viel natürliches Licht wie möglich in einen Raum fluten lassen.

Künstliche Beleuchtung

Das Bewusstsein, dass durch die geeignete Wahl der Lampen Energie gespart werden kann, ist bei der Bevölkerung erst erwacht, als die ersten Sparlampen auf dem Markt erschienen sind. Dass ihre Verbreitung aber nur zögernd stattfand, mag an dem, im Vergleich zur Glühlampe, höheren Anschaffungspreis, dem anderen Startverhalten und der ungewohnten Form liegen. Oft brauchen die Leute einfach auch Zeit, um sich an Neues zu gewöhnen.

Bei Fachleuten war indessen schon lange klar, dass die Leuchtstofflampen (zu welchen auch die Sparlampen gehören) weniger elektrische Energie brauchen. Allerdings stellen diese Lampen weit höhere Ansprüche an den Planer, damit sie im Wohnbereich ästhetisch befriedigen.

Ebenfalls entscheidenden Einfluss auf die Effizienz der Beleuchtungsanlage hat die Wahl der Leuchten (Lampenschirm) und die Beleuchtungsart (direkt oder indirekt).

Steuern und Regeln

Auf Seiten der Installation eröffnen sich weitere Sparmöglichkeiten durch technische Mittel, wie Schaltuhren, Bewegungsmelder, Dimmer oder intelligente Bussysteme.

2 Lernziele

Die Lernenden ...

- kennen die Bedeutung der Tageslichtnutzung aus energetischer Sicht.
- können die ungefähren Anteile der verschiedenen Verbrauchergruppen nennen.
- zeigen die energetischen Eigenschaften der verschiedenen Produkte auf.
- kennen die Möglichkeiten von Steuerungs- und Regelungssystemen aus energetischer Sicht.

Beispiele von Antworten:

- direkte Tageslichtnutzung durch hochliegende und nach Süden orientierte Fenster
- indirekte Tageslichtnutzung durch Reflexion an hellen Wänden oder Umlenkspiegeln
- keine Behinderung des Lichteintritts durch Storen, Vorhänge, Lichtschächte, Bäume usw.
- Arbeitsplatz bei Fenstern wählen.
- 15 bis 20 % der el. Energie im Haushalt (ohne Elektroboiler) wird für Licht verwendet.
- Der Rest verteilt sich ungefähr zu gleichen Teilen auf das Kochen, Kühlen, sowie auf das Waschen, Geschirrspülen und den restlichen Energieverbrauch.
- Glühlampen sind Energieverschwender. 95 % geht als Wärme verloren.
- Halogenglühlampen sind keine Sparlampen.
- Gasentladungslampen nutzen die Energie 5 bis 10-mal besser als Glühlampen. Zudem haben sie eine 10-mal grössere Lebensdauer. Sie sind trotz höherem Anschaffungspreis wirtschaftlicher.
- Sparlampen und Fluoreszenzlampen sparen ihre graue Energie schon nach kurzer Zeit ein.
- Bewegungsmelder schalten Lampen nur ein, wenn das Licht benötigt wird.
- Lichtsensoren dimmen das elektrische Licht, wenn genügend Tageslicht vorhanden ist oder schalten es ganz aus.
- Automatische Storen sorgen für angenehme Lichtverhältnisse und nutzen das Tageslicht optimal.
- Bussysteme ermöglichen ein zentrales Management der angeschlossenen Lampen über einen PC.

3 Vorschläge für den Unterricht

Einstieg

Schwerpunkt dieses Moduls ist es, zu zeigen, dass bei gleichem oder sogar höherem Komfort eine Raumbelichtung realisiert werden kann, die weniger elektrische Energie verbraucht. Als Einstieg dazu eignen sich die im Versuch e) vorgestellten Licht-Boxen. Man stellt eine Box mit einer 60W-Glühlampe und eine andere mit einer 18W-Sparlampe so auf, dass die Betrachtenden die Lampen nicht sehen (vorher einschalten). Von der Lichtfarbe und Helligkeit her ist kaum ein Unterschied festzustellen.

Mit einem Wattmeter wird jetzt die Leistung verglichen. Berechnet man den Energieverbrauch der beiden Lampen für ein Jahr, so wird der Spareffekt offensichtlich.

Mit einem Digitalthermometer kann zusätzlich die grosse Wärmeabgabe der Glühlampe gezeigt werden.

Versuche

a) Lichtzerlegung

In einen Diaprojektor wird an Stelle eines Dias eine Schlitzblende von ca. 2 mm eingesetzt. Diese kann mit Alufolie und einem Diarähmchen selber hergestellt werden. Im Abstand von etwa 10 cm stellt man ein Glasprisma auf, sodass der Lichtstrahl schräg auf die Glasfläche des Prismas trifft. Im Winkel von 30 bis 45° erscheint auf einer Leinwand das Farbspektrum.

b) Farbaddition

Vor drei 12V-Halogen-Spotlampen wird je eine rote (magenta), blaue und gelbe Filterscheibe montiert. (Die Filterscheiben sind als Set erhältlich.) Dort, wo sich die drei Lichtkegel überschneiden, entsteht weisses Licht.

Auf diese Weise wird das farbige Bild beim Fernseher aus grünen, blauen und roten Farbpunkten zusammengesetzt. Mit einer Lupe kann man dies gut erkennen. Durch die Unschärfe des Auges verschmelzen die Grundfarben zu Weiss oder einer Mischfarbe.

c) Farbwahrnehmung

Beleuchtet man mit einer einzelnen farbigen Spotlampe von Versuch b) ein weisses Blatt Papier, auf dem mit der gleichen Farbe ein Text geschrieben ist, so scheint das Blatt leer zu sein, weil das weisse Papier genau gleich wie die farbige Schrift nur das einfarbige Licht zurückwirft.

d) Farbsubtraktion

Die gleichen drei Filterscheiben (magenta, blau und gelb) werden überlappend auf den Hellraumprojektor gelegt. Dort, wo sich zwei Filterscheiben überdecken, entsteht eine Mischfarbe. Überdecken sich alle Filterscheiben, so dringt kein Licht mehr hindurch.

Dieses Prinzip wird beim Vierfarbendruck verwendet. Es werden hintereinander die drei Grundfarben aufgedruckt. Damit ein sattes Schwarz entsteht, wird als vierte «Farbe» noch Schwarz darüber gedruckt.

Diagramm dar, so erkennt man, dass sich die Lichtausbeute einer Glühlampe nahezu im Quadrat zur Leistung verhält.

e) Farbige Gegenstände mit verschiedenen Lichtquellen anstrahlen

Man fertigt aus einer weiss beschichteten Spanplatte 4 Kisten von etwa A3-Grösse und 20 cm Tiefe. Die vordere offene Seite ist zur Hälfte ebenfalls geschlossen. Hinter dieser Abdeckung ordnet man verschiedene Lichtquellen an: Glühlampe, Sparlampe, Quecksilberdampf Lampe und eine Hochdruck-Natriumdampf Lampe. Die gleichen farbigen Gegenstände erscheinen in den verschiedenen Boxen vollständig anders.

f) Lichtausbeute beim Dimmen von Glühlampen

Eine Glühlampe (z.B. 150W-Halogenglühlampe) wird über ein Wattmeter und einen Dimmer an 230V angeschlossen. Bei abgeschirmtem Tageslicht misst man im festen Abstand von ca. 1 m mit einem Luxmeter die Beleuchtungsstärke (relativer Lichtstrom) in Abhängigkeit der Leistung. Stellt man den relativen Lichtstrom in Funktion der Leistung in einem

4 Fachinformation

4.1 Physikalische Grundlagen

Das Licht

Das Licht hat den Charakter elektromagnetischer Wellen. Es ist also verwandt mit den Radiowellen, Röntgenstrahlen und der radioaktiven Strahlung.

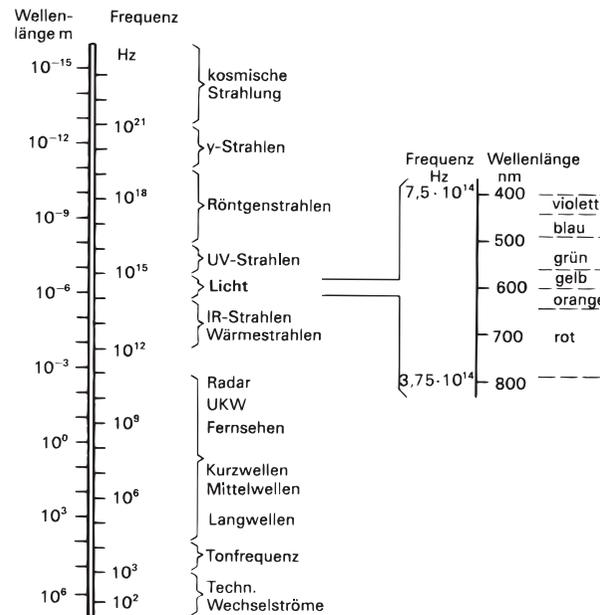


Abb. 2: Übersicht über die Frequenzen

Die Lichtwellen haben eine ausserordentlich hohe Frequenz. Unser Auge nimmt Frequenzen von 4 bis $7,5 \times 10^{14}$ Hz wahr, was Wellenlängen von 400 bis 700 nm (Nanometer) entspricht.

Farbspektrum

Wenn man weisses Licht durch ein Glasprisma schiebt, werden die Lichtwellen entsprechend ihrer Wellenlänge mehr oder weniger stark abgelenkt. Dadurch erscheinen auf einer Projektionswand die verschiedenen Farben nebeneinander.

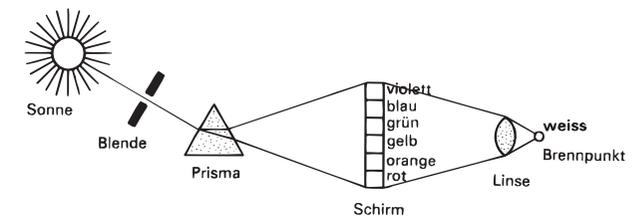


Abb 3: Lichtzerlegung mit Prisma

Farbwiedergabe und Farbtemperatur

Eine weisse Fläche erscheint weiss, weil das von ihr reflektierte Licht alle Farben enthält. Reflektiert dagegen eine Fläche nur eine bestimmte Farbe, z.B. Gelb, dann erscheint sie für unser Auge gelb. Wirft sie gar keine Farben zurück, so erscheint die Fläche schwarz.

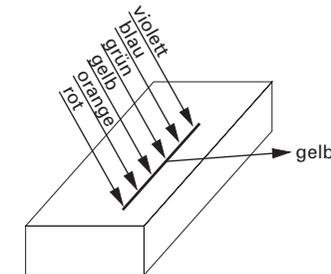


Abb. 4: Reflexion auf farbiger Oberfläche

Ein Körper kann daher nur in seiner richtigen Farbe erscheinen, wenn die Lichtquelle, die ihn anstrahlt, auch alle Farbkomponenten in der gleichen Zusammensetzung enthält wie das Tageslicht. Die spektrale Qualität einer Lichtquelle im Vergleich zum Tageslicht wird mit dem **Farbwiedergabe-Index R_a** bewertet. Beste Qualität wird mit 90 bis 100 Punkten bewertet (auch mit Stufe 1a), gute mit 80 bis 90 (auch mit Stufe 1b). Tiefere Qualitäten sollten in Arbeits-, Wohn- und Aufenthaltsräumen nicht verwendet werden.

Demgegenüber nennt man den Farbcharakter einer Lichtquelle **Farbtemperatur**. Sie wird mit einem glühenden Kohlestab verglichen und in Kelvin angegeben ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$). Je heisser ein Kohlestab glüht, umso weisser ist sein Licht.

In grafischen Betrieben und Textilgeschäften sind deshalb Lampen zu montieren, die eine dem Tageslicht möglichst ähnliche Farbtemperatur und die Farbwiedergabe-Stufe 1a aufweisen. Glühlampenlicht hat einen starken Rotanteil, deshalb erscheinen rote Farben zu intensiv. Beim Licht der Quecksilberdampflampen erscheint dagegen Blau viel zu stark, weil das Farbspektrum einen hohen Blauanteil aufweist. Diese Eigenschaft kann man sich natürlich auch zu Nutze machen, indem man in Metzgereien Lampen mit starkem Rotanteil installiert. Dadurch erscheint das Fleisch viel röter.

Lampe	Farbtemperatur
Glühlampe	2800 K
Halogenglühlampe	3200 K
Leuchtstofflampe warmweiss	3000 K
Leuchtstofflampe weiss	4500 K
Leuchtstofflampe «Tageslicht»	6000 K

4.2 Lichttechnische Begriffe

Lichtstrom

Die Lichtleistung einer Lampe nennt man Lichtstrom. Sie wird vom Fabrikanten in einem reinweissen, kugelförmigen Raum gemessen. Die Lampe wird dabei in der Mitte der so genannten Ulbrichtschen Kugel aufgehängt, sodass sie nach allen Seiten strahlen kann. Eine geeichte Fotozelle misst den gesamten von der Lichtquelle abgegebenen Lichtstrom. Der Lichtstrom wird in Lumen [lm] angegeben und hat das Formelzeichen Φ (gross Phi).

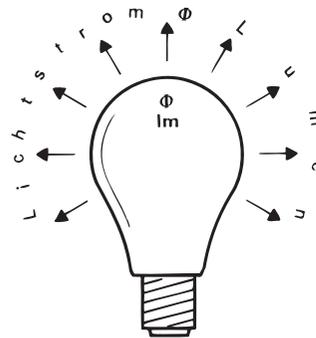


Abb. 5: Lichtstrom Φ

Den Lichtstrom einer Lampe nennt man **Lampenlichtstrom** Φ_L .

Den gesamten Lichtstrom aller Lampen in einem Raum nennt man **Gesamtlichtstrom** Φ .

Den Lichtstrom, der auf die Arbeitsfläche fällt, nennt man **Nutzlichtstrom** Φ_N .

Lichtausbeute

Mit der Lichtausbeute wird die Wirtschaftlichkeit von verschiedenen Lampen miteinander verglichen. Der Lampenlichtstrom wird auf die elektrische Leistung von 1 Watt bezogen. Je höher die Lichtausbeute, desto wirtschaftlicher die Lampe.

$$\eta = \frac{\text{Lampenlichtstrom [Lumen]}}{\text{Lampenleistung [Watt]}} = \frac{\Phi_L}{P} \quad [\text{lm/W}]$$

Die Tabelle zeigt den Lichtstrom und die Lichtausbeute verschiedener Lampentypen.

