

## Vernarrt in Interferenzpigmente und ihre Farbmessung

Werner Rudolf Cramer

Bis in die zweite Hälfte der achtziger Jahre war meine Arbeit künstlerisch-kreativ geprägt. Interferenzpigmente standen schon damals in meinem Fokus. Zahlreiche Objekte – Fahrzeuge und Fahrzeugteile – hatte ich mit Interferenzpigmenten gestaltet. Und als der damalige Leiter, der weltweit für Lacke und Lackierverfahren zuständig war, mich nach einer möglichen Ausweitung des VW-Angebots mit Interferenzpigmenten fragte, habe ich entsprechende Vorschläge gemacht. Wochen später kam eine Antwort der Muttergesellschaft dieser Lackfirma, in der die Verwunderung ausgesprochen wurde, dass ein Autohersteller so viel Ahnung von Interferenzpigmenten hätte [Abb. 1].



Abb. 1: links: Weißer Untergrund mit schwarzen Flächen und dann Streifen mit verschiedenfarbigen Interferenzpigmenten. Je nach Standpunkt kann mit Reflexions- oder Transmissionsfarben auf diesem Golf erkennen. Mitte: Transmissionsfarben sind deutlich schwächer als Reflexionsfarben zu denen sie komplementär sind. rechts: Bei dieser Kombination von Beleuchtung und Beobachtung sind die Reflexionsfarben über schwarzem und weißem Untergrund zu beobachten.

Durch die Kontakte zu Merck hatte ich Zugang zu neuen Forschungspigmenten, die ich ausgiebig testen und verwenden konnte. Unter anderem hatte ich einen Gold-Farbtönen mit Interferenzpigmenten entwickelt und die Lizenz zur Herstellung des entsprechenden Autolackes an einen Lackhersteller gegeben. Viele Versuche anderer Lackhersteller scheiterten, dieses „aurum magicum“ nachzustellen [Abb. 2]. Als der Marketingchef von VW mich fragte, ob dieses „aurum magicum“ nicht auch als Serienfarbe hergestellt werden könnte, habe ich diese Information an den OEM-Leiter des Lackherstellers weitergegeben. Der beschied mir, dass sie 96% und ich nur 4% der Umarbeitung hätte. Dafür bräuchten sie mich nicht! So war und ist es, wenn man selbstständig arbeitet. Man weiß nie, wieviel man an Informationen weitergeben soll. Die Geschichte hat aber ein verrücktes Ende gefunden: Der stellvertretende Marketingleiter von VW erzählte mir, dass die-



Abb. 2: Wo der Regenbogen aufhört, fängt das „aurum magicum“ an

ser OEM-Leiter dem Designchef verschiedene Goldausmischungen vorgelegt hat. Darauf hatte der Designchef angemerkt, dass das Gold von Cramer viel schöner sei!

Die Herstellung von Gold und insbesondere "aurum magicum" mit Hilfe meines PCs hatte ich in verschiedenen Computermagazinen beschrieben. Das führte zur Anfrage von Microsoft, ob ich nicht ein Buch über MS-Windows schreiben könne. Es sind dann zwei Bücher geworden. Ich kam auch in das erweiterte Team von Microsoft, in dem die wissenschaftlich-technischen Formeln für Excel entwickelt wurden. Excel wurde das zweite Programm nach Pagemaker (heute InDesign), welches unter MS-Windows lief.

Ich hatte damals meinen PC hauptsächlich mit MS-DOS laufen, erst mit Word 3, dann mit Word 4. Beim Merck in Gernsheim wurden schwarzweiße Musterkartons mit Interferenzpigmenten und deren Mischungen für mich hergestellt. Die SW-Musterkartons hatten den Vorteil, dass über dem weißen Untergrund die entsprechende Transmissionsfarbe sichtbar wurde. Die Pigmente habe ich zusammengestellt und ausgewogen. Sie wurden dann in Nitrolack angesetzt. Das Aufziehen geschah mit einer Eigenkonstruktion mit einem Flachwagen von Märklin 0! Die Muster wurden bei Merck mit dem John + Reilhofer gemessen, wobei eine spezielle Kappe auf dem Gerät verschiedene Winkel erlaubte. Ich bekam eine 3,5-Zoll mit den Messdaten sowie einen Ausdruck zugeschickt [Abb. 3].

