

# Kunststoffe

WERKSTOFFE – VERARBEITUNG – ANWENDUNG

## WERKZEUGBAU

Warum die Branche die Moulding Expo zu ihrem Messe-Marktplatz erkoren hat

Seite 54

## SPECIAL

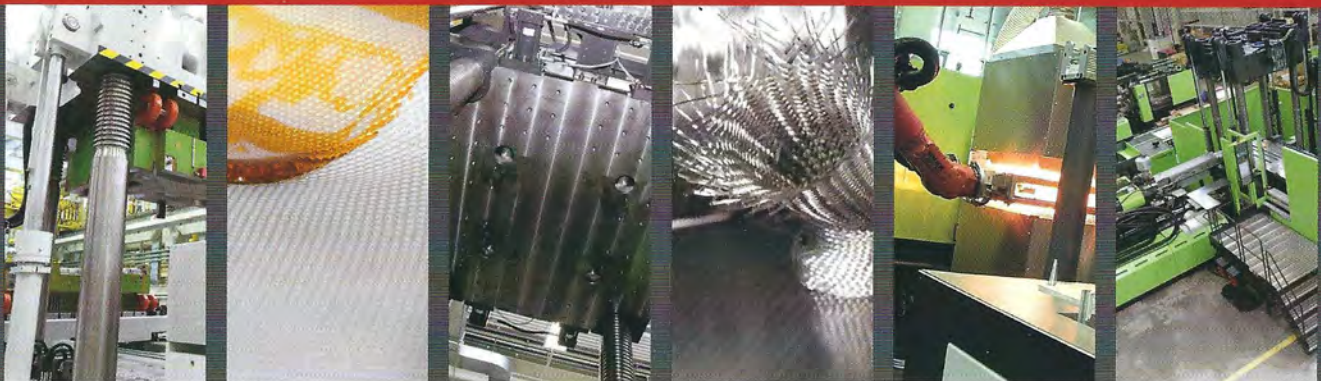
Farbe und Design mit Masterbatches und Effekten

Seite 24

## BESCHICHTUNGEN

Schnelle und zerstörungsfreie Charakterisierung dünner Bauteiloberflächen

Seite 64



## ENGEL.

Ihr Partner für Faserverbundanlagen



[www.engelglobal.com](http://www.engelglobal.com)

**ENGEL**  
be the first



© Caprol

24

## SPECIAL: FARBE UND DESIGN

Farben gibt es nicht nur in unzähligen Tönen, sondern auch in verschiedenen Additivvarianten. Von Reinpigmenten über Flüssigfarben bis hin zu Masterbatches unterscheiden sich Trägerstoffe und Einarbeitungsverfahren. Das Special beleuchtet einige davon, stellt die aktuellsten Farbtrends vor und legt in diesem Jahr einen besonderen Fokus auf den Markt der Effektpigmente.



48

© KraussMaffei



56

© Plasmatrete

**DUROPLASTE** sind aufgrund ihres charakteristischen Eigenschaftsbilds für viele Hochleistungsanwendungen geeignet. Chargenschwankungen sowie prozess- und umgebungsbedingte Instabilitäten verursachen jedoch Störeffekte in der Spritzgießverarbeitung dieser hochgefüllten, im Werkzeug vernetzenden Werkstoffklasse, die sich unmittelbar auf die Formteilqualität auswirken. Das Forschungsvorhaben „QuaProDur“ widmet sich diesem Problem.

**PLASMAVORBEHANDLUNG** Wenn sich Kunststoffe trotz sauberer Oberfläche schlecht bedrucken, verkleben oder beschichten lassen, liegt es meist an ihrer zu geringen Oberflächenenergie. Rotationsplasma kann die Haftung von UV-Digitaldruck auf Freiformobjekten sichern. Ein führender Druckmaschinenhersteller hat daher rotierende Plasmastrahlen eingesetzt, um eine Weltneuheit zu entwickeln: einen personalisierbaren Fußball.

