

## 1.2 Elektromagnetismus

Lernziele: Sie können ...

- ✓ Magnetfelder bei stromdurchflossenen Einzelleiter und Spulen korrekt einzeichnen
- ✓ die Kraftwirkung zwischen parallelen, stromdurchflossenen Leitern bestimmen
- ✓ Elektromagnete so bewickeln, dass die Magnetpole korrekt sind

Der dänische Physiker *Hans Christian Örsted* (1777 - 1851) entdeckte 1820 die Ablenkung einer Kompassnadel durch den elektrischen Strom. Damit war der Zusammenhang zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus gefunden.

### 1.2.1 Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

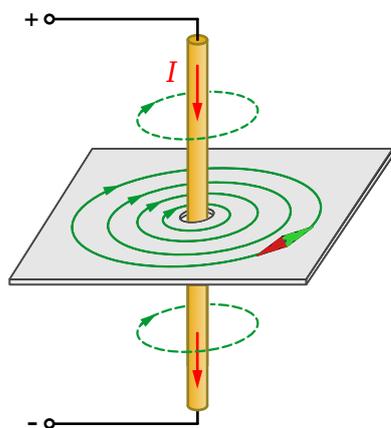


Abb. 12: Magnetfeld um Leiter

Jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben.

Um einen stromdurchflossenen Leiter entsteht ein kreisförmig verlaufendes Magnetfeld. Die Feldlinien sind konzentrisch, d.h. alle Kreise sind um einen gemeinsamen Mittelpunkt herum angeordnet. Mit einer Kompassnadel stellt man fest, dass das Magnetfeld eine von der Stromrichtung abhängige Richtung hat. Man hat folgende Vereinbarung getroffen:

Blick man in Richtung des Stromes auf den Leiter, entsteht ein Magnetfeld im Uhrzeigersinn.

Die Stärke des Magnetfeldes hängt von der Stromstärke ab. Je grösser die Stromstärke desto stärker ist auch das Magnetfeld.

Fließt der Strom von Betrachter weg, also in die Zeichnungsebene hinein, so kennzeichnet man dies mit einem Kreuz. Das Magnetfeld ist dann im Uhrzeigersinn gerichtet. Blickt man auf den Leiter und fließt der Strom zum Betrachter hin, so kennzeichnet man dies mit einem Punkt. Das Magnetfeld ist dann im Gegenuhrzeigersinn gerichtet.

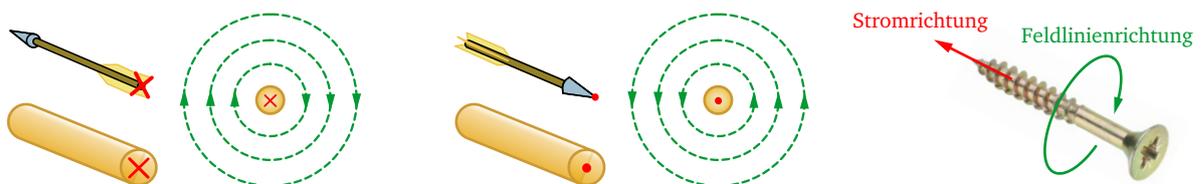


Abb. 13: Richtung von Strom und Magnetfeld

Man kann die Feldlinienrichtung auch mit der *Schraubenregel* bestimmen: Man denkt sich eine Schraube mit Rechtsgewinde in Richtung des Stromes hineingeschraubt. Die Drehrichtung der Schraube gibt dann die Richtung der magnetischen Feldlinien an.

### 1.4.6 Wirbelströme

Spannungserzeugung durch Induktion funktioniert nicht nur in Drähten und Spulen, sondern auch in massiven leitfähigen Teilen. Dies hat meist einen grossen Strom zur Folge, weil die massiven Teile wie eine in sich geschlossene Leiterschleife wirken (Kurzschluss). Da der Stromweg nicht genau festgelegt ist, spricht man von *Wirbelströmen*.

