



FÄRBEN VON SLS TEILEN IN RAL MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN

FARBEN UND FARBSEHEN

Obwohl Farbe auf den ersten Blick nur eine physikalische Eigenschaft zu sein scheint, besitzt sie viel mehr als nur Stoffeigenschaften. Farbe weckt Emotionen, warnt uns vor Gefahren und beeinflusst unsere Stimmung. Um jedoch das Konzept Farbe wirklich verstehen zu können, muss man seinen Ursprung verstehen. Das tatsächliche Farbsehen entsteht durch die Verarbeitung der, auf die Netzhaut einfallenden, Reize in unserem Gehirn. Aus physikalischer Sicht gibt es nur Licht mit unterschiedlichen Wellenlängen und Intensitäten. Beim Betrachten eines Objektes reagieren die unterschiedlichen Sinneszellen des Auges auf das einfallende Licht. Je nach Stimulation werden verschiedene Signale zum Gehirn gesendet, die wiederum in Farben übersetzt werden. Da jedes Gehirn etwas anders funktioniert und verschiedene Verknüpfungen vornimmt, kann man annehmen, dass das Farbsehen ein subjektiver Prozess ist. Ändert man beispielsweise die äußeren Umstände, sieht ein und dieselbe Person die exakte physikalische Farbe etwas anders. Im Anwendungsbeispiel ändert sich die Intensität der Farbe des himbeerroten (RAL 3027) Objektes beim Wechsel von Beleuchtung, Hintergrund, Betrachtungswinkel oder Größe.

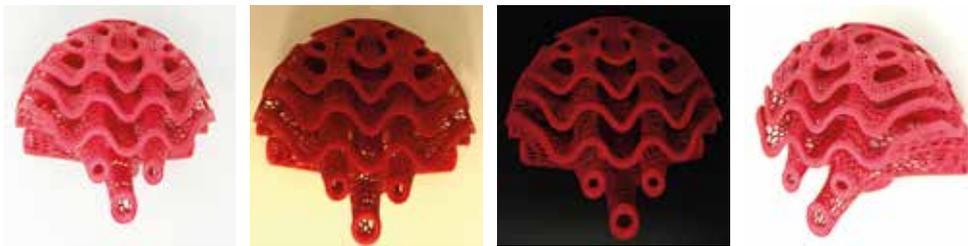


Abbildung 1: Veränderter Farbeindruck des identischen Objekts durch veränderte Beleuchtung, Hintergrund und Blickwinkel. Von links nach rechts: Referenz bei Tageslicht mit weißem Hintergrund; Kunstlicht; schwarzer Hintergrund; unterschiedlicher Blickwinkel.

Obwohl das Farbsehen subjektiv ist und abweichen kann, hat es einen hohen Wiedererkennungswert. Aus diesem Grund werden viele Farben direkt mit einer spezifischen Marke verbunden, wie z.B. Telekom Magenta, Milka Lila oder Nivea Blau.

Aber wie können wir verlässliche, reproduzierbare RAL-Farben mit dem DyeMansion Print-to-Product Workflow erreichen?

FARBMETRIK

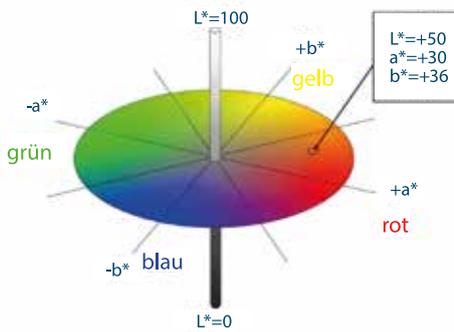


Abbildung 2: 3D-Darstellung des CIELab-Farbraums.

