

Eine Sache des Blickwinkels



Quelle: © Maksim Kostenko – stock.adobe.com

FARBBEURTEILUNG // VISUELLE ABMUSTERUNG UND FARBBEURTEILUNG MIT PORTABLEN MESSGERÄTEN LIEFERN BEI LACKEN MIT INTERFERENZPIGMENTEN NICHT IMMER DIE GLEICHEN ERGEBNISSE. AUFGRUND DER BESONDEREN OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN SIND DIE VORGEGEBENEN MESSGEOMETRIEN DER GERÄTE FÜR EINE CHARAKTERISIERUNG NICHT IMMER GEEIGNET. KLEINE TRICKS KÖNNEN BEI DER VISUELLEN WIE AUCH DER INSTRUMENTELLEN BEURTEILUNG HELFEN.

Werner Rudolf Cramer, Freier Berater

Wie auch andere Eigenschaften eines Lackes wird dessen Farbe heutzutage sowohl visuell als auch instrumentell beurteilt. Diese Beurteilung dient der Bestimmung der Farbe, aber auch dem Vergleich zwischen einem Standard und einer Nachstellung. Die traditionelle Methode der visuellen Beurteilung wurde ergänzt durch die instrumentelle Beurteilung, die objektiver, einfacher und sicherer als die visuelle sein sollte.

Buntpigmente im Lack, die einfallendes Licht teilweise absorbieren und teilweise in alle Richtungen streuen, lassen sich visuell und instrumentell relativ einfach beurteilen. Als Messinstrumente stehen solche mit gerichteter Beleuchtung bei 45° oder mit einer Kugelgeometrie zur Verfügung. Erst das stärkere Aufkommen von Metallic-Lacken mit Aluminiumpigmenten förderte die Entwicklung neuer Methoden bei der visuellen und der instrumentellen Beurteilung: Die visuellen Beurteilungen wurden und werden am Fenster oder in einer Lichtkabine vorgenommen, um vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Für die instrumentelle Beurteilung wurden tragbare Geräte mit mehreren Messgeometrien entwickelt. Dabei wurde die Beleuchtung bei 45° eingeführt; gemessen wurde bei 15°, 45° und 110° vom entsprechenden Glanzwinkel. Diese Winkel sollten sich aus visuellen Aspekten ergeben, waren aber wie die zusätzlich definierten Messwinkel bei 25° und 75° willkürlich gewählt.

Mangelnde Korrelation

Heute arbeiten die portablen Messgeräte immer noch mit diesen Geometrien, ergänzt durch die -15°-Geometrie. Ursprünglich waren diese Geometrien für die Messung von Metallic-Lacken vorgesehen. Die

Ende der achtziger Jahre aufkommenden Lacke mit Interferenzpigmenten wurden dann mit den gleichen Geräten und mit den gleichen Geometrien gemessen, ohne die physikalisch-optischen Eigenschaften dieser Pigmente zu berücksichtigen. Die Farbe und der Effekt von Aluminium- und Interferenzpigmenten ist stark von der Messgeometrie abhängig, also der Kombination von Beleuchtung und Beobachtung. Und das gilt sowohl für die visuelle als auch für die instrumentelle Beurteilung. Im Idealfall sollten beide Methoden das gleiche Ergebnis liefern. Schließlich ist die instrumentelle Beurteilung von der visuellen abgeleitet: Die physikalischen Reflexionswerte, also die instrumentellen Messwerte, werden in physiologische Farbwerte übersetzt, die den visuellen Eindruck widerspiegeln. Trotzdem wird oft in den Lacklaboren bemängelt, dass die Beobachtung am Fenster oder in der Lichtkabine insbesondere bei Effektlacken nicht mit den Messergebnissen korreliert. Der Widerspruch liegt nicht in der Ungenauigkeit oder den Fehlern der Messmethoden und den Umrechnungen in Farbwerte, sondern in den unterschiedlichen Messgeometrien bei der

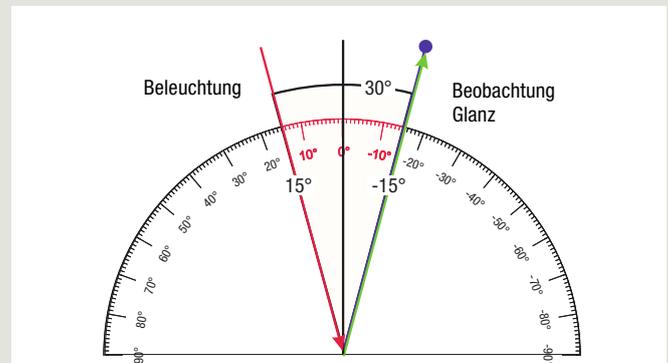


Abb. 1 // Ausgangsposition für eine visuelle Bemusterung am Fenster. Der Winkel zwischen der Beleuchtung und der Beobachtung beträgt 30°. Die Normale steht senkrecht auf dem Musterblech.

