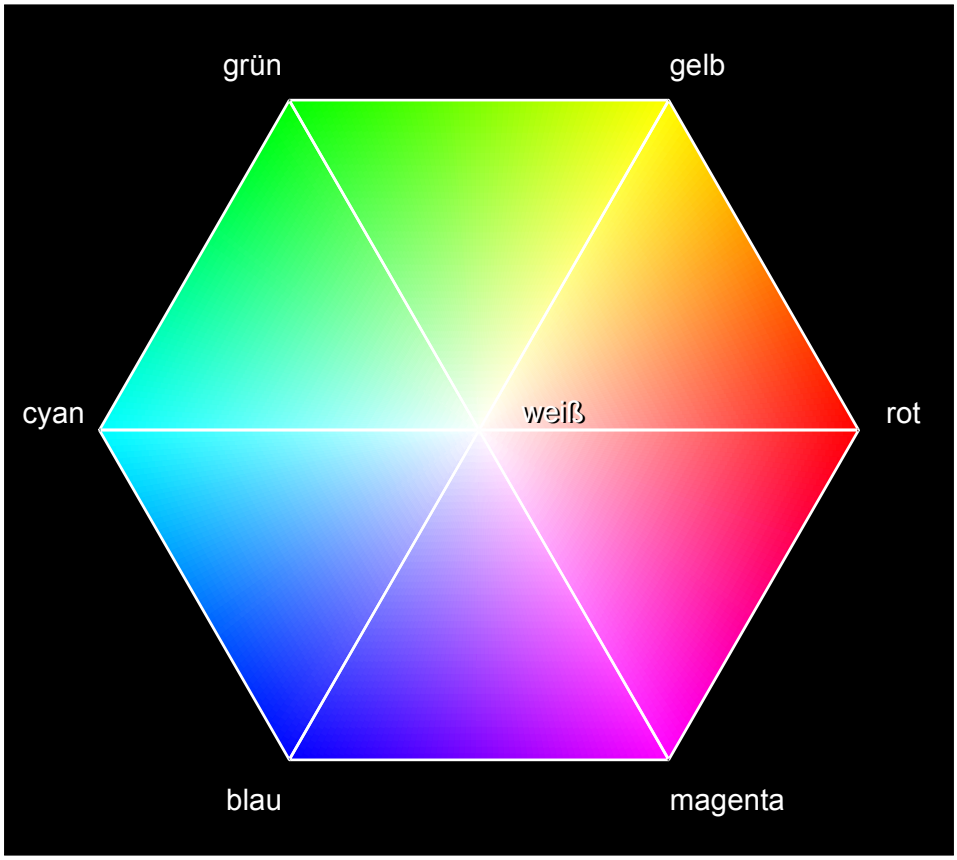
Lichtblick

Alles über die bunte Welt der Farbmodelle

Erst die Farbe macht aus der PC-Grafik eine angenehm anzuschauende Sache. Dies gilt besonders für die Game-Freunde. Doch trotz der in den letzten Jahren stetig weiterentwickelten Technik sind selbst die besten Grafikkarten und Monitore noch weit von der Wirklichkeit der 350 000 Farben entfernt, die das menschliche Auge mühelos unterscheiden kann. Hier ein kompakter Einblick in die Farbtheorie.



Wissenschaftler haben schon frühzeitig begonnen, Systeme zur möglichst eindeutigen Beschreibung von Farben zu entwickeln. Im Laufe der Zeit haben sich mehrere Standardmodelle herausgebildet. Basis ist natürlich das menschliche Auge und die Erkenntnisse der Physik über das Licht.

Für das eigentliche Farbempfinden sind drei Parameter wichtig: Die dominante Wellenlänge, deren Sättigung und deren Intensität. Die dominante Wellenlänge des Lichts, die von einem Objekt ausgesendet oder reflektiert wird, entspricht dem, was wir gemeinhin als Farbe bezeichnen. Eine exakte Messung kann es in diesem Bereich jedoch nicht geben. So wird beispielsweise Rot in einem Wellenlängenbereich um 630 nm und Blau im Bereich von 450 bis 480 nm erkannt. Da der gesamte Spektralbereich mal gerade 400 nm umfaßt, sind die 30 nm, in dem Blau erkannt wird, ein recht großes Intervall von fast 10 Prozent, aber Farbempfinden ist nun einmal subjektiv.

Ähnlich ist es mit der Sättigung der Farbe. Darunter versteht man die Bündelung des Lichts oder die Anzahl der unterschiedlichen Wellenlängen. Je kleiner der Wellenlängenbereich ist, desto reiner erscheint die Farbe und je größer der Wellenlängenbereich, desto geringer ist die Reinheit.