Wenn es auf verlässliche, reproduzierbare Farben ankommt kann die Farbmeterik nicht außer Acht gelassen werden. In der Farbmeterik wird das subjektive Farbsehen von Menschen in messbare Werte übersetzt. Im Allgemeinen werden Farben durch drei Parameter definiert: Farbton, Helligkeit und Sättigung. In den letzten Jahren wurden mit den gängigsten Modellen RGB, CMYK, CIELab und HSL verschiedene Farbräume entwickelt. Zusammen mit diesen parametrisierten Farbräumen sind auch physikalische Farbräume entstanden. Letztere basieren auf einer limitierten Anzahl an Farbmustern. Die bekanntesten davon sind RAL und Pantone. Die DyeMansion RAL-Palette basiert auf einer Kombination direkt wahrnehmbarer Farben des RAL- und des mathematisch abstrakten CIELab Farbraumes.

Beispielsweise wird die RAL-Farbe 3027 (Himbeerrot) durch folgende L^* -, a^* -, b^* -Werte des CIELab Farbraums beschrieben: $L^*=43,28$; $a^*=48,99$; $b^*=17,11$.

Um die richtige Farbe garantieren zu können, sind Farbmessungen essenziell. Für die DyeMansion RAL-Palette wird die Spektralanalyse im Reflektionsmodus verwendet, um L^* -, a^* -, b^* -Werte zu messen.

Bei dieser Methode wird das Muster beleuchtet und das Spektrum (Wellenlänge und Intensität) des reflektierten Lichtes detektiert. Da nur die Komponenten des Lichtes reflektiert werden können, die bei der Beleuchtung benutzt werden, ist es wesentlich, dass das Spektrum der Lichtquelle auch berücksichtigt wird. Um der subjektiven Farbwahrnehmung möglichst nahe zu kommen, wird empfohlen eine Lichtquelle mit Tageslichtspektrum zu verwenden. Aus diesem Grund nutzt DyeMansion eine D65 Beleuchtung. Das Ergebnis der spektrophotometrischen Messung ist eine Reflexionskurve, die durch die Integration der Intensitäten der einzelnen Wellenlängen zu den L^* -, a^* -, b^* -Werten umgewandelt werden kann.

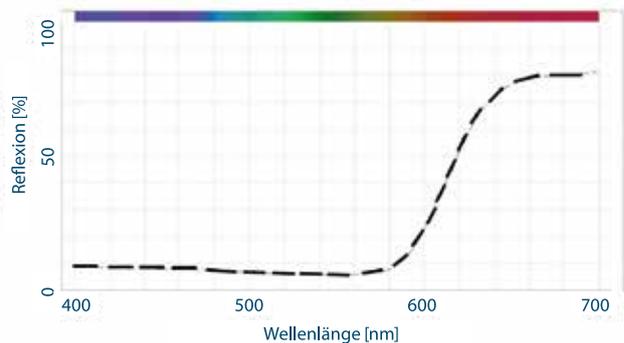


Abbildung 3: Gemessene Reflexionskurve einer in RAL 3027 eingefärbten Probe. Eine starke Reflexion im roten Farbspektrum ist deutlich sichtbar.

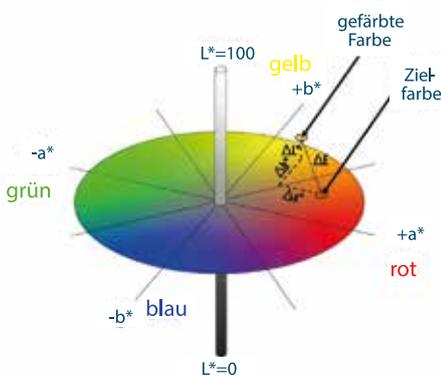


Abbildung 4: 3D-Darstellung des CIELab-Farbraums. mit Hervorhebung, wie sich die Abweichungen in L^* , a^* und b^* zum Gesamtwert dE summieren.

