

# Modellgestützte Berechnung von Druckergamuts

Philipp Urban\*, Rolf-Rainer Grigat\*\*  
Ratio Entwicklungen GmbH\*  
Technische Universität Hamburg Harburg, Vision Systems\*\*  
Harburger Schloßstraße 20  
21079 Hamburg  
urban@tu-harburg.de, <http://www.tuvision.de>

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird eine neue Methode zur Berechnung von medienabhängigen Druckerfarbkörpern (Gamuts) vorgestellt. Die errechneten Gamutranddaten werden in einem kompakten Gamut-Rand-Deskriptor (Gamut-Boundary-Descriptor, GBD) abgespeichert, der Gamut-Mapping-Methoden einen einfachen und schnellen Zugriff ermöglicht. Die vorgestellte Methode ist eine Erweiterung der Segment Maxima Gamut Boundary Descriptor Methode (SMGBD), kommt jedoch mit erheblich weniger Messungen aus. Dieses Ersparnis an Messungen wird durch ein Druckermodell ermöglicht, dessen Modellgamut durch ein Bisektionsverfahren abgetastet wird.

## 1 Einleitung

Jeder Drucker ist lediglich in der Lage, einen begrenzten Umfang an Farben zu reproduzieren. Dieser Farbumfang (Gamut) unterscheidet sich von Gerät zu Gerät aufgrund verschiedener Druckverfahren, Papier, Tinten, etc., i.A. beträchtlich. Soll eine Farbe reproduziert werden, die nicht im Druckergamut liegt, so muss eine Ersatzfarbe aus dem Druckergamut gewählt werden, die stattdessen gedruckt wird. Diese Wahl ist nicht Eindeutig und hängt von physiologischen Gesichtspunkten ab. Der zugrundeliegende Prozess wird Gamut-Mapping genannt (vgl. Morovic [7]). Hierzu ist die Kenntnis der Form und vor allem des Randes, des vom Drucker auf einem bestimmten Medium (Papier) reproduzierbaren Farbkörpers, notwendig. Die Informationen über die Gamutränder sollten zudem in kompakter Form abgespeichert werden, um einen einfachen und schnellen Zugriff durch Gamut-Mapping-Methoden zu ermöglichen. Diese kompakte Form wird Gamutrand-Deskriptor (Gamut Boundary Descriptor GBD) genannt.

## 2 Druckermodelle und ihre Invertierung

Um die Farbreproduktion mittels digitaler Drucker effektiv zu steuern, ist es notwendig, den Druckprozess hinreichend genau zu beschreiben, d.h. eine hinreichend gute Vorhersage zu treffen, welche Farbeindrücke bei einer bestimmten Tinten-/Toneransteuerung erzielt werden. Diese approximative Beschreibung wird Druckermodell genannt. Falls  $\mathcal{F}_P : \Psi \mapsto CIELab$  die unbekannte, druckprozessbeschreibende Funktion darstellt ( $\Psi = RGB, CMY, CMYK, CMYOGK, CcMmYK$  etc.), so bezeichnet im Folgenden  $\mathcal{F}_P^{\Psi_{test}}$  ein approximierendes Druckermodell, das auf Basis von gedruckten und spektral vermessenen Testfarben  $\Psi_{test}$  erstellt wurde.

In den letzten Jahren wurden eine ganze Reihe unterschiedlicher Druckermodelle entwickelt. Das wohl am häufigsten benutzte ist das Yule-Nielson modifizierte Neugebauer Modell (YNmNM) [11][10]. Die spektrale Form des YNmNM eines Druckers mit  $N$  verwendeten Grundfarben hat folgende Gestalt

$$R(\lambda)^{\frac{1}{n}} = \sum_{i=1}^{2^N} f_i R_i(\lambda)^{\frac{1}{n}}, \quad (1)$$

wobei die  $R_i$  die Remissionsspektren der gedruckten Vollfarben und aller Vollfarbmischungen sind und die  $f_i$  die effektiven Flächendeckungen darstellen. Der Faktor  $n$  wird Yule-Nielson-Faktor genannt und wird über Regressionsmethoden an die Testfarbenmenge  $\Psi_{test}$  angepasst. Durch ihn kann der sog. optische Tonwertzunahmeeffekt berücksichtigt werden.

In unserer Arbeit wurde ein sog. zellulares Yule-Nielson modifiziertes Neugebauer-Modell (ZYNmNM) benutzt. Hierzu wird die Testfarbenmenge  $\Psi_{\text{test}}$  so gewählt, dass sie den Grundfarbenraum  $\Psi$  in Quader (Zellen) zerlegt. Zur Bestimmung des Remissionsspektrums einer Farbe, die sich innerhalb eines Quaders befindet, dienen die zuvor gemessenen Remissionsspektren seiner Eckpunkte. Die Formel für jede Zelle ist analog zu Gleichung 1, mit einem für diese Zelle empirisch ermittelten Yule-Nielson  $n$ -Faktor (vgl. Abbildung 1a und 1b).

