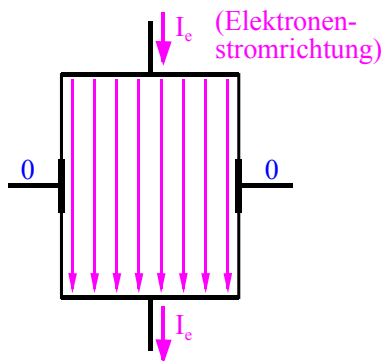


## 10. Spezielle Halbleiterbauelemente

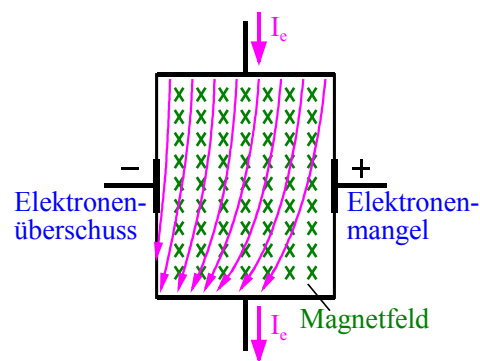
### 10.1 Hallgeneratoren

Ein magnetisches Feld übt auf strömende Elektronen Kräfte aus (stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld).

Wird die Platte eines Hallgenerators - ein dünnes Halbleiterplättchen - von einem Strom durchflossen, so verlaufen die Strömungslinien in gleichen Abständen (homogenes Strömungsfeld). Wird diese Platte von einem Magnetfeld durchsetzt, so wird auf jedes Elektron eine Kraft ausgeübt (Lorentz-Kraft). Die Elektronen werden nach einer Seite gedrängt (inhomogene Strömung). Als Folge der seitlichen Elektronenablenkung entsteht in dem Plättchen in Richtung zur Lorentz-Kraft ein Elektronenüberschuss, auf der gegenüberliegenden Seite ein Elektronenmangel.



**Homogene Elektronenströmung durch die leitfähige Platte eines Hallgenerators**

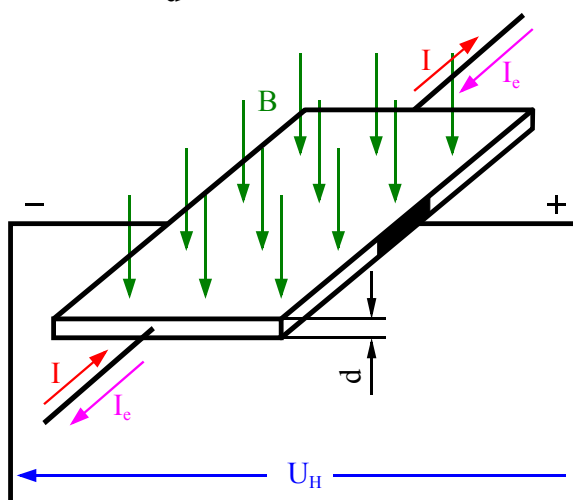


**Von einem äußeren Magnetfeld verursachte inhomogene Elektronenströmung**

Zwischen den beiden Seiten des Plättchens tritt eine elektrische Spannung auf, die Hallspannung  $U_H$ . Diese Einrichtung wird als Hallgenerator bezeichnet.

Die Polarität der Hallspannung  $U_H$  ist abhängig von der Richtung des Magnetfeldes und der Richtung des Stromes  $I$  im Plättchen senkrecht zum Magnetfeld. Für den Betrag der Hallspannung  $U_H$  sind der Steuerstrom  $I$ , die Flussdichte, die Hallkonstante  $R_H$  (werkstoffabhängig) und die Dicke des Plättchens  $d$  maßgebend.

$$U_H = \frac{R_H \cdot I \cdot B}{d} \quad (10.1)$$



Kupfer	$R_H \approx -5,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{As}$
Silizium und Germanium	$R_H \approx 10^{-3} \dots 10^{-1} \text{ m}^3/\text{As}$
Indiumantimonid (InSb)	$R_H \approx 240 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{As}$
Indiumarsenid (InAs)	$R_H \approx 120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{As}$

