

Friedrich Gierlinger

Neue Farben für HDTV – Farbräume für künftiges Fernsehen

Bereits vor 65 Jahren gab es die ersten Versuche zur Übertragung von farbigen Bildern: Am 4. September 1940 zeigte Peter Carl Goldmark bei der Columbia Broadcasting System (CBS) das „Field sequential“-Verfahren mit einem rotierenden Farbrad. Damit entstanden 343 Zeilen und 60 Vollbilder. Mit dem erst am 8. März 1941 durch das National Television System Committee akzeptierten 525-Zeilen-Standard für schwarz-weiß wäre die Technik freilich nicht kompatibel gewesen.

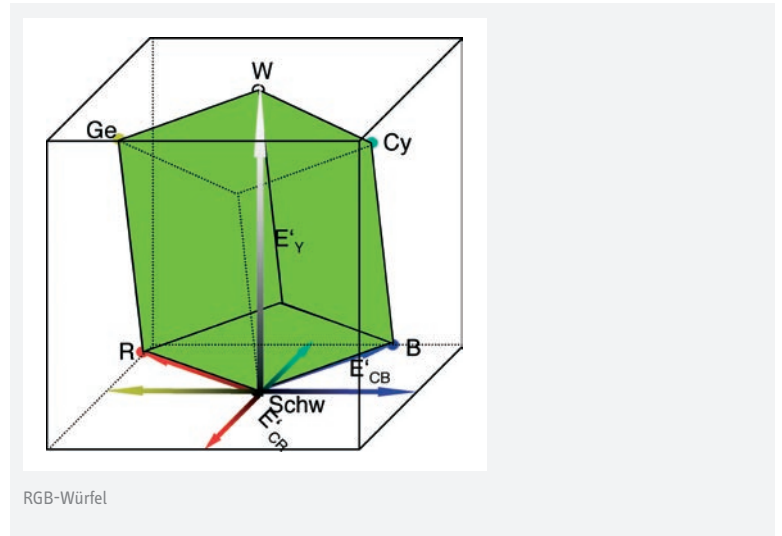
Am 15. Dezember 1953 erfolgte in den USA dann die erste compatible Farbfernsehübertragung über Sender der Rundfunkgesellschaften NBC und CBS nach dem bis heute gültigen NTSC-System.

Erst im November 1962 nahm sich auch Europa der Farb-Thematik an und gründete in London die „EBU Ad-hoc-Gruppe Farbfernsehen“. Bereits am 3. Januar 1963 konnte den Mitgliedern in Hannover ein „verbessertes“ NTSC-System präsentiert werden – das spätere PAL war geboren. Zum Laufen kam es am 24. August 1967 – nach dem Tastendruck durch Willy Brandt.

Ob nun NTSC, PAL oder Secam – mit all diesen Systemen sollen die Farbbilder beim Zuschauer möglichst originalgetreu auf dem Bildschirm wiedergegeben werden. Bei der Übertragung in hochauflösender Technik muss noch genauer darauf geachtet werden, dass die in der Szene vorherrschende Farb Stimmung auch beim Zuschauer ankommt. Dazu sind die von der Physik und der Physiologie vorgegebenen Rahmenbedingungen zu beachten. Da sowohl bei der Aufnahme bzw. Generierung von Videosequenzen als auch bei der Wiedergabe unterschiedliche Farbräume verwendet werden, sind die zu berücksichtigenden Maßnahmen nicht ganz trivial.

Farbraum der konventionellen Fernsehwelt

In den ersten 20 Jahren der Farbübertragung bezogen sich Produktions- und Sendestandard auf den FBAS-PAL-Pegelraum, der auf dem RGB-Pegelraum basiert. Erst durch die Definition der verwendeten Phosphore durch die EBU entstand ein definierter Farbraum. Sowohl Aufnahmen als auch Bearbeitung der Bildmaterialien wurden darin durchgeführt. Ab Mitte der 80er Jahre erfolgte die Bearbeitung der Videosignale im analogen, gamma-vorentzerten Komponentenfarbraum. Der RGB-Würfel ist kleiner als der für die Komponentensignale. Der Differenz-



raum zwischen RGB-Würfel und Komponenten-Würfel ist der Raum für die illegalen Farben. So gibt es Farben, die als Komponentensignal legal, als FBAS- bzw. RGB-Signal jedoch illegal sind.

