

Messgeometrien ganzheitlich diskutieren

Kenntnis der optischen Eigenschaften von Interferenzpigmenten verbessert die Interpretation von Messwerten

Werner Rudolf Cramer/Münster

In den letzten zehn Jahren ist der Anteil von Interferenzpigmenten besonders im automobilen und industriellen Bereich stark gestiegen. Deren Effekte, die sich durch Veränderung der Beleuchtung und Beobachtung ergeben, sollen für die Ab- und Anlieferungs- sowie Produktionskontrolle messbar sein. In der Regel geht die messtechnische Beschreibung ausschließlich von den Möglichkeiten des Messgerätes aus, ohne die optischen Eigenschaften der Pigmente zu berücksichtigen. Dabei ist es gerade wichtig, jede Messgeometrie daraufhin zu beurteilen, wie stark die optischen Eigenschaften der Interferenzpigmente auf die Messwerte einwirken.

Die meisten Diskussionen über die Messung von Interferenzfarben basieren auf den technischen Vorgaben der Messgeräte. Und die erhaltenen Messwerte werden als Grundlage für die Darstellung der Effekte und Bewertung der Charge genommen. Dabei wird außer Acht gelassen, dass hierdurch eine drastische Reduzierung der Informationen über die Farben stattfindet. Beschränkt auf wenige Messgeometrien, d. h. Kombinationen von Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel, werden Vorstellungen entwickelt, die nur einen Teil der optischen Eigenschaften der Interferenzfarben berücksichtigen. Einerseits ist es zwar vernünftig, die Zahl der

Messgeometrien und damit der Messungen auf ein praktikables Maß zu reduzieren, andererseits sollte man hierbei nicht die optischen Eigenschaften der Interferenzfarben vergessen. Ohne Kenntnis dieser Eigenschaften macht eine Interpretation der Messwerte wenig Sinn.

Im Mittelpunkt der Messdiskussion sollte deshalb zunächst die „ganzheitliche“ Betrachtung der Pigmente stehen, um von hier aus die Messungen auf wenige Geometrien zu reduzieren. Nur so lässt sich eine ausreichende Bewertung der Ergebnisse vornehmen, weil die Messwerte allein keine Zusammenhänge zwischen den Effekten bieten. Und gerade die neuen

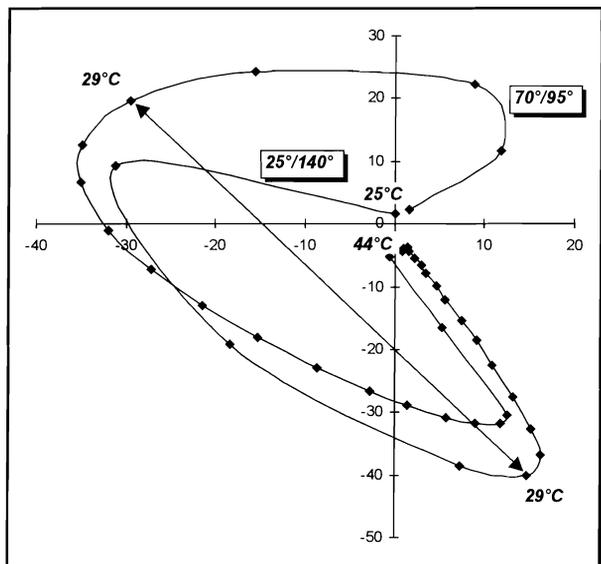


Abb. 1: Farbige Erscheinung von Flüssigkristallen
Hier sind die a^* / b^* -Werte temperaturabhängig für die flache Einstrahlung von $25^\circ/140^\circ$ und steile Einstrahlung von $70^\circ/95^\circ$ bei gleichem Differenzwinkel aufgetragen. Bei der Temperatur 29°C erscheint dieses Pigment gelbgrün oder purpur je nach Beleuchtungswinkel.