#### Entstehen einer Hallspannung

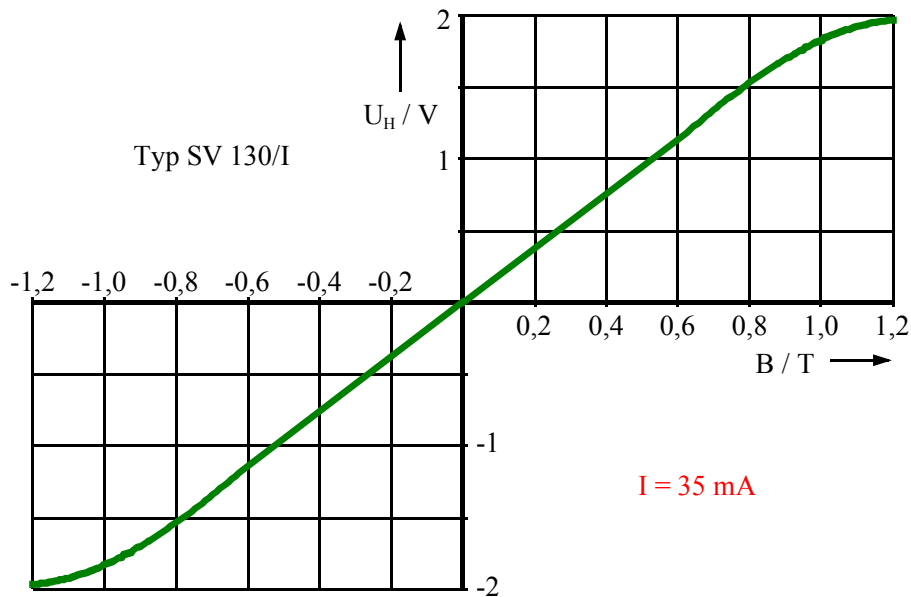
Abhängig von dem verwendeten Halbleiterwerkstoff ergibt sich eine mehr oder weniger große Temperaturabhängigkeit der Hallkonstanten  $R_H$  und damit auch der Hallspannung  $U_H$ . Der Temperaturbeiwert  $\beta$  gibt an, um wie viel sich die Hallspannung pro K erhöht.

$$\Delta U_H = U_{H20} \cdot \beta \cdot \Delta \vartheta \quad (10.2)$$

$\Delta U_H$  = Änderung der Hallspannung,  $U_{H20}$  = Hallspannung bei 20°C,  $\Delta \vartheta$  = Temperaturänderung

Indiumantimonid (InSb)  $\beta \approx -10 \dots -20 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

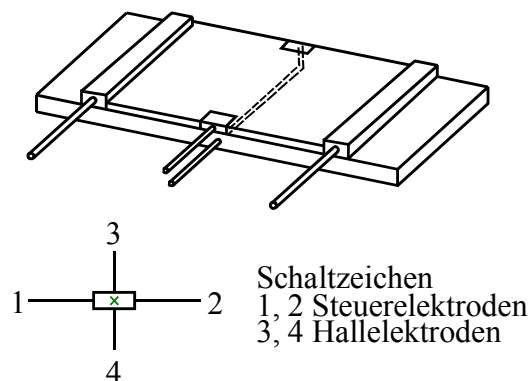
Indiumarsenid (InAs)  $\beta \approx -1 \dots -2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$



Hallspannung  $U_H$   
als Funktion  
der Flussdichte  $B$

### Aufbau von Hallgeneratoren

Die volle Hallspannung bildet sich nur, wenn  $l \geq 2 \cdot a$  ist. Die Plättchen von Hallgeneratoren haben also meist eine längliche Form. Sie sollen möglichst dünn sein. Das Halbleitermaterial InSb bzw. InAs wird heute meist auf ein Trägermaterial aufgedampft ( $d \leq 10 \mu\text{m}$ ).



Bei Ferrit-Hallsonden ist das Trägermaterial magnetisch (weichmagnetische Ferrite). Diese Hallsonden werden häufig in magnetische Kreise fest eingebaut (nahezu kein Luftspalt).

Der Hallgenerator hat, wie jeder Spannungserzeuger, einen Innenwiderstand. Die Größe des Innenwiderstandes ist von den Abmessungen der Halbleiterschicht und von der magnetischen Flussdichte abhängig. Übliche Innenwiderstände liegen bei  $1 \Omega$  bis  $4 \Omega$ .