Lampe	Leistung P	Lichtstrom Φ_L	Lichtausbeute η	besser als Glühlampe
Glühlampe	40 W	430 lm	10,75 lm/W	–
Halogenglühlampe	20 W	350 lm	17,5 lm/W	1,5 x
Leuchtstofflampe	36 W	3000 lm	83,3 lm/W	7,5 x
Sparlampe	9 W	540 lm	60 lm/W	5,5 x
Hochdruck-Metaldampf Lampe	150 W	12 500 lm	83,3 lm/W	7,5 x
Niederdruck-Natriumdampf Lampe	150 W	21 000 lm	140 lm/W	13 x

Beleuchtungsstärke

Wird eine Fläche von 1 m² von einem Lichtstrom von 1 lm beleuchtet, so herrscht auf ihr eine Beleuchtungsstärke von 1 Lux. Die Einheit Lux bedeutet also Lumen pro Quadratmeter.

$$E = \frac{\text{Nutzlichtstrom [Lumen]}}{\text{Nutzfläche [m}^2\text{]}} = \frac{\Phi_N}{A} \quad [\text{Lx}]$$

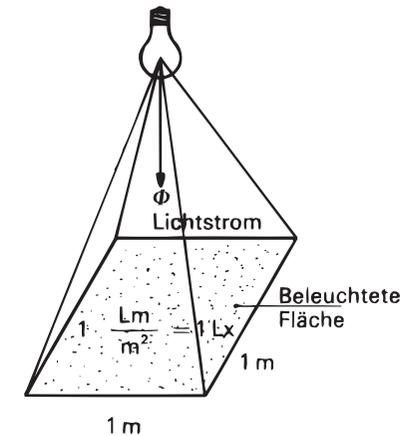


Abb. 6: Beleuchtungsstärke E

Empfohlene Beleuchtungsstärken

Sehaufgaben	Beispiele	Beleuchtungsstärke
Orientierung	Korridor, Schlafzimmer, Grosslager	50 Lux
Leicht	Wohnzimmer, Restaurant, Maschinenhalle	150 Lux
Normal	Küche, Montagehallen, Verkaufsräume	350 Lux
	Räume mit Bildschirm-Arbeitsplätzen	400 Lux
	Schulzimmer	500 Lux
Schwierig	Fein-Apparatebau, Technisches Zeichnen	750 Lux
Sehr schwierig	Goldschmied	1'000 Lux
Sonderfälle	Operationstisch	5'000 Lux

Die Beleuchtungsstärke wird mit dem **Luxmeter** gemessen. Das einfallende Licht erzeugt eine elektrische Spannung auf einem Fotoelement, das genau der Farbempfindlichkeit des menschlichen Auges entspricht. Die Spannung wird durch ein in Lux

geeichtes Messgerät angezeigt. Für die Messung soll das Fotoelement des Luxmeters auf der Höhe der Arbeitsfläche liegen und nicht durch Personen oder Gegenstände abgedunkelt werden. Fremdlicht (Fenster) darf die Messung nicht stören.

Zur Bestimmung der mittleren Beleuchtungsstärke in einem Raum misst man an mehreren, gleichmäßig verteilten Punkten mit dem Luxmeter die Beleuchtungsstärke und berechnet daraus den Durchschnitt.

$$E_m = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{n} \quad [\text{Lx}]$$

n = Anzahl Messpunkte

Beleuchtungsstärke und Abstand

Punktförmige Lichtquelle

Bei punktförmigen Lichtquellen, wie z.B. Glühlampen, nimmt die Beleuchtungsstärke im Quadrat zum Abstand ab, weil die beleuchtete Fläche sowohl in der Breite als auch in der Tiefe zunimmt. Eine Verdoppelung des Abstandes führt also zu einer Verringerung der Beleuchtungsstärke auf ein Viertel.

$$E_2 = E_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad [\text{Lx}]$$

Die Beleuchtungsstärke nimmt im Quadrat zum Abstand ab.

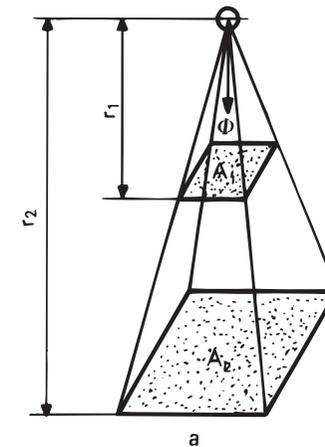


Abb. 7: Punktförmige Lichtquelle

Lichtbänder

Bei Lichtbändern, wie z.B. aneinander gereihete Leuchtstoffröhren, nimmt die Beleuchtungsstärke linear zum Abstand ab, weil die beleuchtete Fläche nur in der Breite zunimmt. Eine Verdoppelung des Abstandes führt also zu einer Verringerung der Beleuchtungsstärke auf die Hälfte.

$$E_2 = E_1 \frac{r_1}{r_2} \quad [\text{Lx}]$$

Die Beleuchtungsstärke ist umgekehrt proportional zum Abstand.

Fazit:

Durch die optimale Aufhängehöhe der Leuchten kann bei gleicher Beleuchtungsstärke eine kleinere Leistung installiert und somit Energie gespart werden.

Lichtstärke und Leuchtdichte

Eine Lichtquelle strahlt mit unterschiedlicher Stärke in die einzelnen Richtungen. Den in eine bestimmte Richtung abgestrahlten Lichtstrom nennt man Lichtstärke. Sie hat die Einheit **Candela [cd]**.

Die Leuchtdichte ist ein Mass für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer Lichtquelle oder einer beleuchteten Fläche hat. Sie hat die Einheit **cd/m²** oder **cd/cm²**.

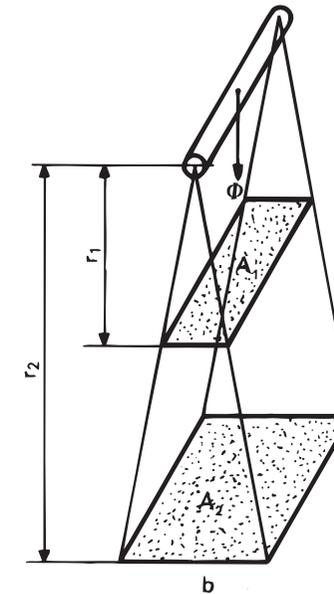


Abb. 8: Lichtband

Eine hohe Leuchtdichte, vor allem aber hohe Leuchtdichte-Unterschiede (Kontraste) verursachen Blendung.

Blendung ist zu vermeiden. Sie wird oft durch falsche Anordnung von Lichtquellen mit hoher Leuchtdichte verursacht. Direktblendung setzt die Sehleistung herab und ruft Ermüdung hervor. Blendung entsteht meist dann, wenn sich Lampen oder Leuchten im Blickfeld befinden. Sie ist besonders gross im Blickwinkel unterhalb 45° .

Blendung kann auch indirekt durch Reflexion an glänzenden oder hellen Oberflächen entstehen. Dabei ist bei der Anordnung der Lampe das Reflexionsgesetz zu beachten, wonach das einfallende Licht im gleichen Winkel abgestrahlt wird wie es auf die Fläche auftrifft.

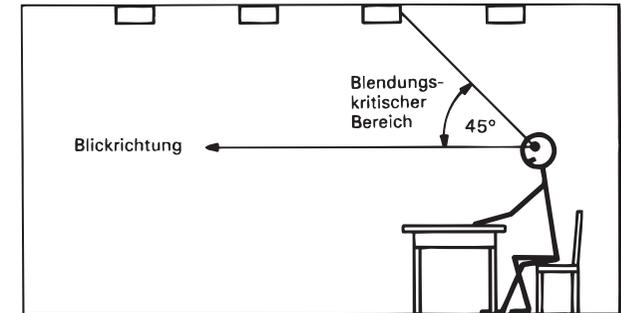
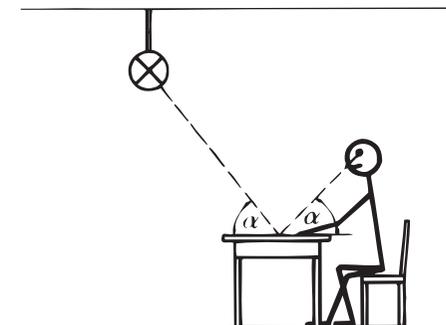
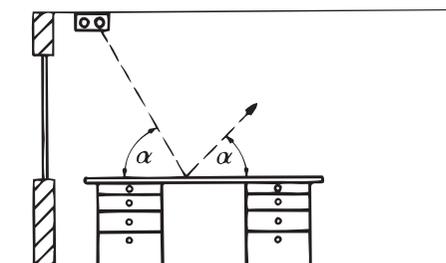


Abb. 9: Direkte Blendung



Falsche Anordnung



Richtige Anordnung

Abb. 10: Indirekte Blendung

4.3 Beleuchtungsplanung

Die Planung von Beleuchtungsanlagen erfolgt heute meist mit Computerprogrammen. Wichtigste Ausgangsdaten für die Planung sind Raumgeometrie und Farben bzw. Reflexionsgrade der Oberflächen, Möblierung und Nutzung (mit Berücksichtigung der Fenster bzw. des Tageslichts), die geforderte Beleuchtungsstärke und die Eigenschaften der einsetzbaren Leuchten. Die Einflüsse von Raum und Leuchten können im Beleuchtungswirkungsgrad zusammengefasst werden.

Beleuchtungswirkungsgrad

Ein Teil des von den Lampen abgestrahlten Lichtstromes trägt nicht zur Beleuchtung des Raumes oder des Arbeitsplatzes bei, sondern wird beispielsweise bereits in den Rastern der Leuchte absorbiert (verschluckt). Ebenso absorbieren Wände und Decken einen beachtlichen Teil des erzeugten Lichts. Diese Verluste berücksichtigt der **Beleuchtungswirkungsgrad** η_B . Dieser wird noch unterteilt in den Leuchtenbetriebswirkungsgrad und den Raumwirkungsgrad. Zusätzlich bewirkt die Alterung und die Verschmut-

zung der Leuchten mit der Zeit eine Abnahme des Lichtstromes. Dies wird im Planungsfaktor berücksichtigt.

Der Beleuchtungswirkungsgrad ist schwer zu ermitteln, insbesondere kann der Raumwirkungsgrad im Voraus nur geschätzt werden. Zusammenfassend spielen folgende Grössen eine Rolle:

- Beleuchtungsart (direkte, gleichförmige oder indirekte Beleuchtung)
- Farbe der Wände und Decken
- Konstruktion der Leuchte (Raster, Abdeckungen, Opalglas)
- Alter und Verschmutzungsgrad der Leuchten
- Aufhängehöhe
- Umgebungstemperatur

Diese Faktoren beeinflussen ganz wesentlich den Energieverbrauch einer Anlage. Deshalb muss dem Beleuchtungswirkungsgrad bei der Planung unbedingt Beachtung geschenkt werden.

$$\eta_B = \frac{\text{Nutzlichtstrom [Lumen]}}{\text{Gesamtlichtstrom [Lumen]}} = \frac{\Phi_B}{\Phi} \quad [-]$$

Beleuchtungswirkungsgrad (Beispiele)

Beleuchtungsart	Decke und Wände hell	Decke hell, Wände getönt
Direkt	55 %	50 %
Vorwiegend direkt	50 %	45 %
Gleichförmig	45 %	35 %
Vorwiegend indirekt	35 %	25 %
Indirekt	30 %	15 %

Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärke

Die in einem Raum mit der Fläche A resultierende **mittlere Beleuchtungsstärke** E_m berechnet sich somit aus der Anzahl Lampen N , dem Lampen-Lichtstrom Φ_L und dem Beleuchtungswirkungsgrad η_B .

$$E_m = \frac{N \cdot \Phi_L \cdot \eta_B}{A} \quad \frac{[\text{lm}]}{[\text{m}^2]} = [\text{lx}]$$

Effizienz-Beurteilung von Beleuchtungsanlagen

Eine meist ohne Messungen machbare Beurteilung der Effizienz vieler Beleuchtungsanlagen ergibt sich aus der installierten elektrischen Leistung pro Flächeneinheit (W/m^2). (Bei Leuchtstofflampen Vorschaltgerät nicht vergessen!)

Ein direkter Vergleich gilt natürlich nur für den gleichen Nutzeffekt, also bei gleicher Beleuchtungsstärke, weshalb man die Leistung pro 100 Lux normieren kann. Da die häufigsten Nutzungen im Bereich von rund 400 Lux liegen (Büro, Schule, Lesen, Handarbeit), werden oft auch die Werte bei 400 Lux verglichen.

Beispiel:

Beleuchtungsstärke [lx]	Alte ineffiziente Anlage [W/m ²]	Effiziente Anlage [W/m ²]
100	> 5	2 ... 3
400	> 20	8...12

4.4 Lichtquellen

Glühlampen

Glühlampen beruhen auf der Wärmewirkung des elektrischen Stromes. Im Innern eines evakuierten oder mit Edelgas gefüllten Glaskolbens befindet sich eine Wolframwendel, die mit einer Temperatur von ca. 2500 °C glüht. Weil Glühlampen so genannte Temperaturstrahler sind, erzeugen sie nur etwa 5 % Licht. Der Rest geht als Wärme verloren.

Glühlampen haben für den Konsumenten verschiedene Vor- und Nachteile.

Vorteile:

- günstiger Anschaffungspreis
- sofortige Lichtabgabe
- problemlos dimmbar
- angenehme Lichtfarbe (2700 K)
- geringe graue Energie (ca. 0.7 kWh)
- problemlose Entsorgung

Nachteile:

- schlechte Lichtausbeute
- starke Wärmeentwicklung
- geringe Lebensdauer (ca. 1000 h)
- empfindlich auf Erschütterung
- Überspannung verkürzt Lebensdauer stark
- Durch verdampftes Wolfram wird die Lichtabgabe geringer

Halogenglühlampen

Dem Füllgas wird eine kleine Menge Halogen (Jod und Brom) zugegeben, das die Aufgabe hat, die verdampften Wolframatome einzufangen und wieder an der Glühwendel abzulagern. Wegen der hohen Betriebstemperatur (ca. 2800 °C) und der kompakten Bauweise besteht der Glaskolben aus Quarzglas.

230 Volt-Halogenlampen

Als stabförmige Ausführung finden sie Verwendung in Scheinwerfern und haben Leistungen von 100 bis 1000 W.

Niedervolt-Halogenlampen

Sie haben eine Betriebsspannung von meist 12 V und benötigen einen konventionellen Transformator mit Eisenkern oder einen «elektronischen Transformator», der durch die heraufgesetzte Frequenz (35kHz) geringere Verluste und kleinere Abmessungen hat. Niedervolt-Halogenlampen gibt es für Leistungen bis 100 W. Ausführungen mit Kaltlichtspiegel werfen vorwiegend das sichtbare Licht nach vorne. Die Wärmestrahlen gehen zum grossen Teil nach hinten.

Auch Halogenglühlampen geben über 90 % der aufgenommenen Energie als Wärme ab. Daher sind sie zum Energiesparen nicht geeignet. Wenn schon, so sollten die neuen «IRC»-Typen eingesetzt werden. Durch Infrarot-Reflexionsbeschichtung (infrared reflection coating) des Glaskolbens wird eine Verminderung des Stromverbrauchs von rund 30% erreicht.

Eigenschaften gegenüber der normalen Glühlampe:

- bessere Lichtausbeute
- brillanteres Licht (Lichtfarbe ca. 3200 K)
- höhere Lebensdauer (2000 h)
- kompaktere Bauform
- geringerer altersbedingter Lichtabfall
- hohe Kolbentemperatur (Einbauvorschriften beachten!)

Leuchtstofflampen (Fluoreszenzlampen)

Leuchtstofflampen sind Gasentladungslampen. In einem Glasrohr befindet sich Argon, das etwas Quecksilber enthält. Der elektrische Strom fließt durch das Gas und erzeugt eine ultraviolette Strahlung. Im fluoreszierenden weissen Pulver, das auf der Innenseite des Glasrohres aufgebracht ist, wird das (unsichtbare) Ultraviolett in sichtbares Licht umgewandelt. Je nach Zusammensetzung der Beschichtung ergibt sich eine andere Farbtemperatur. Leuchtstofflampen können nicht direkt an das Netz angeschlossen werden, weil das ionisierte Gas ein sehr guter Leiter ist und ein Kurzschluss entstehen würde. Man benötigt zum Betrieb ein Vorschaltgerät, welches in der Leuchte eingebaut ist und den Strom begrenzt. Bei konventionellen Vorschaltgeräten mit Drosselspule braucht es noch einen Starter.

Elektronische Vorschaltgeräte wandeln den Netzwechselstrom von 50 Hz in eine Frequenz von ca. 35 kHz um. Die Lampe zündet sofort, und die Strombegrenzung erfolgt elektronisch. Es ist kein Starter mehr notwendig.

