

Verbesserung der Farberfassungstabilität durch kontinuierliche Weißregelung

Bernhard Frei

Océ Document Technologies GmbH, Max-Stromeyer-Straße 116, 78467 Konstanz

bernhard.frei@oce-odt.com
www.odt-oce.com

Abstract

In vielen Bereichen ist das Erfassen von der Farbinformation mit hoher Stabilität und Wiederholbarkeit von großer Bedeutung.

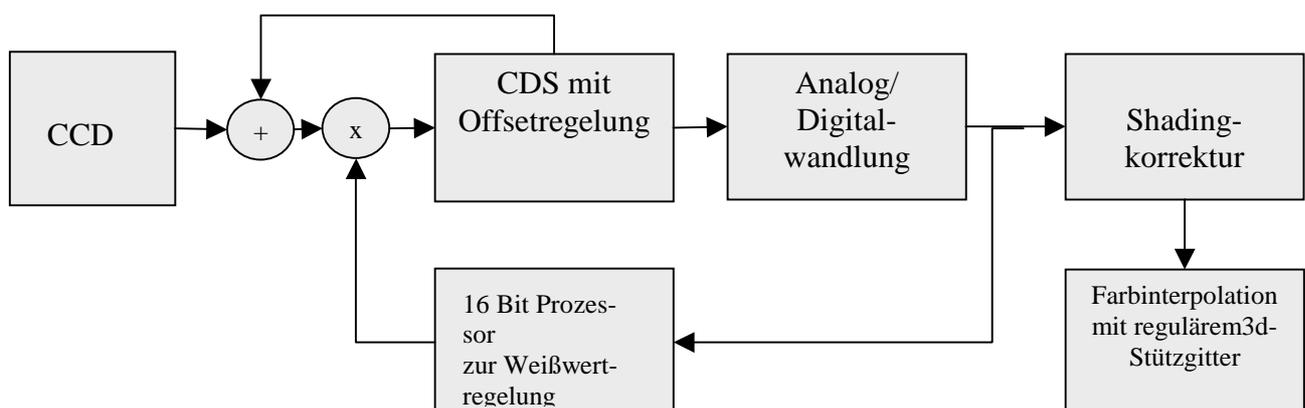
Die Océ Document Technologies verwendet hierfür eine Zeilenkamera, die mit einem 16 Bit Prozessor eine kontinuierliche Weißregelung ermöglicht. Diese kann über eine grafische Oberfläche leicht an die spezifische Kameraumgebung angepasst werden. Dazu wird am Rand des Scanbereiches eine Weißreferenzmarke angebracht. Ihr Farbwert wird dem Datenstrom entnommen und über die Nachregelung der Verstärkung konstant gehalten.

Ein wesentliche Ursache für die Notwendigkeit dieser Regelung liegt in der Instabilität der Beleuchtungsquelle hinsichtlich Leuchtdichte und Farbtemperatur über die Warmlaufphase und über die Alterung.

Genau betrachtet kann mit diesem Verfahren aber nur die Konstanz des Farbwertes der Weißreferenz selbst garantiert werden. Nur wenn lediglich die Intensität der Beleuchtungsquelle farbneutral variiert, ist eine vollständige Kompensation dieses Einflusses auf alle Farben möglich.

Ändern sich aber die spektralen Eigenschaften der Beleuchtungsquelle sind die Ergebnisse nicht mehr ohne weiteres vorhersagbar.

Bild Kamera mit Regelung



Um eine Aussage über die mögliche Genauigkeit der Farberfassung auch in diesen Fällen mit der verwendeten Regelungstechnik zu erhalten, wurde das messtechnisch erfasste Alterungsverhalten einer Leuchtstoffröhre an einem Farbmodell des Scanners untersucht.