## Titelanzeige



**ENGEL.**  
Ihr Partner für Faserverbundanlagen



www.engelglobal.com

**ENGEL**  
for the best

### ENGEL. Ihr Partner für Faserverbundanlagen

Weniger Gewicht, flexible Designs, beste Eigenschaften: Die Zukunft gehört dem Faserverbund-Leichtbau. Als treibende Kraft in der Kunststoffverarbeitung ist ENGEL der ideale Partner auf dem Weg zu innovativen Produkten. Wir begleiten Sie mit Kompetenz, Erfahrung und visionären Lösungen zum Thema Faserverbundanlagen.

## ENGEL

**ENGEL DEUTSCHLAND GmbH**  
Nürnberg, Tel. +49 911 64 17 20  
Isernhagen-Kirchhorst, Tel. +49 5136 88 94 0  
Hagen, Tel. +49 2331 78 80 0  
Technologieforum Stuttgart,  
Tel. +49 7044 912 91 0  
www.engelglobal.com

## Kontakt zum Verlag

### Chefredaktion

Dr. Karlhorst Klotz

### Redaktion

Dr. Clemens Doriat  
Franziska Gründel B.Sc., M.A.  
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Andreas Stein  
Jutta Graf M.A.  
Melanie Lindwurm-Giordani M.A.  
Christina Kubiak  
Tel.: 089 99830-621, Fax: -625  
E-Mail: kunststoffe@hanser.de

### Leiterin Mediasales

Heike Herchenröther-Rosenstein  
Tel.: 089 99830-222  
Fax: 089 99830-157  
E-Mail: heike.herchenroether@hanser.de

### Disposition

Sabine Hahn  
Tel.: 089 99830-211  
Fax: 089 99830-623  
E-Mail: sabine.hahn@hanser.de

### Abo/Vertrieb

Werner Hartmann  
Tel.: 089 99830-102  
Fax: 089 984809  
E-Mail: abo-service@hanser.de

**Carl Hanser Verlag**  
Kolbergerstraße 22  
81679 München  
www.hanser.de, info@hanser.de

# SPECIAL:

## FARBE UND DESIGN

[FAHRZEUGBAU] [MEDIZINTECHNIK] [VERPACKUNG] [ELEKTRO&ELEKTRONIK] [BAU] [KONSUMGÜTER] [FREIZEIT&SPORT] [OPTIK]

### Kein blasser Schimmer

*Neue Pigmente mit Chroma- und Sparkle-Effekt sowie geeignete Messmethoden*

Nicht nur in Luxus- und Lifestyle-Produkten, auch in Alltagsgegenständen wie etwa Waschmittelflaschen oder Kosmetiktuben finden sich immer mehr Effektpigmente. Zusätzlich zu unzähligen Farben veredeln sie Kunststoffbauteile mit Glitzer, Schimmer oder Farbverläufen. Der Trendbeitrag beleuchtet aktuelle und neue Effektpigmente. Außerdem beschreibt er, wie sich die licht- und winkelabhängigen Eigenschaften charakterisieren lassen und was bei der Verarbeitung zu beachten ist.

**M**ehr Aufmerksamkeit, mehr Eleganz und mehr Wert – so lauten die Argumente für den Einsatz von Effektpigmenten in Kunststoffen. Und das Interesse ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen, nicht nur bei den Anwendern, sondern auch bei den Pigmentherstellern. Während bislang europäische und amerikanische Pigmenthersteller den Markt bestimmen, kommen nun auch chinesische Hersteller mit eigenen Entwicklungen und neuen Effekten dazu. Die

Wettbewerber kontern mit Neuentwicklungen, teilweise mit Hybrid-Pigmenten aus Kombinationen von Aluminiumplättchen mit Interferenztechnologie: Aluminiumplättchen spiegeln das einfallende Licht, während Interferenzpigmente es teilen. Und Aluminiumplättchen sind blickdicht, während Interferenzpigmente in der Regel transparent sind. Die Kombination von beiden verbindet die optischen Eigenschaften und führt zu neuen, brillanten Effekten.

