

Nicht die Menge macht's



MESSTECHNIK // HERSTELLER VON MEHRWINKEL-MESSGERÄTEN BIETEN EINE VIELZAHL VON MESSGEOMETRIEN AN. WELCHE NOTWENDIG FÜR DIE CHARAKTERISIERUNG VON EFFEKTLACKEN SIND, ZEIGT DER VERGLEICH MIT DEN PHYSIKALISCH-OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN SOWIE DER VISUELLEN ABMUSTERUNG.

Werner Rudolf Cramer

Bis in die siebziger Jahre machten Unifarben den Hauptanteil der Autolacke aus. Ihre Buntpigmente besaßen eine hohe Deckkraft, was insgesamt vorteilhaft war. Gleichzeitig wurden auch Metalllacke angeboten, die im 1-Schicht-Verfahren appliziert wurden. Insbesondere deren schlechte Reproduzierbarkeit und schwierige Reparaturlackierung führten zur Umstellung auf F-Schicht-Lacksysteme: Dabei enthält der Basislack die farb- und effektgebenden Pigmente; Klarlack versiegelt diesen Basislack. Die Umstellung auf Wasserbasislacke reduzierte organische Lösemittel drastisch.

In den achtziger Jahren entstanden Ideen, wie auch Effektlacke zu vermessen seien. Es war schnell klar, dass dieses nur mit mehreren Geometrien passieren konnte. Das Interesse für Effektlackierungen – nicht nur mit Metalllacken, sondern auch mit Perleffektlacken – hatte stark zugenommen. Volvo und Renault boten im Jahr 1985 die ersten Perleffektlacke an: in Weiß im 3-Schicht-System aufgetragen auf weißem Untergrund. Danach folgten alle Autohersteller mit Mineraleffekt- und Perlcolorfarben. Jahre später wurden dann Lackkompositionen mit Bunt-, Aluminium- und Interferenzpigmenten entwickelt, wie sie heute angewendet werden.

Glänzende Geschichte

Die ersten Überlegungen, Effektlacke zu messen, führten zum Beleuchtungswinkel von 45° – einem Winkel auf halber Strecke zwischen der Probenhorizontalen und der Normalen. Klar war auch, dass die Beobachtungswinkel vom entsprechenden Glanzwinkel her definiert werden sollten. Bei DuPont wurden die Differenzwinkel vom Glanzwinkel mit 15° (near specular), 110° (far from specular) und der dritte mit 45° (in between) ausgewählt (DuPont Mac). Der Differenzwinkel von 110° war wie die beiden anderen ziemlich willkürlich festgelegt worden, er zeigte aber bei den damaligen Versuchen bessere Ergebnisse als der Differenzwinkel von 70° . Anwender müssen beim Differenzwinkel von 110° immer berücksichtigen, dass die Beobachtung unterhalb der Einstrahlung erfolgt.

Ergebnisse auf einen Blick

- Die visuelle Abmusterung ist für den Farb-Nuanceur die wichtigste Beurteilungsart.
- Bei Messgeräten beträgt der Standardwinkel der Beleuchtung 45° . Es wird unter verschiedenen Winkeln vom Glanz gemessen.
- Vergleicht man die Geometrien der visuellen Abmusterungen mit denen der tragbaren Geräte, zeigen sich Unterschiede.
- Die visuelle Beurteilung startet glanznah mit einem steilen, die instrumentelle Beurteilung mit dem klassischen Beleuchtungswinkel. Bei bunten Interferenzpigmenten können hier Farbunterschiede sichtbar werden.
- Bei beiden Verfahren wird der Differenzwinkel vom Glanz größer. Während beim instrumentellen Verfahren der Beleuchtungswinkel konstant bleibt, ändert er sich bei der visuellen Abmusterung.

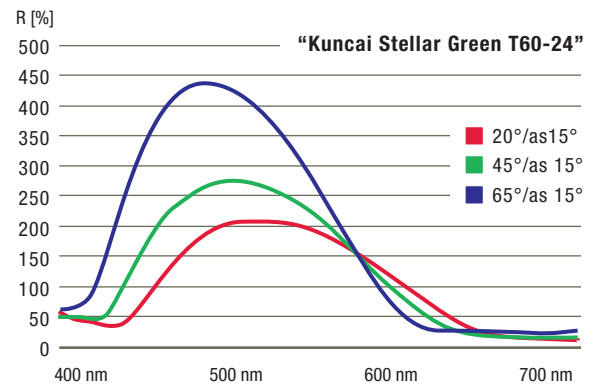


Abb. 1 // Je flacher ein buntes Interferenzpigment beleuchtet wird, desto mehr verschiebt sich sein Reflexionsmaximum zum Kürzerwelligen, und es nimmt zu.

Reduktion der Messgeometrien

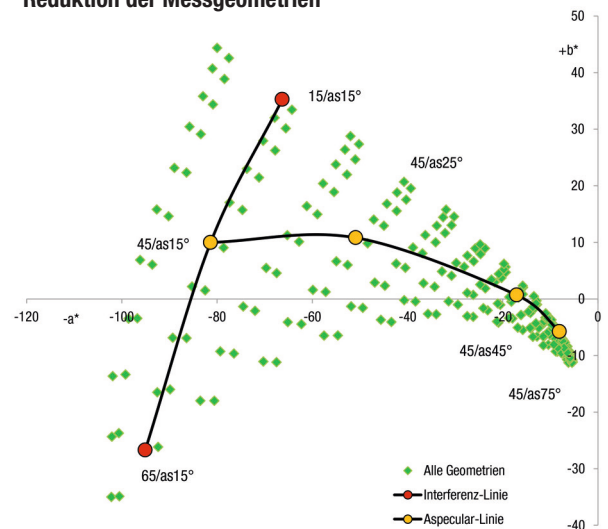


Abb. 2 // Misst man unter vielen Geometrien mit unterschiedlichen Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln, ist die Darstellung mit einer Interferenz- und Aspecular-Linie als optimal.

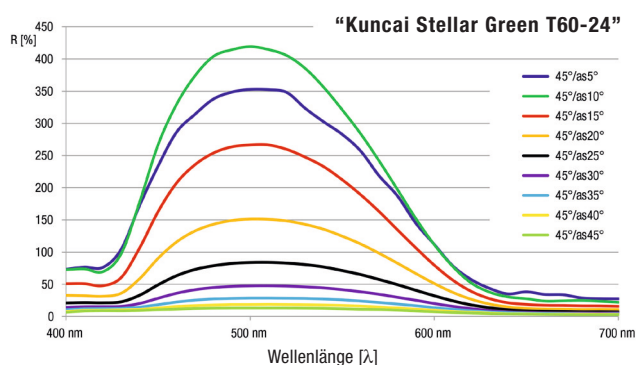


Abb. 3 // Messungen wie die bei 5° vom Glanzwinkel erscheinen nicht plausibel, weil die Differenz zwischen den Reflexionsmaxima größer werden muss.

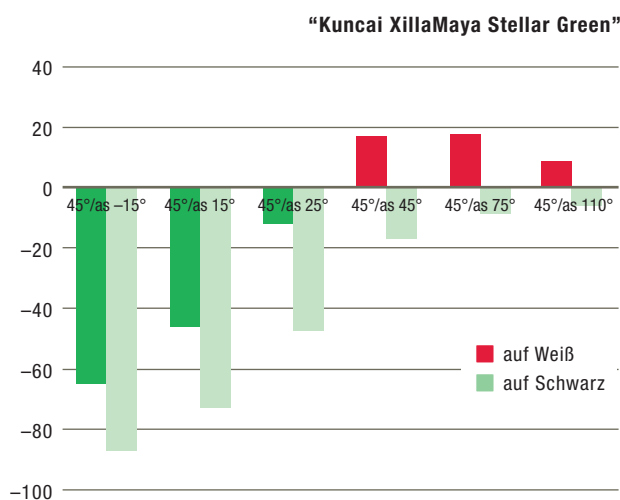


Abb. 4 // Bunte Interferenzpigmente wechseln von ihrer Reflexionsfarbe zur komplementären Transmissionsfarbe, wenn sie auf weißem Untergrund aufgetragen werden. Der Transmissionsbereich liegt zwischen 20° und 30°. Messgeräte zeigen den Wechsel zwischen 45°/as 25° und 45°/as 45°.