#### ► Wirbelströme (durch *Generatorprinzip*)

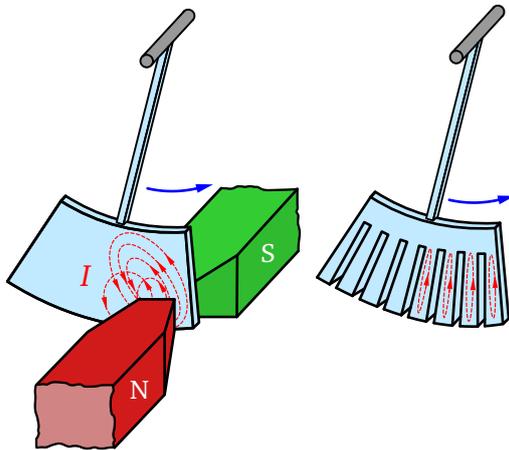


Abb. 26: Waltenhof'sches Pendel

Wir lassen erst ein massives und danach ein geschlitztes Kupferpendel zwischen den Polen eines Dauer- oder Elektromagneten schwingen. Was können Sie feststellen?

Das massive Pendel wird stark, das geschlitzte Pendel jedoch fast gar nicht abgebremst.

Im Pendel werden Wirbelströme induziert. Diese Wirbelströme haben ein Magnetfeld zur Folge. Nach der Lenz'schen Regel ist das Feld so gerichtet, dass es die Bewegung bremst.

Anwendungen der Wirbelstrombremse sind:

- mechanische kWh-Zähler
- Zeigerdämpfung bei Messgeräten
- Nutzfahrzeuge z.B. LKW, Züge
- Laststeuerung bei Ergometern

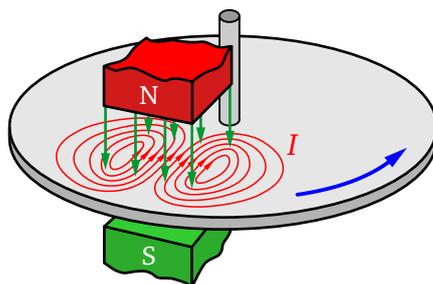


Abb. 27: Prinzip Wirbelstrombremse

Eine Verringerung der Bremswirkung ist möglich, indem man die Stromwege durch Schlitze unterbricht oder schlechter leitendes Material verwendet.

#### ► Wirbelströme (durch *Transformatorprinzip*)

Durchdringt ein magnetisches Wechselfeld leitendes Material, entstehen Wirbelströme, welche das Material erwärmen.

Je kleiner die Angriffsfläche des Magnetfeldes und je schlechter die Leitfähigkeit des Materials ist, desto geringer sind die Wirbelstromverluste (Wärmeverluste).

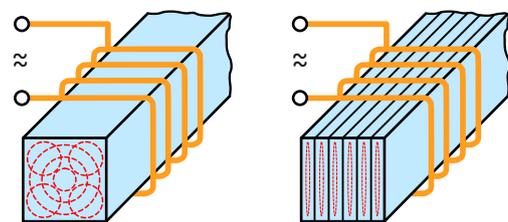


Abb. 28: Wirbelströme in Eisenkernen

Bei Motoren, Transformatoren, Schützen usw. werden meist lamellierte (geblechte) Eisenkerne verwendet. Die Wirbelströme finden dadurch einen hohen Widerstand vor, weil ihr Stromweg mehrfach unterbrochen wird. Die Wärmeverluste werden somit vermindert.

Die Wärmewirkung von Wirbelströmen kann aber auch bewusst ausgenutzt werden, wie beispielweise beim Induktionskochherd und beim Induktionshärten.

### 3.2 Elektrische Feldstärke

Eine an einem Faden aufgehängte Aluminiumkugel wird zwischen zwei Metallplatten eines Experimentierkondensators gebracht. Die beiden Metallplatten werden an Hochspannung angeschlossen. Was können Sie feststellen?

Die Aluminiumkugel pendelt zwischen den Metallplatten hin und her.

Die Kugel wird zunächst an der Platte 1 positiv geladen, dann von der gleichnamigen Ladung abgestossen und zugleich von der negativen Platte 2 angezogen. An dieser Platte 2 wird die Kugel umgeladen und erneut abgestossen. Der Vorgang wiederholt sich, solange eine Spannung anliegt.

