

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh- Postproduktion

*Christina Hacker, Tran Quoc Khanh -
R&D-Abteilung ARRI Cinetechnik /München
eMail: tkhanh@arri.de*

1. Einleitung

Farbe ist neben der Bildschärfe das technisch wichtigste Kriterium bei der Herstellung von Produktionen für Film und TV. Auch wenn die Farbe im Kino und TV selten so erscheint, wie sie der Kameramann gesehen hat, ist es notwendig die Differenzen doch so klein wie möglich zu halten.

Es stellt sich die Frage, wie groß dürfen Farbdifferenzen überhaupt sein, damit sie vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden und wie sind die Unterschiede beschaffen, die ein Mensch wahrnimmt? Ziel dieser Arbeit ist es, dies speziell in einem Umfeld, das sich täglich mit den Problemen der Farbdifferenzierung in der Postproduktion beschäftigt, zu untersuchen.

2. Bedeutung der Farbwahrnehmung in der Postproduktion

Lichtbestimmer bzw. Coloristen sind der Garant einer gelungenen Film- und TV-Produktion. Es sind Menschen, die durch ihre oft jahrzehntelange Erfahrung eine Farbe beurteilen und so verändern können, daß sie den Angaben der Regisseure und Kameraleute entspricht. Durch das tägliche Training sollte ihren Augen eigentlich kein Farbunterschied verborgen bleiben. Das heißt, die Schwelle ab wann für sie ein Farbunterschied deutlich sichtbar ist, sollte niedriger liegen, als bei Personen, die sich nicht jeden Tag mit Farbbeurteilung auseinandersetzen.

Der Weg vom Kameranegativ ins Kino ist ein langer Weg. Auf diesem Weg sind die Coloristen gefordert oft mehrere Abnahmen mit Kameramann und Regisseur durchzuführen und eine Vielzahl von Korrekturen vorzunehmen. Die Farbveränderungen bewegen sich dabei oft nur in minimalen Bereichen. Voraussetzung für die Funktionalität des Ablaufs sind nicht nur die geübten Augen der Coloristen, sondern auch die Sehbedingungen am Coloristenarbeitsplatz, die Schwankungen im Kopierwerksprozeß und die Beleuchtungsverhältnisse in den Abnahmekinos.

Die SMPTE RP166-1995 legt die Sehbedingungen für die Beurteilung von Farbbildern im TV-Bereich fest. So sollte die Hintergrundbeleuchtung etwa 10 % der maximalen Leuchtdichte auf dem Monitor betragen, die mit einem Wert von 120 cd/m^2 angegeben wird. In Film- und TV-Produktionshäusern ist es betriebsintern üblich das Monitorweiß bei der Lichtart D65 auf maximal 80 cd/m^2 einzustellen und bei 20% Weiß auf einen Wert von $2,2 \text{ cd/m}^2$.

3. Farbtheorie /1,2,3/

3.1 Das CIELAB-System

Diese Arbeit bezieht sich bei allen Berechnungen auf das LAB-System der CIE. Dies baut auf den Koordinaten L, a und b auf, die sich aus den primären Farbwerten X,Y,Z der Farbe und aus den X,Y,Z-Werten des Referenzweiß durch eine nichtlineare Transformation ergeben. Aus Gründen der Lesbarkeit wird hier nur die vereinfachte Schreibweise L, a und b verwendet und nicht mit * wie nach DIN 6174 gefordert.

L, a, b spannen ein räumliches Koordinatensystem auf, mit der a-Achse (Rot/Grün), der b-Achse (Blau/Gelb) und der senkrecht dazu stehenden L = Helligkeitsachse/7/ (siehe Bild1).

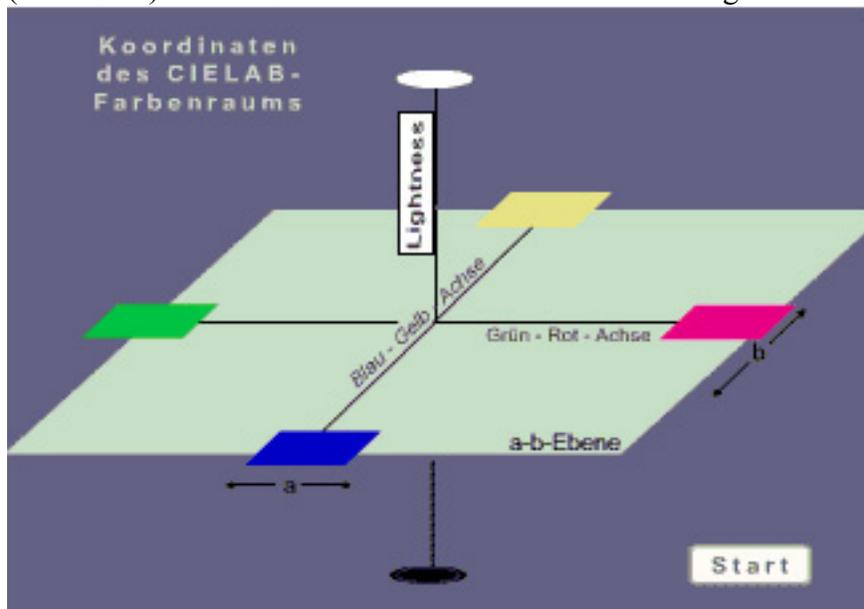


Bild1: Der CIELAB-Farbraum (Quelle: www.Farbmetrik-Gall.de)

Die Abszisse a und die Ordinate b kennzeichnen die Farbartebene. Der a-Wert bezeichnet die Lage einer Farbe gewissermaßen nach **Rot-Grün**-Gehalt, der b-Wert nach **Blau-Gelb**-Gehalt.

L, a und b werden rechnerisch aus den X, Y und Z Werten des XYZ- Farbraums bestimmt.

