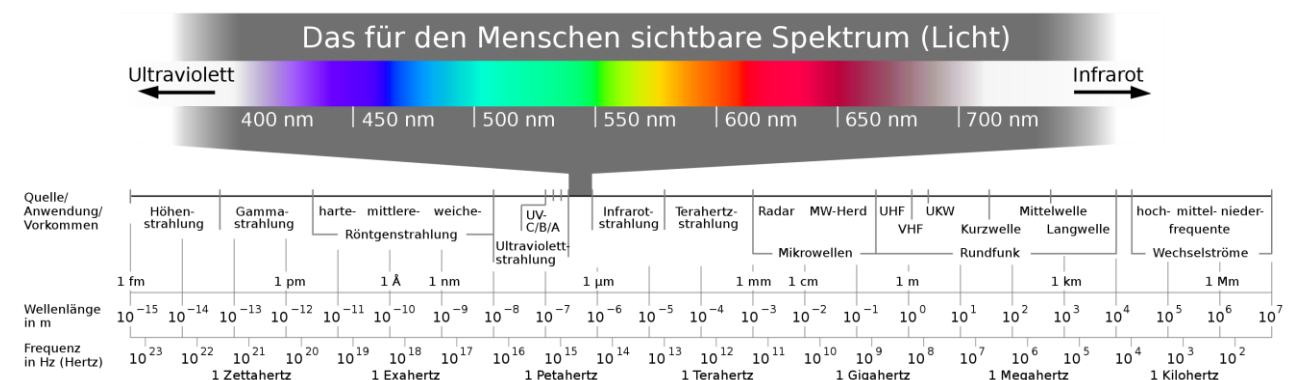
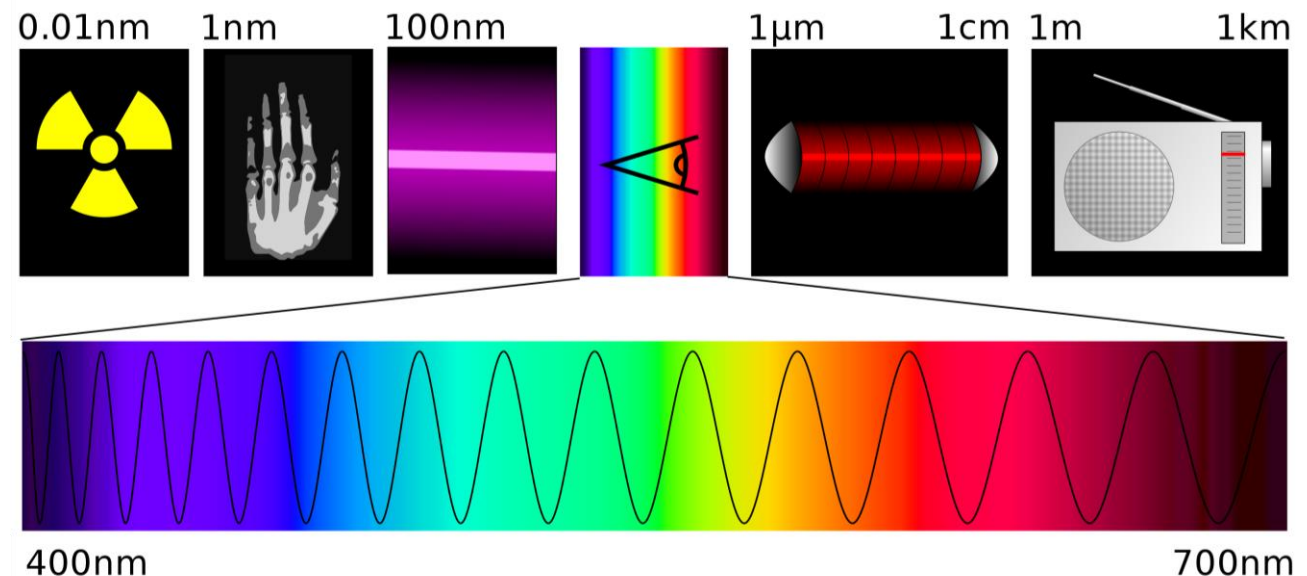


Opto-Elektronik

DI Gerald Zottl

1 Licht

Licht bezeichnet den für den Menschen sichtbaren Bereich der elektromagnetischen Strahlung.