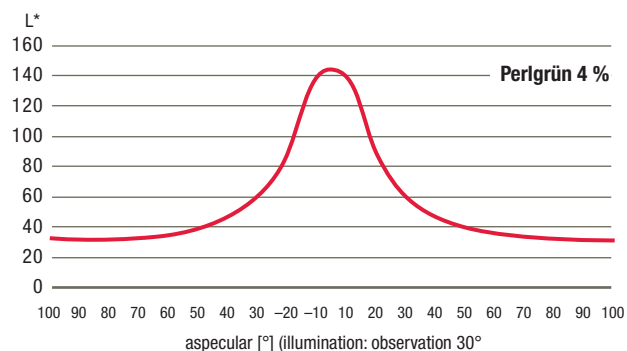


Abb. 5 // Bei der visuellen Abmusterung bleiben die absoluten Positionen der Lichtquelle und des Beobachters sowie deren Differenzwinkel gleich, während sie sich relativ zum Musterblech ändern.

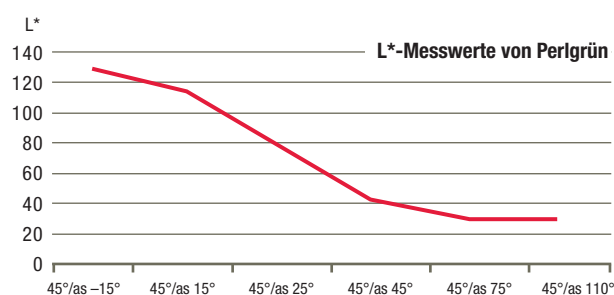


Abb. 6 // Ein Messinstrument zeigt die Helligkeitsänderung nur eingeschränkt, aber deutlich.

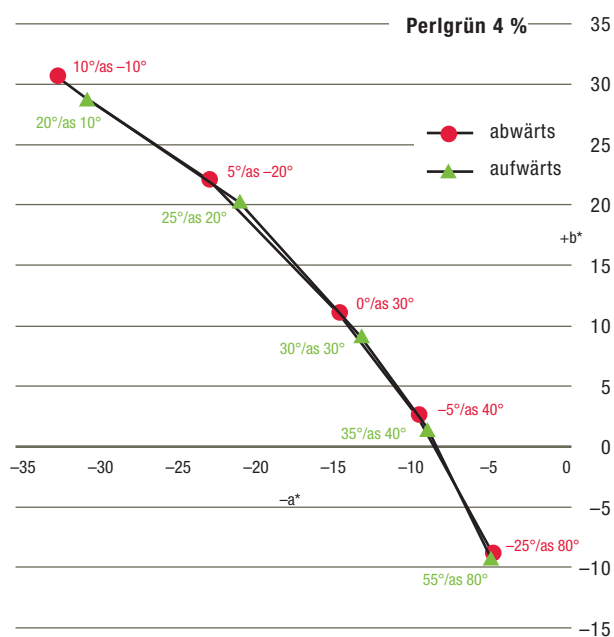


Abb. 7 // Beim visuellen Abmusterung wird das Musterblech nach oben und unten gekippt; dabei verändert sich die Farbe.

Gleichzeitig entwickelte Zeiss die Mehrwinkel-Geräte „GK111“ und „MMK“; bei ersterem ließen sich die Differenzwinkel von Hand in 5°-Schritten ändern, beim zweiten waren sie fest installiert. Höhepunkt war der Bau des motorisierten „GK 311/M“, bei dem sich nicht nur der Beobachtungs-, sondern auch der Beleuchtungswinkel in 5°-Schritten einstellen ließ. Kleinere Geräte wurden mit den drei Differenzwinkeln 25°, 45° und 70° oder optional mit 20° und 110° angeboten. Diese Geräte wie das „Color-Eye 5010“ von Datacolor galten aber noch nicht als tragbar („no truly portable instrument is commercially available today“; Die Farbe Bd. 37 Seite 74, 1990), denn sie waren per Glasfaserkabel mit einer entfernten Einheit verbunden.