Unterschiede in den L^* -, a^* -, b^* -Werten deuten auf eine Farbabweichung hin. Verwendet man den CIELab Farbraum, können diese Unterschiede vereinfacht durch einen einzelnen Wert beschrieben werden: dE . Allgemein gesprochen ist die Abweichung um ein $dE < 1,5$ für den Betrachter kaum erkennbar. Da jedoch die Sensibilität des Auges farbabhängig ist, besteht die Möglichkeit, dass sogar größere dE Werte – je nach Farbe und Material – nicht sichtbar wahrgenommen werden (z.B. Gelbtöne, für die das menschliche Auge nur geringe Sensibilität besitzt). Das genaue Gegenteil trifft auf unterschiedliche Grautöne zu, bei denen sich oft dE Werte von unter 0,5 bemerkbar machen. Dies lässt sich auf die Aktivität der Rezeptoren im menschlichen Auge zurückführen. Beim Betrachten eines grauen Objektes werden Stäbchenzellen, Zapfenzellen und fotosensitive Ganglienzellen im Auge angeregt und führen damit zu einer höheren Sensibilität. Es lässt sich daher schlussfolgern, dass sogar der dE Wert keine eindeutige Information über eine Farbabweichung liefert. Im Laufe der Zeit wurden einige Formeln entwickelt, um den dE Wert zu berechnen und dabei der subjektiven visuellen Wahrnehmung möglichst nahe zu kommen. Oft verwendete Berechnungsmethoden sind CIE 74, CIE 94 und CMC l:c.

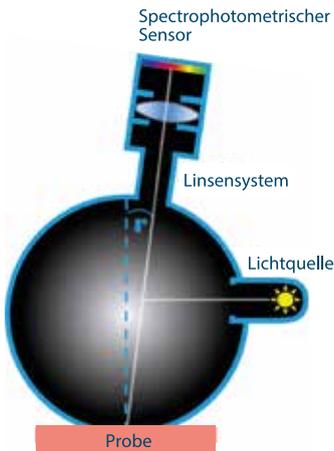


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Spektralphotometers mit d/8° Kugelgeometrie.

Formeln, um Farbabweichung zu berechnen. Den Standard in der Industrie nimmt die CMC 2:1 ein und wird durch DyeMansion ebenfalls für die Berechnung des dE Wertes verwendet.

Da es sich bei dem dE Wert nur um einen Skalarwert ohne jegliche directionale Information handelt, lässt sich nicht einfach sagen, wie die Färbeformel verändert werden muss, um einen kleineren dE zu erreichen. Aus diesem Grund wird ein komplexer, interaktiver Prozess benötigt, um spezifische Farben zu entwickeln und den Farbton exakt zu treffen. Darüber hinaus spielt die Wahl des Spektrophotometers eine wichtige Rolle bei der Kommunikation von Farbe. Einerseits erreicht jedes Gerät eine Toleranzgrenze, wenn mehrmals dasselbe Muster gemessen wird. Andererseits weisen verschiedene Geräte des gleichen Modells Abweichungen untereinander auf. Um solche Varianzen so klein wie möglich halten zu können, muss die gleiche Kalibrierung zwischen unterschiedlichen Geräten erfolgen. Es gibt zwei Haupttypen von Spektrometern mit unterschiedlichen Messungsgeometrien. Zum einen gibt es die directionale 45°/0°-Geometrie, die häufig bei der Qualitätssicherung verwendet wird, zum anderen gibt es die d/8°-Sphärengeometrie, die meistens zur Farbanpassung verwendet wird, weil diese die Möglichkeit des Ein- oder Ausschließens von Glanz bietet. Bei einer Messung ohne Glanz wird das Betrachten der tatsächliche Farbe ermöglicht ohne die Verfälschung durch Glanz. Alle Messungen, die in diesem White paper eingebracht wurden, wurden mit einer d/8°-Geometrie ausgeführt und der Glanz ausgeschlossen. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen, ist es unerlässlich jedes Mal mit dem gleichen, kalibrierten Gerät zu messen und die gleichen Einstellungen zu verwenden.

DYEMANSION RAL-PALETTE

Aufgrund der vielen Anfragen nach RAL Farben, hat DyeMansion die gesamte RAL Classic Palette für EOS PA2200 (Polyamid 12) Bauteile, die durch selektives Lasersintern (SLS) produziert und mit dem PolyShot Oberflächenfinish veredelt wurden, entwickelt. Die 170 verschiedenen Farben decken die Mehrheit der industrierelevanten Töne ab und können ohne zusätzliche Kosten und Wartezeiten für den Kunden mit dem DM60 Färbesystem erzielt werden.