Die Helligkeit läßt sich mit der Intensität oder der Energie des Lichtes gleichsetzen. Je größer die Intensität, desto größer die Helligkeit.

Interessant wird es, wenn mehrere verschiedenartige Lichtquellen zusammentreffen. Dann entstehen Mischfarben, die sich natürlich auch gezielt hervorrufen lassen. Den Sonderfall, daß zwei Farben zusammen weiß ergeben, nennt man Komplementärfarben. Mit Hilfe geeigneter Basisfarben lassen sich beliebige Farbpaletten mischen. Diese werden üblicherweise Grund- oder Primärfarben genannt.

Die richtige Mixtur bringts

Eine Grundmenge von Primärfarben, aus denen sich alle anderen Farben mischen lassen, gibt es nicht. Es existiert darum seit 1931 ein Modell, mit dem sich jede Farbe als Summe dreier willkürlich gewählter Grundfarben beschreiben läßt. In diesem nach der Commission Internationale de l'Éclairage benannten CIE-Farbmodell (*Bild 1*) wird jede Grundfarbe durch ihre Energieverteilungskurve charakterisiert. Die Werte auf der Kurve entsprechen den Wellenlängen in nm (Nanometer). Die Koordinaten des CIE-Farbdiagramms ermöglichen die exakte Beschreibung von Farben und ihren Austausch zwischen Systemen mit verschiedenen Primärfarben. So entsprechen beispielsweise die RGB-Grundfarben, die meist für Computermonitore als Primärfarben verwendet werden, den CIE-Koordinaten Rot = (0,628 und 0,346), Grün = (0,268 und 0,588) und Blau = (0,150 und 0,070).

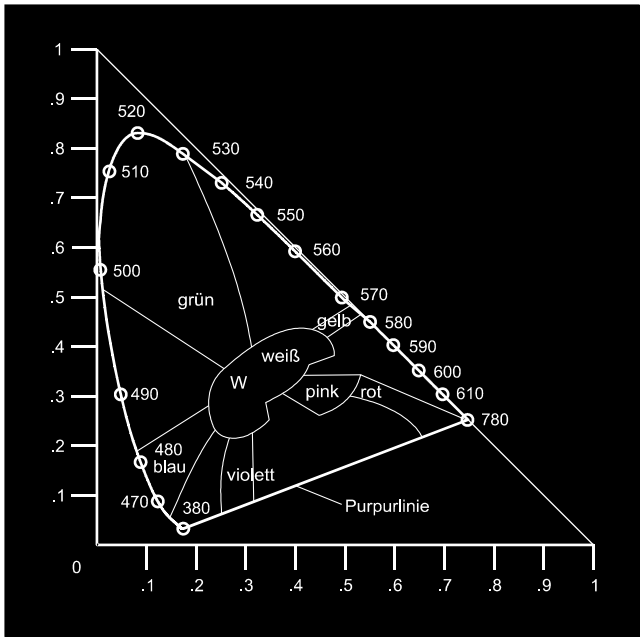


Bild 1. In dem CIE-Farbmodell wird jede Grundfarbe durch ihre Energieverteilungskurve charakterisiert. Die Werte auf der Kurve entsprechen den Wellenlängen in nm.

In der Computertechnik hat man sich schon sehr frühzeitig dazu entschieden, sich dem Auge anzupassen. Die meisten Farbmonitore verwenden deshalb roten, grünen und blauen Phosphor, und das Mischen von Farben auf Basis dieser Primärfarben ist das derzeit meist verbreitete Farbmodell, das beispielsweise auch von Microsoft Windows verwendet wird.

Das RGB-Farbmodell (*Bild 2*) kombiniert die drei Grundfarben in einem dreidimensionalen Koordinatensystem von der Form eines Würfels. Jede Farbe wird als Zahlentripel (R, G, B) dargestellt. Schwarz wird als das Fehlen jeder Farbe aufgefaßt, was zum Tripel (0, 0, 0) führt, während Weiß mit (1, 1, 1) codiert wird. Aufgrund dieser Eigenschaft bezeichnet man das RGB-Farbmodell auch als additives Modell, da Mischfarben durch das Addieren von Grundfarben entstehen. So ist Gelb beispielsweise (1, 1, 0). Für die Primärfarben ergibt sich:

Rot = (1, 0, 0),
Grün = (0, 1, 0),
Blau = (0, 0, 1).

