

L^{STAR}-RGB

Die ideale Kombination von ECI-RGB und CIELAB

Der theoretisch ideale Arbeitsfarbraum für eine medienneutrale Produktion wäre eigentlich CIELAB. Da er direkt das Farbauflösungsvermögen des menschlichen Sehsinns beschreibt, besitzt er eine visuell sehr homogene Koordinatenverteilung. Er ist international genormt und Grundlage der meisten Farbmessungen. Deshalb wird $L^*a^*b^*$ - zumindest indirekt - bei allen Farbmanagementprozessen verwendet. Doch Probleme wie die in 8 bit zu geringe Koordinatendichte (bedingt durch den riesigen Farbumfang, diese erzeugt bei der Separation oft Tonwertabrisse) und die fehlende Unterstützung in vielen Programmen und Geräten verhindern bis heute die sinnvolle Anwendung als Arbeits- und Speicherfarbraum.

Stattdessen haben sich für diesen Zweck RGB-Daten in diversen Farbräumen (ECI-RGB, Adobe-RGB, ColorMatch-RGB, sRGB, ...) durchgesetzt, die jedoch durch ihre visuell ungleichmäßige Verteilung Fehler (z.B. Banding) beim Druck erzeugen können. Das neue LStar-RGB vereint nun die Vorteile von RGB-Daten - sehr einfache Anwendung, breite Software- und Geräteunterstützung, praxisgerechter Farbumfang und ausreichende Speichergenauigkeit in 8 bit - mit der überlegenen Koordinatenverteilung von CIELAB.

Seine volle Leistungsfähigkeit entwickelt dieser Arbeitsfarbraum in einem neuen Workflow-Konzept, dem LINEAR-WORKFLOW. Durch Farbraumkonvertierungen verursachte Fehler (z.B. Banding, Farbkipper,...) werden durch diese Workflow-Abstimmung sowohl bei der Betrachtung am Monitor als auch im Druck auf das technisch mögliche Minimum reduziert.

1. Stellenwert der medienneutralen Datenspeicherung

Die Suche nach dem idealen Arbeitsfarbraum für medienneutrale Daten ist im Grunde so alt wie das Thema Farbmanagement. Dominierten bisher jedoch klassische, mediengebundene CMYK-Workflows für konventionelle Druckverfahren (Offset, Tiefdruck,...), wird medienneutrales Datenmanagement mit der raschen Verbreitung neuer Technologien wie digitale Fotografie und innovative Digitaldruckverfahren massiv an Bedeutung. Die gesamte grafische, fotografische und Werbe-Industrie befindet sich im Umbruch. Daten müssen heute über sehr verschiedene Verfahren ausgegeben werden können. Die Bandbreite reicht inzwischen von der Bearbeitung an Röhren- und Flachbildschirmen über den klassischen Offset- und Tiefdruck, den Großformatdruck auf diversen Papieren, Textilien und Folien, die Belichtung auf fotochemische Materialien, die Verwendung im Internet bis hin zur Präsentation über Projektionssysteme, Plasmabildschirme und LED-Wände!

Grund genug für Color Solutions die medienneutrale Primärspeicherung von Daten mit Blick auf die neuen Technologien und Möglichkeiten erneut zu untersuchen. Ergebnis war die Weiterentwicklung des 1998 von Color Solutions entworfenen ECI-RGB zum LStar-RGB.

2. LStar-RGB, Technik und Designprinzipien

LStar-RGB wurde als RGB-Matrixprofil mit dem Farbumfang von ECI-RGB programmiert, dessen interne Verteilung sich aber an $L^*a^*b^*$ orientiert. Mehrere Gesichtspunkte führten zu diesem Design:

2.1 LUT- oder Matrixprofil?

Zunächst stellte sich die Frage, welcher Profiltyp für die Beschreibung des Arbeitsfarbraums benutzt werden soll. Man unterscheidet grundsätzlich 2 Typen:

a) LUT-Profile

Bei diesem Profiltyp erfolgt die Beschreibung des Farbraumes über Tabellen, die die Lage einer endlichen Anzahl von Stützstellen im Farbraum enthalten. Zwischen diesen bekannten bzw. festgelegten Stellen wird dann interpoliert. Großer Vorteil dieses Typs ist, dass auch ein unstetes, nicht lineares Verhalten dargestellt werden kann. Solche Profile eignen sich daher sehr gut zur Charakterisierung realer Ein- und Ausgabegeräte (Scanner, Kameras, Drucker, Belichter, Monitore, ...). Ein Arbeitsfarbraum zur medienneutralen Datenhaltung hingegen sollte möglichst keine Ungleichmäßigkeiten enthalten, da diese bei der Verrechnung sehr schnell Tonwertabrisse erzeugen. Für ausreichende Genauigkeit sind umfangreiche Tabellen nötig. So ergeben sich für LUT-Profile Dateigrößen zwischen ca. 200 KB und 2 MB. Da ein Arbeitsfarbraumprofil generell an jede Datei angehängt werden sollte, würde die Verwendung eines LUT-Profiles als Arbeitsfarbraum das Datenvolumen zum Teil deutlich erhöhen. Ferner können immer noch einige Programme und Geräte (z.B. Kameras) LUT-Profile nicht direkt verarbeiten.

b) Matrixprofile

Dieser Typus hingegen zeichnet sich durch einen sehr einfachen, klaren Aufbau und – damit verbunden – sehr kleine Dateigrößen aus (4KB - 8KB). Gespeichert werden lediglich Weiß- und Schwarzpunkt, sowie die Eckpunkte und Gradationskurven der Primärvalenzen (Rot, Grün und Blau). Alle anderen Koordinaten werden daraus über eine Matrix errechnet. Diese Profile sind nicht sehr gut für die Charakterisierung von Geräten geeignet, da sie deren Abweichung vom mathematischen Modell, ihre Ungleichmäßigkeiten und „Fehler“ nicht genau beschreiben können. Gerade diese simple Struktur aber macht sie für die Verwendung als Speicher- und Arbeitsfarbraum äußerst geeignet. Das Einbinden des Profils vergrößert selbst recht kleine Dateien nicht nennenswert. Außerdem wird dieser Profiltyp von allen, auch älteren ICC-fähigen Systemen problemlos und sicher verarbeitet.

Die Wahl fiel – wie schon 1998 beim Design von ECI-RGB – auf das Matrixlayout. Da heute installierte medienneutrale Arbeitsabläufe fast ausnahmslos matrixbasierte Arbeitsfarbräumen nutzen, wird die Umstellung auf LStar-RGB dadurch besonders einfach und sicher. Alle Programme, die den alten Farbraum sauber verarbeiten, haben garantiert auch keine Probleme bei der Verrechnung von LStar-RGB. Datenvolumina und Verarbeitungsgeschwindigkeit bleiben konstant. Weitere Investitionen in neue Software und Hardware werden durch die Umstellung nicht nötig. LStar-RGB sorgt aber durch seine farbmétrisch homogen verteilten Daten für eine effizientere Speicherung mit mehr Informationsgehalt bei Scan und Digitalfotografie und reduziert Artefakte wie z.B. Tonwertabrisse und Farbkipper in Tertiärfarben bei der Separation.

2.2 Grundparameter des Matrixfarbraums LStar-RGB

Beim Design des Matrix-Arbeitsfarbraumes mußten nun 2 Dinge detailliert betrachtet werden: zum einen der Gamut, d.h. die Form und Größe des Farbraumes, zum anderen die Verteilung der Koordinaten innerhalb des gewählten Farbumfanges.

2.2.1 Gamut (= Form und Größe): Übernahme der Eckpunkte von ECI-RGB

Das Thema Farbumfang wird schon seit einigen Jahren ausgiebig diskutiert. Deshalb soll hier eine kurze Zusammenfassung genügen.