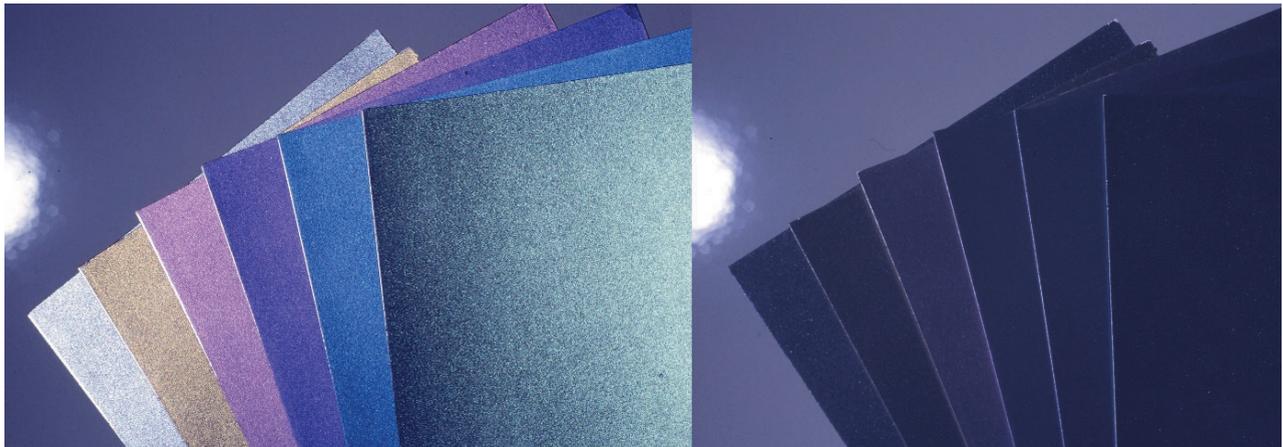


Abb. 3: Kippt man die Karten mit den bunten Interferenzpigmente, guckt man durch sie auf den dunkelgrauen Untergrund. Von dem werden die Transmissionsfarben fast komplett absorbiert.

Mit Hilfe der Software DeskView aus Kalifornien, die wie Windows später funktionierte, konnte ich bis zu 256 DOS-Programme öffnen. Ich brauche nur zwei: Word und den Editor von John Reilhofer. Mit zwei programmierten Makros konnte ich die  $L^*a^*b^*$  und die Reflexionswerte unabhängig voneinander in Word übertragen und als Textdatei abspeichern. Der blaue Bildschirm von Word, der zwischendurch aufflackerte, zeigte mir den Fortschritt der Prozedur an.

Ich bin Ende der achtziger Jahre in das Entwicklungsteam von Zeiss eingeladen worden, dass sich mit dem Bau eines neuen und neuartigen Mehrwinkel-Messgerätes beschäftigte. Einerseits konnte ich mein Wissen und meine Erfahrung über Interferenzpigmente einbringen, andererseits habe ich Teile der Software – damals mit Turbo Pascal – programmiert und auch das Format der Messdatei festgelegt. Diese Messdatei beinhaltete

die Messwerte jeder Geometrie zeilenweise, was Abfragen deutlich einfacher und schneller macht. Spätere Software-Entwicklungen anderer Messgeräte-Hersteller waren dagegen Insellösungen.

Das Ergebnis dieser Entwicklung war das Zeiss GK/311/M, ein Gerät mit einer stählernen Halbschiene, auf der ein Beleuchtungs- und ein Beobachtungskopf unabhängig voneinander in 5°-Schritten per Software (MS-DOS) gesteuert werden konnte [Abb. 4]. Viele Versuche mit dem ersten Gerät führen dazu, dass einige mechanische Feder kaputtgingen. Das passierte mir auch beim zweiten Gerät, worauf man meinte, man könnte mir kein Gerät mehr geben! Ehrlicherweise war die Teamleitung froh, dass dieser Konstruktionsfehler auftauchte und man die nächsten Geräte entsprechend anpassen konnte. Ich habe mit dem Zeiss GK311/M Tausende von Mustern gemessen - größtenteils mit 252 Messgeometrien.