Die Technik des DyeMansion Färbesystems ermöglicht das Einfärben ohne Lackieren oder Anstreichen mittels Eindringen der Farbe in das Material der SLS Teile. Folglich ist die Farbe sehr widerstandsfest gegen Kratzer oder Verschleiß. Die Farbbwahrnehmung und die gemessene Farbwerte sind jedoch stark von der Qualität der Oberfläche abhängig. Aus diesem Grund empfiehlt DyeMansion nur nicht vergilbte Bauteile zu färben und diese mit dem gesamten DyeMansion Print-to-Product Workflow zu behandeln.

LIMITATIONEN

Es gilt zu beachten, dass das RAL-Farbsystem basierend auf industriellen Anforderungen entwickelt wurde und nicht explizit für das Färben von 3D-gedruckten Kunststoffen ausgelegt ist. Dies hat zur Folge, dass einige Farbtöne wie metallische, Neon und tiefschwarze Farben mit dem DyeMansion Färbesystem nicht erreicht werden können.



Abbildung 6: DyeMansion Equipment für den drei - stufigen Print-to-Product-Workflow, der es ermöglicht, hochreproduzierbare RAL-Farben zu erzielen.

Während metallische und tiefschwarze Töne nur durch Pigmente (unlösliche Farbmittel) und nicht durch Farbstoffe (lösliche Farbmittel) erreicht werden können, werden bei Neonfarben fluoreszierende Farbstoffe benötigt. Erste Versuche zeigen, dass das Färben von Neonfarben prinzipiell mit dem DM60 Färbesystem möglich ist. Diese Farben entsprechen allerdings keinen exakten RAL Werten. Bisher werden Weißtöne mit einer geringen Konzentration der Färbelösung erreicht. Wenn die Farbe allerdings zu hell ist, gibt es nicht genug Farbstoff, um die Materialfarbe selbst zu überdecken und deshalb ist es nicht möglich, die gewünschte Farbe zu erreichen. Beispiele für die genannten Fälle sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

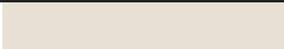
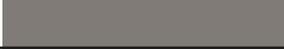
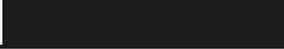
RAL 9001 CREMEWEISS		HELLES WEISS
RAL 3026 LEUCHTHELLROT		NEON
RAL 4011 PERLVIOLETT		METALLIK
RAL 7048 PERLMAUSGRAU		METALLIK
RAL 9005 TIEFSCHWARZ		TIEFES SCHWARZ

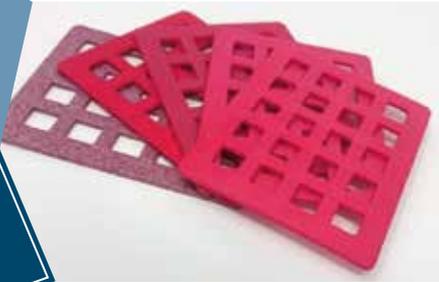
Tabelle 1: Übersicht über RAL-Töne, die noch nicht in der DyeMansion RAL-Palette enthalten sind.

Obwohl DyeMansion zahlreiche Farbstoffe für die Erstellung neuer Farbrezepte verwendet und diese unterschiedlich kombiniert, gibt es Farben, die sich äußerst schwer anpassen lassen oder unmöglich zu erreichen sind. Zu diesen Farben gehören vor allem Grüntöne, da nur wenige grünliche Farbstoffe kommerziell erhältlich sind und die Farbe durch die Mischung von blauen und gelben Farbstoffen erzielt wird und nicht auf einem passenden, grünen Farbstoff basiert.

EINFLUSSFAKTOREN

Da das Farbergebnis stark von der Interaktion zwischen dem Material der Teile und der Farbe abhängig ist, haben vor allem das Rohmaterial und die Färbebedingungen einen großen Einfluss auf das finale Farbergebnis.