### Aufbau und Schaltzeichen eines Hallgenerators

#### Kennwerte und Grenzwerte (übliche Werte)

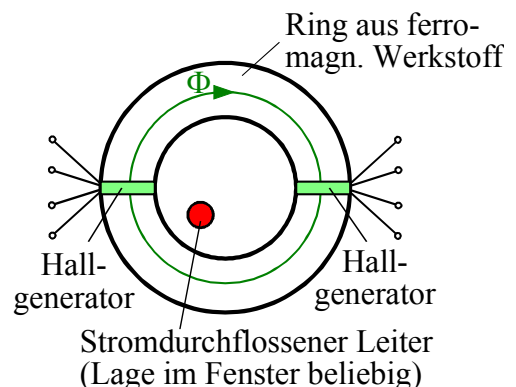
höchstzulässiger Steuerstrom	$I_{\text{max}} \approx 600 \text{ mA}$
höchstzulässige Betriebstemperatur	$\vartheta_{\text{max}} \approx 100^\circ\text{C}$
Nennwert des Steuerstromes	$I_N \approx 100 \text{ mA}$
Nennwert des Steuerfeldes	$B_N \approx 1 \text{ T}$
Leerlauf-Hallspannung ( $I_N, B_N$ )	$U_H \approx 0,4 \text{ V}$
Innenwiderstand zwischen den Steuerelektroden	$R_{\text{St}} \approx 3 \Omega$
den Hallelektroden	$R_{\text{H}} \approx 1,5 \Omega$



### Anwendungen

Hallgenerator zur Messung von Gleichströmen,  
Hallgenerator als Indikator eines Magnetfeldes,  
Hallgenerator als analoger Multiplizierer ( $I \cdot B$ ).

### Anordnung zur Gleichstrommessung

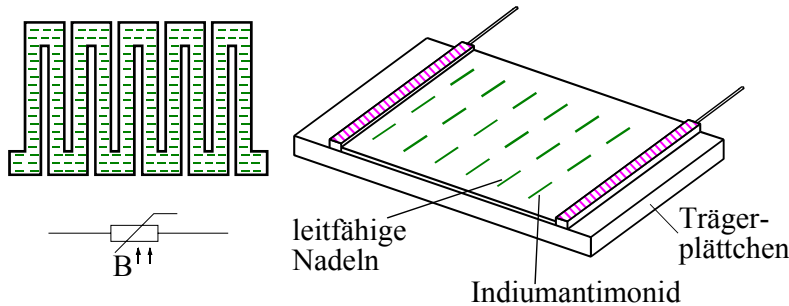


## 10.2 Feldplatten und Magnetdioden

**Feldplatten** sind Halbleiterwiderstände, deren Widerstandswert durch ein Magnetfeld gesteuert werden kann.

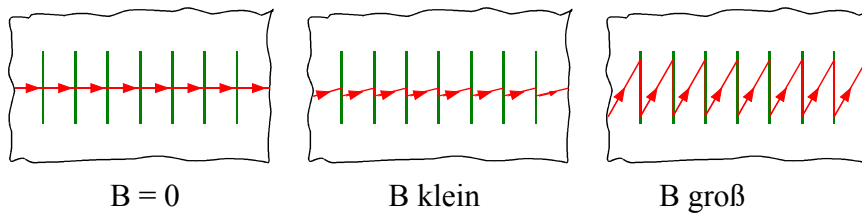
Feldplatten werden als Eisentypen (E-Typen) und als Kunststofftypen (K-Typen) hergestellt. Bei E-Typen verwendet man als Trägermaterial ferromagnetische Werkstoffe mit großer Permeabilität, das mit einer Isolierschicht versehen wird. Bei K-Typen besteht der Träger aus Kunststoff oder aus Keramik.