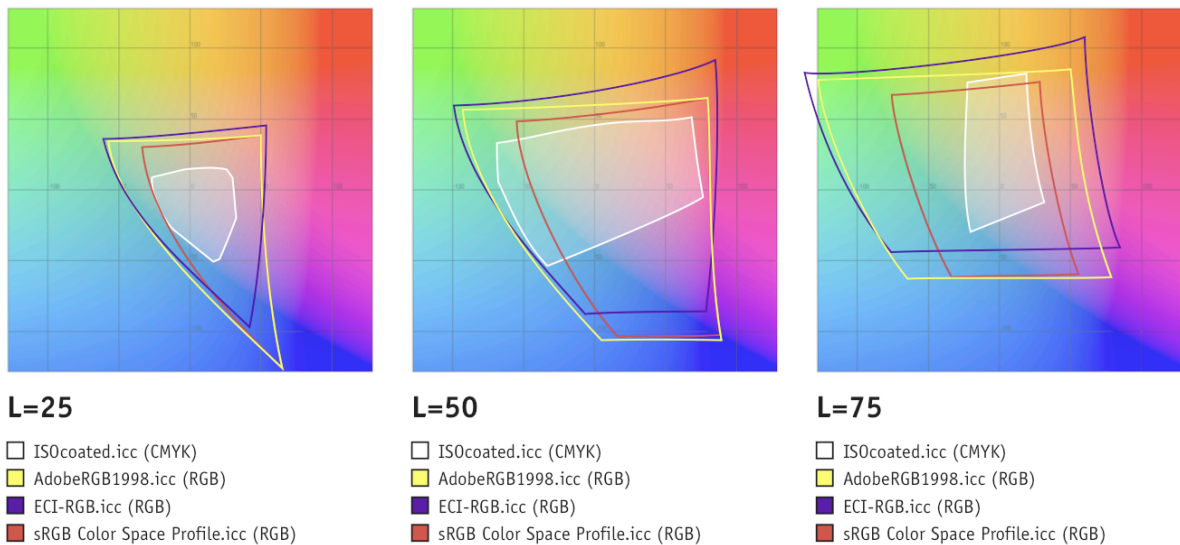
In der Praxis hat sich ECI-RGB seit nunmehr 6 Jahren in Europa bewährt. 1998 ebenfalls von Color Solutions entwickelt und zunächst unter dem Namen ColorSolutions-RGB in Umlauf gebracht, wurde dieser Arbeitsfarbraum von der ECI geprüft und empfohlen und ist seither als ECI-RGB bekannt. Die Größe ist so gewählt, dass die Farbumfänge der üblichen Massendruckverfahren (Offset, Tiefdruck, Fotopapier,...), komplett abgedeckt werden und die Kamera- bzw. Scannerrohdaten möglichst verlustfrei in ECI-RGB umgerechnet werden können.

Auch die neuen ISO-Profile aus dem Jahr 2004 sind im Gamut von ECI-RGB enthalten. Die Form von ECI-RGB ähnelt – bedingt durch den Aufbau als RGB-Matrixprofil – Farbräumen von additiven Systemen wie Monitoren, Scannern und Kameras.

Da in einem Matrixprofil Rot, Grün und Blau zusammen Weiß ergeben müssen, ist die Form bei diesem Profiltyp nicht völlig frei wählbar. Die Ähnlichkeit zu Kameras und Scannern ist aber durchaus sinnvoll. Ein Arbeitsfarbraum dient - wie der gute alte Diafilm - der Primärspeicherung von druckunabhängigen Daten, nicht der Drucksimulation oder gar der Separation. Diese sollte erst unter Verwendung geeigneter Druckprofile in einem zweiten Arbeitsschritt erfolgen. Beim Herstellen medienneutraler Daten möchte man eigentlich nur die „Fehler“ des benutzten Bilderzeugungssystems beseitigen, ansonsten aber die von Kamera oder Scanner erfasste Bildinformation möglichst verlustfrei und effizient in eine Datei speichern. Additiv arbeitende Systeme (Scanner, Kameras, Monitore, Projektoren, elektronische Displaysysteme) und Geräte mit subtraktiver Farbmischung (diverse Drucksysteme) sind physikalisch grundsätzlich verschieden. Dies erzeugt auch grundsätzliche, charakteristische Unterschiede in der Form der Farbräume. Alle Bilderfassungssysteme arbeiten systembedingt additiv. Ein Arbeitsfarbraum für die medienneutrale Speicherung und Archivierung von Daten sollte sich deshalb in Form und Größe an diesen Geräten mit additiver Farbmischung orientieren.

