

**Code. 5335**

# DAS PRINZIP DER DIGITALEN BILDVERARBEITUNG



**OPTIKA S.r.l.**

Via Rigla, 30 - 24010 Ponteranica (Bergamo) - Italia Tel.  
+39 035 571392 Fax +39 035 571435

[www.optikascience.com](http://www.optikascience.com)

[info@optikascience.com](mailto:info@optikascience.com)

LISTE DES ENTHALTENEN MATERIALS

N.	Beschreibung	Cod.
1	Schachtel	AUS4965
1	Netzgerät 12V	PS-UNI-12V



NICHT MITGELIEFERTES, ABER ERFORDERLICHES MATERIAL

- Digitales Prüfgerät: 5196 o 5197

HINWEIS

Die geringen Unterschiede zwischen den Merkmalen der Teile der Kollektion und den entsprechenden Zeichnungen sind durch die technologische Weiterentwicklung begründet.

## EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten hat die Technologie der Optik und Elektronik, der Materialien und der "digitalen" Welt im Allgemeinen ein hohes Niveau erreicht und bietet den Verbrauchern und Besitzern von Laptops, Smartphones, Tablets, PCs, Fernsehern usw. die Möglichkeit, Filme und Bilder anzusehen und/oder mit ihnen über grafische Farbschnittstellen zu interagieren, die von Hochleistungsbildschirmen "produziert" werden.

### Was ist der physische Bestandteil eines digitalen Bildes?

Vor der Beantwortung dieser Frage ist es notwendig, einige Schlüsselbegriffe zu untersuchen.

## THEORETISCHE GRUNDLAGE

### 1. DAS LICHT

Wenn man über Bilder und Farben spricht, kommt man nicht umhin, das Licht und seine doppelte Natur zu erwähnen. Dieses wunderbare und geheimnisvolle Naturphänomen, das unter bestimmten Bedingungen beobachtet werden kann, verhält sich als ein Strom diskreter (d. h. voneinander "unterscheidbarer") Einzelteilchen, die Photonen oder Lichtquanten genannt werden, gemäß dem Planckschen Gesetz, wobei jedes Teilchen *die Energie*

$$Energy = h\nu$$

wobei  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

ist die Plancksche Konstante und  $\nu$  die Frequenz (Herz), die Definition von ist unten angegeben.

Unter anderen Bedingungen beobachtet, kann sich Licht jedoch wie eine *nicht-mechanische, transversale* Welle verhalten. Der erste Begriff bezieht sich auf die Tatsache, dass diese Art von Welle kein "mechanisches" Medium benötigt, um sich im Raum auszubreiten

Raum auszubreiten (wie Luft, Wasser, etc.). Das bedeutet, dass sich das Licht sogar im Vakuum ausbreiten kann (sonst würde das von der Sonne ausgesandte Licht die Erde nicht erreichen).

Eine Welle ist *transversal*, wenn die Ausbreitungsrichtung im Raum *senkrecht* (d. h. "quer" oder "normal") zu ihrer Schwingungsrichtung verläuft.

Um dieses Konzept zu verdeutlichen, ohne zu sehr ins Detail zu gehen, was den Rahmen dieses Experiments sprengen würde, betrachten wir das Licht als einen *kontinuierlichen* Energiestrom, der sich entlang einer bestimmten Richtung im Raum bewegt. Die Richtung wird durch die Richtung und räumliche Orientierung eines fiktiven *Vektors* angegeben, der üblicherweise mit  $\vec{K}$  bezeichnet wird.

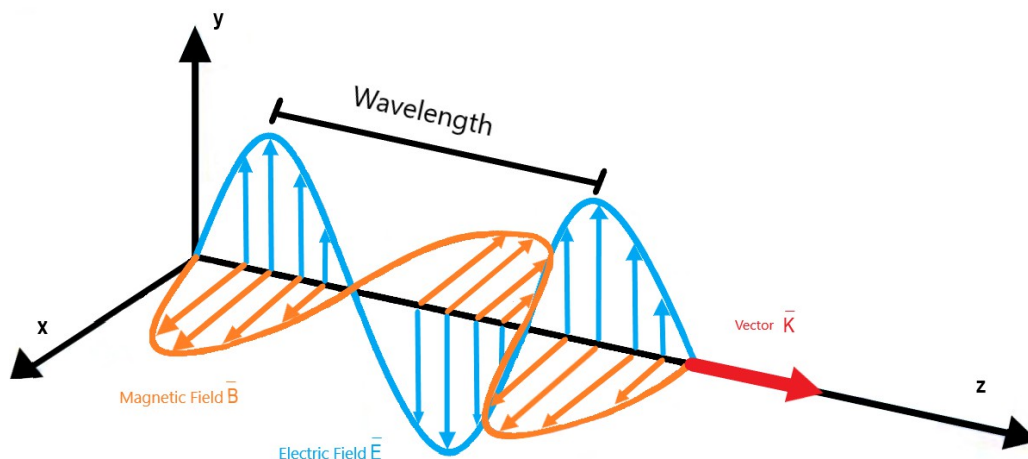


Abb. 1 Darstellung einer elektromagnetischen Welle

Die vom Licht transportierte Energie ist das Ergebnis eines *elektrischen Feldes* **E** und eines *magnetischen Feldes* **B**, die senkrecht zueinander und senkrecht zur Richtung des Vektors **K** schwingen. In der Physik wird das Licht als *elektromagnetische Welle* beschrieben.

Wenn man auf den bereits erwähnten Begriff der Transversalwelle zurückgreift, wird der Grund für die Zuweisung dieser Definition an das Licht klarer: Das elektrische und das magnetische Feld, die für die "Erzeugung" der Welle selbst verantwortlich sind, oszillieren entlang von Ebenen, die senkrecht zu der durch den Vektor **K** beschriebenen Richtung stehen, entlang derer sich die Welle ausbreitet. Schließlich ist zu beachten, dass das elektrische und das magnetische Feld in Phase oszillieren: Wenn **E** zum Beispiel zu einem bestimmten Zeitpunkt den Wert 0 oder seinen Maximalwert annimmt, nimmt auch **B** zum selben Zeitpunkt den Wert 0 oder seinen Maximalwert an.

Nachdem wir die Wellennatur des Lichts beschrieben haben, können wir nun über die Größen sprechen, die eine Welle im Allgemeinen charakterisieren:

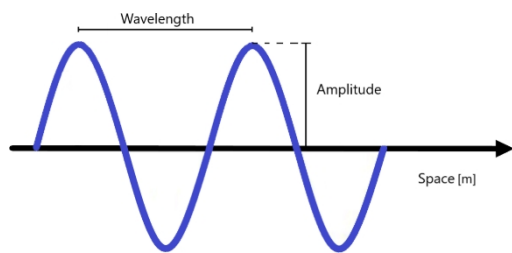


Abb.2 Im Raum beobachtete Welle

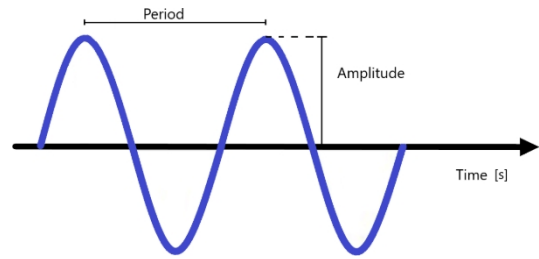


Abb.3 Beobachtete Welle in der Zeit

- Nachdem wir einen bestimmten Zeitpunkt festgelegt haben, wird der räumliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima (oder allgemeiner: zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichen Werten) als *Wellenlänge*  $\lambda$  bezeichnet und in Metern ausgedrückt;
- Betrachtet man die Welle von einer festen Position im Raum aus, so wird das Zeitintervall  $T$ , das zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maxima vergeht (oder allgemeiner: zwischen zwei gleichen, nacheinander gemessenen Werten), als *Periode* der Welle bezeichnet;
- wird bezeichnet durch

$$v = \frac{1}{T}$$

die *Frequenz* der Welle, definiert als Kehrwert der Periode und ausgedrückt in *Hz*;

