

appeared in
10. Workshop Farbbildverarbeitung 2004, Koblenz, Online-Proceedings
<http://www.uni-koblenz.de/icv/fws2004/>

Realisierung einer farbmtrischen Anbindung an valenzmetrische Schnittstellen mittels targetbezogener, lokal linearer Abbildung

R. Nestler, K.-H. Franke, R. Jahn

Zentrum für Bild- und Signalverarbeitung e.V.,
Gustav-Kirchhoff-Str. 5, D-98693 Ilmenau
eMail: info@zbs-ilmenau.de,
Web: www.zbs-ilmenau.de

Zusammenfassung. Der Gegenstand dieses Beitrages ist ein flexibles Verfahren, dass die Anbindung eines gerätebezogenen Sensorfarbraumes an eine valenzmetrische Schnittstelle durch lokal lineare Farbraumabbildung vornimmt. Die Grundlage hierfür stellt eine korrespondierende geometrische Zerlegung des Ist- und Soll-Farbraumes in sogenannte 3-Simplexe (Tetraeder) dar, die anhand bekannter Stützstellen (Farbtargets) realisiert wird. Die zwischen den resultierenden Simplexpaarungen bestehende Abbildungsvorschrift ist linear und, da interpolierend, bezüglich der Stützstellen fehlerfrei. Dieser „geometrische“ Kalibrieransatz ermöglicht es, die Vorzüge der linearen Abbildung im Lokalen mit einer sehr hohen Approximationsgüte im gesamten triangulierten Farbraumausschnitt selbst bei eindeutig nichtlinearer Beziehung zwischen Ist- und Soll-Farbraum zu verbinden. Anhand eines Applikationsbeispiels, welches die Realisierung eines standardisierten Farbraumes unbedingt voraussetzt, werden die Eigenschaften dieses Ansatzes dargestellt und Aspekte des praktischen Einsatzes, wie Auswirkungen der irregulären Stützstellenverteilung, Kompressionsstrategien und die zeiteffiziente Realisierung in der Kannphase, diskutiert.

1 Einleitung

Beim Einsatz kommerzieller Farbkameras für die Farbmessung nach dem Dreibereichsprinzip besteht das Problem, dass die primären Sensordaten im Allgemeinen keiner valenzmetrischen Schnittstelle¹ entsprechen bzw. die Sensorempfindlichkeiten die notwendigen Lutherbedingungen nicht erfüllen. Für reale Messsysteme ist zusätzlich immer davon auszugehen, dass bei der Signalentstehung und im Aufnahme Kanal auch nichtlineare Übertragungskennlinien wirksam sind, die eine farbreizabhängige, nichtlineare Beeinflussung der primären Farbwerte und somit eine lokale Verzerrung des Sensorfarbraumes nach sich ziehen können. Aber selbst bei speziellen Dreibereichsensoren mit sehr gut an die gewünschten Spektralwertkurven angepassten Empfindlichkeitsfunktionen und weitestgehend linearem Übertragungskanal werden die applikationsbedingt oft sehr hohen Genauigkeitsansprüche aufgrund von Fertigungstoleranzen der optischen Komponenten des Messsystems nicht in jedem Fall erreicht. Hierbei

¹ z.B. dem XYZ-Normvalenzsystem (CIE 1931) bzw. einer davon abgeleiteten Farbvalenzbeschreibung

weisen die toleranzbedingten Farbortabweichungen im primären Farbraum einen ebenfalls farbreiz- und damit von der Applikationsklasse abhängigen, sehr lokalen Charakter auf.

Die Farbmessung erfordert neben der Realisierung rückführbarer Messbedingungen das Herstellen eines exemplarbezogenen Bezugs zu einem standardisierten Farbraum (Kalibrierung). Die dazu notwendige Transformationsvorschrift wird, da ein vollständig analytisches Modell meist nicht zur Verfügung steht, für einen gewählten Modellansatz auf der Grundlage einer endlichen Zahl bekannter Testfarben (Targets) bestimmt.

2 Überblick zu targetbezogenen Kalibrieransätzen

Die Verfahren zur targetbezogenen Kalibrierung lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten systematisieren. Einerseits ist eine Unterteilung anhand des mathematischen Charakters des gewählten Modellansatzes in **lineare** und **nicht lineare** sowie in **approximierende** oder, einschränkend, **interpolierende** Verfahren möglich, andererseits kann eine Gliederung nach dem Farbraum, der zur Bewertung des resultierenden Abbildungsfehlers verwendet wird, vorgenommen werden². Im Zusammenhang mit der Berücksichtigung auch lokaler Deformationen der zugrunde liegenden Farbräume sind die Verfahren, deren Ergebnis eine für den gesamten Farbraumbereich gültige Transformationsvorschrift ist, **global**, oder im anderen Fall **lokal**.

Für die Eingangs skizzierten Systeme führt das Anwenden einer globalen Abbildungsvorschrift zu einem systematischen Restfehler selbst für die zur Kalibrierung verwendeten und somit bekannten Farbtargets, der durch die Abweichung der realen Verhältnisse vom gewählten Modellansatz begründet ist. Ohne differenzierte Wichtung der verwendeten Targets verringern lokale Deformationen der Farbortverteilung die Approximationsgüte auch im übrigen Farbraum erheblich. Nicht lineare Ansätze weisen zwar eine verbesserte Reproduktion in der Umgebung der Stützstellen im Farbraum auf, neigen jedoch im Gegensatz zu den linearen Verfahren mit zunehmender Komplexität³ zu einem im Vorfeld nicht bestimmten, instabilen Verhalten bei der Abbildung unbekannter Farbvalenzen. Insgesamt bleibt die gewünschte Genauigkeit durch den Einsatz eines globalen Korrekturansatzes oft auf sehr enge Farbraumabschnitte und damit klar definierte Applikationsfälle begrenzt.

Das Prinzip der lokalen Korrektur ist es, den durch die Kalibriertargets bestimmten Bereich des Ausgangs- oder Sensorfarbraumes durch das Anwenden von Transformationsvorschriften, die nur in regional begrenzten Raumabschnitten gültig und möglichst beim Übergang zwischen den Abschnitten stetig sind, in den Soll-Farbraum zu überführen. Diesem Ansatz liegt die Vorstellung zugrunde, dass sich jede stetige Funktion durch stückweise (lineare) Elemente approximieren lässt. Damit lassen sich lokale Eigenschaften der Farbräume ohne Rückwirkung auf den übrigen Farbraumbereich berücksichtigen und gleichzeitig eine hohe Approximationsgüte im gesamten betrachteten Farbraumabschnitt erzielen.

² Der mittlere quadratische Abbildungsfehler in diesem Farbraum (zumeist der Soll-Farbraum oder aber ein Farbraum mit dem Farbbempfinden angepasster Metrik) stellt das Optimierungskriterium für Gestaltung der Transformationsvorschrift dar.

³ Koeffizientenanzahl

Diese Verfahrensgruppe wird bereits seit vielen Jahren zur Charakterisierung von Ausgabemedien, wie z.B. Druckern, verwendet, um die korrekte Reproduktion einer gegebenen Farbvalenz in einem zur Farbkommunikation verwendeten geräteunabhängigen Standardraum, z.B. CIE-Lab, im physikalischen Farbraum des Ausgabegerätes, z.B. CMYK, zu realisieren [3]. Die theoretischen Zusammenhänge zur Herstellung eines bestimmten Farbeindrucks⁴ sind aufgrund ihrer starken Nichtlinearität und Komplexität nicht vollständig analytisch modellierbar. Die Beschreibung erfolgt daher durch die gleichmäßige Belegung des Druckergammuts mit einer großen Zahl von Testfarben⁵, der Raumzerlegung und der Anwendung raumabschnittsbezogener Abbildungsvorschriften. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass neben der gewünschten Ist-Sollwert-Transformation auch eine Inverse unmittelbar zur Verfügung steht.

Die Methoden dieser Verfahrensgruppe unterscheiden sich in der Art der Raumzerlegung, der Methodik zur Extraktion eines zu einer Ist-Farbvalenz gehörenden Raumelementes sowie im Ansatz zur Ermittlung der lokalen Ist-Soll-Transformationsbeziehung. Ein aus Sicht der Flexibilität, des Beschreibungsaufwandes, der algorithmischen Komplexität und erzielbaren Genauigkeit geeigneter Kompromiss stellt hierbei die tetraedrische Zerlegung und Interpolation dar. Es besteht daher das Interesse zu klären, ob und unter welchen Bedingungen dieser Ansatz zur Kalibrierung von Dreibereichsfarbmesssystemen geeignet ist. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass zur Charakterisierung in diesem Fall zumeist nur eine begrenzte Anzahl kommerziell und/oder applikativ verfügbarer Testfarben mit irregulärer und spärlicher Farbraumverteilung zur Verfügung stehen.

3 Tetraedrische Raumzerlegung und Interpolation

Die tetraedrische Partitionierung eines durch die Testfarben belegten Farbraumbereichs erfolgt durch dreidimensionale Delauney-Triangulation der Testfarborte im gewählten Bezugsfarbraum (Ist-Farbraum). Das Triangulationsergebnis wird geometrisch korrespondierend im jeweils zugehörigen Farbraum (Soll-Farbraum) aufgebaut. Die dreidimensionale Triangulation (simplicialer Komplex) besteht aus Tetraedern, dem sogenannten 3-Simplex (einfachster konvexer Baustein) des dreidimensionalen Raumes und bildet im Bezugsraum einen geschlossenen, konvexen Körper, der aus Sicht der Regeln der Delauneytriangulation optimal ist. Dies folgt nicht notwendig für die Gestalt im Soll-Farbraum, wogegen die simplicialen Raumabschnitte ihren geometrischen Charakter unabhängig vom tatsächlichen Zusammenhang zwischen Ist- und Soll-Farbraum beibehalten (lokale Ähnlichkeit). Im Vergleich dazu würden andere zunächst „einfache“ Raumprimitive des Bezugsfarbraumes, z.B. Quader bei kubischer Zerlegung, zu nicht vorher bestimmten, u.U. konkaven Körpern entarten und damit einen erheblich größeren Aufwand zur Beschreibung und Extraktion nach sich ziehen. Die Interpolationsvorschrift eines Vektors P innerhalb eines Tetraeders (siehe Abb. 1), das durch die

⁴ die Wechselwirkung zwischen Farbstoffen und Medien sowie technologische Einflüsse

⁵ einige Tausend [1]

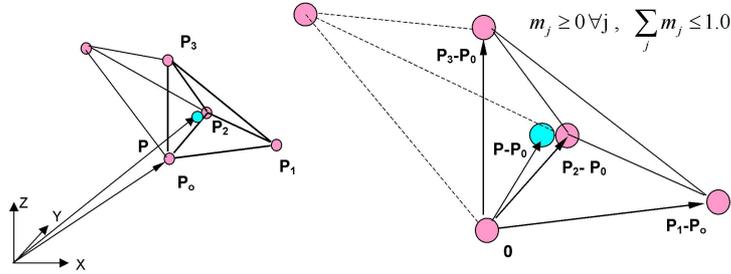


Abb. 1. Interpolation im Simplex der tetraedrischen Raumzerlegung

Stützstellen (P_0, P_1, P_2, P_3) gebildet wird, lautet

$$P = P_0 + \tilde{T} \cdot M = P_0 + \begin{pmatrix} (P_1 - P_0)_x & (P_2 - P_0)_x & (P_3 - P_0)_x \\ (P_1 - P_0)_y & (P_2 - P_0)_y & (P_3 - P_0)_y \\ (P_1 - P_0)_z & (P_2 - P_0)_z & (P_3 - P_0)_z \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m_0 \\ m_1 \\ m_2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$M : m_j \geq 0 \quad \forall j, \quad \sum_j m_j \leq 1. \quad (2)$$

Verschiebt man den Tetraederaufpunkt P_0 in den Koordinatenursprung, so gibt der Vektor M die Anteile des Vektors $(P - P_0)$ als Linearkombination der Spaltenvektoren der Matrix \tilde{T} wider. Die Spaltenvektoren der Matrix \tilde{T} beinhalten hierbei die mit dem Betrag der Seiten $(P_1 - P_0, P_2 - P_0, P_3 - P_0)$ skalierten Einheitsvektoren eines Tetraederkoordinatensystems bezüglich des Aufpunktes P_0 in Koordinaten des zugrunde liegenden Raumes.