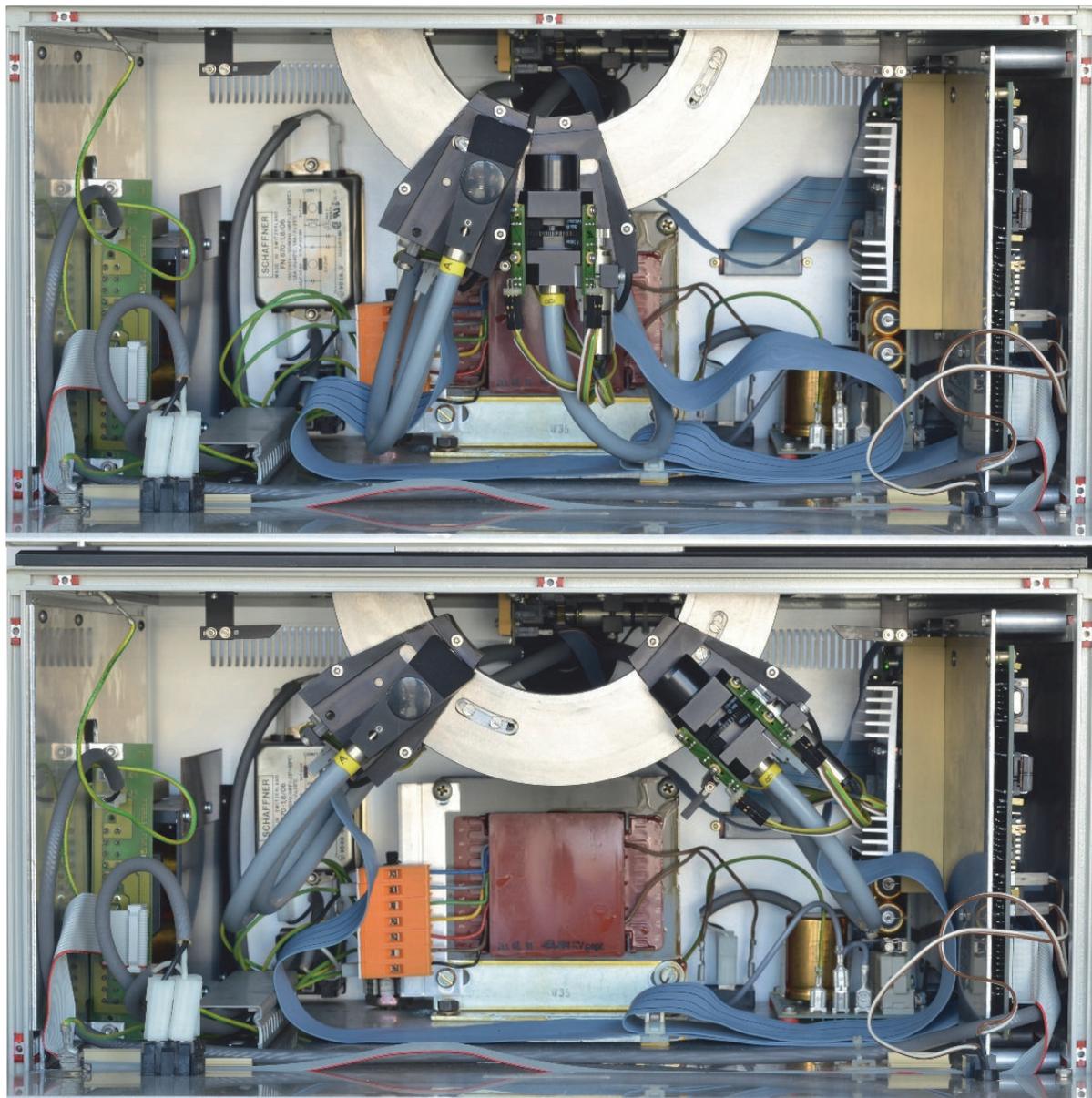


Abb. 4: Nach dem Abschrauben der Frontplatte ist beim Zeiss GK311/M der stählerne Halbkreis mit einem Beleuchtungs- und einem Beobachtungskopf zu erkennen. Beide lassen sich unabhängig voneinander in 5°-Schritten bewegen. Oben 20°/as15°, unten 65°/as15°.

Meine Arbeiten waren immer mit vielen Reisen verbunden. Eine möchte hier erwähnen: Morgens um kurz vor neun Uhr war ich beim Leiter der Lackierungen - zuständig für alle Opel-Werke, um Musterbleche einer blauen Farbe abzuholen, die er in verschiedenen Werken lackieren ließ. Teilweise mit damals noch üblichen konventionellen Lacken, teilweise mit wasserbasierten Lacken. Als ich das Werk in Rüsselsheim verlassen hatte, öffnete ich neugieriger Weise die Verpackung und guckte mir die Bleche aus verschiedenen Werken an und wunderte mich über die Farbunterschiede. Ich rief den Leiter an und fragte, ob das wirklich bei allen Blechen die gleiche Farbe sein sollte. Auf meine Frage, wie man denn mit den Farbunterschieden bei Opel umgehen würde, antwortete er mit einer Frage: "Hast Du schon mal einen Corsa aus Eisenach und einen aus Rüsselsheim nebeneinander gesehen?" Klar, hatte ich noch nie! Das war die Lösung für Farbprobleme!

Die Reise ging weiter zu Merck, erst ins Labor für Versuche und Messungen in Gernsheim, dann zum Marketing für neue Entwicklungen nach Darmstadt. Mit neuen Proben und Messdaten ging meine Reise weiter nach Unterschleißheim zu Microsoft. Dort traf ich Bill Gates, von dem ich Windows 3.5 NT zum Testen erhielt. Von dort fuhr ich nach Oberkochen zu Zeiss, um weiter am neuen Messgerät zu arbeiten. Zuhause fiel mir ein, wie kurios diese Reise war. Jeden Tag und bei jeder Firma ein ganz anderes Thema!

Anfang der neunziger Jahre, genauer im Jahr 1992, veröffentlichte ich erstmals Ergebnisse mit dem Zeiss GK311/M. Aufgrund der vielen möglichen Geometrien hatte ich schon am Anfang auf der Seite des Glanzwinkels gemessen, die der Beleuchtungsseite gegenüber liegt. Hier fand ich schnell die Notwendigkeit dieser Geometrien heraus, die ich in vielen Vorträgen bei der amerikanischen ASTM vorgestellt habe.

Die Messungen und deren Ergebnisse mit dem Zeiss GK311/M haben meinen Wissensstand über Interferenzpigmente enorm erweitert. Man könnte fast behaupten, es war wie Licht am Horizont. Dieses enorme Wissen hat sich in den folgenden Jahren noch deutlich erweitert.

Ich hatte ich Möglichkeit, weitere Muster bei verschiedenen Lackherstellern zu lackieren. Das Ansetzen meiner Interferenzpigmente in Lack, das Ausmischen und das Lackieren habe ich fast ausschließlich selbst unternommen. Meine Kenntnisse über die Lacke der verschiedenen Hersteller konnte ich aus meiner künstlerisch-kreativen in die wissenschaftlich-kreativen Phase übernehmen. Wie in den achtziger Jahren hatte ich Zugang zu allen Lacklaboren und konnte dort meine Versuche durchführen. Ein Privileg, von dem man nur träumen kann. Mehrere tausend lackierte Bleche sind so entstanden. Noch heute "zehre" ich von den damaligen Versuchslackierungen, weil ich systematische Farbfolgen angelegt habe, die auch kein Lackhersteller hat: Interferenzpigmente allein auf verschiedenfarbigen Untergründen, Interferenzpigmente in Mischungen untereinander, Interferenzpigmente in Mischungen mit Buntpigmenten und Interferenzpigmente in Mischungen mit Aluminiumpigmenten – es müssten etwa 12000 Muster sein. Alle habe ich mit steigendem Speicherbedarf gemessen – mit dem Zeiss GK311/M, mit dem X-Rite MA98, dem X-Rite MA-T12 und dem BYKmac. [Abb. 5 und 6].