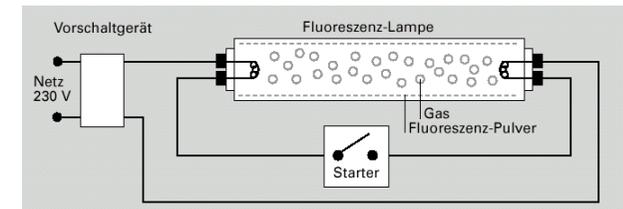


Abb. 11: konventionelles Vorschaltgerät (VG)

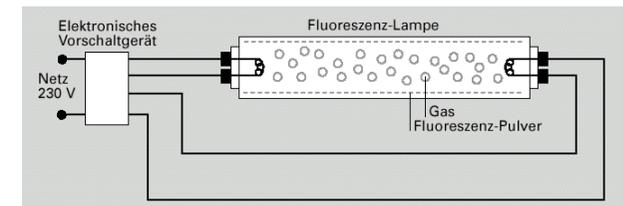


Abb. 12: Elektronisches Vorschaltgerät (EVG)

Vorteile des elektronischen gegenüber dem konventionellen Vorschaltgerät:

- wirtschaftlicher, da geringere Verluste im VG und bessere Lichtausbeute der Röhre
- Sofortstart
- flimmerfrei (kein Stroboskop-Effekt)
- dimmbar mit Handregler oder durch Helligkeitssteuerung
- längere Lebensdauer der Röhre
- kein Brummen von VG und Röhre
- kein Blindstrom (Leistungsfaktor $\cos \varphi = 1$)

Leuchtstofflampen haben einen Wirkungsgrad von 25 bis 35 %. Damit ist ihre Lichtausbeute rund 5-mal besser als diejenige von Glühlampen. Mit einer Lebensdauer von über 10'000 h übertreffen sie die

Glühlampen sogar um das 10-fache. Leuchtstofflampen enthalten allerdings Quecksilber und andere giftige Stoffe und müssen deshalb als Sonderabfälle entsorgt werden.

Lichtfarbe	Farbtemperatur	Anwendung:
Warmton	2900 K	Wohnbereich, Schulen, Korridore
Weiss	4000 K	Arbeitsbereich, Verkaufslokale, Büros
Tageslicht	6500 K	Textilbereich, Grafische Betriebe, Druckereien, Kosmetik

Sparlampen (Kompaktleuchtstofflampen)

Sparlampen sind kompakte Fluoreszenzlampen. Sie sind ähnlich wie gewöhnliche Fluoreszenzlampen aufgebaut und arbeiten nach dem gleichen Prinzip, meist mit einem elektronischen Vorschaltgerät, früher auch mit Vorschalt-drossel und Starter. Die Vorschaltgeräte sind entweder direkt im E27- oder E14-Sockel eingebaut oder können in einem Stecksockel oder direkt in der Leuchte untergebracht sein.

Sparlampen können direkt anstelle von Glühlampen eingesetzt werden. Sie sparen ca. 80% Energie und leben rund 10-mal länger. Da praktisch nur noch Sparlampen mit elektronischem Vorschaltgerät eingesetzt werden, hat die Schalthäufigkeit keinen Einfluss mehr auf die Lebensdauer. Wie die gewöhnlichen Leuchtstofflampen müssen sie speziell entsorgt werden. Dank Platz sparender Elektronik sind Sparlampen heute auch in der gewohnten Birnen- oder Kerzenform mit E27- und E14-Gewinde erhältlich.

Pos.	Lampenform	Leistung	Gewinde
1	dreifach gebogene Röhren	15 bis 23 W	E27
2	zweifach gebogene Röhren	5 bis 12 W	E27
3	zweifach gebogene Röhren	5 bis 12 W	E14
4	einfach gebogene Röhre	3 W	E14
5	ähnlich wie Glühlampe	8 bis 16 W	E27
6	Glühlampe	5 bis 15 W	E27
7	Kerze	5 W	E14
8	Globe (Ballon)	15 bis 21 W	E27
9	Reflektor	15 bis 20 W	E27

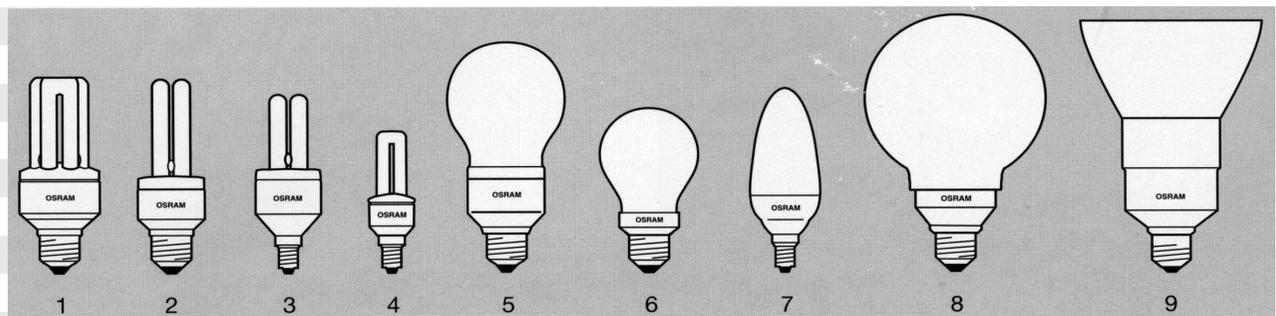


Abb. 13: Formen von Spar- und Kompaktlampen

Vergleich der Eigenschaften von Sparlampen und Glühlampen:

	Sparlampe	Glühlampe
Lichtausbeute:	60 lm/W	10 bis 15 lm/W
Lebensdauer:	8'000 bis 15'000 h	1'000 h
Lichtfarbe:	2'700 K (*)	2'700 K (*)
Preis:	ca. Fr. 15.00	ca. Fr. 1.50
	dimmbar mit Vierstiftsockel und separatem Dimm-Vorschaltgerät	dimmbar
	Sonderabfall	problemlose Entsorgung
	eingeschränkter Einsatz wegen Platz	kompakte Abmessungen
	geringe Wärmeabgabe	starke Wärmeabgabe
	unempfindlich auf Erschütterung	empfindlich auf Erschütterung
	für Aussenleuchten z.T. ungeeignet	unempfindlich gegen Kälte
	geringer Wartungsaufwand	häufiges Auswechseln

(*) Farbtemperatur vergleiche Seite 7

Metall dampflampen

Halogen-Metall dampflampen

sind eine Weiterentwicklung der Quecksilber-Hochdrucklampen (HQL) und haben diese weitgehend ersetzt. Sie haben einen elliptischen Glaskolben und ein Schraubgewinde E27 oder E40. Im Kolben befindet sich ein Entladungsrohr aus Quarz mit zwei Hauptelektroden, das Quecksilberdampf sowie Metalljodide und Bromide enthält. Die Farbwiedergabe dieser Lampen ist nicht besonders gut. Deshalb werden sie vorwiegend zum Beleuchten von Strassen, Sportplätzen, Fabrikarealen sowie

zum Anstrahlen von Gebäuden verwendet. Im Gegensatz zu den Quecksilberdampflampen können sie aber auch in Innenräumen wie Fabrik-, Messhallen oder Einkaufszentren eingesetzt werden.

Leistung: 50 bis 2000 W
 Lichtfarbe: rötlich-weiss (verschiedene Typen)
 Lichtausbeute: 60 bis 90 lm/W
 Lebensdauer: 6000 h
 Anlaufzeit: 3 bis 5 min.

Niederdruck-Natriumdampflampen

bestehen aus einem U-förmig gebogenen Entladungsröhre, das Neon und metallisches Natrium enthält. Um den Wärmeverlust möglichst klein zu halten, ist das Brennröhre zusätzlich von einem doppelwandigen Glaskolben umgeben. Als Vorschaltgerät haben sie einen Streufeldtransformator, der eine Zündspannung von ca. 500 V erzeugt. Im Betrieb sinkt die Spannung auf 200 V. Sie haben die höchste Lichtausbeute aller Lampen. Ihr grosser Nachteil ist das intensive, monochromatische gelbe Licht, welches keine Farbwiedergabe ermöglicht. Verwendung: Strassenbeleuchtung, Treibhäuser.

Leistung: 18 bis 180 W
Lichtfarbe: gelb
Lichtausbeute: 180 lm/W
Lebensdauer: 8000 h
Anlaufzeit: 5 bis 10 min.

Hochdruck-Natriumdampflampen

haben einen elliptischen Glaskolben und ein Schraubgewinde E27. Im Kolben befindet sich ein Entladungsröhre aus gesintertem Aluminium, welches Edelgas, Natrium und Quecksilber enthält. Als Vorschaltgerät dient ein Streufeldtransformator. Sie haben eine wesentlich bessere Lichtqualität als die Niederdruck-Natriumdampflampen und eignen sich daher auch für Fabrikhallen. Das wichtigste Anwendungsgebiet ist die Strassenbeleuchtung.

Leistung: 50 bis 2000 W
Lichtfarbe: rötlich-weiss
Lichtausbeute: 60 bis 90 lm/W
Lebensdauer: 6000 h
Anlaufzeit: 3 bis 5 min.

Induktionslampen

Dieser Typ unterscheidet sich in seiner Funktion grundsätzlich von den andern Gasentladungslampen. Im Glaskolben mit Leuchtstoffbelag befindet sich ein Quecksilberhaltiges Füllgas, das durch eine hochfrequente elektromagnetische Schwingung zum Leuchten gebracht wird. Der Hochfrequenzgenerator erzeugt eine Frequenz von 2,6 MHz und befindet sich im Sockel der Lampe. Aus dem Sockel ragt eine stabförmige Spule, über die der Glaskolben gesteckt wird. Der grosse Vorteil dieser Lampen ist ihre sehr hohe Lebensdauer. Sie sind allerdings relativ teuer und nicht geeignet für Temperaturen unter $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Verwendung: Strassenbeleuchtung.

Leistung: 55, 85, 165 W
 Lichtfarbe: weiss
 Lichtausbeute: 65 lm/W
 Lebensdauer: 60 000 h
 Anlaufzeit: sofort

Energieetikette

Auf den 1. Januar 2002 übernimmt die Schweiz die einschlägigen Richtlinien der EU. Künftig müssen (Haushalt-) Lampen mit einer Energieetikette versehen werden, die den Stromverbrauch auf einer Farbskala von A (grün) bis G (rot) anzeigt. In vielen Fällen sind A-Lampen nicht teurer als stromfressende, falls die Anschaffungskosten und die Lebensdauer verglichen werden. Dazu sparen sie eine Menge Energiekosten.

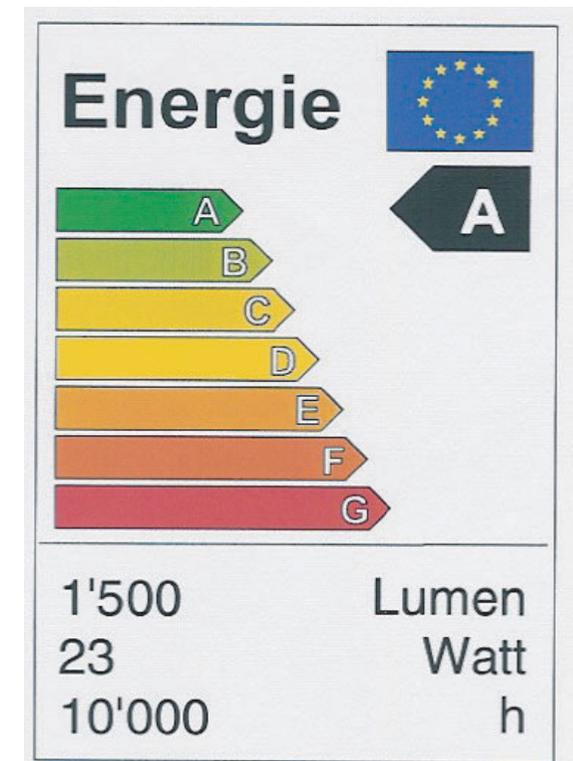


Abb. 14: Energieetikette für Lampen

4.5 Tageslichtnutzung

Die Architektur – also die Form und die Gestaltung – eines Gebäudes hat einen massgeblichen Einfluss auf den Energieverbrauch der Beleuchtung. Besonders bei Gebäuden, die vorwiegend tagsüber benutzt werden, ist der Spareffekt gross. Tageslicht reduziert nicht nur die Stromkosten, sondern erhöht auch den Komfort und das Wohlbefinden. Zudem beeinflusst es die Lichtqualität positiv. Die Tageslichtnutzung wird natürlich am besten schon bei der Neuerstellung eines Gebäudes berücksichtigt. Aber auch bei bestehenden Gebäuden lässt sich mit geeigneten Massnahmen der Anteil natürlichen Lichts vergrössern. Weil aber das Tageslicht naturgemäss sehr grossen Helligkeitsschwankungen unterworfen ist, sind Massnahmen notwendig, damit die Beleuchtungsstärke in den Innenräumen bzw. auf der Arbeitsfläche ausgeglichen ist und keine unangenehmen Blendungen und starken Kontraste entstehen. Unter Umständen muss auch verhindert werden, dass sich der Raum durch die Sonne zu sehr erwärmt.

Fenster

Aus lichttechnischer Sicht versucht man die Fensterfläche so gross wie möglich zu machen, aber andererseits geht durch grosse Fensterflächen im Winter viel Wärme verloren. Folgende Gesichtspunkte sind bei der Planung zu beachten:

- Hoch liegende Fenster bzw. Fensterstürze vergrössern den Tageslichteinfall.
- Tiefe Brüstungen verbessern den Lichteinfall fast nur am Boden; sie sind also eher zu vermeiden.

- Aus wärmetechnischen Gründen sollen Fenster an der Nordseite nur so gross sein, wie es für eine genügende Tageslichtnutzung erforderlich ist.
- Dachflächenfenster bringen sehr viel Licht, aber durch Verschmutzung und liegen gebliebenen Schnee kann der Lichteintritt behindert werden.

Sonnenschutz

Direkte Sonneneinstrahlung auf einen Arbeitsbereich muss vor allem aus drei Gründen vermieden werden:

- Starke Helligkeitsunterschiede (Kontraste) führen zur Ermüdung der Augen und verursachen, z.B. auf Computer-Bildschirmen, Spiegelungen.
- Auf helle oder glänzende Flächen auftreffendes Sonnenlicht verursacht Blendung.
- Sonneneinstrahlung durch die Fenster führt zu einer starken, im Sommer unerwünschten Erwärmung des Raumes (Treibhauseffekt).

Lamellenstoren (aussen)

sind besonders im Sommer geeignet und bei Bauten mit Klimaanlage fast Voraussetzung. Mit hellen und quer gestellten Lamellen bringen sie durch Reflexion Tageslicht in den Raum, ohne diesen aufzuwärmen.

Stoffstoren (aussen)

sind besonders im Sommer bei sehr starker Sonneneinstrahlung an der Südfassade geeignet. Der Stoff soll hell und lichtdurchlässig sein. Farbige Stoffe erschweren die Farberkennung. Ausstellbare Stoffe vermitteln ein Gefühl der Verbundenheit mit

der Aussenwelt. Zwischen Stoff und Fenster soll die Luft zirkulieren können, damit im Sommer kein Wärmestau entstehen kann.

Vorhänge (innen)

Im Winter soll von der tief stehenden Sonne möglichst viel Wärme und Licht in den Raum gelangen können, ohne dass Blendung entsteht. Dazu eignen sich helle, lichtdurchlässige Vorhänge oder senkrechte, im Winkel verstellbare Stoffbahnen.