- MATERIAL DER ROHTEILE:** Unterschiedliche Polymere haben unterschiedliche Affinitäten zu den bei der Färbung verwendeten Farbstoffen. Daher ist die Reproduzierbarkeit, der auf EOS PA2200 (PA12) SLS Teilen entwickelten Farben auf anderen Materialien nicht möglich und benötigt nachträgliche Anpassungen.
- FARBEN DER ROHEN SLS-TEILE:** Es sollte beachtet werden, dass es unmöglich ist allein durch das Färben von Teilen deren Grundfarbe zu erhellen und somit deren Ursprungs-L*-Wert zu erhöhen. Es besteht lediglich die Möglichkeit den L*-Wert zu senken.
- OBERFLÄCHENRAUHIGKEIT:** Je homogener die Oberflächenstruktur, desto homogener die Farbaufnahme und somit auch das Farbergebnis. Da sich die Oberfläche der Up- und Down-Skin Seiten unterscheidet, weist auch das gefärbte Teil eine geringe Farbabweichung zwischen Up- und Down-Skin auf.
- OBERFLÄCHENKONTAMINATION:** Fette, Staub und Strahlmittel-Reste können das Färben verlangsamen oder sogar die Farbaufnahme verhindern und führen folglich zu einem ungleichmäßigen Endergebnis.
- FÄRBEPARAMETER:** Farbstoffkonzentration, Temperatur, Druck und Einwirkzeit beeinflussen die Aufnahme der absoluten Farbstoffmenge und somit das Farbergebnis.



Das Bild verdeutlicht den Einfluss von einander abweichender Parametern auf die Färbung. Dafür wurden verschiedene Materialien in RAL 3027 (Himbeerrot) unter verschiedenen Bedingungen gefärbt.

Abbildung 7: Unterschiedliche PA12 Materialien und Oberflächen eingefärbt in RAL 3027. Von links nach rechts: PSS gestrahltes EOS Alumide, VFS geglättetes EOS PA2200, PSS gestrahltes EOS PA3200 GF, PSS gestrahltes EOS PA2200, unbehandeltes EOS PA2200.

MATERIAL: PA2200, PA2241 FR, PA3200 GF, Alumide

Die RAL-Palette wurde anhand weißer PA12 (Materialspezifikation: EOS PA2200) Teile entwickelt. Sollte man daher das gleiche visuelle Ergebnis der RAL-Farben auf anderen Materialien (z.B. PA11) erzielen wollen, müssen einige Anpassungen vorgenommen werden. Um möglichst viele Kunden zu bedienen, wurde die RAL-Palette auf Basis des gängigsten Materials – EOS PA2200 – entwickelt. Eine Anpassung der Farbe ist möglicherweise nicht erforderlich, wenn weißes PA12 von anderen Lieferanten als EOS wie z.B. 3D Systems oder Ricoh verwendet wird. Dies hängt von den tatsächlichen Materialeigenschaften und der gewählten RAL-Farbe ab.

	ORIGINAL RAL 3027	PA2200	PA2241 FR	PA3200 GF	ALUMIDE
L*	43.28	43.30	42.71	40.36	56.62
a*	48.99	49.75	42.71	40.39	17.14
b*	17.11	16.96	7.53	10.05	2.40
ΔE	0.00	0.36	6.73	5.48	15.15

Tabelle 2: Farbabweichung von RAL 3027 für verschiedene Materialien.

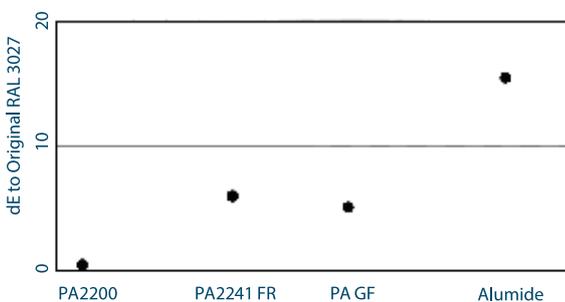


Abbildung 8: Farbabweichung dE verschiedener PA12 Materialien eingefärbt in RAL 3027.

