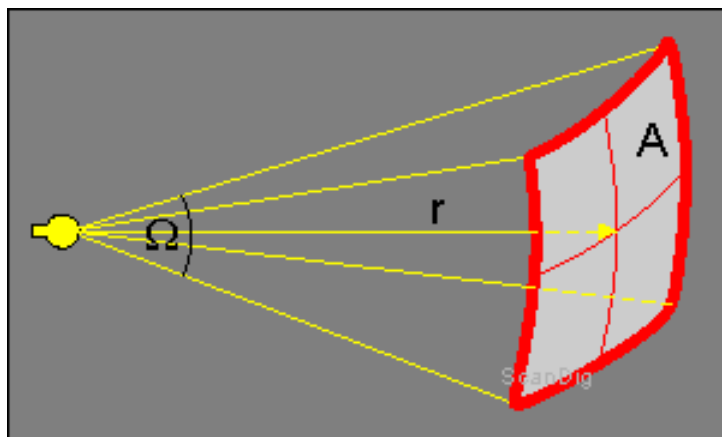
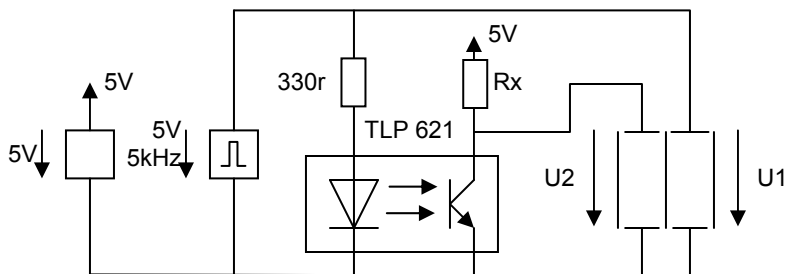
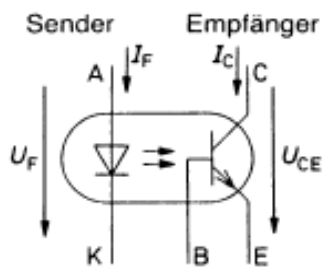


# Dokumentation Optoelektronik

Von Timm Baumann und Kevin Gerber



# Optoelektronik Inhalt

|   |           |
|---|-----------|
| <b>GRUNDLAGEN</b> .....                                       | <b>3</b>  |
| <b>DIE LICHTSTRAHLUNG</b> .....                               | <b>3</b>  |
| <i>Wellenlängenbereiche der Spektralfarben</i> .....          | 3         |
| <i>Das elektromagnetische Spektrum</i> .....                  | 4         |
| <b>GRÖSSEN / LICHT EINHEITEN</b> .....                        | <b>6</b>  |
| <i>Lichtstrom <math>\Phi</math></i> .....                     | 6         |
| <i>Lichtstärke <math>I</math></i> .....                       | 6         |
| <i>Beleuchtungsstärke <math>E</math></i> .....                | 7         |
| <i>Zusammenfassung</i> .....                                  | 7         |
| <b>DER FOTOEFFEKT</b> .....                                   | <b>8</b>  |
| <b>BAUELEMENTE</b> .....                                      | <b>9</b>  |
| <b>LEUCHTDIODEN (LED)</b> .....                               | <b>9</b>  |
| <i>Aufbau</i> .....   | 9         |
| <i>Farben und Betriebsspannungen</i> .....                    | 9         |
| <i>Weisse LEDs</i> .....                                      | 10        |
| <i>Betrieb einer Leuchtdiode</i> .....                        | 10        |
| <i>Typische Kennlinien von LEDs</i> .....                     | 11        |
| <b>LASERDIODEN</b> .....                                      | <b>11</b> |
| <i>Noch mehr Leistung</i> .....                               | 11        |
| <i>Vergleich Laser für Optischen Datenträger</i> .....        | 12        |
| <b>FOTOWIDERSTÄNDE LDR</b> .....                              | <b>12</b> |
| <b>FOTODIODEN</b> .....                                       | <b>13</b> |
| <b>FOTOELEMENTE UND SOLARZELLEN</b> .....                     | <b>14</b> |
| <i>Strom-Spannungs-Kennlinien von Solarzellen</i> .....       | 14        |
| <i>Maximum Power Point MPP</i> .....                          | 14        |
| <b>FOTOTRANSISTOREN</b> .....                                 | <b>15</b> |
| <i>Gabellichtschranke</i> .....                               | 16        |
| <i>Prinzipielle Funktion eines CCD-Bildsensors</i> .....      | 17        |
| <b>OPTOKOPPLER</b> .....                                      | <b>17</b> |
| <i>Schaltverhalten Optokoppler (Messung mit LTP621)</i> ..... | 18        |
| <i>Messschaltung</i> .....                                    | 18        |
| <b>ANZEIGEN</b> .....   | <b>22</b> |
| <i>Grundlagen</i> .....                                       | 22        |
| <i>OLED (Organic Light Emitting Diode)</i> .....              | 24        |
| <i>LCD (Liquid Cristal Display)</i> .....                     | 25        |
| <i>TFT (Thin- Film Transistor)</i> .....                      | 26        |
| <i>Plasma</i> .....   | 27        |
| <i>E-Paper</i> .....  | 29        |
| <i>Head Up Display</i> .....                                  | 30        |
| <b>LICHTWELLENLEITER LWL</b> .....                            | <b>31</b> |
| <i>Prinzip einer optischen Signalübertragung</i> .....        | 31        |
| <i>Aufbau der Glasfasern</i> .....                            | 32        |
| <i>Übliche Fasertypen mit ihren Eigenschaften</i> .....       | 33        |


# Grundlagen

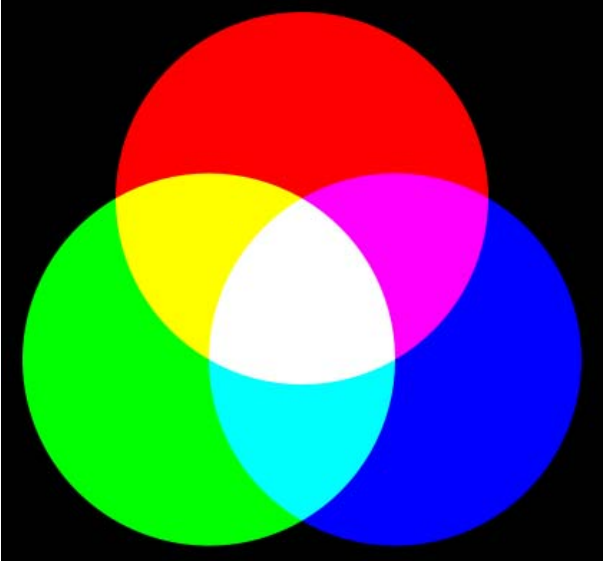
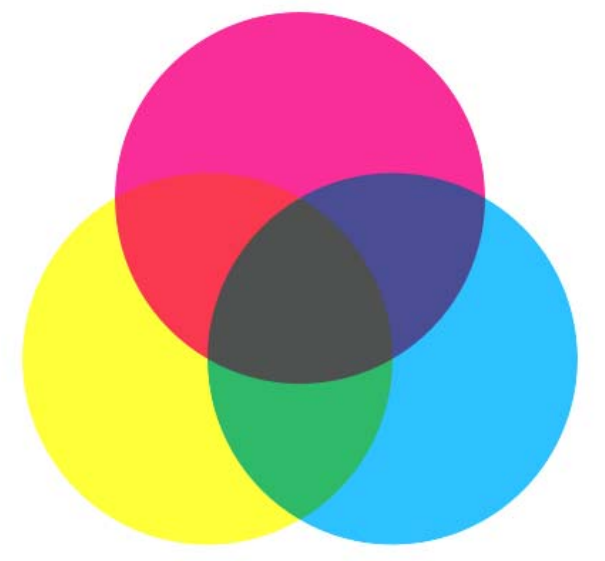
## Die Lichtstrahlung

Bevor man sich mit der Optoelektronik befasst sollte man einmal klar definieren, was Licht eigentlich ist. Wir unterscheiden grundsätzlich die Farbe und die Intensität des Lichts. Dies lässt sich in der Wellenlänge oder Frequenz (Farbe) und der Amplitude (Intensität) feststellen.

In der Physik gilt die Energie von Wellen ist nur von der Amplitude und nicht der Frequenz abhängig. Bei der elektromagnetischen Strahlung allgemein ist nur die Energiemenge zusätzlich abhängig von der Wellenlänge wie das nachfolgende Diagramm zeigt. Man spricht in der Quantenphysik nicht wie beim Atom von Elektronen, Positronen und Neutronen von den Photonen. Diese Photonen haben sehr spezielle Eigenschaften, denn sie existieren nur wenn sie in Bewegung sind.

| <b>Wellenlängenbereiche der Spektralfarben</b> |                    |                       |                           |
|--|--------------------|-----------------------|---------------------------|
| <b>Farbton</b>                                 | <b>Wellenlänge</b> | <b>Wellenfrequenz</b> | <b>Energie pro Photon</b> |
| Violett  | 380 – 420 nm       | 789,5 – 714,5 THz     | 3,26 – 2,955 eV           |
| Blau   | 420 – 490 nm       | 714,5 – 612,5 THz     | <2,95 – 2,535 eV          |
| Grün   | 490 – 575 nm       | 612,5 – 522,5 THz     | 2,53 – 2,165 eV           |
| Gelb   | 575 – 585 nm       | 522,5 – 513,5 THz     | 2,16 – 2,125 eV           |
| Orange   | 585 – 650 nm       | 513,5 – 462,5 THz     | 2,12 – 1,915 eV           |
| Rot  | 650 – 750 nm       | 462,5 – 400,5 THz     | 1,91 – 1,655 eV           |