Speicherfarbräume, deren Form und Farbumfang sich an heutigen, durchschnittlichen Drucksystemen (subtraktive Farbmischung) orientieren, machen bei Daten, die langfristig für die vielfache Verwendung gespeichert werden sollen, keinen Sinn. Hier erfolgt bereits bei der Konvertierung der additiven Kamera- bzw. Scannerrohdaten eine drastische Veränderung der Größe und Form des Farbraums. Meist wird der Farbumfang deutlich reduziert. Drucksysteme mit besonders großem Gamut (z.B. LFP mit hoch gesättigten Tinten) und vor allem additive Wiedergabesysteme (großformatige elektronische Displaysysteme wie Plasmabildschirme oder LED-Wände, Projektionsgeräte, digitales Kino, ...) können ohne aufwendige Bearbeitung mit solchen im Farbumfang reduzierten Daten nicht mehr in voller Qualität angesteuert werden. Gerade diese Geräte gewinnen aber in der Werbeindustrie rasant an Bedeutung.

Obige Anforderungen erfüllt der Farbumfang von ECI-RGB nach wie vor sehr gut. Deshalb wurde in LStar-RGB dieser Gamut beibehalten. Dies sichert auch eine sehr gute Kompatibilität von Altdatenbeständen in ECI-RGB und neuen LStar-Daten. Das Farbumfangsverhalten (z.B. bei der Drucksimulation) beider Farbräume ist sehr ähnlich. Einen Vergleich des Gamuts von ECI-RGB bzw. LStar-RGB mit anderen Arbeitsfarbräumen sehen Sie in *Grafik 1*. Weitere, detaillierte Informationen zum Gamut von Arbeitsfarbräumen finden Sie in der Untersuchung der ECI zum ECI-RGB (*RGB-Test.pdf*). Die Ergebnisse dieser Arbeit zum Gamut von ECI-RGB sind auf LStar-RGB voll übertragbar.

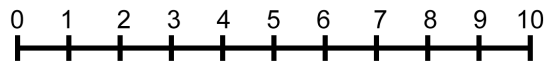


Grafik 1: Gamutvergleich verschiedener Arbeitsfarbräume in drei Helligkeitsebenen
 © Daniel Lowicki, Professur für Verfahrenstechnik der Medienvorstufe, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig(FH), Fachbereich Polygrafische Technik

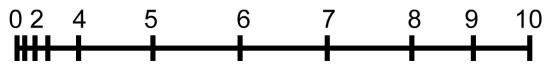
2.2.2 Koordinatenverteilung innerhalb des Farbraumes – die LStar-Methode

Das zweite Kriterium ist die Verteilung der Koordinaten innerhalb des Gamuts. Obwohl gerade dieser Punkt für die erreichbare Bildqualität von entscheidender Bedeutung ist, wurde er bisher in der Praxis eher vernachlässigt (siehe auch *RGB-Test*, Seite 20). Hierin besteht die wesentliche Neuerung von LStar-RGB. Da bei Matrixfarbräumen die räumliche Verteilung der Koordinaten ausschließlich von der gewählten Gradation abhängig ist, kann die Betrachtung zunächst auf die Grauachse beschränkt werden. Hier sind die Zusammenhänge leichter darstellbar.

Lassen Sie uns aber zuerst das **Ziel** definieren: Aufgabe der Verteilungsfunktion eines Arbeitsfarbraums ist es, bei gegebener Bittiefe (z.B. 8 bit) **möglichst viel Bildinformation** zu speichern. Klingt einfach und logisch – doch was ist unter „Bildinformation“ genau zu verstehen? Die bloße Anzahl der Stufen kann damit nicht gemeint sein, da alle Farbräume – egal mit welcher Koordinatenverteilung bzw. Gradation/Gamma konstruiert – bei 8 bit datentechnisch 256 Stufen (0-255) auflösen. Der Informationsgehalt ist nach der Informationswissenschaft nicht nur von Sender (in unserem Fall Kamera bzw. Scanner) und Signal/Signalträger (hier: Arbeitsfarbraum für die Datenspeicherung), sondern sehr wesentlich auch vom Empfänger abhängig. Ein Signal, das der Empfänger nicht wahrnehmen - d.h. auflösen und verstehen - kann, transportiert keine Information! Diesen Zusammenhang zeigen *Grafik 2 und 3* sehr deutlich.