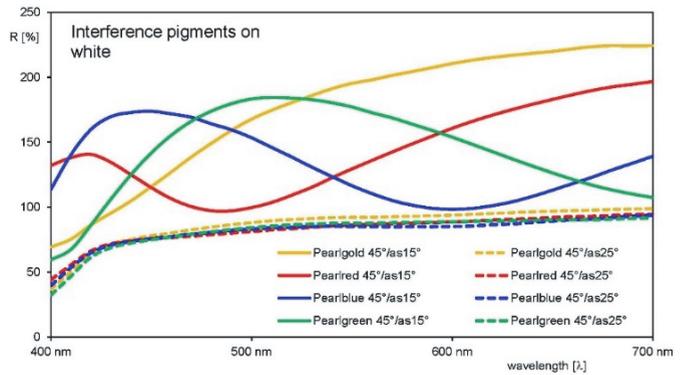
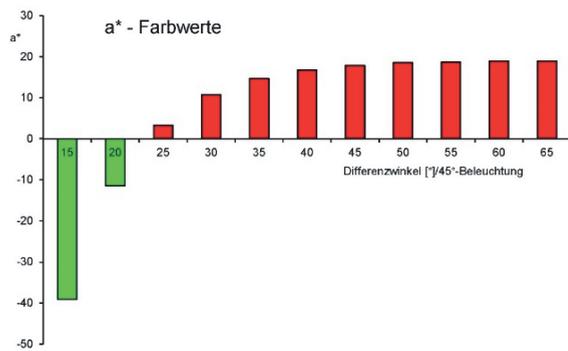


Abb. 5: Typisch für Interferenzpigmente ist der Wechsel von Reflexions- zur Transmissionsfarbe zwischen 20° und 30°. Hier sind die Messwerte für ein grünes Interferenzpigment über weißem Untergrund aufgetragen (links). Nahe am Glanz bei 45°/as15° zeigen Interferenzpigmente ihre volle Farbpracht, die im Übergangsbereich (hier bei 45°/as25°) ihre Farbpracht verlieren. Weiter vom Glanz entfernt ist dann die jeweilige Transmissionsfarbe zu erkennen, die komplementär zur Reflexionsfarbe ist (rechts).