Anhand der weiteren Zerlegung der Matrix \tilde{T} in Einheitsvektor- und Skaliermatrix

$$\tilde{S} = \begin{pmatrix} |P_1 - P_0| & 0 & 0 \\ 0 & |P_2 - P_0| & 0 \\ 0 & 0 & |P_3 - P_0| \end{pmatrix}$$

$$\tilde{T} = (\tilde{T} \cdot \tilde{S}^{-1}) \cdot \tilde{S} = \tilde{E} \cdot \tilde{S}$$

lassen sich Kriterien ableiten, die sich zur Beurteilung der Regularität eines Tetraeders⁶ eignen. Diese Bewertung schließt den Test der Tetraedereckpunkte auf Komplanarität, Kolinearität und Identität⁷ ein. Dies ist insbesondere für die zum triangulierten Bezugsraum korrespondierende geometrische Raumzerlegung notwendig. Daneben ist das in [3] vorgeschlagene normalisierte Volumenverhältnis von umfassender und eingeschlossener Kugel bezüglich des idealen, gleichseitigen Tetraeders ein geeigneter Anhaltspunkt zur heuristischen Bewertung der Gestaltungseigenschaften.

Der Test, ob ein Vektor innerhalb eines Tetraeders i der Raumzerlegung liegt, erfolgt unter Verwendung der Bedingung laut Gl. (2) für alle oder eine zuvor eingeschränkte

⁶ Spatvolumen $|e_0 \cdot (e_1 \times e_2)| > \epsilon$, $\epsilon \in (0, 1]$ der Einheitsvektoren $\tilde{E} : e_j$ (Grad der linearen Abhängigkeit), Quantität und Homogenität der Skalierung $\tilde{S} : s_{i,i}$ bzw. $\max |s_{i,i} - s_{j,j}|$

⁷ im Fall metamerer Testfarbtargets

Menge der beteiligten Raumsimplexe.

Die durch die Eckpunktkorrespondenz bedingte Äquivalenz des Vektors M eines beliebigen inneren Punktes P zweier Tetraeder des Ist- und Sollraums führt auf die lineare Transformationsbeziehung zwischen Ist- und Sollraum der betrachteten Raumabschnitte. Die Abbildung ist im Falle regulärer Tetraeder eineindeutig und somit in beliebiger Richtung möglich.

$$\begin{aligned} (\tilde{\mathbf{T}}^{\text{Soll}})^{-1} \cdot (\mathbf{P}^{\text{Soll}} - \mathbf{P}_0^{\text{Soll}}) &= \mathbf{M} = (\tilde{\mathbf{T}}^{\text{Ist}})^{-1} \cdot (\mathbf{P}^{\text{Ist}} - \mathbf{P}_0^{\text{Ist}}) \\ \rightarrow \mathbf{P}^{\text{Soll}} &= (\tilde{\mathbf{T}}^{\text{Soll}}) \cdot (\tilde{\mathbf{T}}^{\text{Ist}})^{-1} \cdot (\mathbf{P}^{\text{Ist}} - \mathbf{P}_0^{\text{Ist}}) + \mathbf{P}_0^{\text{Soll}} \end{aligned} \quad (3)$$

Die Stetigkeit an den Grenzen zweier benachbarter Tetraeder wird über ihre gemeinsamen Tetraedereckpunkte hergestellt. Unter Verwendung der Matrixzerlegung $\tilde{\mathbf{T}} = \tilde{\mathbf{E}} \cdot \tilde{\mathbf{S}}$ können gestaltsbedingte Auswirkungen auf die lokalen Transformationseigenschaften im praktischen Einsatz (Rauschskalierung und -korrelation zwischen Ist- und Sollraum) dargestellt werden.

4 Applikationsbeispiel

Zum Test der Eigenschaften des lokal linearen Korrekturansatzes soll das folgende Szenario dienen. Die Aufgabe besteht in der empfindungsgemäßen Zuordnung (Klassifikation) eines mit einer kommerziellen Farbkamera unter definierten Messbedingungen (Weißlicht-LED, $0^\circ/d$ - Messgeometrie) erfassten Messfeldes bezüglich eines gegebenen applikationsspezifischen Referenzfarbsatz. Zu diesem Zweck ist die Anbindung des gerätespezifischen Farbraumes der Kamera an einen standardisierten Raum zur objektiven Farbmessung notwendig. Hierfür wurde der CIE-Lab-Raum für die DIN-Lichtart *D65* gewählt. Die zu approximierende Transformationsbeziehung ist unabhängig von verzerrenden Einflüssen auf den primären Farbraum durch die Kamera somit eindeutig nicht linear.