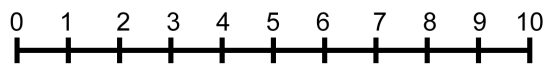
Auflösungsvermögen des Empfängers



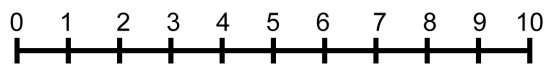
schlechtes Signal (10 Stufen)



empfangene Information:
3 Stufen gehen durch die unterschiedliche Stufenverteilung von Sender und Empfänger verloren

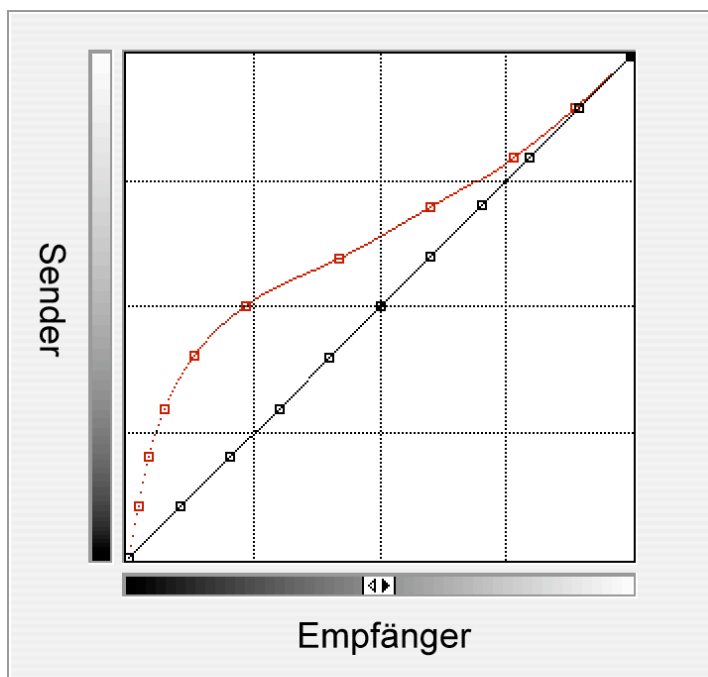


ideales Signal mit an den Empfänger angepasster Stufenverteilung



empfangene Information: **100%**

Grafik 2: Effizienz der Informationsübertragung in Abhängigkeit vom Auflösungsvermögen des Empfängers



Grafik 3: Kurvendarstellung der Daten aus Grafik 2
 ■ ideales Signal ■ schlechtes Signal

Beim Design eines Arbeitsfarbraums – also des „Signalträgers“ für Farbdaten – ist die zentrale Frage: **Wer oder was ist der Empfänger?**

Bilddaten werden letzten Endes von einem **Menschen** betrachtet. Nur dafür werden Sie schließlich produziert! Unter diesem einfachen und einsichtigen Gesichtspunkt sollte als Empfänger der menschliche Sehsinn definiert werden. Dessen Eigenschaften werden z.Zt. am besten durch das **L*a*b*-System** charakterisiert.

Da Daten nicht wie z.B. ein Dia direkt betrachtet werden können, ist ein zweiter Denkanlass, die Verarbeitung der Daten bis zur Wiedergabe zu untersuchen. Beim Drucken z.B. werden die Daten über ein Druckerprofil in CMYK gewandelt und gelangen dann auf das Druckwerk. Empfänger der Arbeitsfarbraum-Daten ist bei dieser Betrachtungsweise also das **ICC-Profil des Wiedergabesystems**, genauer gesagt die Separationstabelle ($L^*a^*b^* \Rightarrow \text{CMYK}$) dieses ICC-Profiles. Arbeitsfarbraum-Profil und Druckerprofil werden für die Konvertierung über $L^*a^*b^*$ miteinander verbunden (vereinfacht: $\text{RGB} \Leftrightarrow L^*a^*b^* \Leftrightarrow \text{CMYK}$). Man kommt zum selben Ergebnis: als Empfängercharakteristik ist auch hier CIELAB sinnvoll. Sind die RGB-Bilddaten bereits farbmétrisch homogen verteilt, wird die Tabelle des Druckprofils optimal angesprochen. Ideale Verhältnisse erhält man, wenn auch die CMYK-Farbraumverteilung durch die LStar-Methode oder eine andere farbmétrische Kalibrierung an die CIELAB-Charakteristik angepasst wird. Dies ermöglicht bei gegebenen Farbumfängen und Bittiefen die effektivste Informationsübertragung im Workflow (siehe: **Linear-Workflow.pdf**). Durch Farbraumkonvertierungen verursachte Fehler (z.B. Banding, Farbkipper,...) werden so auf das technisch mögliche Minimum reduziert.