Lightness L

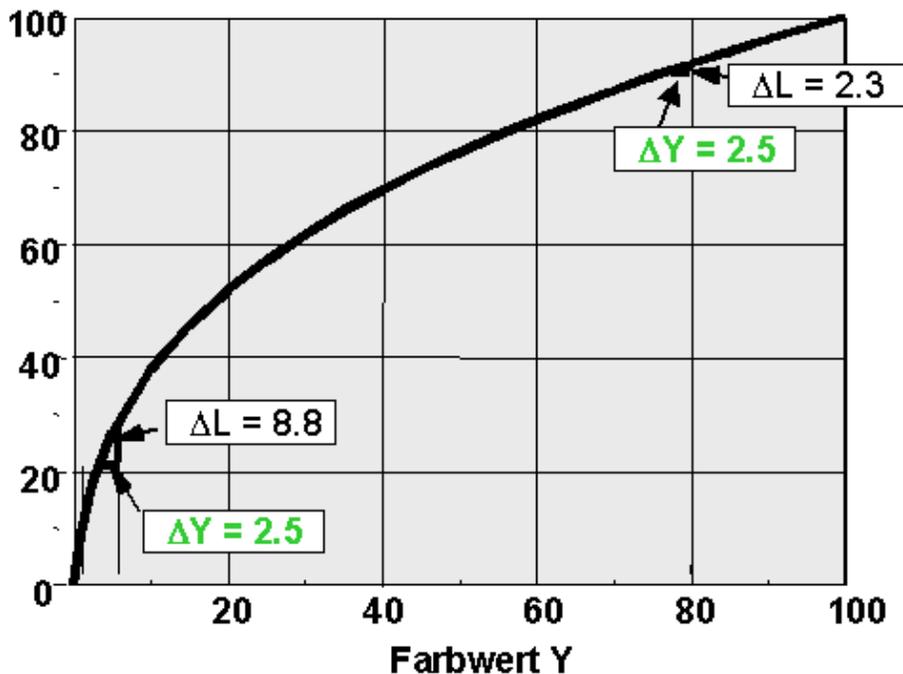


Bild 2: Zusammenhang zwischen Lightness L und dem Farbwert Y (Quelle: www.Farbmetrik-Gall.de)

Die nichtlineare Transformation von dem Farbwert Y zu L berücksichtigt den Sachverhalt, daß das menschliche Sehsystem gleiche Y-Unterschiede bei dunklen Farben sehr viel stärker als bei hellen Farben empfindet (siehe Bild 2).

Mit den Farbwerten X, Y, Z der zu betrachtenden Farbe und den Farbwerten des Referenzweiß: X_s ; Y_s ; Z_s lassen sich L, a und b wie folgt berechnen:

$$\begin{aligned} L &= 116 * (Y/Y_s)^{1/3} - 16 \\ a &= 500 * ((X/X_s)^{1/3} - (Y/Y_s)^{1/3}) \\ b &= 200 * ((Y/Y_s)^{1/3} - (Z/Z_s)^{1/3}) \end{aligned} \quad L > 0,008856$$

3.2. Die CIELAB- ΔE -Formel

Die "empfindungsgemäße" Farbdifferenz (ΔE) zwischen einer Farbprobe und Bezugsfarbe ergibt sich aus den Werten L, a und b jeweils von Probe und Bezug. ΔE wird mit folgender Formel berechnet:

$$\Delta E = [(L_P - L_B)^2 + (a_P - a_B)^2 + (b_P - b_B)^2]^{0,5}$$

Indexerläuterung: P -> Probe; B -> Bezug

In dieser Formel wird deutlich, daß die Differenz in der Helligkeit in dem gleichen Maße wie die Differenzen der Farbkoordinaten a und b in die Farbdifferenz eingehen.

4. Meßaufbau und Probandenauswahl

4.1 Meßaufbau

Der Meßplatz wurde in einem Optiklabor eingerichtet und so gestaltet wie ein typischer Monitorarbeitsplatz in der Film-Postproduktion.

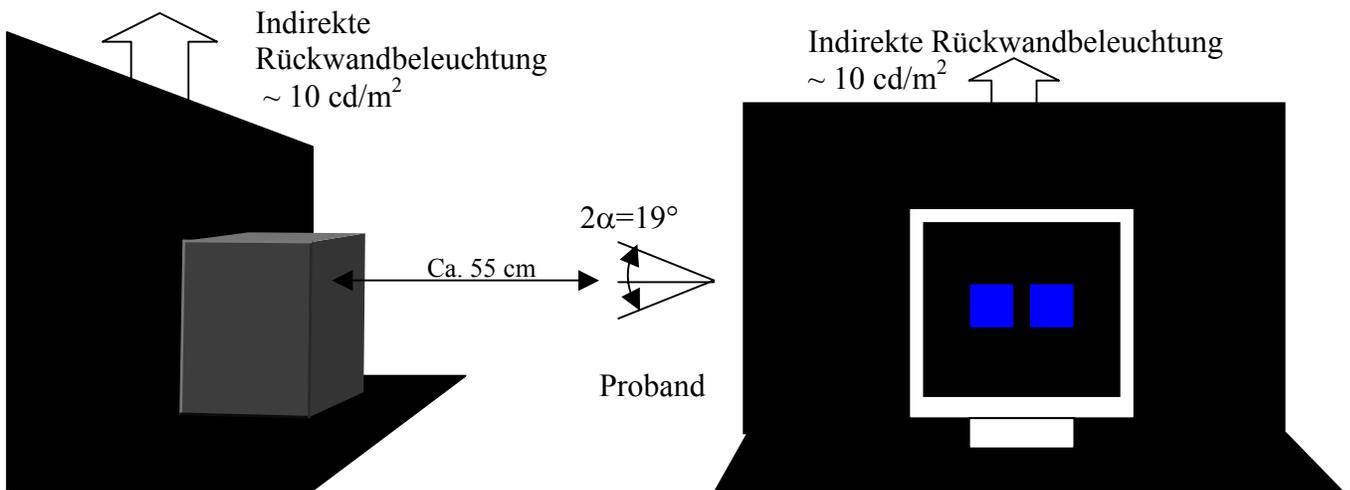


Bild 3: Der Versuchsaufbau von der Seite und von vorn (Skizze)

Die Rückwandbeleuchtung entsprach einem Wert von $\sim 10 \text{ cd/m}^2$. Alle störenden Einflüsse wurden beseitigt, so daß ein neutraler Eindruck für die Probanden entstand. Der CRT-Monitor wurde mit einer schwarzen Pappe abgekascht, um die Farbproben klein zu machen und so störende Einflüsse wie Buttons und Taskleisten aus der Programmsoftware zu unterdrücken und um außerdem eventuell vorhandenen flächige Farbschlieren auf dem Monitor abzugrenzen. Die Farbproben wurden auf der Mitte des Bildschirms präsentiert und deutlich voneinander getrennt. (siehe Bild 4) Das auf dem Monitor gezeigte Bild ist statisch und unstrukturiert. Der Sehwinkel 2α betrug ca. 19° .

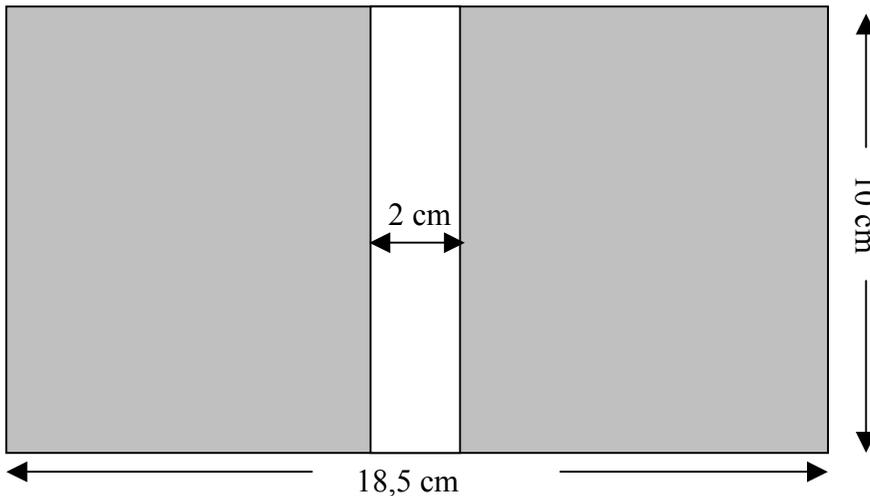


Bild 4: Skizze der Probenanordnung

Es wurde ein CRT-Monitor verwendet, weil in der Postproduktion heute und in absehbarer Zeit hauptsächlich an CRT's gearbeitet werden wird.

4.2 Monitorweiß

Die Leuchtdichte am Monitor bei Weiß betrug 96 cd/m^2 und bei Schwarz $\sim 0,4 \text{ cd/m}^2$ und damit zwischen den Angaben der SMPTE und den in Postproduktionshäusern üblichen Werten. Vor der Messung wurde eine Kalibrierung des Monitor auf D65 mittels einer Software der Firma ColorSolutions vorgenommen.

4.3 Farbproben

Die Farbproben wurden unter Zuhilfenahme des Programms Photoshop von Adobe generiert. Um die Farbauswahl einzuschränken, wurden nur Lab- Farbwerte von Rot (100%), Grün (100%), Blau (100%), Cyan, Magenta, Gelb, Hautfarben und Unbunt variiert. Die verwendete Lab-Farbwerte für Cyan, Magenta, Gelb und Haut stammen aus den Daten des Macbeth-Colorcheckers. Es wurden die Lab-Werte vorgegeben und theoretisch variiert (siehe Tabelle 1a). Die Auswahl der Farbproben erfolgte sowohl rechnerisch, als auch nach visuellen Gesichtspunkten. Die obere Zeile zeigt das ΔE . Die Spalten darunter die dazugehörigen Lab-Farbkoordinaten für die jeweilige Farbe (Weiß = Hautton). Die mittlere graue Spalte enthält die Original-Farbwerte, die auf den linken Patches angezeigt werden. Die Originalwerte wurden jeweils entweder in der Luminanz oder in den Farbkomponenten a bzw. b variiert. Bei den mit

XXX markierten Werten ist der visuell sichtbare Unterschied schon zu groß, so dass sie nicht verwendet wurden. Tabelle 1b zeigt die Variation der Unbuntwerte.

| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | ΔE | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|-----|------|------|------|------|------------|---|------|------|------|------|-----|
| XXX | XXX | XXX | | 28 | 29 | 30 | L | 31 | 32 | 34 | 38 | XXX |
| | 43 | 52 | 60 | 64 | 66 | 68 | a | 70 | 71 | 72 | XXX | |
| XXX | | -128 | -120 | -116 | -114 | -112 | b | -111 | -110 | -109 | -108 | XXX |
| XXX | XXX | | 51 | 52 | 53 | 54 | L | 55 | 56 | 57 | 58 | XXX |
| XXX | XXX | | 73 | 77 | 79 | 81 | a | 83 | 85 | 89 | 97 | 106 |
| | 45 | 54 | 62 | 66 | 68 | 70 | b | 72 | 74 | 78 | XXX | XXX |
| XXX | | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | L | 89 | 90 | 92 | 96 | 100 |
| XXX | XXX | XXX | | -81 | -80 | -79 | a | -78 | -77 | -75 | -71 | XXX |
| XXX | XXX | | 73 | 77 | 79 | 81 | b | 83 | 85 | 89 | 97 | 106 |
| XXX | XXX | XXX | | 64 | 65 | 66 | L | 67 | 68 | XXX | XXX | XXX |
| XXX | XXX | | 23 | 24 | 25 | 26 | a | 27 | XXX | XXX | XXX | XXX |
| XXX | XXX | XXX | | 20 | 21 | 22 | b | 23 | 24 | 25 | XXX | XXX |
| XXX | | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | L | 75 | 76 | 77 | XXX | XXX |
| | -40 | -39 | -38 | -37 | -36 | -35 | a | -34 | -33 | -32 | -31 | -30 |
| XXX | XXX | | -2 | -1 | 0 | 1 | b | 2 | 3 | XXX | XXX | XXX |
| XXX | XXX | XXX | | 51 | 52 | 53 | L | 54 | 55 | XXX | XXX | XXX |
| | 63 | 64 | 66 | 65 | 66 | 67 | a | 68 | 69 | 70 | 71 | 75 |
| XXX | XXX | | -18 | -17 | -16 | -15 | b | -14 | -13 | -12 | -11 | XXX |
| XXX | XXX | | 83 | 84 | 85 | 86 | L | 87 | 88 | XXX | XXX | XXX |
| XXX | | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | a | 1 | 2 | 3 | 4 | XXX |
| | 77 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | b | 86 | 87 | 88 | 89 | XXX |

Tabelle 1a: Auswahl der Farbproben

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| L | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| a | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0 | -1 |
| b | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | | |
| L | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 | | | | | | | | | |
| a | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0 | -1 | 0 | 1 | 0 | 1 | -1 | 0 | -1 | | | | | | | | | |
| b | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 | | | | | | | | | |

Tabelle 1 b: Auswahl der Unbuntproben

Die variierten Lab-Daten wurden in das Programm Photoshop eingegeben, das daraus entsprechende RGB-Farben erzeugte. Die Fehler, die eventuell beim Umrechnen vom Lab-Raum zum RGB-Raum durch Photoshop entstehen, sind für den Versuch nicht ausschlaggebend, da die Farbfelder am Monitor nachgemessen wurden und für die ΔE -Berechnung nur die gemessenen Daten verwendet wurden. Die generierten Bilder bestanden aus zwei Farbpatches (links die Originalfarbe rechts variierte Farbe) (siehe Bild 5). Zur Bestimmung der am Monitor tatsächlich dargestellten Farbe wurden die Farbproben mit einem Spektralradiometer nachgemessen.