Auf den Träger, der rd. 0,1 mm dick ist, wird eine rd. 25 µm Schicht aus Indiumantimonid aufgebracht. Das Indiumantimonid enthält Nadeln aus Nickelantimonid, die eine sehr gute

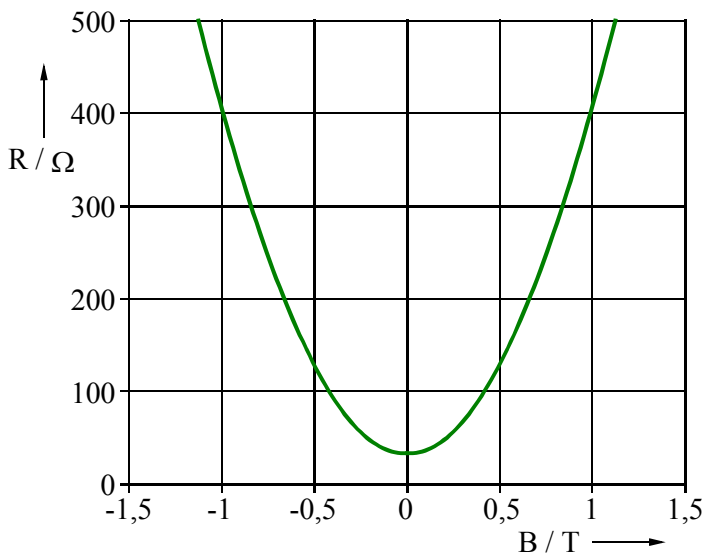


Leitfähigkeit haben (metallische Leitfähigkeit). Bei vielen Feldplatten hat die Schicht eine Mäanderform. Die Widerstandswerte ohne Magnetfeld können für einen weiten Wertebereich ( $1 \Omega \leq R_0 \leq 10 \text{ k}\Omega$ ) hergestellt werden.

### Schaltzeichen und Aufbau der Feldplatte



Schichtausschnitt einer Feldplatte mit Strombahn



Ohne Magnetfeld verlaufen die Strombahnen geradlinig. Unter dem Einfluss eines Magnetfeldes werden die Ladungsträger zwischen den metallisch leitfähigen Nadeln abgedrängt. Mit steigender Flussdichte nimmt die Ablenkung zu, die Strombahnen verlaufen immer schräger und damit steigt der Widerstand der Feldplatte.

Die Richtung des Magnetfeldes hat keinen Einfluss auf die Größe des Ohmschen Widerstandes der Feldplatte.

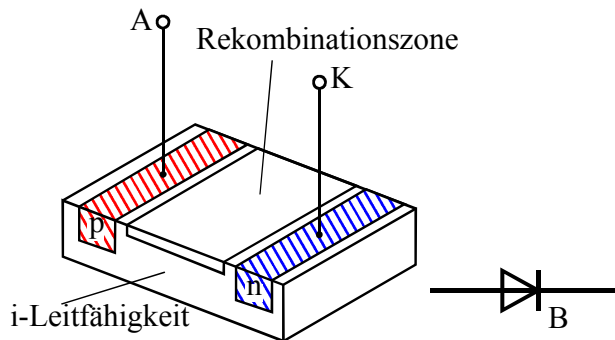
Widerstand R der Feldplatte als Funktion der Flussdichte B

Die üblichen Werte für wichtige Kenn- und Grenzwerte:

- höchstzulässige Belastung  $P_{\text{tot}} \approx 0,5 \text{ W}$ ,
- maximale Betriebstemperatur  $\vartheta_{\text{max}} \approx 95^\circ\text{C}$ ,
- Grundwiderstand ( $B = 0$ )  $R_0 \approx 10 \Omega \dots 10 \text{ k}\Omega$ ,
- Temperaturbeiwert  $\alpha \approx -0,004 \text{ K}^{-1}$ .

Feldplatten werden häufig zur kontaktlosen Signalabgabe verwendet. Man kann mit ihnen kontaktlose und damit prellfreie Taster bauen. Als stufenlos steuerbare Widerstände werden sie in der MSR-Technik eingesetzt.

**Magnetdioden** sind Dioden, deren Widerstandswert durch ein äußeres Magnetfeld geändert werden kann.



Magnetdioden sind Germanium-Halbleiterdioden mit einer breiten undotierten Zone (i-leitende Zone), die eine geringe Leitfähigkeit aufweist. Eine Randseite der i-leitenden Zone wird so verunreinigt, dass dort eine starke Rekombination von Ladungsträgern erfolgen kann. Diese Rekombinationszone „schluckt“ Ladungsträger.

### Schaltzeichen und Aufbau der Magnetdiode

Abhängig von der Richtung des Magnetfeldes werden die Elektronen in Richtung zur Rekombinationszone oder in entgegengesetzte Richtung abgelenkt. Ladungsträger, die in die Rekombinationszone geraten, rekombinieren und fallen damit als freie Ladungsträger aus, so dass der Widerstand der Magnetdiode größer wird.