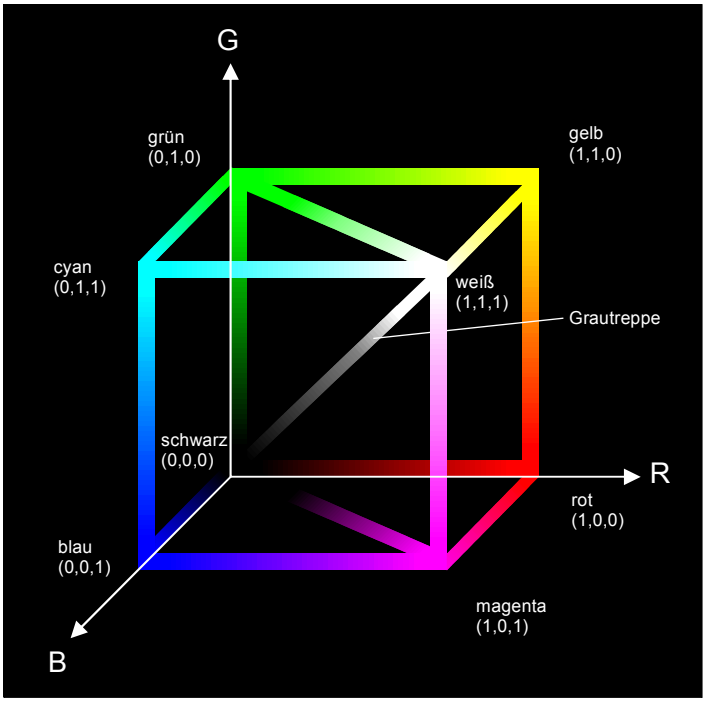


Bild 2. Das RGB-Farbmodell kombiniert die drei Grundfarben in einem dreidimensionalen Koordinatensystem. Jede Farbe wird als Zahlentripel (R, G, B) dargestellt.

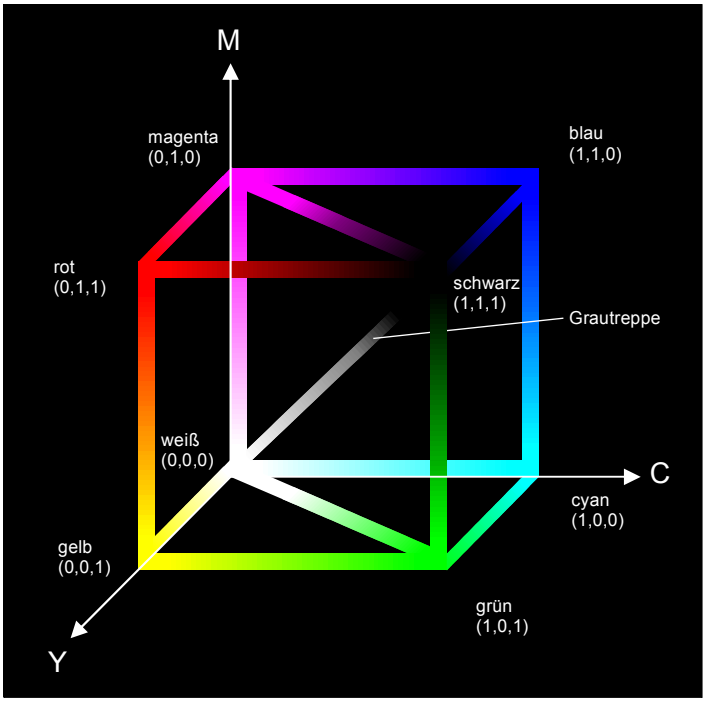


Bild 3. Eine Variante des RGB-Farbmodells ist das Umdrehen der Hauptdiagonalen, die von Schwarz nach Weiß zeigt. Daraus entsteht das Cyan-Magenta-Gelb-Mischmodell, das Hauptfarben subtrahiert, anstatt zu addieren.

Im RGB-Farbmodell sind alle Koordinatenachsen auf 1 normiert. Die meisten Programme setzen jedoch einen Bereich von 0 bis 255 voraus, der logisch auf den Bereich von 0 bis 1 abgebildet werden muß, damit er dem RGB-

Modell entspricht. Auch die im Rahmen dieses Beitrags vorgestellten Routinen erwarten Werte zwischen 0 und 1. Eine Umrechnung von logischen Werten in reale kann jedoch einfach durch Division mit 255 erfolgen. Beispiel:

Mischfarbe = (170,255, 170),
RGB-Wert = (170/255, 1, 170/255).