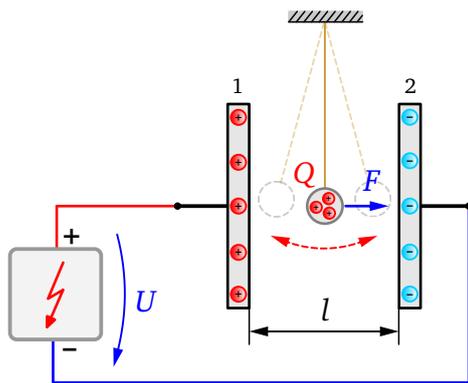


Abb. 36: Kraftwirkung im elektrischen Feld

Bringt man eine elektrische Ladung in ein elektrisches Feld, so wirkt eine Kraft auf die Ladung. Diese Kraft  $F$  ist umso grösser, je grösser die Ladung  $Q$  und auch je grösser die elektrische Feldstärke  $E$  ist.

Weil die Feldstärke im Kondensator homogen ist, lässt sich diese einfach bestimmen. Die elektrische Feldstärke  $E$  ist dann um so grösser, je grösser die Spannung  $U$  und je kleiner der Plattenabstand  $l$  ist.

Beim homogenen Feld gilt somit folgender Zusammenhang:

**Elektrische Feldstärke im Kondensator**

$$E = \frac{U}{l}$$

$$[E] = \frac{V}{m}$$

$[E]$	elektrische Feldstärke ...	$\frac{V}{m}$
$[U]$	Spannung .....	$V$
$[l]$	Plattenabstand .....	$m$

Wenn keine Spannung an die Platten angelegt wird, entsteht auch kein elektrisches Feld und damit auch keine Kraftwirkung auf die Kugel. Die Kugel wird nicht abgelenkt.

Merken Sie sich: Elektrische Felder entstehen, sobald eine elektrische Spannung anliegt!

**Übung**

- 1 Zwei Kondensatorplatten haben 2 mm Abstand und liegen an 1.5 kV Spannung.
  - a) Wie gross ist die elektrische Feldstärke  $E$  zwischen den Platten?
  - b) Bei welcher Spannung muss mit einem Durchschlag gerechnet werden, wenn die maximal zulässige Feldstärke in Luft  $E = 3000V/mm$  beträgt?

$$a) \quad E = \frac{U}{l} = \frac{1500V}{0.002m} = \underline{\underline{750\,000 \frac{V}{m}}} = \underline{\underline{750 \frac{kV}{m}}}$$

$$b) \quad U = E \cdot l = 3000 \frac{V}{mm} \cdot 2mm = \underline{\underline{6000V}}$$

Aufgaben 3.13 bis 3.22

### 6.2.6 Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke  $E$  sagt aus, wie viel Nutzlichtstrom  $\Phi_N$  auf die beleuchtete Fläche eines Arbeitsplatzes auftrifft.

Diese Grösse ist ein Mass für die Helligkeit.

Wird eine Fläche von  $1 \text{ m}^2$  mit einem Nutzlichtstrom  $\Phi_N$  von  $1 \text{ lm}$  beleuchtet, so hat diese exakt eine Beleuchtungsstärke  $E$  von  $1 \text{ lx}$  (Lux).

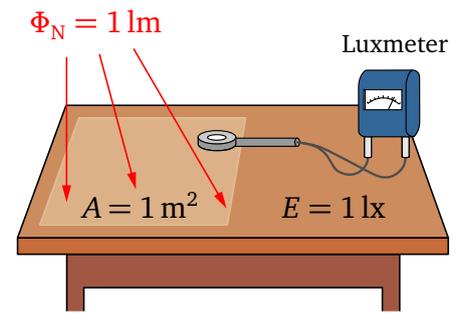


Abb. 62: Beleuchtungsstärke  $E$

#### Beleuchtungsstärke

$$E = \frac{\Phi_N}{A}$$

$$[E] = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lx}$$

$[E]$	Beleuchtungsstärke ....	$\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lx}$
$[\Phi_N]$	Nutzlichtstrom .....	lm
$[A]$	beleuchtete Fläche .....	$\text{m}^2$

Die Beleuchtungsstärke kann mit einem Luxmeter gemessen werden. Deshalb dient sie als Dimensionierungsgrösse bei Beleuchtungsanlagen.