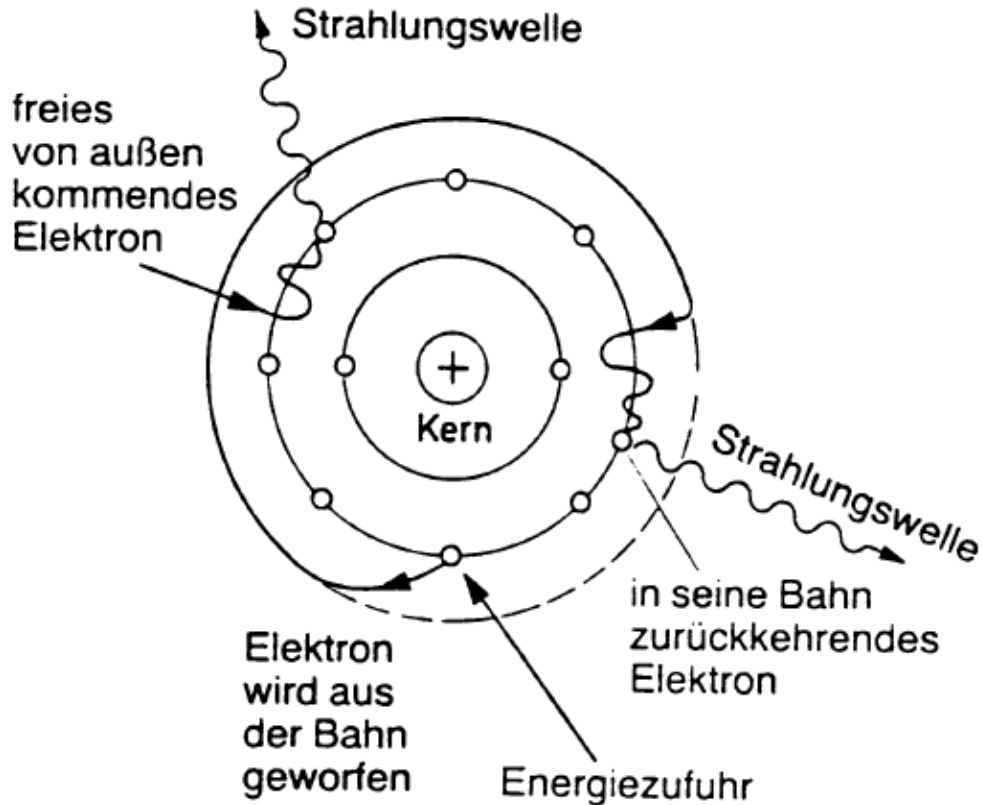


| <b>Additive Farbmischung</b>  | <b>Subtraktive Farbmischung</b>   |
|---|---|
| <p>Es ist möglich, alle Farben des sichtbaren Lichts mit den Farben rot, grün und blau (RGB) durch verschiedene Intensitäten wiederzugeben.<br/>Durch das Mischen aller Lichtfarben entsteht weiss.</p> | <p>Diese Art der der Farbmischung lässt sich nur bei der Filterung des Lichts und der Reflektion anwenden.<br/>Werden alle Farben des Lichtes ausgefiltert ist kein Licht mehr vorhanden (Schwarz).</p> |
|   |    |

**Das elektromagnetische Spektrum**

Die elektromagnetischen Wellen vom fernen Infrarot bis zum Ultraviolett entstehen auf gleiche Weise wie sichtbares Licht, nämlich durch *Temperaturstrahlung* (in Glühlampen) oder durch *Stösse von Elektronen* (in Leuchtstoffröhren). Jedes Atom enthält elektrische Ladungen. Die Atome eines festen Körpers schwingen wegen der Wärmebewegung dauernd um ihre Ruhelagen. Dabei entstehen elektromagnetische Wellen. Diese Strahlungsintensität nimmt mit steigender Temperatur zu. Auch die Wellenlänge der Strahlung ist Temperaturabhängig.

Alle Körper, deren Temperatur grösser als 0 Kelvin ist, strahlen deshalb.



Durch Energiezufuhr wird ein Elektron auf eine höhere Atomkreisbahn gehoben. Dabei nimmt es Energie auf. Bei der anschliessenden Rückkehr auf die ursprüngliche Bahn wird die aufgenommene Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung wieder abgegeben.

Elektromagnetische Strahlung kann auch abgegeben werden, wenn ein freies Elektron von aussen in die Kreisbahn einschwingt (*Rekombination* in Halbleitern). Licht besteht aus einer grossen Anzahl kleiner 'Energieportionen'. Sie werden Lichtquanten oder Photonen genannt.

Die Energie eines Lichtquants lässt sich berechnen:

$$W_{PH} = h \cdot f$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  (Plancksches Wirkungsquantum)

$f$  = Frequenz der Strahlung

***Man sieht heute Photonen als Energieportionen - als Quanten - einer Lichtwelle mit neuartigen Quanteneigenschaften an.***

## Grössen / Lichteinheiten

### Lichtstrom $\Phi$

Der Lichtstrom  $\Phi$  ist eine Leistungsgrösse für Lichtquellen mit dem man ausdrücken kann, wie viel Energie eine Lichtquelle pro Zeit im sichtbaren Wellenlängenbereich abstrahlt. Dieses sichtbare Spektrum ist aber gerade derjenige Bereich, der uns bei der Beurteilung einer Lichtquelle interessiert. Diejenige Strahlungsleistung, die z.B. eine Glühlampe im Bereich des sichtbaren Lichts abgibt, wird als Lichtstrom  $\Phi$  bezeichnet. Die Maßeinheit für den Lichtstrom ist **Lumen** [lm].

Das Verhältnis aus Lichtstrom und Leistungsaufnahme wird als Lichtausbeute bezeichnet. Die Lichtausbeute ist also quasi der Wirkungsgrad einer Lichtquelle

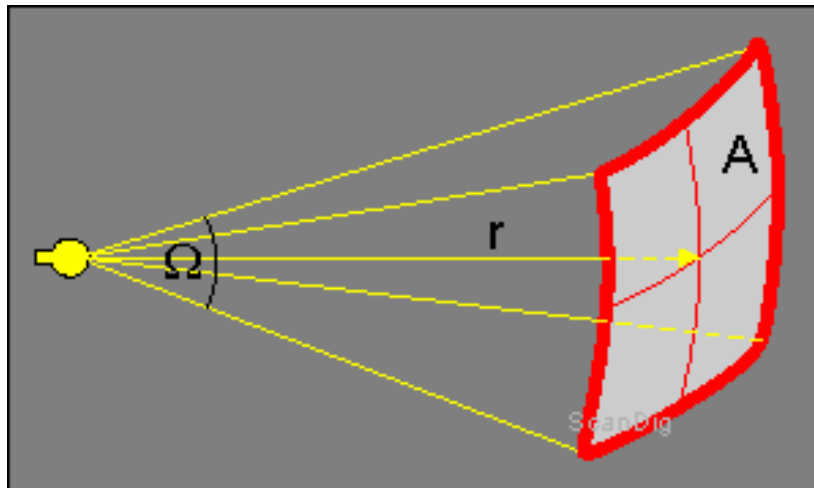
$$\Phi = \eta \cdot P \quad [\Phi] = lm$$

| Lichtquelle                  | Lichtstrom |
|------------------------------|------------|
| Leuchtdiode                  | 0,01 lm    |
| Glühlampe 60 W               | 600 lm     |
| Glühlampe 100 W              | 1500 lm    |
| Leuchtstoffröhre 40 W        | 2300 lm    |
| Quecksilberdampf Lampe 100 W | 4500 lm    |

### Lichtstärke $I$

Die Lichtstärke  $I$  dient zur Erfassung der Helligkeit einer Lichtquelle. Masseinheit ist Candela [cd]. Sie ist definiert als Lichtstrom  $\Phi$  pro Raumwinkel  $\Omega$ . Eine grosse Kerzenflamme hat etwa die Lichtstärke 1cd.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{\Phi}{\frac{A}{r^2}} \quad [I] = cd$$



## Beleuchtungsstärke $E$

Die Beleuchtungsstärke  $E$  ist der Quotient aus dem einfallenden Lichtstrom  $\Phi$  pro Element der Empfängerfläche  $A$ , also die Strahlungsleistung pro Fläche. Sie wird in der SI Einheit **Lux** [lx] angegeben.

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

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

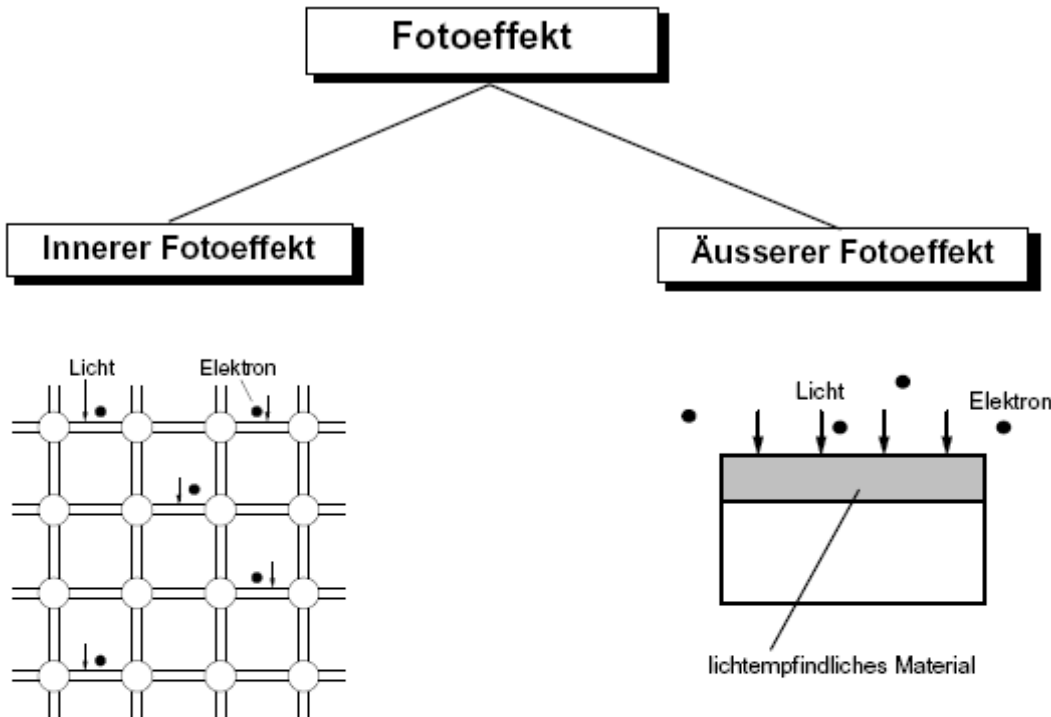
| Lichtverhältnis                        | Beleuchtungsstärke |
|--|--------------------|
| Mittagssonnenlicht im Sommer           | 100.000 Lux        |
| Bedeckter Himmel im Sommer             | 10.000 Lux         |
| Regenwetter mit dunklen Gewitterwolken | 1000 Lux           |
| Bürobeleuchtung                        | 500 Lux            |
| Wohnzimmerbeleuchtung                  | 200 Lux            |
| Treppenhausbeleuchtung                 | 100 Lux            |
| Straßenbeleuchtung                     | 10 Lux             |
| Dämmerlicht nach Sonnenuntergang       | 1 Lux              |
| Mitternacht bei Vollmond               | 0,2 Lux            |
| Mondloser Sternenhimmel bei Nacht      | 0,0005 Lux         |

## Zusammenfassung

| Bezeichnung            | Formel                    | Einheit      | Bedeutung   |
|------------------------|---------------------------|--------------|---|
| Lichtstrom $\Phi$      | $\Phi = \eta \cdot P$     | Lumen [lm]   | Pro Sekunde abgestrahlte Leistung im Wellenbereich des sichtbaren Lichts  |
| Lichtstärke $I$        | $I = \frac{\Phi}{\Omega}$ | Candela [cd] | Lichtstrom, der in einem bestimmten Raumwinkel ausgestrahlt wird          |
| Beleuchtungsstärke $E$ | $E = \frac{\Phi}{A}$      | Lux [lx]     | Lichtstrom, der auf einer bestimmten Fläche auf einem Empfänger auftrifft |

## Der Fotoeffekt

Bei optoelektronischen Bauelementen bewirkt die auftreffende Strahlungsenergie eine Veränderung elektrischer Grössen. Dies geschieht durch den sogenannten Fotoeffekt.