Der Referenzfarbsatz umfasst 15 weitestgehend unbunte Farben aus einem begrenzten Gebiet des Soll-Farbraumes. Aufgrund der vergrößerten Wahrnehmungsempfindlichkeit in diesem Farbraumbereich sind die Anforderungen an die Approximationsgüte im Sollfarbraum besonders hoch. Dies gilt insbesondere für die Abbildung und das Wiedererkennen der Referenzfarben. Zur stabilen Charakterisierung der Abbildungsvorschrift in diesem Raumgebiet wurden darüber hinaus 84 Hilfsfarben u.a. des kommerziellen *Munsell Nearest Neutral*-Farbsatzes ausgewählt, um die stark variierende Stützstellendichte der Referenzfarben möglichst auszugleichen und deren Verteilung in ausreichendem Maße zu umgeben. Als notwendige Randbedingung zur Gewährleistung regulärer Tetraeder wurde sichergestellt, dass sowohl Referenz- als auch Hilfsfarben im primären Farbraum der Sensorik eindeutig trennbar und somit nicht metamer sind. Zum Test der Approximationsgüte des Korrekturansatzes im realisierten Soll-Farbraum wurden aus dem Referenzdatensatz 4 Testfarben (T) entfernt und nicht in die Raumzerlegung einbezogen. Die Triangulation umfasst somit insgesamt 95 Stützstellen (siehe Abb. 2).

Zum Verfahrensvergleich wurden zusätzlich die Ergebnisse bei Einsatz zweier alternativer, aber **globaler** Korrekturverfahren, linear - affin und nicht linear - polynomial 3. Ordnung, ermittelt. Die mittleren und maximalen Farbabstände zwischen Referenzfarben im realisierten Soll-Farbraum und Sollfarborten sind in Tabelle 1, die Farbabstände

der approximierten Testfarben (T^*) zum Sollfarbort (T) und dem erwarteten bzw. ermittelten empfindungsgemäß nächsten Nachbarn (NN bzw. NN^*) in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1. Approximationsgüte der 11 Referenzfarben

	lokal, tetraedrisch	global, affi n	global, polynomial
$\overline{\Delta E}_{\text{Lab}}^{\text{D65}}$	0.00	1.75	0.99
$\max[\Delta E_{\text{Lab}}^{\text{D65}}]$	0.00	3.75	2.02

Tabelle 2. Approximations- und Messgüte der Testfarben

Testfarbe T , (NN , $\Delta E_{\text{Lab}, NN-T}^{\text{D65}}$)	$\Delta E_{\text{Lab}, T^*-T}^{\text{D65}}$, (NN^* , $\Delta E_{\text{Lab}, NN^*-T^*}^{\text{D65}}$, $\Delta E_{\text{Lab}, NN-T^*}^{\text{D65}}$)		
	lokal, tetraedrisch	global, affi n	global, polynomial
A3 (A2, 2.46)	1.82, (A2, 2.42, 2.42)	2.17, (A2, 2.21, 2.21)	2.18, (A2, 2.78, 2.78)
B3 (B4, 2.84)	2.11, (B4, 3.19, 3.19)	3.76, (A2, 3.06, 3.22)	3.52, (B4, 3.01, 3.01)
C3 (A35, 2.97)	0.18, (A35, 2.95, 2.95)	2.14, (C2, 2.11, 4.62)	0.84, (C2, 3.71, 3.72)
D3 (C2, 2.68)	0.68, (C1, 2.69, 2.75)	1.04, (C2, 2.18, 2.18)	1.55, (C2, 2.64, 2.64)