Rollos und Lamellenstoren (innen)

bestehen meist aus einem festen Stoff, Papier oder Aluminium und lassen das Licht schlecht durch, sodass zusätzlich Kunstlicht verwendet werden muss.

Da sie die Erwärmung des Raumes nicht zu vermeiden vermögen, sind sie bei Bauten mit Klimaanlage untauglich (und in einigen Kantonen auch unzulässig).

Rollläden und Fensterläden (aussen)

sind als Blendschutz ungeeignet. Sie dunkeln den Raum stark ab und machen die Verwendung von Kunstlicht nötig.

Decken, Wände und Böden

Nicht nur bei der Tageslichtnutzung, sondern auch für einen möglichst guten Beleuchtungswirkungsgrad bei Kunstlicht ist die Farbe der Wände und Decken von grosser Bedeutung. Helle Wände und Decken reflektieren das Tageslicht und bewirken, dass auch

von Fenstern weiter entfernte Bereiche gleichmässig beleuchtet werden.

Auch Böden sollen nach Möglichkeit hell sein. Allerdings ist darauf zu achten, dass sie nicht glänzen und so schräg einfallendes Licht reflektieren und unangenehme Spiegelungen verursachen.

4.6 Automatische Steuerung

Dem guten Willen zum Energiesparen steht oft die Bequemlichkeit oder Vergesslichkeit entgegen. Die Bedienung einer Beleuchtungsanlage muss also möglichst einfach und benutzerfreundlich sein. Hier helfen verschiedene elektronische Lösungen.

Dämmerungsschalter

Das Licht wird in Abhängigkeit der Helligkeit (innen oder aussen) automatisch ein- bzw. ausgeschaltet. Nachteil: Das Licht brennt auch dann, wenn es nicht benötigt wird.

Zeitschalter (Treppenlichtautomat)

Auf Tastendruck brennt das Licht für kurze Zeit (z.B. 3 Min). Man erzielt auf diese Weise einen guten Spareffekt. Zeitschalter sind aber nur für Räume geeignet, in welchen man sich kurze Zeit aufhält. Zeitschalter, die bei einem erneuten Tastendruck wieder ausschalten, sparen noch mehr Energie.

Schaltuhren

Schaltuhren schalten das Licht zu bestimmten Tageszeiten ein und aus. Nachteil: Das Licht brennt auch dann, wenn es nicht benötigt wird. Schaltuhren können auch mit Dämmerungsschaltern kombiniert oder mit einem astronomischen Programm ausgestattet werden. Diese Steuerungen eignen sich für die Strassenbeleuchtung oder viel benutzte Treppenhäuser mit Tageslicht.

Bewegungsmelder

Sobald sich im Einflussbereich des Bewegungsmelders eine Person aufhält, schaltet ein Infrarotsensor die Beleuchtung ein. Meistens sind die Bewegungsmelder zusätzlich mit einem Zeitschalter und einem Dämmerungsschalter kombiniert. Bewegungsmelder sind nicht nur ausserordentlich komfortabel, sondern eine sehr wirkungsvolle Möglichkeit, elektrische Energie zu sparen. Der Standort des Bewegungsmelders muss sorgfältig gewählt und die Einstellung der Schalthempfindlichkeit, des Einflussbereiches und der Schaltzeit gut optimiert werden, damit nicht nutzlose Fehleinschaltungen erfolgen. Bewegungsmelder haben einen Eigenverbrauch von 0,3 bis 3W, was einem Energieverbrauch von ca. 3 bis 30 kWh pro Jahr entspricht.

Dimmer

Sowohl Glühlampen als auch Leuchtstofflampen lassen sich mit elektronischen Mitteln stufenlos regulieren. Bei Glühlampen sind Dimmer als Energiesparmassnahme nicht geeignet, weil die Lichtausbeute bei geringerer Glühtemperatur des Wolframdrahtes massiv abnimmt. Bei Leuchtstofflampen lassen sich nur solche mit einem elektronischen Vorschaltgerät dimmen. Die Lichtausbeute ändert sich nur wenig beim Dimmen. Dies bedeutet, dass bei halber Beleuchtungsstärke sich der Stromverbrauch auch auf nahezu die Hälfte verkleinert.

Regel- und Steuerungssysteme

Einen ausgezeichneten Spareffekt und ein hohes Mass an Komfort erhält man bei einer Beleuchtungsanlage durch die Kombination von Bewegungsmeldern, Lichtsensoren, Dimmer und Storensteuerung.

Am **Beispiel einer Schulzimmer- oder Bürobeleuchtung** soll die Funktion einer solchen Anlage erläutert werden.

Vorgabe: Im Raum soll auf den Arbeitsflächen überall eine einheitliche Beleuchtungsstärke von mind. 750 Lux erreicht werden.

In der Nacht regeln die Lampen auf volle Helligkeit, sobald der Bewegungsmelder die Anwesenheit einer Person dedektiert oder wenn die Lampen mit dem Schalter eingeschaltet werden. Hält sich niemand mehr im Raum auf, schaltet das Licht verzögert selbstständig aus.

Kommt Tageslicht in den Raum und die Lichtsensoren messen mehr als die gewünschte Beleuchtungsstärke, reduzieren die Lampen individuell ihre Lichtleistung. Nimmt das Tageslicht wieder ab, so wird automatisch die künstliche Beleuchtung wieder verstärkt.

Ein Aussensensor misst die Intensität der Sonnenstrahlung und den Sonnenstand. Würde die Sonne im Raum zu Blendung führen, fährt die Jalousie herunter, und die Lamellen werden so gestellt, dass möglichst viel Tageslicht in den Raum dringt, ohne dass die Sonne direkt hineinscheint. Die Jalousie fährt bei niedriger Aussentemperatur selbstständig

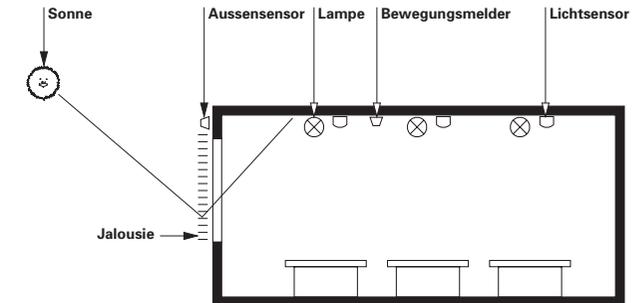


Abb. 15: Elemente einer Licht- und Sonneneinstrahlungsregelung

herunter, damit die Fenster den Raum nicht abkühlen, aber bei starkem Wind fährt sie zu ihrem Schutz wieder hinauf.

Moderne Lichtsteuerungssysteme erlauben es, über ein Gebäudeleitsystem (mit Datenbus) für jeden Raum vorprogrammierte und/oder sensorgesteuerte «Licht-Szenen» ablaufen zu lassen. Raumbenutzer können natürlich nach ihren Bedürfnissen über ein Raumbedienungsgerät eingreifen.

5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

Lernauftrag 1: Schulzimmer, Berechnen der Beleuchtungsanlage

a) Bestimmen Sie zuerst die Randbedingungen für Ihr Schulzimmer:

Länge x Breite: m · m

Farbe der Wände: hell mittel dunkel

Farbe der Decke: hell mittel dunkel

Beleuchtungsart: direkt

vorwiegend direkt

gleichförmig

Daraus geschätzter Beleuchtungswirkungsgrad:
.....

Gewünschte Beleuchtungsstärke:
..... Lux

Lichtstrom der vorgesehenen Lampen :
..... lm/Lampe

b) Berechnen Sie die notwendige Anzahl Lampen.
Wählen Sie die Anzahl so, dass sich eine vernünftige Verteilung ergibt, z.B. 3 Reihen zu 6 Lampen = 18 Lampen.

Lernauftrag 2: Schulzimmer, Messen der mittleren Beleuchtungsstärke

a) Messen Sie bei eingeschalteter Beleuchtung an 20 gleichmässig verteilten Punkten im Schulzimmer die Beleuchtungsstärke mit dem Luxmeter. Achten Sie darauf, dass kein Fremdlicht die Messung beeinflusst.

E 11 =	E 12 =	E 13 =	E 14 =
E 21 =	E 22 =	E 23 =	E 24 =
E 31 =	E 32 =	E 33 =	E 34 =
E 41 =	E 42 =	E 43 =	E 44 =
E 51 =	E 52 =	E 53 =	E 54 =

b) Bilden Sie die Summe aus allen Messwerten und berechnen Sie daraus den Mittelwert.

Lösung Lernauftrag 1: Schulzimmer, Berechnen der Beleuchtungsanlage

a) Bestimmen Sie zuerst die Randbedingungen für Ihr Schulzimmer:

Länge x Breite: 8,0 m · 10,0 m

Farbe der Wände: hell mittel dunkel

Farbe der Decke: hell mittel dunkel

Beleuchtungsart: direkt

vorwiegend direkt

gleichförmig

Daraus geschätzter Beleuchtungswirkungsgrad:
 $\eta_B = 0,5$

Gewünschte Beleuchtungsstärke:
 $E = 500 \text{ Lux}$

Lichtstrom der vorgesehenen Lampen:
 Fl. 36 W, weiss $\Phi_L = 3000 \text{ lm}$

b) Berechnen Sie die notwendige Anzahl Lampen. Wählen Sie die Anzahl so, dass sich eine vernünftige Verteilung ergibt, z.B. 3 Reihen zu 6 Lampen = 18 Lampen.

$$A = l \cdot b = 8 \cdot 10 = 80 \text{ m}^2$$

$$\Phi = E \cdot A = 500 \cdot 80 = 40'000 \text{ lm}$$

$$\Phi_N = \frac{\Phi}{\eta_B} = \frac{40'000}{0,5} = 80'000 \text{ lm}$$

$$n = \frac{\Phi_N}{\Phi_L} = \frac{80'000}{3'000} = 26,7$$

→ 28 Lampen

→ **2 Reihen à 7 Leuchten 2 x 36 W**

Lösung Lernauftrag 2: Schulzimmer, Messen der mittleren Beleuchtungsstärke

a) Messen Sie bei eingeschalteter Beleuchtung an 20 gleichmässig verteilten Punkten im Schulzimmer die Beleuchtungsstärke mit dem Luxmeter. Achten Sie darauf, dass kein Fremdlicht die Messung beeinflusst.

E 11 = 430	E 12 = 630	E 13 = 640	E 14 = 450
E 21 = 450	E 22 = 650	E 23 = 660	E 24 = 470
E 31 = 480	E 32 = 680	E 33 = 690	E 34 = 500
E 41 = 460	E 42 = 660	E 43 = 670	E 44 = 480
E 51 = 440	E 52 = 640	E 53 = 650	E 54 = 460

b) Bilden Sie die Summe aus allen Messwerten und berechnen Sie daraus den Mittelwert.

$$E_M [\text{Lux}] = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n}{20} = \frac{11'190}{20} = \mathbf{560 \text{ Lux}}$$

Lernauftrag 3: Beleuchtungsstärke und Abstand

Die Beleuchtungsstärke verhält sich bei einer punktförmigen Lichtquelle umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes.

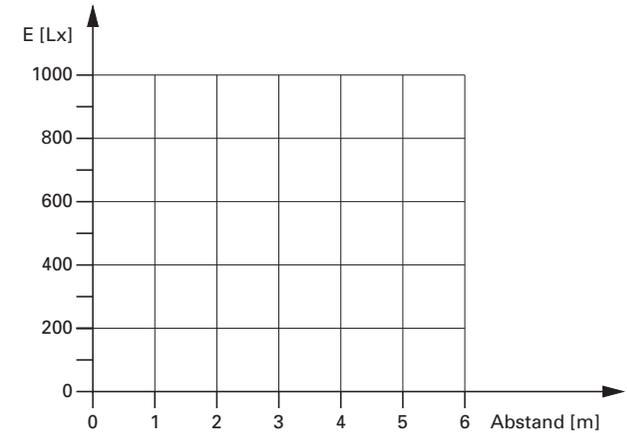
$$E_2 = E_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad [\text{Lx}]$$

Weisen Sie experimentell die Richtigkeit dieser Gesetzmässigkeit nach.

Vorgehen:

Den Versuch müssen Sie in einem verdunkelten Raum durchführen. Befestigen Sie auf einem Stativ auf ca. 1m über dem Boden eine 100W-Glühlampe mit einem lichtundurchlässigen Lampenschirm, sodass das Licht nur in horizontaler Richtung abgestrahlt wird. Messen Sie nun mit einem Lux-Meter die Beleuchtungsstärke im Abstand von 1m, 2m, 3m usw. und tragen Sie das Messergebnis in die Tabelle ein. Berechnen Sie die Beleuchtungsstärke in % (2m = 100%).

Stellen Sie das Ergebnis grafisch dar.



Abstand	1m	2m	3m	4m	5m	6m
Beleuchtungsstärke gemessen [Lx]						
Beleuchtungsstärke gemessen [%]						

Lösung Lernauftrag 3:
Beleuchtungsstärke und Abstand

Die Beleuchtungsstärke verhält sich bei einer punktförmigen Lichtquelle umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes.

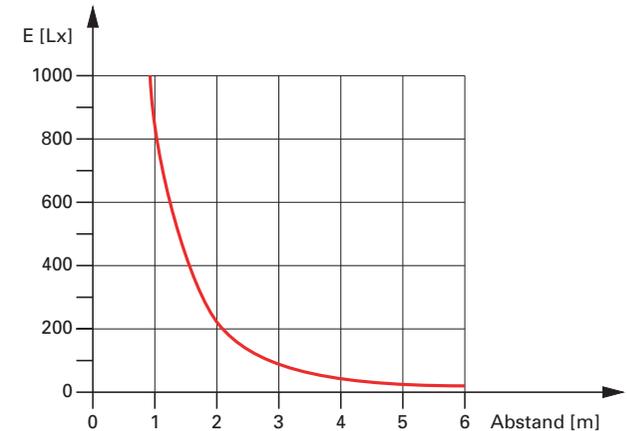
$$E_2 = E_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad [\text{Lx}]$$

Weisen Sie experimentell die Richtigkeit dieser Gesetzmässigkeit nach.

Vorgehen:

Den Versuch müssen Sie in einem verdunkelten Raum durchführen. Befestigen Sie auf einem Stativ auf ca. 1 m über dem Boden eine 100W-Glühlampe mit einem lichtundurchlässigen Lampenschirm, sodass das Licht nur in horizontaler Richtung abgestrahlt wird. Messen Sie nun mit einem Lux-Meter die Beleuchtungsstärke im Abstand von 1 m, 2 m, 3 m usw. und tragen Sie das Messergebnis in die Tabelle ein. Berechnen Sie die Beleuchtungsstärke in % (2 m = 100%).

Stellen Sie das Ergebnis grafisch dar.



Abstand	1m	2m	3m	4m	5m	6m
Beleuchtungsstärke						
gemessen [Lx]	800	200	88	50	32	22
Beleuchtungsstärke						
gemessen [%]	400%	100%	44%	25%	16%	11%

Lernauftrag 4: Sparen mit der Sparlampe

Wie viel lässt sich tatsächlich mit der Sparlampe sparen? Dies soll in der folgenden Berechnung gezeigt werden. Für eine Zeit von 10'000 Stunden werden die Energiekosten und die Gestehungskosten von Glühlampe und Sparlampe mit gleichem Lichtstrom einander gegenübergestellt. Die Kosten für die Entsorgung und für das Auswechseln der Lampen werden in der Rechnung nicht berücksichtigt.