- Aus den oben genannten Größen lässt sich die Geschwindigkeit der Welle oder in diesem Fall die *Lichtgeschwindigkeit*  $c$  ableiten (im Falle von Licht, das sich im Vakuum bewegt)  $\lambda$

$$c = \lambda \cdot v$$

und da die Frequenz  $v$  der Kehrwert der Periode  $T$  ist, können wir schreiben

$$c = \lambda \cdot v$$

Hier wird die direkte Verbindung zwischen Frequenz und Wellenlänge deutlich

- Schließlich definieren wir die *Amplitude* der Welle als den Wert (oder den Bereich von Werten), den die Welle zu einem bestimmten Zeitpunkt und an einem bestimmten Punkt im Raum annimmt. Im Falle des Lichts ist die Amplitude, vereinfacht gesagt, proportional zu den Werten, die das oszillierende elektrische Feld **E** annimmt. In der Praxis führen wir das Konzept der Lichtintensität als die Größe ein, die von **E** abhängt und die Menge an Energie angibt, die das Licht in einer Zeit- und Flächeneinheit transportiert. Zusammengefasst:

$$\text{Lichtintensität} \propto \text{Transportierte Energie} \propto E^2 \text{ oszillierend}$$

- Ein *Lichtstrahl* ist definiert als eine Reihe von Lichtwellen, die sich in dieselbe Richtung bewegen (ihre Vektoren  $\mathbf{K}$  sind parallel zueinander und haben dieselbe Richtung). Ein Lichtstrahl, der aus Lichtwellen mit der gleichen Wellenlänge, zum Beispiel  $\lambda_1$ , besteht, wird als monochromatisch bezeichnet. Betrachtet man einen vollkommen *monochromatischen* Lichtstrahl, so ist die Gesamtintensität und damit die pro Zeit- und Flächeneinheit transportierte Energie die Summe der Einzelintensitäten der einzelnen Lichtwellen, aus denen er besteht (alle mit der Wellenlänge  $\lambda_1$ ).

Im Allgemeinen kann ein Lichtstrahl mehrere Lichtstrahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen enthalten, die das so genannte *Spektrum* bilden.

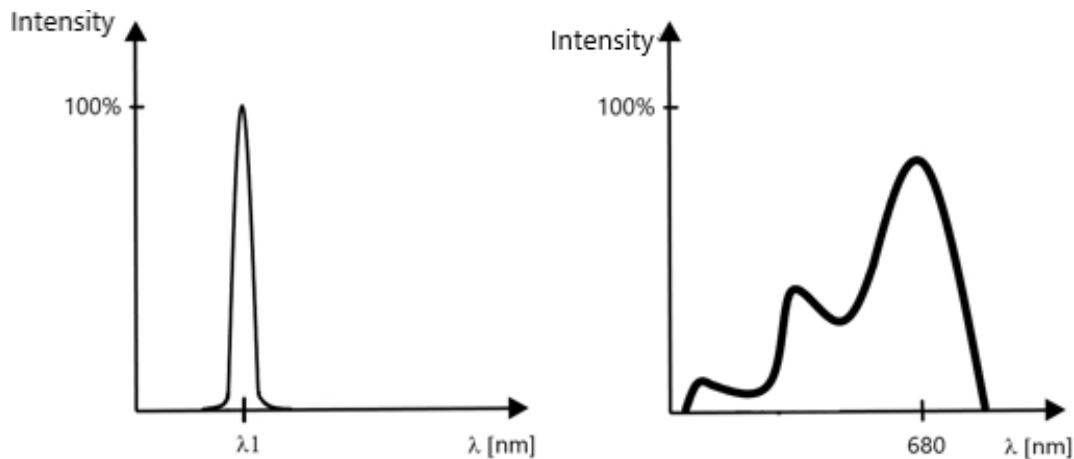


Abb. 4-5 Spektren eines monochromatischen (4) und eines generischen (5) Strahls

Die obigen Diagramme zeigen die Spektren eines monochromatischen Strahls (links) und eines generischen Strahls mit mehreren Lichtwellenlängen (rechts).

Am Beispiel des Graphen des monochromatischen Strahls zeigt sich, dass fast die gesamte Intensität (und damit auch die Energie) von Lichtwellen mit der Wellenlänge  $\lambda_1$  stammt (die Form des Spektrums kommt der einer vertikalen Linie mit dem Mittelpunkt  $\lambda_1$  sehr nahe).

Betrachtet man das Diagramm des allgemeinen Lichtstrahls, so sieht man, dass die verschiedenen Wellenlängen zu unterschiedlichen Anteilen zur Gesamtintensität beitragen. Das Maximum des Spektrums liegt zum Beispiel bei  $\lambda_0$ . Wenn wir also annehmen, dass  $\lambda_0 = 680$  nm ist, erscheint der gesamte Lichtstrahl eher rot.

## 2. ADDITIVE FARBSYNTHESE

Unser Auge ist im Durchschnitt in der Lage, einen Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm wahrzunehmen, weshalb die Menge der Wellenlängen, die in diesen Bereich fallen, als *sichtbares Licht* oder *sichtbares Spektrum* bezeichnet wird. Das sichtbare Spektrum kann in 7 Unterintervalle unterteilt werden, die den 7 bekannten Regenbogenfarben entsprechen.

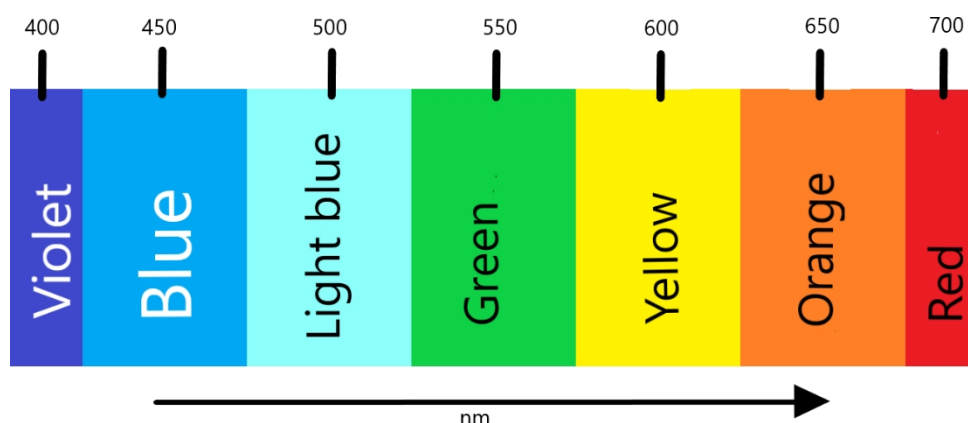


Abb. 6 Einteilung der Intervalle des sichtbaren Spektrums in Farben



Was wir gemeinhin als "Farben" bezeichnen, ist nichts anderes als das Ergebnis der Arbeit, die unser Gehirn leistet, nachdem die Rezeptoren in unserer Netzhaut durch Lichtstrahlen angeregt wurden. Gegenstände können je nach ihren physikalischen Eigenschaften bestimmte Frequenzen (und damit Wellenlängen), die auf sie treffen, absorbieren und andere reflektieren. So erscheinen die Blütenblätter eines Löwenzahns gelb, weil sie, wenn sie von Lichtstrahlen getroffen werden, die Wellenlängen des sichtbaren Spektrums mit Ausnahme der gelben absorbieren, die zu unseren Augen zurückreflektiert (oder wieder emittiert) werden.