Auch wenn klassische Aluminium- und Interferenzpigmente den Hauptteil bei den Anwendungen in Kunststoffen bilden, wächst der Anteil von besonderen Effekten in puncto Farbverlauf und Glitzer. Insbesondere für hochwertige Anwendungen beispielsweise im Mode- und Dekobereich und bei Luxus- und Lifestyle-Produkten bieten sich interessante Möglichkeiten, gezielt eine höhere Aufmerksamkeit beim Endkunden zu erreichen. Aber auch in Alltagsgegenständen

den – beispielsweise bei Flaschen von Flüssigwaschmitteln (**Bild 1**) – werden zunehmend Effektpigmente eingesetzt. Neben der Farbe steht auch ihr sogenannter Sparkle im Fokus; hierbei handelt es sich um einen Glitzereffekt, ähnlich dem von „tanzenden“ Lichtreflexen auf einer Wasseroberfläche. Neue Sparkle-Effekte bieten die XillaMaya-Pigmente des chinesischen Herstellers Fujian Kuncai Material Technology Co., Fuqing/China, der ein großes Portfolio an Effektpigmenten für den Einsatz in Kunststoffen bietet (deutscher Distributionspartner: Krahn Chemie GmbH, Hamburg). XillaMaya-Pigmente gibt es von Kuncai mit verschiedenen Beschichtungen, die viele Farbwünsche erfüllen. Neu im Programm sind die sogenannten M-Pigmente wie Panthera Silver und Tigris Blue mit ungewöhnlichen Farbeffekten.



**Bild 1.** Eine Waschmittelflasche mit einem goldenen Effektpigment. In Artikeln für den Pflegebereich werden gerne Effektpigmente unterschiedlicher Art eingesetzt. Sie lassen ein Produkt hochwertiger erscheinen

(© Cramer)

liegen die Schwerpunkte der Neuentwicklungen in farbvariablen Pigmenten und in solchen mit höherem Sparkle. Auch der deutsche Pigmenthersteller Eckart GmbH, Hartenstein, hat neue Luxan-Pigmente auf der Basis von Glasflakes in diesem Jahr auf den Markt gebracht. Mit den K-Typen in Silber, Gold, Blau und Rot spricht Eckart insbesondere den Kunststoffbereich an. Diese extrem groben Pigmente liefern bei niedriger Pigmentierung in tiefschwarzen und transparenten Kunststoffen optimale Ergebnisse. Neue silberbeschichtete Glasflakes werden von Eckart unter dem Namen Platalux in zwei Versionen angeboten, beide sind champagnerfarben. Auch ein synthetisches Schichtsilikat, das mit Eisenoxid beschichtet ist, und einen »

### Ähnliche Effekte, unterschiedliche Pigmente

Auch die beiden chinesischen Hersteller von Perlglanzpigmenten Rika Technology

Co., Jiangxi/China und Lonwa Effect Pigments Co., Shantou/China (europäischer Distributionspartner: Gustav Grolman GmbH & Co. KG, Neuss), bieten ein großes Portfolio an Interferenzpigmenten für den Kunststoffsektor. Bei beiden Firmen