Mitte der neunziger Jahre kamen die ersten tragbaren Geräte auf den Markt, die sich direkt an den Karossen am Band einsetzen ließen. Maximal hatten diese Geräte fünf Differenzwinkel vom Glanzwinkel bei einer 45°-Beleuchtung. Und in den Nullerjahren des neuen Jahrtausends wurden zwei neue Geräte von Byk und X-Rite vorgestellt, die beide auf Empfehlung des Standard Test E2539 des ASTM auch eine Beobachtungsgeometrie gegenüberliegend vom Glanzwinkel besaßen (-15°). Das X-Rite-Gerät hatte zusätzlich eine zweite Beleuchtung bei 15° (von der Normalen) mit den nominell gleichen, absoluten Beobachtungswinkeln.

Zurzeit bietet X-Rite das „MA-T6“ und das „MA-T12“ an; letzteres hat 2 x 6 Beleuchtungen mit zwei Beobachtungen bei 45° und 15°. Die Lichtwege sind umgekehrt, so dass die ursprünglichen Beobachtungswinkel nun Beleuchtungswinkel sind. Da jeweils ein Beleuchtungswinkel nicht genutzt werden kann, ergeben sich insgesamt sieben Beleuchtungswinkel. Das MA-T6 hat nur einen Beobachtungswinkel mit sechs Beleuchtungswinkeln. Auf Druck der Autoindustrie hat nun auch Konica Minolta ein Gerät mit direkter Beleuchtung im Angebot. Wie bei den anderen Herstellern stehen sechs Differenzwinkel zur Verfügung. Dieses Gerät löst das Vorgängermodell mit Zirkularbeleuchtung ab.

Optische Eigenschaften

Die Auswahl der notwendigen Messgeometrien orientiert sich an den optisch-physikalischen Eigenschaften der Pigmente. So reicht in der Regel eine Geometrie, um Buntpigmente farblich zu erfassen. Üblicherweise wird hierfür bei 45° beleuchtet und bei 0° (von der Normalen) gemessen. Alternativ wird eine Kugelgeometrie benutzt.

Zum Messen von Aluminiumpigmenten mit ihren wechselnden Helligkeiten benötigt man mehrere Geometrien, um die Helligkeitsänderungen zu erfassen. Messwerte bei einer fixierten Beleuchtung und unterschiedlichen Beobachtungswinkeln vom Glanz zeigen den Anstieg der Helligkeit je näher am Glanz gemessen wird. Aufgrund des Fresnel-Gesetzes verlaufen diese Änderungen der Helligkeit nicht linear.

Ein besonderes Augenmerk liegt auf den Interferenzpigmenten, die in einem Großteil der Autofarben enthalten sind. Die bunten Interferenzpigmente ändern ihre Helligkeit und ihre Farbe, während weiße Interferenzpigmente keine Farbänderungen zeigen. Interferenzpigmente reflektieren einen Teil des einfallenden Lichts an ihrer Oberfläche. Der restliche Teil reflektiert teilweise an der Grenzschicht zum Trägermaterial und verlässt die stark brechende Schicht parallel zum ersten Teil, wobei beide miteinander interferieren. Der Teil, der in die Trägerschicht wandert, verlässt das Pigment auf der Rückseite, wobei die resultierende Farbe aufgrund des fehlenden Phasensprungs komplementär zur Reflexionsfarbe ist. Diese komplementäre Transmissionsfarbe wird sichtbar in der Durchsicht oder beim Auftrag auf einer weißen Fläche. Die optischen Eigenschaften der Interferenzpigmente werden durch das Interferenzgesetz beschrieben. Dieses Gesetz zeigt die Abhängigkeit der resultierenden Farbe vom Winkel des einfallenden Lichts. Je flacher eingestrahlt wird, desto mehr verschiebt sich das Reflexionsmaximum zum Kürzerwelligen, d.h. ein rotes Interferenzpigment wird gelber, ein grünes wird blauer, und es steigt nichtlinear an. Werden