Eine Variante des RGB-Farbmodells ist das Umdrehen der Hauptdiagonalen, die von Schwarz nach Weiß zeigt. Daraus entsteht das Cyan-Magenta-Gelb-Mischmodell (CMY, *Bild 3*), das Hauptfarben subtrahiert, anstatt zu addieren. Den gewünschten Farbeffekt erzielt man, indem Farben vom weißen Licht abgezogen werden.

Wie auch beim RGB-Farbmodell liegen auf der Diagonalen von Weiß nach Schwarz die Grauwerte. Diese ergeben sich immer als gleichmäßige Bestandteile aller Grundfarben. Dies ist auch nicht weiter verwunderlich, denn wenn die Koordinaten (0, 0, 0) Schwarz und (1, 1, 1) Weiß sind, dann muß (0.5, 0.5, 0.5) ein Mittel zwischen Schwarz und Weiß sein, in dem keine Primärfarbe dominiert oder unterrepräsentiert ist. Folglich ergibt sich ein Grauwert.

RGB- und CMY-Farbmodell stehen in einer simplen Beziehung zueinander:

Cyan = 1 − Rot,
Magenta = 1 − Grün,
Gelb = 1 − Blau.

Über diese Formel lassen sich die Werte einfach umrechnen.

In dem 1953 in den USA eingeführten NTSC-Fernsehsystem werden die Farben durch die Farbparameter YIQ beschrieben. Auch das YIQ-Farbmodell wird durch ein dreidimensionales Koordinatensystem definiert. Die Y-Komponente des Modells stellt eine Grundfarbe dar, deren spektrale Energieverteilung der Helligkeitskurve entspricht, wobei die Y-Komponente äquivalent zur definierten Farbe ist. Etwas weniger kompliziert ausgedrückt: Die Y-Komponente entspricht der Y-Koordinate im CIE-Farbenraum.

Der wichtigste Vorteil des YIQ-Farbmodells gegenüber dem RGB- und CMY-Modell besteht darin, daß mit YIQ die Umsetzung der unterschiedlichen Farben auf entsprechend unterschiedliche Intensitätsgrade gelöst wird, während im RGB-Modell zwei verschiedene Schattierungen durchaus die gleiche Helligkeit erzeugen können. Genau dies ist jedoch ein wichtiger Aspekt, wenn ein ausgestrahltes Bild sowohl auf Farb- wie auch auf Schwarzweißfernsehern gut empfangen werden soll. Die europäische PAL-Norm arbeitet ähnlich, jedoch werden hier in den Parametern I und Q die Farbdifferenzen R-Y und B-Y übertragen.

Die Umrechnung von RGB nach YIQ und umgekehrt erfolgt über eine Matrizenmultiplikation:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}299 & 0{,}587 & 0{,}144 \\ 0{,}596 & -0{,}274 & -0{,}322 \\ 0{,}211 & -0{,}522 & 0{,}311 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1{,}0 & 0{,}956 & 0{,}623 \\ 1{,}0 & -0{,}272 & -0{,}648 \\ 1{,}0 & -1{,}105 & 1{,}705 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

Allen bisher besprochenen Farbmodellen ist gemein, daß sie sich an der Hardware orientieren oder versuchen, das Auge zu simulieren. Anstelle der Angabe der Rot-, Grün- und Blau-Farbanteile kann eine Farbe jedoch auch über ihre Parameter Farbton, Helligkeit und Reinheit beschrieben werden. Exakt diesen Weg beschreitet das HSV-Modell, das die Parameter Hue (Farbe), Saturation (Sättigung, Reinheit) und Value (Helligkeit) verwendet.

Den typischen HSV-Hexakegel (*Bild 4*) erhält man, indem man den RGB-Einheitswürfel entlang der Diagonalen von Schwarz nach Weiß projiziert. Es resultiert ein Sechseck, das die Basis der HSV-Pyramide bildet. Jede Farbe wird durch einen Winkel in diesem Sechseck angegeben, wobei Rot mit dem Winkel 0 den Anfang macht. Komplementärfarben liegen jeweils 180 Grad auseinander. H kann somit Werte zwischen 0 und 360 Grad annehmen.

