



**Report**

**1**  
**2021**

ISSN 1860-2835

**Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.**

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

**Verantwortlich: Dr. Andreas Kraushaar**



**Das wünschen wir Ihnen! Genießen Sie die Ostertage!**



**Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.  
im Deutschen Verband Farbe**



## **Inhaltsverzeichnis**

<i>Impressum</i> .....	4
<i>Liebe Farbgemeinde</i> .....	6
<i>Einladung zur DfwG-Jahrestagung 2021</i> .....	8
<i>Anmeldung zur Jahrestagung 2021</i> .....	10
<i>Tagungsankündigungen</i> .....	12
<i>International Colour Association (AIC) Konferenz 2020</i> .....	14
<i>Rückblick auf die Colour Imaging Conference CIC28</i> .....	22
<i>Rückblick auf die ICC DevCon 2020</i> .....	25
<i>Laserbasierter 3D-Druck in Farbe</i> .....	27
<i>Grafischer 3D-Druck – Farbgetreue Monitor- darstellung für im Polyjet- und Multijet- Fusion-Verfahren hergestellte 3D-Objekte</i> .....	30
<i>BiRD – „Bidirectional Reflectance Definitions“, a EUROMET EMPIR pre-normative project</i> .....	54
<i>Projekt DIN/TR 5020 „Verfahren zur Vereinbarung von Farbtoleranzen“ – eine praxisbezogene Einführung in die gute Farbmessung</i> .....	59
<i>Auch das noch!</i> .....	61

## Impressum

*Präsident* *Dr. Andreas Kraushaar*

*Telefon* 089/43182335

*E-Mail* [kraushaar@fogra.org](mailto:kraushaar@fogra.org)

*Vize-Präsident* *Prof. Dr. Christoph Schierz*

*Telefon* 03677/693731

*E-Mail* [Christoph.schierz@tu-ilmenau.de](mailto:Christoph.schierz@tu-ilmenau.de)

*Schatzmeister* *Dr. Carsten Steckert*

*Telefon* 030/6032554

*E-Mail* [Carsten.steckert@gmx.de](mailto:Carsten.steckert@gmx.de)

*Sekretärin* *Dr. Karin Bieske*

*Telefon* 03677/693737

*E-Mail* [Karin.bieske@tu-ilmenau.de](mailto:Karin.bieske@tu-ilmenau.de)

*Geschäftsstelle* *Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.  
(DfwG)  
c/o Technische Universität Ilmenau  
Fakultät für Maschinenbau  
Fachgebiet Lichttechnik  
Postfach 10 05 65  
D-98684 Ilmenau*

*Bankverbindung* *IBAN: DE81 1005 0000 2060 0235 83*

*Vereinsregister* *VR 4979 NZ, Amtsgericht Charlottenburg (Berlin)*

## **DfwG-Report 2021/1**

*Arbeitsgruppenleiter*

*Farbbildverarbeitung*

*Dr. Andreas Kraushaar*

*Telefon*

*089/43182335*

*E-Mail kraushaar@fogra.org*

*Farbmetrik und Grundlagen*

*Prof. Dr. