# Inhaltsverzeichnis:

| Thema                           | Bereiche                                     |     |
|---------------------------------|--|-----|
| Grundlagen der Optik            | Wellenlänge des Lichts                       | 2-2 |
| ·                               | Wellenbereiche der elektromagnetischen Stra. | 2-2 |
| Unterscheidung optischer Größen | Physikalische Größen (Radiometrisch)         | 2-3 |
|                                 | Physiologische Größen (Fotometrisch)         | 2-3 |
| Definition optischer Größen     | Radiometrische Grundgrößen                   | 2-3 |
|                                 | Fotometrische Grundgrößen                    | 2-3 |
| LED                             | Prinzip und Aufbau                           | 2-4 |
|                                 | Kennwerte und Farben                         | 2-4 |
| Fotodioden                      | Kennwerte                                    | 2-4 |
| Laserdioden                     | Prinzip und Aufbau                           | 2-5 |
|                                 | Laserspektrum                                | 2-5 |
| Fototransistor                  | Aufbau                                       | 2-5 |
|                                 | Kennlinien                                   | 2-5 |
| Optokoppler                     | Prinzip und Aufbau                           | 2-6 |
|                                 | Schaltbild                                   | 2-6 |
| Fotoelement / Solarzelle        | Prinzip und Aufbau                           | 2-6 |
|                                 | Materialien                                  | 2-6 |
| Fotowiderstand                  | Prinzip und Aufbau                           | 2-7 |
| Peltierelement                  | Prinzip und Aufbau                           | 2-7 |
| T- und U-abhängige Widerstände  | Heißleiter                                   | 2-8 |
|                                 | Kaltleiter                                   | 2-8 |
|                                 | Varistor                                     | 2-8 |
| Hallgenerator                   | Aufbau und Schaltbild                        | 2-9 |
|                                 | Funktionsweise                               | 2-9 |
|                                 | Berechnung und Kennlinie                     | 2-9 |

# Wellenlänge des Lichts:

$$E = \frac{h \bullet c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{h \bullet c}{E}$$

$$c = \frac{E \bullet \lambda}{h}$$

$$h = \frac{E \bullet \lambda}{c}$$

$$\lambda = \frac{c}{v}$$

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

$$c = \lambda \bullet v$$

E= Energie in eV (Elektronenvolt)

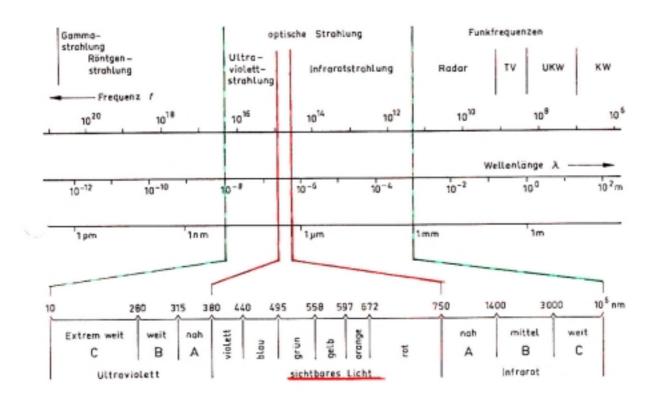
h = Planksches Geschwindigkeitsquantum = 4,1357 • 10<sup>-15</sup> eVs

c = Lichtgeschwindigkeit =  $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ 

 $\lambda$  = (Lambda) Wellenlänge in m

v = (Ny) Frequenz des Lichts in Hz =  $\frac{1}{s}$ 

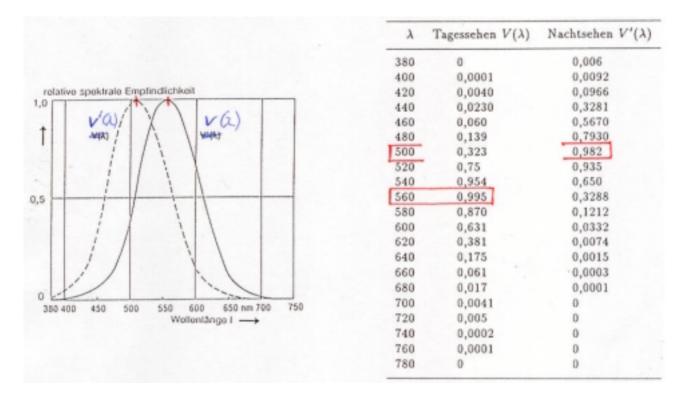
# Wellenbereiche der elektromagnetischen Strahlung:



# Unterscheidung physikalischer und physiologischer Größen:

<u>Physikalische</u> (radiometrische) Größen sind durch Grundgrößen erstellt. Dazu zählen z.B. Arbeit und Leistung.