Die Lichtstrahlung löst Elektronen aus den Bindungen von Halbleitern. Die freigewordenen Elektronen bleiben im Material und erhöhen dessen elektrische Leitfähigkeit.

Anwendung bei:

- Fotowiderstand
- Fotodiode
- Fotoelement

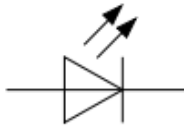
Die Lichtstrahlung setzt Elektronen aus der Oberfläche der lichtempfindlichen Schicht frei. *Im Gegensatz zum inneren Fotoeffekt treten hier Elektronen aus dem Material aus.* Dies kann in speziellen Röhren ausgenützt werden.

# Bauelemente

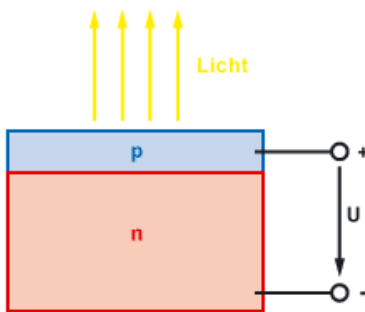
## Leuchtdioden (LED)

Abkürzung: LED (Light Emitting Diode); auch Lumineszenz Diode genannt

Symbol



**Aufbau**



Als Träger dient N-Material, welches den Grundhalbleiter der LED darstellt. Darüber befindet sich eine sehr dünne Schicht aus hochdotiertem P-Material. Diese Schicht ist so dünn, dass sie lichtdurchlässig ist.

Je nach Materialien ändert die Farbe der LEDs.

### Farben und Betriebsspannungen

| Standardtypen ( $I_F/I_{LED} = 10 \text{ mA}$ ) |            |               |
|---|------------|---------------|
| Farbe   | Halbleiter | $U_F/U_{LED}$ |
| rot   | GaAsP      | 1,6 V         |
| rot   | GaP        | 2,1 V         |
| orange  | GaAsP      | 1,8 V         |
| grün  | GaP        | 2,1 V         |
| gelb  | GaP        | 2,2 V         |
| blau  | SiC        | 2,9 V         |

| Low-Current-Typen ( $I_F/I_{LED} = 2 \text{ mA}$ ) |               |
|--|---------------|
| Farbe  | $U_F/U_{LED}$ |
| rot  | 1,9 V         |
| gelb   | 2,4 V         |
| grün   | 1,9 V         |

Die oberen Tabellen zeigen die Farben in Verbindung mit der Technologie, was sich auf die Betriebsspannung auswirkt.

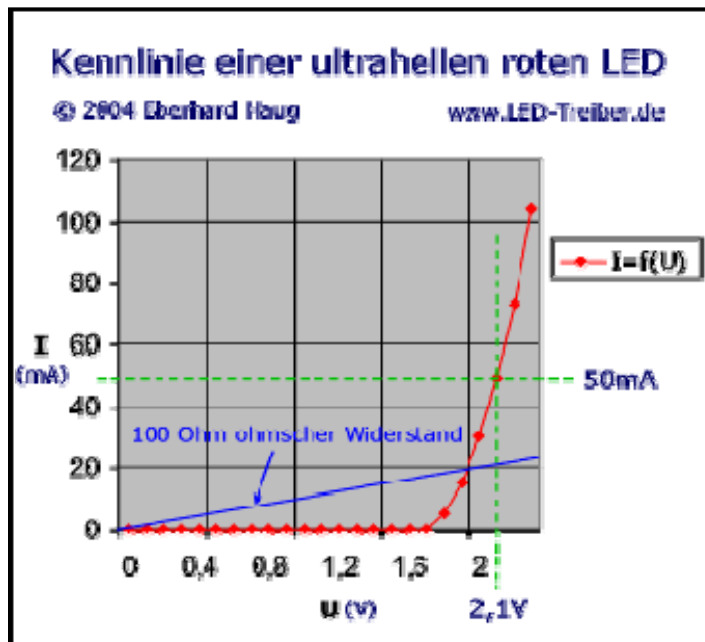
Der wesentliche Unterschied zwischen Standard- und Low-Current-Typen ist der Stromverbrauch. Die Low-Current-LEDs werden nur für Anzeigezwecke angewendet; bei niedrigem Stromverbrauch.

## Weisse LEDs

Leuchtdioden die weisses Licht aussenden gibt es eigentlich nicht. Sie bestehen häufig aus blauen LEDs mit einer gelben Schicht, die sie weiss leuchten lassen. Zum Teil werden sie auch als LED-Komposition aus je einer grünen, gelben, und roten LED hergestellt (sind eher Selten).

## Betrieb einer Leuchtdiode

**Wichtig:** Durch eine LED darf nur ein begrenzter Strom fließen!



Dieses Diagramm zeigt einen typischen Spannungs/Stromverlauf einer Leuchtdiode. Gut zu erkennen ist, dass die Leuchtdiode eine Kurve wie eine normale Diode hat; nur die Schwellenspannung ist höher. Die grüne Linie zeigt die Überlastgrenze an.

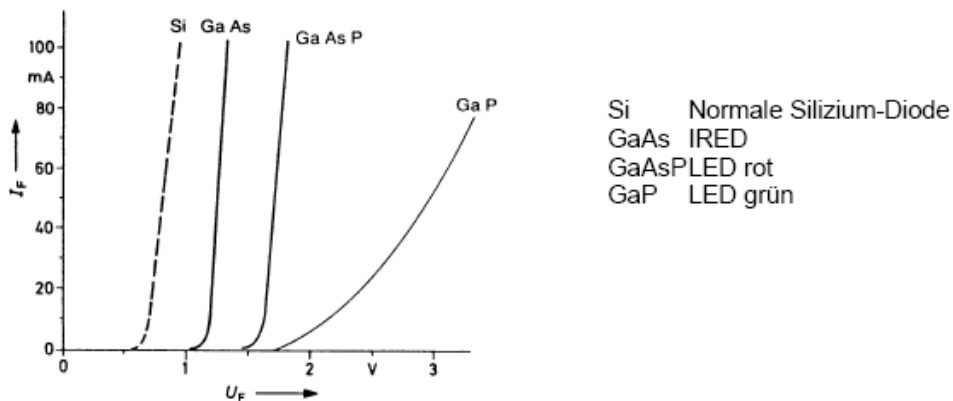
Der Strom der LED wird in den meisten Fällen mit einem Vorwiderstand begrenzt.

$$R_V = \frac{U_{ges} - U_F}{I_F}$$

Alternativ kann die LED auch mit einer Konstantstromquelle betrieben werden.

Leuchtdioden reagieren allgemein sehr schnell auf Stromänderungen. Sie lassen sich daher gut optisch modulieren. Unter Berücksichtigung der maximalen Verlustleistung und der maximalen Sperrschichttemperatur lassen sich LED mit höheren, impulsförmigen Strömen modulieren. Dadurch kann die Strahlungsleistung gegenüber dem Dauerbetrieb wesentlich erhöht werden.

## Typische Kennlinien von LEDs



Weitere Farben: Gelbe LED (Durchlassspannung  $U_F = 2,0 \dots 2,2V$ )  
 Blaue LED (Durchlassspannung  $U_F = 3 \dots 5V$ )

## Laserdioden

Halbleiterlaser bestehen im einfachsten Fall aus einem hochdotierten pn-Übergang auf GaAs-Basis. Die Halbleiter-Laserdiode sendet kohärentes Licht. Dies bedeutet, dass die einzelnen Wellenzüge des Lichtes gleiche Frequenz und eine starre Phasenlage zueinander haben. Diese Eigenschaften sind durch zwei wesentliche Effekte bestimmt:

- durch die induzierte Emission
- durch den optischen Resonator

Im Gegensatz zur spontanen Emission bei Leuchtdioden wird bei der induzierten Emission ein Rekombinationsprozess durch den äusseren Einfluss von Licht der passenden Frequenz angestossen.

Eine Emission kann z.B. nur dann stattfinden, wenn die anstossende Lichtwelle gerade nach oben schwingt. Dadurch werden alle Emissionsvorgänge automatisch kohärent.

Durch dieses dauernde Anstossen findet eine Verstärkung statt; eine schwache Primärstrahlung induziert eine starke Sekundärstrahlung. Um diesen Prozess aufrecht zu erhalten, ist eine optische Rückkopplung nötig. Diese wird durch einen abgestimmten optischen Resonator erzeugt. Er ermöglicht eine stehende Welle, welche wiederum Voraussetzung für die induzierte Emission ist.

## Noch mehr Leistung

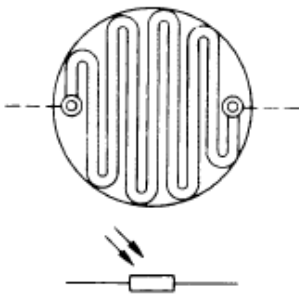
Durch Zusammenfassung der einzelnen Strahlen lässt sich eine höhere Gesamtleistung erzielen. Eine solche Anordnung von mehreren nebeneinander auf einem Chip befindliche Dioden wird als Barren bezeichnet. Die 10 bis 25 Einzelemittler eines Barrens verhalten sich aufgrund des gemeinsamen Fertigungsprozesses elektrisch gleich und können daher parallel wie eine größere Diode betrieben werden. Man erreicht damit bei Strömen bis über 80 A optische Leistungen bis über 100 Watt im nahen Infrarot. Ein grosser Vorteil ist der grosse Wirkungsgrad von ca.50%.

## Vergleich Laser für Optischen Datenträger:

Vergleich verschiedener optischer Medien

| Typ | Numerische Apertur | Wellenlänge<br>(nm) | Laserpunkt<br>( $\mu\text{m}$ ) | Schnittzeichnung der Strahlgeometrie |
|-----|--------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| CD  | 0,45               | 780                 | 2,1                             |                                      |
| DVD | 0,60               | 650                 | 1,3                             |                                      |
| BD  | 0,85               | 405                 | 0,6                             |                                      |

## Fotowiderstände LDR



Der LDR (Light Dependent Resistor) ist aus Halbleiter-Mischkristallen wie z.B. Cadmiumsulfid CdS aufgebaut. Da keine Sperrschicht vorhanden ist, verhält er sich wie ein Widerstand, bei welchem der innere Photoeffekt ausgenutzt wird.