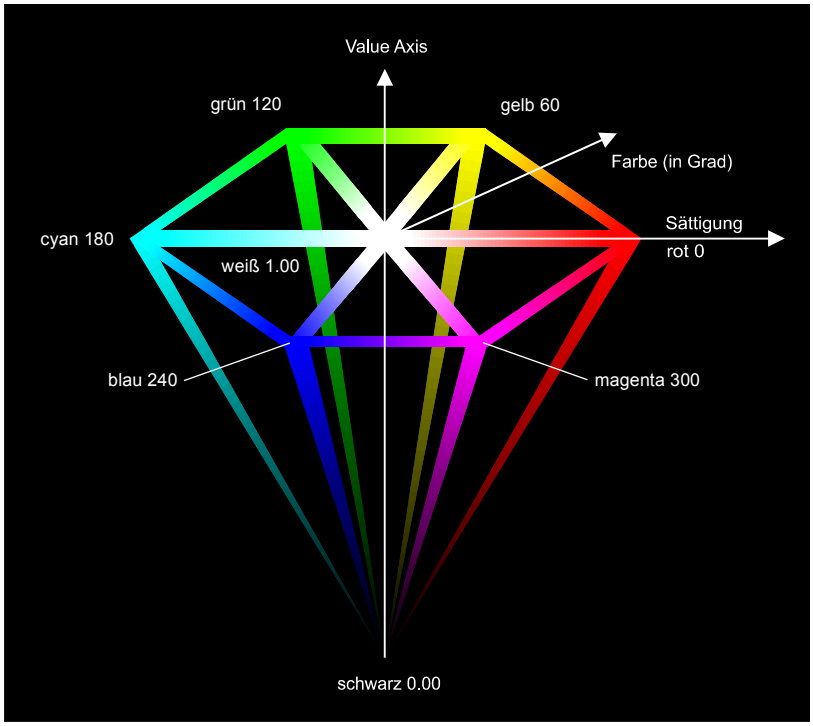


Bild 4. Den typischen HSV-Hexakegel erhält man, indem man den RGB-Einheitswürfel entlang der Diagonalen von Schwarz nach Weiß projiziert. Es resultiert ein Sechseck, das die Basis der HSV-Pyramide bildet. Jede Farbe wird durch einen Winkel in diesem Sechseck angegeben.

Der Parameter S liegt im Bereich von 0 bis 1 und repräsentiert das Verhältnis der Reinheit der Farbe zur maximalen Reinheit, die mit S=1 definiert ist. Daraus folgt, daß entlang der vertikalen Achse V die Grauskala liegt, wenn S=0 ist. Farben besitzen immer einen S-Wert größer 0. Die Intensität der Farbe schließlich wird über V bestimmt, der im Bereich von 0 (Schwarz) bis 1 (höchste Helligkeit) liegen kann

Die Arbeit mit dem HSV-Farbmodell ist denkbar einfach. Durch Angabe eines Winkels wird ein Farbton ausgewählt. Durch fortlaufendes Reduzieren der Sättigung kann man jeden Farbton zu Weiß ausbleichen. Ebenso kann jede Einfärbung durch Reduzierung von V zu Schwarz abgeblendet werden. Die Umrechnung der RGB-Werte in HSV-Werte erfolgt gemäß der bereits besprochenen Projektion des Einheitswürfels auf den Hexakegel. Die Achse V entspricht der Diagonalen durch den Ursprung (Schwarz) und Weiß. Der konkrete Wert von V ist gleich dem Maximum der RGB-Intensitäten. Die Werte H und S müssen aus der Position des Punktes im Sechseck berechnet werden, das durch Projektion des kleinsten, den RGB-Punkt beinhaltenden Würfels erzeugt wird.

Ist S = 0, so ist H nicht definiert, denn es handelt sich um einen Grauwert und nicht um einen Farbton. Die Rückrechnung erfolgt durch Umkehren des Algorithmus.

HLS: Blau als Nullpunkt

Ein dem HSV-Farbmodell ähnliches Modell wurde von Tektronix entwickelt. Es arbeitet mit den Parametern Hue (Farbe), L (Lightness, Helligkeit) und S (Saturation, Reinheit), woraus der Name HLS-Modell folgt. Auch hier werden die Farben in Form von Winkel angegeben, jedoch beginnt HLS mit Blau bei 0 Grad.

Der Parameter S entspricht dem des HSV-Modells und liegt ebenfalls im Bereich von 0 bis 1. Für S=0 erhält man eine Grauskala und für S=1 reine Farben. Obwohl der Parameter L in etwa dem V des HSV-Modell entspricht, gibt es hier jedoch einen entscheidenden Unterschied: HLS bildet einen Doppelkegel von L=0 (Schwarz) bis L=1 (Weiß), wobei die maximale Sättigung jedoch bei L=0,5 liegt. Die Umrechnung der Farben von RGB nach HLS erfolgt ähnlich der von RGB nach HSV.