Bei Leuchtstofflampen gibt es im wesentlichen zwei Instabilitäten:

- **Das Warmlaufverhalten**
Die Röhren erreichen erst dann ihre maximale Strahlungsleistung wenn das Quecksilber den gasförmigen Zustand erreicht hat. Dies ist nach einigen Minuten der Fall. Danach sinkt die Strahlungsleistung durch zunehmende Erwärmung wieder etwas ab, bis ein stabiler Zustand erreicht ist
- **Alterung der Leuchtstoffe**
Als Leuchtstoffe werden seltene Erden verwendet, welche die Anregung im UV-Bereich in sichtbares Licht umwandeln. Diese verlieren mit der Zeit an Effizienz. Das Alterungsverhalten ist aber für die verwendeten Farbstoffe unterschiedlich. Dies führt zu einer Änderung der spektralen Charakteristik über die Zeit.

Während man sich bei Änderung über das Hochlaufverhalten noch damit behelfen kann, dass man den stationären Zustand abwartet, ist dies beim Alterungsverhalten nicht möglich.

In diesem Artikel wird die Auswirkung dieser Alterung auf die Scanergebnisse im CIELAB-Farbraum untersucht. Dies wird für den durch den IT8-Farbttestbeleg gegebenen Farbumfang durchgeführt.

Dafür wurden die Änderungen der spektralen Charakteristik der Leuchtstoffröhren über einen Zeitraum von 6 Monaten mit einem Spektralmessgerät ermittelt.

Die spektralen Reflexionseigenschaften der Farbfelder des zur Untersuchung verwendeten IT8-Testchartes wurden ebenfalls gemessen.

Die spektralen Empfindlichkeitscharakteristika der Sensoren sind im Datenblatt im allgemeinen wenig präzise angegeben. Da sie aber einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben, müssen diese Charakteristika genauer ermittelt werden.

Diese wird nach dem in der IEC Norm 61966-8 festgelegten Verfahren ermittelt. Dieses sehr interessante Verfahren beruht darauf, dass durch eine lineare Optimierungsstrategie derjenige Spektralverlauf ermittelt wird, der mit dem spektralen Verhalten der Beleuchtungsquelle und den spektralen Eigenschaften des Testbildes als Eingangsgrößen und den durch die Gewichtung der Sensorkennlinien resultierenden Ausgangsgrößen am besten beschreibt.

Wenn keine Abhängigkeiten der Farbkanäle untereinander bestehen, lautet der Ansatz für dieses Verfahren:

$$N_{R_k} = \left| \sum_{n=1}^{31} p_{R_n} r_{k_n}^* - \phi_{R_k} \right|$$

$$N_{G_k} = \left| \sum_{n=1}^{31} p_{G_n} r_{k_n}^* - \phi_{G_k} \right|$$

$$N_{B_k} = \left| \sum_{n=1}^{31} p_{B_n} r_{k_n}^* - \phi_{B_k} \right|$$

N_{R_k} : ist der Fehler für das k-te Farbtestfeld des roten Farbkanals

p_{R_n} : ist die spektrale Empfindlichkeit des roten Farbkanals für den n-ten Spektralbereich

$r_{k_n}^*$: ist der spektrale Reflexionsfaktor bewertet mit spektralen Leistung der Leuchtquelle im n-ten Spektralbereich

ϕ_{R_k} : ist Strahlungsfluss der vom roten Farbkanal des Sensors bewertet wurde.

Er wird aus der digitalisierten Sensorausgangsspannung des Kanals für das k-te Testfeld ermittelt. Vorab wird aus den Graufeldern die Nichtlinearität des Kanals ermittelt und über die Inverse der Linearitätsfunktion auf den tatsächlichen Strahlungsfluss rückgerechnet.

Um Rauscheinflüsse zu vermindern werden für jedes Testfeld möglichst viele Werte durch eine Mittelung einbezogen.

