

## Energiesparende Displays



Theodolit im Einsatz © Parilov/AdobeStock, alle anderen Bilder und Tabellen © HY-LINE Computer Components

Besonders bei portablen Geräten kommt es auf eine Unabhängigkeit vom Netz und ein kompaktes Design an. Die Elektronik darf dabei nur wenig Energie konsumieren. Im Vergleich zur Displaylogik nimmt das Backlight eine relativ hohe Leistung auf. Was also tun, wenn es gleichzeitig energiesparend, aber trotzdem auch unter hellen Umgebungsbedingungen wie im Freien gut ablesbar sein soll?

Dieser Artikel beschränkt sich auf die Betrachtung elektronischer Displays der drei gängigen Technologien LCD, OLED und E-Paper. Bistabile mechanische und exotische Display-Technologien bleiben dabei unberücksichtigt.

### Stromverbrauch minimieren

Obwohl sich die Akku-Technologie so weit entwickelt hat, dass Geräte einen ganzen Arbeitstag ohne Nachladen durchhalten, ist der Energiebedarf für das Backlight eines Displays so hoch, dass

er besonders im Betrieb unter Sonnenlicht im Außenbereich schnell zum größten Verbraucher wird. Es liegt also nahe, sich über Technologien Gedanken zu machen, bei denen dieser Bedarf minimiert wird. Hinter dem umgangssprachlichen Begriff „Ablesbarkeit“ verbirgt sich der technische Begriff „Kontrast“. Je höher dieser, umso besser ist das Display ablesbar. Das bedeutet, dass der dargestellte Inhalt sich vom Hintergrund deutlich unterscheidet. Eine Maßnahme dafür ist, die vom Display ausgehenden Reflexionen durch spezielle Oberflächen wie anti-reflective coating oder des Gesamtaufbaus durch Optical Bonding zu minimieren. Zum anderen wird dies mit einem Backlight hoher Helligkeit („High Brightness-Display“) erreicht. Leider verringert sich mit steigender Helligkeit der Umgebung die auf der Netzhaut des menschlichen Auges auftreffende Lichtenergie. Die Iris als Blende verkleinert die Öffnung, durch die Licht eintritt.

Doch es gibt andere Display-Technologien als die des konventionellen TFT-Displays, das im Büromonitor eingebaut ist. Im Folgenden werden die Technologien vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile je nach Einsatzgebiet erläutert.

### Klassifizierung nach Beleuchtung

Nachdem die Beleuchtung des Displays einer der größten Verbraucher ist, soll für die Applikation eine Technologie ausgewählt werden, die möglichst wenig Energie verbraucht. Bild 1 zeigt die hier vorgestellten Technologien im Vergleich.

auf das Backlight angewiesen. Ohne dies bleiben sie dunkel. Für den Einsatz in einer hellen Umgebung muss das Backlight ausreichend hell sein.

### Reflektive Displays

Eine Herausforderung bei der Herstellung eines Displays ist die Transmission. Herkömmliche TFT-Displays weisen eine Transmission von kleiner 10 % auf, d. h. dass nur ein Bruchteil des Lichts von hinten nach vorne durchstrahlt. Betrachtet man den Aufbau eines TFTs, wird dies verständlich, denn ein Teil der Fläche wird für die Verdrahtung, also die Anbindung der Zeilen und Spalten innerhalb des Displays verwendet, und das Licht muss den rückseitigen Polfilter, die Rückelektrode, den Flüssigkristall, den Farbfilter und den Frontpolfilter passieren, bevor es auf das Auge des Betrachters trifft.

Transparente Displays wie z. B. das T-OLED von LG Display setzen auf spezielle Pixelstrukturen, die nur mit aktiv leuchtenden Materialien möglich sind, spezielle Pixel-Formationen (RGBW) und hochtransparente Verdrahtungsebenen. Dazwischen bleibt Raum für die Transmission, so dass das gesamte Display in den Bereich von 40 % kommt.