Betrachtet man zunächst die Grauachse, wird diese durch L^* beschrieben (a^* und b^* sind für neutrale Töne immer gleich 0). Die Gradation von LStar-RGB ist nun nach der **LStar-Methode** so konstruiert, dass die **RGB-Werte der Grauachse 100%ig linear zu L^*** des $L^*a^*b^*$ -Farbsystems verlaufen. Da in einem Matrixfarbraum die Grauachse durch Vektoraddition von Rot, Grün und Blau in gleichen Anteilen definiert ist, erzeugt eine visuell gleichabständige Stufung der Grauachse automatisch auch visuell gleichabständige Farbachsen (Rot, Grün, Blau). Daraus resultiert **über den gesamten Farbraum** innerhalb des durch die Eckpunkte definierten Gamuts die **technisch bestmögliche Verteilung der RGB-Koordinaten**. Wir erhalten deshalb mit der LStar-Methode innerhalb eines gegebenen Farbumfangs den größtmöglichen Informationsgehalt für den menschlichen Sehsinn.

Vor der LStar-Methode wurden Arbeitsfarbräume (z.B. Adobe-RGB, ECI-RGB, ColorMatch-RGB,...) meist unter Verwendung der **Gamma-Technik** definiert oder weisen zumindest eine gammaähnliche Gradation auf. Diese stammt aus der analogen Verstärkertechnik. Röhrenmonitore z.B. zeigen in der Regel eine Gamma-Charakteristik. Als Empfänger im informationstechnischen Sinne wird hier also ein Röhrenmonitor betrachtet. Dies ist beim heutigen Stand der Technik nicht mehr sinnvoll: zum einen gibt es bald keine Röhrenmonitore mehr – zum anderen beurteilt schließlich nicht der Monitor ein Bild, sondern der Mensch davor.

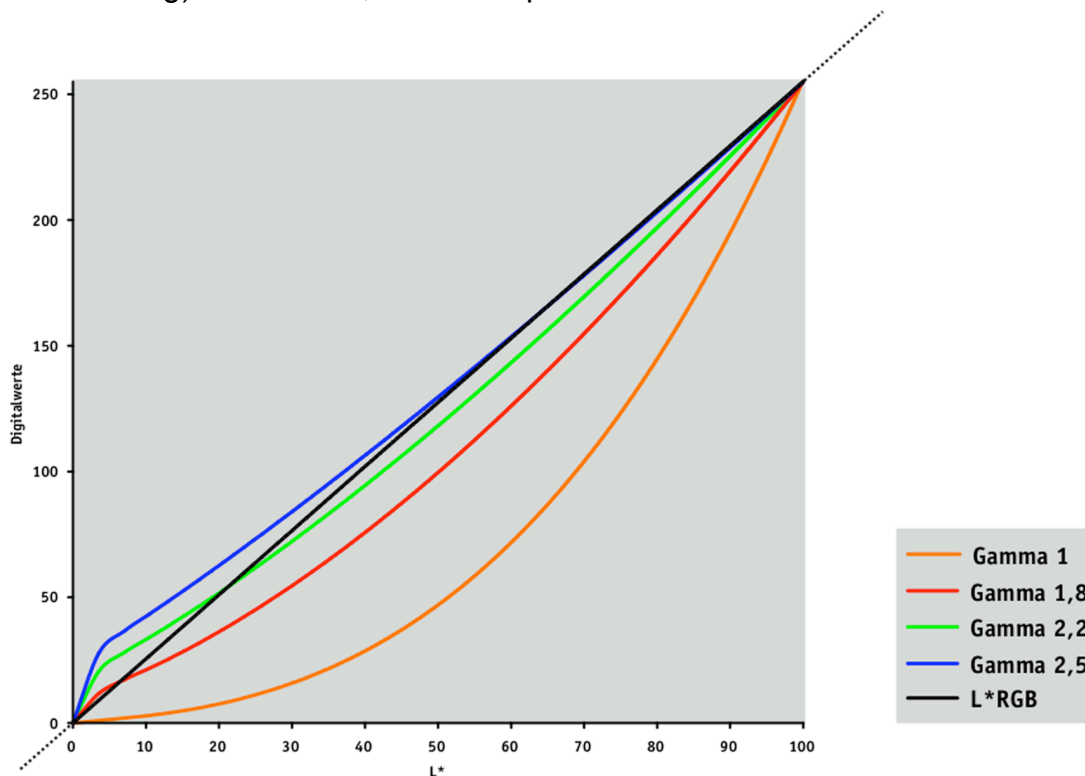
Die Auswirkungen einer Gamma-Charakteristik zeigt sehr gut **Grafik 4**: Während LStar-RGB sich in Bezug auf das menschliche Wahrnehmungsvermögen absolut linear verhält, beschreiben Gamma-Systeme eine umgekehrte S-Kurve: direkt am Schwarzpunkt sehr steil, dann abflachend und zu hellen Bereichen wieder steiler werdend. Besonders bei hohen Gammawerten ist die Kurve am Schwarzpunkte sehr steil. Dies heißt, dass dort die Koordinaten sehr dicht beieinander liegen (vgl. **Grafik 2 und 3**).