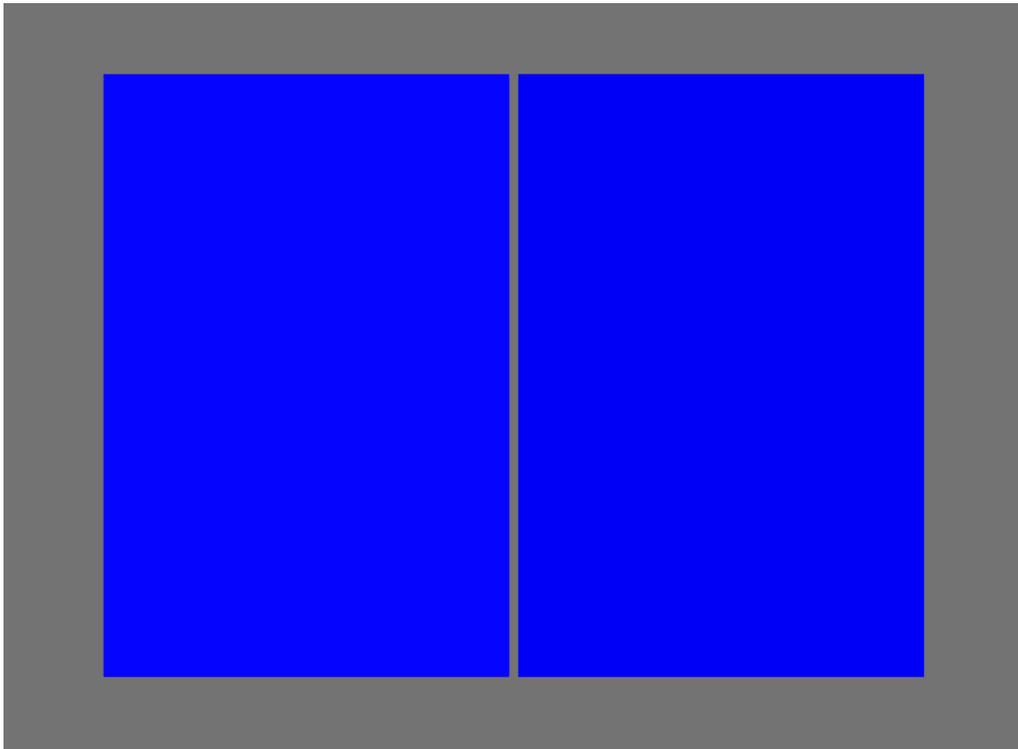


Bild 5: erzeugte Farbprobe

4.4 Messungen, Meßgerät und ΔE -Berechnung

Die Farbproben wurden am Monitor mit dem EYE ONE-Spektralradiometer von Gretag-Macbeth vermessen. Das Gerät macht eine Spektralanalyse mittels eines Holographischen Beugungsgitters mit Diodenreihe. Der Spektralbereich liegt zwischen 380 – 730 nm, die optische Bandbreite mißt 10 nm, das Sampling-Intervall 3,5 nm. Bei Aufnahme von Emissionsspektren erfolgt eine spektralradiometrische Emissionsmessung der Luminanz in einem Meßbereich von 0...300 cd/m² bei einer Meßöffnung von 4,5 mm. Die Ausgabe der Meßdaten erfolgte als X, Y und Z-Werte.

Um den genauen Wert von ΔE zwischen beiden Farbproben zu erhalten, wurde sowohl das linke als auch das rechte Patch spektral vermessen. Aus den gemessenen Daten wurde ΔE nach der Formel aus Kapitel 3 berechnet. Zur Sicherheit wurden 2 Messungen durchgeführt und die Daten gemittelt.

Tabelle 2 soll die Unterschiede am Beispiel Blau zeigen, die sich aus den berechneten ΔE (ΔE_{th}) und den gemessenen ΔE (ΔE_1 – Messungen in Bezug auf rechtes Patch und ΔE_2 – Messung in Bezug auf linkes Patch) ergeben. Sehr deutlich treten hier die Grenzen des Monitorgamuts zu Tage. Aber auch die Rundungsfehler von Photoshop, die schon beim Erstellen der Farbproben auftreten sind sichtbar. Die Werte von ΔE_1 und ΔE_2 lagen bei allen Farben etwa im selben Bereich.

| Blau in Lab | ΔE_{th} | ΔE_1 | ΔE_2 | ΔE_m |
|-------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| 27 68 -112 | 3,0 | 1,4 | 2,2 | 1,8 |
| 28 68 -112 | 2,0 | 0,2 | 1,5 | 0,8 |
| 29 68 -112 | 1,0 | 0,4 | 1,1 | 0,8 |
| 30 43 -112 | 25,0 | 17,7 | 18,8 | 18,2 |
| 30 52 -112 | 16,0 | 13,4 | 14,5 | 13,9 |
| 30 60 -112 | 8,0 | 6,8 | 7,9 | 7,4 |
| 30 64 -112 | 4,0 | 4,1 | 5,3 | 4,7 |
| 30 66 -112 | 2,0 | 2,1 | 3,3 | 2,7 |
| 30 68 -96 | 16,0 | 14,0 | 14,3 | 14,2 |
| 30 68 -108 | 4,0 | 3,3 | 3,5 | 3,4 |
| 30 68 -109 | 3,0 | 2,2 | 2,3 | 2,2 |
| 30 68 -110 | 2,0 | 1,3 | 1,5 | 1,4 |
| 30 68 -111 | 1,0 | 0,5 | 1,1 | 0,8 |
| 30 68 -112 | 0,0 | 0,0 | 1,3 | 0,7 |
| 30 68 -114 | 2,0 | 0,6 | 1,8 | 1,2 |
| 30 68 -116 | 4,0 | 1,0 | 2,2 | 1,6 |
| 30 68 -120 | 8,0 | 2,1 | 3,3 | 2,7 |
| 30 68 -128 | 16,0 | 4,4 | 5,5 | 5,0 |
| 30 70 -112 | 2,0 | 1,0 | 1,4 | 1,2 |
| 30 71 -112 | 3,0 | 1,6 | 1,7 | 1,7 |
| 30 72 -112 | 4,0 | 1,7 | 1,9 | 1,8 |
| 30 73 -112 | 5,0 | 2,9 | 2,7 | 2,8 |
| 31 68 -112 | 1,0 | 1,8 | 2,6 | 2,2 |
| 32 68 -112 | 2,0 | 2,9 | 3,6 | 3,3 |
| 34 68 -112 | 3,0 | 5,3 | 6,0 | 5,6 |
| 38 68 -112 | 4,0 | 11,2 | 11,8 | 11,5 |

Grenze des
Monitorgamuts
Lab-Werte nicht
mehr darstellbar

Tabelle 2: ΔE im Vergleich am Beispiel Blau

4.5 Probandenauswahl

Bei der Auswahl der Probanden wurden zwei Gruppen definiert: Profis und „normale Testpersonen“. Zu den Profis zählten Coloristen und Fotoingenieure, also Personen die täglich mit Farbe und Farbkorrektur im Filmkopierwerk und TV-Postproduktionen konfrontiert sind. Die normalen Testpersonen sind meistens Entwicklungsingenieure, Physiker und Kameratechniker die nicht unbedingt täglich mit Farbwahrnehmung zu tun haben. Diese normalen Personen sind dennoch auf Grund ihrer Qualifikation und Berufsinhalte dem Testziel gegenüber durchaus kritisch, interessiert und aufgeschlossen.

| | Anzahl | davon Frauen |
|----------------------|--------|--------------|
| Profis | 12 | 5 |
| Normale Testpersonen | 15 | 5 |

Tabelle 3: Probandenstruktur

Das Durchschnittsalter lag bei 36 Jahren. Alle Altersschichten zwischen 20 und 60 Jahren waren vertreten.