Das Prinzip reflektiver LCDs ist schon lange etabliert, wurde aber hauptsächlich bei einfachen TN und STN-Displays wie zum Beispiel Taschenrechner und Energiezähler verwendet. Im Unterschied zu TFT handelt es sich um Passiv-Matrix-Displays, die mit zunehmender Zeilenzahl (Multiplexrate) schlechteren Kontrast bieten. Beim reflektiven TFTs ist die Ansteuerung aktiv,



Autor:

Rudolf Sosnowsky  
Technischer Leiter/  
Chief Technology Officer

HY-LINE Computer Components  
Vertriebs GmbH

<https://www.hy-line.de/>

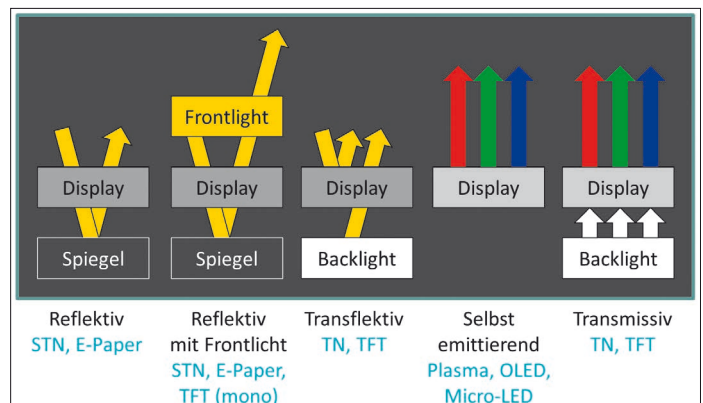
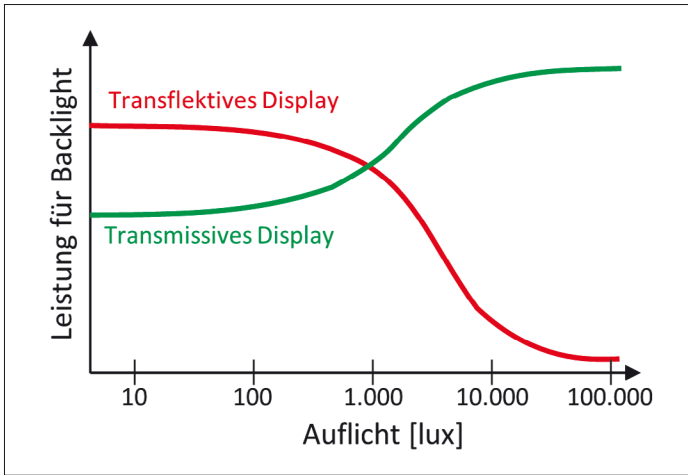


Bild 1: Display-Technologien im Überblick



**Bild 2: Leistung für das Backlight, nach Toppan**

d. h. jedem Pixel ist ein Transistor zugeordnet.

## Transmissive Displays

Ein transmissives Display moduliert die Helligkeit des dahinter liegenden Backlights. Es eignet sich gut in Umgebungen mit mäßiger Helligkeit. Es erzielt einen hohen Kontrast und ist hervorragend ablesbar. Mit zunehmender Umgebungshelligkeit muss die Intensität des Backlights zunehmen, damit es ablesbar bleibt. Damit steigt die Stromaufnahme des Backlights, der gegenüber der Leistung zum Betrieb des Displays und der Ansteuer-Logik klein ist. Bei einem typischen TFT-Display (LG Display, 7" Diagonale) benötigt die Logik 0,9 W, das Backlight bei 450 cd/m<sup>2</sup> hingegen 3 W.

## Transflective Displays

Transflective Displays hingegen nutzen das einfallende Licht, um den Kontrast zu erhöhen. Ein Teil der inneren Struktur reflektiert das Licht, während ein anderer Teil das Licht des Backlights passieren lässt. Das Wort „transflectiv“ setzt sich aus „transmissiv“ und „reflektiv“ zusammen und beschreibt damit beide Eigenschaften. Transflective Displays sind als LCD in TN und TFT verfügbar. Sie werden dort eingesetzt, wo das Display sowohl bei viel als auch bei wenig Umgebungslicht ablesbar sein muss.

## Der Kompromiss

Das Backlight hierfür stellt einen Kompromiss dar: Es darf nur wenig Leistung aufnehmen, muss aber dennoch für einen ausreichenden Kontrast sorgen. Beim Betrieb mit aktivem Backlight sind sie gegen-

über transmissiven Displays leistungsmäßig im Nachteil, denn die Flächen, die das einfallende Licht reflektieren, sind für das Backlight nicht transparent, es muss also mehr Energie aufgewandt werden, siehe dazu Bild 2. Ihre Stärke spielen sie erst im reflektiven Betrieb in heller Umgebung aus. Tabelle 1 zeigt die Beleuchtungsstärke in typischen Umgebungen.