Bei **Adobe-RGB (Gamma 2,2)** z.B. werden für den Helligkeitsbereich $L^*=0$ bis $L^*=3$ (die dunkelsten 3% der Grauchachse) bereits 20 Koordinaten (0-19) „verbraucht“ – fast 10% des gesamten Datenraums. Dieser Helligkeitsbereich enthält aber meist

keine bildrelevante Information, sondern nur das Rauschen von Kamera bzw. Scanner. Diese Koordinaten speichern also bezogen auf das menschliche Auge keine Information! Arbeitsfarbräume mit hohen Gammawerten erzeugen deshalb **effektive Informationsverluste**.

Niedrigere Gamma's wie in **ECI-RGB (Gamma 1,8)** arbeiten in der Nähe des Schwarzpunktes fast linear. Informationsverluste an dieser Stelle werden dadurch weitgehend vermieden. Der „Preis“ dafür ist jedoch eine recht starke **Umverteilung der Koordinaten** über den gesamten Farbraum. Diese Koordinatenverschiebung begünstigt die obere Hälfte des Farbraums und geht zulasten der 3/4-Töne. Da hier die höheren Koordinatendichten in bildrelevanten Bereichen statt im Schwarzpunkt erzeugt werden, kann die genauere Speicherung an diesen Stellen wenigstens genutzt werden. Dies ist zwar besser als effektive Informationsverluste, optimal ist aber auch diese Charakteristik nicht.

LStar-RGB hingegen arbeitet in **allen Helligkeitsbereichen streng linear**. Im Vergleich zur alten Gammatechnik verfügt es also über ein variables Gamma von ca. 1,4 in der Nähe des Schwarzpunktes (Wert unter Berücksichtigung der 8-bit-Quantisierung) bis hin zu 2,5 am Weißpunkt.



Grafik 4: Kodierung der visuellen Helligkeit L^* durch verschiedene Systeme

© Daniel Lowicki, Professur für Verfahrenstechnik der Mediovorstufe, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig(FH), Fachbereich Polygrafische Technik

Am Mittelpunkt der Grauchse ($L^*=50$) entspricht die LStar-Verteilung einem Gamma von 2,43. Nur dieses „lokale Gamma“ wird von Photoshop im RGB-Menü für LStar-RGB angezeigt. Ein in Photoshop erzeugter Farbraum mit Gamma 2,43 über den gesamten Farbraum entspricht NICHT der LStar-Charakteristik (siehe *Grafik 4*: ähnlich Gamma 2,5). Wenn Sie Farbräume mit LStar-Verteilung, aber anderem Gamut benötigen, wenden Sie sich bitte an Color Solutions.

Ihr Color-Solutions Team