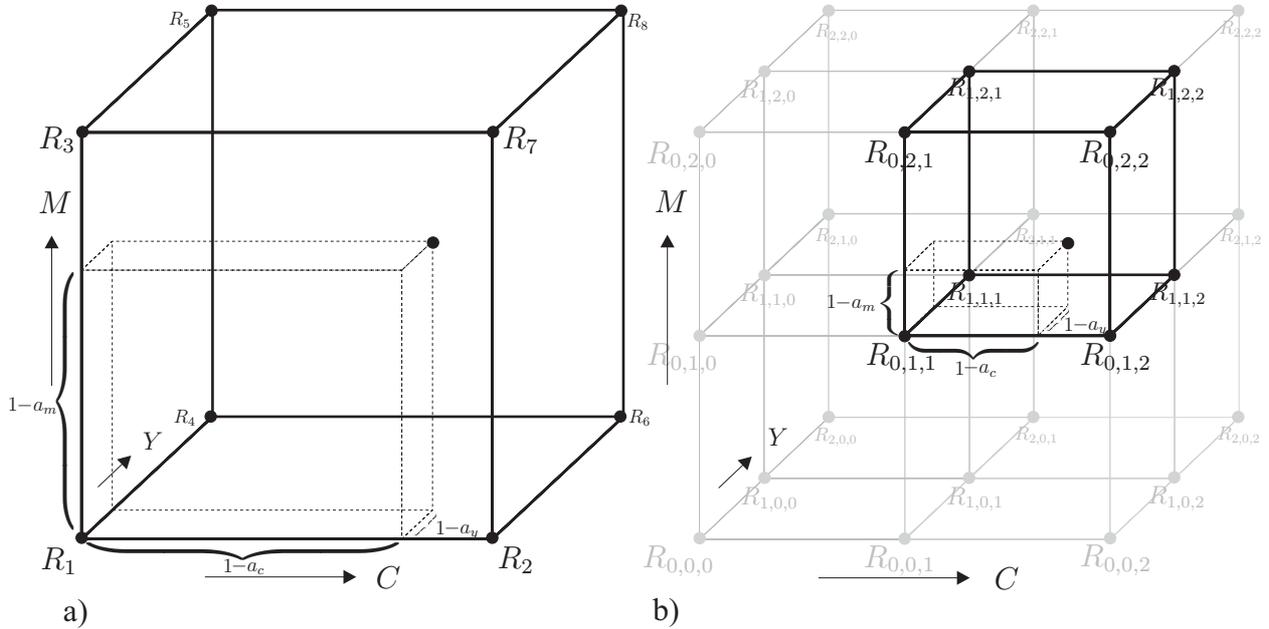


Abbildung 1: a) YNmNM b) ZYNmNM

In der Praxis besteht häufig das Problem, eine vordefinierte Farbwahrnehmung mit Hilfe eines Druckers zu reproduzieren, d.h. eine geeignete Ansteuerung (bzw. Mischung) der Grundfarben  $\Psi$  zu finden, die ausgedruckt die Farbwahrnehmung erzeugt. Wenn die Abbildung  $\mathcal{F}_P : \Psi \mapsto CIELab$  den Druckprozess beschreibt, d.h. für jede Mischung an Grundfarben die entsprechende Farbwahrnehmung liefert, so wird für obiges Problem die zugehörige Umkehrabbildung  $\mathcal{F}_P^{-1}$  gesucht. Da die Funktion  $\mathcal{F}_P$  i.A. nicht bekannt ist, wird sie wie bereits oben beschrieben durch ein adäquates Druckermodell  $\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}$  ersetzt, das an Stelle der Druckerfunktion invertiert wird.

Da es i.A. eine ganze Reihe von möglichen Grundfarbenansteuerungen gibt, die zu dem gleichen Farbeindruck führen, ist das Druckermodell nicht invertierbar. Dies trifft besonders bei Druckern mit mehr als 3 Grundfarben zu. Um das Problem zu lösen, müssen spezielle Kriterien herangezogen werden, eine spezielle Grundfarbenkombination aus den möglichen Grundfarbenkombinationen, die zu dem gewünschten Farbeindruck führen, auszuwählen. Diese „kriterienabhängige“ Invertierung lässt sich in folgende restringierte Optimierungsaufgabe umformulieren

**Aufgabe 2.1** Eine Farbwahrnehmung  $\vartheta \in \mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\Psi) \in CIELab$  und eine stetige Kostenfunktion  $\mathcal{F}_{\text{cost}} : \Psi \mapsto \mathbb{R}$  sind vorgegeben.

$$\begin{aligned} &\text{Minimiere } \mathcal{F}_{\text{cost}}(\chi), \chi \in \Psi \\ &\text{unter der Nebenbedingung} \\ &\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\chi) = \vartheta. \end{aligned}$$

Über die Kostenfunktion  $\mathcal{F}_{\text{cost}}$  lassen sich die entsprechenden Kriterien wählen, wie z.B. Schwarzaufbau mit GCR/UCR. Eine diskrete Lösungsmethode für diese Aufgabe ist durch Urban, Grigat [9] gegeben.

### 3 Techniken der Gamut-Rand-Bestimmung

In den letzten Jahren sind eine ganze Reihe von Methoden entwickelt worden, um Gamutränder zu bestimmen. Einige dieser Methoden basieren auf der Annahme, dass der Hyperkubusrand  $\partial\Psi$  des Druckergrundfarbenraumes  $\Psi$  über die Druckerabbildung  $\mathcal{F}_P : \Psi \mapsto CIE\text{Lab}$  auf den Gamutrand  $\partial\mathcal{F}_P(\Psi)$  abbildet. Der alleine durch diese Abbildung beschriebene Rand wird physikalischer Gamutrand (physical gamut boundary) genannt.

Braun und Fairchild [1] haben ihren Algorithmus nach dieser Annahme konstruiert: Gedruckte und mit Hilfe eines Spektralphotometers ausgemessene Grundfarben von der Hyperkubusoberfläche des Grundfarbenraumes werden zuerst in zylindrische *CIE*Lab Koordinaten transformiert, auf die  $L^*h^*$  Fläche projiziert und, unter Benutzung von Nachbarschaftsinformationen aus dem Grundfarbraum, trianguliert. Ein Nachteil besteht darin, dass die Berechnung der Schnittpunkte zwischen der Triangulationsfläche und spezieller durch Gamut-Mapping-Methoden definierter Kurven aufwendig ist.

Mahy [4], [5], [6] untersuchte das „Neugebauer Druckermodell“ und stellte fest, dass für einige Druckprozesse die physikalischen Gamutränder nicht mit den durch das Druckermodell  $\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}$  definierten übereinstimmen, d.h.

$$\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\partial\Psi) \neq \partial\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\Psi) \quad (2)$$

Es gibt also für diese Druckprozesse Grundfarbenkombinationen, die sich nicht auf der Oberfläche des Hyperkubusrandes  $\partial\Psi$  des Druckergrundfarbenraumes  $\Psi$  befinden und die trotzdem auf Farbeindrücke außerhalb der physikalischen Gamutgrenzen abbilden. Er nannte die durch das Druckermodell bestimmten Gamutränder „natürliche Gamutränder“ (natural gamut boundaries).

Cholewo [2] benutzte Alpha-Shapes zur Bestimmung der Gamutoberfläche. Der Alpha-Shape einer endlichen Punktmenge ist ein Subgraph ihrer Delauney Triangulation. Er berechnete den Alpha-Shape für eine Menge an gedruckten und mit einem Spektralphotometer ausgemessenen Grundfarbenkombinationen. Ein Problem dieser Methode ist jedoch, dass es sehr schwer ist einen geeigneten Kontrollparameter  $\alpha$  zu wählen, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erhalten.

Herzog [3] deformierte einen „Kernel-Gamutwürfel“ durch analytische Funktionen, die an eine Reihe von gedruckten und anschließend vermessenen Grundfarbenkombinationen angepasst wurden. Er nannte dieses Vorgehen „Gamulyt“-Methode.

Morovic [7], [8] entwickelte die „Segment Maxima Gamut Boundary SMGBD Methode“, die im nächsten Abschnitt genauer erläutert wird.

Die meisten dieser Methoden berücksichtigen nicht die Eigenschaften eines Druckermodells, da sie nur auf Basis der Grundfarbenkombinationen arbeiten, die sich auf der Hyperkubusoberfläche des Grundfarbenraumes befinden. Damit können im besten Fall die physikalischen Gamutränder bestimmt werden, nicht aber die natürlichen. Hierzu müssen alle Grundfarbenkombinationen sowie die Abbildungseigenschaften des Druckermodells berücksichtigt werden.

In Anlehnung an die SMGBD-Methode von Morovic wird in dieser Arbeit eine Methode (SMSGBD) vorgestellt, deren Grundlage ein Druckermodell ist, und die mit dem Gamutrand-Deskriptor der SMGBD-Methode eine leichte Zugriffsmöglichkeit für Gamut-Mapping-Verfahren bietet.

### 4 Segment Maxima GBD (SMGBD) Methode

Diese von Morovic [7], [8] vorgeschlagene Methode ermöglicht die Bestimmung eines 3D Druckergamuts im *CIE*Lab-Farbraum durch Berechnung eines GBD in Matrixform. Die hierzu notwendigen Teilschritte werden im Folgenden kurz skizziert:

1. Der *CIE*Lab-Farbraum wird mit Hilfe folgender Formeln in Kugelkoordinaten um den Mittelgrau-

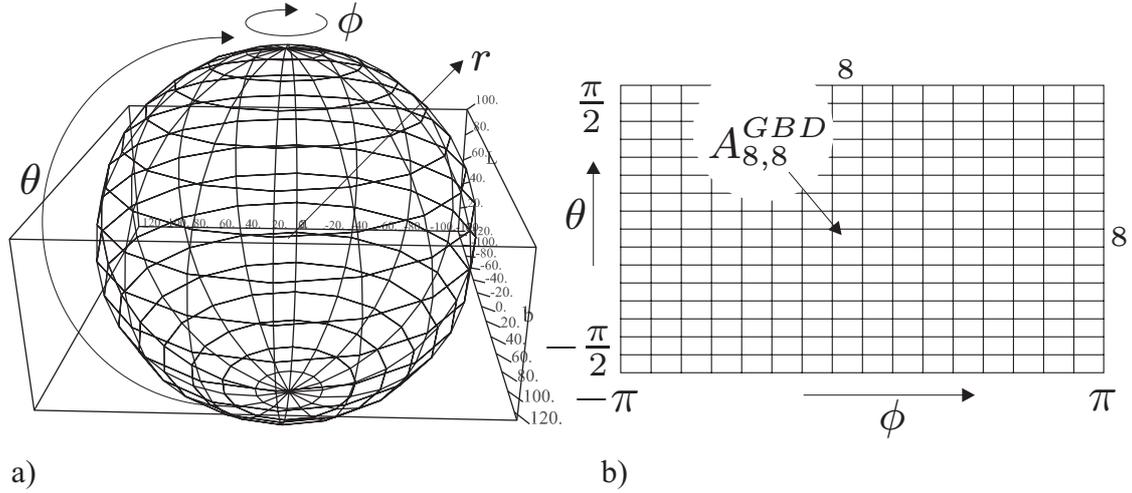


Abbildung 2: a)  $16 \times 16$  sphärische Segmente b) Zugehörige GBD Matrix  $A^{GBD}$

wert  $M := (L_M, a_M, b_M) = (50, 0, 0)$  transformiert:

$$r = \sqrt{(L - L_M)^2 + (a - a_M)^2 + (b - b_M)^2} \quad (3)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{b - b_M}{a - a_M}\right) \quad (4)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{L - L_M}{\sqrt{(a - a_M)^2 + (b - b_M)^2}}\right) \quad (5)$$

$\phi \in [-\pi, \pi]$  ist der Bunttonwinkel,  $\theta \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$  ist der Winkel in einer Fläche mit konst.  $\phi$ .

2. Der so in Kugelkoordinaten transformierte *CIELab*-Farbraum wird in  $n \times n$  Segmente unterteilt

$$S_{ij} := \left\{ \vartheta \left| \begin{array}{l} \vartheta_\phi \in \left[-\pi + \frac{2(i-1)\pi}{n}, -\pi + \frac{2i\pi}{n}\right[ , \\ \vartheta_\theta \in \left[-\frac{\pi}{2} + \frac{(j-1)\pi}{n}, -\frac{\pi}{2} + \frac{j\pi}{n}\right[ \end{array} \right. \right\}$$

$i, j = 1, \dots, n$  (Abbildung 2a). Das Segment  $S_{ij}$  korrespondiert mit dem Koeffizienten  $A_{ij}^{GBD}$  der GBD Matrix  $A^{GBD}$  (Abbildung 2b).

- Die Menge der gedruckten und spektral vermessenen Referenzfarben  $\mathcal{F}_P(\Psi_{\text{test}}) \subset \mathcal{F}_P(\Psi) \subset \text{CIELab}$  wird mit Hilfe der Formeln 3 - 5 in Kugelkoordinaten transformiert. Für jedes Segment  $S_j$  wird der Punkt  $\vartheta \in S_{ij}$  mit dem größten Radius  $\vartheta_r = \max_{\sigma \in S_{ij}} \sigma_r$  (maximaler Segmentpunkt) als Koeffizient  $A_{ij}^{GBD}$  in die GBD Matrix  $A^{GBD}$  eingetragen.
- Fallen in einige Segmente keine Referenzfarben, so werden die zugehörigen GBD Matrixkoeffizienten durch benachbarte GBD Matrixeinträge interpoliert.

#### 4.1 Fehler der SMGBD-Methode

Da der Wertebereich der Funktion  $\mathcal{F}_P : \Psi \mapsto \text{CIELab}$ , die den Druckprozess beschreibt, dem Druckergamut entspricht, wird der Wertebereich eines  $\mathcal{F}_P$  gut approximierenden Druckermodells  $\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}$  eine ebenfalls gute Approximation des Druckergamuts liefern. Der Wertebereich eines solchen Druckermodells soll im Folgenden als Referenzgröße für den Druckergamut dienen.