Der Widerstand von Magnetdioden ist sehr temperaturabhängig.

Die üblichen Werte für wichtige Kenn- und Grenzwerte:

- maximale Verlustleistung  $P_{vmax} \approx 50 \text{ mW}$ ,
- maximale Betriebsspannung  $U_{Bmax} \approx 20 \text{ V}$ ,
- Betriebsspannung  $U_B \approx 4 \text{ V}$ ,
- maximale Betriebstemperatur  $\vartheta_{max} \approx 60^\circ\text{C}$ ,
- Grundwiderstandswert ( $B = 0$ )  $R_0 \approx 2 \text{ k}\Omega$ .

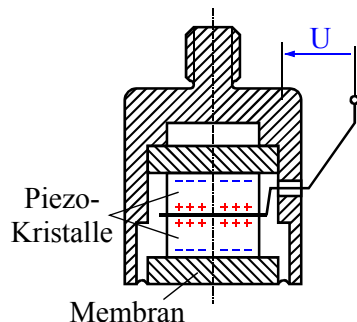
Magnetdioden eignen sich gut für die Signalgabe bei Drehzahlmessern. Ebenfalls lassen sich mit ihnen prellfreie kontaktlose Taster herstellen. Mit ihnen können bei Transistorschaltstufen und Schmitt-Triggern Schaltvorgänge ausgelöst werden.

## 10.3 Druckabhängige Halbleiterbauelemente

### Piezoeffekt

In bestimmten Kristallen kommt es bei Druckänderung zu einer Ladungsträgertrennung. Zwischen zwei Kristallflächen entsteht während der Dauer der Druckänderung eine elektrische Spannung. Die Druckänderung im Inneren kann durch Biegung des Kristalls erfolgen.

Die bekannten Piezokristalle (Quarz, Seignettesalz, Bariumtitanat und andere) lassen auch bei starken Druckänderungen Spannungen von wenigen Volt entstehen.



**Prinzip eines piezoelektrischen Druckänderungsaufnehmers**



**Druckänderungsaufnehmer mit Piezo-Kristall**

Piezokristalle werden in der Elektronik vorwiegend als Messwertaufnehmer bzw. als Messgrößenwandler eingesetzt.

### Piezohalbleiter

Es gibt Halbleiterkristalle mit starken piezoelektrischen Eigenschaften. Diese Piezooxide (Valvo) bestehen aus einem polykristallinen Material auf einer Basis von Blei-Zirkonat-Titanat. Dieses Material wird einem komplizierten Sinterverfahren unterzogen, bei dem eine Polarisation durch ein hohes elektrisches Gleichfeld erfolgt.

Mit Piezooxiden können schon bei kleinen Druckänderungen Spannungen von vielen Kilovolt erzeugt werden. Piezooxide eignen sich sehr gut als Druckänderungsaufnehmer bis zu Druckwechselfrequenzen im Ultraschallbereich. Sie werden für Mikrophone (vorwiegend Ultraschallmikrophone), für Filterschaltungen und für Tonabnehmer verwendet.

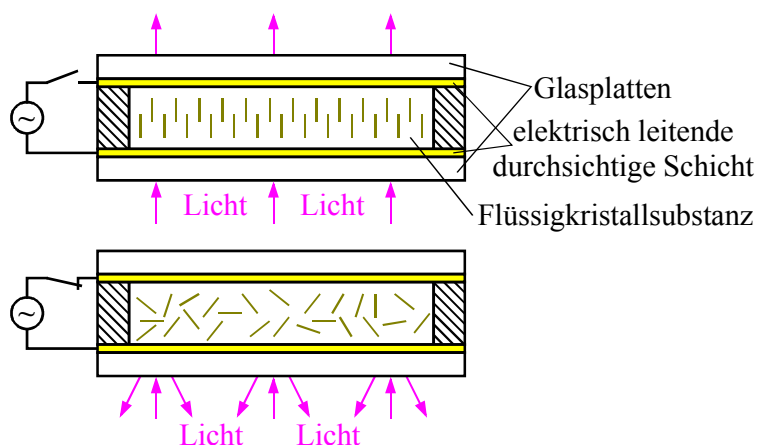
Ein besonderes Anwendungsgebiet der Piezooxide ist die Gaszündung. Die hierfür verwendeten Piezooxide geben bei verhältnismäßig kleinen zugeführten mechanischen Energien Spannungen von 15 kV und mehr ab und ermöglichen so die Funkenzündung des Gases.