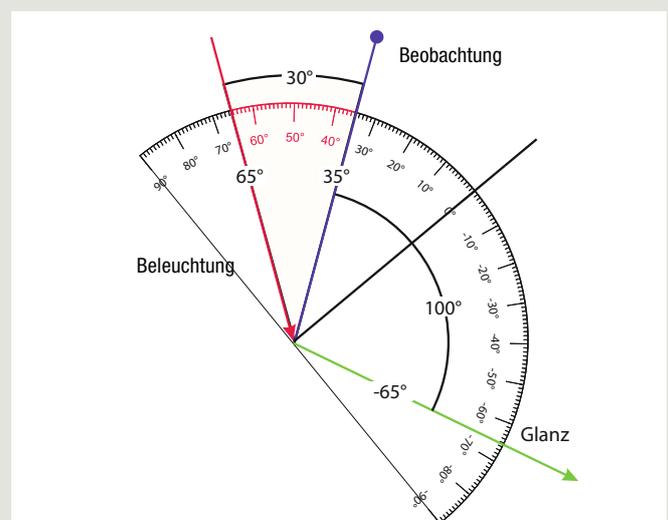


Abb. 2 // Kippt der Beobachter am Fenster das Musterblech zu sich hin, wird der Beleuchtungswinkel größer und flacher. Entsprechend vergrößert sich der Glanzwinkel. Der Differenzwinkel zwischen Beleuchtung und Beobachtung bleibt 30°, der Differenzwinkel zwischen Beobachter und Glanz nimmt zu.

Ergebnisse auf einen Blick

- Lacke mit Interferenzpigmenten werden oft mit den gleichen Geräten und mit den gleichen Geometrien abgemustert wie gewöhnliche Lacke, ohne die physikalisch-optischen Eigenschaften dieser Pigmente zu berücksichtigen.
- Die Farbe und der Effekt von Aluminium- und Interferenzpigmenten ist stark von der Messgeometrie abhängig, also der Kombination von Beleuchtung und Beobachtung.
- Diskrepanzen sind die Folge unterschiedlicher Messgeometrien bei der visuellen und der instrumentellen Beurteilung.
- Bei gleichem Differenzwinkel verschieben sich die Reflexionskurven zum Kürzerwelligen, wenn das Interferenzpigment oder der entsprechende Lack flacher beleuchtet wird. Das Verhalten ist für jedes Interferenzpigment typisch und kann auch zum Identifizieren herangezogen werden.
- Die notwendigen Geometrien lassen sich mit portablen Geräten nicht realisieren. Basierend auf den Gesetzen der Lichtumkehr lassen sich jedoch Messvarianten anwenden, die die optischen Eigenschaften eines Interferenzpigmentes zum Teil erfassen. Dies gelingt, indem die 45°/-15°-Geometrie einbezogen wird.

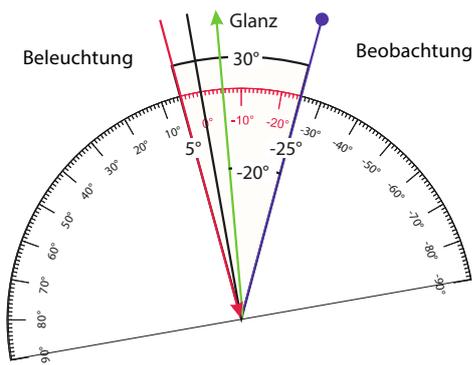


Abb. 3 // Kippt der Beobachter das Musterblech von sich weg, wandert die Beleuchtung zur Normalen und die Beobachtung hat negative Werte zum Glanz (trans-Position). Der Winkel zwischen Beleuchtung und Beobachtung bleibt 30°.