Da die SMGBD Methode von der Anzahl der Referenzfarben und vor allem von der Anzahl der Segmente abhängt, lassen sich folgende Fehlerfälle beobachten (Abbildung 3a), wenn kein Druckermodell Berücksichtigung findet:

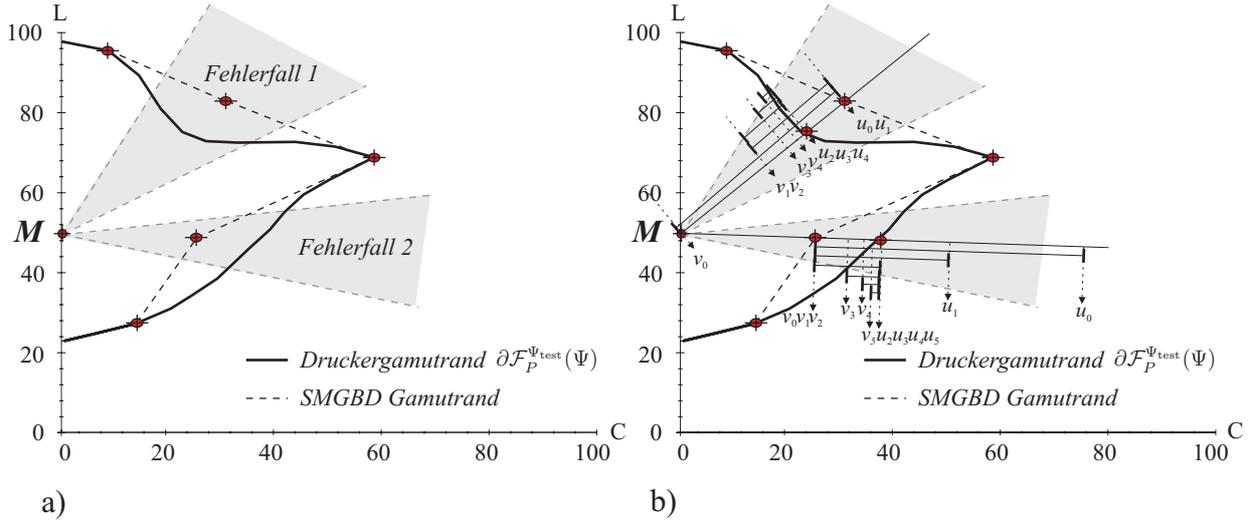


Abbildung 3: a) Mögliche Fehlerfälle der SMGBD Methode b) Abtastung des Gamutrandes durch Bisektion zur Korrektur des GBD

1. Der maximale Segmentpunkt liegt außerhalb des Druckergamuts  $\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\Psi)$ .
2. Der maximale Segmentpunkt liegt innerhalb des Druckergamuts  $\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\Psi)$ , aber nicht auf dessen Rand  $\partial\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\Psi)$ .

Fehlerfall 1 wird durch die Interpolation in Schritt 4 des SMGBD Algorithmusses möglich. Fehlerfall 2 tritt auf, wenn in der Menge der Referenzfarbeindrücke  $\mathcal{F}_P(\Psi_{\text{test}}) \subset \mathcal{F}_P(\Psi) \subset CIE\text{Lab}$  Farbeindrücke existieren, die nicht auf dem Gamutrand liegen, und die Anzahl der Segmente so gewählt wird, dass in mindestens ein Segment ausschließlich solche Farbeindrücke fallen.

## 5 Segment Maxima Sampling GBD (SMSGBD) Methode

Die SMSGBD Methode ist eine Erweiterung der SMGBD Methode, da sie zusätzlich die Abbildungseigenschaften eines Druckermodells mit in die Gamutrandberechnung einbezieht. Diese Methode ist nicht auf ein spezielles Druckermodell beschränkt, vielmehr lassen sich beliebige kriterienabhängig invertierbare Modelle benutzen.

### 5.1 Indikatorfunktion

Über das Druckermodell lässt sich eine Indikatorfunktion  $\mathcal{I}_{\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}} : CIE\text{Lab} \rightarrow \{-1, 1\}$  definieren, die bei einem vorgegebenen Farbeindruck  $\vartheta \in CIE\text{Lab}$  anzeigt, ob dieser innerhalb des Druckergamuts liegt, oder nicht

$$\mathcal{I}_{\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}} : \begin{cases} CIE\text{Lab} \rightarrow \{-1, 1\} \\ \vartheta \mapsto \begin{cases} 1, & \exists \chi \in \Psi : \mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\chi) = \vartheta \\ -1, & \text{sonst.} \end{cases} \end{cases} \quad (6)$$

In der Praxis lässt sich diese Indikatorfunktion über die restringierte Optimierungsaufgabe 2.1 berechnen: Existiert für die entsprechende Aufgabe eine Lösung, d.h. wird eine Grundfarbe  $\chi \in \Psi$  gefunden, die den vorgegebenen Farbeindruck  $\vartheta \in CIE\text{Lab}$  reproduziert, so wird 1 zurückgegeben, andernfalls -1.

### 5.2 Algorithmus

Um die Fehlerfälle der SMGBD Methode zu korrigieren, wird für jedes Segment  $S_{ij}$  der Gamutrand  $\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}(\Psi)$  mittels einer Bisektionsmethode, die die Indikatorfunktion  $\mathcal{I}_{\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}}$  benutzt, abgetastet (Abbildung 3b). Dies

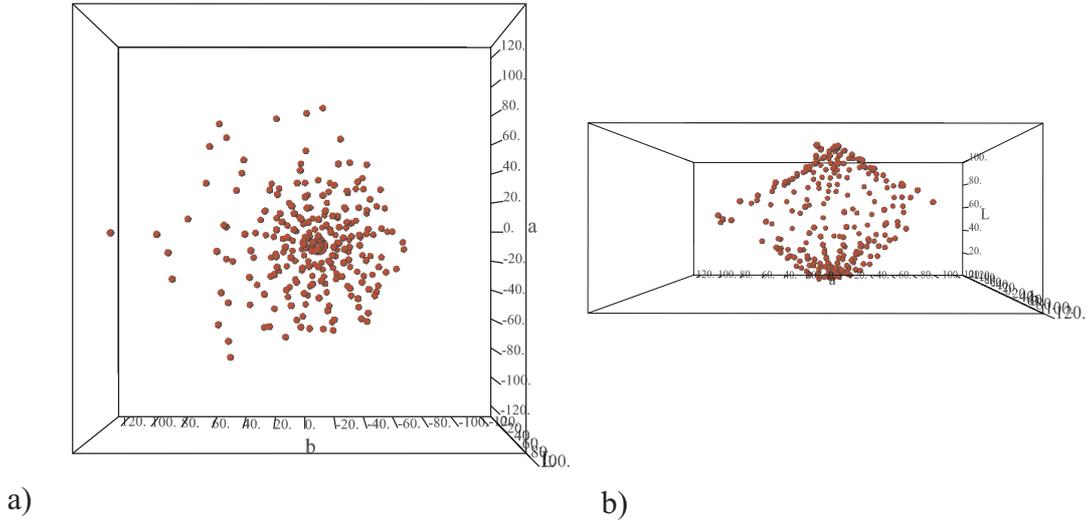


Abbildung 4: a) und b) Maximale Segmentpunkte für den HP DeskJet 990Cxi Drucker für Premium Papier

geschieht entlang einer Geraden  $\mathcal{B}_{ij}$ , die über den Mittelgrauwert  $M := (L_M, a_M, b_M) = (50, 0, 0)$  und den maximalen Segmentpunkt  $A_{ij}^{GBD}$  der SMGBD Methode definiert wird. Mit dem in kartesischen Koordinaten transformierten, maximalen Segmentpunkt  $C_{ij}$  lässt sich die Geradengleichung folgendermaßen formulieren

$$\begin{aligned} \mathcal{B}_{ij}(\lambda) &= M + \lambda \frac{C_{ij} - M}{\|C_{ij} - M\|_2} \\ &= M + \lambda \frac{C_{ij} - M}{(A_{ij}^{GBD})_r} \end{aligned} \quad (7)$$

Wird der größte Radius aller maximalen Segmentpunkte mit

$$r_{max} := \max_{i,j \in \{1, \dots, n\}} (A_{ij}^{GBD})_r \quad (8)$$

bezeichnet, so kann die Bisektionsiteration  $(u_m, v_m)$  für das Segment  $S_{ij}$  wie folgt definiert werden (Abbildung 3b)

$$(u_0, v_0) := \begin{cases} ((A_{ij}^{GBD})_r, 0), & \mathcal{I}_{\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}}(\mathcal{B}_{ij}(A_{ij}^{GBD})_r) = -1 \\ ((A_{ij}^{GBD})_r, r_{max}), & \mathcal{I}_{\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}}(\mathcal{B}_{ij}(A_{ij}^{GBD})_r) = 1 \end{cases}$$

und für  $m = 1, 2, \dots$  mit  $x := \frac{u_{m-1} + v_{m-1}}{2}$ :

$$(u_m, v_m) := \begin{cases} (x, v_{m-1}), & \mathcal{I}_{\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}}(\mathcal{B}_{ij}(x)) \cdot \mathcal{I}_{\mathcal{F}_P^{\Psi_{\text{test}}}}(\mathcal{B}_{ij}(v_{m-1})) = -1 \\ (u_{m-1}, x), & \text{else.} \end{cases}$$

Die Iteration terminiert, wenn der Abstand zwischen  $u_m$  und  $v_m$  unter eine Schwelle  $\epsilon : |u_m - v_m| < \epsilon$  fällt. Hierbei kann in den meisten Fällen  $\epsilon = 1$  als ausreichende Genauigkeit gewählt werden.