4.6 Fragebogen

Für jede Farbe wurde ein Blatt angelegt, auf dem die einzelnen Farbvariationen verzeichnet waren, in der Reihenfolge wie sie am Monitor präsentiert wurden. Die Probanden wurden gefragt, ob sie einen Unterschied sehen – **Ja**, ob nicht – **Nein** oder ob sie **Unsicher** waren. Bei letzterem wurde noch näher nach der Tendenz gefragt, d. h. zu welchem der beiden Antworten sie eher neigen würden (eher **Ja** oder eher **Nein**).

Außerdem wurden noch persönliche Daten wie Alter und Geschlecht festgehalten.

4.7 Versuchsablauf

Vor dem Versuch mußten die Probanden erst einige Minuten (meistens 7-10 Minuten) im Versuchsraum zur besseren Adaptation verbringen. In einem Gespräch wurde ihnen der Zweck des Versuchs und der Versuchsablauf erklärt und die persönlichen Daten für den Fragebogen aufgenommen. Begonnen wurde der Versuch mit Unbunt danach Blau, Grün, Rot, Cyan, Magenta, Gelb. Den Abschluß bildeten die Farbproben der Haut.

5. Auswertung

5.1 Allgemeines

Es war nur eine qualitative Aussage möglich. Die Testdurchführenden strebten von Anfang an einen Wertebereich für ΔE an und die Festlegung nicht auf einen einzigen Wert zu konzentrieren. Der Grund dafür liegt zum größten Teil in den doch stark differierenden Wertungen durch die Probanden. Zudem kommt noch, das die Meßbedingungen sehr empfindlich auf Einflüsse wie Klima (Sonnen- oder Regentag), Gesundheit und Konzentrationsfähigkeit reagieren.

Jede Farbe wurde einzeln ausgewertet. Es wurde dabei unterschieden zwischen Luminanz und Farbartkomponenten. Das heißt L, a und b wurden in einem Diagramm einzeln dargestellt (siehe Bild 6 am Beispiel für Blau). Die ΔE -Werte folgen einer absteigenden und einer aufsteigenden Ordnung. Die Testreihenfolge wurde begonnen bei Farbproben mit großen ΔE -Werten, die sich schrittweise auf ein Minimum verringern und danach wieder ansteigen.

Die Anzahl der Probanden, die einen bestimmten Unterschied erkannten, wurden in Prozent aller gefragten Personen angegeben. Die dunkelblauen Balken stellen den Fehlerfaktor dar, d. h. soviel Prozent der Probanden waren sich nicht sicher, ob ein Unterschied vorlag. Aus dem Diagramm wurde dann das ΔE für 50% Erkennungsschwelle abgeschätzt. Diese wird erreicht, wenn 50% der gefragten Testpersonen die Farbdifferenz wahrnehmen. Die Daten wurden in Tabelle 4 aufgelistet.