Obwohl die Ergebnisse des lokalen Ansatzes vergleichsweise sehr gut erscheinen, bedürfen diese zur korrekten Bewertung einiger Erläuterungen. Die Raumzerlegung für die gewählten Farbtargets im Ist-Farbraum (siehe Abb. 2, links) enthält zahlreiche „deformierte“ Tetraeder insbesondere im Randbereich des konvexen Körpers. Dies ist insofern problematisch, da im Falle einer sehr lang gestreckten Gestalt das Lokalisierungsprinzip verletzt wird. Der lineare Modellansatz auf der Grundlage von 4 räumlich nicht lokalen Targetpunkten widerspiegelt im Inneren des Tetraeders die realen Abbildungsverhältnisse dann nur ungenügend (Testfarben A3, B3). Darüber hinaus wird beim stochastisch induziertem Übergang zwischen irregulären und regulären Raumabschnitten die Rauschstatistik wesentlich verzerrt, so dass eine erwartungstreue Mittelwertschätzung von Einzelmessungen im Sollraum nicht in jedem Raumbereich möglich ist.

Der gesamte Farbkörper im Ist-Farbraum ist insgesamt stark abgeplattet, was auf die Existenz numerisch problematischer, nahezu komplanarer Tetraeder schließen lässt. Um die für die Testfarben C3 und D3 erzielten Resultate im gesamten Raumabschnitt zu realisieren, besteht daher Bedarf zur Modifikation und Erweiterung der noch nicht optimalen Stützstellenverteilung. Sofern nicht durch die Applikation vorbestimmt, sollte die Auswahlgrundlage für physisch verfügbare Kalibriertargets immer deren gleichmäßige Verteilung im triangulierten Raum (Regularität) sein.

Da durch den begrenzten Stützstellenumfang nicht sicher gestellt werden kann, dass Messwerte immer im Inneren des triangulierten Farbkörpers liegen, ist die Behandlung dieses Sonderfalls im praktischen Einsatz bedeutsam. Hier ergeben sich neben der Rückweisung zwei Varianten:

- **Extrapolation:** Farbvalenzen außerhalb des Triangulationskörpers, deren Abstand d entlang einer heuristischen Geraden zur konvexen Hülle kleiner als eine vorzuziehende Schwelle ist, werden im Soll-Farbraum linear extrapoliert (siehe Abb. 3,

links). Liegt der Abstandsentscheidung ein Sollraum mit empfindungsgemäß gleichabständiger Metrik zugrunde (Abstand zur zugehörigen Tetraeder„außenfläche“), so folgt daraus eine farbortabhängige Ausdehnung des konvexen Triangulationskörpers im Istraum.

- **Heuristisches Mapping auf die konvexe Hülle:** Extrapolierte Farbvalenzen im Soll-Farbraum werden auf den Schnittpunkt der heuristischen Geraden mit der zugehörigen Außenfläche gemappt (siehe Abb. 3, rechts). In Soll-Farbräumen mit dekorrelierten Farbvalenzkomponenten kann neben der Projektion entlang der Flächennormalen auch ein Mapping unter Beibehaltung des Bunntons oder der Helligkeit erfolgen. Die Entscheidung ist applikationsspezifisch zu treffen und zu bewerten.

Im Rahmen des Applikationsbeispiels konnte festgestellt werden, dass die Approximationsgüte der Helligkeitskomponente L höher ist, als die der übrigen Komponenten des Soll-Farbraums. Aus diesem Grund erfolgte das Mapping „außenliegender“ Farbvalenzen auf die konvexe Hülle unter Beibehaltung der Helligkeit.

Für die Zuordnung (Klassifikation) der approximierten Farbvalenz zum Referenzfarbsatz könnte die geometrische Partitionierung des Raumes nutzbringend eingesetzt werden, da sich die Menge der zu testenden Punkte zunächst auf die der Approximation zugrunde liegenden Tetraedereckpunkte beschränken lässt und nur im Bedarfsfall erweitert werden muss.

