

# Multidimensionale Reflektometrie von goniochromatischen Oberflächen

Tatsiana Atamas, Kai-Olaf Hauer, Dirk Hünenhoff, Sven Teichert, Andreas Höpe

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

<mailto:andreas.hoepe@ptb.de>

Goniochromatische Lackierungen finden aufgrund ihrer ansprechend ästhetischen Farbeffekte eine immer stärkere Verbreitung bei der Gestaltung von Alltagsobjekten. Mit der Messapparatur ARGon<sup>3</sup> (3-dimensional Appearance Robot-based Gonio-reflectometer) der PTB können solche Oberflächen bezüglich ihres winkelabhängigen Reflexionsverhaltens im dreidimensionalen Raum charakterisiert werden.

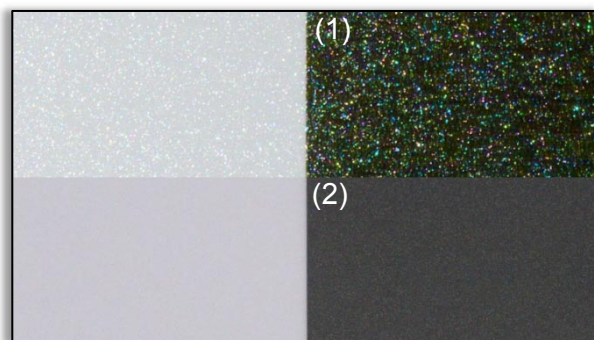
## 1 Einführung

Sogenannte goniochromatische Farbpigmente stellen eine starke Herausforderung für die Farbmessung dar. Bei diesen Effektpigmenten, deren Wirkung auf dem Interferenzeffekt beruht, liegt im Gegensatz zu "normalen" absorptiven Pigmenten eine starke Winkelabhängigkeit des Farbeindrucks vor (siehe Abb. 1). Dieser resultiert aus dem internen Aufbau dieser Farbpigmente aus plättchenförmigen Schichtsystemen mit unterschiedlichem Brechungsindex.



**Abb. 1** Fahrzeug mit einer goniochromatischen Effektlackierung. Der winkelabhängige Farbeindruck umfasst das gesamte visuelle Spektrum.

Die aktuell neueste Entwicklung der Pigmenthersteller sind spezielle Effektpigmente, die je nach Lichtverhältnissen mehr oder weniger stark glitzern. Im Gegensatz zu den schon seit Jahrzehnten eingesetzten Metalleffektpigmenten ("Metalliclack"), welche meistens aus Aluminiumflakes bestehen und das eingestrahlte Licht nur wie kleine Miniaturspiegel gerichtet reflektieren, wird hier ein brillantes Glitzern erreicht, welches zusätzlich noch eine spektrale Farbaufspaltung zeigen kann (siehe Abb. 2). Dieser Effekt wird im Falle der direkten Einstrahlung, z.B. bei sonnigem Himmel als "Sparkling" bezeichnet. Bei diffuser Einstrahlung, wie es bei bewölktem Himmel der Fall ist, verändert sich der Effekt (siehe Abb. 2) und man spricht von "Graininess" bzw. "Coarseness".



**Abb. 2** Die Effekte Sparkling (1) und Graininess (2) des Effektpigmentes Xirallic<sup>®</sup> Crystal Silver der Firma Merck KGaA in einer vergrößerten Aufnahme auf weißem (links) und schwarzem Hintergrund (rechts).

Generell gilt: Die Farbe von Objekten mit Effektlackierung kann nicht mehr, wie bisher üblich, mit konventionellen Farbmessgeräten mit nur einer festen Probengeometrie bestimmt werden, denn diese Einschränkung entspricht in keiner Weise der täglichen Realität, bei der Oberflächen aus beliebigen Richtungen zur Einstrahlung betrachtet werden. Die Anbieter von kommerziellen Farbmessgeräten reagieren hierauf mit der Einführung von Mehrwinkelspektralphotometern, die bis zu 20 verschiedene Messgeometrien realisieren, was jedoch nur einem kleinen Ausschnitt der prinzipiell zu betrachtenden möglichen Anordnungen entspricht.

Seitens der Anwender gibt es mittlerweile einen starken Trend zur vollständigen Charakterisierung, bezüglich aller vorkommenden Winkelkombinationen im dreidimensionalen Raum. Berücksichtigt man noch die spektrale Abhängigkeit der Reflexion, welche ja erst zum Farbeindruck führt, so bewegt man sich bzgl. der physikalischen Beschreibung in einem hochkomplexen multidimensionalen Raum. Die technisch, wissenschaftliche Herausforderung besteht in einer Reduktion der Messgeometrien auf einen irreduziblen Basissatz, aus dem die Gesamtinformation über das goniochromatische Verhalten im Parameterraum der variablen Einstrahlung und Beobachtung abgeleitet werden kann.

## 2 Messmöglichkeiten von ARGon<sup>3</sup>

Mit der Messapparatur ARGon<sup>3</sup> (Abb. 3) der PTB können für beliebige Ein- und Ausfallwinkel auf einer Probe komplette Reflexionsspektren im sichtbaren Spektralbereich, dem sogenannten  $V(\lambda)$ -Bereich (360 nm - 830 nm) gemessen werden. Daraus lassen sich die Farbkoordinaten in beliebigen Farbraumsystemen berechnen [1]. Eine solche absolute Messung dauert typisch ca. 4 Stunden (fester Einfallswinkel, 187 verschiedene Reflexionswinkel gleichmäßig verteilt über den Viertelraum oberhalb der Probe im Polarwinkelbereich  $\theta_i$ : 0° - 67,5° und Azimutwinkelbereich  $\phi_i$ : = 0° - 180°.

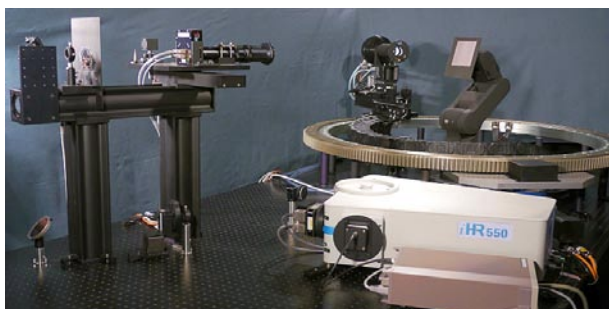


Abb. 3 Photo der PTB-Messapparatur ARGon<sup>3</sup>.

Die so erhaltenen Daten bilden die Basis für Verbesserungen in der Messtechnik für Anwender und Hersteller. Die untere Grafik (Abb. 4) zeigt gemessene Farbkoordinaten (10° Normalbeobachter, Normlichtart D65), für eine gerichtete Einstrahlung unter 45° auf eine Effektpigmentprobe (Merck Viola Fantasy appliziert auf schwarzem Untergrund). Dargestellt sind die Farbkoordinaten im dreidimensionalen  $L^*a^*b^*$ -Farbraum, mit den Projektionen auf die jeweiligen Koordinatenebenen. Die Farbdarstellung in der  $a^*b^*$ -Ebene deutet den Farbumfang an.

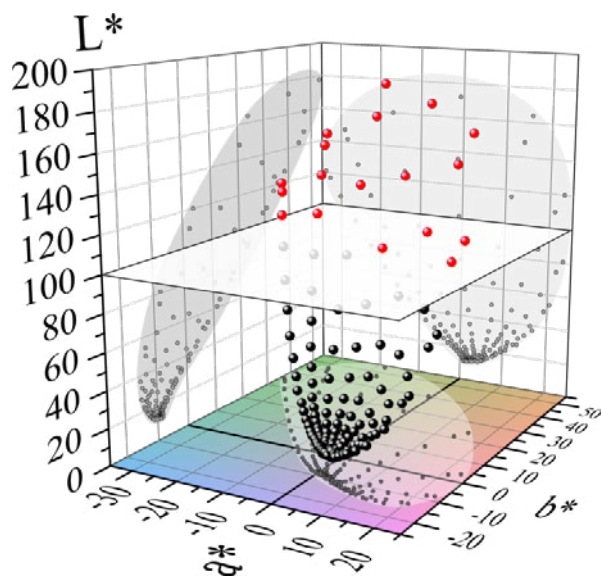


Abb. 4  $L^*a^*b^*$ -Farbraumkoordinaten des Effektpigments Colorstream<sup>®</sup> Viola Fantasy (Merck KGaA) gemessen an 187 Positionen im Viertelraum oberhalb der Probe für einen Einfallswinkel von 45°.