Zuerst müssen einige Randbedingungen festgehalten werden:

- Anschaffungskosten einer Glühlampe:
..... Fr.
- Anschaffungskosten einer Sparlampe:
..... Fr.
- Leistung der Glühlampe:
..... kW
- Leistung der Sparlampe:
..... kW
- Lebensdauer einer Glühlampe:
..... h
- Lebensdauer einer Sparlampe:
..... h
- Preis einer Kilowattstunde:
..... Fr./kWh

Glühlampe

Anschaffungskosten:

..... Glühlampen zu Fr. = Fr.

Energiekosten:

$$K = P \cdot t \cdot k \text{ [Fr. = kW} \cdot \text{h} \cdot \text{Fr./kWh]}$$

K = + + = Fr.

Total

Fr.

Sparlampe

Anschaffungskosten:

..... Sparlampen zu Fr. = Fr.

Energiekosten:

$$K = P \cdot t \cdot k \text{ [Fr. = kW} \cdot \text{h} \cdot \text{Fr./kWh]}$$

K = + + = Fr.

Total

Fr.

Ersparnis

Fr.

Fazit:

Rechnet man mit einer durchschnittlichen, täglichen Einschaltdauer von $4\frac{1}{2}$ Stunden, so entsprechen 10'000 Stunden Betriebszeit (=Lebensdauer einer Sparlampe) einer Benützungsdauer von ca. 6 Jahren! Ersetzt man z.B. in einem Haushalt 8 Glühlampen durch Sparlampen, so ergibt dies eine Kostenersparnis pro Jahr von Fr.

Lösung Lernauftrag 4: Sparen mit der Sparlampe

Wie viel lässt sich tatsächlich mit der Sparlampe sparen? Dies soll in der folgenden Berechnung gezeigt werden. Für eine Zeit von 10'000 Stunden werden die Energiekosten und die Gestehungskosten von Glühlampe und Sparlampe mit gleichem Lichtstrom einander gegenübergestellt. Die Kosten für die Entsorgung und für das Auswechseln der Lampen werden in der Rechnung nicht berücksichtigt.

Zuerst müssen einige Randbedingungen festgehalten werden:

- Anschaffungskosten einer Glühlampe:
.1.50 Fr.
- Anschaffungskosten einer Sparlampe:
.15.00 . . . Fr.
- Leistung der Glühlampe:
.0.100 . . . kW
- Leistung der Sparlampe:
.0.020 . . . kW
- Lebensdauer einer Glühlampe:
.1'000 . . . h
- Lebensdauer einer Sparlampe:
.10'000 . . h
- Preis einer Kilowattstunde:
.0.20 Fr./kWh

Glühlampe

Anschaffungskosten:

10 Glühlampen zu Fr. 1.50 = Fr. 15.–

Energiekosten:

$K = P \cdot t \cdot k$ [Fr. = kW · h · Fr./kWh]

$K = 0.1 \cdot 10'000 \cdot 0.20 = Fr. 200.–$

Total

Fr. 215.–

Sparlampe

Anschaffungskosten:

1 Sparlampen zu Fr. 15.– = Fr. 15.–

Energiekosten:

$K = P \cdot t \cdot k$ [Fr. = kW · h · Fr./kWh]

$K = 0,02 \cdot 10'000 \cdot 0,20 = Fr. 40.–$

Total

Fr. 55.–

Ersparnis

Fr. 160.–

Fazit:

Rechnet man mit einer durchschnittlichen, täglichen Einschaltdauer von $4\frac{1}{2}$ Stunden, so entsprechen 10'000 Stunden Betriebszeit (=Lebensdauer einer Sparlampe) einer Benützungsdauer von ca. 6 Jahren! Ersetzt man z.B. in einem Haushalt 8 Glühlampen durch Sparlampen, so ergibt dies eine Kostenersparnis pro Jahr von ca. **Fr. 213.–**

Lernauftrag 5: Stromverbrauch einer vierköpfigen Familie

Für eine vierköpfige Familie soll der wöchentliche Verbrauch elektrischer Energie in einer Vierzimmer-Wohnung ermittelt werden. Der Verbrauch wird gemäss nachfolgender Tabelle in folgende Bereiche eingeteilt:

- Kochen
- Kühlen
- Abwaschen
- Hygiene
- Unterhaltung
- Beleuchtung

Als Grundlage soll eine Woche im Herbst mit veränderlichem Wetter dienen.

Gehen Sie bei Ihrer Untersuchung in vier Schritten vor:

a) Verbraucherleistungen

Aufgrund der Herstellerangaben, Datenschilder oder aus Fachbüchern wird die Leistung der einzelnen Verbraucher ermittelt. In vielen Fällen wird man auf Schätzungen angewiesen sein, weil z.B. Geräte mit Thermostat nicht immer die volle Leistung beziehen. Auch bei der Beleuchtung sind oft verschiedene Lampen unterschiedlich lang im Betrieb.

b) Einschaltdauer

Eine Woche lang soll zu Hause die Einschaltdauer der einzelnen Verbraucher oder die Häufigkeit der Benützung beobachtet und in die Tabelle eingetragen werden. Bei Geräten wie dem Kühlschrank hängt die Einschaltdauer des Aggregats wesentlich von der Benützung ab. Als Annahme kann man von einer Einschaltdauer von ca. $\frac{1}{2}$ der Testdauer ausgehen.

c) Energieverbrauch

Aus den ermittelten Werten wird nun der tägliche und der wöchentliche Energieverbrauch berechnet und die Summe der einzelnen Bereiche ermittelt (gerundet auf 0,5 kWh).

$$W = P \cdot t \quad [\text{kWh} = \text{kW} \cdot \text{h}]$$

d) Prozentuale Verteilung

Das Gesamttotal wird als 100% angenommen und daraus der prozentuale Anteil der einzelnen Bereiche ermittelt. Das Ergebnis kann grafisch mit einem Kuchendiagramm dargestellt werden.

Lernauftrag 5: Leere Tabelle

Energieverbrauch einer vierköpfigen Familie in einer Vierzimmer-Wohnung

Verbraucher	Durchschnittliche Leistung [kW]	Einschaltdauer täglich [h]	Einschaltdauer wöchentlich [h]	Energie pro Waschgang [kWh]	Energieverbrauch wöchentlich [kWh]	In % vom gesamten Energieverbrauch
Kochh. je Platte:	*					
Backofen	*					
Kaffeemaschine						
Total Kochen						
Kühlschrank			*			
Tiefkühler			*			
Total Kühlen						
Geschirrspüler		X				
Waschmaschine			X			
Bügeln						
Föhn						
Staubsauger						
Total Hygiene						
TV -Video						
PC mit Monitor						
Unterhaltung						
Licht Küche						
Licht Wohnz.						
Licht Schlafz.						
Licht Kinderz. 1						
Licht Kinderz. 2						
Licht Bad / WC						
Licht Gang						
Total Licht						
Gesamttotal						

* Bei Kochplatte und Backofen wird 50% der Maximalleistung gerechnet. Die Aggregate der Kühlgeräte sind 50% der Zeit eingeschaltet.

Lernauftrag 5: Tabelle mit Vorgaben zu Leistung und Verbrauch

Energieverbrauch einer vierköpfigen Familie in einer Vierzimmer-Wohnung

Verbraucher	Durchschnittliche Leistung [kW]	Einschaltdauer täglich [h]	Einschaltdauer wöchentlich [h]	Energie pro Waschgang [kWh]	Energieverbrauch wöchentlich [kWh]	In % vom gesamten Energieverbrauch
Kochh. je Platte	1,2 *					
Backofen	2 *					
Kaffeemaschine	2					
Total Kochen						
Kühlschrank	0,1	*				
Tiefkühler	0,1	*				
Total Kühlen						
Geschirrspüler		x		1,5		
Waschmaschine			x	3		
Bügeln	1					
Föhn	1,2					
Staubsauger	0,8					
Total Hygiene						
TV -Video	0,25					
PC mit Monitor	0,2					
Unterhaltung						
Licht Küche	0,05					
Licht Wohnz.	0,15					
Licht Schlafz.	0,1					
Licht Kinderz. 1	0,1					
Licht Kinderz. 2	0,1					
Licht Bad / WC	0,05					
Licht Gang	0,06					
Total Licht						
Gesamttotal						

* Bei Kochplatte und Backofen wird 50% der Maximalleistung gerechnet. Die Aggregate der Kühlgeräte sind 50% der Zeit eingeschaltet.

Lernauftrag 5: Ausgefüllte Tabelle mit allen Berechnungen

Energieverbrauch einer vierköpfigen Familie in einer Vierzimmer-Wohnung

Verbraucher	Durchschnittliche Leistung [kW]	Einschaltdauer täglich [h]	Einschaltdauer wöchentlich [h]	Energie pro Waschgang [kWh]	Energieverbrauch wöchentlich [kWh]	In % vom gesamten Energieverbrauch
Kochh. je Platte	1,2 *	1,5	10,5		12,5	
Backofen	2 *		1		2	
Kaffeemaschine	2	0,25	1,75		3,5	
Total Kochen					18	22 %
Kühlschrank	0,1	12 *	84		8,5	
Tiefkühler	0,1	12 *	84		8,5	
Total Kühlen					17	21 %
Geschirrspüler		1 x		1,5	10,5	13 %
Waschmaschine			3 x	3	9	
Bügeln	1		2		2	
Föhn	1,2	0,25	1,75		2	
Staubsauger	0,8		1		1	
Total Hygiene					14	17,5 %
TV -Video	0,2	3	21		4	
PC mit Monitor	0,15	2	14		2	
Unterhaltung					6	7,5 %
Licht Küche	0,05	3	21		1	
Licht Wohnz.	0,15	5	35		5,5	
Licht Schlafz.	0,1	2	14		1,5	
Licht Kinderz. 1	0,1	3	21		2	
Licht Kinderz. 2	0,1	3	21		2	
Licht Bad / WC	0,05	2	14		1,5	
Licht Gang	0,06	5	35		2	
Total Licht					15,5	19 %
Gesamttotal					81	100 %

* Bei Kochplatte und Backofen wird 50% der Maximalleistung gerechnet. Die Aggregate der Kühlgeräte sind 50% der Zeit eingeschaltet.