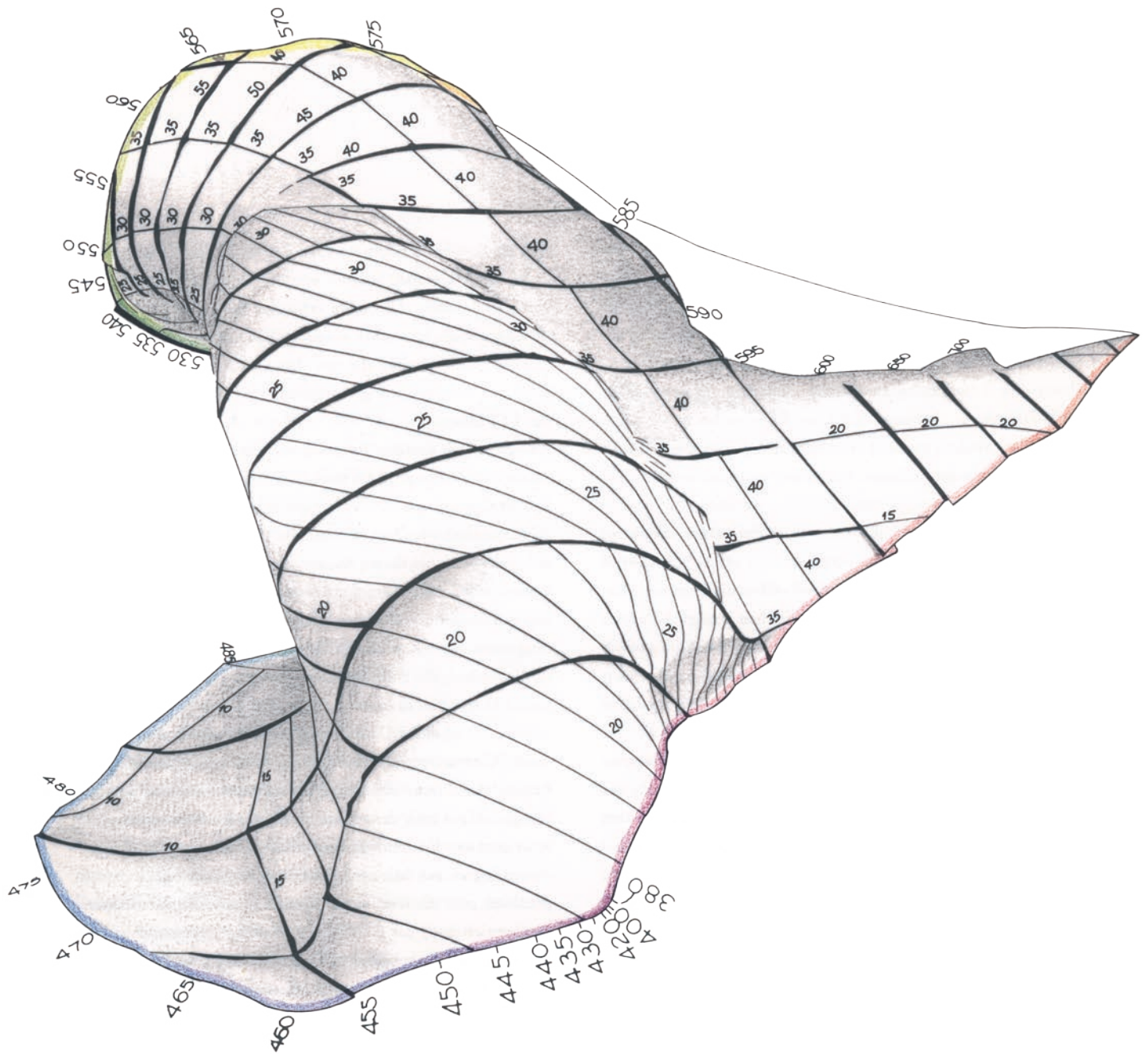
Bis Anfang der 90er Jahre kamen beim Fernsehen beide Farbräume zum Einsatz, die sich durch lineare Matrixgleichungen ineinander überführen ließen. Die Kontrolle der Bild- und Farbqualität erfolgte zunächst auf Monitoren der sogenannten Klasse 1 mit EBU-Phosphoren.