Wenn Lichtstrahlen, die sich sowohl in ihrer Intensität als auch in ihren Wellenlängen (oder allgemeiner: in ihrem Spektrum) mehr oder weniger stark unterscheiden, auf die Augen treffen, ist es möglich, eine große Bandbreite an Farben und Schattierungen wahrzunehmen.

Die Empfindung von *weißem* Licht tritt zum Beispiel auf, wenn der erkannte Lichtstrahl theoretisch alle Wellenlängen des sichtbaren Bereichs, die am Anfang dieses Absatzes erwähnt wurden, mehr oder weniger gleichmäßig verteilt enthält. In der Praxis reicht es aus, die als grün, rot und blau eingestufteten Spektralanteile im richtigen Verhältnis zu mischen.

Die Abwesenheit von Licht (Intensität Null) entspricht hingegen dem Gefühl von *Schwarz*.

Der Begriff additive Synthese bezieht sich auf ein Modell, das die Mischung von Farben beschreibt, indem es das Verhalten des menschlichen Auges "nachahmt", dessen Ausgangspunkt genau Schwarz (Abwesenheit von Farbe) ist. Rot, Grün und Blau werden als *Primärfarben* bezeichnet, denn wenn man sie paarweise kombiniert, erhält man Magenta, Gelb und Cyan, die als *Sekundärfarben* definiert sind, und wenn man alle drei Farben kombiniert, erhält man, wie oben erwähnt, Weiß. Wenn von Primärfarben und ihrer chromatischen Addition die Rede ist, wird das Akronym RGB (Rot, Grün, Blau) verwendet, und es wird auch der Begriff "additives Synthesemodell RGB" verwendet.

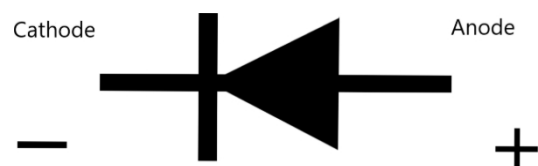
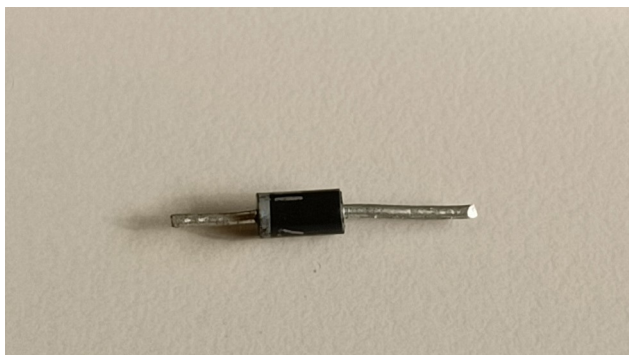
### 3. LICHEMITTIERENDE DIODE (LED)

Wie der Name schon sagt, handelt es sich bei Leds um *lichtemittierende Dioden*.



Abb.7 LED allgemein

Im Allgemeinen ist eine *Diode* ein elektronisches Bauteil mit zwei Anschlüssen (Anode und Kathode), das aus Halbleitermaterialien besteht. Die Diode ist ein elektronisches Bauteil mit zwei Anschlüssen (Anode und Kathode) aus Halbleitermaterialien, das bei der



Herstellung elektronischer Schaltungen weit verbreitet ist.

Abb.8-9 Klassische Diode (8) und ihr elektronisches Symbol (9)

Die Hauptfunktion der Diode besteht darin, den Stromfluss zwischen ihren Enden in einer einzigen Richtung zu ermöglichen: Dies geschieht, wenn eine Spannung angelegt wird, die größer oder gleich einem für die einzelne Diode charakteristischen Schwellenwert  $V_S$  ist (normalerweise sehr klein im Vergleich zu der allgemeinen Spannung, die an einen Stromkreis angelegt wird).

Betrachten Sie die folgenden Schaltbilder:

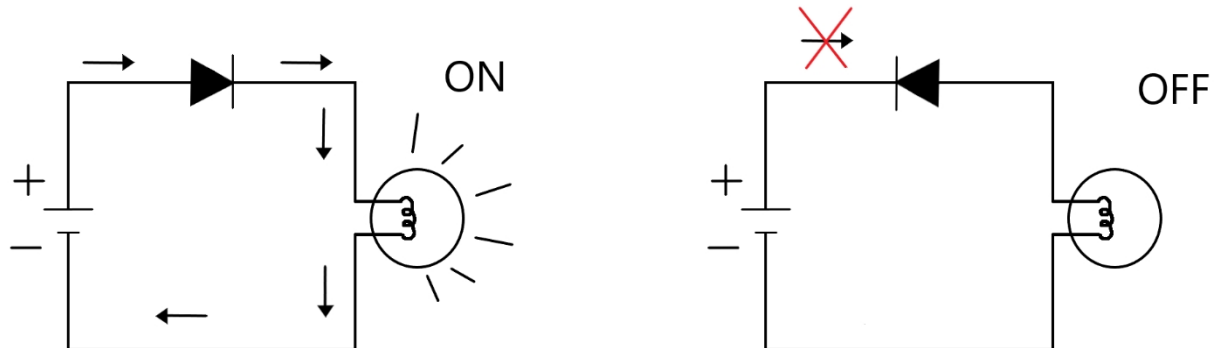


Abb. 10-11 Schaltkreis mit einer Glühbirne und einer Diode in direkter (10) und umgekehrter (11) Konfiguration

Angenommen, eine Spannung  $V$  wird von einem Generator angelegt und kann beliebig erhöht und verringert werden, so fließt kein Strom durch die Diode, bis  $V$  den Schwellenwert  $V_S$  erreicht und überschreitet. In diesem Fall befindet sich die Diode in *direkter Polarisation*, oberes Diagramm.

Würde man versuchen, die Diode in der entgegengesetzten Richtung in den Stromkreis einzufügen, wie im unteren Diagramm dargestellt, würde der Strom auch dann nicht durch die Diode fließen, wenn  $V$  den Schwellenwert  $V_S$  überschreitet, sondern von der Diode blockiert werden. Diese Konfiguration wird als *umgekehrte Polarisation* bezeichnet, und sehr hohe  $V$ -Werte können zum Zusammenbruch des elektronischen Bauteils führen.

Daraus kann man schließen, dass die Diode als unidirektionaler Stromschalter wirkt.

Das Verhalten der Diode ist auf die Beschaffenheit der Halbleitermaterialien zurückzuführen, aus denen sie besteht (Silizium, Germanium, Indiumphosphid usw.): Ein typisches Beispiel ist das Silizium, dessen Atome insgesamt 14 Elektronen haben, von denen sich 4 auf dem äußersten Elektronenorbital befinden (Valenzelektronen).