Für die Berechnung werden weiterhin Randbedingungen über die Glattheit der Funktion eingeführt. Über den Simplexalgorithmus werden nun diejenigen p_{R_n} , p_{G_n} und p_{B_n} bestimmt, für die der Ausdruck

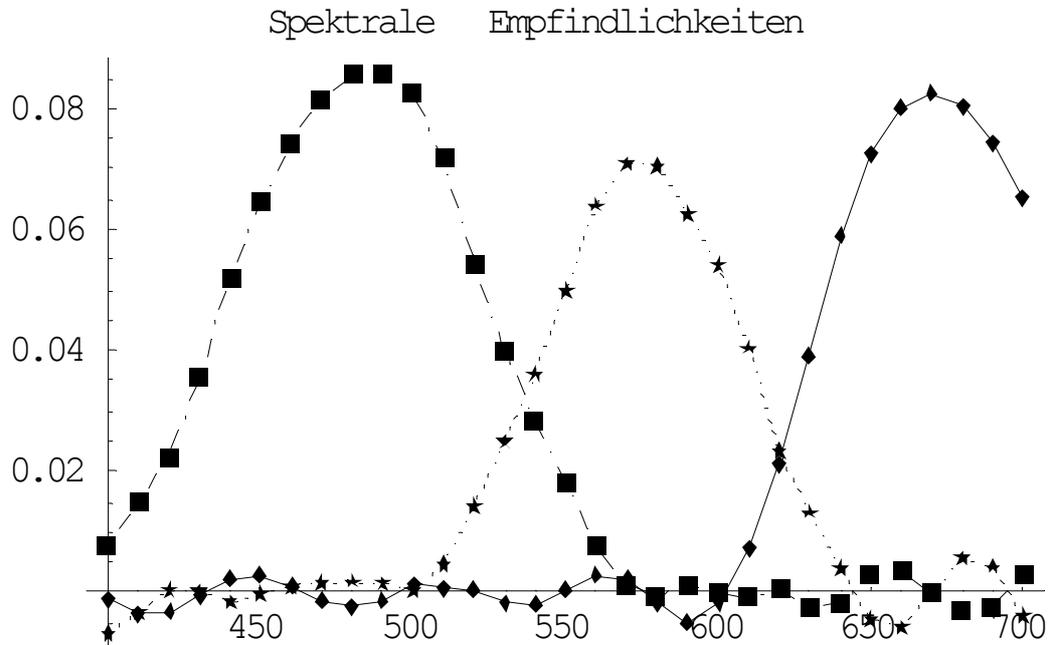
$$N_{R_k} + N_{G_k} + N_{B_k}$$

ein Minimum erreicht.

Da der Algorithmus mit den diskreten Spektrallinien einer Leuchtstoffröhrenbeleuchtung durch die Aufteilung in 10nm breite Bande zu falschen Ergebnissen führen kann, wurden die

spektralen Empfindlichkeitskennlinien des Sensors durch Beleuchtung mit einer Halogenquelle mit Infrarotfilter ermittelt.

Für die Berechnung wurde das LPAKO Paket vom Operations Research Laboratory der Universität Seoul verwendet. Der berechnete Verlauf für die drei Farbkanäle ergibt folgende Kurven:



Damit können nun die resultierenden Werte, die der Scanner auf dem Rot, Grün- und Blaukanal für das k-te Testfeld liefert berechnet werden.

$$\text{Rot}_k = \sum_{n=1}^{31} pR_n S_n r_{kn}$$

$$\text{Gruen}_k = \sum_{n=1}^{31} pG_n S_n r_{kn}$$

$$\text{Blau}_k = \sum_{n=1}^{31} pB_n S_n r_{kn}$$

Mit der Kenntnis über die Änderung der spektralen Verteilung über die Alterung können so die dann daraus resultierenden Ergebniswerte des Scanners bestimmt werden.

Da diese Ergebnisse aber keine direkten Rückschlüsse auf die Bewertung dieser so entstehenden Farbänderungen durch das menschliche Auge erlauben, müssen die Ergebnisse in einem Farbraum bewertet werden, der dies ermöglicht.

Da es kaum möglich ist die Transformation in den CIELAB-Raum, in dem ein solches Abstandsmaß definiert ist, durch Funktionen genau genug zu beschreiben, wird diese Abbildung über eine abschnittsweise definierte lineare Interpolationsfunktion im dreidimensionalen Raum durchgeführt.

Dazu wird ein reguläres Gitter aufgebaut. Die Werte für die Stützpunkte dieses Gitters werden bestimmt, indem aus den unmittelbaren Nachbarpunkten jedes Gitterknotens über die Methode der kleinsten Quadrate eine Funktion approximiert wird, die dann den Funktionswert für diesen Gitterstützpunkt ergibt.

Da die $L^*a^*b^*$ -Werte Ergebnis einer nicht linearen Abbildung sind, werden die RGB-Werte des Scanners zunächst auf die Sollwerte des über die menschliche Wahrnehmung definierten XYZ-Raum abgebildet und auf dieses Ergebnis die Transformationsvorschrift in den CIELAB-Raum angewendet.

Bei der Arbeit mit ICC-Profilen entspricht dieser Schritt der AToB1-Umsetzung; d.h. der Abbildung des gerätespezifischen Farbraumes in den „Profil Connection Space“.

Der Aufbau des Gitters im XYZ-Raum mit den zur Interpolation verwendeten Werten des Testcharts ist in Bild 1 zu sehen. Für jeden Farbkanal wird je ein eigenes Gitter bestimmt.

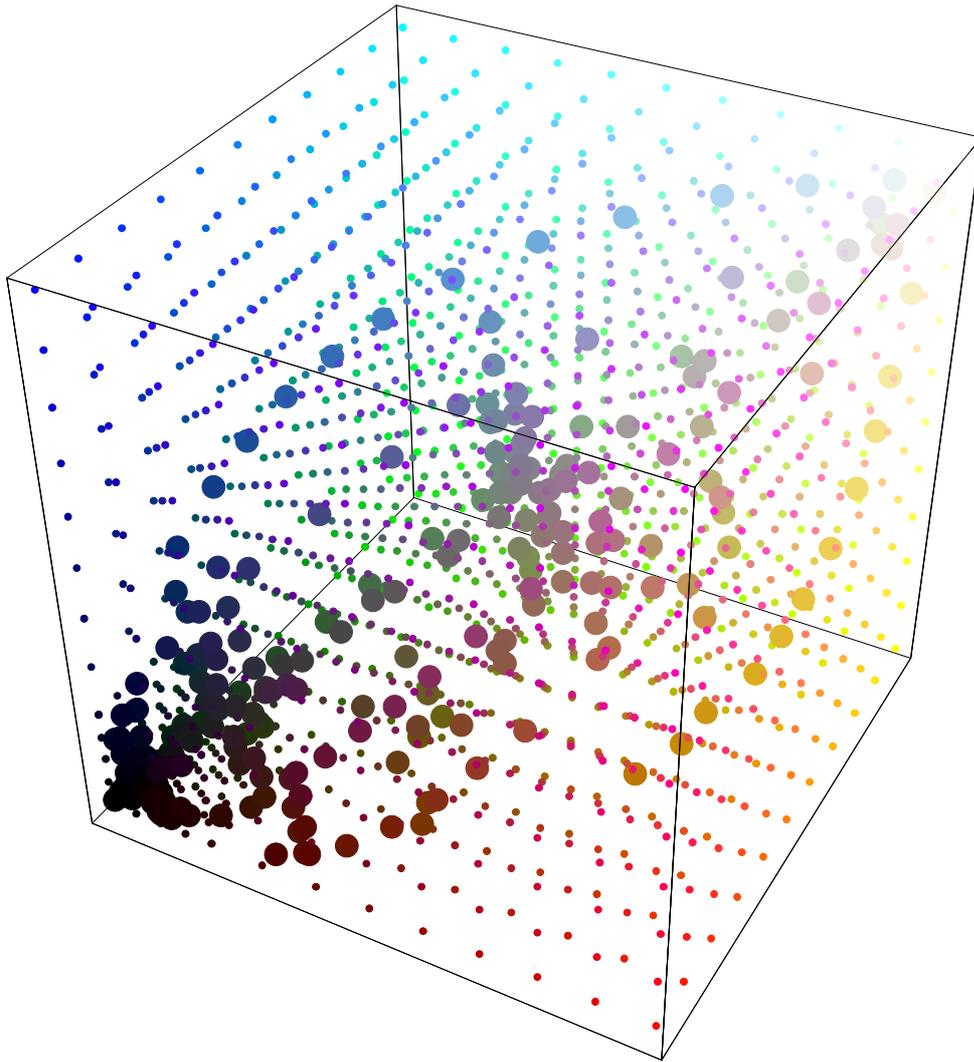
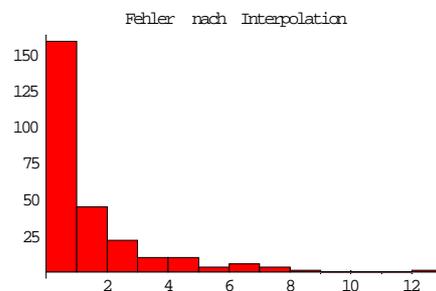


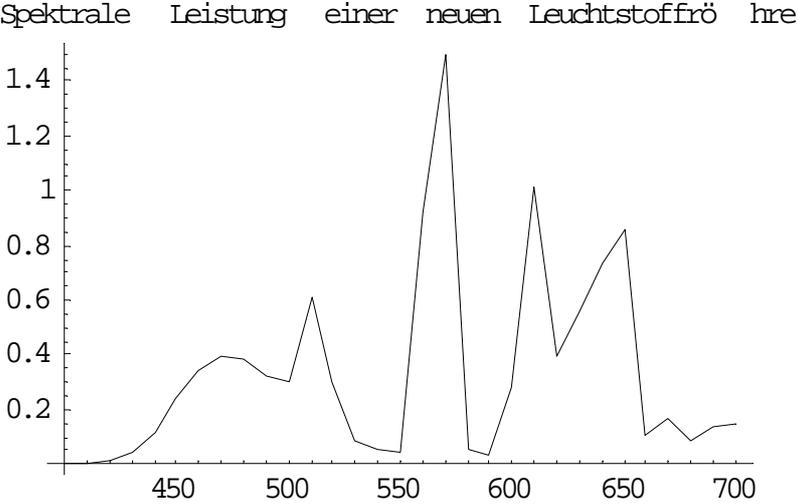
Bild 1

Werden nun die Funktionswerte für die gegebenen Stützstellen über die Interpolation wieder bestimmt und mit den gegebenen Werten verglichen, ergibt sich folgendes Fehlerhistogramm für die Abweichung dE , im euklidischen Abstandsmaß des CIELAB-Farbraumes.



Mittlerer Fehler: 1,21
 Standardabweichung: 2,36

Mit dem so bestimmten regulären Interpolationsgitter werden nun die Fehler bestimmt, die sich ergeben, wenn diese Transformation über den Beobachtungszeitraum weiter angewendet wird.



Verlauf der spektralen Leistungsdichte über einen Zeitraum von 6 Monaten (Bild 2)