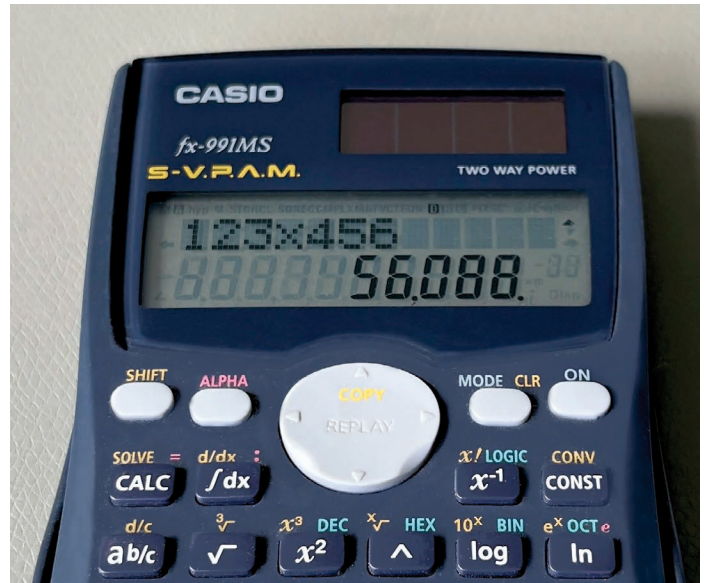
## Technologien im Detail

Als Lichtventil emittieren LCDs selbst kein Licht, sondern nutzen das vorhandene Licht, sei es vom Backlight oder einer externen Lichtquelle kommend. Wegen der geringen Transparenz von weniger als 10 % muss das Backlight eine hohe Helligkeit liefern, was eine hohe Energieaufnahme bedeutet. Der Betrieb des LCD-Controllers benötigt nur wenig Leistung, daher sollten Einsparmaßnahmen bei der Beleuchtung ansetzen.

Der Gegensatz dazu sind OLED-Lichtquellen. Sie emittieren Licht und benötigen kein Backlight. Die Leistungsaufnahme wird hauptsächlich von der Anzahl der aktiven Pixel bestimmt.

## TN

Die älteste LCD-Technologie TN ist in verschiedenen Varianten (STN, H-TN etc.) weit verbreitet. Sie ist auch die Grundlage für TFT, bei denen die Ansteuerung der Bildpunkte durch einen lokalen Transistor unterstützt wird. TN zeichnet sich durch eine sehr niedrige Leistungsaufnahme aus, da nur im Moment des Umladens der LC-Moleküle ein Strom von nur wenigen  $\mu\text{A}$  fließt. Für die Ansteuerung



**Bild 3: Beispiel für ein TN-Display**

eines Displays kann je nach Anzeigumfang entweder ein im Mikrocontroller eingebauter LCD-Controller-Treiber eingesetzt werden, der automatisch die Kurvenformen für die Multiplex-Ansteuerung erzeugt, oder ein externer Controller mit eingebautem Speicher, der das Display unabhängig von der CPU auffrischt.

Vorteile sind die geringen Stückpreise und Kosten für ein kundenspezifisches Design im Vergleich zu anderen Technologien. Daher werden sie in kostensensitiven Applikationen wie Verbrauchszählern eingesetzt. TN-Displays beginnen bei einfachen segmentierten Displays wie z. B. beim Wasseraufbereiter, gehen über Siebensegment-Anzeigen mit kundenspezifischen Icons bis hin zu Punktmatrixanzeigen.

Aufgrund der passiven Technologie gibt es Grenzen für die Diagonale und die maximale Auflösung.

Gebräuchliche Displays mit Single-Chip-Controller liegen im Bereich bis maximal 5" und Auflösungen von bis zu 320x240.

## Beleuchtung

Für die Beleuchtung gibt es verschiedene Möglichkeiten: Vom rein reflektiven Display, das die Umgebungshelligkeit ausnutzt über transflective Varianten, die im Dunkeln von einem Backlight unterstützt werden, bis hin zu transmissiven Varianten, die ohne Backlight nicht abzulesen sind. Hier sollen die reflektiven TN-Displays betrachtet werden.