Nach Abbruch der Bisektion wird der neue maximale Segmentpunkt

$$C_{ij}^{new} := M + u_m \frac{C_{ij} - M}{\|C_{ij} - M\|_2} \quad (9)$$

unter Benutzung der Gleichungen 3 - 5 in sphärische Koordinaten umgerechnet und in der GBD Matrix gespeichert. Nach Durchführung der SMSGBD Methode enthält die GBD Matrix ausschließlich Einträge, deren maximale Entfernung zum Druckermodell-Gamutrand  $\Delta E = \epsilon$  entspricht.

### 5.3 Zugriff von Gamut Mapping Methoden auf die Gamutrandinformationen

Da die SMSGBD Methode die gleiche GBD Struktur benutzt wie die SMGBD Methode, lassen sich auch die gleichen Algorithmen benutzen, um auf die Gamutrandinformationen zuzugreifen. Morovic und Luo [7] [8] entwickelten zwei Methoden, die einen Zugriff entlang von Geraden ermöglichen, die einen Schnittpunkt mit der Grauchse besitzen, dies sind die CLGB Methode („Constrained Line Gamut Boundary Method“) und die FSLGB Methode („Flexible Sequential Line Gamut Boundary Method“).

### 5.4 Ergebnisse

Die SMSGBD Methode wurde mit dem ZYNmNM auf unterschiedlichen Druckern und Papiersorten getestet. Es wurden Großformat-*CMYK*-Drucker benutzt: HP1055 und HP5500 (*CMYK*-Ansteuerung) sowie *CMY*-Drucker (*RGB*-Ansteuerung): HP990cxi und Epson Stylus Color 980. Als Papiersorten wurden normales, gestrichenes und Hochglanzpapier verwendet. Für den Referenzgamut wurden 6561 Testfarben auf den *CMYK* Druckern und 729 Farben auf den *CMY*-Druckern ausgegeben (dies entspricht einer Kanalabtafung von 9). Diese Testfarbenmenge  $\Psi_{\text{test}}^{ref}$  wurde Kanalweise ausgedünnt, bis schließlich lediglich 16 bzw. 8 Farben für die *CMYK*- bzw. *CMY*-Drucker sowie zusätzliche Keilfarben zur Bestimmung des Yule-Nielson- $n$ -Faktors übrig blieben. Nach jedem Ausdünnen der Testfarben wurde ein  $16 \times 16$  GBD berechnet. Das ZYNmNG erreichte im Durchschnitt bei einer Kanalabtafung von 5, d.h. 625 bzw. 125 Testfarben eine Genauigkeit, die dem Rauschlevel der Drucker entsprach. Bereits bei dieser Anzahl an Testfarben entsprach der resultierende Gamut dem des Referenzgamuts (Durchschnittliche Ungenauigkeit pro Segment:  $\Delta E_{ab}^* < 2$ ). Abbildung 5 zeigt am Beispiel des HP1055-*CMYK*-Druckers die Unterschiede für 44, 276 und 6561 Testfarben.

## 6 Fazit und Ausblick

Es wurde eine neue Methode (SMSGBD) zur Bestimmung von medienabhängigen Druckergamuts vorgestellt, die die abbildenden Eigenschaften eines Druckermodells berücksichtigt (als Beispiel das zellulare Yule-Nielson modifizierte Neugebauer Modell) und die Gamutrandinformationen in einem Gamutranddeskriptor (GBD) abspeichert, auf den durch Gamut-Mapping-Verfahren einfach zugegriffen werden kann. Die Qualität der Methode kann verbessert werden, indem ein besser approximierendes Druckermodell verwendet wird. Die Vergrößerung der Segmentanzahl ermöglicht eine präzisere Darstellung des Gamutrandes im GBD. Z.Z. laufen Experimente auf Hexachromdruckern.

## Literatur

- [1] G. J. Braun and M. D. Fairchild. Techniques for gamut surface definition and visualisation. In *IS&T/SID*, pages 147–152, Scottsdale Ariz., 1997.
- [2] T. J. Cholewo and S. Love. Gamut boundary determination using alpha-shapes. In *IS&T/SID*, pages 200–204, Scottsdale Ariz., 1999.
- [3] P. G. Herzog. Analytical color gamut representations. *Journal of Imaging Science and Technology*, 40:516–521, 1996.
- [4] M. Mahy. Gamut calculation of color reproduction devices. In *IS&T/SID*, pages 145–150, Scottsdale Ariz., 1995.
- [5] M. Mahy. Calculation of color gamuts based on the neugebauer model. *Color Research and Applications*, 22:365–374, 1996.
- [6] M. Mahy. Insight into the solution of the neugebauer model. In *Proceedings of SPIE*, pages 118–128, 1998.
- [7] J. Morovic. *To Develop a Universal Gamut Mapping Algorithm*. PhD thesis, University of Derby, UK, 1998.
- [8] J. Morovic and Luo. Calculating medium and image gamut boundaries for gamut mapping. *Color Research and Applications*, 25:394–401, 2000.
- [9] P. Urban and R.-R. Grigat. Printer characterization using adaptive constraint optimization. In *CGIV*, pages 574–579, Poitiers, France, 2002.
- [10] J. A. C. Yule and R. S. Colt. Colorimetric investigations in multicolor printing. In *TAGA Proceedings*, pages 77–82, 1951.
- [11] J. A. C. Yule and W. J. Nielsen. The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction. In *Tech. Assn. Graphic Arts*, volume 4, pages 65–76, 1951.