### 10.4 Flüssigkristall-Bauteile

Körper, die sich bei Beanspruchungen in allen Richtungen gleich verhalten und in allen Richtungen gleiche Eigenschaften haben sind isotrop. Hierzu zählen normalerweise Flüssigkeiten. Sind Eigenschaften oder Verhaltensweisen von Körpern von Beanspruchungsrichtungen abhängig, so sind diese Körper anisotrop. Kristalle sind anisotrop.

Es gibt organische Verbindungen, die im festen Zustand Kristallstruktur haben und die nach dem Schmelzen eine anisotrope Phase durchlaufen. Bei höheren Temperaturen werden sie wie alle normalen Flüssigkeiten isotrop.

Derartige Flüssigkeiten sind in einem Bereich von etwa  $-5\text{ °C} \leq \vartheta \leq 65\text{ °C}$  anisotrop und werden als "Flüssige Kristalle", LCD (Liquid Crystal Device) bezeichnet. Flüssigkristalle bestehen aus langgestreckten, etwa zigarrenförmigen Molekülen, die mit ihren Längsachsen ohne anliegendes elektrisches Feld parallel zueinander angeordnet sind.

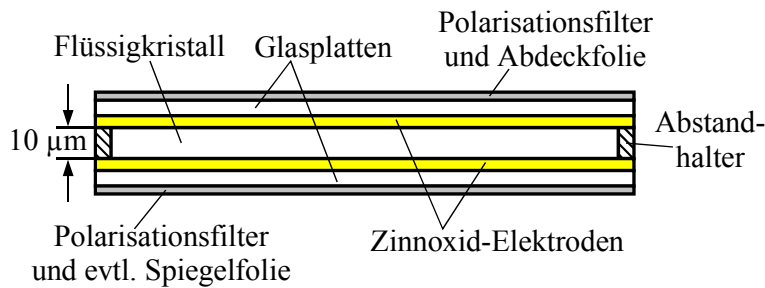


Im Flüssigkristall können die organischen Moleküle durch ein hohes elektrisches Feld geändert werden. Die vorher klare Flüssigkeit wird durch den Einfluss des elektrischen Feldes milchig trübe. Nach dem Abschalten des elektrischen Feldes stellt sich der klare Zustand wieder ein. Flüssigkeiten dieser Art sind elektrisch nicht leitfähig.

### Flüssigkristallanzeige, grundsätzlicher Aufbau im Schnitt

Zum Bau von Anzeigebauteilen bringt man eine dünne Flüssigkeitsschicht zwischen zwei Glasplatten. Die beiden Glasplatten haben auf ihren Innenseiten durchsichtige Beläge aus Zinnoxid. An diese Beläge wird die Spannung gelegt, die das benötigte elektrische Feld erzeugt. Ein Belag hat die Strukturen der anzuzeigenden Zeichen, z.B. Siebensegmentflächen.

Ab einer Feldstärke von etwa  $0,1\text{ V}/\mu\text{m}$  setzt die Trübung ein; bei ca.  $3\text{ V}/\mu\text{m}$  wird die maximale Trübung erreicht. Der Leistungsbedarf liegt bei rd.  $0,1\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