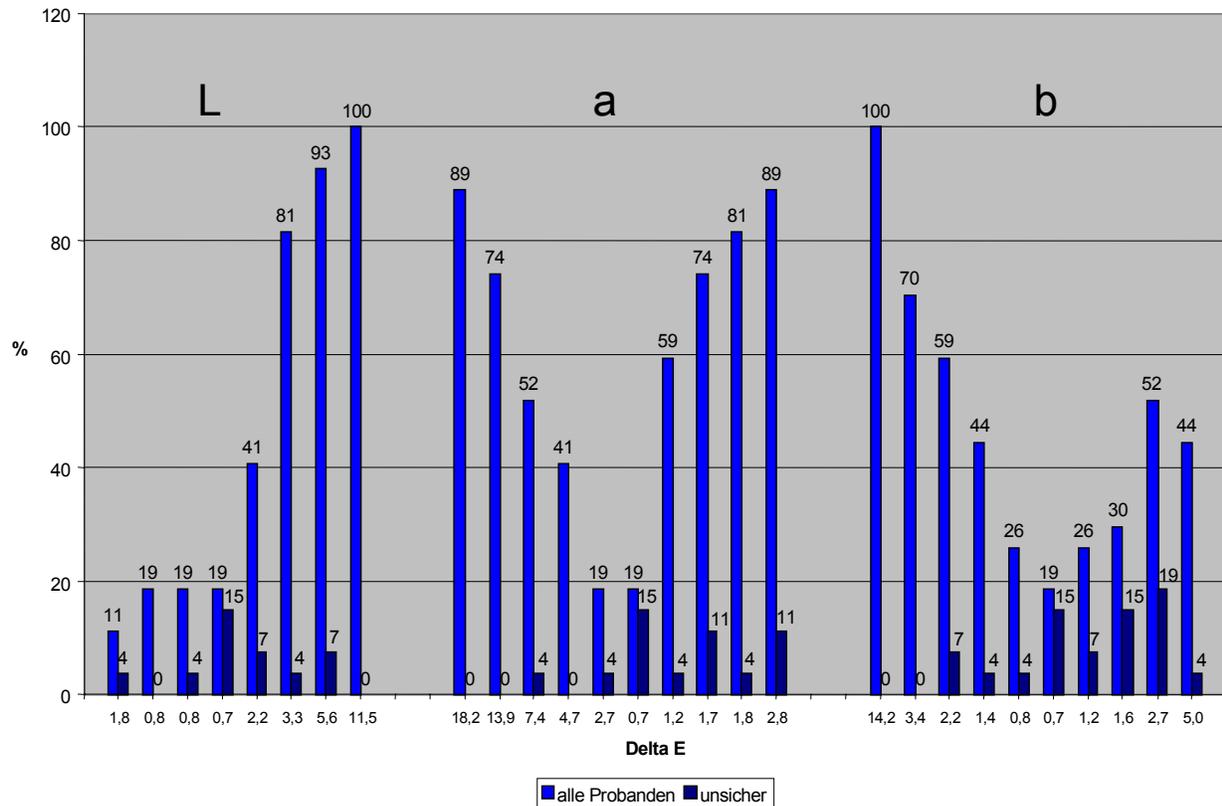


Bild 6: Auswertungsdiagramm am Beispiel von Blau

| Farbe | ΔE | | | |
|---------|-------------|----------|----------------|----------------|
| | Variation | Luminanz | Buntonwinkel a | Buntonwinkel b |
| Blau | absteigend | k. A. | > 5 | 1,8-2,0 |
| | aufsteigend | 2,6-2,8 | 1,2 | 2 |
| Grün | absteigend | > 3,4 | 3-3,2 | 3,6 |
| | aufsteigend | 3,5 | k. A. | 3 |
| Rot | absteigend | 3 | 3 | 1,4 |
| | aufsteigend | 1,5 | 1,5 | 1,2 |
| Cyan | absteigend | 2 | 2 | 2 |
| | aufsteigend | 2,5 | 1,8 | 2 |
| Magenta | absteigend | 1 | 1 | 2 |
| | aufsteigend | 1 | 1,3 | 1,2 |
| Gelb | absteigend | 2 | 1,7 | 1,7 |
| | aufsteigend | 1,2 | 1,7 | 1,5 |
| Hautton | absteigend | 1,5 | 1,5 | 1 |
| | aufsteigend | 1 | 1,5 | 1 |
| Unbunt | absteigend | 0,9 | 1 | 1 |
| | aufsteigend | 0,5 | 0,7 | 0,9 |

k. A. - keine Angabe, da die Gamutgrenze des Monitors erreicht wurde und keine $\Delta E > 1$ mehr dargestellt werden konnten

Tabelle 4: ΔE Abschätzung für 50% Erkennungsschwelle

5.2 Gewonnene Erkenntnisse und Beobachtungen

Die ermittelten ΔE -Werte zeigen einige Besonderheiten.

Im allgemeinen wurden die Primärfarben, wie Rot, Grün und Blau schlechter unterschieden wie die Komplementärfarben oder Mischfarben. Besonders deutlich wird das bei Grün. Hier lag das ΔE bei 3,5. Ähnlich das Verhalten auch bei Rot und Blau. Die Beobachtungen harmonisieren damit zu der Kurve zur Farbunterschiedsschwelle für Spektralfarben (quasi monochromatische Farben), die von Bedford und Wyszecki (1958) /4/ ermittelt wurde (siehe Bild 7), in der die empfindlichsten Bereiche bei Gelb (um 580 nm), Hautton (580 nm-600 nm), Blau-Cyan (um 480-490 nm) und Violett-Magenta (um 420 nm) liegen (Vergleiche mit Tabelle 4).

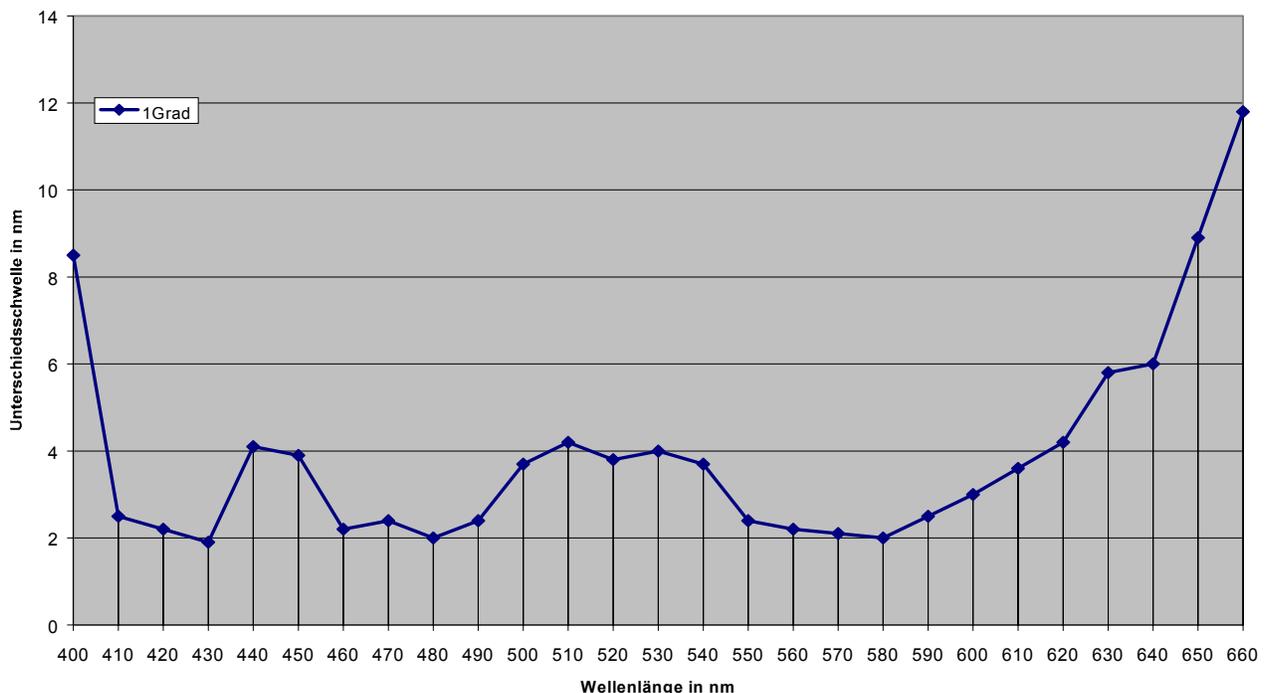


Bild 7: Unterschiedsschwelle für Spektralfarben bei 1° Beobachtungswinkel

Deutlich zeigt sich auch, daß es einen Unterschied macht, ob die Differenz in der Luminanz oder in einem der beiden Farbkomponenten **a** oder **b** lag. So wurden überwiegend Änderungen in **a** schneller erkannt, als in **b** oder in der Luminanz, wobei sich das aber bei jeder Farbe verschieden auswirkte.

Interessanterweise gehörten neben Unbunt die Hauttöne zu den Farben, bei denen es den Probanden am leichtesten fiel, Unterschiede wahrzunehmen. Aufgefallen ist das schon beim Erstellen der Farbproben. Es war sehr schwierig Farbproben der Haut mit kleinen Abweichungen anzufertigen, die nicht sofort visuell sichtbar waren. Hauttöne gehören seit jeher zur Umwelt des Menschen. Sie zeigen Stimmung und Gesundheitszustand der Mitmenschen an. Wahrscheinlich ist der Mensch darin besonders sensibel.