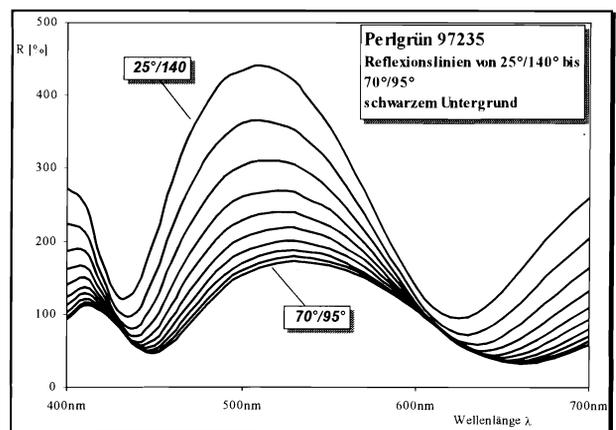


Abb. 2: Reflexionskurven des „Iridin 97235“
Bei konstantem Differenzwinkel von 15° und variiertem Beleuchtungswinkel von 25° bis 70° . Die Reflexionsmaxima verschieben sich von steiler zu flacher Einstrahlung um etwa 30 nm.

Interferenzfarben beziehungsweise -pigmente besitzen optische Eigenschaften, die deutlich von denen der Bunt- und Metallpigmente abweichen und auch bei den Messungen besonderer Interpretationen bedürfen.

Reflektion, Lichtbrechung und Interferenz an einem Glimmerpigment

Während Buntpigmente das einfallende Licht teilweise absorbieren bzw. ungerichtet reflektieren, interferieren die reflektierten Lichtwellen bei den modernen Effektpigmenten. Als Beispiel soll ein Glimmerpigment vorgestellt, dessen Kern aus einem Glimmerplättchen besteht, welches mit Titandioxid ummantelt ist. Trifft weißes Licht auf dieses Glimmerpigment, so wird ein Teil an der Oberfläche mit Phasensprung um eine halbe Wellenlänge reflektiert. Der restliche Teil durchwandert die Titandioxidschicht unter Brechung. An der Grenzschicht zwischen Titandioxid und Glimmerplättchen wird wiederum ein Teil reflektiert, der das Pigment parallel zum ersten reflektierten Teil verlässt. Diese beiden Reflektionsanteile interferieren miteinander: Trifft Wellenberg auf Wellenberg, so verstärkt sich die resultierende Welle. Treffen Wellenberg und Wellental aufeinander, so schwächt sich die resultierende Welle ab. Welche Wellenlängen nun wie betroffen sind, hängt von dem zusätzlichen Weg ab, den der zweite Reflexionsanteil erfährt. Diese optische Wegdifferenz berechnet sich aus dem Weg durch die Titandioxidschicht minus dem Wegstück, das der erste Reflexionsanteil in dieser Zeit zurücklegt. Berücksichtigt werden muss ferner der Phasensprung um 180° , den der erste Anteil beim Übergang vom optisch dünneren zum optisch dichteren Medium erfährt. Aus diesen Parametern lässt sich die vereinfachte Interferenzformel berechnen, die die Reflexionsfarbe in Abhängigkeit vom Brechungsindex und der Schichtdicke des Titandioxids sowie vom Winkel des einfallenden Lichtes setzt.

Die Anteile des Lichtes, die das Pigment durchwandern und rückwärtig verlassen, ergeben die Transmissionsfarbe, die zur

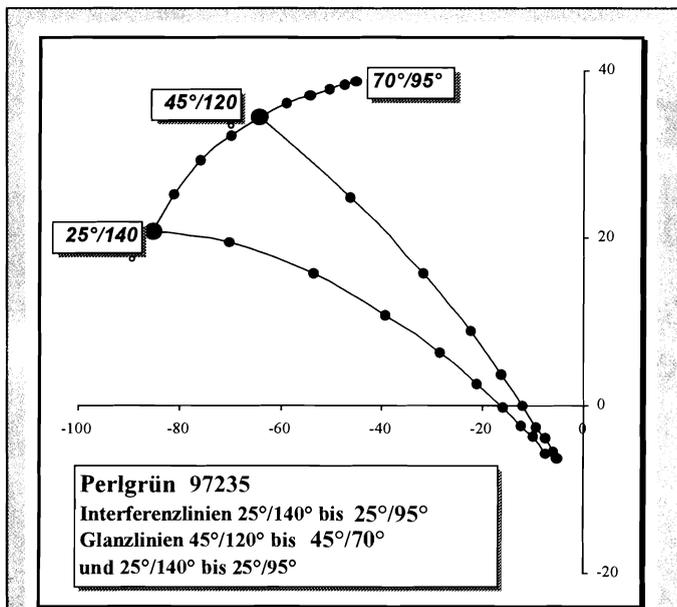


Abb. 3: a*b*-Werte des „Iridodin Ultragrün 97235“
 Die Messwerte der Geometrien von 25°/140° (Beleuchtung/Beobachtung) bis 70°/95° ergeben die Interferenzlinie für die 15°-Differenzwinkel. Die Glanzlinien starten bei 45°/120° bzw. 25°/140° und enden bei 45°/75° bzw. 25°/95°.