Eine sich räumlich ausbreitende Schwingung wird Welle genannt mit der **Wellenlänge**

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

Licht breitet sich in Vakuum/Luft mit Lichtgeschwindigkeit aus

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 300\,000 \text{ km/s}$$

Die Materialeigenschaften beeinflussen die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu \cdot \epsilon}} = \frac{c_0}{\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}}$$

Somit reduziert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit durch eine relative Permeabilität und Permittivität größer 1. Elektrische Signale erreichen auf Leitungen ca. 2/3 der Lichtgeschwindigkeit.

Im Vergleich dazu beträgt die Schallgeschwindigkeit $c_s = 343,2 \text{ m/s}$

1.1 Licht- und Strahlungsgrößen

Im sichtbaren Bereich spricht man von Licht (Index V steht für visible). Strahlung umfasst allgemeiner auch nicht sichtbare Wellenlängen.

Licht	Beispiel	Strahlung
Φ_V Lichtstrom $[\Phi_V] = \text{lm} = \text{Lumen}$	12 lm Kerze 1300 lm Lampe 2000 lm Leuchtstofflampe	Φ Strahlungsfluss $[\Phi] = \text{W}$
I_V Lichtstärke $I_V = \frac{\Phi_V}{\Omega}; \Omega = \frac{A}{r^2}$ $[I_V] = \text{lm/sr} = \text{cd} = \text{Candela}$	1cd Kerze Abblendlicht ist richtungsabhängig	I Strahlstärke $I = \frac{\Phi}{\Omega}$ $[I_V] = \text{W/sr}$
E_V Beleuchtungsstärke (Lichtstromdichte) $E_V = \frac{\Phi_V}{A} = \frac{I_V \cdot \Omega}{A} = \frac{I_V}{r^2}$ $[E_V] = \text{lm/m}^2 = \text{lx} = \text{lux}$	500 lx Büro 300 lx Verkaufsfläche 100 lx Gang	E Bestrahlungsstärke (Strahlungsflussdichte) $E = \frac{\Phi}{A} = \frac{I \cdot \Omega}{A} = \frac{I}{r^2}$ $[E] = \text{W/m}^2$

Wenn das Licht nicht senkrecht auf die Fläche einfällt, ist der Cosinus des Winkels zwischen Flächennormalen und der Strahlungsrichtung zu berücksichtigen.

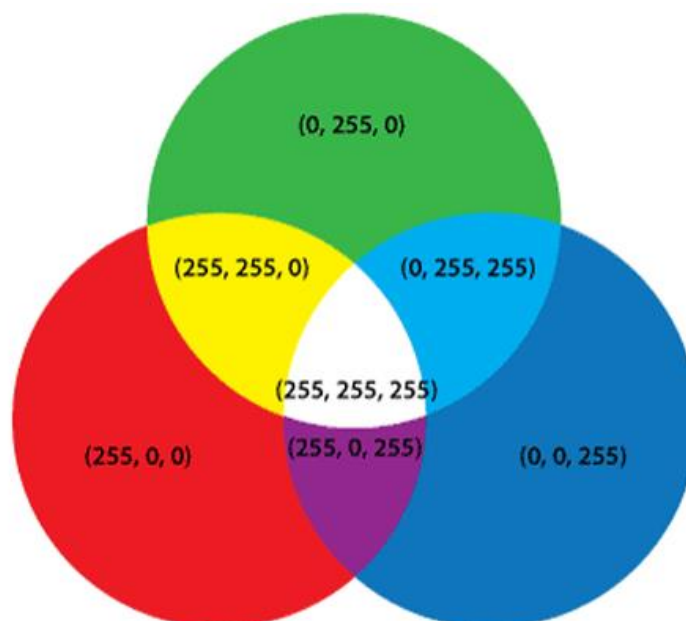
Bsp: Ein Büro hat 30m^2 . Die vorgeschriebene Beleuchtungsstärke ist mindestens 500lx . Als Leuchtmittel stehen LED-Röhren mit 2000lm zur Verfügung.