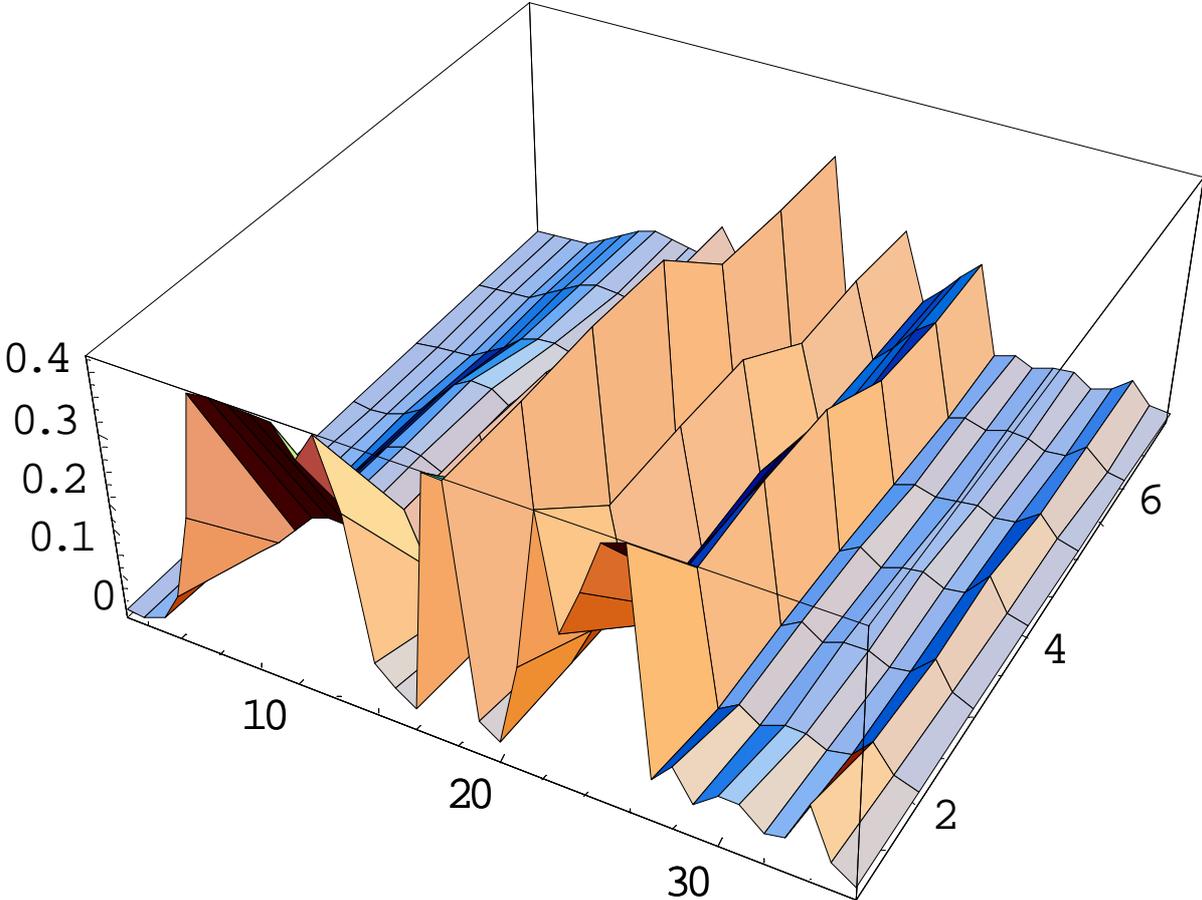


Bild 2

Deutlich ist zu sehen, dass nach starken Änderungen von der ersten auf die zweite Messung die spektrale Leistungsdichte sich nur noch langsam ändert, daher wurde der Spektralverlauf nach der Einbrennphase (Messung T= 2) als Basis verwendet.

Absoluter Fehler ohne Weißregelung

Messung Nummer	1	2	3	4	5	6	
Mittelwert dE	18,18	1,21	1,43	1,33	7,57	5,22	
Standardabweichung	16,06	2,36	2,38	2,67	5,40	5,40	

Absoluter Fehler mit aktiver Weißregelung

Messung Nummer	1	2	3	4	5	6	
Mittelwert dE	4,57	1,21	1,24	1,50	1,59	2,46	
Standardabweichung	5,47	2,36	2,45	2,88	2,98	5,01	

Relativer Fehler ohne Weißregelung

Messung Nummer	1	2	3	4	5	6	
Mittelwert dE	48,5	0	0,51	2,04	10,22	11,98	
Standardabweichung	18,5	0	0,45	0,82	3,75	4,5	

Relativer Fehler mit Weißregelung

Messung Nummer	1	2	3	4	5	6	
Mittelwert dE	4,81	0	0,17	0,57	0,80	2,08	
Standardabweichung	5,51	0	0,31	1,15	1,37	4,05	

Die Wirksamkeit der Weißregelung bei der Korrektur des durch Alterung der Leuchtstoffe verursachten Fehlers ist im Vergleich der Tabellen zu sehen. Weitere Störeinflüsse, wie das Aufwärmverhalten der Leuchten und die Verstärkungsdrift der analogen Signalverstärkungsstrecke, führen zu zusätzlichen Fehlern, die durch die Weißregelung weitgehend kompensiert werden können.