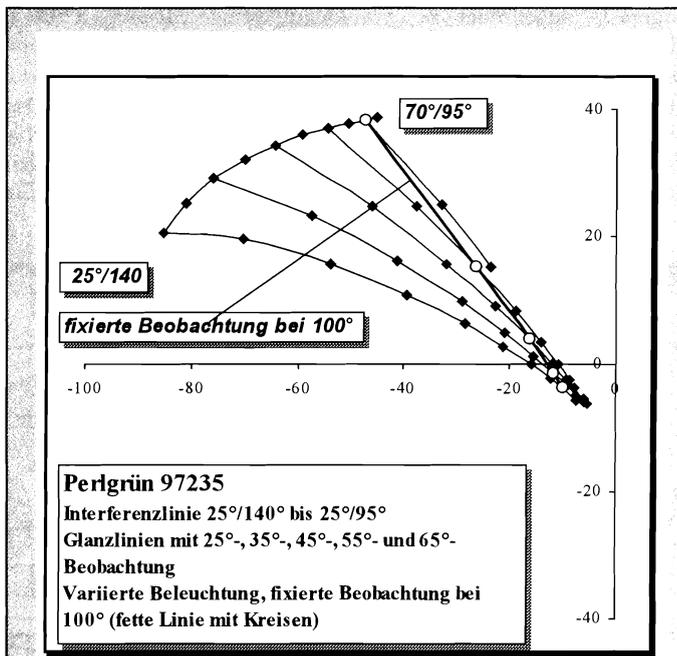


Abb. 4: Interferenz- und Glanzlinien des „Iridodin 97235“
 Die Interferenzlinie des „Iridodin 97235“ gibt die Werte für die 15°-Differenzgeometrie von 25°/140° bis 70°/95° wieder. Von ihr verlaufen jeweils die Glanzlinien ab 25°, 35°, 45°, 55° und 65° Beleuchtung. Im Vergleich sind hierzu die Messwerte bei variiertem Beleuchtungswinkel und gleichem Beobachtungswinkel eingetragen (Kreise mit Linie).

Reflexionsfarbe komplementär ist. Spritzt oder zieht man einen glimmerpigmentierten Lack auf eine Glascheibe, so kann man die Transmissionsfarbe in der Durchsicht erkennen. Sie lässt sich auch beobachten, wenn man diesen Lack auf einen weißen Untergrund spritzt: Dabei nimmt

man einen Beobachtungsstandort vom Reflexionswinkel entfernt ein, bei dem man die Reflexion der Transmissionsfarbe vom weißen Untergrund erkennt. Die resultierende Reflexionsfarbe hängt insbesondere von der Schichtdicke des Titandioxids ab: Bei kleiner Schichtdicke erhält man eine silberweiße Reflexionsfarbe, die sich mit steigender Schichtdicke über Gelb, Rot und Blau zum Grün verändert.

Differenzwinkel spielen für die Bewertung eine große Rolle

Für die Diskussion der Messgeometrien ergeben sich aus diesen optischen Eigenschaften folgende Punkte: Der erste betrifft die Frage nach dem Einfluss des Beleuchtungswinkels, der zweite geht auf die Beobachtungs- und Messwinkel ein und der dritte bewertet diese Winkel. Da Messungen im direkten Reflexionswinkel nur in Ausnahmefällen sinnvoll sind, spielt der Differenzwinkel bei den weiteren Betrachtungen zum dritten Punkt eine Rolle. Die Angaben der Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel (Abb. 1) beziehen sich auf die Probenhorizontalen, der Differenzwinkel gibt die Differenz zwischen Reflexions- und Beobachtungswinkel wieder.

Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel dürfen nicht getauscht werden

Die Interferenzfarbe hängt u. a. von dem Winkel des einfallenden Lichtes ab. Berechnet man die Verschiebung des Reflexionsmaximums zwischen flacher und steiler Einstrahlung, so ergibt sich für Glimmerpigmente ein Wert von etwa 30 nm, der durch Messungen und visuellen Abgleich bestätigt wird. Moderne Interferenzpigmente besitzen sogar deutlich stärkere Verschiebungen, die über 100 nm liegen können (Abb. 2).