Mit der Unit FARBE.PAS (*Listing 1*) folgt diesem theoretischen Teil eine Unit, die alle wichtigen Umrechen-Routinen enthält. Basis aller Konvertierungen ist immer das RGB-Modell, das in alle anderen Modelle umgewandelt werden kann. Soll beispielsweise CMY nach HLS konvertiert werden, muß man die CMY-Werte zunächst in RGB-Werte umrechnen und diese dann in HLS-Werte konvertieren. Wer will, kann natürlich Interface-Funktionen für sämtliche Kombinationen schreiben. Eine größere Verbreitung fanden nämlich nur RGB und HLS. Letzteres wird gerne von Grafikern angewandt.

Das Programm RGBTEST (*Listing 2*) zeigt den Einsatz der Unit FARBE.PAS. Allerdings werden die Eingaben nicht überprüft. Also bitte korrekte Werte eingeben!

Dietmar Bückart

Listing 1. Die Turbo-Unit FARBE.PAS

```
UNIT FARBE;

INTERFACE

PROCEDURE RGBtoCMY(    r, g, b : REAL;
                   VAR c, m, y : REAL);
PROCEDURE CMYtoRGB(    c, m, y : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);
PROCEDURE RGBtoYIQ(    r, g, b : REAL;
                   VAR y, i, q : REAL);
PROCEDURE YIQtoRGB(    y, i, q : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);
PROCEDURE RGBtoHSV(    r, g, b : REAL;
                   VAR h, s, v : REAL);
PROCEDURE HSVtoRGB(    h, s, v : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);
PROCEDURE RGBtoHLS(    r, g, b : REAL;
                   VAR h, l, s : REAL);
PROCEDURE HLStoRGB(    h, l, s : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);

IMPLEMENTATION

{ ************************************************************
  Bestimmt den kleinsten Wert des RGB-Tipels
  Eingabe : r, g, b im Bereich [0.0 .. 1.0]
  Rückgabe: kleinster Wert
  ************************************************************ }
FUNCTION MinRGB(r, g, b : REAL) : REAL;
CONST
  RValue : REAL = 1.0;
BEGIN
  IF (r < RValue)
    THEN RValue := r;
  IF (g < RValue)
    THEN RValue := g;
  IF (b < RValue)
    THEN RValue := b;
  MinRGB := RValue;
END;

{ ************************************************************
   Bestimmt den größten Wert des RGB-Tipels
   Eingabe : r, g, b im Bereich [0.0 .. 1.0]
   Rückgabe: größter Wert
  ************************************************************ }
FUNCTION MaxRGB(r, g, b : REAL) : REAL;
CONST
  RValue : REAL = 0.0;
BEGIN
  IF (r > RValue)
    THEN RValue := r;
  IF (g > RValue)
    THEN RValue := g;
  IF (b > RValue)
```

```
    THEN RValue := b;
  MaxRGB := RValue;
END;

{ ********************************************************
  Umrechnung RGB --> CMY: PROCEDURE RGBtoCMY
  Eingabe: r, g, b im Bereich [0.0 .. 1.0]
  Ausgabe: c, m, y im Bereich [0.0 .. 1.0]
  ******************************************************** }
PROCEDURE RGBtoCMY(    r, g, b : REAL;
                   VAR c, m, y : REAL);
BEGIN
  c := 1.0 - r;
  m := 1.0 - g;
  y := 1.0 - b;
END;

{ ********************************************************
  Umrechnung CMY --> RGB: PROCEDURE CMYtoRGB
  Eingabe: c, m, y im Bereich [0.0 .. 1.0]
  Ausgabe: r, g, b im Bereich [0.0 .. 1.0]
  ******************************************************** }
PROCEDURE CMYtoRGB(    c, m, y : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);
BEGIN
  r := 1.0 - c;
  g := 1.0 - m;
  b := 1.0 - y;
END;

{ ********************************************************
  Umrechnung RGB --> YIQ: PROCEDURE RGBtoYIQ
  Eingabe: r, g, b im Bereich [0.0 .. 1.0]
  Ausgabe: y, i, q im Bereich [0.0 .. 1.0]
  ******************************************************** }
PROCEDURE RGBtoYIQ(    r, g, b : REAL;
                   VAR y, i, q : REAL);
BEGIN
  y := 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b;
  i := 0.596 * r - 0.274 * g - 0.322 * b;
  q := 0.211 * r - 0.522 * g + 0.311 * b;
END;

{ ********************************************************
  Umrechnung YIQ --> RGB: PROCEDURE YIQtoRGB
  Eingabe: y, i, q im Bereich [0.0 .. 1.0]
  Ausgabe: r, g, b im Bereich [0.0 .. 1.0]
  ******************************************************** }
PROCEDURE YIQtoRGB(    y, i, q : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);
BEGIN
  r := 1.0 * y + 0.956 * i + 0.623 * q;
  g := 1.0 * y - 0.272 * i - 0.648 * q;
  b := 1.0 * y - 1.105 * i + 1.705 * q;
END;

{ ********************************************************
```

```
  Umrechnung RGB --> HSV: PROCEDURE RGBtoHSV
  Eingabe: r, g, b im Bereich [0.0 ..   1.0]
  Ausgabe: h       im Bereich [0.0 .. 360.0]
             s, v im Bereich [0.0 ..   1.0]
  Kommentar: gilt s = 0, dann ist h undefiniert
  ********************************************************** }
PROCEDURE RGBtoHSV(    r, g, b : REAL;
                   VAR h, s, v : REAL);
VAR
  r1, g1, b1, MinValue, HelpValue : REAL;
BEGIN
  v        := MaxRGB(r, g, b);
  MinValue := MinRGB(r, g, b);
  HelpValue:= v - MinValue;

  IF (v > 0.0)
    THEN s := HelpValue / v
    ELSE s := 0;