Eine weitere Messmöglichkeit an der ARGon<sup>3</sup>-Apparatur ist ein kommerzielles Leuchtdichtemesskamerasystem, "LMK 98-4 Color" von der TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau. Der eingebaute CCD-Sensor mit 1364 × 1030 Pixeln ermöglicht orts aufgelöste Messungen. Mit dem speziell angefertigten Abbildungssystem mit einer Brennweite von 210 mm und einem Bildfeld von 28 × 38 mm (entsprechend einem Winkelbereich von 1,15° × 1,55°) sind hochaufgelöste Bilder mit einer Ortsauflösung von etwa 28 µm auf der Probenoberfläche möglich (Abb. 5). Der Dynamikumfang einer Einzelmessung beträgt  $\sim 10^3$ , dieser kann durch High Dynamic Range Imaging um mehrere Größenordnungen erweitert werden. Zusätzlich zu den Leuchtdichten ist es auch möglich Farbkoordinaten orts aufgelöst zu messen [2].

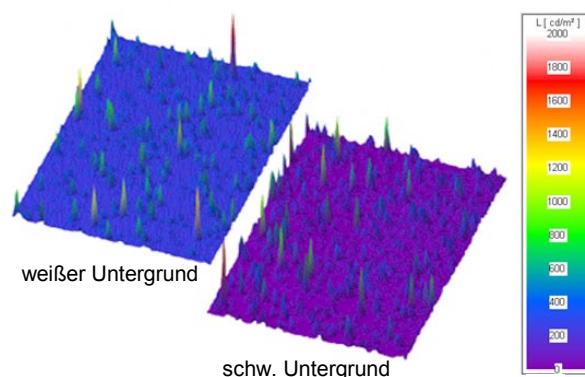


Abb. 5 Visualisierung des Sparkling-Effektes von Xirallic<sup>®</sup> Crystal Silver (Merck KGaA) als Falschfarbendarstellung der orts aufgelösten Leuchtdichte.

## 3 Zusammenfassung

Goniochromatische Farbpigmente stellen höchste Anforderungen an eine exakte, rückführbare Farbmessung. Die Brillianz der Farbwiedergabe mit Luminanzwerten  $L^*$  über 100 (rote Punkte in Abb. 4), was außerhalb der Normierung des  $L^*a^*b^*$ -Farbraumes liegt, und neue Effekte wie "Sparkling" und "Coarseness" erfordern neue Konzepte für die messtechnische Erfassung. Diese Herausforderung nimmt das in den nächsten 3 Jahren von der Europäischen Kommission geförderte EMRP-Projekt "Multidimensional Reflectometry for Industry" mit insgesamt 10 internationalen Konsortialpartnern an [3].

## Literatur

- [1] T. Atamas, K.-O. Hauer, A. Höpe, Appearance measurements of goniochromatic colours, Predicting Perceptions: Proceedings of the 3rd International Conference on Appearance, ISBN 9781471668692, p. 149 – 154 (2012)
- [2] A. Höpe, T. Atamas, D. Hünerhoff, S. Teichert, K.-O. Hauer, ARGon<sup>3</sup> - "3D Appearance Robot-based Gonioreflectometer" at PTB, Rev. Sci. Instrum. **83**(4), p. 045102-1 – 045102-8 (2012)
- [3] [http://www.euramet.org/fileadmin/docs/EMRP/JRP/JRP\\_Summaries\\_2012/Industry\\_JRPs/IND52\\_Publiable\\_JRP\\_Summary.pdf](http://www.euramet.org/fileadmin/docs/EMRP/JRP/JRP_Summaries_2012/Industry_JRPs/IND52_Publiable_JRP_Summary.pdf)