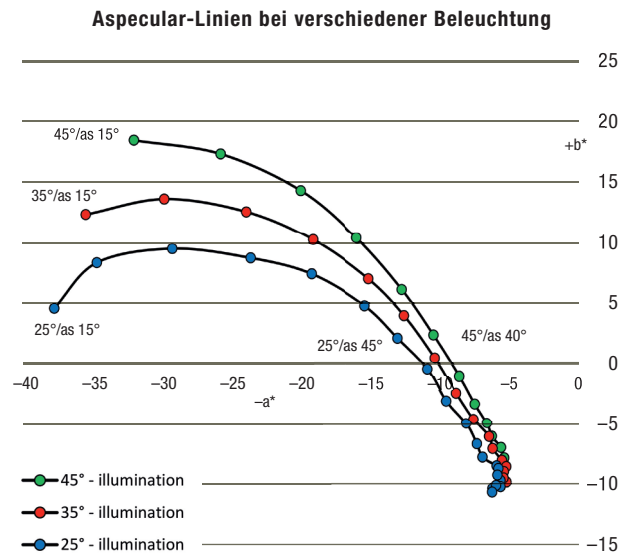


Abb. 8 // Wird weiter vom Glanzwinkel bei verschiedenen Beleuchtungswinkeln gemessen, so wandern die Aspecular-Linien in die gleiche Richtung. Glanzferne Messwerte unterscheiden sich nur noch wenig.

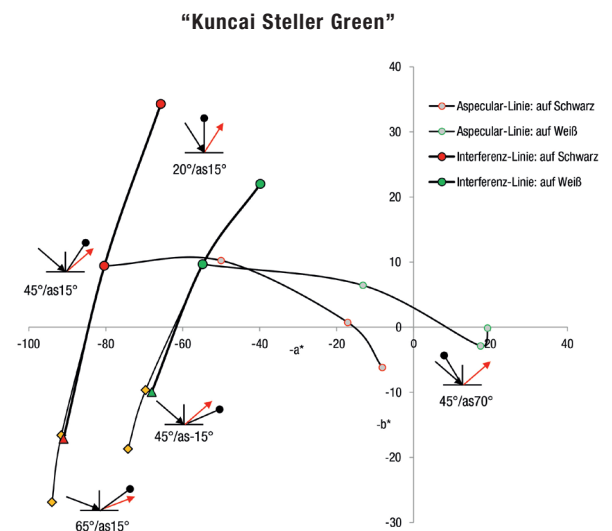


Abb. 9 // Da die aktuellen Messinstrumente keine Beleuchtung besitzen, kann alternativ die 45°/as-15°-Geometrie benutzt werden. In der Lichtumkehr entspricht sie einer Geometrie von 60°/as15°.

diese Eigenschaften nicht erfüllt, ist die Farbmessung nicht plausibel (Abb. 1).

Aufgrund dieser optisch-physikalischen Eigenschaften lassen sich Interferenzpigmente optimal mit drei Beleuchtungswinkeln beschreiben – einem steilen (beispielsweise 15°), dem klassischen bei 45° und einem flachen Winkel wie 65° bei gleichem Differenzwinkel von 15° . Beleuchtungswinkel, die zwischen diesen Geometrien liegen, liefern keine zusätzlichen Informationen (Abb. 2).

Je näher zum Glanzwinkel gemessen wird, desto größer werden die Differenzen der Reflexionsmaxima. Meistens bricht diese Reihe bei 5° vom Glanz ab; oft erscheinen schon die Messungen bei 10° vom Glanz als kritisch. Die gebräuchlichen 15° vom Glanz (aspecular) sind bei allen Beleuchtungswinkeln standfest (Abb. 3).

Trägt man ein buntes, transparentes Interferenzpigment wie beschrieben auf weißem Untergrund auf, so ergeben die Messungen bei fixierter Beleuchtung von 45° einen Farbwechsel zwischen der Reflexions- und der Transmissionsfarbe im Bereich von 20° und 30° vom Glanzwinkel (Abb. 4).