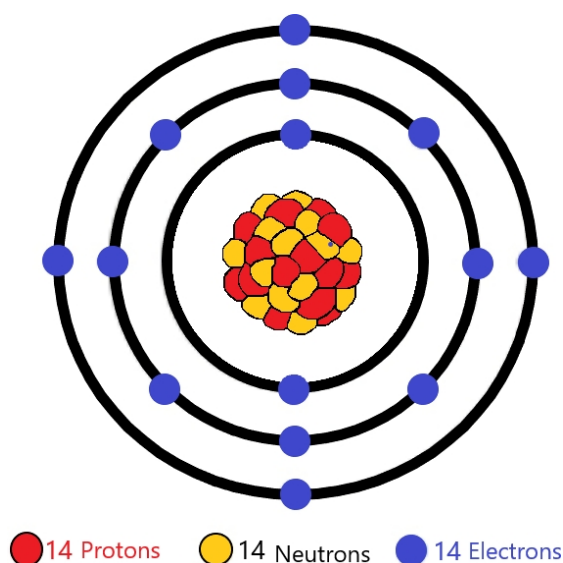


Abb. 12 Orbitaldarstellung des Siliciumatoms

Die Siliciumatome gehen untereinander *kovalente* Bindungen ein, indem sie sich jeweils 4 Valenzelektronen teilen. Daher sind die äußersten Atomorbitale (Valenz-Atomorbitale) vollständig mit 8 Elektronen besetzt ( $4e^- + 4e^-$ ).

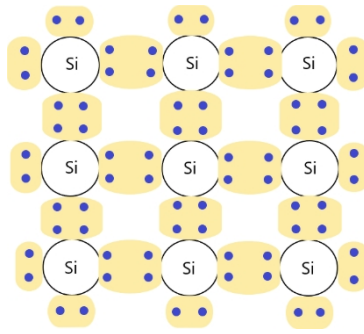


Abb. 13 Reine Siliziumschicht. Wie am Siliciumatom in der Mitte des Diagramms zu erkennen ist, sind die Valenz-Atomorbitale aufgrund der zwischen benachbarten Atomen gebildeten kovalenten Bindungen vollständig mit 8 Elektronen besetzt.

In dieser Konfiguration (Abb. 13) ist eine hypothetische reine Siliziumschicht elektrisch inert. Die Elektronen  $e^-$  sind die einzelnen negativen Ladungen, aus denen der elektrische Strom besteht. Wann immer in einem leitfähigen Material eine Spannung angelegt wird, ist der elektrische Strom das Ergebnis des kontinuierlichen Übergangs von Elektronen (oder des Übergangs) von einem Valenzelektronenorbital eines Atoms zu einem anderen. Wenn alle Valenzorbitale eines Atoms besetzt sind, kann der Übergang nicht stattfinden und es kann kein elektrischer Strom erzeugt werden. Beim Bau einer Diode werden daher einige Siliziumatome durch andere Atome ersetzt (ein Vorgang, der als *Dotierung* bezeichnet wird), so dass einige äußere Atomorbitale im Material nicht mehr vollständig besetzt sind.

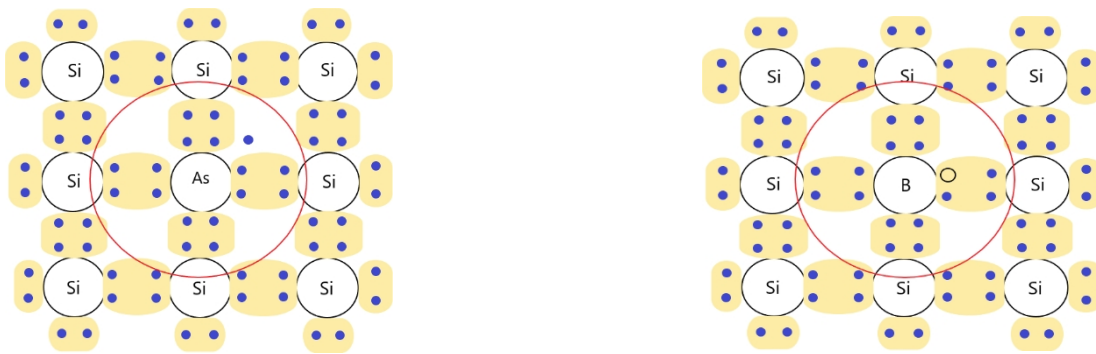


Abb. 14-15 Links mit Arsen dotiertes Silizium (N-Schicht), rechts mit Bor dotiertes Silizium (P-Schicht). In den rot eingekreisten Bereichen ist lokal eine überschüssige negative Ladung für die N-Schicht und eine negative Ladung (entspricht einer zusätzlichen positiven Ladung oder Lücke) für die P-Schicht zu erkennen.

Üblicherweise wird eine erste Siliziumschicht mit der Bezeichnung **"N"** oder **"Negativ"** mit Atomen (z. B. Arsen) dotiert, so dass lokal eine negative Ladung (d. h. ein Elektron) im Überschuss vorhanden ist, während eine zweite Schicht mit der Bezeichnung **"P"** oder **"Positiv"** mit Atomen (z. B. Bor) dotiert ist, was lokal zu einer negativen Ladung weniger führt (Abb. 14 und 15). Im letzteren Fall ist das Fehlen einer negativen Ladung gleichbedeutend mit dem Vorhandensein einer positiven Ladung oder einer **Lücke**.

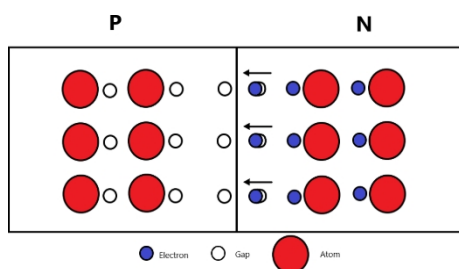


Abb. 16.1

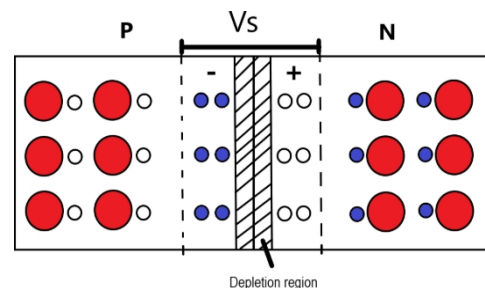


Abb. 16.2



Die so entstandene N-Schicht und die P-Schicht werden anschließend miteinander verbunden (Abb. 16.1): In der Nähe der Verbindungsstelle gehen einige der überschüssigen Elektronen der N-Schicht **spontan** in die benachbarten Lücken der P-Schicht und neutralisieren diesen dünnen Materialabschnitt elektrisch. Dadurch entsteht eine dünne zentrale Zone, die Verarmungszone, die elektrisch neutral ist (Abb. 16.2). Elektronen, die von der N-Schicht zur P-Schicht wandern, hinterlassen wiederum Lücken. Vereinfacht gesagt, werden diese Lücken von denselben Elektronen angezogen, die in die P-Zone wandern, und wandern aufgrund der elektrischen Coulomb-Kraft wiederum in die Nähe des Überganges. In sehr kurzer Zeit bildet sich eine dünne Schicht einer elektrisch neutralen Zone mit einer Schicht negativer Ladungen auf der einen Seite und einer Schicht von Lücken (positive Ladungen) auf der anderen Seite. Die Coulombsche Anziehungskraft zwischen diesen beiden geladenen Schichten lässt eine Potenzialbarriere entstehen, die verhindert, dass die restlichen negativen Ladungen der N-Schicht in die P-Schicht fließen und so einen elektrischen Strom erzeugen.

An diesem Punkt ist die Diode einsatzbereit.