### Typische Werte

Dunkelwiderstand  $R_0$  z.B. 10  $\text{M}\Omega$

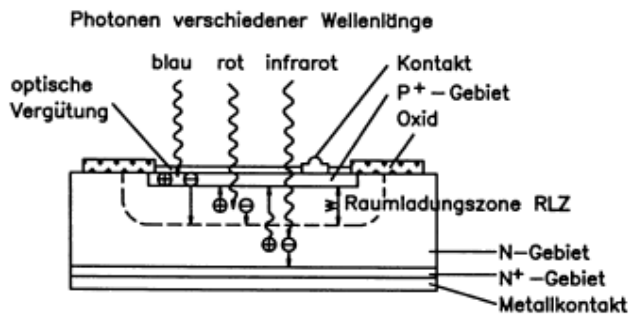
Hellwiderstand ( $E = 1000 \text{ Lux}$ )  $R_{1000}$  z.B. 100  $\Omega$

Ansprechzeit  $t_r$  z.B. 2 ms

Die hohe Ansprechzeit  $t_r$  ist bei vielen Anwendungen ein Nachteil. LDRs werden daher kaum mehr eingesetzt.

# Fotodioden

Fotodioden sind prinzipiell wie normale Dioden aufgebaut und unterscheiden sich von ihnen nur durch ein Lichtfenster. Das einfallende Licht beeinflusst die Verhältnisse in der Sperrschicht. Eigentlich spielt sich der umgekehrte Vorgang wie bei der LED ab.

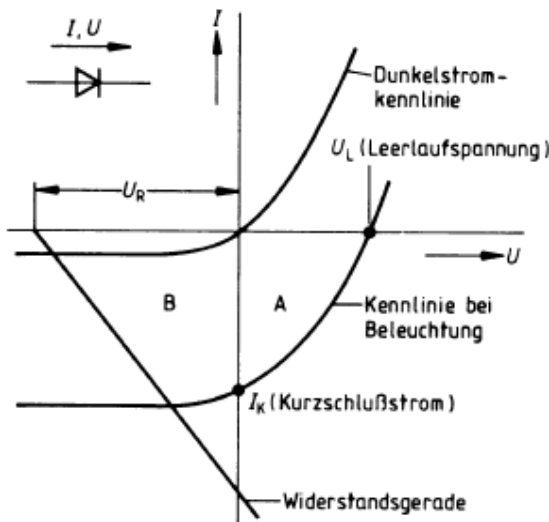


Eindringende Photonen bewirken in der Nähe des pn-Überganges die Bildung von Ladungsträgerpaaren in Form von Elektronen und Löchern (innerer Fotoeffekt). Das elektrische Feld in der Raumladungszone trennt die Ladungsträgerpaare.

Bei den PIN-Fotodioden wird die Raumladungszone durch eine zusätzliche Schicht verbreitert; die Sperrschichtkapazität wird kleiner. Solche Dioden eignen sich daher für Frequenzen bis in den GHz-Bereich.

## Betriebsarten von Fotodioden

Anhand der Kennlinie unterscheiden wir die beiden Betriebsarten *Fotodioden-* und *Fotoelementbetrieb*.



**Fotodiodenbetrieb:** Die Diode wird in Sperrrichtung betrieben; mit zunehmender Beleuchtungsstärke steigt auch der Sperrstrom (Quadrant B).

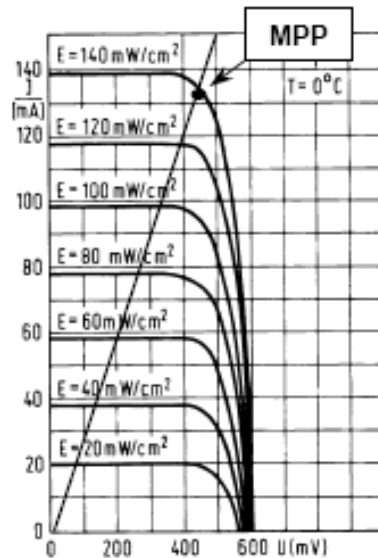
Die **Fotoempfindlichkeit S** gibt an, um wieviele nA sich der Sperrstrom pro Lux Beleuchtungsstärkezunahme erhöht.

**Fotoelementbetrieb:** Die Diode wirkt als Quelle; die Strahlungsenergie wird in elektrische umgewandelt (Quadrant A). Die Leerlaufspannung  $U_L$  erreicht bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 lx bei Siliziumdioden ca. 0,5V. Vielfach wird auch der **Kurzschlussstrom**  $I_K$  ausgenutzt. Er ist proportional zur Beleuchtungsstärke.

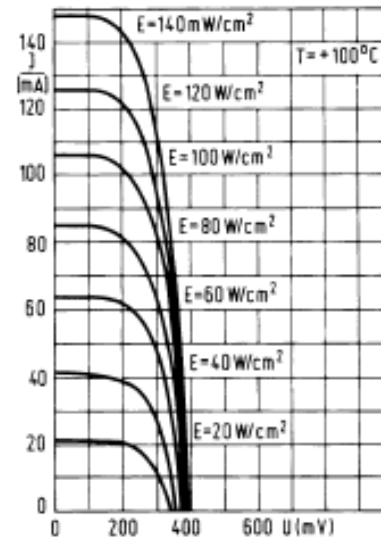
## Fotoelemente und Solarzellen

### Strom-Spannungs-Kennlinien von Solarzellen

#### Strom-Spannungs-Kennlinien von Solarzellen



$I = f(U)$  bei  $\vartheta = 0^\circ\text{C}$



$I = f(U)$  bei  $\vartheta = 100^\circ\text{C}$

Nebst dem Einfluss der Einstrahlung ist auch die *Temperaturabhängigkeit* von Bedeutung. Während die Ausgangsleistung praktisch linear mit der Einstrahlung zunimmt, steigt bei einer Erhöhung der Umgebungstemperatur der erzielte Strom nur geringfügig. Die Spannung nimmt hingegen mit steigender Temperatur deutlich ab.

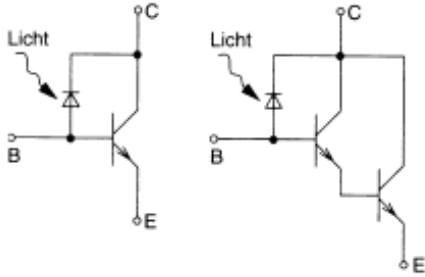
**Der Kurzschlussstrom ist weitgehend linear zur Beleuchtungsstärke.**

#### **Maximum Power Point MPP.**

Es ist derjenige Punkt auf der Kennlinie, bei welchem die Zelle ihre maximale Leistung abgibt. Die Kennlinie ist keine lineare Funktion, daher kann der MPP nur näherungsweise bestimmt werden. Aus der Steigung der Verbindungsgeraden vom Nullpunkt zum MPP lässt sich der **optimale Lastwiderstand** bestimmen. Fotoelemente und Solarzellen sind ähnlich aufgebaut wie Fotodioden. Sie arbeiten im Fotoelementbetrieb und verhalten sich wie Quellen. **Solarzellen** sind Silizium-Fotoelemente, die zur Umwandlung der Sonnenstrahlung in elektrische Energie eingesetzt werden. Die Kennlinie zeigt einen typischen Verlauf der Leerlaufspannung  $U_0$  und des Kurzschlussstromes  $I_k$  in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke  $E_v$ .

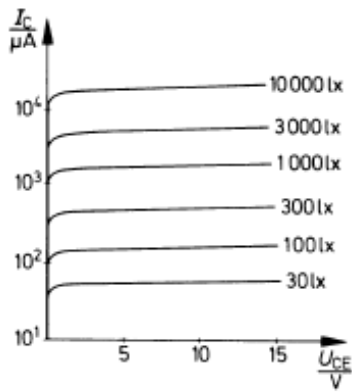
# Fototransistoren

## Ersatzschaltungen



Fototransistoren können als Fotodioden mit nachgeschaltetem Transistor aufgefasst werden. Der optisch induzierte Sperrstrom der Diode wirkt als Basisstrom und wird durch den Transistor verstärkt. Das dynamische Verhalten ist gegenüber Fotodioden relativ schlecht. Zudem ist der Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke und dem Fotostrom weniger linear (wegen der Nichtlinearität der Stromverstärkung).

## Typische Kennlinie und Kennwerte

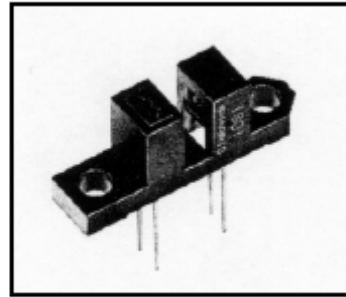
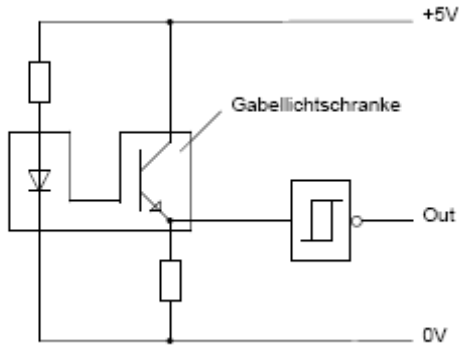


Kollektorhellstrom  $I_{Ch}$  ( $E_v = 1000 \text{ lx}$ ) z.B. 1 mA  
 Kollektordunkelstrom  $I_{Cd}$  z.B. 200pA

Fototransistoren können als Fotodioden mit nachgeschaltetem Transistor aufgefasst werden. Der optisch induzierte Sperrstrom der Diode wirkt als Basisstrom und wird durch den Transistor verstärkt. Das dynamische Verhalten ist gegenüber Fotodioden relativ schlecht. Zudem ist der Zusammenhang zwischen der Beleuchtungsstärke und dem Fotostrom weniger linear (wegen der Nichtlinearität der Stromverstärkung).

## Gabellichtschranke

Gabellichtschranken werden zur berührungslosen Abtastung im Nahbereich eingesetzt, teilweise sogar mit integrierter Aufbereitungselektronik. Als Sender dienen LEDs für sichtbare- und Infrarotstrahlung; als Empfänger werden Fotodioden oder Fototransistoren verwendet.



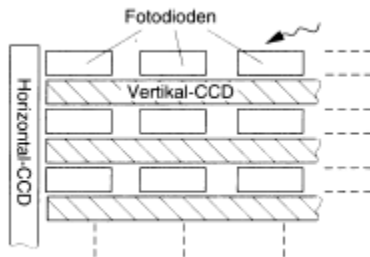
+5V

## Halbleiter-Bildsensoren (CCD-Sensoren)

Sensoren dieser Art erfassen optische Vorgänge. Sie dienen der optischen Kontrolle bei Bewegungsabläufen bis in den Mikrobereich oder als Scanner in Strichcode-Lesern. CCD-Sensoren sind grossflächige integrierte Schaltungen, welche durch eine Vielzahl von Fotodetektoren eine Lichtstrahlung in elektrische Signale umwandeln, die den Helligkeitswerten der einzelnen Bildpunkte (Pixel) entsprechen.