TEMPERATUR UND DRUCK: DM60 vs. Topffärben

Beim Vergleich zwischen der konventionellen Topffärbung und dem DyeMansion Färbeprozess in der DM60 fallen einige Unterschiede bezüglich der Färbeparameter auf. Das DM60 Färbesystem ermöglicht beispielsweise die Verwendung einer höheren Temperatur und eines höheren Drucks während des Färbeprozesses, was sich günstig auf die gefärbten Teile auswirkt und zu einem hoch qualitativen Ergebnis führt. Vor allem bei der Aufnahme von Farbstoffen in tiefere Schichten des Materials lässt sich ein positiver Effekt feststellen. Dabei führt genau diese höhere Eindringtiefe der Farbstoffe dazu, dass die Farbe der Teile langlebiger und verschleißresistenter wird.

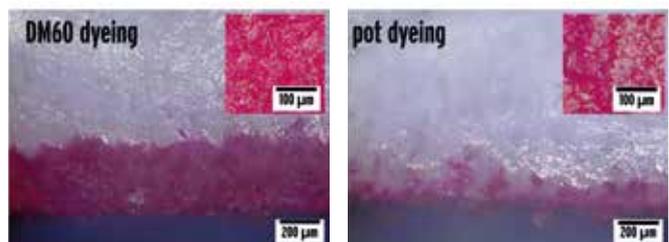


Abbildung 9: Querschnitte von gefärbten Teilen. Links: Färbung in der DM60. Rechts: Topffärbeverfahren. Der kleine Ausschnitt zeigt eine Draufsicht auf das jeweilige Bauteil.

	DM60 @ 115°C	TOPFFÄRBUNG @ 95°C
L*	43.30	49.71
a*	49.75	54.65
b*	16.96	13.58
ΔE	0.36	4.85
EINDRINGTIEFE	387 ±54 µm	10 ±27 µm

Tabelle 3: Vergleich des Färbergebnisses mit dem DyeMansion-Färbeprozess in der DM60 mit einer Topffärbung.

OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN: keine Oberflächenbehandlung, PolyShot Surfacing (PSS), VaporFuse Surfacing (VFS)

Die Oberflächenqualität und die Verminderung der Rauheit ist ein essentieller Faktor für die Produktion von qualitativ hochwertigen Teilen in der additiven Fertigung. Dabei ist die Behandlungen der Teile zur Homogenisierung ihrer Oberfläche unerlässlich, wenn man reproduzierbare Ergebnisse mit geringen Farbvariationen erzielen möchte. Um das zu erreichen, hat DyeMansion die RAL-Palette auf PSS veredelten Teilen zu entwickeln, was zu einer glänzenden Oberfläche mit verbesserten Eigenschaften führt. Sollten anderen Methoden wie Gleitschleifen oder VaporFuse Surfacing zur Oberflächenbehandlung verwendet werden, bedarf es einer Anpassung, um sicherstellen zu können, dass der richtige Farbton getroffen wird.

	KEINE OBERFLÄCHENBEHANDLUNG	POLYSHOT SURFACING (PSS)	VAPORFUSE SURFACING (VFS)
L*	42.24	43.30	42.46
a*	54.56	49.75	54.66
b*	19.86	16.96	25.60
ΔE	2.47	0.36	4.93

Tabelle 4: Einfluss verschiedener Oberflächenbehandlungen auf die Endfarbe.

AUSRICHTUNG DER TEILE: Up-skin vs. Down-skin

Aufgrund der Dichteunterschiede zwischen der Up- und Down-Skin-Seite der Teile kann es, wie in der unten aufgeführten Tabelle gezeigt, zu Farbabweichungen zwischen den Seiten kommen. Aus diesem Grund ist eine einheitliche Ausrichtung der verschiedene Teile unerlässlich. Durch die geringere Rauheit, schönere Optik und bessere Haptik der Down-Skin-Seite wurde die DyeMansion RAL-Palette auf dieser entwickelt. Daher sollte bei der Produktion von Teilen darauf geachtet werden, dass die sichtbare Oberfläche möglichst aus der Down-Skin-Seite besteht (z.B Gehäuse).