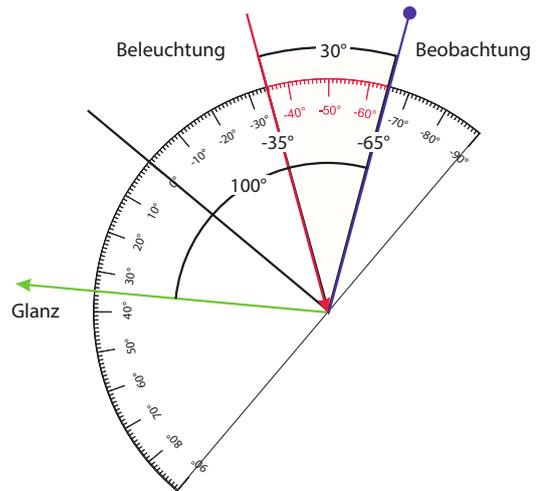


Abb. 4 // Wird das Musterblech noch weiter nach unten bewegt, wandert die Beleuchtung zur anderen Seite der Normalen, der Glanzwinkel nimmt zu. Der Differenzwinkel zwischen Beleuchtung und Beobachtung bleibt 30°.

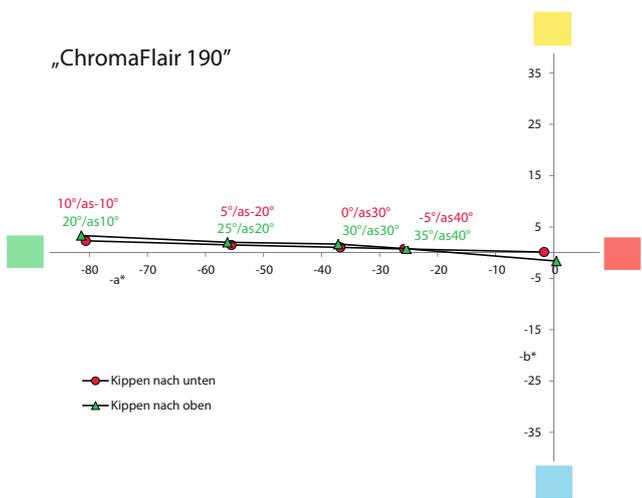


Abb. 5 // Bei der visuellen Beurteilung am Fenster wird das Musterblech nach oben und unten gekippt. Beide Farbverläufe sind nahezu identisch.

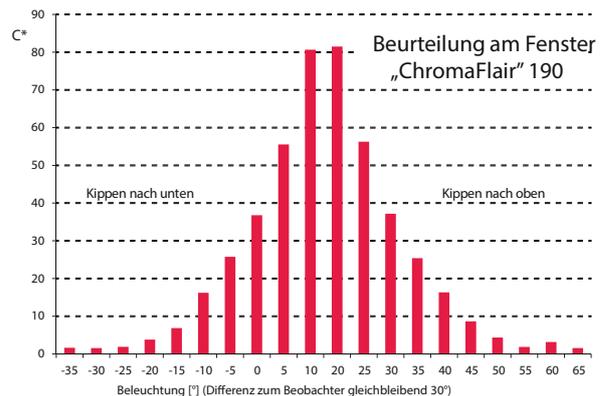


Abb. 6 // Nahe am Glanz besitzen Effektpigmente den höchsten Chroma-Wert. Dieser fällt beim Kippen nach oben und unten gleichmäßig ab.

visuellen und der instrumentellen Beurteilung. Die Wahl der Messgeometrien spielt eine entscheidende Rolle für beide Beurteilungsmethoden. Hinzu kommen noch die speziellen optischen Eigenschaften der Interferenzpigmente, die eine entsprechende Wahl der Messgeometrien erfordern.

Im Folgenden werden drei verschiedene Aspekte der Farbmessung vorgestellt und zusammen interpretiert: Zunächst werden visuelle Abmusterungen am Fenster und in einer Lichtkabine behandelt. Die derzeitigen portablen Messgeräte, als zweite Methodik beleuchtet, verfügen nur über eine kleine Auswahl an möglichen Messgeometrien. Der dritte Abschnitt beschäftigt sich mit den optischen Eigenschaften von Interferenzpigmenten.

Für die Messungen unter den verschiedenen Messgeometrien wurde das Farbmessgerät „GK311/M“ [1] verwendet, das Ende der 80er Jahre entwickelt worden war. Die Grundidee beruht auf einem beweglichen Beleuchtungskopf sowie einem ebenfalls beweglichen Mess-

kopf. Beide Köpfe sind auf einer stählernen Halbschiene angeordnet und können per Software in 5°-Schritten in ihrer Position geändert werden. Es ist möglich, die Beleuchtung bis auf 65° herunter- und bis auf -45° hochzufahren. Die Beobachtung ist zwischen 45° und -65° einstellbar. Damit lassen sich fast 250 messbare Geometrien anfahren. Von diesem Gerätetyp wurden nur wenige Exemplare gebaut.

Die visuelle Abmusterung

Bei der visuellen Abmusterung am Fenster werden die Musterbleche zunächst so positioniert, dass der Beobachter in den Glanz schaut. In dieser Ausgangsposition ist der Glanzwinkel (=Ausfallswinkel) genauso groß wie der Winkel des einfallenden Lichtes und die Normale steht senkrecht zwischen ihnen auf den Musterblechen. Beträgt der Winkel des einfallenden Lichtes beispielsweise +15° zur Normalen, ist der Glanzwinkel entsprechend -15°. Hier wird die Winkelkonvention

benutzt, nach der die Winkel auf der Beleuchtungsseite mit positiven und die auf der Beobachterseite mit negativen Werten bezeichnet werden, obwohl nach dem optischen Gesetz der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist (Abb. 1).

Der Beobachter kippt nun das Blech oder die Bleche nach oben zu sich oder nach unten von sich weg. In allen Fällen bleibt der Winkel zwischen ihm und der Lichtquelle immer der gleiche, in diesem Beispiel immer 30° . Bei den portablen Messgeräten ändert sich dagegen der Differenzwinkel zwischen Beleuchtung und Beobachtung mit jeder Messgeometrie.

Kippt der Beobachter das Musterblech zu sich hin, so vergrößert sich der Beleuchtungswinkel. Gleichzeitig nimmt der Differenzwinkel zwischen Beobachter und Glanzwinkel zu. Ändert sich der Beleuchtungswinkel beispielsweise von $+15^\circ$ auf $+45^\circ$, so ändert sich der Glanzwinkel von -15° auf -45° . Der Winkel der Beobachtung beträgt dann $+15^\circ$, was einer Differenz zur Beleuchtung von 30° entspricht. Daraus folgt ein Differenzwinkel zwischen Beobachtung und Glanz von 60° (Abb. 2).

Wird das Blech vom Beobachter wegbewegt und nach unten gekippt, so wandert zunächst der Beleuchtungswinkel zur Normalen, beispielsweise von $+15^\circ$ auf $+5^\circ$. Der entsprechende Glanzwinkel beträgt dann -5° und der Beobachtungswinkel -25° . Das entspricht einem Differenzwinkel zwischen Beobachtung und Glanz von -20° (Abb. 3). Kippt der Beobachter das Blech weiter nach unten, so wandert der Beleuchtungswinkel in die Normale und wechselt dann die Seite, beispielsweise auf -10° . Der Glanzwinkel liegt dann auf der anderen Seite bei $+10^\circ$. Der Beobachtungswinkel ändert sich auf -40° und der Differenzwinkel zwischen Beobachtung und Glanz beträgt nun 50° (Abb. 4).

Bei diesem Auf- und Abkippen ist noch ein wichtiger Aspekt zu beachten: Aufgrund der Lichtumkehr ergeben sich nahezu gleiche Farbwerte. Messungen beispielsweise bei einer Beleuchtung von $+10^\circ$ und einer Beobachtung von -20° entsprechen theoretisch Messungen bei $+20^\circ$ -Beleuchtung und -10° -Beobachtung. Betrachtet man die Messwerte beim Kippen nach unten, so entsprechen diese fast vollständig den Ergebnissen beim Kippen nach oben. Die Differenzen sind für das Auge so gering, dass praktisch die gleichen Farben oder gleichen Farbverläufe erkannt werden. Letztlich ist es egal, ob man das Musterblech nach oben oder nach unten kippt, die Farbeindrücke sind so gut wie identisch (Abb. 5).

Die Differenzen sind dagegen größer, wenn ein effektpigmentierter Lack aufgezogen wird. Hier ergibt sich eine Vorzugsrichtung, die sich beim Messen bemerkbar macht. Bei gespritzten Musterblechen ist die Differenz meist gering, kann aber von der Güte der Spritzapplikation abhängen.

Andere Betrachtungsmethoden ergeben gleiche Ergebnisse: Wird das Musterblech über Kopf gehalten und dann mit dem Rücken zum Fenster geprüft, so werden beim Kippen nach vorne und hinten wiederum die gleichen Bedingungen durchgefahren. Auch in einer begehbaren Lichtkabine findet man diese Bedingungen. Andere Lichtkabinen sind nach den Vorgaben des Kunden ausgerichtet. Hier wird das Musterblech oft von oben senkrecht oder unter 45° beleuchtet und dann nach vorne und hinten gekippt. Der Ablauf der Geometrien ist aber immer vergleichbar (Abb. 6).

Ein Aspekt bei den visuellen Abprüfungen sollte nicht vergessen werden: Im Gegensatz zu der Messfläche eines Instrumentes ist die Fläche eines Musterbleches deutlich größer. Bei einem gewöhnlichen Abstand zum Betrachter und in üblicher Größe beträgt der Betrachtungswinkel zwischen der oberen und unteren Kante des Bleches circa 20° .

Die visuelle Abprüfung startet nahe im Glanz; beim Kippen nach vorne und hinten entfernt sich der Beobachter immer weiter vom Glanz, da seine Position zum Fenster und zur Beleuchtung konstant bleibt. Die portablen Messgeräte behalten dagegen die Position der Beleuch-

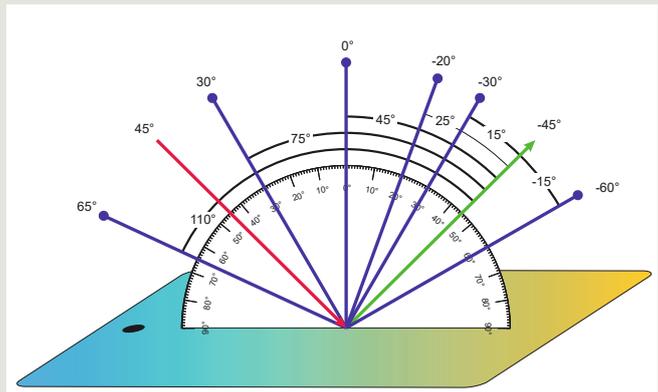


Abb. 7 // Typischerweise beleuchten moderne Farbmessgeräte unter einem Winkel von 45° , und sie messen $-15^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 45^\circ, 75^\circ$ und 110° vom Glanzwinkel. Diese Geometrien unterscheiden sich von denjenigen bei der virtuellen Abmusterung, bei der sich der Beleuchtungswinkel ändert, aber die relative Position zwischen Beleuchtung und Beobachtung gleich bleibt.

tung, aber der Winkel zum Beobachter ändert sich mit jeder Geometrie. Bei Interferenzpigmenten, die einen mehr oder weniger starken Farbwechsel aufweisen, wird daher ein anderer Verlauf beobachtet, als die instrumentelle Messung ergibt.

Die instrumentelle Abmusterung

Farbeffekte und -verläufe insbesondere von Interferenzpigmenten sind stark von den Geometrien abhängig, unter denen sie beleuchtet und beobachtet werden. Dass die portablen Geräte Geometrien nutzen, die unterschiedlich zu denen der visuellen Abmusterung sind, sagt nichts über deren Qualität aus. Die Auswahl weniger Geometrien schränkt auch die Datenflut ein, die sich mit jeder zusätzlichen Messung ergibt. Schon die Einführung einer zusätzlichen Geometrie mit -15° vom Glanzwinkel (aspecular), wie sie in dem Standard-Testverfahren der ASTM definiert wurde, erforderte eine intensive Beschäftigung vieler Anwender hiermit. Was in einem Messgerät abläuft und was die Winkelbezeichnungen bedeuten, bleibt auch heute noch vielen Anwendern unverständlich. (Abb. 7)

Ein mit Buntpigmenten pigmentierter Lack zeigt kein oder kaum ein Farbenspiel; ein aluminiumpigmentierter Lack glänzt insbesondere durch Helligkeitsänderungen, wenn die Messgeometrien wechseln. Nahe am Glanz ist dessen Helligkeit am höchsten und nimmt mit Entfernung vom Glanz ab. Dieses Verhalten kann durch die portablen Geräte beschrieben werden. Deren Beobachtung entfernt sich in größeren werdenden Schritten vom Glanzwinkel bei konstantem Beleuchtungswinkel. So lassen sich auch besondere Phänomene erfassen, die visuell mit anderen Geometrien beschrieben werden. Ein Beispiel sind Ausmischungen mit Rußpigmenten: Diese sind als feintellige Pigmente blautichig, als grobteilige braunstichig. Mischt man sie mit demselben Aluminiumpigment, so zeigt sich die Mischung des blautichigen Rußes nahe am Glanz deutlich dunkler als die Mischung mit dem braunstichigen. Vom Glanz entfernt ändert sich das Helligkeitsverhältnis: Die Mischung mit dem blautichigen Ruß wird heller als die mit dem braunstichigen. Dieses Verhalten kann auch in Mischungen mit Interferenzpigmenten nachgewiesen werden. Die Änderung der Helligkeit lässt sich sowohl visuell als auch instrumentell beschreiben. Ein Vorteil der instrumentellen Beurteilung gegenüber der visuellen zeigt sich beim Farbverhalten von bunten, transparenten Interferenz-

pigmenten: Wird ein entsprechender Lack auf einen weißen Untergrund aufgetragen, so erkennt man den Wechsel von der Reflexions- zur Transmissionsfarbe. Diese Pigmente besitzen eine typische Reflexionsfarbe an ihrer Oberfläche; Lichtstrahlen, die die Pigmente durchdringen, erzeugen rückseitig aufgrund der fehlenden Phasenverschiebung

die komplementäre Transmissionsfarbe. Der konstante Beleuchtungswinkel bei den Messinstrumenten sowie deren Änderung des Differenzwinkels (aspecular) zum Glanz sorgen für die richtige Beschreibung dieser optischen Eigenschaft: Zwischen den Differenzwinkeln von 20° und 30° existiert je nach Pigmentart ein Zwischenbereich, in dem

der Wechsel stattfindet. Mit ihrer Auswahl an Geometrien zeigen die portablen Geräte einen Ausschnitt des Farbverhaltens eines Lackes und seiner Pigmente. Die visuelle Abmusterung zeigt einen anderen Ausschnitt des Farbverhaltens und kann daher andere Ergebnisse liefern. Deshalb ist es wichtig, beide Ergebnisse zu kombinieren, um eine optimale Beurteilung vornehmen zu können.

Die optischen Eigenschaften

Der dritte Aspekt einer Farbbeurteilung befasst sich mit den optischen Eigenschaften von Lacken. Diese sind zunächst unabhängig von den beschriebenen Methoden der visuellen und instrumentellen Farbprüfung. Bei der Beschreibung der Eigenschaften stellt sich die Frage, ob und wie sie in diese Methoden eingepasst werden können.

Aluminiumpigmente ändern ihre Helligkeit, wenn sie unter verschiedenen Winkeln bei gleichem Differenzwinkel (aspecular) beleuchtet werden. Sie ändern auch ihre Helligkeit, wenn sie bei konstantem Beleuchtungswinkel unter verschiedenen Differenzwinkeln beobachtet werden. Betrachtet man die entsprechenden Reflexionskurven, so stellt man eine Änderung in der Höhe der Reflexion, aber keine Verschiebung fest. Interferenzpigmente reagieren laut Interferenzgesetz auf die Winkeländerung des einfallenden Lichtes. Bei gleichem Differenzwinkel verschieben sich die Reflexionskurven zum Kürzerwelligen, wenn das Pigment oder der entsprechende Lack flacher beleuchtet wird, d.h. rote Interferenzpigmente verschieben sich zum Gelblichen, gelbe Interferenzpigmente zum Grünlichen und grüne zum Bläulichen. Messungen bei verändertem Beleuchtungswinkel zeigen sowohl bei den Reflexionskurven als auch bei den a*b*-Farbwerten deutlich dieses Verhalten (Abb. 8).

Das Verhalten ist für jedes Interferenzpigment typisch und kann auch zum Identifizieren herangezogen werden. Die charakteristische Ankerform, gebildet aus der Interferenzlinie mit den Messgeometrien 15°/15° - 45°/15° - 65°/15° und der Aspecular-Linie mit 45°/15° - 45°/25° - 45°/45°, ist spezifisch für ein Interferenzpigment. In der Verbindung von 45°/25° - 45°/15° - 65°/15° zeigt der Schenkel 45°/15° - 65°/15° immer gegen den Uhrzeigersinn.

Diese Geometrien lassen sich mit den portablen Geräten nicht realisieren; aufgrund der Gesetze der Lichtumkehr lässt sich anstelle der 65°/15°-Geometrie auch die 45°/-15°-Geometrie verwenden. Bei dieser Geometrie wird bei 45° beleuchtet und bei -60° beobachtet (entspricht -15° aspecular). Dreht man den Lichtweg um, so wird bei 60° beleuchtet und bei 45° beobachtet (entspricht 15° aspecular); 45°/-15° entspricht

der Wechsel stattfindet. Mit ihrer Auswahl an Geometrien zeigen die portablen Geräte einen Ausschnitt des Farbverhaltens eines Lackes und seiner Pigmente. Die visuelle Abmusterung zeigt einen anderen Ausschnitt des Farbverhaltens und kann daher andere Ergebnisse liefern. Deshalb ist es wichtig, beide Ergebnisse zu kombinieren, um eine optimale Beurteilung vornehmen zu können.

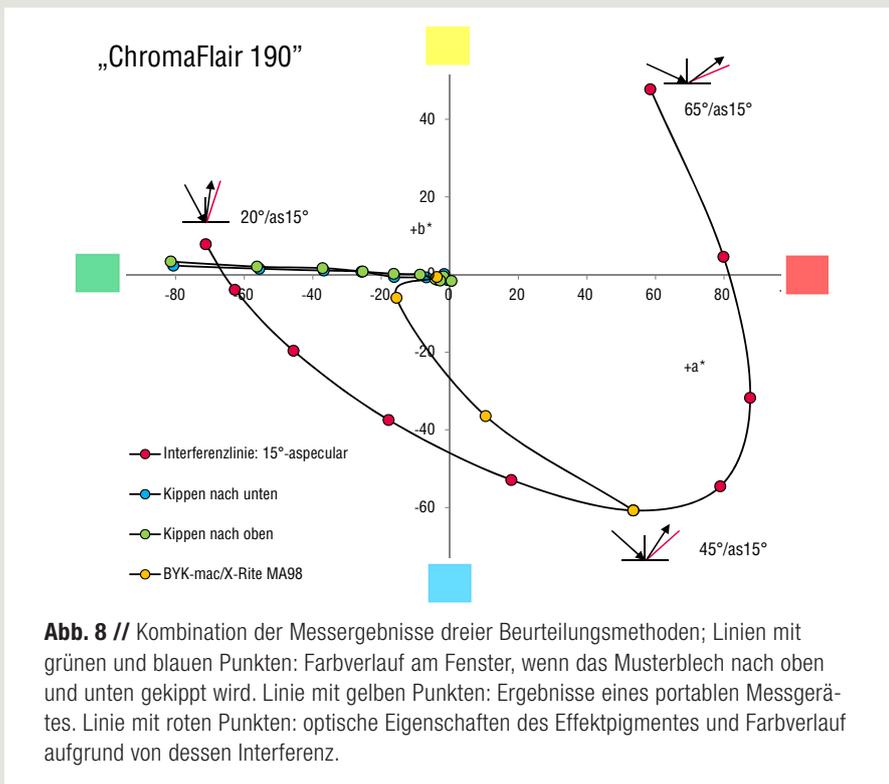


Abb. 8 // Kombination der Messergebnisse dreier Beurteilungsmethoden; Linien mit grünen und blauen Punkten: Farbverlauf am Fenster, wenn das Musterblech nach oben und unten gekippt wird. Linie mit gelben Punkten: Ergebnisse eines portablen Messgerätes. Linie mit roten Punkten: optische Eigenschaften des Effektpigmentes und Farbverlauf aufgrund von dessen Interferenz.