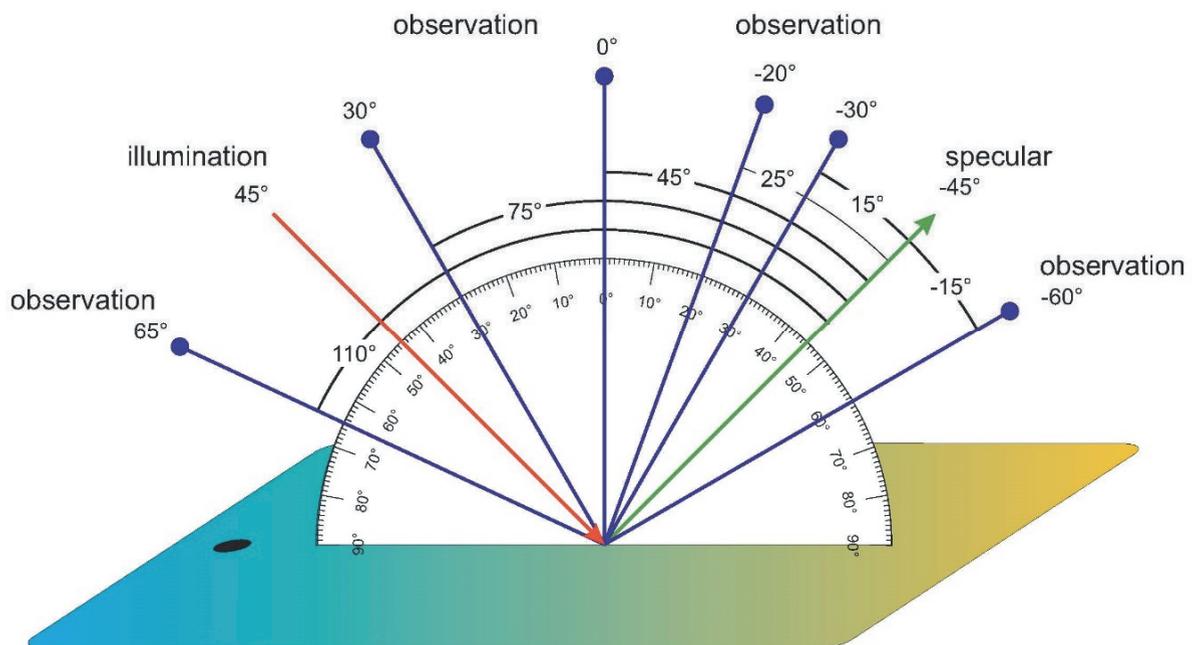


Abb. 6: Winkelkomposition der aktuellen Messgeräte

Besonders faszinierend an den Interferenzpigmenten ist ihr optisches Verhalten. Sie mischen sich additiv im Gegensatz zum subtraktiven Mischen der Buntpigmente: Gelb und Blau ergibt Weiß und nicht Grün. Gelb mit Grün mischt sich zu Orange. Gelb plus Blau ergibt die gleiche Farbe wie die Mischung von Rot und Grün [Abb. 7; links]. Diese optischen Eigenschaften versteht man anhand der Reflexionskurven. Wie bei Buntpigmenten treffen die reflektierten Lichtstrahlen auf die menschliche Netzhaut, wo sie einen optischen Reiz auslösen. Dieser wird im Gehirn zu Farbe „übersetzt“. Die Farbe kann durch unterschiedliche Reflexionen zustande kommen, was unser Gehirn nicht differenziert. Betrachtet man die Reflexionskurven von Mischungen mit Interferenzpigmenten, so fällt auf, dass die Ausgangspigmente „Knoten“ bilden, durch die die Reflexionen aller Mischungen mit ihnen schwingen [Abb. 7, rechts]. Das und vieles mehr habe ich mit dem Zeiss GK311/M gelernt!

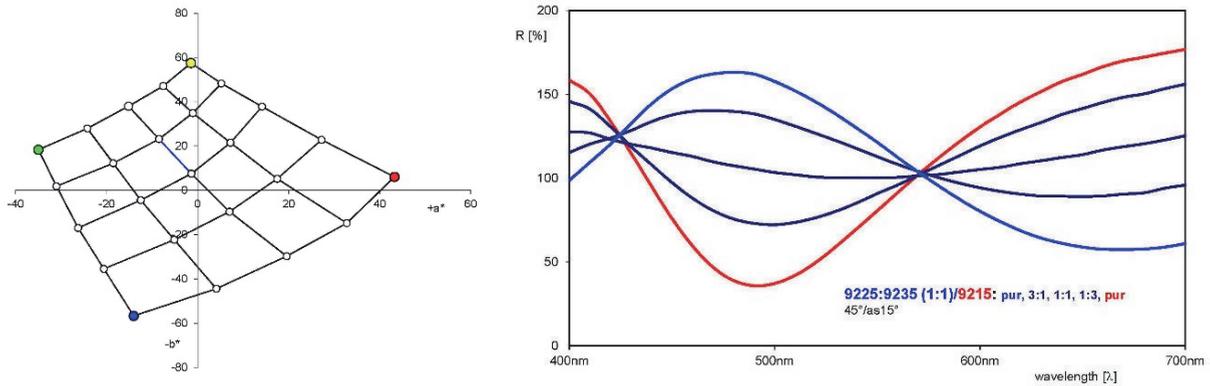


Abb. 7.: Interferenzpigmente mischen sich nahezu ideal: Beliebige Mischungen mit gelben, roten, grünen und blauen Interferenzpigmenten (links). Die Reflexionskurven von Mischungen von Interferenzpigmenten schwingen typischerweise durch Knotenpunkte, die durch die Ausgangspigmente gebildet werden (rechts).

Als Mitbegründer des ASTM-Unterausschusses für die Standardisierung der Messgeometrien für Interferenzpigmente habe ich über Jahre meine Forschungsergebnisse vorgestellt. Schwerpunkt war die zusätzliche zweite Beleuchtung – ein dritte ließ sich damals nicht realisieren – und die  $-15^\circ$ -Geometrie vom Glanzwinkel (aspecular = vom Glanzwinkel specular). Beide Ideen flossen in den ASTM-Standard E2539 ein. Heute arbeiten alle tragbaren Geräte weltweit mit “meiner”  $-15^\circ$ -Geometrie.