Diese Abhängigkeit der Farbe vom Winkel des einfallenden Lichtes gehört zu den optischen Eigenschaften der Interferenzpigmente schlechthin. Gemessen wird sie bei variiertem Beleuchtungs- und konstantem Differenzwinkel; die Verbin-

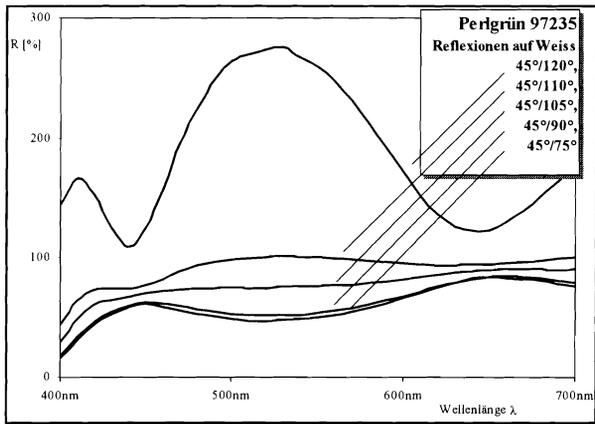


Abb. 5: Reflexionen auf Weiss

Misst man die Reflexionen des „Iriodin 97235“ über weißem Untergrund, so wird bei den glanznahen Geometrien 45°/120°, 45°/110° die grüne Reflexionsfarbe erfasst. Ab dem Differenzwinkel von 30° (45°/90°) wird die rote, vom weißen Untergrund reflektierte Transmissionsfarbe erfasst.

Perlgelb, -rot, -blau, -grün auf Weiss
Glanzlinien 45°/120° (schwarze Punkte), 45°/115°, 45°/110°, 45°/105°, 45°/90° (Kreise)

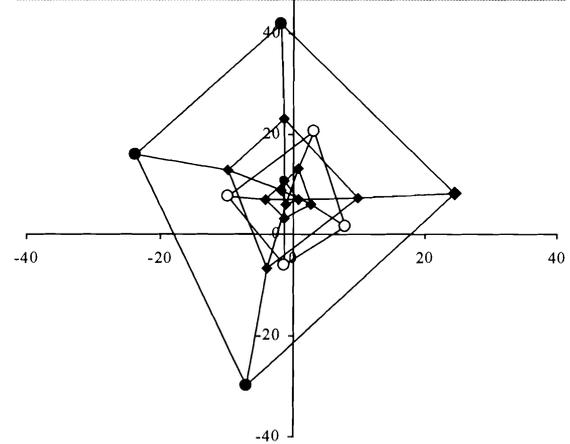


Abb. 6: Messung der Interferenzpigmente über weißem Untergrund

Farbunterschiede verringern bis zur 30°-Differenzgeometrie ebenfalls, um dann wieder größer zu werden und die jeweiligen Transmissionsfarben zu beschreiben. Die Verbindungsform der 45°-Differenzgeometrie (pink) ist gegenüber der der 15°-Geometrie horizontal und vertikal verdreht.

Perlgelb, -rot, -blau, -grün auf Schwarz
Glanzlinien 45°/120° (schwarze Punkte), 45°/115°, 45°/110°, 45°/105°, 45°/90° (Kreise)

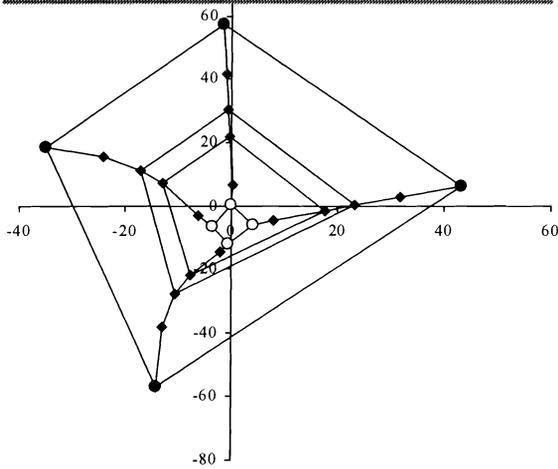


Abb. 7: Glanz- und Verbindungslinien für vier Farbtypen (Drachenform)

Interferenzpigmente vom Typ „92xx“ zeigen über schwarzem Untergrund mit steigendem Differenzwinkel kleinere Unterschiede untereinander.