Je nach Verwendung und Art des Raumes werden folgende Beleuchtungsstärken empfohlen:

Korridore, Keller, Estrich, Vorplatz, Schlafzimmer, wenig benutzte Lager	50 lx
Restaurant, Wohnräume, Ersatzteillager, grosse Maschinenhallen	160 lx
Küche, Bad, Werkstätten, Montagehallen	350 lx
Büro, Arbeitszimmer, Läden, Schulzimmer	700 lx
Zeichenbüro, Apparatebau, Uhrmacher, Goldschmied	1000 lx

Als Vergleich: Ein trüber Sommertag hat  $20\,000 \text{ lx}$  und eine Vollmondnacht  $1 \text{ lx}$ .

#### Übung

- ① Ein Clubraum von  $6 \text{ m} \times 8 \text{ m}$  hat einen Beleuchtungswirkungsgrad  $\eta_B$  von  $32\%$ . Die installierten Lampen geben insgesamt einen Lichtstrom  $\Phi$  von  $37\,500 \text{ lm}$  ab.
- Wie gross ist die beleuchtete Fläche  $A$ ?
  - Wie gross ist der Nutzlichtstrom  $\Phi_N$  im Clubraum?
  - Welche Beleuchtungsstärke  $E$  ergibt sich für diesen Raum?

$$\text{a) } A = l \cdot b = 8 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} = \underline{\underline{48 \text{ m}^2}}$$

$$\text{b) } \Phi_N = \Phi \cdot \eta_B = 37\,500 \text{ lm} \cdot 0.32 = \underline{\underline{12\,000 \text{ lm}}}$$

$$\text{c) } E = \frac{\Phi_N}{A} = \frac{12\,000 \text{ lm}}{48 \text{ m}^2} = \underline{\underline{250 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = 250 \text{ lx}}}$$

## 7.5 Mikrowellengerät

Lernziele: Sie können ...

- ✓ den Aufbau und die Eigenschaften eines Mikrowellengerätes erläutern
- ✓ die Wärmeentstehung im Innern eines Nahrungsmittels im Mikrowellengerät erklären

Bei einem Mikrowellengerät wird die Hitze nicht von aussen zugeführt, sondern direkt im Kochgut erzeugt.

Alle Nahrungsmittel bestehen teilweise aus Wasser bzw. Wassermolekülen. Wassermoleküle sind elektrisch geladen (= Dipole), denn das Sauerstoffatom bindet die Elektronen stärker an sich als die beiden Wasserstoffatome. Die Seite des Sauerstoffatoms ist daher elektrisch negativ geladen. Der Plus- und Minuspol der Wassermoleküle sorgt dafür, dass sich die Teilchen in einem elektrischen Feld ausrichten.

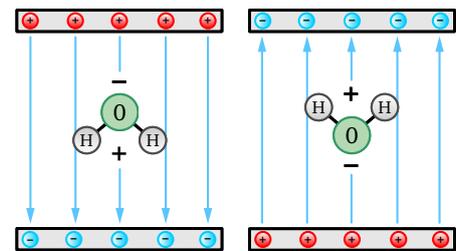


Abb. 111: Wassermoleküle im E-Feld

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen, die milliardenfach pro Sekunde ihre Richtung ändern. Damit drehen sie die Wassermoleküle mit grosser Geschwindigkeit hin- und her. Durch Reibung der Wassermoleküle an ihren Nachbarn entsteht Wärme.

Die vom Magnetron ausgestrahlten Mikrowellen werden über den Koppelstift durch den Hohlleiter in den Garraum geleitet. Dort verteilt der Wellenrührer die Mikrowellen so, dass sie von allen Seiten in das Gargut eindringen können. Die gleichmässige Durchdringung des Gargutes kann durch einen rotierenden Drehteller unterstützt werden. Ein Gebläse kühlt das Magnetron sowie die Elektronik.

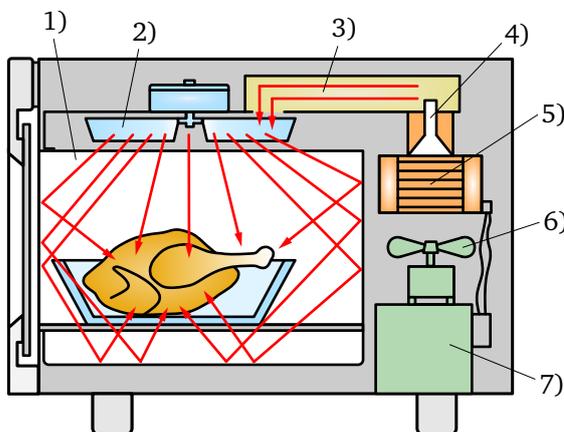


Abb. 112: Aufbau Mikrowellengerät

- 1) Mikrowellen
- 2) Wellenrührer
- 3) Hohlleiter
- 4) Koppelstift
- 5) Magnetron
- 6) Kühlgebläse
- 7) Elektronik