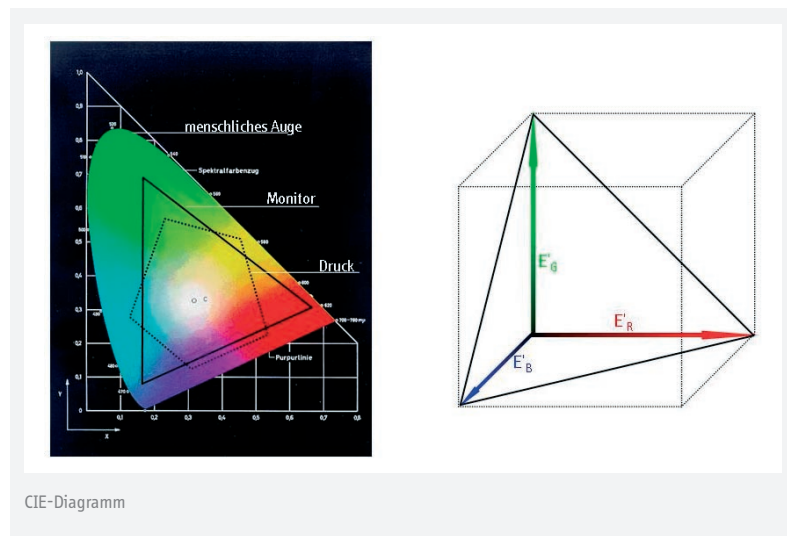
Weitere Farbräume

Mit der Einführung der computerbasierten Bearbeitungsplattformen eröffneten sich auch andere Farbräume, die nicht mehr linear in die Fernsehwelt zu importieren sind. Grafiken, Bilder und Sequenzen, die auf Computerbildschirmen generiert werden, können nur dann farbrichtig wiedergegeben werden, wenn zuvor eine Anpassung der beteiligten Farbräume erfolgt (Farbraum-Konversion).

Kameras mit Aufnahmeröhren und EBU-Phosphore werden kaum noch eingesetzt. Die Elektronik der neuen Halbleiterkameras sorgt für farbmetrisch gleiche Signale. Bei der Wiedergabe mit Bildröhren, die ebenfalls mit den von der EBU festgelegten Phosphoren arbeiten, ist keine Konvertierung notwendig. Scanner, digitale Standbildkameras, Flachbildschirme und auch Druckmedien nutzen hingegen meist andere Farbräume. Hinzu kommt, dass für die Wiedergabe auf den herkömmlichen Röhrenmonitoren die additive Farbmischung verwendet wird, während die Druckmedien mit subtraktiver Farbmischung arbeiten. Einmal entsteht die Mischfarbe durch Addieren von mindestens zwei Lichtquellen unterschiedlicher Wellenlängen und zum anderen durch Herausfiltern verschiedener Wellenlängen aus dem Lichtspektrum. Die Überführung der einen Technik in die andere ist nicht linear und daher kaum ohne Artefakte möglich.

Nachfolgend werden einige Farbräume näher betrachtet, die für das moderne Produktionsumfeld eine Rolle spielen.





Perzeptuelle Farbräume

Computerbasierte Bearbeitungsplattformen verwenden vielfach perzeptuelle Farbräume, die durch Farbton, Helligkeit und Sättigung beschrieben werden. Damit wird eine Farbauswahl möglich, die im Allgemeinen als recht natürlich empfunden wird. Der Maler Albert Henry Munsell (1858–1918) entwickelte 1915 eine Farbmustersammlung, die auf der „empfindungsgemäßen Gleichabständigkeit“ der Farben beruht.

Ausgehend von dieser Farbmustersammlung entstanden verschiedene perzeptuelle Farbräume, die den Farbton (Hue) als eine Achse des jeweiligen Farbraummodells wählten und sich daher sehr stark ähneln.

CIE-Farbräume

In den 20er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wuchs das Bedürfnis, Farben mathematisch bestimmen zu können. Die passende Methode hierfür entwickelte die 1913 in Wien gegründete „Commission Internationale de l'Éclairage“ (CIE). Nach umfangreichen Versuchsreihen konnte ein zweidimensionales CIE 1931-Diagramm konstruiert werden, bei dem sich die Position jeder Farbe in Relation zu ihrer Primärfarbe berechnen lässt.