<u>Physiologische</u> (fotometrische) Größen sind durch die Wahrnehmung des Menschen bestimmt, da dieser verschieden Spektralbereiche unterschiedlich wahrnimmt.



#### Strahlungs- und lichttechnische Größen:

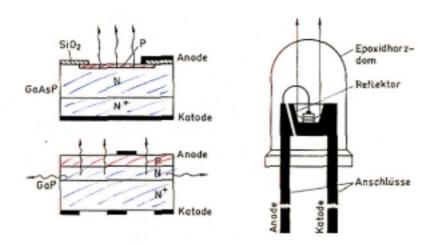
Tabelle 3.1 Definition der Strahlungs- und lichttechnischen Größen nach DIN 5031 und 5033. Der Index e steht für energetisch, Index v für visuell.  $A_s$  = Sendefläche,  $A_e$  = Empfangsfläche. Der Winkel  $\alpha$  ist definiert zur Normalen der Sendefläche, vom Empfänger aus gesehen.

| Radiometrisch               | Zeichen   | Dim.               | Fotometrisch            | Zeichen   | Dim.            |
|-----------------------------|---|--------------------|-------------------------|---|-----------------|
| Strahlungs-<br>energie      | $W_{\epsilon}$  | Ws                 | Lichtmenge              | $W_{\bullet}$   | lms             |
| Strahlungs-<br>leistung     | $\Phi_{\epsilon} = \frac{\mathrm{d}W_{\epsilon}}{\mathrm{d}t}$          | W                  | Lichtstrom              | $F_{\mathbf{v}} = \frac{\mathrm{d}W_{\mathbf{v}}}{\mathrm{d}t}$                 | lm              |
| Spezifische<br>Ausstrahlung | $M_{\rm e} = \frac{{\rm d}\Phi_{\rm e}}{{\rm d}A_{\rm s}}$              | $W/m^2$            | spez. Licht.            | $M_{\rm v}=rac{{ m d}\Phi_{ m v}}{{ m d}A_{ m s}}$                             | lm/m²           |
| Strahlstärke                | $I_{\mathbf{c}} = \frac{\mathrm{d}\Phi_{\mathbf{c}}}{\mathrm{d}\Omega}$ | W/sr               | Lichtstärke             | $I_{\mathbf{v}} = \frac{\mathrm{d}\Phi_{\mathbf{v}}}{\mathrm{d}\Omega}$         | lm/sr           |
| Strahldichte                | $L_{e} = \frac{\mathrm{d}I_{e}}{\mathrm{d}A_{s}\cos\alpha}$             | $W/m^2 sr$         | Leuchtdichte            | $L_{\rm v} = \frac{{\rm d}I_{\rm e}}{{\rm d}A_{\rm s}\cos\alpha}$               | $cd/m^2$        |
| Bestrahlungs-<br>stärke     | $E_{\rm e} = \frac{{\rm d}\Phi_{\rm e}}{{\rm d}A_{\rm e}}$              | W/m²               | Beleuchtungs-<br>stärke | $E_{\mathbf{v}} = \frac{\mathrm{d}\Phi_{\mathbf{v}}}{\mathrm{d}A_{\mathbf{c}}}$ | lm/m², lx       |
| Bestrahlung                 | $H_{\rm e} = \int E_{\rm e}  { m d}t$                                   | W/m <sup>2</sup> s | Belichtung              | $H_{\mathbf{v}} = \int E_{\mathbf{v}}  \mathrm{d}t$                             | lm/m²s,<br>Ix s |

# LED's (Lumineszenzdioden):

#### Prinzip:

Halbleiterdioden die beim Anlegen einer Spannung in Durchlaßrichtung elektromagnetische Wellen im sichtbaren und infraroten (IR) Bereich abstrahlen.