Während der Tätigkeit lud mich X-Rite ins Entwicklungsteam fürs MA-98 ein. Es wurden zwei Prototypen gebaut, die äußerlich nichts mit einem tragbaren Messgerät zu tun hatten. Eher sah es wie ein physikalischer Versuchsaufbau aus. Im Innenleben stecken das Innere zweier MA68, um die zweite Beleuchtung zu realisieren. Ein Gerät kam zu mir nach Münster, um hier alle Farbversuche – im Geheimen – vorzunehmen. In Grand Rapids, der Zentrale von X-Rite, habe ich oft die Ergebnisse vorgestellt [Abb. 8].



Abb. 8: Das MA-68 war das erste tragbare Mehrwinkel-Messgerät mit einer Beleuchtungs- und fünf Messgeometrien (links). Ein Prototyp als Vorgänger des X-Rite MA98 (rechts).

Da ich der Einzige war, der mit dem Zeiss GK311/M - die Produktion wurde nach der Wiedervereinigung von Zeiss Ost und West eingestellt – die vielen unterschiedlichen Geometrien einstellen konnte, tauchte das Problem auf, dass man meinen Ergebnissen nur glauben konnte! Wissenschaftlich ist immer angebracht, dass Versuchsergebnisse

nachvollziehbar sind. Ich hatte die Interferenzlinie propagiert, die für jedes Interferenzpigment charakteristisch ist. Dazu habe ich die Messwerte bei verschiedenen Beleuchtungen bei gleichem Differenzwinkel vom Glanz zusammengestellt. Die sogenannte Aspecularline setzte sich aus den Messwerten bei fixierter Beleuchtung und steigenden Differenzgeometrien vom Glanz zusammen. Anhand von Mustern von Autoherstellern konnte ich zeigen, wie wichtig die Interferenzlinie zur Differenzierung ist. Ich kam auf die Idee, die steile Beleuchtung bei  $15^\circ$  (beim MA-98) mit dem Differenzwinkel von  $15^\circ$  mit den Messwerten bei der  $45^\circ$ -Beleuchtung und den Differenzwinkeln bei  $15^\circ$  und  $-15^\circ$  zu kombinieren. Das Gesetz der Lichtumkehr macht aus der Geometrie  $45^\circ/\text{as}-15^\circ$  die Geometrie  $60^\circ/\text{as}15^\circ$  (as = aspecular = vom Glanzwinkel). So hatte ich drei Messwerte bei steiler, klassischer und flacher Beleuchtung mit gleichem Differenzwinkel von  $15^\circ$ . Jetzt konnte ich nachvollziehbare Messungen und Messergebnisse vorstellen [Abb. 9].



Abb. 9: Zwei Beleuchtungen mit entsprechenden Messgeometrien hatte das MA-98. Außerdem konnte es Out-of-plane messen (links). Das BYKmac mit einer Beleuchtung und sechs Messgeometrien. Zusätzlich werden Sparkle und Graininess bestimmt (rechts).

Die beiden Messgeräte, die sich an der ASTM-Standardisierung orientierten, heute noch zusätzliche Features: Das BYKmac berechnete Sparkle und Graininess auf der Basis von Schwarz-Weiß-Fotos. Hierbei nimmt eine Kamera, die in der Normalen installiert ist, Fotos von einem Muster auf, welches unter  $15^\circ$ ,  $-45^\circ$  und  $-75^\circ$  beleuchtet wird. Die berechneten Werte gelten nur für das Musterblech und ein Vergleichsblech. Sie sind nicht typisch für ein Pigment.

X-Rite hatte im MA-98 noch Out-of-plane-Winkel untergebracht. Mit diesen ergaben sich 19 Messgeometrien (mit meiner MatLab-Runtime habe ich 20 Messgeometrien – zusätzlich zu den 19 noch eine Geometrie für Messungen im Glanz). Bei vielen Versuchen hat sich herausgestellt, dass die Ergebnisse der Out-of-plane-Messungen denen entsprechen, wenn man die Geometrien in-plane legt.