Will man den Aspecular-Farbverlauf bei unterschiedlichen Glanzwinkeln beschreiben, sollte dieser Aspekt berücksichtigt werden. Insofern wären die Glanzwinkel von 15° , 30° und 45° ideal für die Beschreibung dieses Farbverlaufs. Der 30° -Winkel hätte gegenüber dem gebräuchlichen von 25° auch den Vorteil, dass er in der Mitte zwischen den beiden anderen Winkeln liegt.

Visuelle Abmusterung

Bei der Überlegung über geeignete Winkel, um die Pigmente zu beschreiben, spielt die visuelle Abmusterung eine große Rolle. Sie ist für den Farb-Nuanceur die wichtigste Beurteilungsart. Dabei überprüft er das Musterblech am Fenster, in der Lichtkabine oder im Raum. Er startet mit dem Musterblech oder den Musterblechen in einer Position im oder nahe am Glanz. Von dieser Position kippt er das Blech oder die Bleche nach unten und nach oben. Bei diesem Vorgang bleiben die absoluten Positionen der Lichtquelle sowie die des Beobachters immer gleich, genauso wie der Winkel zwischen beiden.

Kippt der Beobachter die Bleche nach unten, so wandert die Beleuchtung in Richtung der Normalen, wechselt dann zur anderen Seite der Normalen, und der Differenzwinkel wird größer. Werden die Bleche zum Beobachter hin nach oben gekippt, so werden der Beleuchtungs-, der Beobachtungs- und der Differenzwinkel zum Glanz größer. Stellt man die beiden Abläufe gegenüber, so ergeben sich nahezu gleiche Farbverläufe (Abb. 5 und 6).

Bei dieser Vorgehensweise erkennt man beispielsweise den Einfluss eines Floppkorrektors oder unterschiedlicher Carbon Blacks auf den Effekt: Mit Floppkorrektor ist die Effektfarbe nahe am Glanz, also in der Ausgangsposition dunkler, um dann beim Kippen gegenüber dem Muster ohne Floppkorrektor heller zu werden. Das gilt beispielsweise auch für unterschiedliche Carbon Blacks, wobei ein bläuliches den Effekt am Glanz dunkler und im glanzfernen Bereich heller erscheinen lässt.

Der Nuanceur achtet bei der visuellen Abmusterung auf diese Reaktionen, die er zur Beurteilung und als Start für sein weiteres Vorgehen nutzt. Folgende Fragen entstehen: Was liefern die Messwerte der gängigen, tragbaren Messgeräte? Welche Korrelationen gibt es zwischen den visuellen Abmusterungen, den optischen Eigenschaften und den Messergebnissen (Abb. 7)?

Zwischen Sehen und Messen

Der Standardwinkel der Beleuchtung beträgt 45° . Unter diesem Winkel beleuchten die Messgeräte die Musterbleche und Objekte. Gemessen wird unter verschiedenen Winkeln vom Glanz. Die glanznahe Geometrie von 15° bietet mit der von -15° die meisten Informationen

über den Effekt (Aluminium, Interferenzpigment), da schon die Geometrie bei 25° vom Glanz die Reflexionsfarbe eines Interferenzpigments nicht oder kaum erfasst: Die Reflexionsfarben sind nur nah am Glanz sichtbar und messbar. Die $45^\circ/\text{as}-15^\circ$ -Geometrie (Beleuchtungs-/Differenzwinkel (aspecular)) entspricht in der Lichtumkehr der $60^\circ/\text{as}-15^\circ$ -Geometrie; sie liegt also in der Verbindung von der steilen zur flachen Geometrie. Sie besitzt deshalb auch eine Besonderheit: Nimmt man die Verbindungslinie zwischen $45^\circ/\text{as}-15^\circ$ und $45^\circ/\text{as}-25^\circ$, so knickt die weitere Linie zwischen $45^\circ/\text{as}-15^\circ$ und $45^\circ/\text{as}-15^\circ$ ihr gegenüber gegen den Uhrzeigersinn. Dies tritt bei allen bunten Interferenzpigmenten auf. Wie beschrieben verschieben sich die Reflexionsmaxima zum Kürzerwelligen, beispielsweise beim Interferenzgrün, welches bläulicher wird, wenn es flacher beleuchtet wird. Oder ein Interferenzrot verändert sich zum Gelben, wenn es flacher beleuchtet wird, und zum Violett, wenn es steiler beleuchtet wird.