  IF (s > 0.0)
   THEN BEGIN
         r1 := (v - r) / HelpValue;
         g1 := (v - g) / HelpValue;
         b1 := (v - b) / HelpValue;
          IF (v = r)
           THEN BEGIN
                  IF (MinValue = g)          { magenta - gelb }
                   THEN h := 5 + b1
                   ELSE h := 1 - g1;
                END
           ELSE IF (v = g)
                  THEN BEGIN
                         IF (MinValue = b)    { gelb - cyan    }
                           THEN h := 1 + r1
                           ELSE h := 3 - b1;
                       END
                  ELSE BEGIN
                         IF (MinValue = r)    { cyan - magenta }
                           THEN h := 3 + g1
                           ELSE h := 5 - r1;
                       END;
           IF (h < 6)
             THEN h := h * 60
             ELSE h := 0;
        END;
END;

{ ********************************************************
  Umrechnung HSV --> RGB: PROCEDURE HSVtoRGB
  Eingabe: h       im Bereich [0.0 .. 360.0]
             s, v im Bereich [0.0 ..   1.0]
  Ausgabe: r, g, b im Bereich [0.0 ..   1.0]
  Kommentar: gilt s = 0, ist h undefiniert
  ********************************************************** }
PROCEDURE HSVtoRGB(    h, s, v : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);
VAR
  iValue             : INTEGER;
```

```
  fValue, s1, s2, s3 : REAL;

  PROCEDURE SetRGB(v1, v2, v3 : REAL);
  BEGIN
    r := v1;
    g := v2;
    b := v3;
  END;

BEGIN
  IF (s = 0)
    THEN BEGIN
           SetRGB(v, v, v);                 { h ist undefiniert }
           EXIT;
         END;

  h      := h / 60;
  iValue := TRUNC(h);
  fValue := h - iValue;
  s1     := v * (1.0 - s);
  s2     := v * (1.0 - s * fValue);
  s3     := v * (1.0 - s * (1 - fValue));

  CASE iValue OF
    0 : SetRGB( v, s3, s1);
    1 : SetRGB(s2,  v, s1);
    2 : SetRGB(s1,  v, s3);
    3 : SetRGB(s1, s2,  v);
    4 : SetRGB(s3, s1,  v);
    5 : SetRGB( v, s1, s2);
  END;
END;

{ ***********************************************************
   Umrechnung RGB --> HLS: PROCEDURE RGBtoHLS
   Eingabe: r, g, b im Bereich [0.0 ..   1.0]
   Ausgabe: h       im Bereich [0.0 .. 360.0]
               l, s im Bereich [0.0 ..   1.0]
   Kommentar: gilt s = 0, dann ist h undefiniert
   *********************************************************** }
PROCEDURE RGBtoHLS(    r, g, b : REAL;
                   VAR h, l, s : REAL);
VAR
  r1, g1, b1, MinValue, MaxValue, HelpValue : REAL;
BEGIN
  MaxValue := MaxRGB(r, g, b);
  MinValue := MinRGB(r, g, b);
  l        := (MaxValue + MinValue) / 2;
  HelpValue:= MaxValue - MinValue;

  IF (HelpValue = 0)
    THEN BEGIN
           s := 0;                                  { Grauwert }
           EXIT;
         END;

  IF (l > 0.5)
```

```
    THEN s := HelpValue / (2 - MaxValue - MinValue)
    ELSE s := HelpValue / (    MaxValue + MinValue);
  r1 := (MaxValue - r) / HelpValue;
  g1 := (MaxValue - g) / HelpValue;
  b1 := (MaxValue - b) / HelpValue;
  IF (MaxValue = r)
    THEN BEGIN
            IF (MinValue = g)                  { magenta - gelb }
              THEN h := 1 + b1
              ELSE h := 3 - g1;
         END
    ELSE IF (MaxValue = g)
           THEN BEGIN
                  IF (MinValue = b)            { gelb - cyan    }
                    THEN h := 3 + r1
                    ELSE h := 5 - b1;
                END
           ELSE BEGIN
                  IF (MinValue = r)            { cyan - magenta }
                    THEN h := 5 + g1
                    ELSE h := 1 - r1;
                END;
  IF (h < 6)
    THEN h := h * 60
    ELSE h := 0;
END;

{ ********************************************************
  Umrechnung HLS --> RGB: PROCEDURE HLStoRGB
  Eingabe: h       im Bereich [0.0 .. 360.0]
              l, s im Bereich [0.0 ..   1.0]
  Ausgabe: r, g, b im Bereich [0.0 ..   1.0]
  Kommentar: gilt s = 0, ist h undefiniert
  ******************************************************** }
PROCEDURE HLStoRGB(    h, l, s : REAL;
                   VAR r, g, b : REAL);
VAR
  s1, s2 : REAL;

  FUNCTION Interpol(winkel : INTEGER) : REAL;
  VAR
    farbe : REAL;
  BEGIN
    farbe := h + winkel;
    IF (farbe > 360)
      THEN farbe := farbe - 360;
    IF (farbe < 60)
      THEN Interpol := s1 + (s2 - s1) * farbe / 60
    ELSE IF (farbe < 180)
      THEN Interpol := s2
    ELSE IF (farbe < 240)
      THEN Interpol := s1 + (s2 - s1) * (240 - farbe) / 60
    ELSE Interpol := s1;
  END;

BEGIN
  IF (l > 0.5)
```

```
    THEN s2 := l + s - l * s
    ELSE s2 := l +     l * s;
  s1 := 2 * l - s2;
  IF (s > 0)
    THEN BEGIN
      r := Interpol(0);
      g := Interpol(240);
      b := Interpol(120);
    END
    ELSE BEGIN                          { h ist undefiniert }
      r := l;
      g := l;
      b := l;
    END;
END;

BEGIN
END.
```