Die Gitterpunkte sind die Stützstellen des regulären Gitters für die Interpolation der Werte im den XYZ-Farbraum mit den Koordinaten 0..100 im Abstand 10.

Die kräftigen Punkte sind die Orte der Farbfelder des IT8-Beleges nach Normierung auf den

Wertebereich des XYZ-Raumes.

Zur Erhöhung der Interpolationsgenauigkeit wird im kritischen Wertebereich $0 < X < 10$ und $0 < Y < 10$ und $0 < Z < 10$ ein feineres Gitter verwendet.

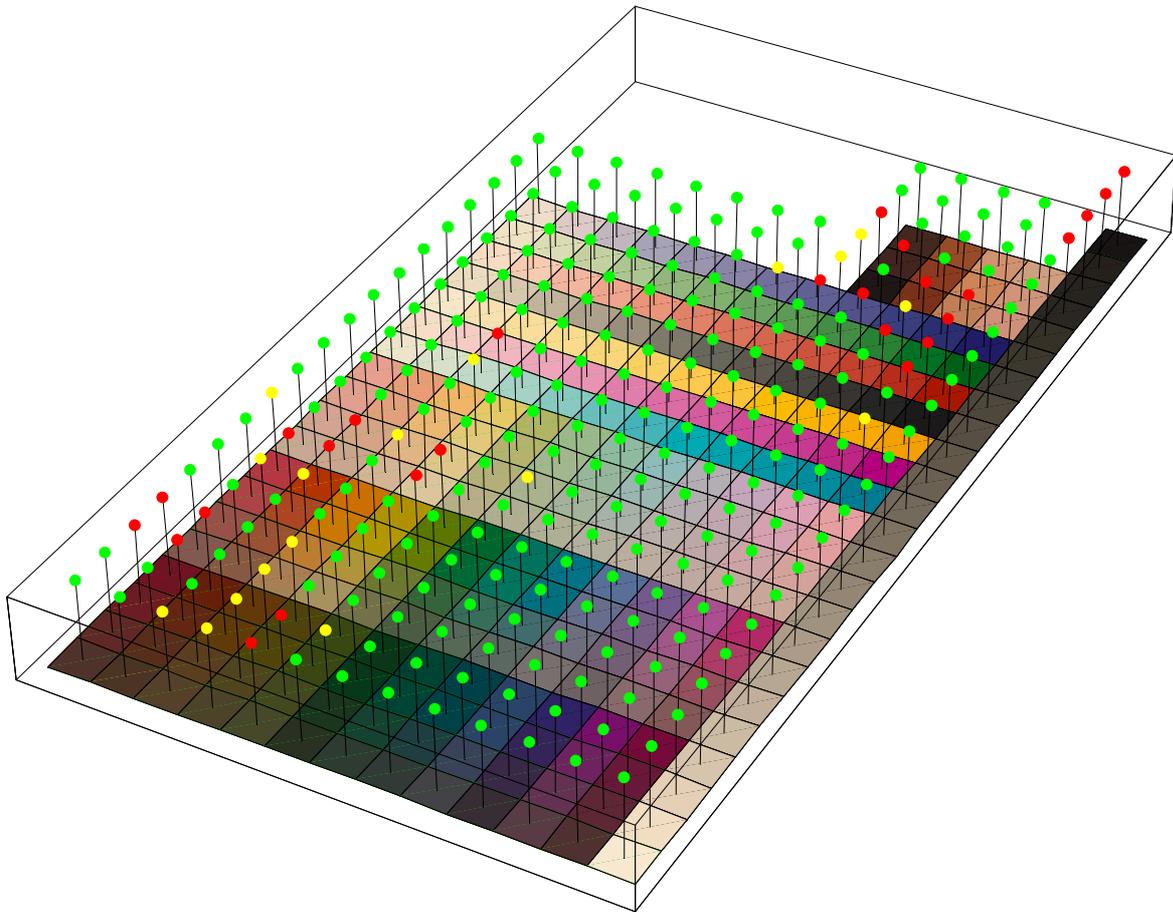


Bild 3 zeigt die Fehler der Transformation über das Interpolationsgitter in den CIELAB-Raum für den Startzeitpunkt