Berechnen Sie die Anzahl der benötigten Leuchtmittel (unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung und Ausleuchtung im Raum).

$$E_V = \frac{\Phi_V}{A} \Rightarrow \Phi_{Vges} = E_V A = 500\text{lx} \cdot 30\text{m}^2 = 15\,000\text{lm}$$

$$n = \frac{\Phi_{Vges}}{\Phi_{VLampe}} = \frac{15\,000\text{lm}}{2\,000\text{lm}} = 7,5 \Rightarrow 8 \text{ Lampen}$$

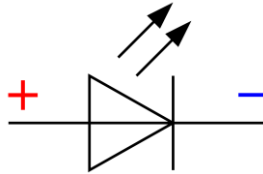
1.2 Additive Farbmischung



2 LED

Die **Glühlampe** ist ein Wärmestrahler wie die Sonne mit kontinuierlichem Farbspektrum und einem Wirkungsgrad von ca. 5%.

Leuchtstofflampen und Energiesparlampen sind Gasentladungsröhren mit fluoreszierendem Leuchtstoff. Diese haben ein diskretes Farbspektrum und einen Wirkungsgrad von ca. 20%.



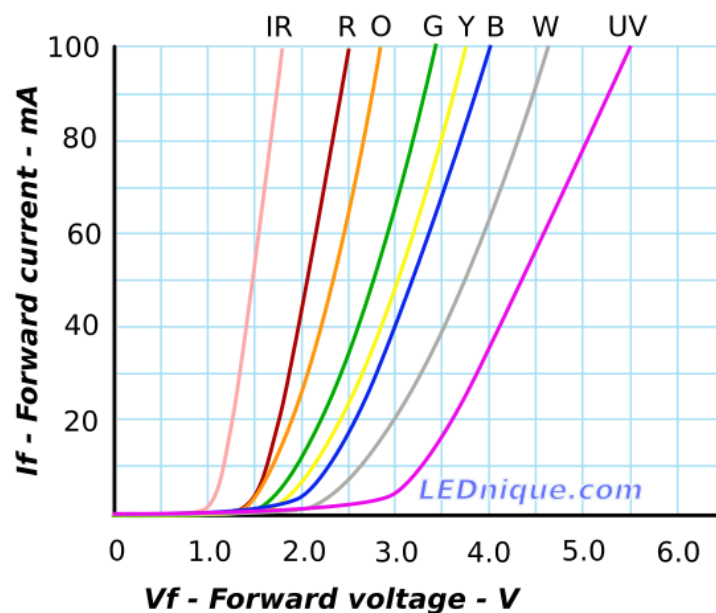
In einer **LED** wird durch die Rekombination (freies Leitungselektron fällt in ein Loch und wird zu einem Valenzelektron) Energie frei, die nicht nur in Form von Wärme sondern auch von Strahlung im sichtbaren Bereich austreten kann. Die Spannung an einer LED hängt dabei von der Leuchtfarbe ab.

Die Energie, die durch den Wechsel eines Elektrons vom Valenzband in das Leitungsband notwendig ist, hängt mit der Spannung U und der Elementarladung e_0 genauso wie dem Planckschen Wirkungsquantum h und der Frequenz des Lichts ν zusammen.