Die Potentialbarriere entspricht der bereits erwähnten Mindestschwellenspannung  $V_s$ . Wenn die Diode im Stromkreis in direkter Polarisierung liegt und eine Spannung größer oder gleich  $V_s$  angelegt wird, fließt ein Strom durch sie. Wird die Diode dagegen in umgekehrter Polarisierung eingesetzt, entfernen sich die negativen Ladungen und Lücken von der Sperrschicht und verhindern die Strombildung.

Wenn ein Elektron den Übergang von einem Atomorbital in ein anderes vollzieht, "verliert" es Energie, die in ein Lichtphoton umgewandelt wird, das nach außen abgestrahlt wird. Dieser Effekt wird als Elektrolumineszenz bezeichnet, und die Farbe des emittierten Lichts und damit die Wellenlänge entspricht der Energie der emittierten Photonen (siehe das oben erwähnte Plancksche Gesetz).

Wenn die Diode wie in Abb. 8 aufgebaut ist, ist kein emittierter Lichtstrahl zu sehen, da die Photonen im Anker der Diode eingeschlossen bleiben. Ist die geplante Konstruktion dagegen wie in Abb. 7 dargestellt, wird das Licht von der Diode nach außen abgestrahlt, die dann als LED bezeichnet wird:

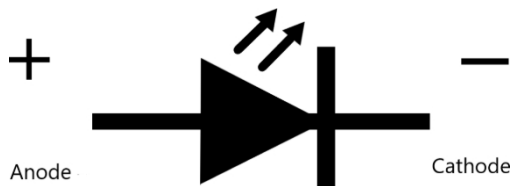


Abb. 17 Elektronisches Simbolo del LED

Herkömmliche Leds strahlen in der Regel nur eine Art von Licht aus (z. B. weiß), während RGB-Leds drei verschiedene Leds in drei verschiedenen Farben enthalten: Rot (R), Grün (G), (Blau)



Abb. 18 RGB-LEDs mit Eingangsspuren zur Versorgung der roten (R), grünen (G) und blauen (B) LED und einer Ausgangsspur - (oder Kathode)

RGB-LEDs folgen den Regeln der additiven Farbsynthese. Durch Erhöhen oder Verringern der Helligkeit (oder Intensität oder Energie) der drei Farben können praktisch alle Farben des sichtbaren Spektrums erzeugt werden. Die Helligkeit der LED hängt von der Spannung ab, mit der sie beaufschlagt wird.

Bei diesem Gerät wird die Spannung durch Einwirkung auf elektronische Bauteile eingestellt, die in Schaltkreisen weit verbreitet sind und Potentiometer genannt werden

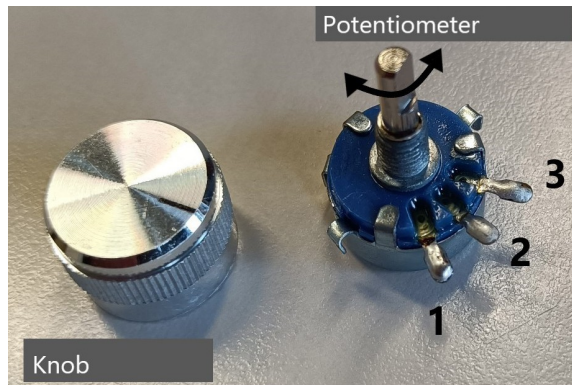


Abb. 19-20 Allgemeines Potentiometer mit Drehknopf

Das Potentiometer ist im Wesentlichen ein variabler Widerstand: Durch Drehen des Knopfes (Abb. 19) wird der Innenwiderstand verändert und folglich die an den Stromkreis angelegte Spannung verringert oder erhöht. Ein allgemeines Diagramm eines Potentiometers ist unten abgebildet:

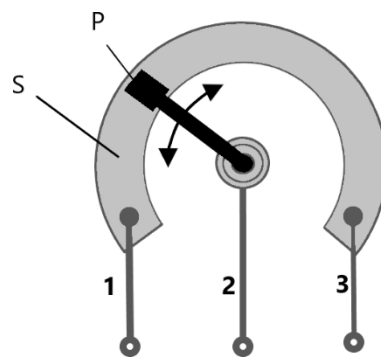


Abb. 21: Schema eines Potentiometers mit drei Anschlüssen

In Abb. 21 hat ein Potentiometer in der Regel drei Anschlüsse, die hier als 1, 2 und 3 bezeichnet werden.

Nehmen wir an, dass Klemme 1 mit einer festen Spannung verbunden ist, Klemme 2 mit einem Teil eines Stromkreises und Klemme 3 mit einem anderen Teil. Wenn der Knopf des Potentiometers gedreht wird, bewegt sich ein Stift P, der direkt mit der Klemme 2 verbunden ist, entlang eines kreisförmigen Kranzes aus niedrig leitendem und widerstandsfähigem Material. Betrachten Sie S als den Teil des kreisförmigen Segments aus Widerstandsmaterial zwischen Klemme 1 und Stift P.

Wenn der Stift P im Uhrzeigersinn gedreht wird, vergrößert sich die Länge von S und folglich wird die Ausgangsspannung von Klemme 2 aufgrund des größeren Widerstands auf dem Weg innerhalb des Potentiometers stärker gedämpft. Je größer die Länge von S ist, desto größer ist der Widerstand, den das Potentiometer bietet.

Man kann also von einer "analogen" Art der Regelung sprechen, bei der man direkt auf die Eigenschaften der Schaltung selbst oder auf Teile davon einwirkt (ein veränderlicher Widerstand, wie in diesem Beispiel).

Es gibt auch eine "digitale" Methode, um die Spannung zu verändern, die so genannte PWM (Pulsweitenmodulation). An dieser Stelle können wir auf die Frage zurückkommen, die wir in der Einleitung gestellt haben:

### Was steckt physikalisch gesehen hinter einem digitalen Bild?

Im Wesentlichen liegt das Prinzip eines digitalen Bildes in den physikalischen Eigenschaften der RGB-LEDs und der damit verbundenen additiven Farbtheorie.

## 4. DIE PIXEL

Das Pixel (kurz für "picture element") ist die kleinste Einheit, in die ein digitales Bild zerlegt werden kann.

Ein Bild, das in seiner Gesamtheit auf einem Bildschirm dargestellt wird, entsteht durch die Aneinanderreihung vieler Pixel, was in der Informatik als Bitmap-Bild bezeichnet wird. Mit anderen Worten, wenn man das Bild mit einem Puzzle vergleicht, würde ein Pixel ein einzelnes Stück davon darstellen.

Um die Auflösung von Bildschirmen digitaler Geräte zu quantifizieren, wird in der Regel die Gesamtzahl der verwendeten Pixel angegeben. Im Allgemeinen gilt: Je mehr Pixel verwendet werden, desto feiner sind die Details der Bilder, die sie bilden.

### Was ist ein Pixel?

Im Wesentlichen besteht ein Pixel aus mindestens drei Untereinheiten (oder "Sub-Pixeln"), die nichts anderes sind als drei dicht nebeneinander angeordnete farbige LEDs: eine rote, eine grüne und eine blaue.

Tatsächlich gibt es verschiedene Kombinationen und Konfigurationen für diese LED-Subpixel, aber das Prinzip hinter der Funktionsweise eines Pixels und der Produktion digitaler Bilder ändert sich nicht.