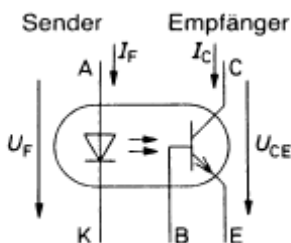
Die Bezeichnung CCD (Charge Coupled Device; ladungsgekoppelte Bauelemente) deutet auf die Art der Auslesung der einzelnen Pixel hin. Die einfallenden Lichtquanten setzen im Halbleiter Ladungsträger frei. Durch ein angelegtes elektrisches Feld bilden sich Ladungen. Diese werden nach einer bestimmten Integrationszeit ( $\mu\text{s}$  bis  $\text{ms}$ ) seriell über die Vertikal-CCD-Kanäle und anschliessend in die horizontale CCD-Leseleitung geschoben. Ein Ausgangsverstärker mit Sample & Hold-Eigenschaften bereitet schliesslich die Signale auf.

## Prinzipielle Funktion eines CCD-Bildsensors



CCD-Bildsensor in einer Kamera: CCDs sind analoge Schieberegister. Jeder Fotodiode ist ein MOS-Kondensator als Speicherkapazität für die durch das einfallende Licht gebildeten Foelektronen zugeordnet. Die MOS-Kondensatoren ermöglichen ein getaktetes Schieben von Ladungen. Die Ladungen werden dabei von einem Kondensator zum anderen geschoben. Man kann sich die Funktion der CCDs als 'Eimerkette' vorstellen. Die Vertikal-CCDs werden mit der Zeilenfrequenz getaktet, das Horizontal-CCD arbeitet mit einer Auslesefrequenz, die um den Faktor der Spaltenzahl höher ist als die Zeilenfrequenz. Zu einer CCD-Kamera gehört ein CCD-Bildsensor, eine Steuerelektronik und eine Videosignalverarbeitung. Diese liefert ein Standard-Videosignal.

## Optokoppler



Optokoppler bestehen aus einem *Lichtsender* (LED, vielfach IRED) und einem *Lichtempfänger* (meist Fotodiode oder Fototransistor).

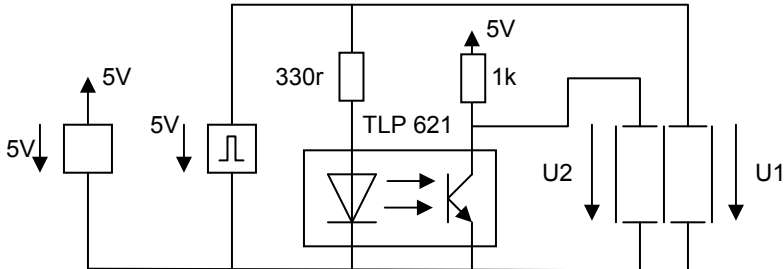
Beim Einsatz von Optokopplern von Bedeutung sind:

- Isolationsprüfspannung (einige kV)
- Koppelfaktor  $k$  (oder Stromübertragungsverhältnis CTR)

$$k = I_C / I_F$$

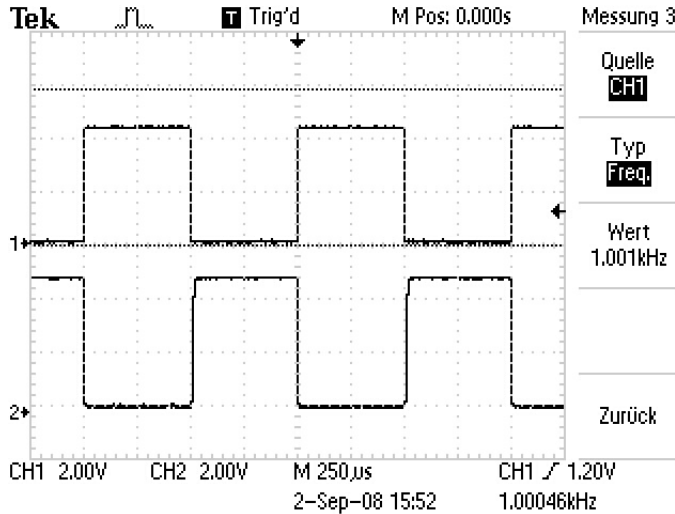
## Schaltverhalten Optokoppler (Messung mit LTP621)

### Messschaltung

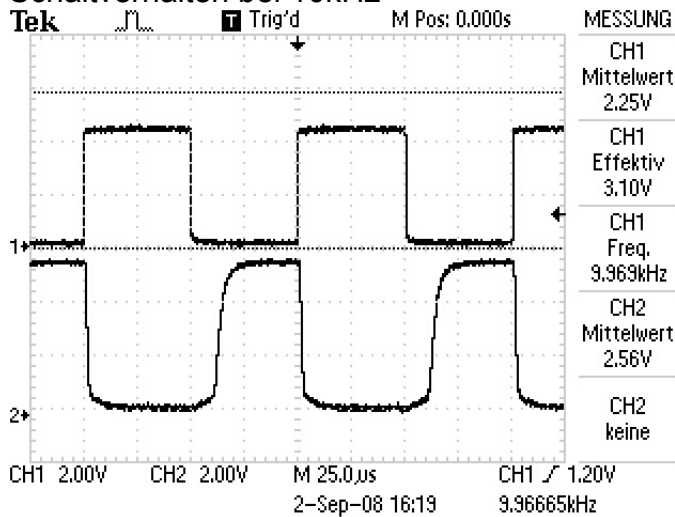


### Messresultate

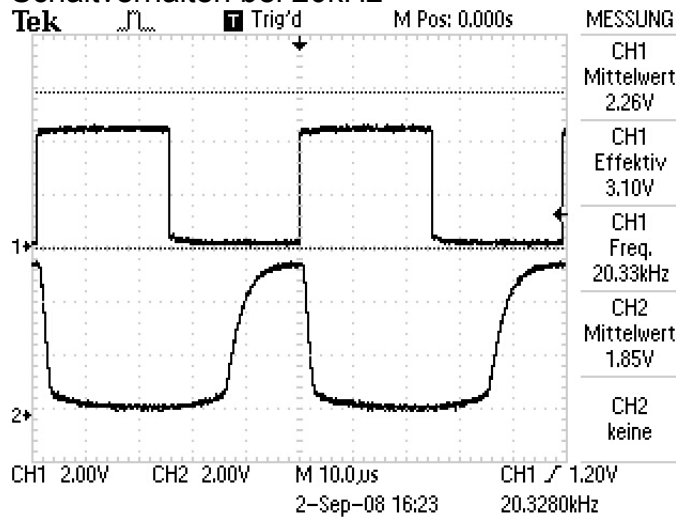
#### Schaltverhalten bei 1kHz



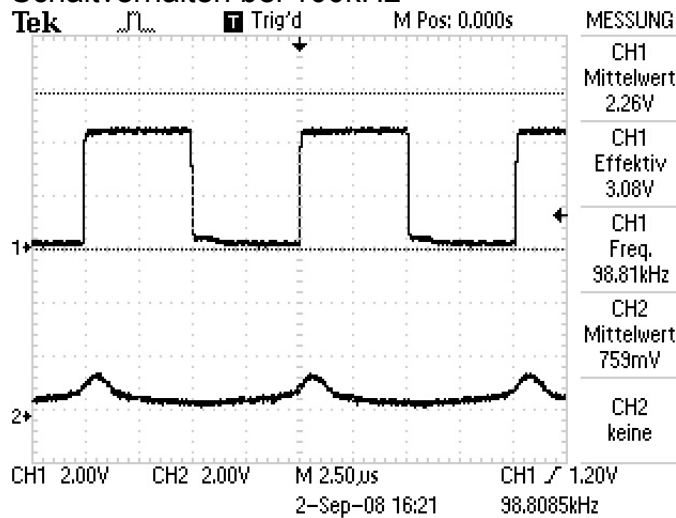
#### Schaltverhalten bei 10kHz



Schaltverhalten bei 20kHz



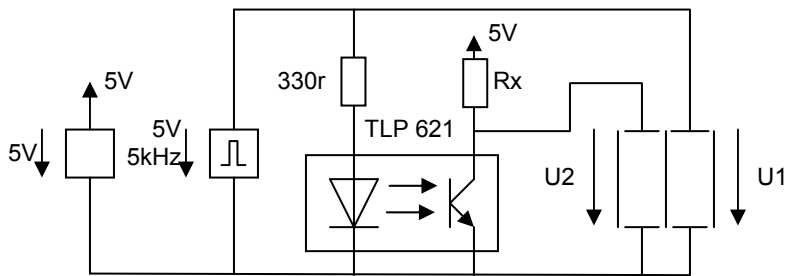
Schaltverhalten bei 100kHz



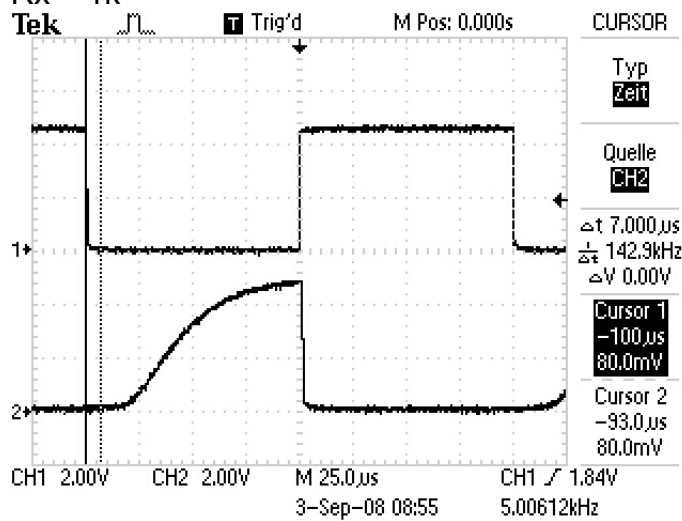
Turn off time = 18µs  
 Storage time = 12µs  
 Turn on time = 3µs

Messung entspricht den Angaben aus dem Datenblatt.