## Ansteuerung

Die Ansteuerung von TN-Displays variiert stark je nach Anzeigumfang und Betriebsart. „Statische“ Displays, bei denen jedes Segment mit einer Leitung nach außen geführt ist, lassen sich mit

Lux (typ.)	Umgebung
10	Straßenbeleuchtung
100	Flurbeleuchtung
1.000	TV-Studio
10.000	Sommer, im Schatten
100.000	Sommer, klarer Himmel

**Tabelle 1: Typische Beleuchtungsstärken nach Wikipedia**



# Bedienen und Visualisieren



Bild 4: Reflektives TFT-Display, partielles Licht von vorne

den Ports eines Microcontrollers direkt ansteuern. Für gemultiplexte Displays bis zu 1:4 gibt es Mikrocontroller mit eingebautem LCD-Treiber. Darüber hinaus werden spezialisierte Controller/Treiber-ICs verwendet, die über SPI oder Datenbus Anschluss an das System finden und durch eingebauten Framebuffer die CPU entlasten.

## Reflektives TFT

Die Bezeichnung TFT, „Thin Film Transistor“ deutet bereits darauf hin, dass bei diesem Displaytyp eine Halbleitertechnologie eingesetzt wird. Zeilen und Spalten des

Displays werden nicht über spezielle Kurvenformen von extern angesteuert. Jeder einzelne Bildpunkt wird von einem Transistor und Kondensator unterstützt. Diese halten bis zum nächsten Frame, der in 1/60 s folgt, den Ansteuerungspegel. Dadurch können Displays mit höherer Auflösung, besserem Kontrast und weiterem Ablesewinkel als mit TN-Technologie gebaut werden. Die Leistungsaufnahme ist höher als bei TN, aber immer noch gering. Wie reflektive TN-Displays sind sie auf eine Beleuchtung von vorne angewiesen. Bild 4 zeigt ein solches Display. Im oberen Teil des Bildes ist



Bild 5: Transflecktives Display, Backlight ein (oben) und aus (unten) © Shenzhen Startek

der Kontrast schlecht, weil das Display nicht beleuchtet wird.

## Transflecktives TFT

Den Nachteil reflektiver Displays, nämlich der schlechten Ablesbarkeit bei fehlendem Auflicht, löst die

transflecktive Technologie. Ein transflecktives TFT kann bei allen Lichtsituationen eingesetzt werden. Im Dunkeln leuchtet das Backlight durch TFT und Farbfilter. Bild 5 oben zeigt gesättigte Farben. In heller Umgebung überwiegt der reflektive Anteil.



Bild 6: MIP-Display

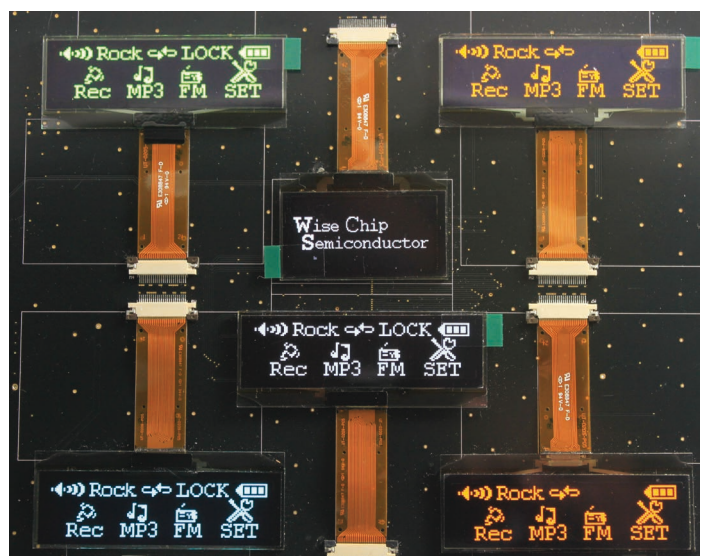


Bild 7: Monochrome Passiv-Matrix-OLED in verschiedenen Farben



Bild 5 unten zeigt das Display mit ausgeschaltetem Backlight, nur durch Auflicht beleuchtet, wie an den Lichtreflexen des Umgebungslichts zu erkennen ist.