Der Drehteller und das Geschirr müssen aus Glas, Kunststoff oder Keramik sein, weil diese Materialien verlustarm durchstrahlt werden (Transmission). Garraum und Gehäuse sind zur Reflexion der Mikrowellen aus Stahl hergestellt. Ein Lochblech in der Tür erlaubt die Beobachtung des Gargutes, verhindert jedoch wegen der kleinen Löcher ( $< 3 \text{ mm}$ ) das Austreten von unzulässig hoher Mikrowellenstrahlung.

Das Magnetron sendet mit einer Frequenz von 2450 MHz, was einer Wellenlänge von 12,5 cm entspricht. Die Eindringtiefe der Mikrowellenenergie beträgt etwa 6 cm, wobei die Erwärmung an den äusseren Randschichten grösser ist als im Innern des Gargutes.

## 4.2 Parallelschaltung von Kondensatoren

### 4.11 Aufgabe

Zwei Kondensatoren  $C_1 = 15 \mu\text{F}$  und  $C_2 = 30 \mu\text{F}$  sind parallel geschaltet. Wie gross ist die Gesamtkapazität  $C$  der Parallelschaltung?

### 4.12 Aufgabe

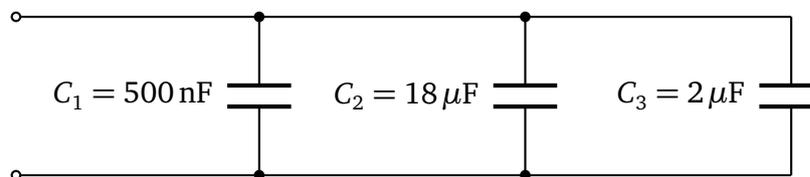
Drei gleich grosse Kondensatoren mit je  $22 \mu\text{F}$  Kapazität sind parallel angeschlossen. Wie gross ist die Gesamtkapazität  $C$  aller drei Kondensatoren zusammen?

### 4.13 Aufgabe

Drei Kondensatoren  $C_1 = 5 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 12 \mu\text{F}$  und  $C_3 = 22 \mu\text{F}$  sind parallel an  $230 \text{ V}$ -Spannung angeschlossen. Wie gross ist die Gesamtkapazität  $C$  der Parallelschaltung?

### 4.14 Aufgabe

Bestimmen Sie die Gesamtkapazität der untenstehenden Schaltung!



### 4.15 Aufgabe

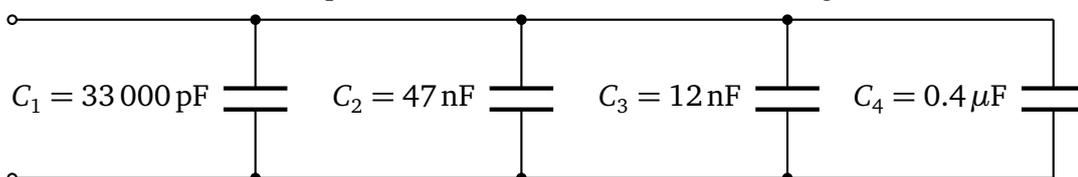
Die Gesamtkapazität zweier parallel geschalteter Kondensatoren ist  $15 \text{ pF}$ . Wie gross ist die Kapazität des zweiten Kondensators, wenn die des ersten  $7 \text{ pF}$  ist?

### 4.16 Aufgabe

Drei Kondensatoren  $C_1 = 3.9 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 7.5 \mu\text{F}$  und  $C_3$  sind parallel geschaltet und ergeben eine Ersatzkapazität von  $C = 15 \mu\text{F}$ . Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators  $C_3$ .

### 4.17 Aufgabe

Bestimmen Sie die Gesamtkapazität der untenstehenden Schaltung!