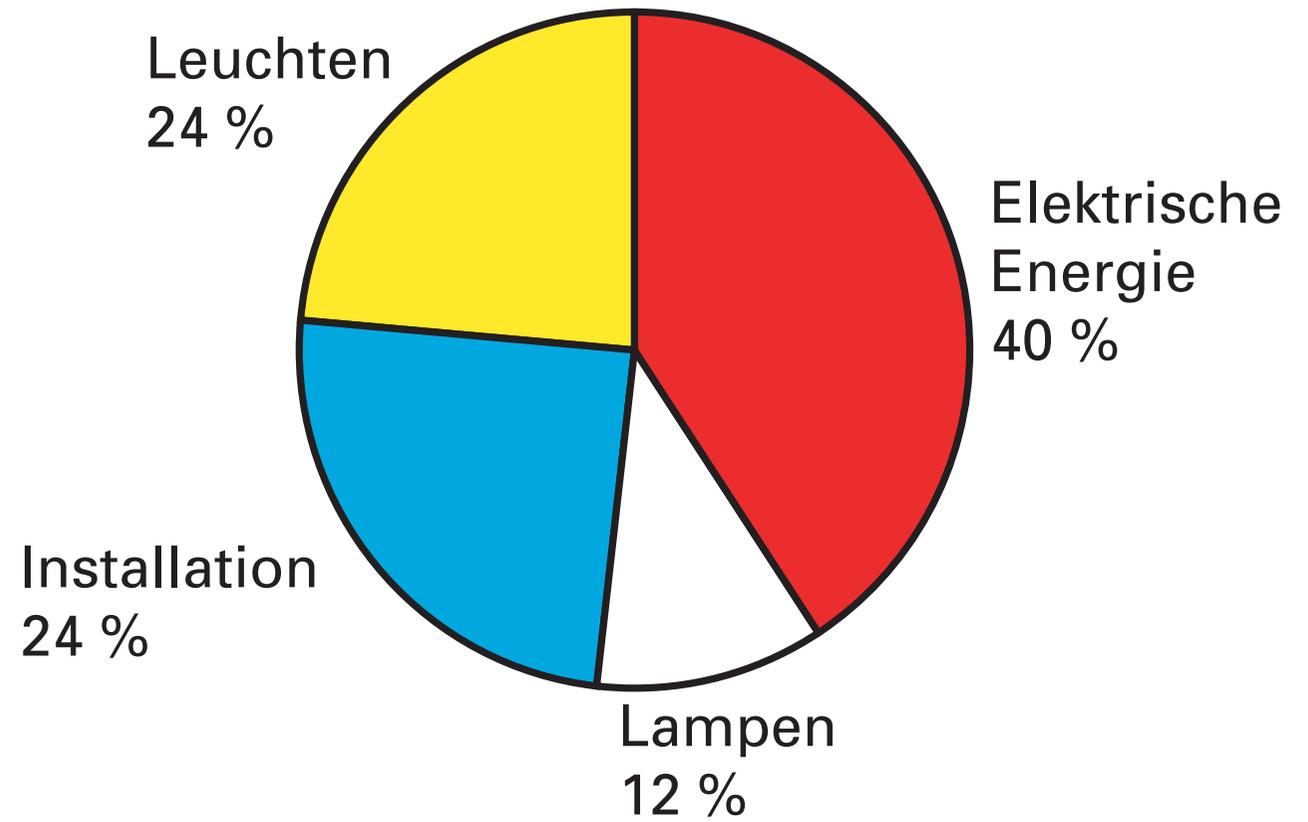
6. Weiterführende Literatur

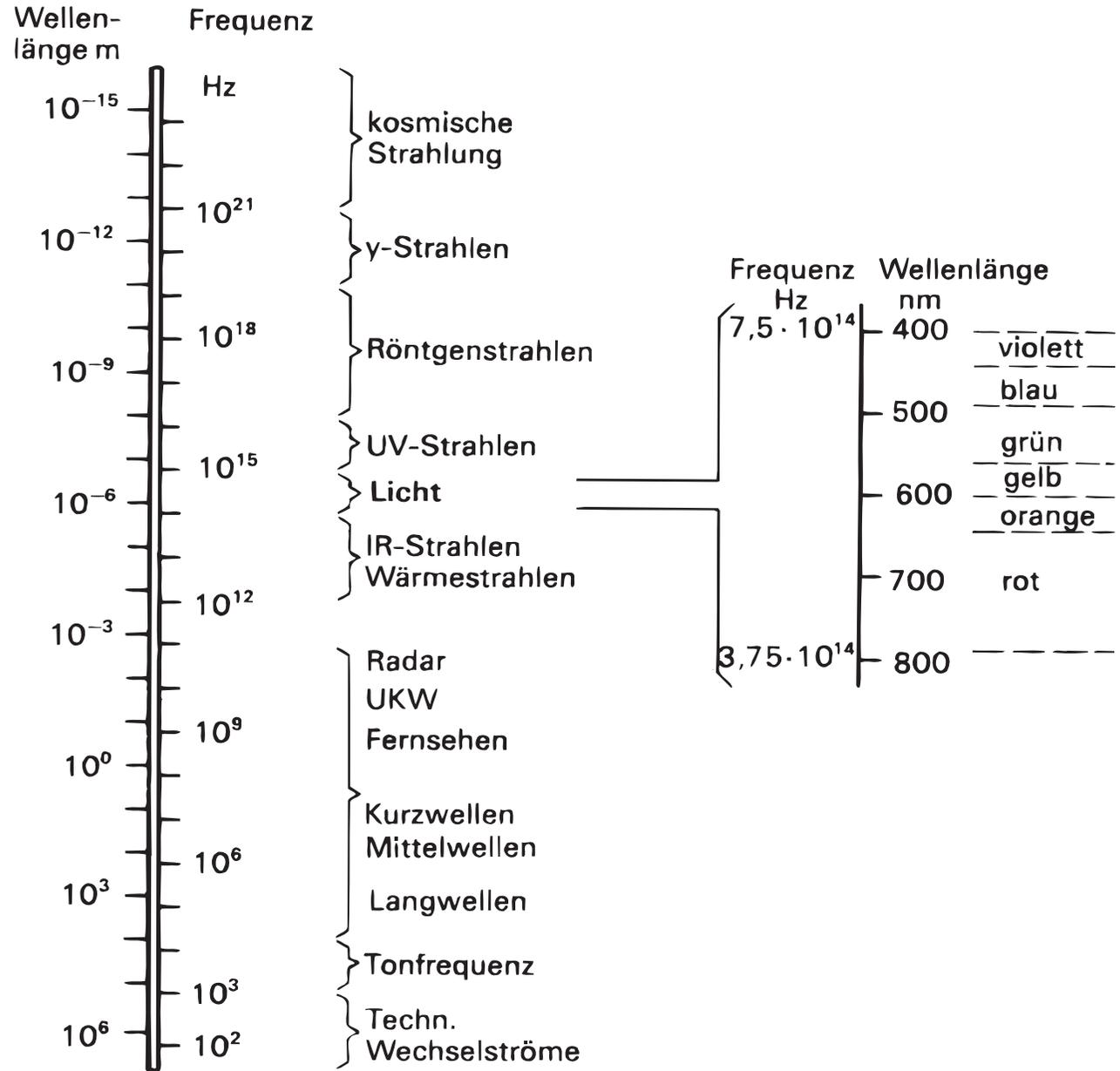
- Elektrische Installationen und Apparate
ISBN 3-905214-23-7
- Fachkunde Elektrotechnik
ISBN 3-8085-3431-1
- Beleuchtungstechnik für Praktiker
ISBN 3.905214-31-8
- Hausgerätetechnik, Beleuchtungstechnik und Klimatechnik
ISBN 3-8023-1580-4
- Energiesparen an Schulen
ISBN 3 8962 2023 3
- Strom optimal nutzen
ISBN 5 1761 2516 1
- Künstliche Beleuchtung:
Ergonomisch und energiesparend
ISBN 3-593-32711-2
- Tageslichttechnik 2000
ISBN 3-7905-0822-5
- Faktor Licht (Periodikum) Nr. 1–3
Schweiz. Agentur für Energieeffizienz
www.energieagentur.ch
Bezug: Minergie Geschäftsstelle, 3000 Bern 16

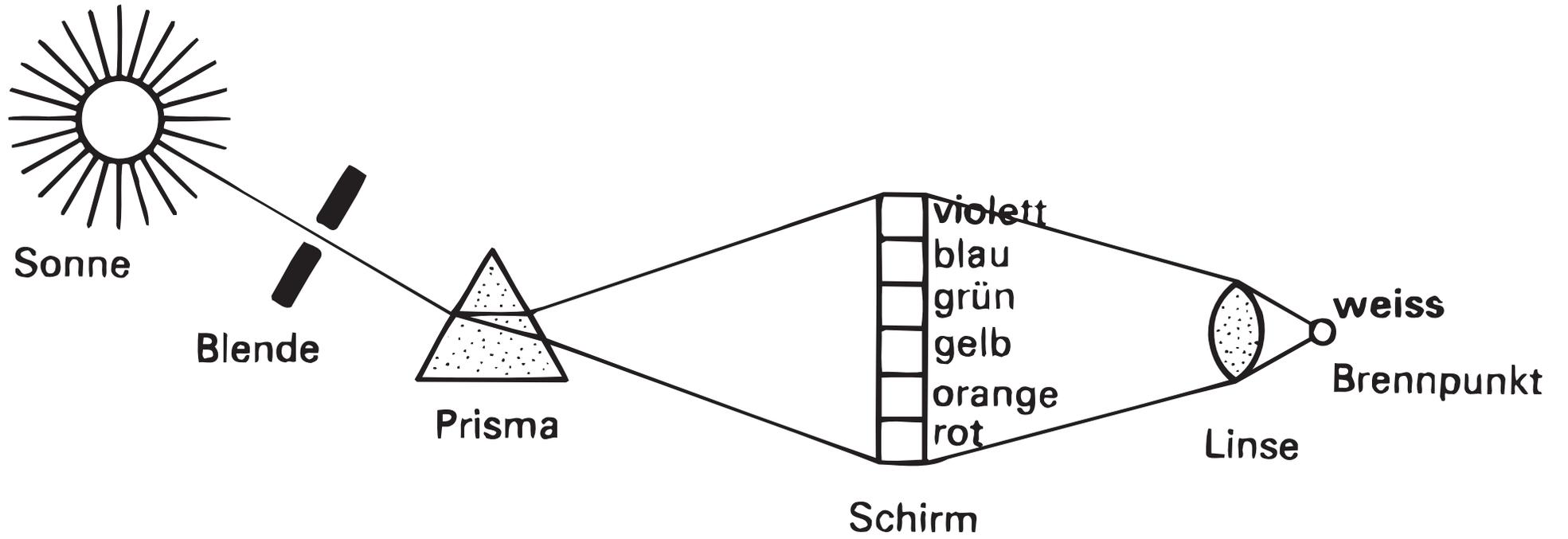
7 Bild- und Textnachweis

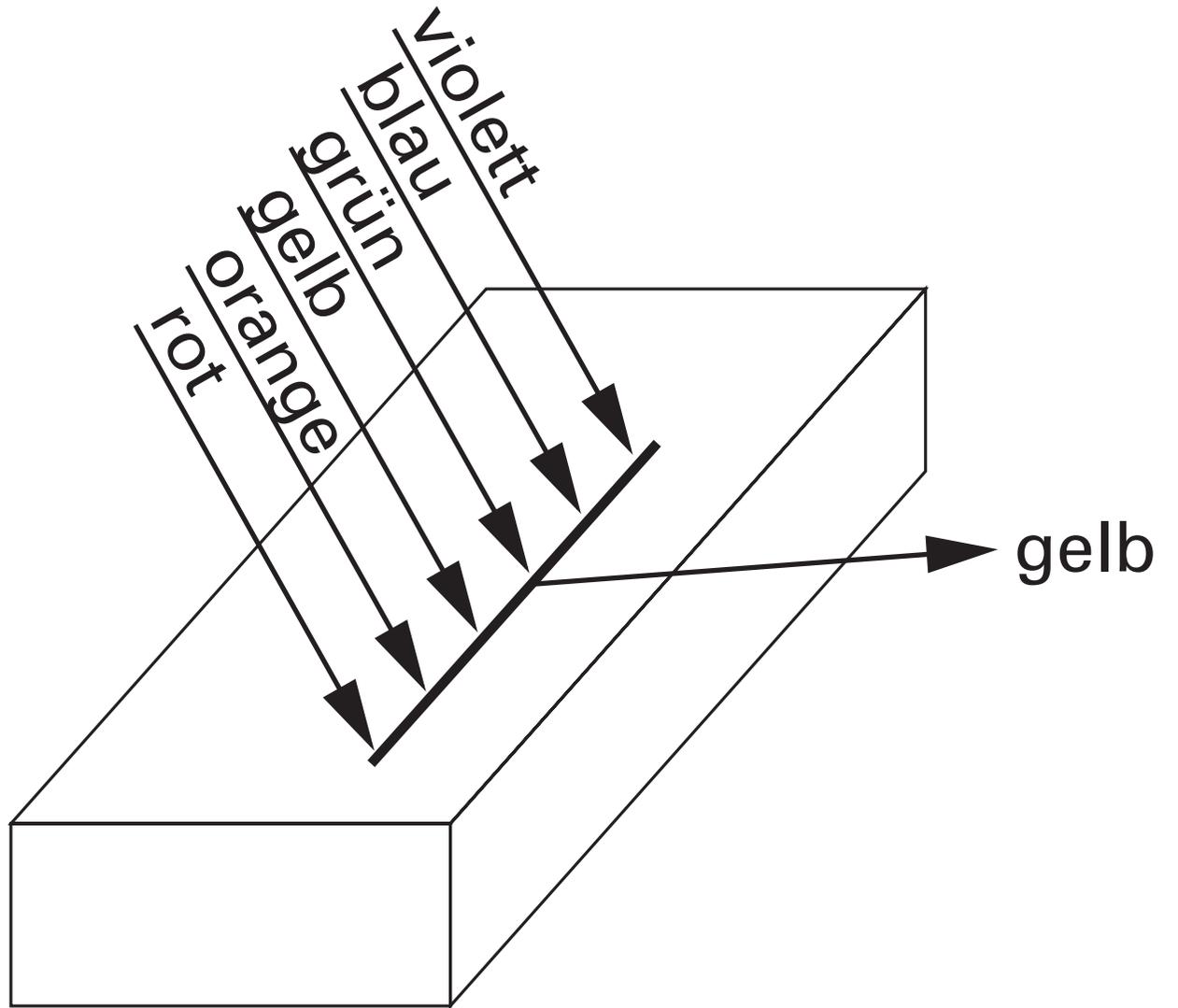
Abb. Nr.	Titel der Abb.	Buchtitel	Autor/Herausgeber
1	Aufwendungen ...		U. Marti
2	Übersicht über Frequenzen	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
3	Lichtzerlegung mit Prisma	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
4	Reflexion der Farben	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
5	Lichtstrom	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
6	Beleuchtungsstärke	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
7/8	Bel.-stärke und Abstand	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
9	Direkte Blendung	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
10	Indirekte Blendung	Elektrische Installationen und Apparate	(H. R. Ris)
11	Konventionelles VG	Kompetent antworten auf Energiefragen	Impulsprogramm Ravel
12	Elektronisches VG	Kompetent antworten auf Energiefragen	Impulsprogramm Ravel
13	Formen von Sparlampen		Osram AG
14	Energieetikette		Bundesamt für Energie
15	Lichtsteuerungssystem		U. Marti