Eine weitere Beobachtung zeigt, daß die Differenzwahrnehmung abhängig davon ist, ob die Proben in aufsteigender oder absteigender Reihenfolge gezeigt werden. Die Wahrnehmung von Unterschieden ist bei allen Probanden abhängig vom Bild, das sie vorher gesehen haben. Das soll

heißen: War vorher ein deutlicher Unterschied sichtbar, wurde beim nächsten ein kleiner Unterschied nicht erkannt, war der Unterschied vorher jedoch schon sehr klein, wurde der nächstgrößere Unterschied auch erkannt.

Überlegungen zeigen, das hier ein Übungseffekt zum Tragen kommt. Wie er auch schon bei Brown in „Color discrimination of twelve observers“ (1957) beschrieben wurde. Je länger sich ein Proband mit einer Farbe auseinandersetzt, um so besser erkannte er Differenzen. /4/

Als Beweis dienen die Ausschnitte aus den Diagrammen am Beispiel Rot in Bild 8.

Dazu ist zu bemerken, das bereits ein halbes Jahr vor den dieser Publikation zugrunde liegenden Tests eine ähnliche Befragung zu Farbunterschieden gemacht wurde. Die Farbproben waren identisch, nur die Reihenfolge war anders. (Beim ersten Test, war die Anzahl der Probanden zu gering, um eine genaue Aussage über die Farbdifferenzwahrnehmung zu machen.)

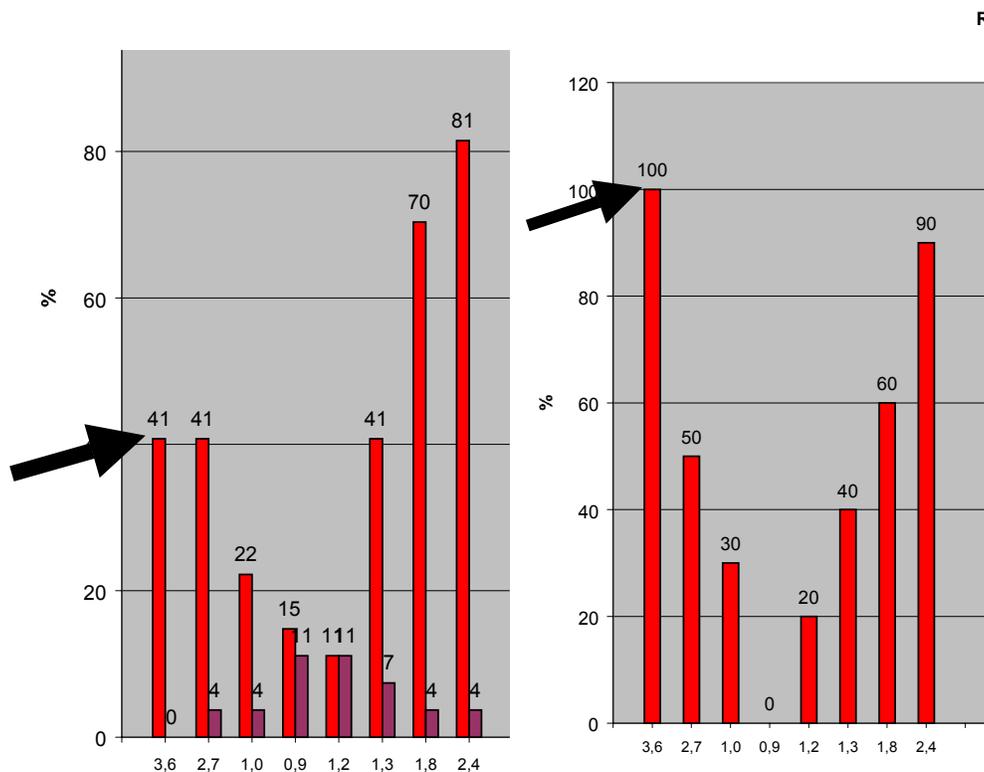


Bild 8: links: Es wurde vorher keine rote Probe gezeigt, rechts: Zuvor wurde eine rote Probe mit $\Delta E = 0,9$ gezeigt.

Wie man deutlich in den Diagrammen sehen kann, wurde der Farbunterschied von $\Delta E = 3,6$ nur von 41 % der Probanden erkannt, als keine rote Probe zuvor angeboten wurde. Aber 100% der Probanden erkannten den Unterschied, als zuvor eine Farbprobe mit niedrigem ΔE gezeigt wurde. Der beschriebene Effekt tritt bei allen beurteilten Farben auf.

Bei Unbunt zeigt sich deutlich ein weiterer Effekt. Unterschiede werden bei dunkleren Proben besser wahrgenommen, als bei helleren Proben (siehe auch Bild 2). Y-Unterschiede bei kleinen Helligkeiten fallen bei der empfindungsgemäßen Bewertung nach der L-Funktion stärker ins Gewicht, als bei höheren Y.

Einer der Hauptgründe für die Untersuchung war, herauszufinden, ob professionelle Personen Unterschiede besser wahrnehmen als „Farblaien“. Wie das Diagramm am Beispiel Hautton in Bild 9 beweist, ist das Ergebnis nicht so überraschend. Die Daten der „Profis“ folgen dem gleichen Verlauf, wie die aller Probanden. Die Abweichungen sind gering. Diese Beobachtung stellte sich schon während der Durchführung des Versuchs ein. So gab es einige Personen die beruflich wenig mit Farbe zu tun haben, wie Informatiker und Industriemechaniker, die jedoch genauso gute Ergebnisse erzielten, wie einige Coloristen. Fazit ist: Lichtbestimmer (Coloristen) sehen nicht viel mehr Farbunterschiede, als normale Personen, sie können die Unterschiede jedoch besser beschreiben.