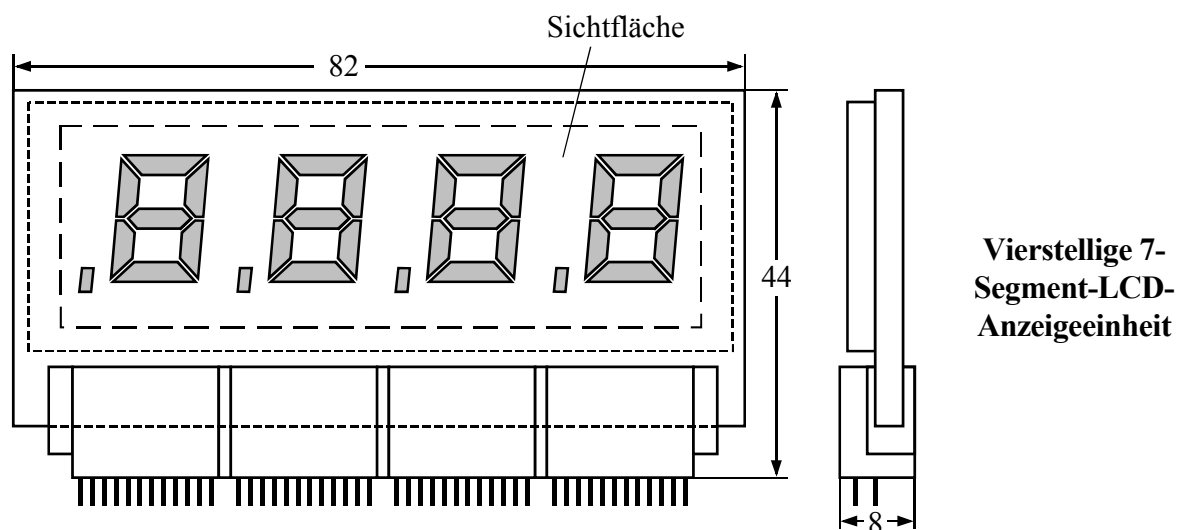


Die Trübung muss durch eine geeignete Beleuchtung sichtbar gemacht werden. Dieses kann durch Anstrahlung oder Durchleuchten geschehen. Hoher Kontrast wird mit Polarisationsfiltern erzielt.

### Grundaufbau eines Flüssigkristall-Anzeigeelementes

Durch entsprechende Ausbildung der Trübungszonen können Anzeigebauteile für Buchstaben, Zeichen und beliebige Symbole hergestellt werden. Der Betrieb muss mit Wechselspannung (30 Hz bis 100 Hz) erfolgen.

Zur Anzeige von Dezimalziffern verwendet man 7-Segment-Anzeigen, die als Bauteil aus einer Vielzahl von 7-Segment-Systemen bestehen können.



### Kennwerte und Grenzwerte von LCD's

- maximale Betriebsspannung  $U_{Bmax} \approx 8 \text{ V}$
- Betriebsspannung  $U_B \approx 1,5 \text{ V bis } 3 \text{ V}$
- Strom pro Segment  $I_S \approx 10 \text{ nA}$
- Gesamtstrom  $I_{ges} \approx 70 \text{ nA}$
- Gesamtkapazität  $C_{ges} \approx 50 \text{ pF}$
- Anstiegsverzögerungszeit  $t_{anver} \approx 80 \text{ ms}$
- Anstiegszeit  $t_{an} \approx 100 \text{ ms}$
- Abfallzeit  $t_{ab} \approx 200 \text{ ms}$
- Lagertemperaturbereich  $-20^\circ\text{C bis } 80^\circ\text{C}$

### Prinzip der dynamischen Streuung

Es gibt auch elektrisch leitfähige Flüssigkristall-Werkstoffe. Durch Wechselspannung entsteht im Inneren eine sogenannte turbulente Strömung, die den Flüssigkristall-Werkstoff trübt und auf durchscheinendes Licht milchig weiß erscheint. Der Flüssigkristall-Werkstoff wird nach dem Abschalten der Wechselspannung wieder durchsichtig.

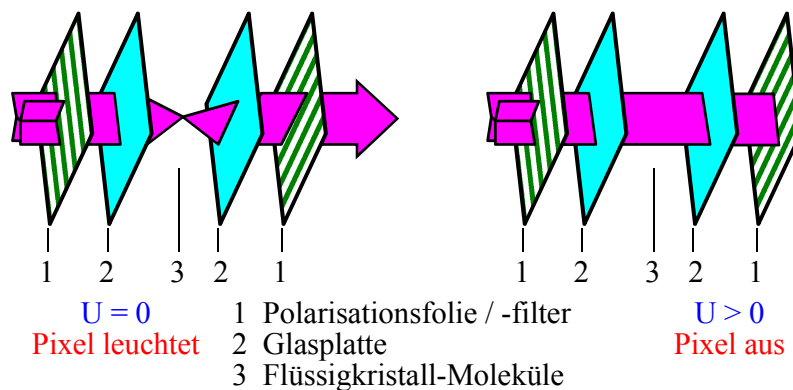
LCD's, die nach dem Prinzip der dynamischen Streuung arbeiten, benötigen eine wesentlich größere Leistung als Feldeffekt-LCD-Anzeigen. Der Strom pro Segment beträgt bei diesen LCD's rd. das 40fache der Feldeffekt-LCD's. LCD's, die nach dem Prinzip der dynamischen Streuung arbeiten, sind besonders für netzgespeiste Großanzeigen geeignet.