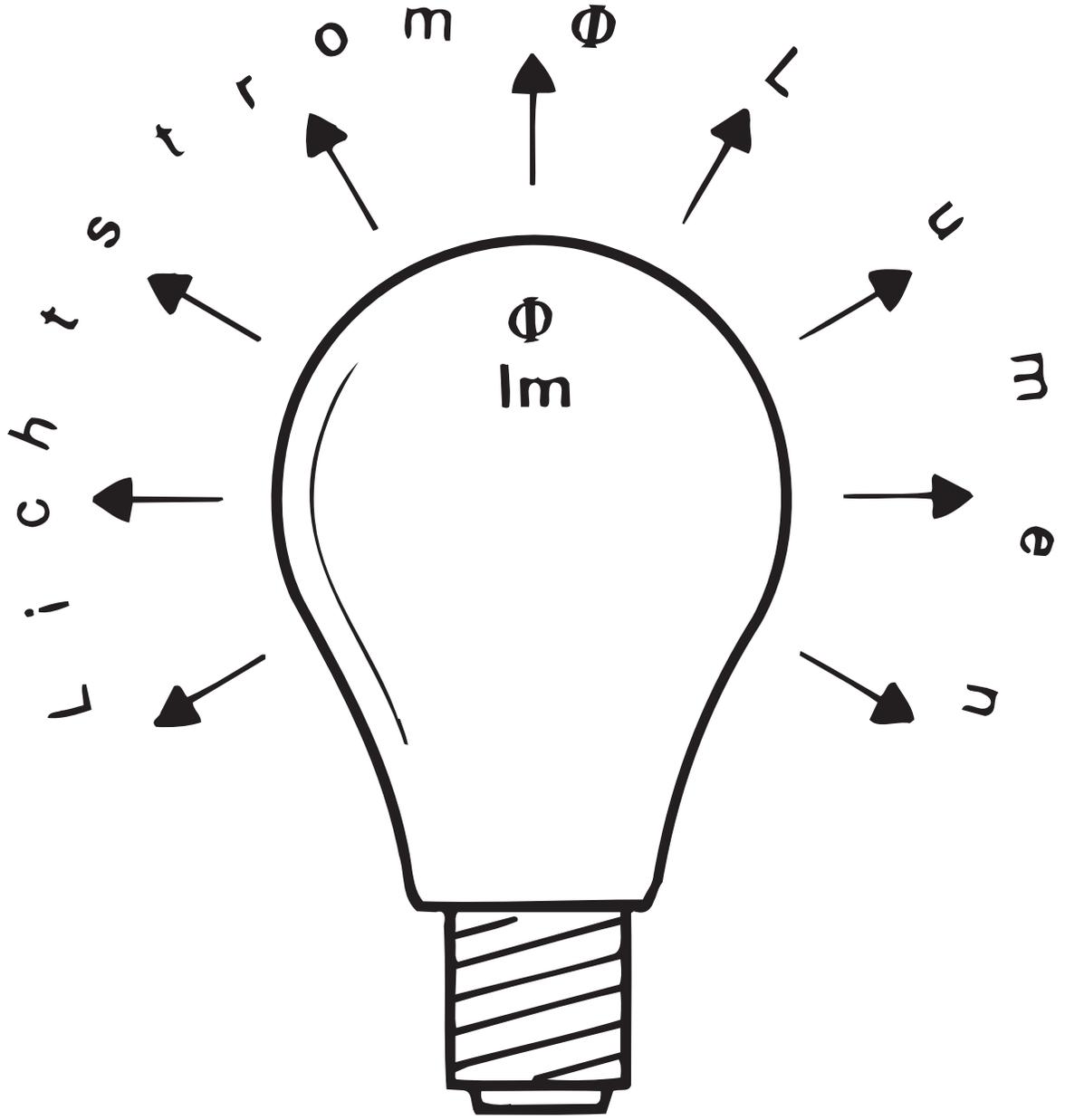
8 Vorlagen

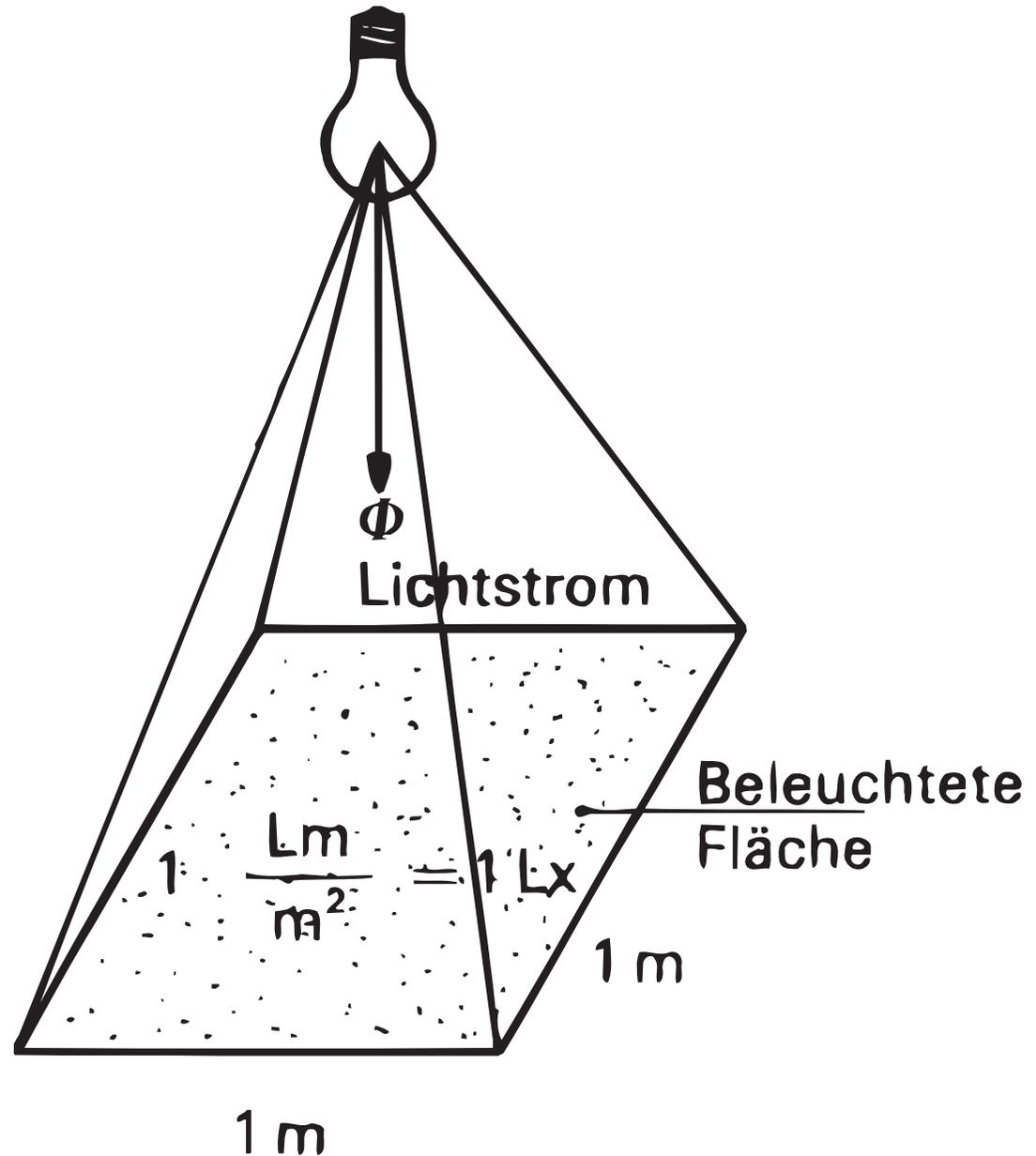


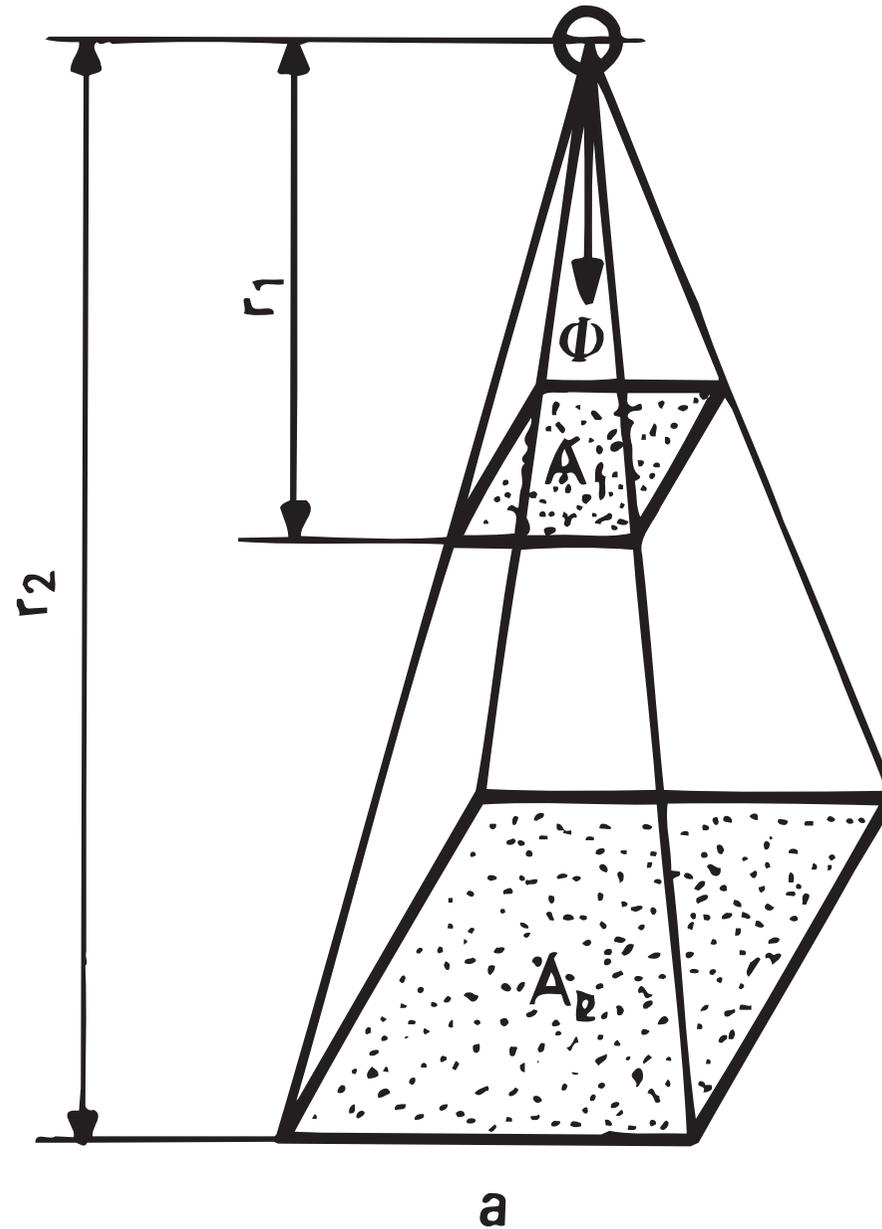


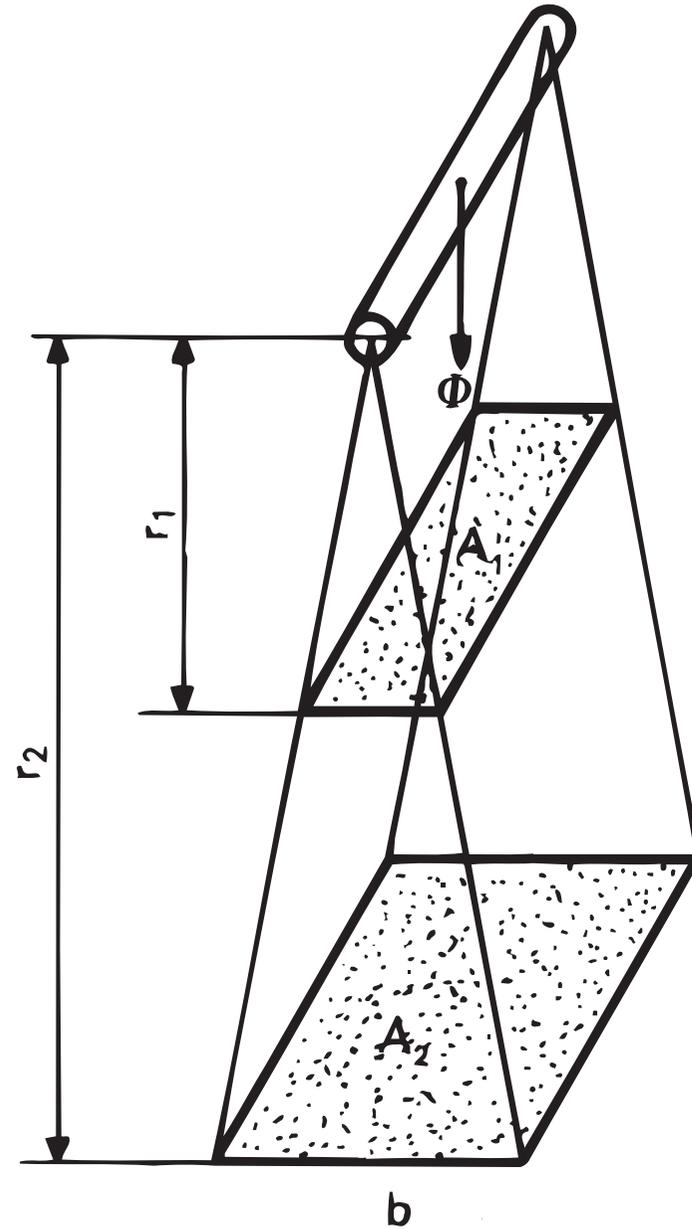


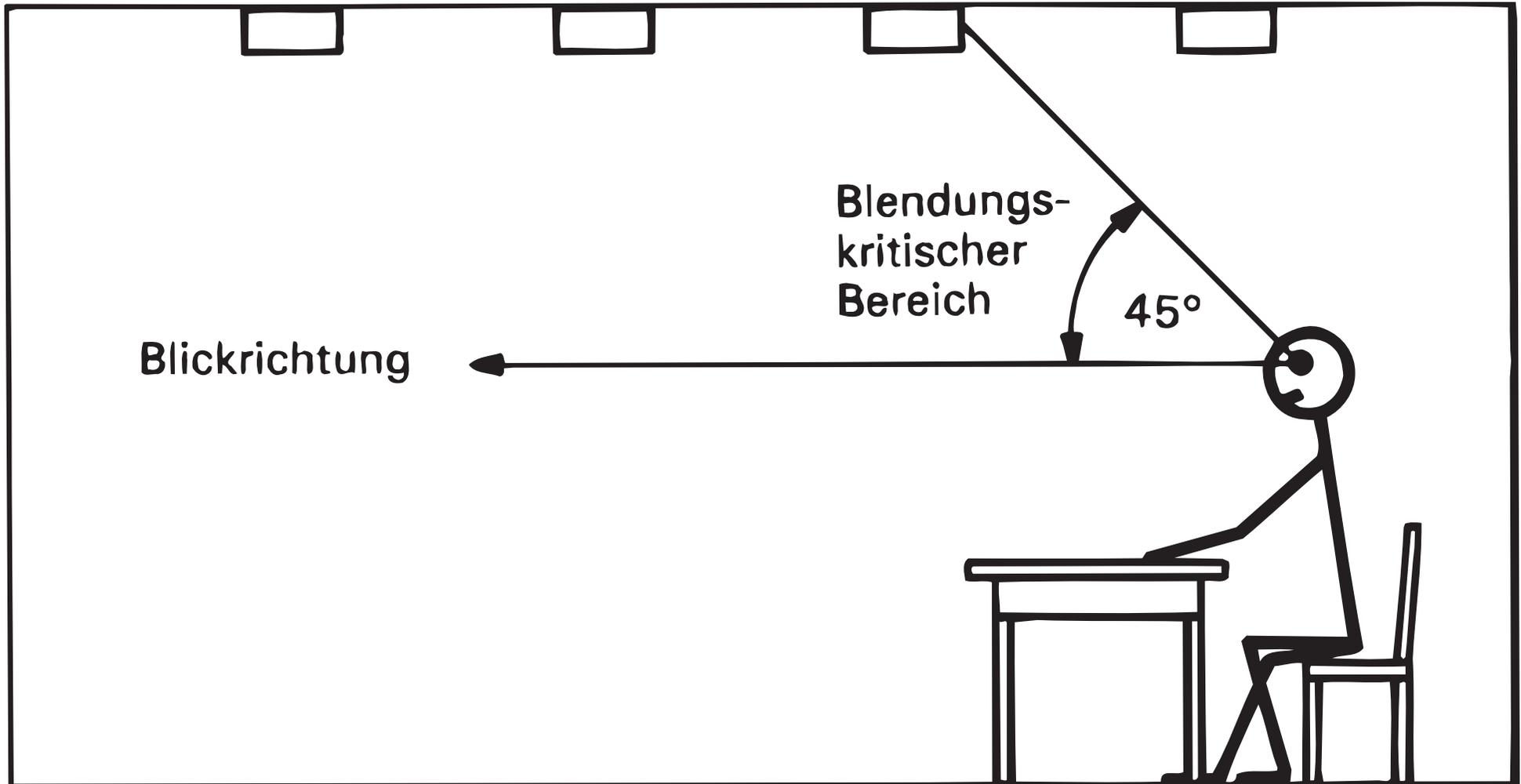


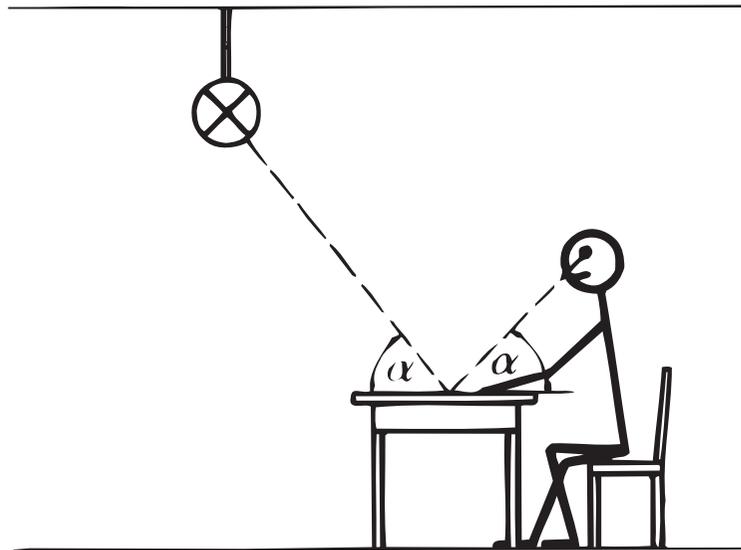




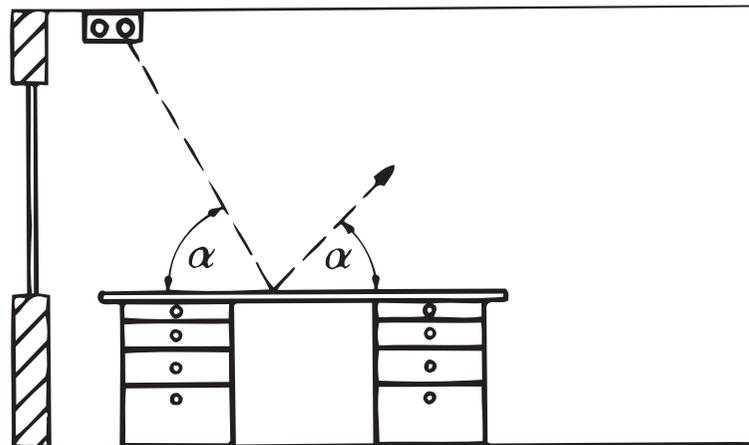






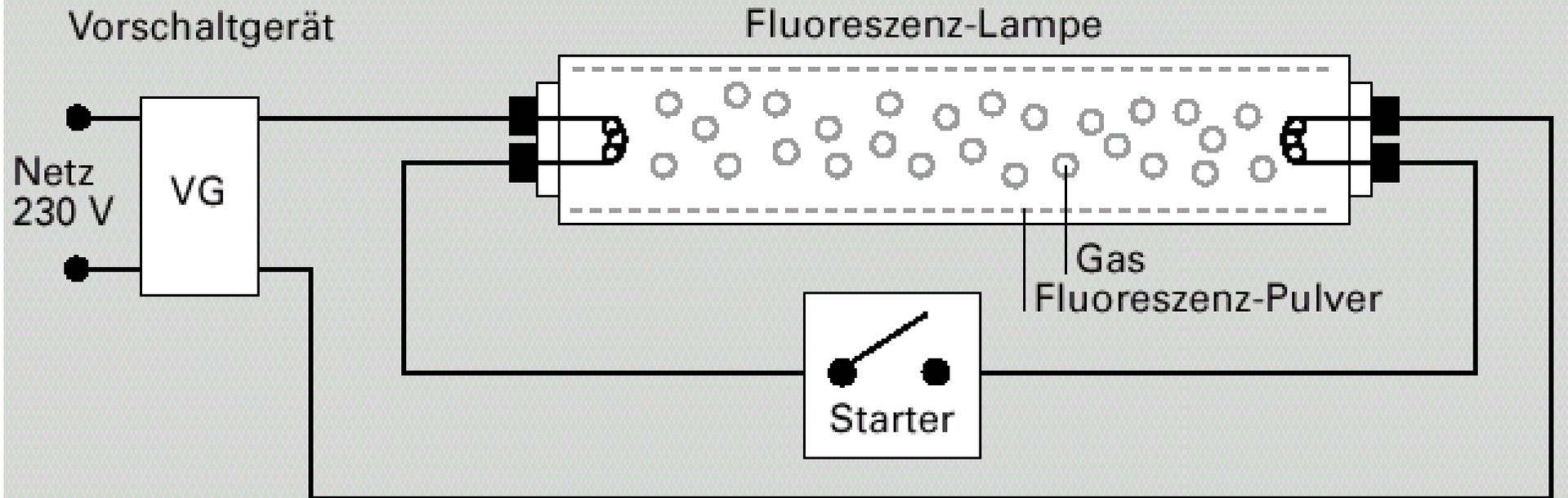


Falsche Anordnung

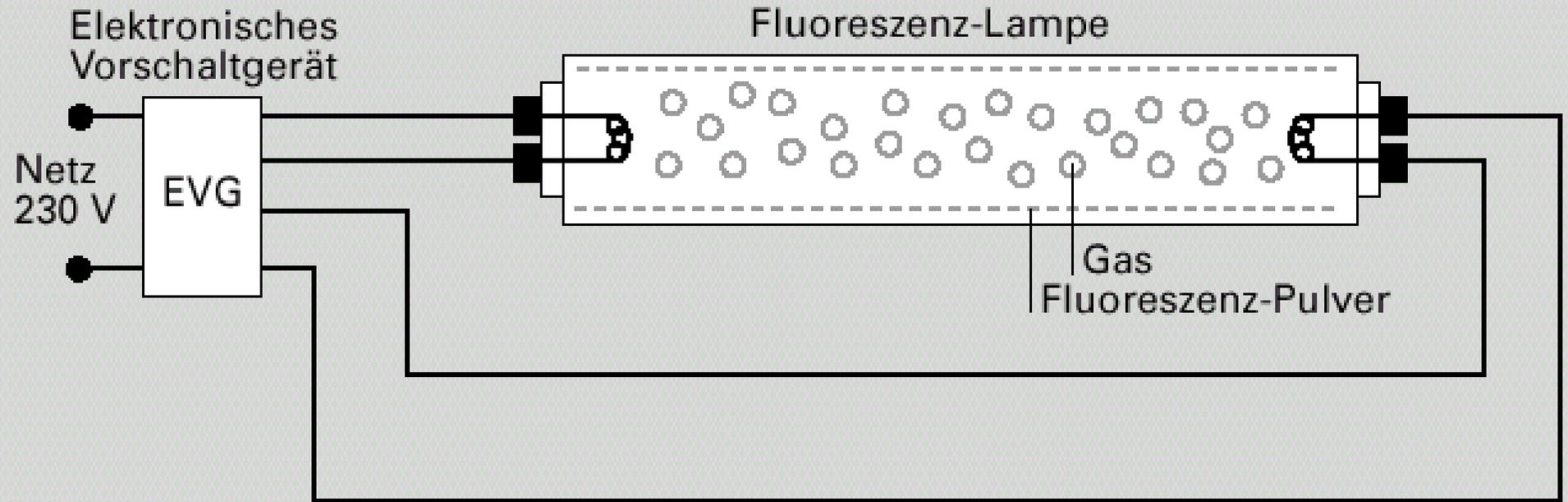


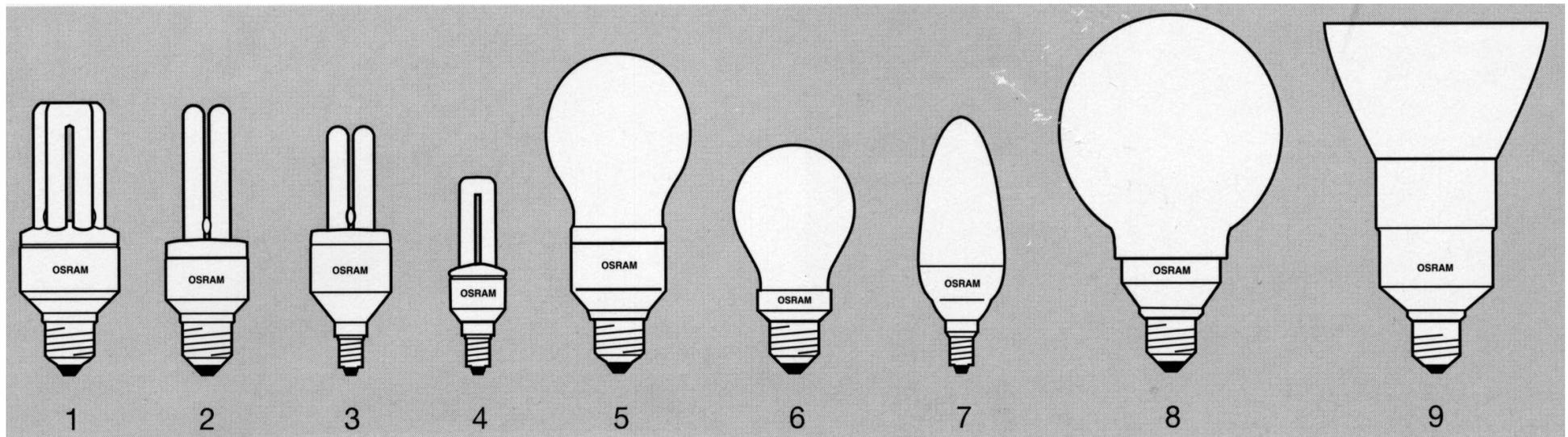
Richtige Anordnung

Betrieb mit konventionellem Vorschaltgerät

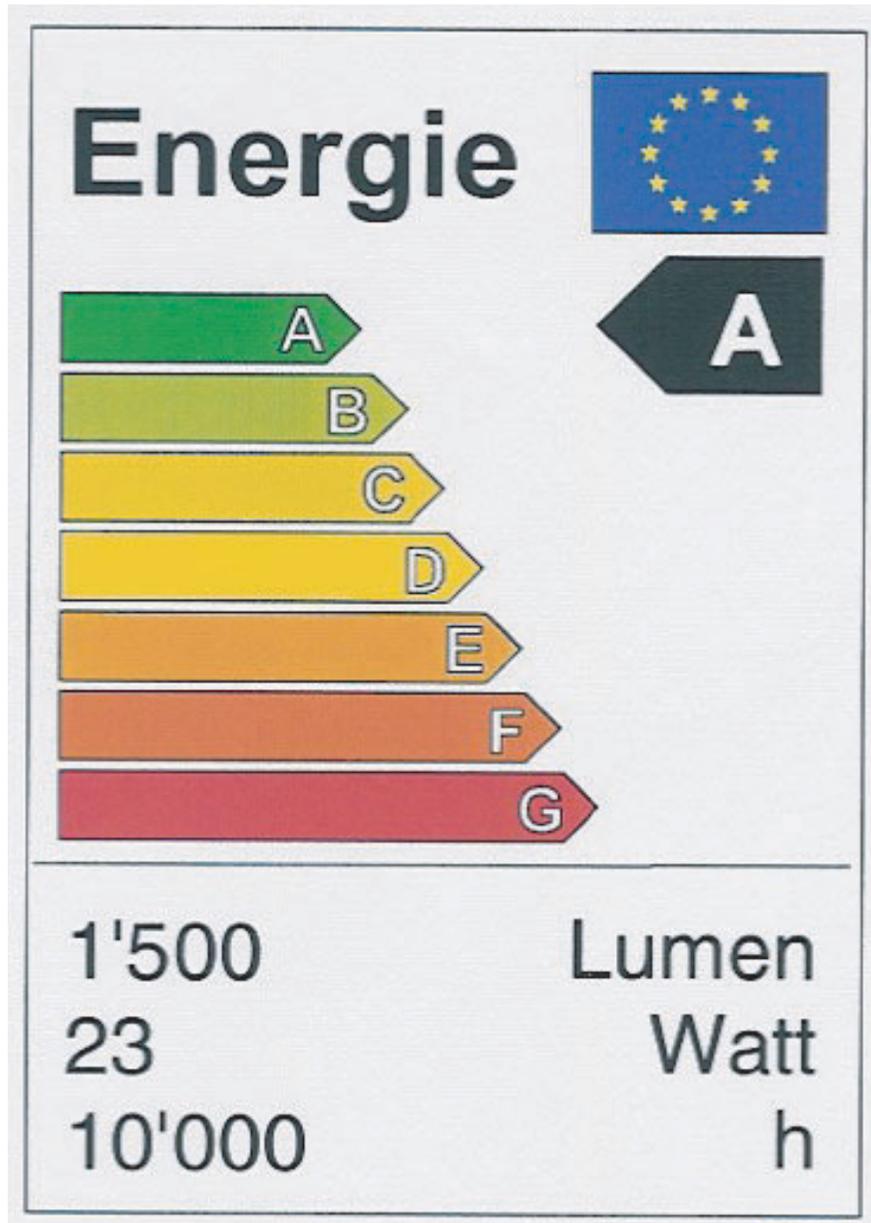


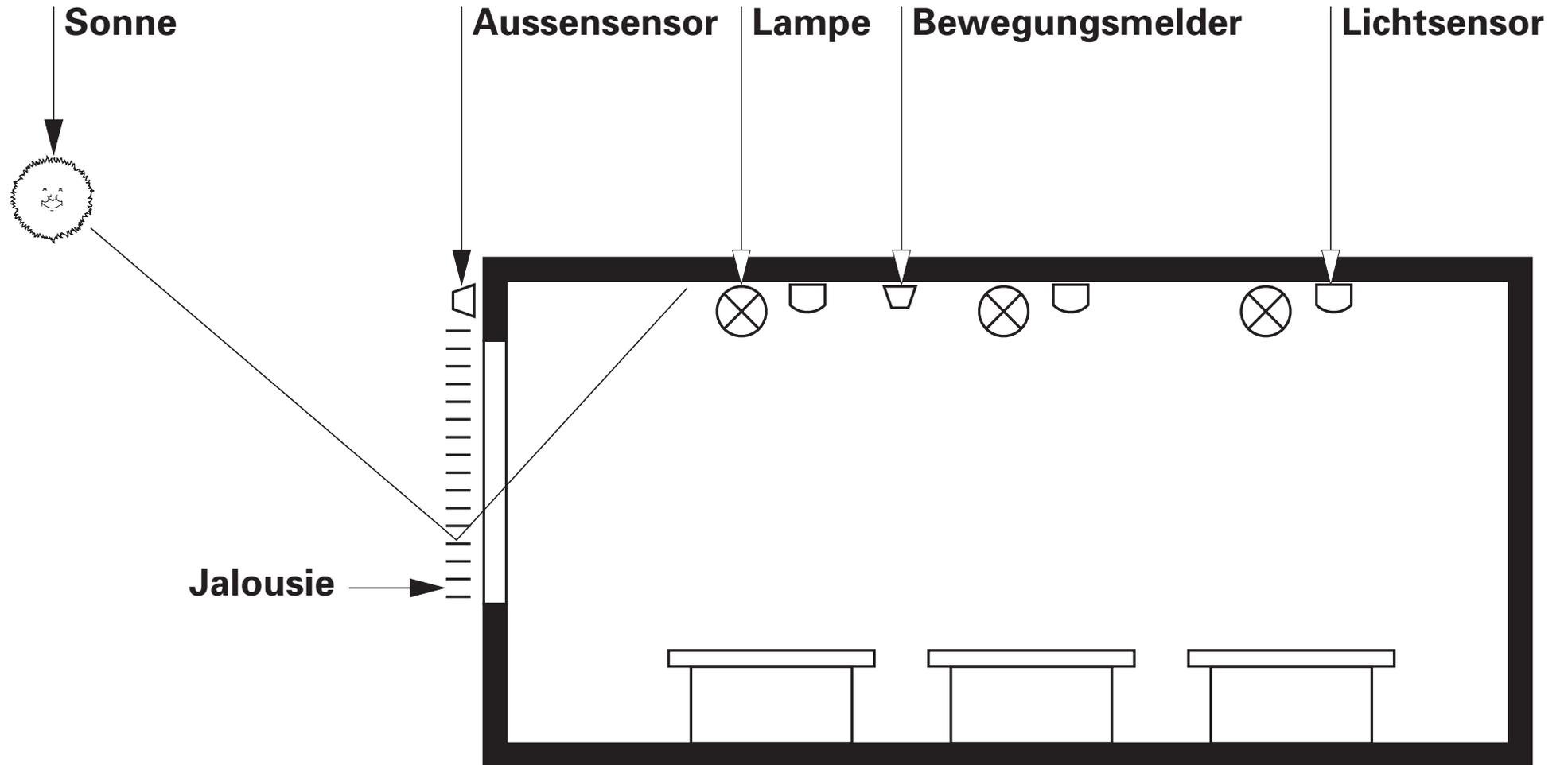
Betrieb mit elektronischem Vorschaltgerät





Position	Lampenform	Leistung	Gewinde
1	dreifach gebogene Röhren	15 bis 23 W	E27
2	zweifach gebogene Röhren	5 bis 12 W	E27
3	zweifach gebogene Röhren	5 bis 12 W	E14
4	einfach gebogene Röhre	3 W	E14
5	ähnlich wie Glühlampe	8 bis 16 W	E27
6	Glühlampe	5 bis 15 W	E27
7	Kerze	5 W	E14
8	Globe (Ballon)	15 bis 21 W	E27
9	Reflektor	15 bis 20 W	E27





Vorlage zu Tabelle, Seite 8

Lichtausbeute verschiedener Lampentypen

Lampe	Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
Glühlampe	40		
Halogenglühlampe	20		
Leuchtstofflampe	36		
Sparlampe	9		
Hochdruck-Metall dampflampe	150		
Niederdruck-Natrium dampflampe	150		