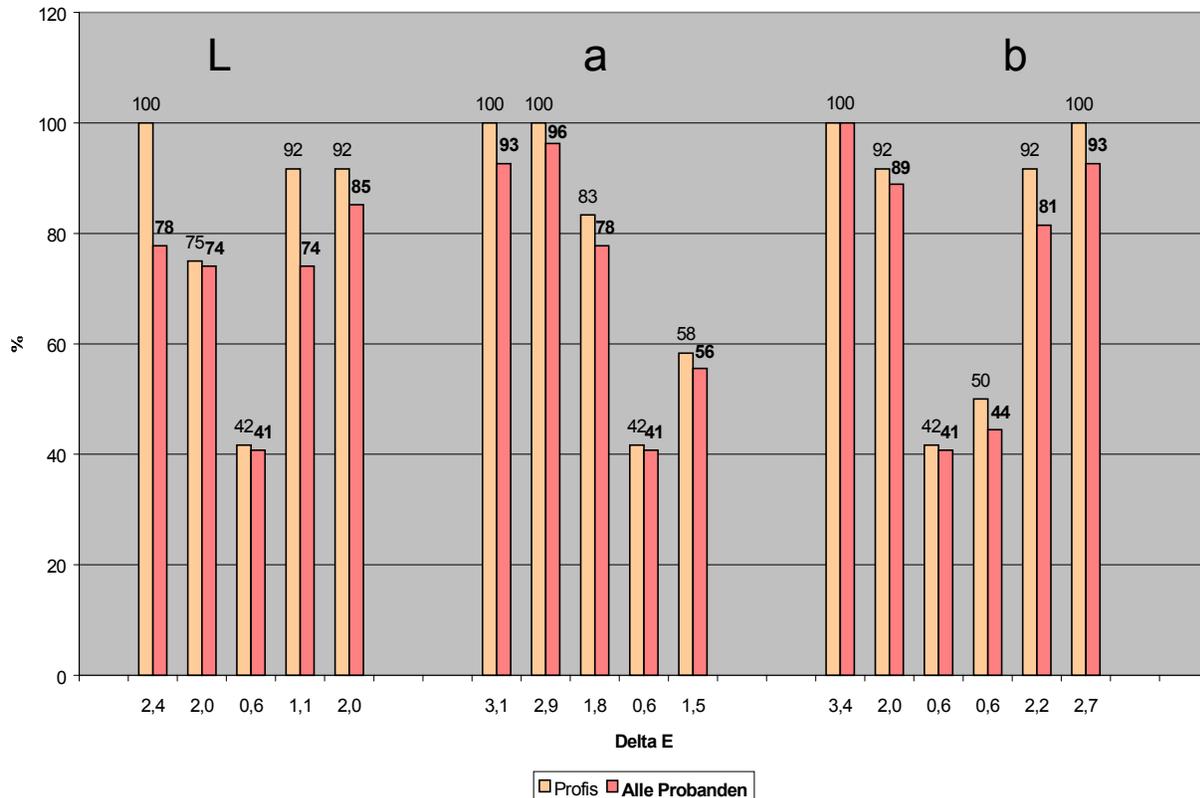


Bild 9: Vergleich Differenzwahrnehmung der Profis mit der Gesamtsumme der Probanden bei Hauttönen

Eines wird bei dem Versuch auch deutlich, daß Sichtbarkeit nicht gleich Tolerierbarkeit ist. Dies ist nicht nur die Erkenntnis dieses Versuchs, sondern wurde bereits in einigen Publikationen zur Farbwahrnehmung festgestellt. Der gerade wahrnehmbare Farbunterschied ist nicht automatisch gleichbedeutend mit seiner Tolerierbarkeit. In der Film-TV-Postproduktionsbranche werden Farbunterschiede manchmal bis ins Äußerste verfolgt, während in anderen Branchen die Toleranzgrenze wesentlich höher liegen kann.

Eine besonders interessante Beobachtung trat bei leicht kurzsichtigen Probanden auf. Sie berichteten, das, wenn sie die Brille abnahmen, die Farbunterschiede besser wahrnehmen konnten. Möglicherweise kommt hierbei die Theorie zum tragen, daß Kurzsichtige ohne Brille Farben intensiver sehen, durch den homogenen Eindruck, der sich durch die Unschärfe im Auge bildet.

6. Zusammenfassung-Ausblick

Nach der Auswertung der Untersuchung kann man eigentlich keinen einzelnen ΔE -Wert als Differenzschwelle festlegen. Höchstens einen allgemeinen Bereich von $\Delta E=0,5-3,6$ angeben, der zeigt wie sehr doch die Werte differieren.

Wenn man diese Ergebnisse des Versuchs nachvollzieht, könnte man auf den Gedanken kommen, dass die CIELAB- ΔE -Formel nicht unbedingt immer zuverlässige Ergebnisse erzielt. Im Allgemeinen kann man sagen, dass die Formel in manchen Bereichen des Farbraums Farbunterschiede zu stark in anderen zu schwach bewertet. Sie bewertet gleich groß wahrgenommene Farbdifferenzen oft um den Faktor 5-10 verschieden. Umgekehrt können große ΔE -Werte in einem Farbbereich visuell weniger auffallen als kleine ΔE in einem anderen Bereich.

Zu untersuchen wäre, ob es nicht bessere Formeln als die CIELAB- ΔE -Formel gibt, z.B. die CIEDE2000 oder die CAM97s2 /3/. Man sollte sich immer den Schwächen der CIELAB- ΔE -Formel bewußt sein, wenn man sie einsetzt. Außerdem verwenden heutzutage die meisten Farbmanagementprogramme immer noch CIELab-Daten als Daten für den geräteunabhängigen Farbraum. Es wäre besser, wenn man zukünftig bessere Farbräume für Farbmanagement-Zwecke verwendet /5/.

Diese vorliegende Arbeit sollte als ein Versuch aufgefaßt werden, der die gerade wahrnehmbare Farbdifferenz unter den in der Film- und TV-Postproduktion vorliegenden Sehbedingungen ermittelt. Der Erfolg der Farbkorrektur zwischen einem Referenzmedium (z.B. Filmbild auf der Leinwand) und einem Zielmedium (z.B. Farbbild auf dem HD-Monitor) kann generell quantitativ durch diese Farbdifferenz ausgedrückt werden. In diesem Zusammenhang soll auch gesagt werden, dass sich diese relativ kleine Farbdifferenz von $\Delta E = 0,5-3,6$ nach einer Farbkorrektur selten in den Endprodukten wiederfindet, da sich durch die Schwankungen in den Kopierwerken, die Projektionsqualität und die Leinwandvielfalt die Übertragungsungenauigkeit vergrößern kann.

Literaturverzeichnis:

/1/ Mark D. Fairchild : color appearance models, Addison Wesley Longman, Inc. 1998

/2/ Gert Hauske: Systemtheorie der visuellen Wahrnehmung, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart 1994

/3/ S.Y.Zhu et al. : Comparing Different Colour Discrimination Data sets, proceedings of the 10th color Imaging Conference, November 12-15, 2002, Scottsdale, USA, p.51-60

/4/ www.zwisler.de

/5/ S.Y.Zhu et al.: New Uniform Colour Spaces, proceedings of the 10th color Imaging Conference, November 12-15, 2002, Scottsdale, USA, p.61-65

/6/ www.farbmetrik-gall.de

Diese Arbeit wurde in der Zeitschrift FkT im Jahr 2003 H.07/03 publiziert. Dieser Nachdruck erfolgt auf Genehmigung der FkT-Redaktion. Wir danken Herrn Bolewski dafür.