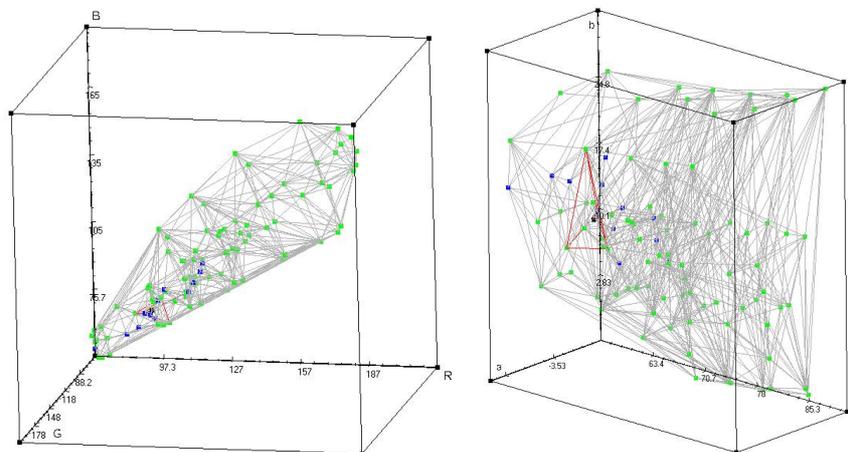


Abb. 2. Triangulation der Referenz- (blau) und Hilfsfarben (grün) im Sensorfarbraum (links) sowie korrespondierende geometrische Struktur im Sollfarbraum (rechts).

Für das hier beschriebene Beispiel ist jedoch infolge der Verletzung des Lokalisierungsprinzips und der geringen Anzahl der Referenzfarben gegenüber den Hilfsfarben hieraus nur geringer Vorteil zu ziehen.

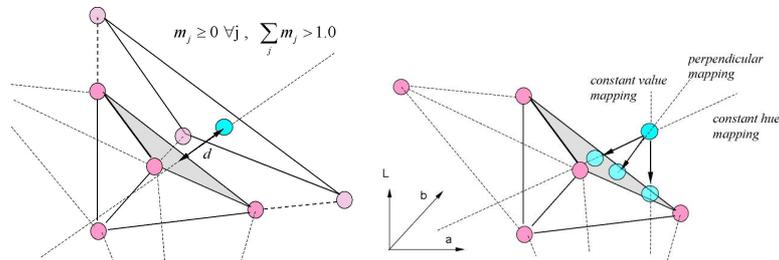


Abb. 3. Behandlung von Sonderfällen außerhalb des Triangulationskörpers: Extrapolation (links), Kompression (rechts)

5 Zusammenfassung und Ausblick

Gegenstand dieses Beitrages war ein Verfahren, dass die farbmtrische Anbindung an eine valenzmetrische Schnittstelle durch Anwenden einer lokal linearen Farbraumabbildung vornimmt. Das große Potential dieses Ansatzes konnte im Rahmen des Applikationsbeispiels bisher nur teilweise ausgeschöpft werden. Der Schlüssel für den erfolgreichen Einsatz dieser Verfahrensgruppe ist die Bereitstellung von Kalibriertargets in ausreichender Zahl. Da die lokale Abbildungsvorschrift auf lediglich 4 Punkten beruht, ist die geeignete Verteilung der Targets zur Gewährleistung des Lokalisprinzipis und zur Realisierung regulärer Raumabschnitte in den Farbräumen die Grundvoraussetzung. Aufgrund der im Vorfeld nicht bekannten Komplexität des zu approximierenden Zusammenhangs, ist eine gleichmäßige, höchstmögliche Stützstellendichte hierbei der Idealfall. Das zwangsläufige Auftreten irrelevanter Stützstellen wirkt aufgrund des lokalen Ansatzes dabei nicht störend. Bei Annäherung an das Ideal, steht mit dieser Verfahrensgruppe ein leistungsfähiger, flexibler Ansatz zur Realisierung von standardisierten Farbräumen für farbmtrische Aufgaben zur Verfügung, der insbesondere beim Vorliegen lokaler Verzerrungen einer ansonsten „glatten“ Abbildung nutzbringend eingesetzt werden kann.

Literatur

1. Groff R.E., Koditschek D.E. Khargonekar P.P.: Representation of Color Space Transformations for Effective Calibration and Control, J. of S&T's NIP16, Int. Conf. on Digital Printing Technologies Vancouver, B.C., Canada, Nov.2000, S.:255-260, ISBN/ISSN: 0-89208-230-5
2. Hung P-C.: Colorimetric calibration in electronic imaging devices using look-up-table model and interpolations, J. of Electronic Imaging, Vol.:2(1), 1993, S.:53-61
3. Kasson, J. M., Plouffe W., Nin, S.I.: A tetrahedral interpolation technique for color space conversion, Proc. of SPIE, Vol.:1909, S.:127-138