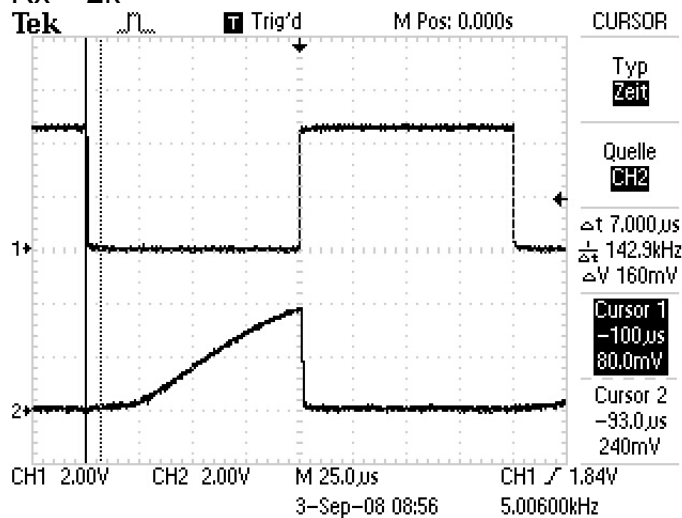
## Abhängigkeit der Ausgangsimpedanz Messschaltung



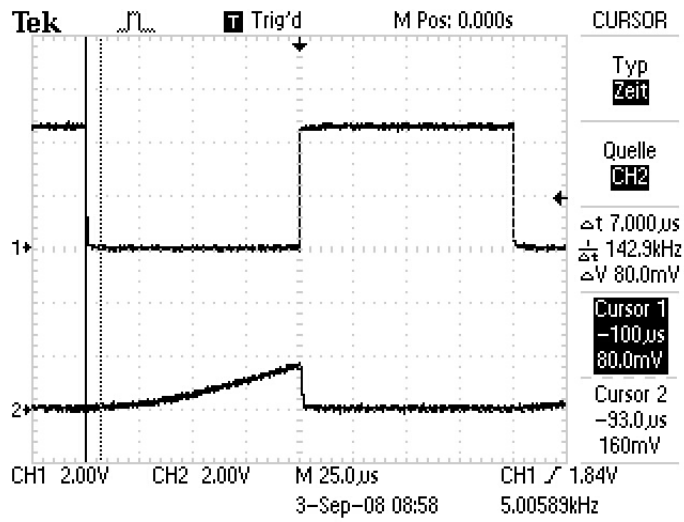
Messresultate  
Rx wird verändert:  
Rx = 1k



Rx = 2k



Rx = 5k



Der pull-up Widerstand muss bei grösseren Übertragungsfrequenzen kleiner sein.

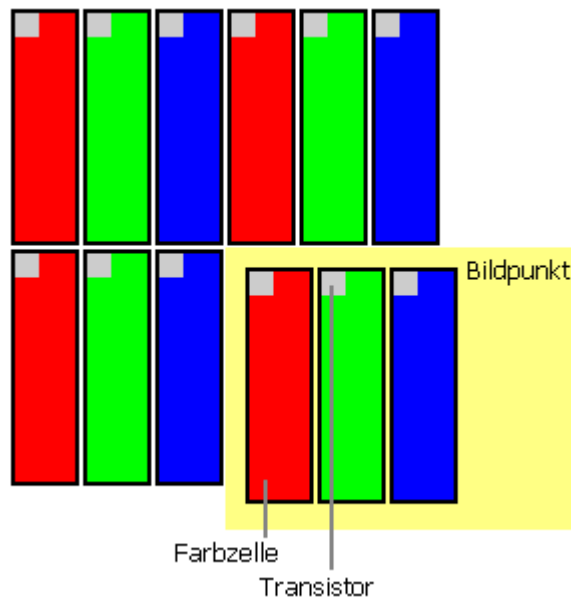
# Anzeigen

## Grundlagen

### Ein Pixel

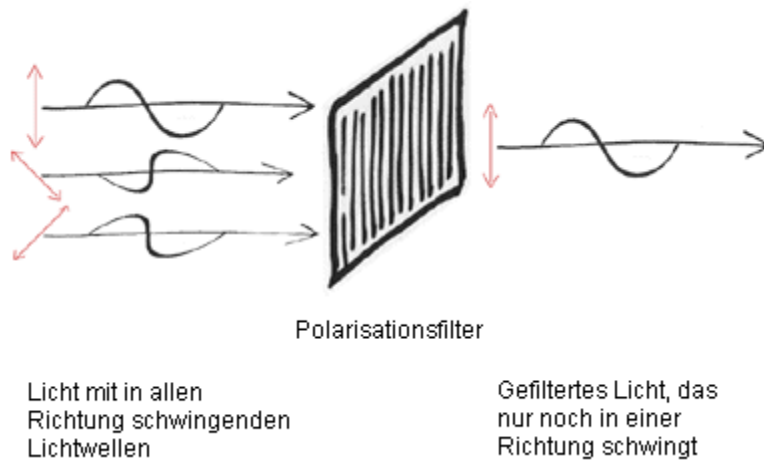
Unter einem Pixel versteht man ein einziger Bildpunkt. Dies ist die kleinst mögliche Einheit in einer Rastergrafik (Display). Die Grösse eines Pixels ist abhängig von der Auflösung und Grösse des Displays. Bei einem 15 Zoll Bildschirm mit einer Auflösung von 1024x768 misst ein Pixel ca. 0.3 Millimeter. Die Pixelauflösung eines Displays wird in Pixel per Inch (ppi) angegeben.

Um ein Pixel farbig aufleuchten zu können, braucht es insgesamt drei Farbzellen je eines in den Grundfarben rot, grün und blau. Zusammen geben sie dem Pixel den gewünschten Farbton.

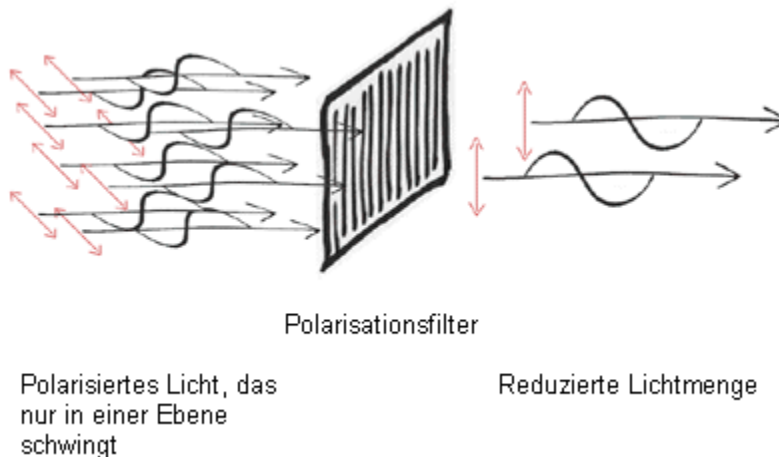


### Polarisation von Licht

Eine Lichtwelle schwingt immer nur in einer bestimmten Ebene. Das normale Tageslicht oder das Licht einer Neonröhre oder einer Glühbirne bestehen aus einer Unmenge von Lichtwellen, die jedoch alle in eine beliebige Richtung schwingen können. Polarisation des Lichtes bedeutet nun, dass aus dieser Unordnung nur diejenigen Lichtwellen herausgefiltert werden, die in einer bestimmten Richtung schwingen. Alle anderen werden verschluckt. Laserlicht besteht zum Beispiel aus polarisiertem Licht.



Ein weiterer, wichtiger Effekt entsteht, wenn man bereits polarisiertes Licht nochmals durch einen Polarisationsfilter lässt. Je weniger sich die Schwingungsrichtung des Lichts von der Richtung des Filters unterscheidet, desto mehr Licht lässt der Filter hindurch. Die Lichtmenge, die dabei ungehindert passieren kann, ist proportional zum Winkel zwischen Filter und Lichtwelle.



## **OLED (Organic Light Emitting Diode)**

Eine organische Leuchtdiode ist ein dünnes, leuchtendes Bauelement. Es besteht aus organischen halbleitenden Materialien.

Der Hauptunterschied zwischen OLED und normalen LED Displays sind, dass die Strom- und Leuchtdichte bei OLEDs geringer sind. Ausserdem benötigen sie keine einkristallinen Materialien.



### **Einsatzgebiet**

Die OLED Technologie wird vor allem für Bildschirme (Fernseher, PC-Monitoren, Notebooks, Handys, MP3-Player), aber auch für grossflächige Raumbeleuchtungen, eingesetzt.

### **Vorteile**

OLEDs können auf fast jedes Material aufgedruckt werden und sind somit kostengünstig bei der Herstellung. Sie können zum Beispiel auf eine Folie aufgedruckt werden. Dies ermöglicht ein biegsames Display, welches man zum Beispiel aufrollen oder in Kleidungsstücke integrieren kann.

Sie benötigen keine Hintergrundbeleuchtung, da sie selbst farbiges Licht emittieren. Dies bringt ihnen den Vorteil, dass sie einen höheren Kontrast erreichen und trotzdem weniger Energie verbrauchen als ein LCD. Ein weiterer Vorteil ist, dass sie somit viel dünner hergestellt werden können. Ein 2008 vorgestelltes Display von Sony misst eine Dicke von nur 0.3mm. Somit wird auch am Gewicht des Displays gespart.

Ausserdem haben OLED Anzeigen einen grossen Betrachtungswinkel von 170° und eine extrem schnelle Schaltgeschwindigkeit von nur einer Mikrosekunde!



### **Nachteile**

Das grösste technische Problem ist die vergleichbar geringe Lebensdauer. Das Material wird ebenso durch Wasser wie auch durch Sauerstoff zerstört. Deshalb muss es unbedingt verkapselt werden, um es vor äusseren Einflüssen zu schützen. Dies wiederum beeinträchtigt die Flexibilität.

Eine kommerzielle Anwendung mit einem biegbaren Display wird noch einige Zeit auf sich warten lassen. Flexible Kunststoffe haben eine zu hohe Durchlässigkeit für Sauerstoff und Luftfeuchtigkeit. Eine bessere Möglichkeit bildet Dünnglas. Das ist aber bei der Verarbeitung nur schwer handhabbar und sehr spröde.

## **LCD (Liquid Cristal Display)**

Flüssigkristallbildschirme bestehen aus Segmenten, welche unabhängig voneinander ihre Helligkeit ändern können. Mit einer elektrischen Spannung kann in jedem Segment die Ausrichtung der Flüssigkristalle gesteuert werden. Damit wird die Durchlässigkeit für polarisiertes Licht geändert. Das polarisierte Licht wird mit Hilfe einer Hintergrundbeleuchtung und Polarisationsfiltern erzeugt.



### **Einsatzgebiet**

LC-Displays werden in der heutigen Zeit sehr oft eingesetzt. Sie finden Verwendung in vielen elektrischen Geräten, wie in der Unterhaltungselektronik, in Messgeräten, Mobiltelefonen, Digitaluhren und Taschenrechnern. Auch Videoprojektoren arbeiten mit dieser Technik.