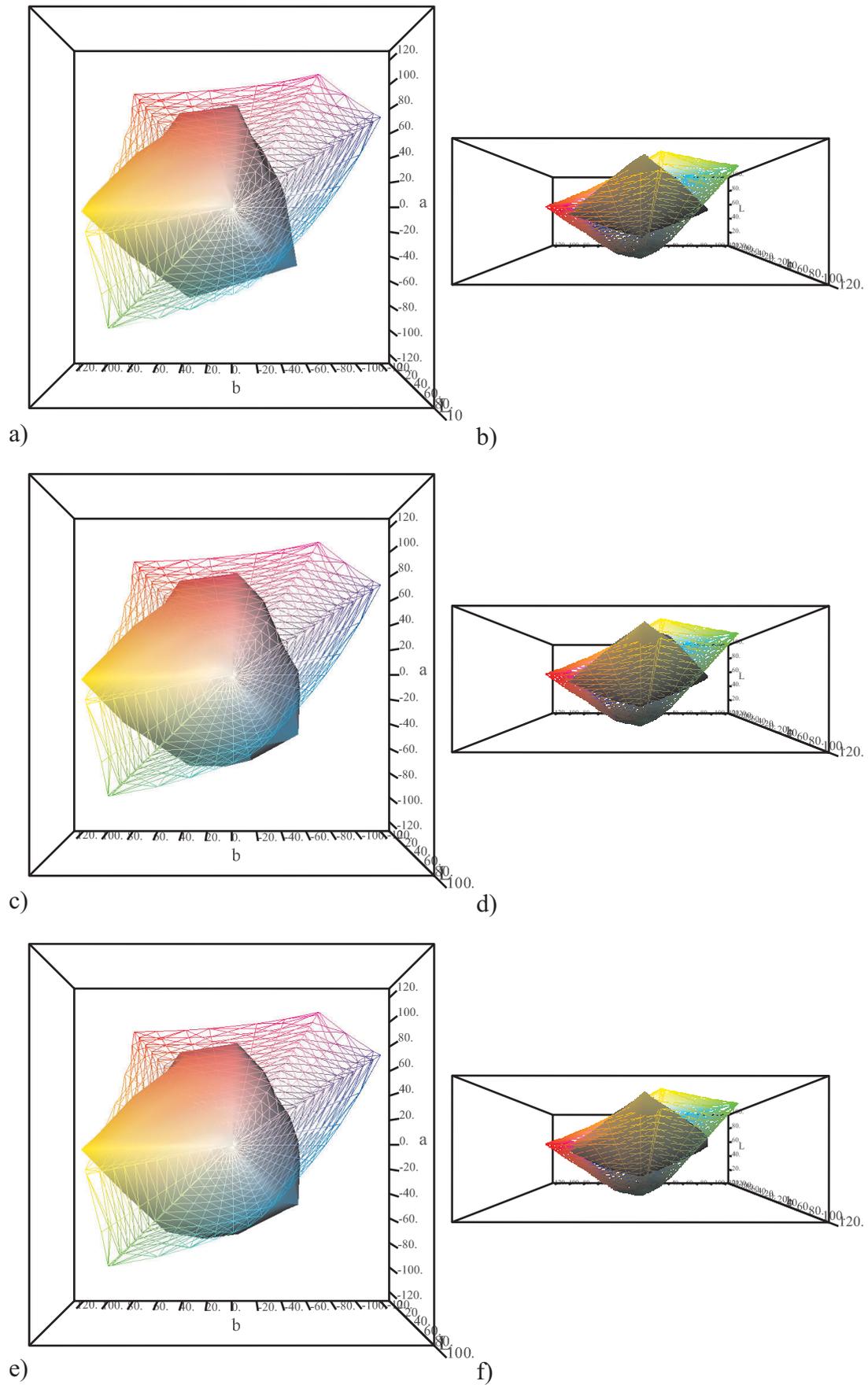


Abbildung 5: Opak: Gamut eines HP1055 CMYK Druckers auf gestrichenem Papier auf Basis von a), b) 44 Messungen, c), d) 276 Messungen und e), f) 6561 Messungen. Gitter: sRGB Farbkörper zum besseren Größenvergleich