## MIP

Bei der MIP-Technologie (Memory In Pixel) handelt es sich um ein TFT-Display, bei dem parallel zum Schalttransistor für das Pixel eine Speicherzelle geschaltet ist. Solange die Versorgungsspannung anliegt, behält diese den eingespeicherten Wert. Das Display muss also nicht periodisch aufgefrischt werden; lediglich zur Umpolung der Flüssigkristallzelle ist ein Takt erforderlich, um Elektrolyse zu vermeiden. Die Frequenz dazu kann bis herunter zu 1 Hz gehen und ist extrem energiesparend, weil nur beim Umschalten Strom fließt. Die TFT-Technologie erlaubt feine Pixel und damit eine hohe Auflösung. MIP eignen sich für Anwendungen, die lange mit einer begrenzten Energie auskommen müssen, wie z. B. Wearables. MIP-Displays können reflektiv oder transflektiv realisiert werden, so dass für die Ablesbarkeit im Dunkeln ein Frontlight oder Backlight integriert werden kann. Mit kurzen Schaltzeiten eignet sich ein MIP-Display anders als ePaper sogar für die Wiedergabe von Animationen und Video-Sequenzen.

Bild 6 zeigt ein Farb-MIP-Display mit einer Auflösung von 260x260 Punkten und einer Diagonale von 32 mm. Es ist mit einem Backlight ausgestattet, das in dunklen Umgebungen den Inhalt ablesbar macht.

## Passiv-Matrix OLED

Die OLED-Technologie ist mittlerweile weit verbreitet. Sie wird in High-End-Mobiltelefonen und TV-Geräten eingesetzt, weil sie dort ihre Vorteile in Kontrast und Farbraum ausspielen kann. Allerdings werden dort Aktiv-Matrix-OLED (AMOLED) verwendet, die für den Einsatz in industriellen Anwendungen nicht geeignet sind: Die Auswahl der Display-Größen beschränkt sich auf Handheld einerseits und TV andererseits. Zwischengrößen von 7" bis 24", wie sie in der Industrie eingesetzt werden, sind schwer erhältlich oder gar nicht in Produktion. Die Auflösung der kleinen Displays ist dabei so hoch, dass sie von CPUs, wie sie im hier vorgestellten Einsatzgebiet

vorkommen, eine hohe Rechenleistung erwarten, die wiederum mit erhöhter Leistungsaufnahme einhergeht. Außerdem ist die Produktlebensdauer an den Lebenszyklus eines Telefonmodells angepasst und daher oft nur 12 Monate, bevor das nächste Modell die Nachfolge antritt. Die Betrachtung hier beschränkt sich daher auf lang verfügbare Passiv-Matrix-OLED (PM OLED).

OLEDs sind selbst emittierend. Liegt an einem OLED-Pixel eine Spannung in richtiger Höhe an, leuchtet es. Die Farbe wird von den verwendeten Materialien bestimmt. Energiesparend sind OLED beson-



Bild 8: E-Paper-Display mit drei Farben

ders dann, wenn die Bildinhalte nur dünn besetzt sind, also bei der Anzeige von Text im „Dark Mode“ mit dunklem Bildhintergrund und heller Schrift. Die Helligkeit von OLED

ist eher gering, durch den dunklen Hintergrund ist der Kontrast jedoch sehr hoch und damit die Ablesbarkeit besonders gut. OLED kommen prinzipbedingt ohne Polfilter aus, trotz-

Eigenschaft	TN	Refl. TFT	Transfl. TFT	MIP (TFT)	PM OLED	E-Paper
Leistungsaufnahme	+	O	O <sup>1</sup>	+ <sup>2</sup>	O <sup>3</sup>	+
Ablesbarkeit im Dunkeln	- <sup>4</sup>	- <sup>4,5</sup>	+	- <sup>4</sup>	+	- <sup>4,5</sup>
Ablesbarkeit im Hellen	+	+	O <sup>6</sup>	+	-	+
Max. Größe	-	O	+	-	-	O
Farben	-	- <sup>7</sup>	+	O	O	-
Schaltzeiten	O	O	O	O	+	-
Dicke	+	+	O <sup>1</sup>	+	+	+
Varianten	+	-	O	O	+	O
Kosten	+	O	-	-	O	+
Anpassbarkeit	+	-	-	-	+	O
Temperaturbereich	O	+	+	O	+	-
Interface	- <sup>8</sup>	O	O	+	+	+