Vergleicht man dieses Verhalten mit dem eines Aluminiumpigments oder eines aluminium-pigmentierten Lacks oder eines weißen Interferenzpigments, so verläuft die erwähnte Linie zwischen $45^\circ/\text{as}-15^\circ$ und $45^\circ/\text{as}-15^\circ$ in Verlängerung der Linie zwischen $45^\circ/\text{as}-15^\circ$ und $45^\circ/\text{as}-25^\circ$. Ein Abknicken der Linie tritt hier nicht auf, da bei diesen Pigmenten keine Farbverschiebung erfolgt.

Die Bedeutung der 25° -Geometrie sehe ich ziemlich kritisch, obwohl sie wie beschrieben in Verbindung mit den glanznahen Geometrien für die Charakterisierung von Effektpigmenten geeignet ist. Messwerte mit dieser Geometrie liegen bei Interferenzpigmenten im Übergangsbereich zwischen Reflexion und Transmission. Sicherer wäre eine Geometrie bei 30° . Auch der Verzicht auf diese Geometrie könnte positiv bewertet werden.

Weiter vom Glanz entfernt bietet die 45° -Geometrie den nächsten Messpunkt. Dieser liegt weit genug vom Übergangsbereich entfernt und ist als unkritisch einzuordnen. Diese Geometrie wird in der Regel auch bei Buntpigmenten benutzt und spiegelt die streuenden Anteile in den Ausmischungen mit Effektpigmenten wider.

Im nächsten Schritt folgt die 75° -Geometrie. Bei dieser Geometrie ergeben sich nahezu die gleichen Messwerte wie mit einem anderen Beleuchtungswinkel: Nimmt man die Aspecular-Linien bei verschiedenen Beleuchtungswinkeln, verlaufen diese in die gleiche Richtung. Unterscheidungen sind nur noch bedingt möglich. Aus diesem Grund ist es möglich, auf diese Geometrie zu verzichten.

Noch weiter vom Glanz entfernt liegt die 110° -Geometrie. Der Betrachter beurteilt die Probe unter einem Winkel unterhalb des Beleuchtungswinkels. Das Signal ist sehr gering, und es werden Ergebnisse insbesondere über hellem Untergrund generiert, die als Artefakte eingestuft werden können. Man hatte diese Geometrie eingeführt, die bei der visuellen Beurteilung als „far from specular“ eingestuft wurde, ohne den Beleuchtungswinkel zu berücksichtigen, der hierbei nicht 45° betrug. Insofern kann man auf diese Geometrie ohne Informationsverlust verzichten (Abb. 8).

Wird bei 15° beleuchtet, ändern sich die Aspecular-Winkel, während die absoluten Beobachtungswinkel gleich bleiben. Aus -15° , 15° , 25° , 45° , 75° und 110° werden aufgrund der Änderung der Beleuchtung um 30° die Aspecularwinkel zu -45° , -30° , -15° , 15° , 45° und 80° . Zu beachten ist, dass der $45^\circ/\text{as}-25^\circ$ kein Gegenstück hat – es wäre $15^\circ/\text{as}-5^\circ$ – ebenso wie die Geometrie $15^\circ/\text{as}-30^\circ$ – hier wäre es $45^\circ/\text{as}-0^\circ$. Bei der 45° -Beleuchtung wandern die Differenzwinkel vom Glanzwinkel in festen Schritten weg; bei der 15° -Beleuchtung wechseln sie mehrfach die Seiten bezogen auf den Glanzwinkel. Grundsätzlich kann man feststellen, dass sich Messwerte glanzferner Geometrien annähern. Zwei Beispiele: Die Messwerte der beiden Geometrien $15^\circ/\text{as}-80^\circ$ und $45^\circ/\text{as}-110^\circ$ unterscheiden sich kaum, genauso wenig wie die Messwerte der Geometrien $15^\circ/\text{as}-45^\circ$ und $15^\circ/\text{as}-45^\circ$. Insofern liefern diese Messgeometrien keinen Informationsgewinn.