GRAFE-DESIGN-CENTER  
presents  
**THE PURSUIT  
OF COLORS**

**KAPITEL 1 - BEGEGNUNG**  
Eine Abenteuergeschichte von Andreas in der Au (AIDA)

*Color Preview  
2018*



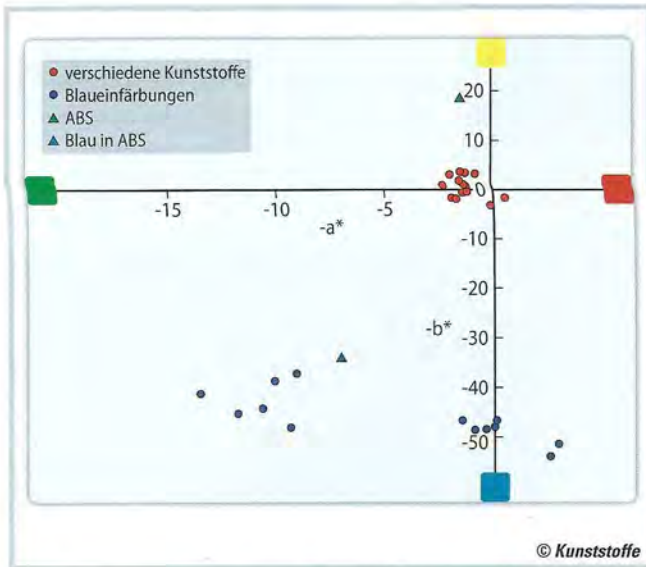


**GRAFE**

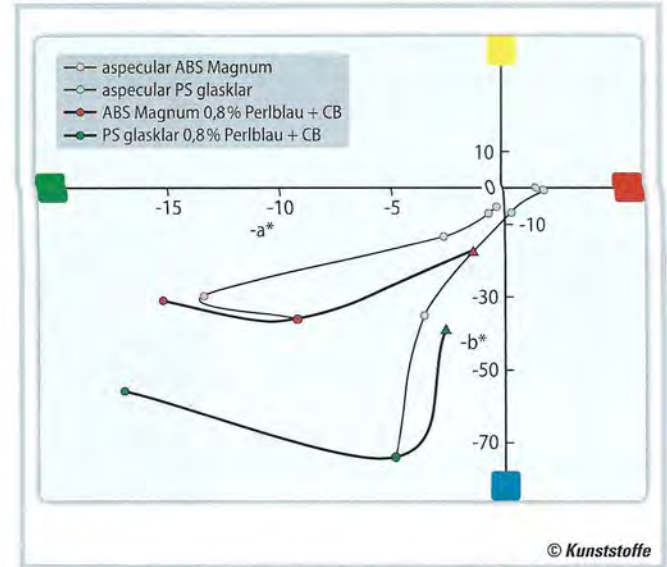
**MASTERBATCHES WORLDWIDE**  
WWW.GRAFE.COM

**COLORED VISIONS  
IN PLASTICS**

Werden Sie Teil der Geschichte und gewinnen Sie eine tolle Reise!  
WWW.PURSUIT-OF-COLORS.COM



**Bild 2.** Zusammenstellung verschiedener Kunststoffplättchen von Lifocolor mit ihren jeweiligen Eigenfärbungen sowie Blauausfärbungen. Gemessen wurden die Reflexionswerte bei der Geometrie 45°/0° (Beleuchtung/Beobachtung). Die  $a^*$ (Rot-Grün)  $b^*$ (Gelb-Blau)-Werte wurden durch Umrechnung erhalten. Die Helligkeit  $L^*$  wird separat dargestellt. Aufgrund unterschiedlicher Kunststofftypen ergibt sich eine deutliche Farbvarianz (Quelle: Cramer)



**Bild 3.** Arbeitet man Effektpigmente – hier Perlblau – in Kunststoffe ein, so zeigen sich aufgrund der Eigenfärbungen unterschiedliche Reaktionen (Lifocolor-Musteranfertigungen). Aufgetragen sind die Interferenzlinien (15°/as15°, 45°/as15° und 45°/as-15°) und die Aspecular-Linien (45°/as15° bis 45°/as110°) (Quelle: Cramer)

hoch chromatischen Rotton bietet, findet sich neu im Sortiment.

Die Carl Schlenk AG, Roth, offeriert Effektpigmente unter dem Produktnamen Alumer, die polymerverkapselt sind und sich für den Einsatz in Kunststoffen eignen. Daneben steht mit GoldenShine21 der erste Farbton aus der neuen Reihe Zenexo zur Verfügung. Für interessante Farbeffekte bietet auch die Merck KGaA, Darmstadt, neue Pigmente an: Iridin Sunset Orange besitzt eine intensive Orangefarbe, während die beiden Borosi-

likate Miraval Cosmic Bronze und Miraval Cosmic Gold bronze- beziehungsweise goldfarbene Effekte hervorrufen. Wie die Wettbewerber setzt auch die BASF Colors + Effects GmbH, Ludwigshafen, auf rote und goldene Effekte: Mit dem Dragon Gold wurde ein neues Pigment der Serie der chromatischen Effekte Lumina Royal hinzugefügt.