Um jede Art von Bild zusammenstellen zu können, muss jedes Pixel in der Lage sein, potenziell jede Art von Färbung anzunehmen. Zu diesem Zweck verhalten sich die 3 Subpixel-LEDs wie eine einzige RGB-Einheit, die den Regeln der additiven Farbsynthese folgt. Für jedes einzelne Pixel variiert das digitale Gerät die Intensität jedes der roten, grünen und blauen LED-Subpixel, um eine einzige Farbe zu erzeugen, die durch Mischen der drei emittierten Lichtstrahlen entsteht. Da die drei Lichtemitter, die den verschiedenen Subpixeln entsprechen, sehr nahe beieinander liegen, wird der Eindruck erweckt, dass das einzelne Pixel als Ganzes beleuchtet wird. Die Pixel sind so angeordnet, dass sie ein rechteckiges Gitter bilden, und ihre Größe, Dichte und Nebeneinanderstellung führen dazu, dass auf dem Bildschirm ein einziges Endbild wahrgenommen wird.

## 5. FARBKODIERUNG

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, nimmt jedes Pixel eine bestimmte Färbung an, die sich aus der Mischung dreier farbiger Strahlen (rot, grün und blau) ergibt, die von den Sub-Pixel-LEDs, aus denen es besteht, ausgesendet werden. Die Intensität der einzelnen

Subpixel-LED muss je nach der gewünschten Endfarbe eingestellt werden. Aus diesem Grund werden im Bereich der digitalen Datenverarbeitung den roten, grünen und blauen Komponenten jedes Pixels numerische Werte zwischen **0** und **255** zugewiesen. Das digitale System moduliert also die Intensität jeder LED entsprechend der ihr zugewiesenen Zahl, die in Wirklichkeit einem Energieniveau entspricht. Der Wert **0** entspricht einer Intensität von Null (Sub-Pixel-LED aus), während **255** der maximalen Intensität entspricht.

Konventionell wird jedem Pixel ein Code aus drei Zahlen zugewiesen:

(R, G, B)

Der erste Wert bezieht sich auf das rote Subpixel, der zweite auf Grün und der dritte auf Blau.

Wenn Sie also einem Pixel eine bestimmte Farbe zuweisen wollen, müssen Sie ihm eine Reihe von Werten zwischen 0 und 255 zuweisen.

In der Informatik wird ein Bit als die grundlegende Einheit definiert, der zwei Werte zugewiesen werden können: 0 oder 1.

Sie bilden die Grundlage der Binärsprache (d. h. der Sprache, die darin besteht, Zahlen durch wiederholte Folgen von 0 und 1 darzustellen), und ein Byte ist definiert als eine Folge von 8 Bits:

10100010

In dem angegebenen Beispiel entspricht die Zahl 10100010 im Binärsystem der Zahl 162 im Dezimalsystem.

Im Binärsystem entspricht die 8-stellige Zahl (Byte, wie oben erwähnt) 00000000 dem Wert 0 im Dezimalsystem und die Zahl 11111111 entspricht dem Wert 255 im Dezimalsystem.

Das bedeutet, dass bei einer festen Anzahl von 8 Stellen ein Byte einer beliebigen ganzen Zahl zwischen 0 und 255 entsprechen kann, was insgesamt 256 mögliche Werte ergibt.

Bei der Verwendung von Permutationen mit mathematischen Wiederholungen beträgt die Gesamtzahl der Sequenzen (und damit der Endwerte), die mit den beiden Ziffern 0 und 1 aus den 8 verfügbaren Stellen erzielt werden können:

$$2^8=256$$

Es ist also möglich, 256 Intensitätsabstufungen für jedes geführte Subpixel zu erhalten.

Wenn jedes Pixel also 3 Subpixel-Lichtkomponenten enthält, ergibt sich die Gesamtzahl der möglichen Farben aus der Kombination aller möglichen Lichtabstufungen für jede Subpixel-LED:

$$2^8 \cdot 2^8 \cdot 2^8 = 256^3 = 16.777.216$$

|

|

**R**

|

|

**G**

|

|

**B**

Herkömmliche Bildschirme haben 24-Bit-RGB-Bilder, d. h. für jedes Subpixel werden 8 Bit verwendet, wie in dem soeben beleuchteten Fall. Dies bedeutet jedoch nicht, dass alle 16,77 Millionen erzeugten Farben vom Auge gut wahrgenommen werden, vor allem, weil das menschliche Auge "nur" bis zu etwa 10 Millionen verschiedene Farben unterscheiden kann. Außerdem entspricht das Bit-Farbmanagement vereinfacht gesagt nicht einem Farbbereich, der die tatsächliche Wahrnehmung des menschlichen Auges widerspiegelt, das zum Beispiel eher dazu neigt, Grüntöne wahrzunehmen als Blautöne.

In jedem Fall ist das Endergebnis die Schaffung einer enormen Anzahl von möglichen digitalen Bildern.

### ELEKTRISCHER SCHALTKREIS DES INSTRUMENTS

Nachstehend ist ein Teil der elektrischen Schaltung des Geräts schematisch dargestellt, wobei die Darstellung entsprechend vereinfacht wurde:

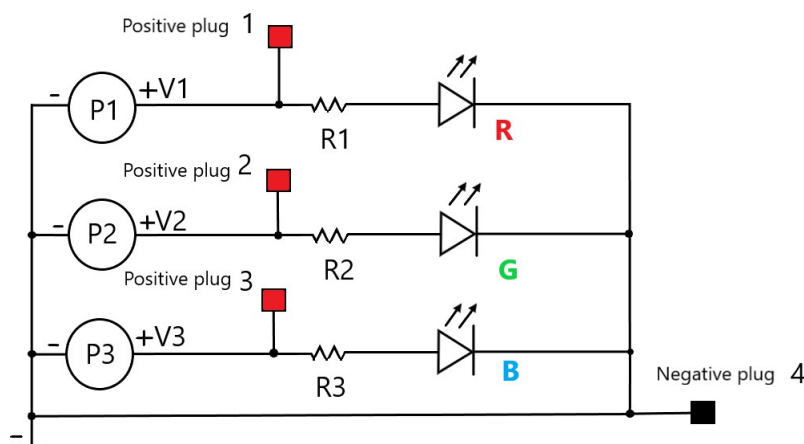


Abb. 22

- **R, G, B** bezeichnen die roten, grünen und blauen Leds;
- R1, R2 und R3 bezeichnen die Widerstände in Reihe mit den roten, grünen bzw. blauen Leds;
- P1, P2 und P3 sind die Potentiometer, mit denen die Spannung für die roten, grünen bzw. blauen Leds eingestellt wird;
- +V1, +V2 und +V3 sind die Spannungswerte, die von den drei Potentiometern ausgegeben werden, die den entsprechenden Widerstand R und das Leds-Paar versorgen;
- Buchse 4 ist die schwarze Buchse, in die die negative Messleitung des Prüfgeräts eingesteckt werden muss.
- Buchse 1, Buchse 2 und Buchse 3 sind die roten Buchsen, in die die positive Messleitung des Prüfgeräts eingesteckt werden muss.

## BEDIENUNG DES GERÄTS

### Beschreibung

Der Code 5335 ist als Lern-, Experimentier- und Messinstrument für die Erzeugung digitaler Bilder auf Bildschirmen gedacht, wobei der Schwerpunkt auf der grundlegenden Einheit, dem Pixel, liegt. Das Hauptziel besteht insbesondere darin, den Zusammenhang zwischen den rein digitalen Aspekten der Pixelfärbung und den beteiligten physikalischen Größen auch quantitativ zu verstehen.

Im Inneren des Teils Nr. 5335 befindet sich nämlich eine RGB-LED, deren farbige Leds (Rot, Grün und Blau) durch drei Drehpotentiometer in ihrer Intensität individuell eingestellt werden können. Eine halbtransparente, mattierte Schicht über der RGB-LED ermöglicht das Mischen der drei farbigen Strahlen, um eine einzige Farbe zu erhalten und das Verhalten eines Pixels auf einem Bildschirm zu simulieren.