Legende: +: gut, positiv; O: mittelmäßig; - schlecht, negativ

- 1) Abwertung wegen Backlight 2) ohne Backlight 3) Abhängig vom Bildinhalt 4) Ohne Backlight
- 5) Frontlight nachrüstbar 6) Farbsättigung gering 7) Optimiert auf monochromen Betrieb
- 8) Ohne Treiber

Tabelle 2: Vergleich energiesparender Technologien

## Erläuterungen der Indizes

- 1) Das transflektive TFT nimmt nur wenig Leistung auf, solange das Backlight ausgeschaltet ist.
- 2) MIP funktioniert auch (reflektiv) ohne Backlight und hat eine sehr geringe Leistungsaufnahme, die durch die reduzierte Framefrequenz unterstützt wird.
- 3) Bei Passiv-Matrix-OLED benötigen nur die leuchtenden Bildelemente Strom für den Betrieb (Treiber-Chip vernachlässigt).
- 4) Nicht selbst leuchtende Technologien müssen im Dunkeln mit einem Back- oder Frontlight unterstützt und beleuchtet werden.
- 5) Frontlights werden besonders bei reflektiven TFTs und E-paper-Displays eingesetzt
- 6) Die Farbsättigung ist bei transflektiven Displays im reflektiven Betrieb reduziert
- 7) Rein reflektive TFTs sind für monochrome Darstellungen optimiert (Entfall des Farbfilters)
- 8) TN-Displays brauchen eine spezielle DC-freie Kurvenform zur Ansteuerung. Manche Microcontroller haben eingebaute LCD-Controller/Treiber; ansonsten muss dieser extern vorgesehen werden

# Bedienen und Visualisieren

## Infobox: Anwendungen für energiesparende Displays

Bereich	Anwendung
Logistik	Ein- und Auschecken von Ware, Tracking, Inventur
Mobilfunk	Tragbare Funkgeräte für Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste
Fertigungsautomatisierung	Maschinensteuerung, Roboter, SPS, Prozess-Controller
Test- und Messtechnik	Messwert-Erfassung, Diagnosegeräte, Programmiergeräte
Medizin	Diagnosegeräte, Überwachungsanzeige in Pumpen, Patientenmonitor, Defibrillator, Thermometer
Bau	Baumaschinen, Vermessung, Landwirtschaft, GPS
Freizeit	Fitnessgeräte, Sportuhren, Smart Watch, Golf-Cart, Boot, e-Bike
Home Automation	Steuergeräte für Heizung und Klima, Statusanzeige, Solarinverter, Küchenmaschinen, Energiezähler (Gas/Wasser/Strom)
Batteriebetriebene Geräte	Rasierer, Zahnbürste, Fernsteuerung
Outdoor	Geldautomat, Kassenterminal, E-Ladesäule, Zapfsäule

Tabelle 3: Anwendungen für energiesparende Displays nach Toppan

dem befindet sich an der Oberseite ein Polfilter, der Reflexionen minimiert. Bild 7 zeigt eine Auswahl an Standard-Farben von PM OLED.

### E-Paper

Die E-Paper-Technologie verwendet bistabile, polarisierte eingefärbte Kügelchen, die in einem Kunststoffträger eingebettet, aber frei beweglich sind. Der Träger wiederum ist auf einem Substrat angeordnet, dessen Spannungspegel die Orientierung der Kügelchen beeinflusst. Für den besten Kontrast muss die Höhe der Spannung in Abhängigkeit von der Temperatur genau eingehalten werden. Haben die Elemente ihre Position eingenommen, behalten sie diese ohne Energie bis zum nächsten Wechsel bei. Bei Displays mit Zusatzfarben ist der Refresh etwas komplexer, das Prinzip ist aber identisch.

Die Ansteuerung des Displays wird durch spezielle Treiber-ICs vorgenommen, die die Spannungen zum Aktualisieren des Displayinhalts zur Verfügung stellen. Das Interface zum System ist einfach,

z. B. SPI oder Datenbus, so dass es von jedem Mikrocontroller angesteuert werden kann. Der Temperaturbereich ist auf den Innenbereich (0 bis 40 °C) eingeschränkt; einige Modelle wurden auf den Einsatz in Tiefkühlschränken für Supermärkte ausgelegt und erreichen -25 °C.