Je nach Wahl des Halbleitermaterials kann man verschiedene Farben erzeugen:

| Halbleiter | Spektralber. λ | Farbe    | Durchbruchsp. U <sub>F</sub> | Energiedifferenz ΔW |
|------------|----------------|----------|------------------------------|---------------------|
| GaAs – Si  | 790 nm         | Infrarot | 1,2 V – 1,4 V                | 1,57 eV             |
| GaAs – Zn  | 933 nm         | Infrarot | 1,2 V – 1,4 V                | 1,33 eV             |
| GaAs – P   | 670 nm         | Rot      | 1,3 V – 1,7 V                | 1,90 eV             |
| GaAsP – N  | 560 nm         | Grün     | 2,0 V – 2,4 V                | 2,10 eV             |
| GaP – N    | 590 nm         | Gelb     | 2,4 V – 2,8 V                | 2,18 eV             |
| SiC        | 460 nm         | Blau     | 2,8 V – 3,4 V                | 2,58 eV             |

### Fotodioden:

Der Aufbau einer Fotodiode entspricht dem einer normalen Diode mit dem Unterschied, daß ein lichtdurchläßiges Gehäuse verwendet wird.

Fotodioden werden ausschließlich in Sperrichtung betrieben!!

#### Dunkelstrom:

Bedingt durch die Störstellenleitfähigkeit fließt in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur  $\vartheta_U$  und der angelegten Sperrspannung  $U_R$  ein kleiner Strom.

# Fotostrom:

Fällt Licht auf die Sperrschicht der Fotodiode, so fließt in folge des inneren Fotoeffekts der sogenannte Fotostrom.

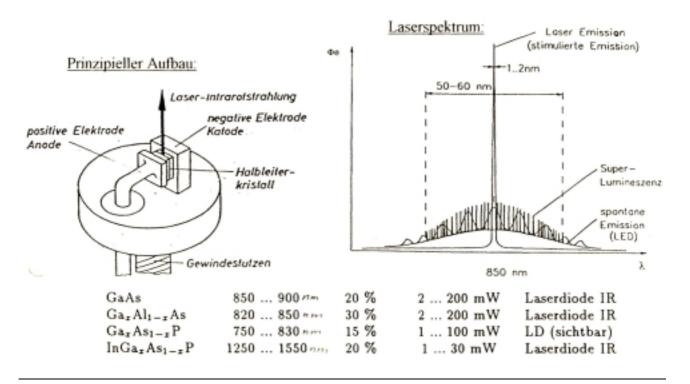
### Unterschied zu Fotoelement und Solarzelle:

Eine in Durchlaßrichtung betriebene Fotodiode nennt man Fotoelement. Mehrere Fotoelemente zusammengeschaltet nennt man Solarzelle.

#### Laserdioden:

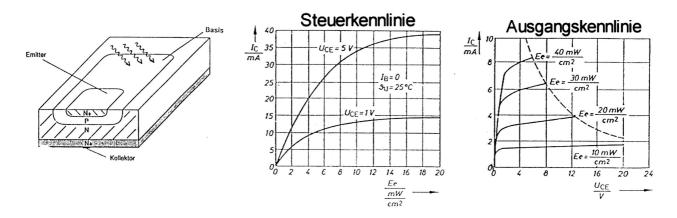
Laserdioden strahlen meist Licht im Infrarotbereich ab. Ihr Betrieb erfolgt in Durchlaßrichtung. Erst ab einem bestimmten Durchlaßstrom I<sub>TH</sub> (treshhold current) tritt eine
Abstrahlung des Laserlichtes auf. Laser arbeiten meist im Pulsbetrieb zur Vermeidung von
Überhitzung aufgrund der hohen Leistung.

Achtung: Durch die Bündelung und die sehr enge spektrale Abstrahlung des Lasers besteht ein hohes Unfallrisiko bei unsachgemäßer Anwendung, zumal Laser meist im nichtsichtbaren Bereich strahlen!!



#### **Fototransistor:**

Beim Fototransistor wird die Basis-Emitter-Strecke durch den Lichteinfall beeinflußt. Der enstehenden Fotostrom wird mit dem Verstärkungsfaktor B verstärkt. Der Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke E und Kollektorstrom I<sub>C</sub> ist nicht linear. Fototransistoren sind ca. 100 bis 700 mal empfindlicher als Fotodioden.