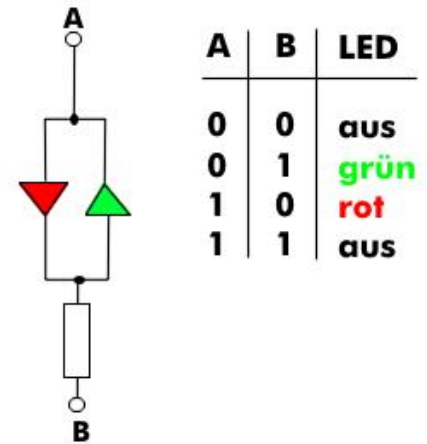
$$E = U \cdot e_0 = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c_0}{\lambda}$$

Für beispielsweise rotes Licht mit einer Wellenlänge von 600nm ergibt dies eine Spannung:

$$U = \frac{h \cdot c_0}{e_0 \cdot \lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js} \cdot 2,9979 \cdot 10^8 \text{m/s}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{As} \cdot 600 \text{nm}} = 2,07 \text{V}$$

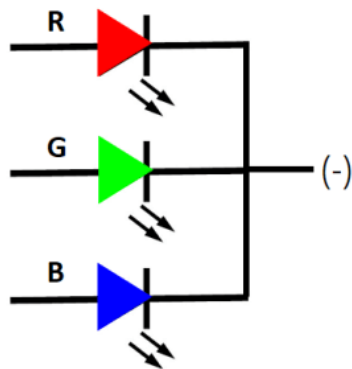


2-färbige LEDs können mit unterschiedlicher Stromrichtung (anti-parallel) angesteuert werden.

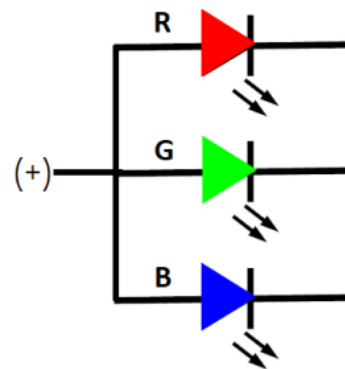


RGB-LEDs können aus 3 verschieden farbigen LEDs als Common Anode oder Cathode ausgeführt werden.

Common Cathode (-)



Common Anode (+)

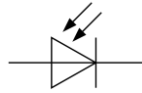


LEDs können grundsätzlich auch umgekehrt als (schlechte) Photodiode wirken.

Oft werden Light-Pipes verwendet, um das Licht von LEDs durch das Gehäuse zu bringen.

Organische Leuchtdioden OLEDs (organic light emitting diode) sind leuchtende Dünnschichtbauelement, die z.B. bei biegsamen Displays verwendet werden.

3 Photodiode



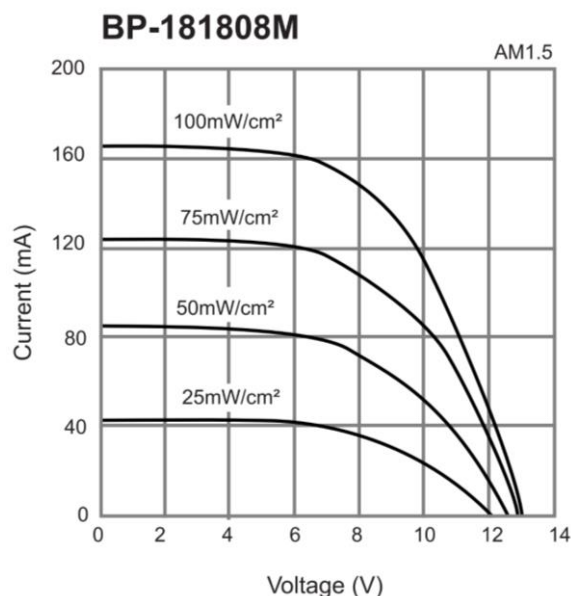
Die in die Sperrschicht einfallende Strahlung hebt (wie die thermischen Gitterschwingungen) Valenzelektronen in das Leitungsband und führt zur Generierung von Elektronen-Loch-Paaren. Je stärker diese Strahlung ist, desto weiter schiebt sich die Diodenkennlinie nach unten. Im 4. Quadranten (pos. Spannung und negativer Strom also in Sperrrichtung) wirkt die Diode als Quelle.