Vier Buchseneinsätze ermöglichen die Messung der eingestellten Spannungswerte für jedes LED-Widerstandspaar (Abb. 22).

Stellen Sie das Gerät zunächst auf eine ebene Fläche.

Schließen Sie das Netzteil an den Anschluss auf der Rückseite des Geräts an.

**ANMERKUNG:** Um eine gute Wahrnehmung der erhaltenen Farben zu erreichen, ist es ratsam, während jedes Versuchs die leuchtende Fläche frontal aus einer Entfernung zu betrachten, die die Augen nicht stört oder ermüdet (mindestens 40 cm).

### AUSFÜHRUNG 1

**Benötigte Materialien:** 1 BOX. 5335; 1 Netzgerät.

Es wurde bereits erörtert, wie durch die Mischung von rotem, grünem und blauem Licht eine breite Palette von Farben erzeugt werden kann. Das Ergebnis hängt auch von der Intensität des Lichts ab, das von jeder LED abgegeben wird, und von der Empfindlichkeit des beobachtenden Auges. In Abb. 22 sind die Widerstände R1, 2 und 3 werkseitig so kalibriert, dass die von den einzelnen Leds abgegebene Lichtintensität die anderen nicht übersteigt. Durch die Einstellung der maximalen Lichtintensität jeder einzelnen LED kommt das Ergebnis einem weißen Lichtstrahl so nahe wie möglich.

- Schalten Sie das Gerät ein, indem Sie den ON/OFF-Schalter neben dem Netzanschluss betätigen.
- Stellen Sie die drei Potentiometer auf maximale Leistung ein, um das eben Gesagte zu bestätigen.
- Wiederholen Sie das Experiment, indem Sie die Leistung jeder LED auf Null zurücksetzen und so den Zustand der völligen Abwesenheit von Licht erreichen.



- o Welche Farbe assoziieren wir mit der völligen Abwesenheit von Licht?
- o Hätte sich das beobachtete Phänomen geändert, wenn die innere und äußere Farbe des Baumaterials des Geräts gelb, blaugrün oder ähnlich gewesen wäre?
- o Wie sieht ein ausgeschalteter digitaler Bildschirm aus? Warum diese Farbe?
- o Kehren Sie zu den vorhergehenden Fragen zurück, indem Sie den Fall der maximalen Intensität, die auf jeder LED eingestellt ist, betrachten.

## ERFAHRUNG 2

**Benötigte Materialien:** 1 BOX. 5335; 1 Netzgerät; 1 Digitales Testgerät (nicht mitgeliefert)

Betrachten Sie Abb. 22 und insbesondere einen der drei Zweige der Schaltung mit Widerstand und grüner LED (**G**), z. B.

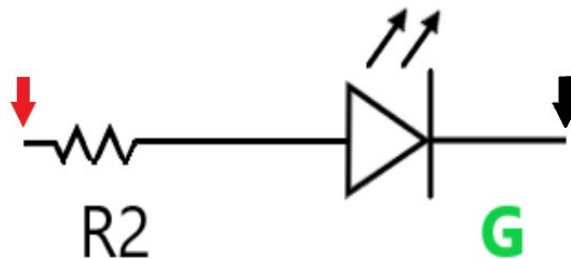


Abb. 23

Die roten und schwarzen Pfeile in Abb. 23 entsprechen den Kontaktpunkten von Buchse 2 bzw. Buchse 4 in Abb. 22.

Durch Einstecken des positiven Kabels in die Buchse 2 und des negativen Kabels eines Prüfgeräts in die Buchse 4 kann die Spannung gemessen werden, der R2 und die grüne LED ausgesetzt sind, wenn das Potentiometer, in diesem Fall P2, gedreht wird.

Aus konstruktiven Gründen unterscheiden sich die Eigenschaften der drei farbigen RGB-LEDs in Bezug auf die an ihren Enden anliegende Höchstspannung, die Leistung, die maximale Lichtstärke, usw.

Es sollte auch daran erinnert werden, dass Leds eine besondere Art von Dioden sind und daher, sobald sie in einen Stromkreis in direkter Polarisierung eingefügt werden, einen Mindestspannungswert an ihren Enden überschreiten müssen, damit Strom fließen kann

Strom zu fließen (und dementsprechend Licht zu erzeugen). Dieser Schwellenwert ist, wie in diesem Fall, bei Leds verschiedener Farben unterschiedlich.

Die drei Festwiderstände R, die mit den RGB-LEDs in Reihe geschaltet sind, dienen genau dazu, eine Überlastung der Leds zu verhindern, damit sie nicht "kaputtgehen" oder durchbrennen, und um ihre maximale Lichtstärke zu modulieren.

Aus diesem Grund muss der Mindestschwellenwert der Spannung gemessen werden, bei dem jede in Reihe mit dem zugehörigen Widerstand geschaltete LED sichtbar zu leuchten beginnt.

- Stecken Sie das Pluskabel in Buchse 2 und das Minuskabel eines auf 20 Volt eingestellten Testers in Buchse 4.
- Drehen Sie alle Potentiometer auf den Mindestwert.
- Drücken Sie die Taste ON/OFF auf der Rückseite des Geräts.
- Drehen Sie das Potentiometer P2 langsam, bis die grüne LED zu leuchten beginnt.
- Markieren Sie den auf dem Prüfgerät abgelesenen Spannungswert als Mindestspannung für das Aufleuchten der grünen LED oder als Schwellenspannung  $V_{\text{Threshold}}$ .
- Drehen Sie das Potentiometer bis zum Anschlag, um die maximale grüne Lichtintensität zu erreichen, und markieren Sie den am Tester abgelesenen Spannungswert als den maximalen Spannungswert, dem die grüne LED und der Widerstand R2 ausgesetzt sind.
- Wiederholen Sie die vorherigen Schritte für die beiden anderen farbigen Leds.

<i>I</i>	<b>R</b>	<b>G</b>	<b>B</b>
$V_{Threshold}$ (Volt)			
$V_{max}$ (Volt)			

- o Was zeigt sich bei der Betrachtung der drei gemessenen Maximalwerte? Gibt es eine Übereinstimmung mit der in Abb. 22 dargestellten Schaltung?
- o Sind die minimalen Einschaltwerte (oder Schwellenwerte) identisch oder können sie je nach LED variieren?

### EXPERIENZ 3

**Benötigte Materialien:** 1 BOX. 5335; 1 Stromversorgung; 1 Digitales Testgerät (nicht mitgeliefert)

Die Einstellung des Intensitätsniveaus jeder farbigen LED ist entscheidend, um eine bestimmte Endfarbe zu erhalten, die sich aus der Mischung der drei Lichtstrahlen ergibt.

Auf digitaler Ebene passt das System das von den Subpixel-LEDs ausgestrahlte Licht entsprechend dem dreistelligen Code (**R**, **G**, **B**) an, der jedem Bildschirmpixel zugeordnet ist.

Es wurde auch festgestellt, dass der Wert 0 vereinbarungsgemäß einer Intensität von Null und 255 einer maximalen Intensität entspricht. Der Code (0, 0, 0) steht also für die Abwesenheit von Licht von allen Subpixel-LEDs, was die Farbe Schwarz ergibt, während der Code (255, 255, 255) den Zustand bezeichnet, in dem die Lichtintensität aller farbigen Leds maximal ist, was zur Wahrnehmung der Farbe Weiß führt.