Perlgelb, -orange, -rot, -lila, -blau, -grün
Glanzlinien 45°/120°, 45°/110°, 45°/90°, 45°/65°

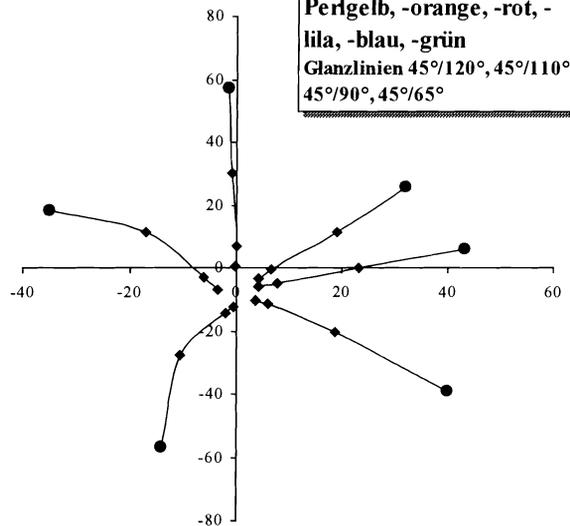


Abb. 8: Glanzlinien baugleicher Interferenzpigmente
„Iriodin“-Pigmente vom Typ „92xx“ weisen mit steigendem Differenzwinkel zu einem Zielort.

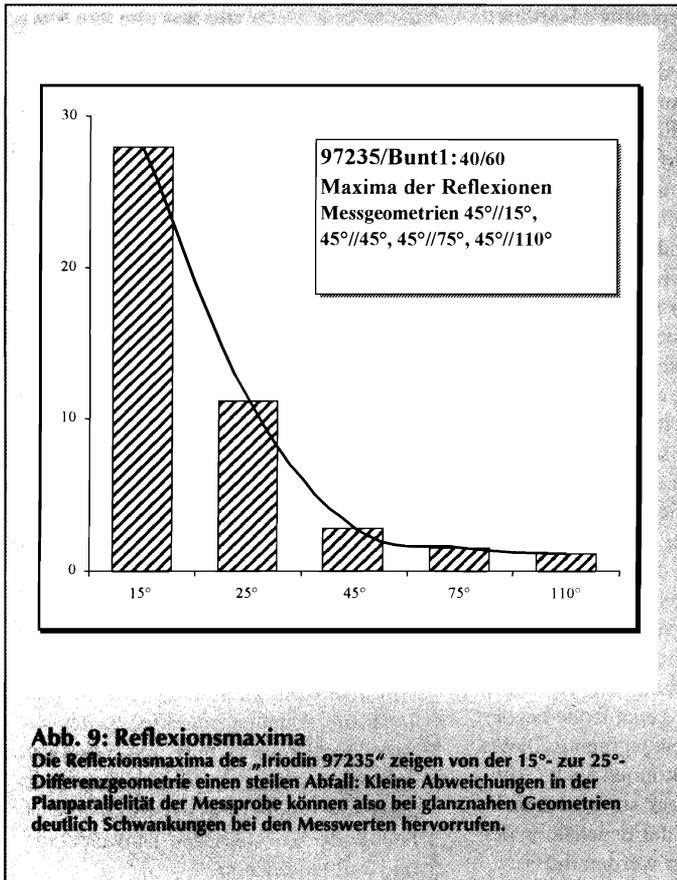


Abb. 9: Reflexionsmaxima
Die Reflexionsmaxima des „Iridium 97235“ zeigen von der 15°- zur 25°-Differenzgeometrie einen steilen Abfall: Kleine Abweichungen in der Planparallelität der Messprobe können also bei glanznahen Geometrien deutlich Schwankungen bei den Messwerten hervorrufen.

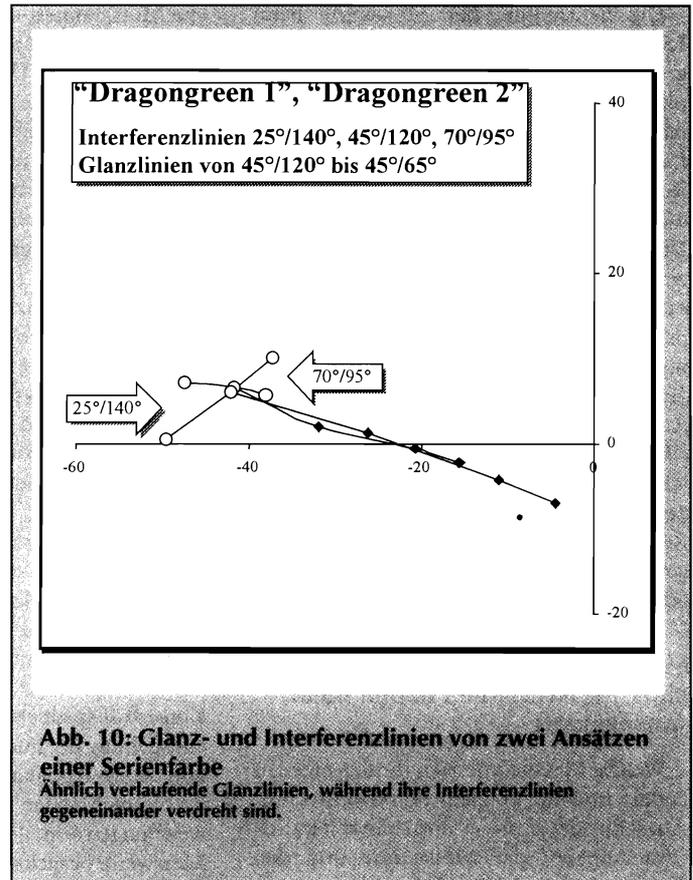


Abb. 10: Glanz- und Interferenzlinien von zwei Ansätzen einer Serienfarbe
Ähnlich verlaufende Glanzlinien, während ihre Interferenzlinien gegeneinander verdreht sind.

dungslinie der a^*b^* -Messwerte ist die für das jeweilige Pigment typische Interferenzlinie (Abb. 3). Wird neben dem Beleuchtungswinkel auch der Differenzwinkel verändert, ergibt die Messung keine Interferenzwerte, sondern nur willkürlich zusammengestellte Werte (Abb. 4). Aus den genannten Bedingungen ergibt sich auch, dass Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel nicht getauscht werden können: Beleuchtet man bei 45° und misst bei 120° (= 15° vom Glanz- oder Reflexionswinkel), so ergeben sich andere $L^*a^*b^*$ -Werte bei der umgekehrten Messgeometrie von 60°- bzw. 120°-Beleuchtung und 135°- bzw. 45°-Beobachtung.

Beobachtungs- und Messwinkel lassen sich gezielt zur Farbgebung einsetzen

Lässt man den Winkel des einfallenden Lichtes konstant, so beobachtet man eine Farbveränderung, wenn man den Differenz- und damit den Beleuchtungswinkel ändert. Diese Kombination von Messgeometrien wird vornehmlich bei der Messung von Metallicfarben eingesetzt. Die a^*b^* -Werte ergeben eine typische Glanzlinie, die bei transparenten Farben von der Untergrundfarbe beeinflusst wird: Trägt man transparente Glimmerpigmente auf weißem Untergrund auf, so erkennt man

ab etwa 30° vom Glanzwinkel deren Transmissionsfarbe, die vom Untergrund reflektiert wird (Abb. 5 und 6). Bei einem schwarzen Untergrund wird die Transmissionsfarbe von diesem absorbiert und ist nicht zu erkennen (Abb. 7). Entsprechende Einflüsse lassen sich auch beim Einsatz farbiger Füller bei der Automobillackierung ausmachen. Setzt man den Winkel des einfallenden Lichtes auf 45°, so erhält

Werner Rudolf Cramer, 1949 geboren, 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.

man eine andere Glanzlinie als bei einer 25°-Beleuchtung. Beide Glanzlinien nähern sich aber mit steigendem Differenzwinkel an und führen zum gleichen Zielort im a^*b^* -Koordinatensystem. Vergleichbare Interferenzpigmente sowie deren Mischungen haben im gleichen Medium den gleichen Zielort (Abb. 8). Dieses Verhalten beobachtet man auch bei Mischungen dieser Interferenzpigmente mit Buntpigmenten.

Leicht gebogene Flächen müssen berücksichtigt werden

Als Differenzwinkel wird derjenige Winkel bezeichnet, der sich aus der Differenz zwischen dem Reflexionswinkel (Glanzwinkel) und dem Beobachtungswinkel (Messwinkel) ergibt. In der Regel wird nicht direkt im Reflexionswinkel gemessen, sondern im definierten Abstand hiervon.