Durch die zweidimensionale Darstellungsweise ist die Farbbeschreibung mit Farbton und Sättigung bei nur zwei Normfarbwertanteilen x und y möglich. Allerdings gilt die dann nur für eine spektrale Helligkeit, und außerdem sind die Farben sehr ungleichmäßig im Farbempfindungsraum verteilt.

Um eine gleichmäßigere Verteilung der Farbempfindung zu erreichen, wurde 1976 von der CIE der CIELUV-Farbraum beschrieben. L steht dabei für Helligkeit, U für Rot-Grün und V für Gelb-Blau. Damit werden gleiche Abstände der Farben im Diagramm auch als gleiche Farbunterschiede wahrgenommen.

Die dazu eingeführte CIE $u'v'$ -Farbtafel eignet sich gut zum empfindungsrichtigen Erkennen farbmischer Zusammenhänge bei Untersuchungen von Monitoren und Projektoren sowie der Farbeigenschaften von Bildaufnahmegegeräten. Der ebenfalls 1976 von CIE eingeführte CIE Lab-Farbraum schließlich vereint die gleichmäßige Empfindung der Farben mit einer dreidimensionalen Farbraum-Darstellung. CIE Lab wird

oft als geräteunabhängiger Farbraum für die Umrechnung zwischen verschiedenen Farbräumen (Profile Connection Space; PCS) verwendet.

Normen und Zusammenhänge der verschiedenen Farbräume

Der RGB-Farbraum basiert auf der additiven Farbmischung mit den realen Primärfarben Rot, Grün und Blau. Der kann in einem dreidimensionalen, kartesischen Koordinatensystem als Würfel dargestellt werden.

Die Positionierung des Dreiecks im CIE 1931-Diagramm hängt von den in den Geräten verwendeten Phosphoren ab. Aus diesem Grund ist der RGB-Farbraum geräteabhängig. Für die in Europa verwendeten Farbfernsehensysteme wurden EBU-Phosphore festgelegt, mit dem eine farbmisch korrekte Wiedergabe der Videosignale gewährleistet ist. Der bis 1979 gültige und in der FCC 1953 festgelegte Farbraum für NTSC zeigt größere Unterschiede zu dem in Europa verwendeten EBU-Farbraum. Deshalb fällt bei der Überspielung von altem NTSC-Material eine fehlende Farbkorrektur besonders auf. Die neuere SMPTE C-Festlegung ist deutlich stärker an den europäischen Werten orientiert.

Mit der HDTV-Technik werden die Anforderungen auch an die farbliche Präzision der Aufnahme- und Wiedergabegeräte deutlich höher. Die Grundfarben der Standard-Fernsehnormen und der HD-Standard sind gewissermaßen eingerahmt durch den möglichen Farbraum des Films.

Der für HD verwendete Farbraum ist im Vergleich zum europäischem SD nur für die Grundfarbe Grün etwas größer und entspricht dem von Microsoft und HP entwickelten, unter IEC61966-2-1 genormten sRGB-Farbraum.

Die Filmtechnik, Farbdrucker und die gängigen Druckmaschinen arbeiten mit der subtraktiven Farbmischung im CMY-Farbraum. Für die Filmtechnik sind die drei Primärfarben Cyan (Türkis), Magenta (Fuchsinrot) und Yellow (Gelb) ausreichend. In der Drucktechnik hingegen wird häufig noch Schwarz hinzugefügt und der Farbraum mit CMY(K) bezeichnet. In der digitalen Druckerei sind auch bis zu 16 Grundfarben möglich.

Wie der RGB-Farbraum ist auch der CMY(K)-Farbraum gerätespezifisch, da dieser von den verwendeten Farbpigmenten bei Druckerzeugnissen bzw. von den Farbstoffen beim Film abhängig ist. Wegen der Streueffekte der verwendeten Farbpigmente ist die Umwandlung in den jeweils anderen Farbraum ein nicht linearer Prozess. Die jeweiligen Primärfarben des Quell-Farbraumes müssen im Ziel-Farbraum durch ähnliche Farben ersetzt werden.

Farbraumkonvertierung

Für eine Farbraumkonversion müssen sowohl Quell- als auch Ziel-Farbraum genau beschrieben sein. Um nicht für jede Kombination von Quell- und Ziel-Farbraum eigene Profile ermitteln zu müssen, wird ein geräteunabhängiger Verbindungsfarbraum gewählt, auch „Profile Connection Space“ (PCS) genannt. Damit ist je Farbraum nur noch ein Profil zum und vom PCS notwendig.