Auch die Hersteller von Masterbatches wie die Lifocolor Farben GmbH & Co. KG, Lichtenfels, und Clariant Masterbatches, Lahnstein, bieten Effektpigmente an.

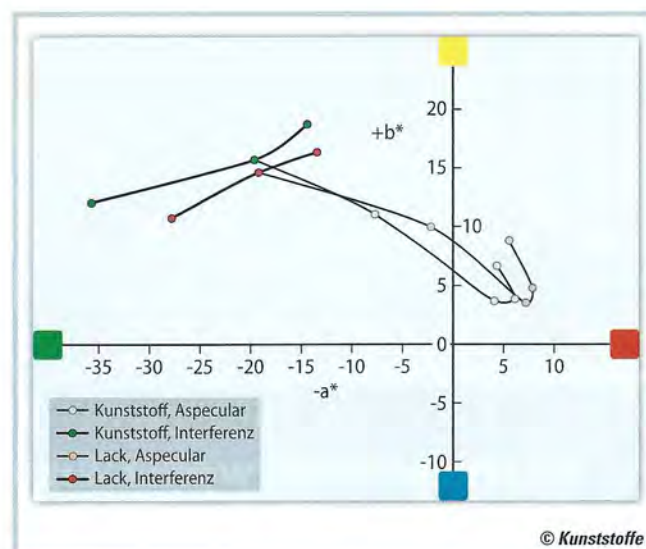
## Der Autor

**Werner Rudolf Cramer** hat sich auf Effektpigmente und deren Charakterisierung spezialisiert und ist beratend für die Pigment-, Lack- und Autoindustrie tätig; [info@wrcramer.de](mailto:info@wrcramer.de)

## Service

### Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/3561597](http://www.kunststoffe.de/3561597)



**Bild 4.** Effektpigmente wie Perlgrün verhalten sich in verschiedenen Medien wie hier Kunststoff und Lack ähnlich. Unterschiede ergeben sich durch die Brechungsindices der umgebenden Substanzen (Quelle: Cramer)

Neben hoch konzentrierten Monopigmentbatches, die dem Verarbeiter eigene Farbrezepturen ermöglichen, bieten sie auch individuelle Lösungen an. Welche neuen Effekte und Farben in welchem Kunststoff möglich sind, zeigen ihre Trendkataloge. Colour Road nennt Lifocolor seine Farbkonzepte in verschiedenen Stimmungsbildern; Grün- und Blautöne werden für das kommende Jahr ebenso propagiert wie neutrale Grautöne und extreme Gelb- und Rottöne.

### In der Verarbeitung zu beachten

Neben den hier vorgestellten neuen Effekten lassen sich für viele Anwendungen auch klassische Effektpigmente – Aluminium- und Interferenzpigmente – verwenden. Die Möglichkeiten interessanter Farbrezepturen mit Mischungen von Effektpigmenten untereinander und mit Buntpigmenten sind noch längst nicht ausgeschöpft. Interferenzpigmente mischen sich additiv, Buntpigmente subtraktiv. Da gibt es einen großen Spielraum an Kombinationen, die beide Mischverhalten nutzen.

In der Regel vertragen Effektpigmente Temperaturen über 300 °C und können in vielen Polymeren unproblematisch verarbeitet werden. Im Gegensatz zu Anwendungen in Lacken, die meistens pneumatisch per Spritztechnik appliziert werden und in der Auswahl der

Pigmentgröße eingeschränkt sind, lassen sich in Kunststoffen auch sehr grobe Effektpigmente einarbeiten und verwenden. In jedem Fall sind die Produktrichtlinien der Hersteller zu beachten und gegebenenfalls Vorversuche notwendig.