### **Optokoppler:**

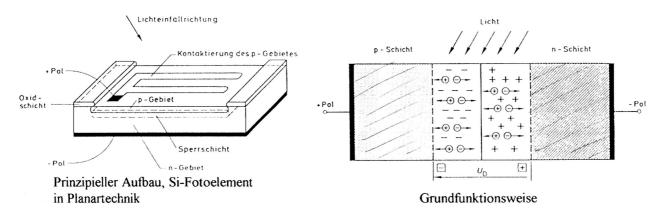
Als Optokoppler werden Bauteile bezeichnet, die in einem Gehäuse eine LED und einen lichtempfindlichen Fotohalbleiter miteinander kombinieren und damit eine galvanische Trennung realisieren.

Die meisten Optokoppler arbeit mit einer IR-Sendediode und einem Si-Fototransistor da sie bei der selben Wellenlänge des Lichtes ihr Strahlungsmaximum bzw. ihre höchste Empfindlichkeit haben.



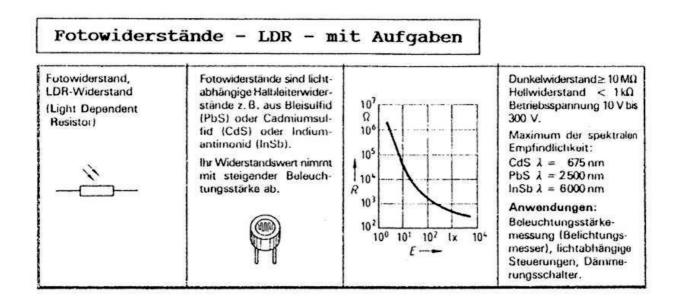
### **Fotoelement / Solarzelle:**

Fotoelemente und Solarzellen liefern bei Beleuchtung einen Strom der zur Beleuchtungsstärke und der beleuchteten Fläche proportional ist. Betreibt man die Bauteil im Leerlauf so erreicht die Leerlaufspannung schnell ihre Sättigung. Diese Elemente werden auch als aktive Fotohalbleiter bezeichnet.



| Material            | Wirkungsgrad im Labor | Wirkungsgrad in der Produktion |
|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Monokristallines Si | ca. 24 %              | 14 % - 17 %                    |
| Polykristallines Si | ca. 18 %              | 13 % - 15 %                    |
| Dünnschicht-Zellen  | ca. 13 %              | 5 % - 7 %                      |

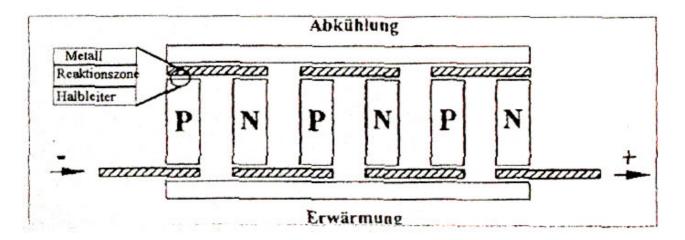
#### **Fotowiderstand LDR:**



# **Peltierelement:**

Peltierelemente sind thermoelektrische Bauteile auf Halbleiterbasis. Sie besitzen die Fähigkeit, sich auf einer Seite zu erwärmen und auf der anderen abzukühlen. Damit ist z.B. die Kühlung von CPU's möglich. Es werden Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>- oder Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-Verbindungen verwendet.

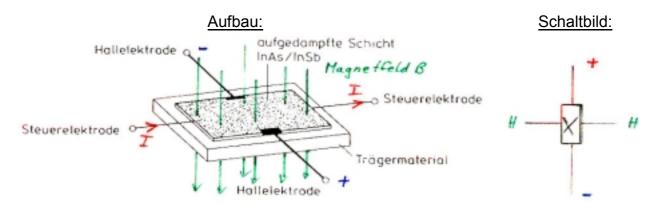
#### Aufbau:



# Temperatur- und Spannungsabhängige Widerstände:

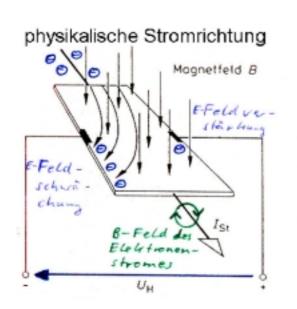
| Heißleiter DIN 4407/12.76 NTC-Widerstand (negative temperature coefficient)   | Kaltleiter DIN 44080/10.83<br>PTC-Widerstand<br>(positive temperature coefficient)   | Varistoren VDR-Widerstand (voltage dependent Resistor)  |
|---|--|---|
| - to 1 1  | θ † †<br>——————————————————————————————————  | U11   |
| Heißleiter sind temperaturabhängige Halbleiterwiderstände, deren Widerstandswerte sich mit steigender Temperatur verringern (Material: polykristalline Mischoxidkeramik)  | Kaltleiter sind temperaturabhängige Widerstände, deren Widerstandswerte bei ansteigender Temperatur annähernd sprungförmig ansteigen, sobald eine bestimmte Temperatur überschritten wird (Material: ferroelektrische Keramik, z. B. TiO <sub>3</sub> ).   | Varistoren sind Widerstände, deren Widerstandswerte sich bei ansteigender Spannung verringern (Material: Siliciumkarbid, $\alpha < 5$ Zinkoxid, $\alpha < 30$ )   |
| 10 <sup>2</sup> 5000 K B-Werte 2000 K B-Werte 2000 K In °C  | R <sub>D</sub> | Tiefstmöglicher Wert des Widerstandes bei Betriebsspannung $10^{6}$ $10^{5}$ $10^{4}$ $10^{3}$ $10^{2}$ $10^{1}$ $10^{0}$ Höchstzulässige Betriebsgleichspannung $10^{-2}$ $20$ $30$ $50$ $80$ $100$ $150$ $U$ Zinkoxidvaristor in V $R = \frac{U^{1-\alpha}}{K}$ $K$ : Elementarkonstante in A, von der Geometrie abhängig $\alpha$ : Nichtlinearitätsexponent |
| Temperatur-Koeffizient $\alpha_{\rm R}$ $\alpha_{\rm R} = \frac{-B \cdot 100}{T^2}  [\alpha_{\rm R}] = \frac{\%}{\rm K}  [T] = \rm K$ B-Wert $B = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}$ R <sub>1</sub> : Widerstandswert in $\Omega$ bei $T_1$ in K (Kelvin) R <sub>2</sub> : Widerstand in $\Omega$ bei $T_2$ in K (Kelvin) B: B-Wert als Maß für die Temperaturabhängigkeit des Heißleiters in K (Kelvin), Materialkonstante | Beispiele $R_{min} = 20^{\circ}C$ $\vartheta_{Rmin} = 50 \Omega$ $R_{b} = 100 \Omega$ $\vartheta_{b} = 60^{\circ}C$ $R_{p} \ge 50 k\Omega$ $\vartheta_{p} = 110^{\circ}C$ $U_{max} = 30 V$ $\alpha_{R} = 20 \%/K$  | Kennwerte (Beispiele) α > 30 bei ZnO (Zinkoxidvaristoren) Betriebstemperatur: -40°C +85°C Betriebsspannung: 141500 V Ansprechzeit: < 50 ns Stoßstrom: bis 4000 A Dauerbelastbarkeit: 0,8 W  |

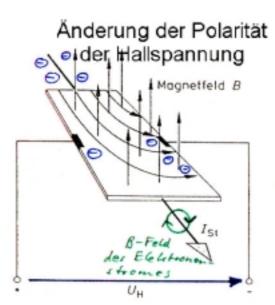
#### Hallgenerator:



# Wirkungsweise:

Wird der stromdurchflossenen Hallgenerator von einem Magnetfeld B durchsetzt, so entsteht auf einer Elektrodenseite eine Feldschwächung und damit ein Elektronenüberschuß. Auf der anderen Elektrodenseite ensteht eine Feldverstärkung und damit ein Elektronenmangel. Es tritt damit eine Spannung zwischen den Hallelektroden auf die abhängig von der Feldrichtung ist.





#### Berechnung:

$$U_H = \frac{R_H}{d} \bullet I_{ST} \bullet B$$

$$I_{ST} = \frac{U_H \bullet d}{R_H \bullet B}$$

U<sub>H</sub> = Hallspannung in V  $I_{ST}$  = Steuerstrom in A

B = Magnetische Flußdichte in  $T = \frac{V_S}{m^2}$ 

 $R_H = Hallfaktor in \frac{m^3}{r}$ 

d = Dicke des Halbleiterplättchens in m

R<sub>H</sub> und d sind herstellerabhängig

Stand: 05.07.2001