Bild 8 zeigt ein E-Paper-Display mit einer Zusatzfarbe. Außer Schwarz und Weiß wird Rot als Akzentfarbe verwendet. Kann in der Applikation nicht auf Vollfarben verzichtet werden, stehen mittlerweile E-Paper-Displays auch in großen Diagonalen mit 4096 oder mehr Farben zur Verfügung. Ein Nachteil der Technologie ist die mit höherer Farbzahl deutlich steigende Update-Zeit. E-Paper-Displays sind nicht transparent, daher kann eine Beleuchtung nur von vorne durch ein zusätzliches Frontlight erfolgen. In hellen Umgebungen sind sie hervorragend wie ein gedrucktes Stück Papier ablesbar.

### Vergleich der Technologien

In Tabelle 2 sind die verschiedenen Display-Technologien einan-

der gegenübergestellt. Jede Technologie hat Stärken und Schwächen, so dass es auf den exakten Anwendungsfall ankommt, welche ausgewählt wird.

### Fazit

Im Zuge der Nachhaltigkeit steigt auch der Bedarf an energiesparenden Komponenten. Während bei vielen stationären Anwendungen das Display nur einen kleinen Anteil am Gesamtverbrauch des Gerätes hat (z. B. Haushaltsgeräte), kommt es bei portablen Geräten mit einer Batterie oder Solarzelle als Energiequelle auf jedes Milliwatt an. Transfektive Displays überstreichen einen weiten Bereich an Umgebungshelligkeiten, da im Dunkeln das Backlight und im Hellen der reflektive Anteil überwiegt. Gänzlich ohne Energiezufuhr kommen im stationären Betrieb E-Paper-Displays aus. Bei der Auswahl der am besten geeigneten Display-Technologie spielen jedoch viele Parameter eine Rolle, zum Beispiel auch die Fähigkeit,

Videos wiederzugeben oder das Interface zum System.

### Referenzen

- Sharp Devices Europe <https://www.sharpsde.com/products/displays/memory-lcd/>
- Toppan <https://www.toppan.co.jp/>
- Shenzhen Startek Electronic Technology [startek-lcd.com](http://startek-lcd.com)
- Shenzhen Team Source Display Technology <https://www.tslcd.com>
- Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Beleuchtungsst%C3%A4rke>

### Wer schreibt

HY-LINE Computer Components steht als Mitglied der HY-LINE-Gruppe mit 30 Jahren Expertise als Spezialist für komplette Systemlösungen im Bereich Display- und Touchtechnologie und Embedded Computing. Als Lösungsanbieter unterstützt HY-LINE seine Kunden bei der projektbezogenen technischen Beratung sowohl in aktuellen Technologien als auch innovativen Ansätzen. ◀

### Glossar

Aktiv-Matrix	Punktmatrix-Display, bei dem an den Kreuzungen von Zeilen und Spalten aktive Bauelemente, z. B. Transistoren, die Ansteuersignale verstärken → Passiv-Matrix
MIP	Memory In Pixel; hier beschriebene Erweiterung der → Aktiv-Matrix-Technologie um ein Speicherelement an der Kreuzung von Zeilen und Spalten
Passiv-Matrix	Punktmatrix-Display, bei dem die an den Kreuzungen von Zeilen und Spalten resultierende Differenzspannung Flüssigkristalle beeinflussen und damit Bildinhalte sichtbar machen → Aktiv-Matrix
Reflektiv	Display-Aufbau, bei dem die Pixel im angesteuerten Zustand das einfallende Licht reflektieren und dadurch sich von denen im nicht angesteuerten Zustand unterscheiden → Transmissiv → Transfektiv
STN	Super Twisted Nematic; üblicher Zellaufbau eines Passiv-Matrix LCDs; fortgeschrittene Version von → TN
TN	einfachste Flüssigkristall-Technologie → STN
TFT	Thin Film Transistor; gemeint sind → Aktiv-Matrix-Displays, die auf einem Halbleitersubstrat anstelle eines mit ITO beschichteten Glases aufbauen
Transfektiv	Display-Aufbau, bei dem transmissive Anteile des Backlights und reflektive Anteile des einfallenden Lichts zusammenwirken → Transmissiv → Reflektiv
Transmissiv	Display-Aufbau, bei dem die Pixel im angesteuerten Zustand das Licht des Backlights (ggf. gefiltert durch den Farbfilter) von hinten nach vorne passieren lassen → Reflektiv → Transfektiv