Bei der Verarbeitung von Effektpigmenten – sowohl von Aluminium- als auch von Interferenzpigmenten – sind einige Besonderheiten zu beachten: Bei starker Scherung können die Pigmente beschädigt werden und dadurch ihre Farbe und Brillanz verändern. Bei Doppelschneckenextrudern empfiehlt sich deshalb eine Seitendosierung. Weiterhin können bei den Effektpigmenten aufgrund ihrer Plättchenstruktur Fließlinien auftreten. Je größer die Pigmentteilchen und deren Konzentrationen sind, desto geringer ist die Gefahr von Fließlinien. Auch höhere Einspritzgeschwindigkeiten vermindern aufgrund von Turbulenzen die Sichtbarkeit von Fließlinien und Bindenähten. Ein Kaskadenguss kann ebenfalls zur Verringerung der optischen Störungen führen.

Weiterhin ist auch die Eigenfärbung der Kunststoffe zu beachten (Bild 2). Nicht nur bei Buntpigmenten, sondern insbesondere auch bei Effektpigmenten wird ein Angleichen der Farbe und des Effekts bei verschiedenen Kunststoffarten durch die Eigenfärbung erschwert.

### Charakterisierung von Effektpigmenten und Oberflächen

Neben ästhetischen Gesichtspunkten spielt bei Effektpigmenten deren Identifizierung und Charakterisierung eine große Rolle, um einerseits die Effekte zu beschreiben und andererseits die Produktion der Kunststoffbauteile zu optimieren. Dieses erfolgt visuell und/oder durch geeignete Farbmessgeräte.

In der Kunststoffindustrie werden meistens einfache Farbmessgeräte eingesetzt, die entweder mit einer Kugelgeometrie ausgestattet sind oder mit einer gerichteten Geometrie messen. Diese Messgeräte sind allerdings nur bedingt für die Messung von Effektpigmenten geeignet, zumal beide Systeme nicht miteinander verglichen werden können: Die Kugelgeometrie gleicht eher Oberflächenstrukturen und -unebenheiten aus, während die gerichtete Geometrie für glatte Oberflächen geeigneter ist. Beide Systeme erfassen aber nur eine Farbe und nicht die Farb- und Helligkeitsverschiebung bei den Effekten.

Für die Messung von Effektpigmenten kommen deshalb Mehrwinkelgeräte in Frage, die mit einem oder zwei Beleuchtungswinkeln und mehreren Beobachtungswinkeln ausgestattet sind. In der amerikanischen ASTM-Norm sind für die Messung von Interferenzpig- »

## AF-Complex® LA natur

### AF-Complex® LA natur – Präzision im Detail!



Der zunehmende Grad der Prozessautomatisierung erfordert maschinenlesbare Produktmarkierungen, wie zum Beispiel Bar- oder QR-Codes.

Mit unsere Laseradditiven der Produktreihe AF-Complex® LA natur optimieren Sie nicht nur die Qualität der Markierung, sondern auch noch Ihre Zykluszeit: eine höhere Schärfe und stärkere Kontrastwirkung bei gleichzeitig reduzierter Markierzeit sorgen für eine optimale Effizienz Ihres Prozesses.

Neben dunklen Markierungen können, abhängig vom eingesetzten Additiv, auch helle Markierungen realisiert werden. Unsere Formulierungen werden dabei individuell an Ihren Lasertyp angepasst!