## LC-Displays (Technologie der Flachbildschirme)

LC-Displays bestehen schematisch gesehen aus zwei Polarisationsfiltern. Diese sind so angeordnet, dass sie sämtliche Schwingungsebenen des Lichtes, das von der Hintergrundbeleuchtung ausgesendet wird, sperren.

Die erste Polarisationsfolie filtert aus dem ungerichteten Licht mit verschiedenen Schwingungsrichtungen eine einzige Schwingungsrichtung heraus. Trifft dieses so gefilterte bzw. gerichtete Licht nun auf den zweiten Polarisationsfilter, kann es diesen nur passieren, wenn er gleichgerichtet zum ersten liegt. Da diese zweite Folie aber um  $90^\circ$  bis  $270^\circ$  zur ersten gedreht ist, wird das von der ersten Folie gefilterte Licht nicht durchgelassen.

In diesem Status kommen die Flüssigkristalle zum Tragen: Die zwischen den beiden Polarisationsfiltern befindlichen Flüssigkristalle ändern ihre Ausrichtung aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaft in einem elektrischen Feld entlang der Feldlinien. Dies bedeutet:



Liegt keine Spannung an, wird das Licht beim Passieren der Flüssigkristalle gedreht und kann die zweite Filterebene passieren: Das Pixel leuchtet. Wird aber eine Spannung an die Elektroden gelegt, richten sich die Kristalle entlang der Feldlinien aus. Das polarisierte Licht wird nicht verdreht und kann daher die zweite Filterebene nicht passieren: Das Pixel bleibt schwarz.

### Funktionsprinzip von LC-Displays

Da die für diesen Prozess notwendige Spannung sehr gering ist, entstehen kaum messbare elektromagnetische Felder. Durch die Verwendung von Farbfiltern wird zusätzlich eine gezielte Farbwiedergabe möglich.

Aktiv-Matrix-Displays garantieren einen hohen Kontrast des Bildes, der bei Verhältnissen von 400:1 bis zu 2000:1 liegt. Bei TFT-Displays (Thin Film Transistor) wird eine Matrix aus Feldeffekt-Transistoren in Dünnschichttechnologie auf die hintere Filterplatte aufgedampft. So stehen hinter jedem Bildschirmpixel (R/G/B) drei eigene Transistoren, die separat angesprochen und sehr schnell hochgetaktet werden können. Dies bedeutet, dass die Ansteuerung eines Bildpunktes nun aktiv und mit einer geringen Spannung möglich ist. Die Transistoren bauen das benötigte variable elektrische Feld – nahezu unbeeinflusst von ihren Zeilenachbarn – exakt auf, wodurch Kontraste von hundert zu eins und mehr gestochen scharf dargestellt werden. Der Einsatz dieser Technologie gewährleistet schnelle Bildwechsel und große Farbtiefen. Ein weiterer Vorteil ist der Wegfall des Bildwiederholfrequenzflimmerns.

Wie bei Röhrengeräten arbeitet sich auch bei LCDs die Elektronik von links oben Pixel für Pixel nach unten, wobei allerdings kein Phosphor mehr zum Nachglühen animiert werden muss. Lediglich im Falle eines Bildwechsels erhalten die betroffenen Zellen die Information, dass sie ihre Durchlässigkeit verändern müssen.

### Kennwerte von LC-Displays (TFT-Monitore)

Bilddiagonale	24,0" bzw. 58,8 cm	Pixelabstand (H x V)	0,27 mm x 0,27 mm
Response-Time	2 ms	Helligkeit	400 cd/m <sup>2</sup>
Arbeitsfläche B x H	518 mm x 324 mm	Darstellbare Farben	Echtfarben
Horizontalfrequenz	31 – 83 kHz	max. Auflösungen	1920 x 1200
Vertikalfrequenz	56 – 75 Hz	sichtbarer Winkel	H: 170°, V: 160°
Videobandbreite	162 MHz	Kontrastverhältnis	2000 : 1