Datacolor veröffentlichte das MultiFX10, das einen beweglichen Schlitten besaß, auf dem die Messeinheiten fest montiert waren. Gemessen wurde bei  $15^\circ$  und  $-15^\circ$  jeweils bei Beleuchtungen von  $15^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $65^\circ$ . Bei der  $45^\circ$ -Beleuchtungen wurden alle gängigen Aspecular-Geometrien ( $45^\circ/\text{as}15^\circ$  bis  $45^\circ/\text{as}110^\circ$ ) gemessen [Abb. 10].



Abb. 10: Einen beweglichen Schlitten mit drei Beleuchtungen besaß das Datacolor MultiFx10.



Abb. 11: Das KonicaMinolta CM-M6 besitzt sechs Messgeometrien mit doppelter Beleuchtung von zwei Seiten.

Dann brachte KonicaMinolta auch ein Messgerät mit sechs Aspecularwinkeln auf den Markt. Das Gerät beleuchtet bei  $45^\circ$  und misst bei den bekannten Geometrien bei  $-60^\circ$ ,  $-30^\circ$ ,  $-20^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $60^\circ$  und  $25^\circ$ . Diese Winkel entsprechen Differenzwinkeln von  $-15^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $75^\circ$  und  $110^\circ$  vom Glanzwinkel bei  $-45^\circ$ .

Eine Anmerkung zu den Winkelangaben: Gebräuchlicher Weise wird die Normale mit  $0^\circ$  angegeben. Auf einer Seite werden die Winkel ausgehend von der Normalen mit positiven Vorzeichen, auf der anderen Seite mit negativen Vorzeichen aufgeführt. Persönlich finde ich für die Farbmessung das System, welches auch beim Zeiss GK311/M präferiert wurde, besser: Da steht ein Halbkreis (protractor, Geodreieck) von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  über dem Musterblech, wobei sich die Normale bei  $90^\circ$  befindet. So gibt es nur jeweils einen eindeutigen Winkel.

Alle Geräte werden inzwischen weltweit vornehmlich in der Autolack- und Autoindustrie eingesetzt. Auch in anderen Anwendungsbereichen wie Druck, Kunststoff und Kosmetik hat sich die Farbbeurteilung von der rein visuellen Methode zur instrumentellen Methode hingewendet, um Farben objektiver zu beschreiben. Trotzdem darf nicht vergessen werden, dass das menschliche Auge das ausschlaggebende Organ der Beurteilung ist.

Der Standardisierungsausschuss E12 des ASTM ist umbenannt worden in "Color and Appearance", E12.12 in "Gonioapparent Colors". Neben der Farbe eines Objektes ist auch die sogenannte Appearance in den Fokus gerückt. Hierunter sind alle Oberflächeneigenschaften zu verstehen.

Meines Erachtens ist eine intensivere Beschäftigung mit den optischen Eigenschaften der Pigmente notwendig. Seit 1995 hat sich an der Kombination der Messgeometrien nichts geändert. Zwischenzeitlich sind neue Effektpigmente auf den Markt gekommen, deren Farbwechsel nicht ausreichend und befriedigend gemessen werden können. Das liegt an fehlenden Messgeometrien. Mehr zum Thema Interferenzpigmente und deren Farbmessung sind auf meiner Webseite [www.wrcramer.de](http://www.wrcramer.de) zu finden.

Zum Download stehen auch diese Veröffentlichungen auf der Webseite:

CRAMER, W. R.; CRAMER, W. M.: GONIOVIEWER EXPERIMENTAL - VISUAL OBSERVATION SIMPLIFIED. CHINA COATINGS JOURNAL NOVEMBER 2024, S. 50-64

CRAMER, W. R.: DIE FARBE IM UNTERGRUND. JOT 63(3): 33-35, MÄRZ 2023

CRAMER, W. R.: VISUAL AND INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF INTERFERENCE PIGMENTS. COLOR RES. APPL. 2022; 47:5-12

CRAMER, W. R.: SOPHISTICATED COLOUR MATCHING MADE EASY. EUROPEAN COATINGS JOURNAL (ECJ), N° 12 (12/2019)

CRAMER, W. R.: METHODS FOR DESCRIBING COLOR AND EFFECTS. PAINT & COATINGS INDUSTRY 07/2018