#### AF-COLOR

Zweigniederlassung der AKRO-PLASTIC GmbH

Industriegebiet Scheid 27  
56651 Niederrissen  
www.af-color.com

**AF-COLOR**  
Think Masterbatch

HANSER

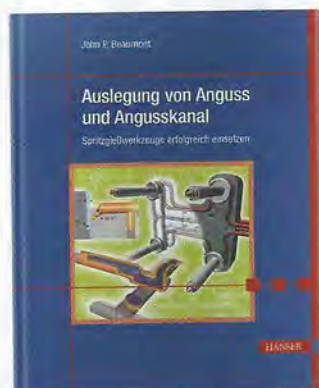
# Immer gut in Form



ISBN 978-3-446-45043-1 | € 49,-

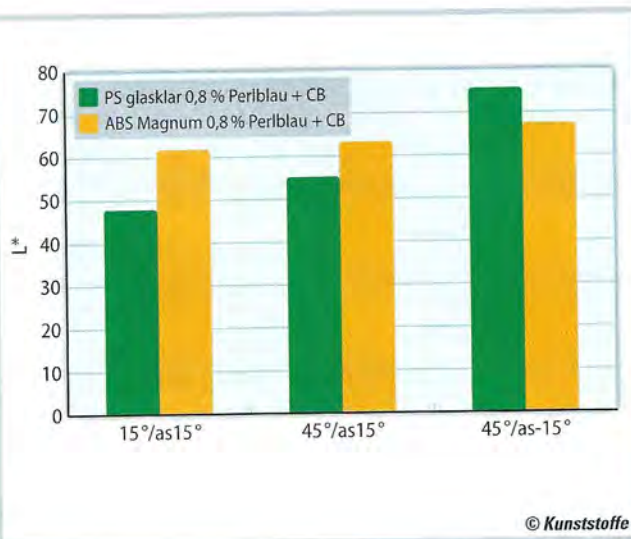


ISBN 978-3-446-44673-1 | € 130,-



ISBN 978-3-446-42759-4 | € 129,-

Bestellen Sie jetzt unter  
[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)



**Bild 5.** Die starke Eigenfärbung von Perlgrün in ABS verhindert eine gute Ausbildung von Effekten. Bei PS glasklar ist ein deutlicher Anstieg der Helligkeit  $L^*$  zu beobachten, wenn flacher beleuchtet wird (Quelle: Cramer)

menten zwei Beleuchtungen und Messungen bei  $-15^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $75^\circ$  und  $110^\circ$  bezogen auf den Glanzwinkel festgelegt. Das X-Rite MA98 (Hersteller: X-Rite Europe GmbH, Regensdorf/Schweiz) besitzt diese Geometrien, während sich das BYK-mac (Hersteller: BYK-Gardener GmbH, Geretsried) und das Konica Minolta CM-M6 (Hersteller: Konica Minolta Sensing Europe B.V., München) auf eine Beleuchtung beschränken.

Die Geometrien wurden zunächst willkürlich festgelegt, um Aluminiumpigmente (Metallics) zu messen. Es ging dabei um die Abnahme der Helligkeit und Änderung der Farbe, wenn man sich vom Glanzwinkel entfernt. Die fünf Geometrien  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $75^\circ$  und  $110^\circ$  vom Glanz werden auch als Aspeculargeometrien bezeichnet, die als Linienverbund die Aspecularlinie bilden (**Bild 3**).

### Abhängigkeiten vom Einfallswinkel des Lichts

Interferenzpigmente ändern ihre Farbe aufgrund des Interferenzphänomens. Diese sind abhängig vom Einfallswinkel des Lichts. Und je flacher beleuchtet wird, desto mehr verschieben sich die Interferenzfarben zum Licht mit kürzerer Wellenlänge. Beispielsweise wird ein Interferenzgelb grünlicher und ein Interferenzgrün bläulicher, wenn sie flacher beleuchtet werden. Transparente, bunte Interferenzpigmente zeigen auch die entsprechenden Komplementärfarben, wenn man durch das Kunststoffbauteil durchschaut oder sich die-

ses über einem weißen Hintergrund befindet.