	UP-SKIN	DOWN-SKIN
L*	43.30	43.30
a*	50.85	49.75
b*	17.61	16.96
ΔE	0.73	0.36

Tabelle 5: Übersicht über Farbabweichungen, die sich aus unterschiedlichen Teileausrichtungen ergeben.

ÄLTERES PA2200: neues, weißes PA2200 vs. altes, gelbliches PA2200

Die meisten Polymere altern mit der Zeit und verlieren ihre mechanischen Eigenschaften. Dies ist auch bei Polyamid 12 der Fall, bei dem die Teile nach wenigen Monaten gelblich werden und damit nicht nur eine Farbveränderung erfahren, sondern die Eigenschaft Farbe aufzunehmen verlieren. Diese Verschlechterung der Farbaufnahme resultiert in helleren Farben mit einem gelblichen Unterton. Aus diesem Grund ist es äußerst wichtig, neu produzierte, weiße Teile zu benutzen, wenn eine gewünschte Farbe erzielt werden möchte.

	NEUES, WEISSES PA2200	ALTES, GELBLICHES PA2200
L*	43.30	46.00
a*	49.75	48.24
b*	16.96	12.28
ΔE	0.36	3.25

Tabelle 6: Einfluss der Ausgangsfarbe des Bauteils (Vergilben durch Lichteinfluss) auf das finale Färbergebnis.

Obwohl die gesamte RAL-Palette bisweilen nur auf EOS PA2200 Teilen mit PolyShot Finish entwickelt wurde, ist die DyeMansion Färbetechnologie mit allen Pulverbettverfahren im industriellen 3D-Druck kompatibel und kann somit durch Anpassung des Färberezeptes auf andere Materialien und Technologien übertragen werden. Künftig soll die gesamte RAL-Palette auch für Bauteile der HP Multi Jet Fusion Technologie realisiert werden.

FAZIT

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Farbe zwar eine physikalische Grundlage hat, aber viel mehr ist als nur eine Materialeigenschaft. Das Färben ist ein Prozess, der die Infiltration des Farbstoffes in das Material beinhaltet und deswegen stark von der Natur und Qualität des Materials abhängt. Um die Reproduzierbarkeit der Farbe gewährleisten zu können, müssen daher alle Produktionsparameter immer gleich eingestellt sein und engmaschig kontrolliert werden.

Durch die Möglichkeit der sofortigen Verfügbarkeit der RAL-Palette und der Prozessfähigkeit des DyeMansion Print-to-Product Workflows macht der industrielle 3D-Druck einen wesentlichen Schritt in Richtung Serienproduktion und kann so die branchenspezifischen Qualitätsanforderungen rund um Finish und Farbe erfüllen. Das gesamte RAL-Angebot wurde auf EOS PA2200 entwickelt und wird künftig auch für andere gängige Materialien und Technologien, wie HP Multi Jet Fusion verfügbar sein. Bis dahin können diese Farben mit einer individuellen Farbentwicklung auch für andere Materialien erworben werden

Vor diesem Hintergrund können nun 3D-gedruckte PA12 Teile im gesamten RAL-Spektrum veredelt werden. Dies ist ohne Wartezeiten und ohne zusätzliche Kosten mit dem DM60 Färbesystem und der DyeMansion-RAL Palette möglich.



DyeMansion GmbH

Robert-Koch-Straße 1
82152 Planegg-Munich
Germany

+49 89 4141705 00
hallo@dyemansion.com

Für weitere Informationen:

www.dyemansion.com

Bitte kontaktieren Sie uns für
kostenfreies Benchmarking



SALES KONTAKT EMEA & APAC

Philipp Ratza
Application Consultant
philipp.ratza@dyemansion.com
+49 179 6127259



SALES KONTAKT AMERICAS

Daniel Stroh
Sales & Operations North America
daniel@dyemansion.com
+1 415 9968115



Ihr Weg in die Additive Fertigung

Wir unterstützen Ihr Fertigungsunternehmen um konventionelle Herstellungsprozesse durch 3D Druck in Ihrem Unternehmen zu verkürzen.

Vereinbaren Sie jetzt einen Termin mit Ihrem Fachmann

0800 – 220 2 100

www.Ihre-Additive-Fertigung.de