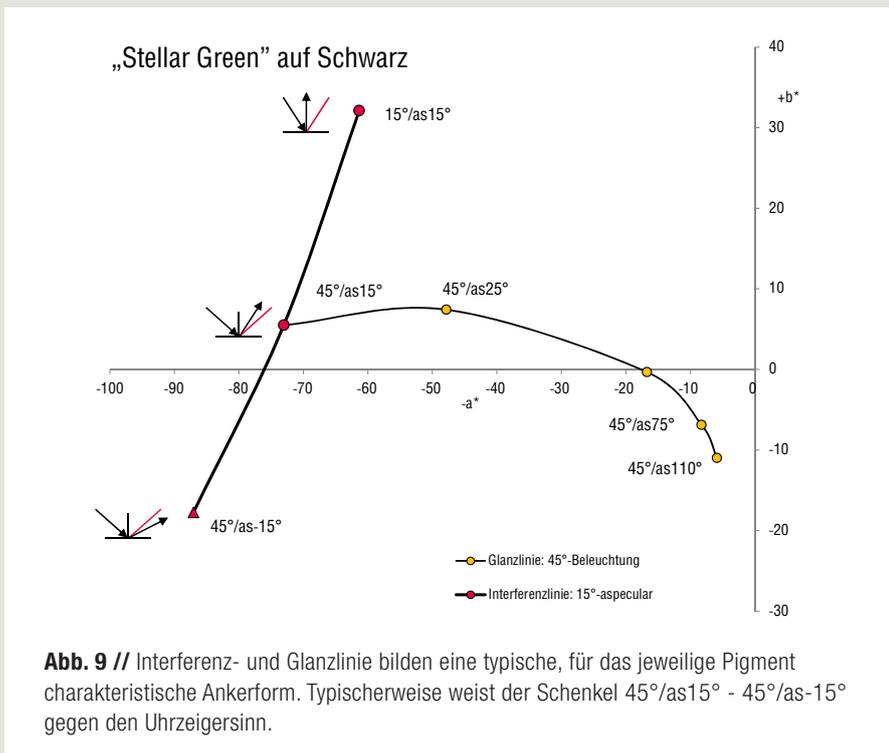


Abb. 9 // Interferenz- und Glanzlinie bilden eine typische, für das jeweilige Pigment charakteristische Ankerform. Typischerweise weist der Schenkel 45°/as15° - 45°/as-15° gegen den Uhrzeigersinn.

demnach $60^\circ/15^\circ$. Typischerweise weist dann der Schenkel $45^\circ/as15^\circ - 45^\circ/as-15^\circ$ gegen den Uhrzeigersinn (Abb. 9). Mit diesem „Trick“ lassen sich die optischen Eigenschaften eines Interferenzpigmentes zum Teil erfassen.

Resümee

Alle drei beschriebenen Ansätze haben ihre Vorzüge: Die visuelle Abmusterung entspricht eher dem menschlichen Verhalten, das Musterblech hin- und her zu bewegen. In den meisten Fällen werden zwei Musterbleche verglichen, um Farbunterschiede festzustellen. Farbunterschiede lassen sich auch mit den portablen Messgeräten erfassen, solange sie bei den vorgegebenen Messgeometrien auftreten. Die optischen Eigenschaften von Interferenzpigmenten verlangen andere Messgeometrien, um diese zu charakterisieren und untereinander zu differenzieren. Will man sie visuell beurteilen, empfiehlt sich die Bewegung des Messbleches parallel von oben nach unten bei gleichzeitiger Änderung des Beleuchtungswinkels. Hält man das Musterblech hoch und blickt über dieses, sollte es auch flach beleuchtet werden. Senkt man das Blech, wird immer steiler beleuchtet und beobachtet. Will man ähnliche Aussagen mit den portablen Messgeräten erzielen, wird die $45^\circ/-15^\circ$ -Geometrie in die Beurteilung einbezogen. Bunte Interferenzpigmente „biegen“ den Schenkel von $45^\circ/15^\circ - 45^\circ/-15^\circ$ gegen den Uhrzeigersinn, während Aluminiumpigmente ihn bezogen auf den Schenkel $45^\circ/25^\circ - 45^\circ/15^\circ$ geradeaus laufen lassen.

Literatur

[1] Farbmessgerät GK311/M, Zeiss; entwickelt vom Team um Hermann Gerlinger.
www.zeiss.wrcramer.de

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

Charakterisierung vereinfachen

INTERVIEW // KLEINE TRICKS KÖNNEN BEI DER VISUELLEN WIE AUCH DER INSTRUMENTELLEN BEURTEILUNG VON INTERFERENZPIGMENTEN HELFEN.

Was sind die Hauptvor- und Nachteile der beschriebenen Messverfahren?

Das visuelle Verfahren am Fenster spiegelt das Verhalten einer Effektfarbe wider, wenn ich beispielsweise meine Position beim Betrachten eines Autos ändere. Und das instrumentelle zeigt die Glanzeigenschaften bezogen auf den fixierten Beleuchtungs- und Glanzwinkel. Das dritte Verfahren bezieht sich auf den Farbverlauf der Interferenz.

In welchen Fällen lohnt sich die Nutzung eines portablen Messgeräts bei Interferenzpigmenten?

Die Messung eines Interferenzpigmentes oder eines entsprechend pigmentierten Lackes mit einem portablen Gerät zeigt zwar nur einen Teil der optischen Eigenschaften, gibt aber dennoch wichtige Informationen über den Farbverlauf. Die Identifizierung und Charakterisierung von Interferenzpigmenten werden auf jeden Fall vereinfacht.

// Kontakt: wrcramer@muenster.de

Das Interview führte Vanessa Bauersachs.

Mehr zum Thema!



351 Ergebnisse für Pigmente!
Jetzt testen: www.farbeundlack.de/360