Die angebotenen portablen Messgeräte bieten nur zwei oder drei Messgeometrien, die die Interferenz beschreiben. Mit einem kleinen „Trick“ lassen sich Interferenzen messen: Aufgrund des physikalischen Gesetzes der Lichtumkehr kann die Geometrie  $45^\circ/\text{as}-15^\circ$  (Beleuchtung/Differenzwinkel vom Glanzwinkel) auch als  $60^\circ/\text{as}+15^\circ$  angenommen werden. Zusammen mit den Geometrien  $45^\circ/\text{as}15^\circ$  und  $15^\circ/\text{as}15^\circ$  (beim X-Rite MA98) bilden alle drei die Interferenzlinie, die sich aus der Verbindung der  $a^*b^*$ -Werte ergibt. Diese Werte werden aus den Reflexionswerten berechnet und zeigen die Anteile auf der Rot-Grün- $(a^*)$  und Gelb-Blau- $(b^*)$ -Achse. Bei bunten Interferenzpigmenten ist diese Interferenzlinie stark gedreht gegenüber der Aspecularlinie, und zwar immer gegen den Uhrzeigersinn. Das spiegelt die erwähnte Verschiebung zum Licht mit kürzerer Wellenlänge wider. Diese Interferenzlinie ist typisch für das jeweilige Interferenzpigment und wird auch in Mischungen der Interferenzpigmente mit Buntpigmenten wiedergefunden. Sie wird deshalb für die Charakterisierung des jeweiligen Interferenzpigments herangezogen. Neben dem Winkel der Beleuchtung beeinflusst auch der Brechungsindex der umgebenden Substanz die Farbe (**Bild 4**). Insofern sind direkte Vergleiche nur im gleichen Substrat möglich.

Aluminiumpigmente in Buntausmischungen zeigen ein anderes Verhalten, wenn diese mit den gleichen Geometrien gemessen werden: Die Interferenzlinie bildet sozusagen die Verlän-

gerung der Aspecularlinie. Vergleicht man die entsprechenden Reflexionskurven, so erkennt man die Farbverschiebung bei Interferenzpigmenten, wobei auch die Reflexionswerte steigen, wenn flacher beleuchtet wird. Bei Aluminiumpigmenten steigen die Reflexionswerte ebenfalls an, ohne dass es zur Farbverschiebung kommt. Insofern ist diese Kombination der Geometrien eine gute Methode, Interferenzpigmente zu beschreiben. Hiermit lassen sie sich auch von Aluminiumpigmenten unterscheiden. Die drei genannten Geometrien –  $15^\circ/as15^\circ$ ,  $45^\circ/as15^\circ$  und  $45^\circ/as-15^\circ$  – werden nur vom X-Rite MA98 angeboten. Die Geräte von BYK und Konica Minolta besitzen keine zweite Beleuchtung und deshalb auch nicht die Geometrie  $15^\circ/as15^\circ$ . Ohne diese Geometrie lassen sich eingeschränkt Interferenzpigmente ebenfalls bestimmen. Zur Beurteilung werden nicht nur

die Farb- und Effektwerte  $a^*b^*$  herangezogen; auch die Helligkeitswerte  $L^*$  spiegeln das Verhalten einer Farbe bei den genannten Geometrien wider. Auch hier ist die Eigenfärbung der Kunststoffe zu beachten, die bei gleicher Pigmentierung auch Einfluss auf die Helligkeit hat (**Bild 5**). Je flacher die Probe beleuchtet wird, desto höher ist die Helligkeit. Und je stärker der Farbeffekt ist, desto größer sind die Helligkeitsunterschiede.

Die visuelle Beurteilung wird meistens in einer Lichtkabine oder am Fenster durch Hin- und Herkippen vorgenommen. In beiden Fällen wird das Kunststoffbauteil unter anderen Geometrien als bei der instrumentellen Beurteilung betrachtet. Während bei den Messgeräten unter einem fixierten Winkel beleuchtet wird, ändert sich dieser und der Winkel der Beobachtung beim Hin- und Herkippen bei der

visuellen Beurteilung. Der Winkel zwischen der Lichtquelle und dem Beobachter bleibt dabei konstant. Trotz dieser Diskrepanz sollte man sowohl die visuelle als auch die instrumentelle Methode einsetzen, um Muster und Referenz zu vergleichen.

### *Fazit*

Effektpigmente sind eine Bereicherung für die Farbenwelt und können Kunststoffen einen besonderen Reiz vermitteln. Sowohl Interferenz- als auch Aluminiumpigmente können in unterschiedliche Kunststoffe eingebracht werden. Sie lassen sich entsprechend den Anwendungsgebieten für effektvolle Ausarbeitungen verwenden. Für Anwendungen sind Abmusterungen ein wichtiges Thema; diese können sowohl visuell als auch instrumentell erfolgen. ■