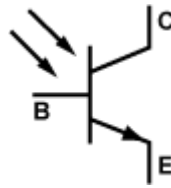
Im **MPP=Maximum-Power-Point** ist die gewonnene elektrische Leistung maximal. Dazu muss der angeschlossene Widerstand so gewählt werden, dass die Fläche des Leistungsrechtecks $P=U \cdot I$ maximal ist.

Um mit Photovoltaik elektrische Energie zu gewinnen, werden Photodioden in einer Matrix in Serie (Spannungserhöhung) und parallel (Stromerhöhung) zu großen Solarpanel verschaltet. Den angeschlossenen Widerstand stellt dabei typischerweise ein Wechselrichter (auch Inverter genannt) dar, der durch schnelles Schalten (mit z.B. Transistoren) den analogen Widerstand imitiert (DAC).

Bsp: Ermitteln Sie die maximal mögliche Leistung dieser Diode und den dazu notwendigen Lastwiderstand.

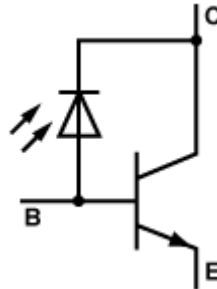


4 Phototransistor



Bei manchen Modellen ist der Basisanschluss herausgeführt.

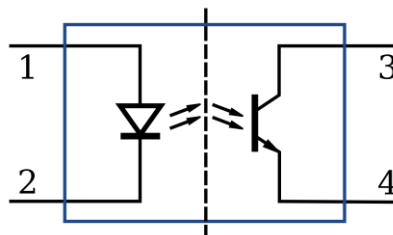
Das in die Kollektor-Basis-Sperrschicht einfallende Licht führt zu einem zusätzlichen (Basis-)Strom, der in der Ersatzschaltung mit einer Photodiode veranschaulicht wird.



Neben dem gewünschten Verstärkungseffekt kommen im Vergleich zur Photodiode leider auch zusätzliche Kapazitäten hinzu, die das Schaltverhalten verlangsamen.

5 Optokoppler

Ein Optokoppler besteht aus einem optischen Sender (LED) und einem optisch gekoppelten Empfänger (Photodiode oder einem Fototransistor) in einem lichtundurchlässigen Gehäuse. Der Optokoppler dient zur Übertragung eines Signals zwischen zwei galvanisch getrennten Stromkreisen.



Das Gleichstrom-Übertragungsverhältnis (CTR, current transfer ratio) gibt das Verhältnis zwischen Ein- und Ausgangsstrom an.

$$CTR = \frac{I_2}{I_1}$$

Bei digitalen Schalteranwendungen ist oft nur ein Mindeststrom erforderlich (z.B. 10, 20, 50mA) für die LED erforderlich.

Die Isolationsspannung zwischen Ein- und Ausgang liegt im Bereich von 200 V bis 5 kV und der Isolationswiderstand im $>G\Omega$ -Bereich.

Lichtschranken wie Gabelkoppler oder Reflexkoppler haben im Gegensatz zu Optokopplern kein geschlossenes Gehäuse.

Bsp: Ein Microcontroller schaltet mit einer Spannung von $U_e=3,3V$ über einen Transistor ($\beta=200$; $\bar{u}=2$; $U_{CEsat}=0,2V$) und einen Optokoppler ($U_S=1,5V$; $I_D=10mA$; $U_{CEsat}=0,2V$) einen Motor ($I=2A$)

Skizzieren Sie die Schaltung und berechnen Sie alle darin enthaltenen Widerstände sowie die Gesamtleistung im Optokoppler (LED+Phototransistor).

Quellen:

- Gossner: „Grundlagen der Elektronik“
- Böhmer: „Elemente der angewandten Elektronik“
- Tieze-Schenk: „Halbleiter-Schaltungs-Technik“
- Wikipedia
- Elektronik-kompandium.de