Von den Aspecular-Geometrien bei der 15° -Beleuchtung lässt sich nur die $15^\circ/\text{as}-15^\circ$ -Geometrie nutzen. Sie steht für eine steile Beleuchtung.

Die 15°/as-15°-Geometrie liefert Messwerte, die zwischen der 15°/as15° und 45°/as15° liegen und deshalb überflüssig ist: In der Lichtumkehr wird aus 15°/as-15° die 30°/as15°-Geometrie. Alle Geometrien bis auf die 15°/as15° bringen keine zusätzlichen Informationen, um Interferenzpigmente zu charakterisieren und zu identifizieren.

Das Bestreben, mit möglichst wenigen Geometrien zu arbeiten, sollte immer im Vordergrund stehen. Die Interferenzlinie wird gebildet aus der steilen Beleuchtungsgeometrie 15°/as15°, der klassischen 45°/as15° und der 45°/as-15° als Ersatz für eine flache Geometrie. Alle Versuche zeigen, dass mit der Ersatzgeometrie gut gearbeitet werden kann. In der Umkehr des Lichtwegs entspricht sie einer Geometrie von 60°/as15° (Abb. 9).

Vergleicht man die Geometrien der visuellen Abmusterungen mit denen der tragbaren Geräte, so zeigt sich eine große Diskrepanz. Bei beiden Verfahren beginnt die Beurteilung glanznah, bei der visuellen Beurteilung mit einem steilen und bei der instrumentellen Beurteilung mit dem klassischen Beleuchtungswinkel. Bei bunten Interferenzpigmenten können hier Farbunterschiede sichtbar werden. Bei beiden Verfahren wird der Aspecular-Winkel, also der Differenzwinkel vom Glanz größer. Während beim instrumentellen Verfahren der Beleuchtungswinkel konstant bleibt, ändert er sich bei der visuellen Abmusterung. Mit diesem Wissen lassen sich die Ergebnisse der instrumentellen Messung gut zuordnen, auch wenn sie nicht direkt mit den visuellen korrelieren.

Die Interferenzverschiebung lässt sich auch visuell nachstellen, indem das Musterblech parallel von Augenhöhe nach unten bewegt wird, während es von flach bis steil beleuchtet wird. Die aspecular-Verschiebung aufgrund der Änderung des Differenzwinkels kann visuell nur nachgestellt werden, wenn die Beleuchtung auf dem Musterblech fixiert ist und mit diesem gekippt wird.

WERNER RUDOLF CRAMER

studierte Chemie an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster. Er ist als freier Berater und Fachjournalist tätig. Seine Schwerpunkte liegen im Bereich der Effektpigmente, ihrem Mischverhalten und ihrer Farbmessung.



**WERNER RUDOLF
CRAMER**
Freier Berater

Einordnen und verstehen

**INTERVIEW // BESCHREIBUNG VON FARBTÖNEN
ENTWEDER MIT KUGELGEOMETRIE ODER
GERICHTETER GEOMETRIE.**

Wie sollten abweichende Ergebnisse bei visuellen Abmusterungen und bei tragbaren Messgeräten eingeordnet werden?

Werden bei den visuellen und instrumentellen Abmusterungen unterschiedliche Geometrien benutzt, können Unterschiede im Farb- und Effektverlauf beobachtet werden. Mit diesen Kenntnissen lassen sich die Unterschiede bei den Ergebnissen besser einordnen und verstehen. Und die visuellen Geometrien können entsprechend angepasst werden.

Was sind die Vorteile einer Nachstellung der Interferenz durch entsprechendes Bewegen des Musterblechs?

Werden eines oder mehrere Musterbleche parallel bei ausgestrecktem Arm von Augenhöhe nach unten bewegt, so wird der Beleuchtungswinkel kontinuierlich geändert. Der Differenzwinkel zum Glanzwinkel bleibt hierbei gleich. Auf diese Weise kann die Farbverschiebung der Interferenz visuell nachgestellt und beobachtet werden.

// Kontakt: wrcramer@muenster.de

Das Interview führte Vanessa Bauersachs.

Mehr zum Thema!



74 Ergebnisse für Messtechnik!
Jetzt testen: www.farbeundlack.de/360