### **Vorteile**

Geringe Stromaufnahme, insbesondere bei ausgeschalteter Hintergrundbeleuchtung. LC-Displays werden unabhängig vom Bildinhalt über die gesamte Bildfläche konstant beleuchtet. Trotz dieser prinzipiellen Schwäche ist die Lichtausbeute noch immer etwa doppelt so hoch wie bei Plasmabildschirmen mit Filterscheibe (normaler Auslieferungszustand).

### **Nachteile**

Aufgrund der notwendigen Hintergrundbeleuchtung, werden die schwarzen Farben nicht richtig dargestellt. Das kommt daher, weil die Flüssigkristalle das Hintergrundlicht nicht 100%ig blockieren können.

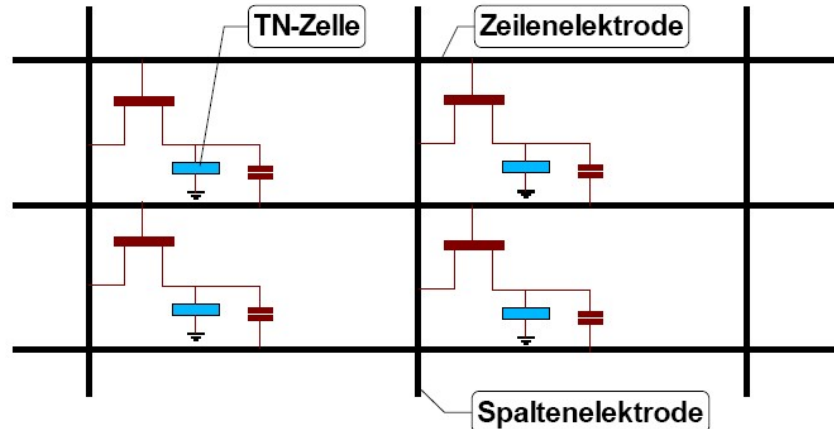
Die Flüssigkristalle haben eine sehr langsame Reaktionszeit (bis zu 30ms). Dies führt zum unerwünschten Nebeneffekt, dass schnelle Bewegungen zu Schleiern beginnen oder zu verschwommenen Umrissen. Es ist momentan nicht möglich das Problem mit schnelleren Pixeln in den Griff zu bekommen.

### **LC Display ohne Nachzieheffekt**

Um der Problematik "Nachzieheffekt" entgegenzuwirken, entwickelte Philips ein LCD mit einem flackernden Hintergrundlicht. Während das Bild noch berechnet wird, sozusagen die Farben richtig verteilt werden, bleibt das Rücklicht abgeschaltet. Erst wenn das Bild vollständig ist und angezeigt werden soll, schaltet es sich an und strahlt dabei dreimal heller als herkömmliche LCDs, damit die dunklen Zwischenphasen nicht wahrgenommen werden können.

## TFT (Thin-Film Transistor)

Das Dünnschichttransistordisplay ist eine Spezialform der LCD Technologie. Vom Prinzip her ist es genau das gleiche wie ein LCD. Sie unterscheiden sich lediglich in der Ansteuerung der Farbzellen. Beim TFT Display steuern Transistoren die Ladung eines Kondensators, welcher das elektrische Feld erzeugt, um die Flüssigkristalle auszurichten. Da sich der Kondensator nur langsam entlädt, erhalten die Zellen ihren Zustand so lange aufrecht, bis sie erneut angesteuert werden. Dadurch können schnellere Flüssigkristalle eingesetzt werden.



Diese Bauart von Displays nennt sich Matrix-LCD, da die Transistoren in einem Raster angeordnet sind. In der Umgangssprache werden sie häufig als TFT-Display bezeichnet.

### Einsatzgebiet

In der heutigen Zeit kommen TFT-Displays immer mehr zum Einsatz. Das Einsatzgebiet reicht von kleinen Handydisplays bis zu grossen Flachbildfernseher.

### Vorteile

Der Hauptvorteil gegenüber LCDs ist natürlich die viel schnellere Reaktionszeit. Sie liegt heute ungefähr bei 4ms. Gleichzeitig wird mit dieser Bauart ein zweiter negativer Effekt vermieden. LCDs verlieren Kontrast durch induktive Beeinflussungen, wird in der Fachsprache „Übersprechen“ genannt. Bei den geringen Abständen der Leitungen werden Ströme von den stromführenden Leitungen in benachbarte Leiterbahnen indiziert. Dies führt zu einem schwammigen Bild. Bei der Matrix-Ansteuerung sind die Leiterbahnen viel weiter auseinander, somit fällt der induzierte Strom aus. So lässt sich bei TFT-Displays einen viel besseren Kontrast realisieren.



### Nachteile

Wie auch bei den LCDs ist die schlechte Darstellung von schwarz der Hauptnachteil.

## Plasma

Ein Plasma Display ist eine Anordnung mikroskopisch kleiner Leuchtstofflampen. Kleine Bohrungen oder Wannen mit ionisierbarem Edelgas bilden eine Pixelmatrix, die wiederum aus 3 Subpixeln bestehen. Das Leuchtgas wird gezündet und es wird ultraviolette Lichtstrahlung verursacht, die ihrerseits rotes, grünes und blaues Phosphorlicht an der Bildschirmrückseite erzeugen. Die gesamte Displayfläche steht dauernd unter gleichmäßiger Spannung. Die Spannung ist knapp unter dem Grenzwert, bei dem das Plasma zu leuchten beginnt. Somit verbraucht es auch bei schwarzem Bildschirm beträchtliche Energie.

Im Jahre 2007 wurden insgesamt ca. 12 Millionen Plasma Displays hergestellt. Marktanteile: 30% Panasonic Matsushita, 20% Samsung SDI, 15% LG Electronics.



### Einsatzgebiet

Plasma Displays werden vor allem bei grossen Bildschirmen und Fernseher mit einer Diagonale von über 100cm verwendet.

### Vorteile

Es sind grössere Bildschirmdiagonalen zu bezahlbaren Preisen erhältlich. Plasma Displays sind günstiger als LCDs.

Die Reaktionszeit bei Plasmabildschirmen ist viel kleiner als bei LCDs. Dadurch entstehen keine Nachzieheffekte mehr.

Ein Plasma Display benötigt keine Hintergrundbeleuchtung, somit erreicht es einen viel besseren Schwarzwert als ein LC-Display.

Zudem haben Plasmabildschirme eine höhere Leuchtdichte und einen besseren Kontrast. Es können eine grössere Anzahl und brillantere Farben dargestellt werden.

### Nachteile

Ein Plasma-Pixel kennt nur zwei Zustände, an oder aus, und ist somit nicht dimmbar. Es gibt also nur schwarz oder volle Farbe. Alle Zwischenstufen müssen über die Leuchtdauer (Puls-Pausen Verhältnis) simuliert werden. Das hat zur Folge, dass z.B. eine graue Flächen zu flimmern beginnt.

Ein Pixel ist ziemlich gross (1x1mm), bedingt durch den Aufbau und kann somit kaum mehr verkleinert werden. Deshalb ist Plasma nur für grosse Displays geeignet. Bei Bild-diagonalen unter 100cm ist ein LCD besser geeignet.

Wird das Bild hell, so steigt der Stromverbrauch sehr steil an. Er steigt so rapide, dass Plasma Displays einen Überlastungsschutz in Form einer Helligkeits-Begrenzung

benötigen. Dadurch ist aber der Kontrast nur bei dunklem Bild in einem dunklen Zimmer richtig gut. Bei zu hohem Dauerbeschuss mit UV-Licht altert der Phosphor vorzeitig. Dadurch werden die Plasma Displays über die Jahre deutlich dunkler.

Wird über längere Zeit ein helles Standbild angezeigt, kann sich das dauerhaft einbrennen. Dazu genügt ein weisses Sender-Logo, welches den ganzen Tag eingeblendet bleibt.

Ein solches Display benötigt sehr viel Energie (bis 500 Watt), dies erzeugt so viel Wärme, dass ein Lüfter notwendig wird.

## E-Paper

Elektronisches Papier versucht Tinte auf einem Papier nachzuempfinden. Es reflektiert Licht wie normales Papier und kann Text und Bilder dauerhaft ohne Stromzuführung anzeigen. Es benötigt lediglich eine Erhaltungsspannung. Die Anzeige kann zu einem späteren Zeitpunkt wieder geändert werden.

Das E-Paper besteht meist aus elektrisch leitendem Kunststoff, der kleine Kügelchen enthält, in denen Pigmente auf elektrische Spannung reagieren.

### Einsatzgebiet

Das Einsatzgebiet für E-Paper ist grundsätzlich nur für Anwendungen in Geräten, welche eine möglichst geringe Stromaufnahme vordern und deren Bildinhalt nicht zu fleissig ändert.

### Vorteile

Das E-Paper hat einen sehr hohen Kontrast. Es ist dem normalen Papier wirklich sehr ähnlich. Der Blickwinkel ist sehr gross. Aus jedem Blickwinkel sieht das Bild genau gleich gut aus.

Die einzelnen Pixel werden dauerhaft angezeigt, so gibt es kein Flimmern.

Das E-Paper benötigt keine eigene Beleuchtung. Es nutzt das externe Licht. Deshalb ist es sowohl bei normaler Raumbeleuchtung sowie auch in hellem Sonnenschein lesbar. Durch die nicht vorhandene Hintergrundbeleuchtung kann das E-Paper sehr dünn und leicht hergestellt werden. Zudem ist es biegsam. E-Paper kann man in allen Grössen und Formen herstellen. Von einem kleinen mit der aktuellen Wetterlage bis hin zur grossen Anzeigetafel. Der Hauptvorteil von E-Paper ist aber natürlich der geringe Stromverbrauch. Nur bei einer Änderung des Bildinhaltes benötigt das Display Strom.

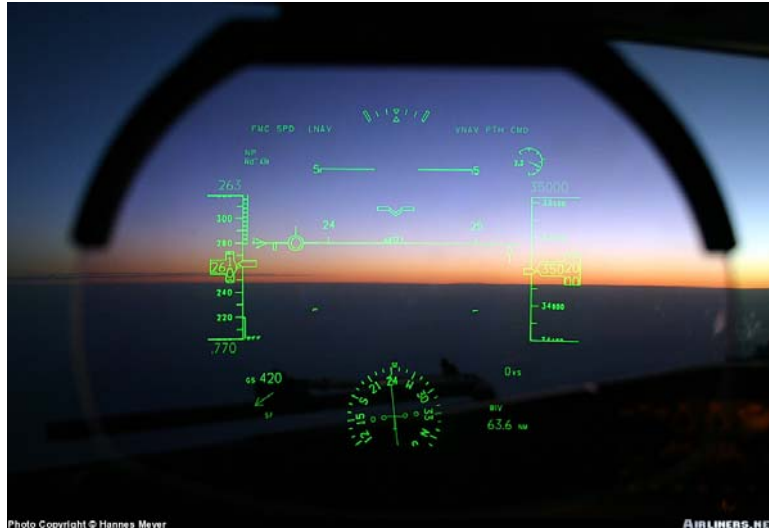
### Nachteile

Der Haken am E-Paper ist, der sehr träge Seitenwechsel. Man sieht richtig wie Zeile für Zeile geändert werden. Somit ist es nicht möglich ein Video oder eine Animation abzuspielen. Im momentanen Forschungsstand ist der Grauwert-, bez. die Farbwertauflösung noch sehr gering.