### 4.18 Aufgabe

Zwei Kondensatoren  $C_1 = 0.47 \mu\text{F}$  und  $C_2 = 0.33 \mu\text{F}$  liegen parallel an  $230 \text{ V}$  Spannung. Wie gross sind a) die Gesamtkapazität  $C$  und b) die Gesamtladung  $Q$ ?

### 4.19 Aufgabe★

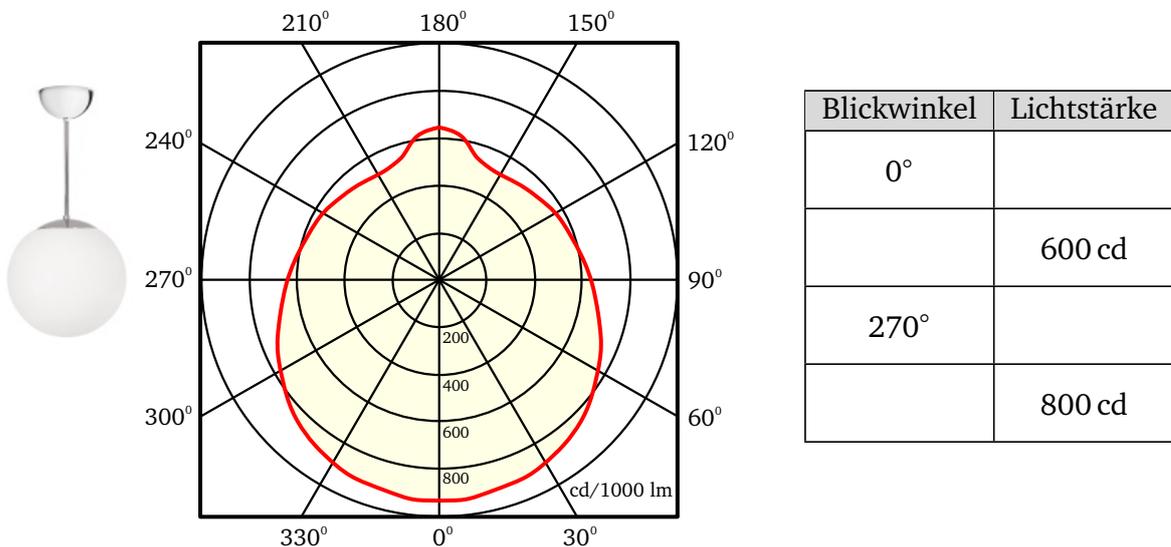
Berechnen Sie die Gesamtkapazität zweier parallelgeschalteter Kondensatoren an  $30 \text{ V}$ , wenn die erste Teilkapazität den Wert  $C_1 = 2.2 \mu\text{F}$  hat und in der zweiten Teilkapazität die Ladung  $Q_2 = 120 \mu\text{As}$  gespeichert ist.

**6.39 Aufgabe ✓**

Was kann man aus der Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) einer Leuchte entnehmen?

**6.40 Aufgabe ✓**

Ergänzen Sie die Tabelle mit Hilfe der untenstehenden Lichtstärkeverteilungskurve.

**6.41 Aufgabe ✓**

In welcher Masseinheit wird die Beleuchtungsstärke  $E$  angegeben? (2 richtige Lösungen)

- lx                       lm                       cd                        $\frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$

**6.42 Aufgabe ✓**

Mit welcher Formel wird die Beleuchtungsstärke  $E$  berechnet?

- $E = \frac{\Phi_N}{A}$                         $E = \frac{\Phi}{P}$                         $E = \Phi_N \cdot \eta_B$                         $E = \frac{A}{\Phi}$

**6.43 Aufgabe ✓**

Bei welcher der genannten Lampe ist die Leuchtausbeute am grössten?

- Glühlampe                       Leuchtdiode                       Kompakt-FL                       Halogenleuchte

**6.44 Aufgabe ✓**

Welchen Vorteil hat die indirekte Beleuchtung verglichen mit der direkten?

- Der Beleuchtungswirkungsgrad ist grösser.  
 Die Schattenwirkung ist grösser; hierdurch besserer Kontrast.  
 Der Lichtstrom kann besser auf den Arbeitsplatz gerichtet werden.  
 Die Blendung durch die Lichtquelle entfällt.  
 Die Beleuchtungsstärke hängt nicht von der Farbe der Decken oder Wände ab.