Gebräuchlicher Weise werden bei tragbaren Messgeräten Differenzwinkel von 15°, 25°, 45° und größer angewendet. Die glanznächste Winkeldifferenz von 15° bietet die größtmögliche Aussage über die Interferenzfarbe. Glimmerpigmente vom Typ „Scarabäus“ zeigen nur bei dieser Winkeldifferenz ihre grüne Interferenzfarbe, um bei 25° in ihre rotbraune Absorptionsfarbe zu kippen.

Die Beurteilung der Messwerte beim 15°-Differenzwinkel sollte in Praxis aber immer die Messproblematik an nicht ganz planen Flächen berücksichtigen: Misst man ein Interferenzpigment auf einem Labormuster, so stellt man fest, dass das Reflexionsmaximum beim 25°-Differenzwinkel um etwa 60 % unter dem des 15°-Differenzwinkels liegt. Daraus ergibt sich eine Abweichung von 6 % beim Reflexionsmaximum (ähnlich bei der Helligkeit) pro Grad zwischen den genannten Differenzwinkeln (Abb. 9). Selbst bei leicht gebogenen Flächen, wie man sie bei einer Autokarosserie findet, sind deshalb potentielle Abweichungen vorprogrammiert. Dem starken Einfluss der glanznahen Winkel auf die Messwerte wird beispielsweise bei Rezepturprogrammen dadurch Rechnung getragen, dass diese entweder gewichtet oder nicht berücksichtigt werden.

Messgeometrien mit nur einer Messvariablen haben mehr Aussagekraft

Welche Messgeometrien für den eigenen Bedarf und für einen produktionstechnischen Einsatz sinnvoll sind, hängt letztlich vom Angebot der Messgeräte und den eigenen Anforderungen ab. Jede zusätzli-

che Messgeometrie bringt neue Messdaten mit sich, die entsprechend interpretiert werden müssen. Und jede Messgeometrie sollte daraufhin beurteilt werden, wie stark die optischen Eigenschaften der Interferenzpigmente auf die Messwerte einwirken. So lässt sich an Tests nachweisen, dass unterschiedliche Interferenzfarben durchaus vergleichbare Glanzlinien aufweisen (Abb. 10). Eine Lieferkontrolle anhand der Glanzlinien würde hierbei zu falschen Aussagen führen.

Interferenzpigmente reagieren sehr sensibel auf viele Faktoren, die teilweise nicht vorhersehbar und einschätzbar sind. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, bei der Zusammenstellung der Messgeometrien darauf zu achten, möglichst nur mit einer Varianten zu arbeiten: Ein konstanter Beleuchtungswinkel und variierte Beobachtungswinkel sind aussagekräftiger, als eine Kombination von variierten Beleuchtungs-, Beobachtungs- und Differenzwinkel.

Das umgebende Medium wie Lack und Kunststoff spielt ebenfalls eine Rolle bei der Farbgebung der Interferenzpigmente. Dieses und dessen Applikation können auch Gründe für mehr oder weniger starke Messabweichungen sein, die bei der Beurteilung der Messwerte berücksichtigt werden müssen.

Berichtigung

In der Juniausgabe von FARBE&LACK dieses Jahres wurde der Beitrag „Normen und Programme zum verantwortlichen Handeln in der Lack- und Farbenindustrie“ veröffentlicht (S. 124–128). Dabei haben sich ein paar Fehler eingeschlichen: Auf S. 125 heißt es in einer Zwischenüberschrift: „EMAS umfasst Sicherheit“. Diese Aussage ist falsch. Richtig ist, dass EMAS sich im wesentlichen mit Umweltschutz befasst. Hingegen sind die Care Programme breiter angelegt und umfassen neben dem Umweltschutz zusätzlich die Bereiche Sicherheit und Gesundheitsschutz.

Der Autor Dr. Klaus Matthias ist Jahrgang 1936 (nicht 1963) und war nicht ab 1993 Vorstandsmitglied der BASF Lacke+Farben AG sondern war bei der heutigen BASF Coatings AG, von 1988 bis zu seinem Ausscheiden 1998 als Abteilungsdirektor Leiter der Abteilung Umweltschutz und Sicherheit. Außerdem war er ab 1993 Vorstandsmitglied und Leiter des wissenschaftlichen Beirats der Europäischen Umweltakademie Borken/ Bocholt.