## Head Up Display

Bei einem Head Up Display werden wichtige Informationen in das Sichtfeld des Nutzers projiziert. Sie bestehen im Allgemeinen aus einer bildgebenden Einheit, einem Optikmodul und einer geeigneten Projektionsfläche. Die Fläche ist eine spiegelnde, lichtdurchlässige Scheibe. Somit kann der Benutzer auf die gespiegelten Informationen und gleichzeitig die reale Welt hinter der Scheibe betrachten. Das erzeugte virtuelle Bild kann so eingestellt werden, dass es nur mit einem oder beiden Augen erfasst werden kann. Das Bild wird heute durch ein farbiges, hochauflösendes TFT Display erzeugt. Früher waren es Bildröhren, welche die Bilder als Vektoren oder Pixel generierten.



### Einsatzgebiet

Head Up Displays werden vorwiegend in Flugzeugen eingesetzt. Besonders stark verbreitet sind sie für Militärische Zwecke, wie z.B. in Kampfflugzeugen oder als Reflexvisier. Immer mehr werden sie aber auch in der Automobilindustrie eingesetzt.

### Vorteile

Man hat die wichtigsten Informationen immer im Blickwinkel. Z.B. beim Autofahren können Geschwindigkeit, Motorendrehzahlen, Mindestabstand und Navigation direkt in das Sichtfeld projiziert werden. Damit man nicht mehr von der Strasse weg auf das Armaturenbrett schauen muss.

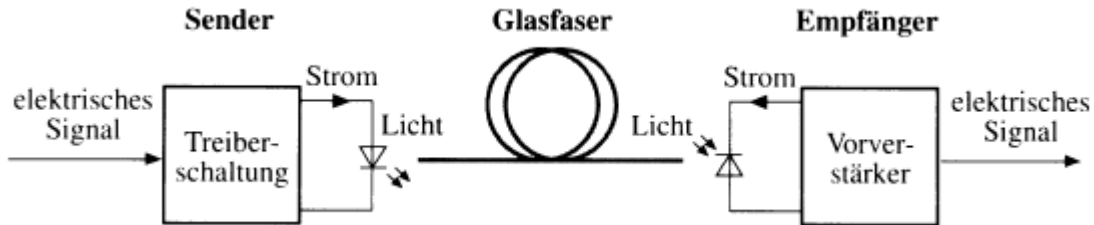
### Nachteile

Die Helligkeit muss stetig dem Umgebungslicht angepasst werden. Dies wird üblicherweise mit einem Fotosensor gesteuert. Um ein scharfes Bild zu erreichen, ist eine sehr genau eingestellte Optik notwendig. Das Auge muss sich auf eine gewisse Distanz einstellen. Liegt das fokussierte Objekt näher oder weiter entfernt von diesem Punkt, wird die Anzeige unscharf. Noch dazu kommt, dass nicht jeder Mensch die gleichen Augen hat. Kleinste Sehschwächen erfordern eine andere Einstellung der Optik.

## Lichtwellenleiter LWL

Die optische Nachrichtenübertragung über Lichtwellenleiter mittels Glas- oder Plastikfasern gewinnt zunehmend an Bedeutung. Neben klassischen Anwendungen in der Weitverkehrstechnik werden LWL-Systeme für Datenübertragungen bei LANs, in Bordsystemen (Flug- und Fahrzeuge) usw. eingesetzt.

### Prinzip einer optischen Signalübertragung

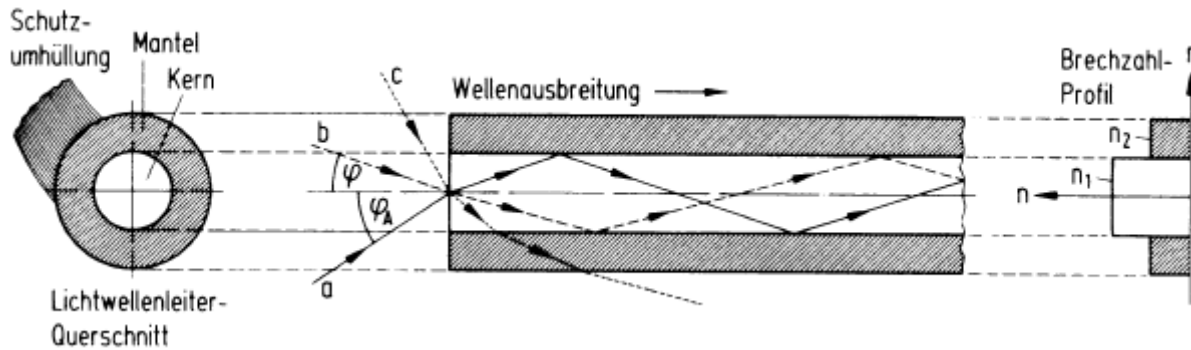


Die Signalübertragung erfolgt über eine Glasfaser (Dicke einige bis einige 10  $\mu\text{m}$ ). Der LWL besteht aus einem lichtleitenden Kern, in dem das Lichtsignal nach dem Prinzip der Totalreflexion geleitet wird. Als Sendeelemente werden typisch IRED oder Laserdioden, als Empfangselemente schnelle Fotodioden eingesetzt. Durch die sehr hohe Frequenz der Lichtstrahlung in der Grössenordnung von  $10^{14}$  Hz ergibt sich eine mögliche Bandbreite von einigen 10 MHz.

### Vorteile der LWL - Übertragungstechnik

- hohe Bandbreite, bedeutet hohe Übertragungskapazität
- galvanische Trennung zwischen Sender und Empfänger
- Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen
- Abhörsicherheit, kein Übersprechen
- keine Erdschleifen
- geringes Gewicht, wenig Platzbedarf
- grosse Materialverfügbarkeit

## Aufbau der Glasfasern



- Lichtwellenleitung durch Totalreflexion

Die eigentliche Glasfaser hat eine höhere *Brechzahl*  $n_1$  als der Mantel ( $n_2$ ). Die Lichtstrahlen a und b bleiben wegen der *Totalreflexion* in der Faser, während schräger einfallende Strahlen c oberhalb eines bestimmten Grenzwinkels beide Medien ohne Reflexion durchdringen.

- Mögliche Wellenausbreitungen in der Faser - sogenannte Moden

Aufgrund der Welleneigenschaften des Lichtes kann in der Faser nicht jede beliebige Strahlenrichtung zur Ausbreitung beitragen; die möglichen Strahlenrichtungen werden als *Moden* bezeichnet. Die Übertragungseigenschaften werden mit kleinerer Modenzahl besser.


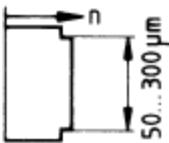
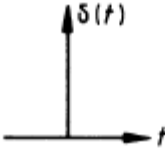
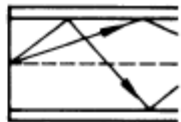


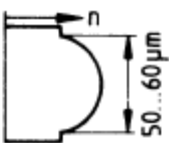
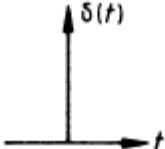

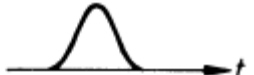

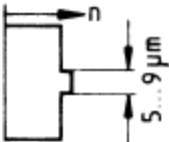
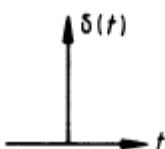
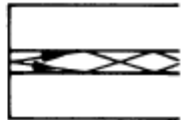
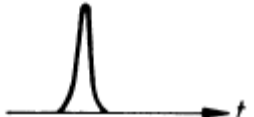
*Multimodefaser*: einige 10 bis einige 100 ausbreitungsfähige Moden.

*Monomodefaser (Singlemodefaser)*: nur 1 ausbreitungsfähiger Mode.

- Folge unterschiedlicher Laufzeiten - Moden-Dispersion

Es ist ebenfalls ersichtlich, dass die unterschiedlichen Eintrittswinkel der Strahlen a und b andere Brechungs- und Reflexionsbedingungen zur Folge haben und dadurch zu unterschiedlichen Laufzeiten führen. Daraus resultiert eine unerwünschte Verbreiterung von eingestrahnten Impulsen. Dies wird als *Moden-Dispersion* bezeichnet.

## Übliche Fasertypen mit ihren Eigenschaften

| Faserquerschnitt  | n-Profil  | Eingangs-Impuls   | Strahlengang   | Ausgangs-Impuls $p(t)$  |
|---|---|---|--|---|
| <br>Stufenindexfaser | <br>50...300 $\mu\text{m}$ |  |  |  |
| <br>Gradientenfaser  | <br>50...60 $\mu\text{m}$  |  |  |  |
| <br>Singlemodefaser  | <br>5...9 $\mu\text{m}$    |  |  |  |

- **Stufenindexfaser (Multimode)**

Führt mehrere Moden, was eine deutliche Impulsverbreiterung bewirkt. Vorteilhaft ist die problemlose Lichteinkopplung durch den relativ grossen Kerndurchmesser (preiswert). Nachteilig ist die Begrenzung auf niedrige Bitraten durch die Impulsverbreiterung.

- **Gradientenfaser (Multimode)**

Kompromiss zwischen der 'schlechteren' Stufenindexfaser und der teureren Singlemodefaser. Es tritt kein gestufter Übergang zwischen den Kern- und Mantelmaterialien ( $n_1$  und  $n_2$ ) auf; der Übergang ist fließend und meistens parabelförmig ausgebildet.

- **Singlemodefaser**

Im dünnen Kern wird nur ein Mode übertragen. Sehr geringe Dämpfung, hohe Bandbreite. Nachteilig ist die erforderliche genaue Justierung. Wegen des dünnen Kerndurchmessers ist bei den Anschlussstücken eine hohe Präzision nötig.

### Dämpfung von Glasfasern

In der LWL-Technik arbeitet man mit drei Wellenlängenbereichen des Lichtes, den sogenannten optischen Fenstern. Sie befinden sich bei ca. 850, 1300 und 1500 nm. Je nach Übertragungsdistanz und -system wählt man eine entsprechende optimierte Faser aus. Reicht die maximal mögliche Faserlänge nicht aus, um die gewünschte Strecke zu überbrücken, so fügt man sogenannte *Repeater* ein. Das durch Dispersion verzerrte Signal wird verstärkt und wieder aufbereitet (regeneriert).