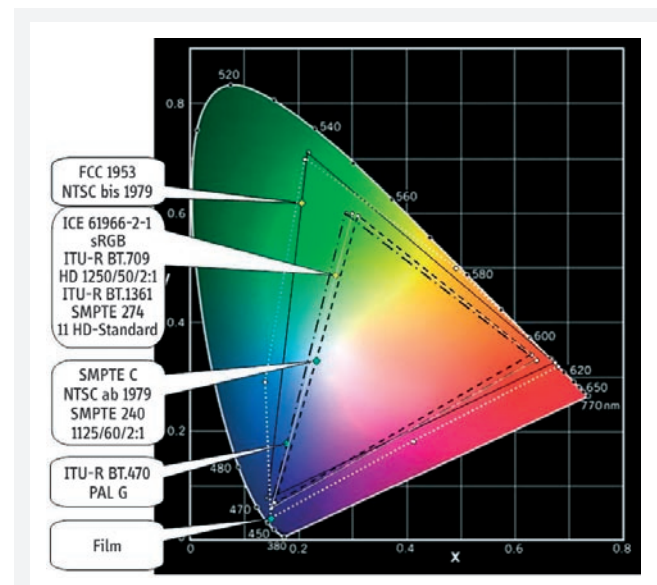
Eine Anpassung von Farbräumen kann je nach Größenverhältnissen der beteiligten Farbräumen eine Kompression oder eine Erweiterung des Quellen-Farbraumes zur Folge haben. Da dies meist mit Artefakten verbunden ist, kann unter den verschiedenen so genannten „Rendering Intents“ ausgewählt werden, welche Artefakte mit der Farbraumkonversion in Kauf genommen werden. In den Profilen sind dazu für die verschiedenen „Rendering Intents“ jeweils eigene Profiltabellen festgelegt.

Das International Color Consortium ICC hat ein Verfahren zur Beschreibung der Farbräume und der Farbraumtransformation entwickelt. Mit einem beim ICC entwickelten Programm lassen sich Farbräume dreidimensional vergleichen.

Farbmanagement in der Praxis

Im ursprünglichen EBU-Fernsehfeld ist eine Farbraumtransformation nicht erforderlich. Erst bei Geräten mit „fremden“ Farbräumen wird eine Farbraumkonversion notwendig.

Werden nicht rundfunkspezifische Quellen und Senken in die Fernsehstudios integriert, müssen die jeweiligen Farbräume über den PCS konvertiert werden. Gleiches gilt, wenn Inhalte aus Fernsehstudios mit PC-Grafiksystemen bearbeitet werden sollen. Fehlende Profile müssen



CIE-Diagramm mit verschiedenen Farbräumen für SD, HD und Film

durch Kalibrierung und anschließende Profilierung erstellt werden. Für die Profilierungen von Videogeräten (Filmabtaster und -belichter, Videokameras etc.) ist bislang erst wenig Software am Markt. Für Eingabegeräte wie Scanner oder Digitalkameras gibt es vom Hersteller standardisierte Vorlagen, um Abweichungen vom Farbprofil ermitteln zu können.

Monitore können präzise mit einem Spektralphotometer und einer entsprechenden Software geeicht werden. Dazu gibt die Profilierungssoftware nacheinander verschiedene Farben auf dem Monitor wieder, die mit dem Spektralphotometer gemessen und mit Referenzwerten verglichen werden. Daraus wird das Monitorprofil berechnet, wobei auch die Eigenschaften der Grafikkarte berücksichtigt werden.

In jedem Fall wird es notwendig, die Farben möglichst originalgetreu zum Kunden zu bringen. Insbesondere die TV-Werbebeiträge müssen möglichst farbgetreu übertragen werden, damit auch der Endverbraucher mit dem Produkt eine Farbreferenz hat. Sollen Videobeiträge in hochauflösender Technik hergestellt und ausgestrahlt werden, müssen die Übergänge in die verschiedenen Farbräume besonders sorgfältig durchgeführt werden. Durch korrektes Farbmanagement kann selbst die sehr kritische Farbe „Terrakotta-Gold“ über Drucker mit Farbmanagement ausgedruckt, diese als Hintergrund bei einer Studioaufnahme genutzt werden und erscheint dennoch beim Endverbraucher als „Terrakotta-Gold“.