Alle numerischen Werte, die jeder Subpixel-LED zwischen 0 und 255 zugeordnet werden können, entsprechen in der Realität einer bestimmten Lichtintensität.

Um das Prinzip hinter jedem Pixel, das ein Bild auf dem Bildschirm erzeugt, besser zu verstehen und somit eine direkte Verbindung zwischen der digitalen Verarbeitung und den physikalischen Phänomenen herzustellen, muss man sich vergegenwärtigen, dass die von einer LED emittierte Lichtmenge mit zunehmender Spannung steigt. In guter Näherung **ist es möglich, eine Entsprechung zwischen der Skala der Zahlenwerte zwischen 0 und 255 und dem für jede Subpixel-LED verfügbaren Spannungsbereich herzustellen.**

$$\frac{\text{Maximum voltage range}}{256} = \frac{\text{Colour voltage}}{\text{Digital value}}$$

oder in Form von Proportionen

$$\text{Maximum voltage range} : 256 = \text{Colour voltage} : \text{Digital value}$$

Die  $\Delta V$  , ist der *maximale Spannungsbereich*, der durch Drehen des Potentiometers für jede kolorierte LED eingestellt werden kann, und ergibt sich aus der Differenz zwischen dem maximalen Spannungswert und dem in **Versuch 2** gemessenen Schwellenspannungswert:

$$\Delta V = V_{max} - V_{threshold}$$

Die *Farbspannung* ist die Spannung, die an die einzelnen farbigen Leds (rot, grün oder blau) angelegt werden muss, um die Intensität des ausgestrahlten Lichts auf einen bestimmten Wert einzustellen.

Der *digitale Wert* entspricht der Zahl zwischen 0 und 255, die ein hypothetisches digitales System eingeben würde, um eine Spannung gleich der *Farbspannung* an der betreffenden farbigen LED einzustellen.

Der Einfachheit halber werden sie als

$$V_{dig} = Digital\ value$$

und genannt.

$$V^* = Colour\ voltage$$

- Zunächst wird das  $\Delta V$  V für jede farbige LED nach der vorstehenden Formel berechnet

$\Delta V_R$ (Volt)	
$\Delta V_G$ (Volt)	
$\Delta V_B$ (Volt)	

- Nach der Wahl der endgültigen Farbe und damit des  $V_{dig}$ , das jeder farbigen LED zugewiesen werden soll, kann man  $V^*$  ableiten, das für jede Subpixel-LED einzustellen ist

$$V^* = \frac{\Delta V}{256} \cdot V_{dig}$$

- Schließlich muss zu  $V^*$  der Beleuchtungsschwellenwert  $V_{Threshold}$  für jede farbige LED addiert werden, um eine direkte Ablesung von  $V^*$  mit einem Prüfgerät zu ermöglichen

$$V^*_{Direct\ reading} = \left( \frac{\Delta V}{256} \cdot V_{dig} \right) + V_{Threshold}$$

Nehmen wir an, Sie möchten die Farbe *Lachsrot* erhalten, die dem Code RGB (210, 103, 82) entspricht. Die einzustellenden Spannungswerte durch direktes Ablesen der Skala des Testers für die drei Farben ergeben sich wie folgt:

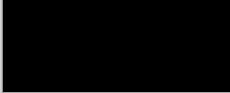


















$$V^*_{Red\ direct\ reading} = \frac{\Delta V_R}{256} \cdot 210 + V_{Red\ threshold}$$

$$V^*_{Green\ direct\ reading} = \frac{\Delta V_G}{256} \cdot 103 + V_{Green\ threshold}$$





















$$V^*_{Blue\ direct\ reading} = \frac{\Delta V_B}{256} \cdot 82 + V_{Blue\ threshold}$$

- Stellen Sie die Ableseskala des Testers auf 20 V ein. Stecken Sie das positive Kabel des Testers in die Buchse, die der in der Intensität einzustellenden farbigen LED entspricht, und das negative Kabel in die Buchse 4
- Drehen Sie das entsprechende Potentiometer, bis der gewünschte Wert  $V^*_{(Direct)\ (Ablesung)}$  auf dem Prüfgerät angezeigt wird. Den Spannungswert einstellen, der dem berechneten theoretischen Wert am nächsten kommt, je nach der vom Prüfgerät zugelassenen Messgenauigkeit
- Wiederholen Sie die Schritte für jede farbige LED

Nachfolgend finden Sie eine Tabelle mit einigen Farbbeispielen und ihren jeweiligen RGB-Codes

Farbe	Beschreibung	Code RGB
	Schwarz	0 0 0
	Weiß	255 255 255
	Rot	255 0 0
	Limette	0 255 0
	Blau	0 0 255
	Gelb	255 255 0
	Fuchsia	255 0 255
	Aqua	0 255 255
	Grau	128 128 128
	Kastanienbraun	128 0 0
	Grün	0 128 0
	Marineblau	0 0 128
	Olive	128 128 0
	Lila	128 0 128
	Silber	192 192 192
	Türkis	0 128 128
	Schwefelgelb	240 232 64
	Verkehr gelb	248 192 0
	Gelb orange	221 113 0
	Rot-orange	190 74 34



Farbe	Beschreibung	Code RGB
	Zinnoberrot	194 51 28
	Korallenrot	169 54 41
	Rosa	207 77 90
	Lachsrot	210 103 82
	Himbeerrot	176 19 59
	Blaulila	124 99 153
	Flieder	138 66 128
	Signalviolett	192 53 115
	Magenta	0 115 175
	Himmelblau	0 81 140
	Verkehrsblau	34 40 86
	Nachtblau	0 103 77
	Türkisgrün	77 156 53
	Gelbgrün	0 110 59
	Mintgrün	114 170 168
	Pastelltürkis	47 51 53
	Schwarzgrau	193 197 192
	Hellgrau	140 72 50
	Kupferbraun	164 89 45
	Orangebraun	

**HINWEIS:** Je nach der visuellen Empfindlichkeit der Person, dem Beobachtungsabstand, dem digitalen Bildschirm oder dem Papier und der Tinte, die für die Darstellung der mit dem Code 5335 erhaltenen endgültigen Farbmuster verwendet werden, den Charakteristiken des Grundmaterials für die Mischung der Lichtstrahlen, der Genauigkeit der für jeden Farbkanal eingestellten Spannung und vielen anderen Faktoren **kann die Ähnlichkeit zwischen der vom Gerät abgegebenen Farbe und der erwarteten Farbe variieren.**

**Der Hauptzweck des Experiments besteht darin, die physikalischen Eigenschaften des Pixels und damit das physikalische Prinzip zu verstehen und zu erfahren, das die Realisierung digitaler Bilder auf dem Bildschirm ermöglicht.**

- o Warum ist es notwendig, die Schwellenspannung  $V_{\text{Threshold}}$  bei der Berechnung der Spannungswerte für die einzelnen farbigen Leds zu berücksichtigen? Was würde passieren, wenn sie nicht berücksichtigt würde?
- o Es kann vorkommen, dass die Farbschattierungen nicht ganz einheitlich sind. Was könnte eine der Hauptursachen sein? Verbessert sich die Situation, wenn man das ausgestrahlte Licht aus größerer Entfernung betrachtet? Tipp: Schlagen Sie die typische Größe eines Pixels nach und vergleichen Sie sie mit der Größe des runden Lichtfensters des Geräts Nr. 5335.

**OPTIKA<sup>®</sup>**  
S C I E N C E  
I T A L Y

OPTIKA S.r.l - Urheberrecht

Vervielfältigung, auch auszugsweise, untersagt.