Vorlage zu Tabelle, Seite 8

Lichtausbeute verschiedener Lampentypen

Lampe	Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
Glühlampe	40	430	
Halogenglühlampe	20	350	
Leuchtstofflampe	36	3'000	
Sparlampe	9	540	
Hochdruck-Metall dampflampe	150	12'500	
Niederdruck-Natrium dampflampe	150	21'000	

Vorlage zu Tabelle, Seite 9

Empfohlene Beleuchtungsstärke

Eine ausreichende Beleuchtungsstärke trägt zum Wohlbefinden des Menschen bei. Sie steigert das Leistungsvermögen, hilft Unfälle und Fehler zu vermindern und verhindert eine rasche Ermüdung der Augen.

Sehaufgaben	Beispiele	Beleuchtungsstärke [Lx]
Orientierung		
Leicht		
Normal		
Schwierig		
Sehr schwierig		
Sonderfälle		

Vorlage zu Tabelle, Seite 9

Empfohlene Beleuchtungsstärke

Eine ausreichende Beleuchtungsstärke trägt zum Wohlbefinden des Menschen bei. Sie steigert das Leistungsvermögen, hilft Unfälle und Fehler zu vermindern und verhindert eine rasche Ermüdung der Augen.

Sehaufgaben	Beispiele	Beleuchtungsstärke [Lx]
Orientierung	Korridor, Schlafzimmer, Grosslager	
Leicht	Wohnzimmer, Restaurant, Maschinenhalle	
Normal	Küche, Montagehallen, Verkaufsräume, Räume mit Bildschirm-Arbeitsplätzen, Schulzimmer	
Schwierig	Fein-Apparatebau, Techn. Zeichnen	
Sehr schwierig	Goldschmied	
Sonderfälle	Operationstisch	