Listing 2. Das Programm RGBTEST.PAS

```
PROGRAM RGBTEST;

USES CRT, FARBE;

VAR
  r, g, b, rVal1, rVal2, rVal3 : REAL;

BEGIN
  ClrScr;
  Writeln('Konvertieren von RGB-Werten in andere Farbsysteme');
  Writeln('Copyright (c) 1991 Dietmar Bückart & mc'^J^M);
  Writeln('Geben Sie RGB-Werte im Bereich von [0.0..1.0] ein.');
  Write('R: '); Readln(r);
  Write('G: '); Readln(g);
  Write('B: '); Readln(b);
  Writeln;
  IF (r < 0.0) OR (r > 1.0) OR
     (g < 0.0) OR (g > 1.0) OR
     (b < 0.0) OR (b > 1.0)
     THEN BEGIN
       Writeln('Da war ein ungütiger Wert dabei!');
       HALT(1);
     END;
  Writeln('RGB-Model:  R=', r:6:3,
                  '     G=', g:6:3,
                  '     B=', b:6:3);

  RGBtoCMY(r, g, b, rVal1, rVal2, rVal3);
  Writeln('CMY-Model:  C=', rVal1:6:3,
                  '     M=', rVal2:6:3,
                  '     Y=', rVal3:6:3);

  RGBtoYIQ(r, g, b, rVal1, rVal2, rVal3);
  Writeln('YIQ-Model:  Y=', rVal1:6:3,
                  '     I=', rVal2:6:3,
                  '     Q=', rVal3:6:3);

  RGBtoHSV(r, g, b, rVal1, rVal2, rVal3);
  Writeln('HSV-Model:  H=', rVal1:6:1,
                  '     S=', rVal2:6:3,
                  '     V=', rVal3:6:3);

  RGBtoHLS(r, g, b, rVal1, rVal2, rVal3);
  Writeln('HLS-Model:  H=', rVal1:6:1,
                  '     L=', rVal2:6:3,
                  '     S=', rVal3:6:3);
END.
```