Grün : $dE \leq 2$
Gelb : $2 < dE \leq 3$
Rot : > 3

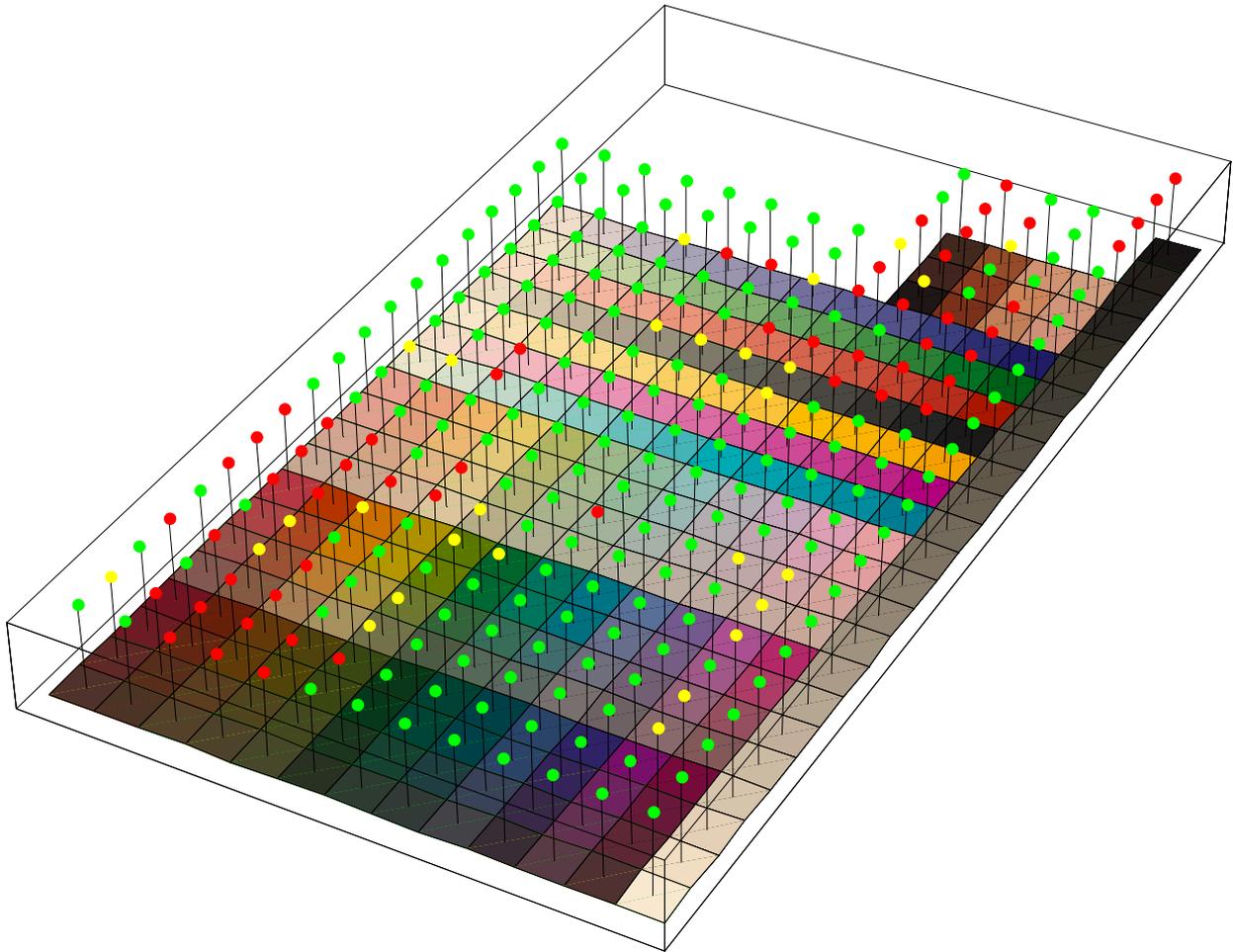


Bild 4: Fehler zum Zeitpunkt $T=6$, sonst wie Bild 3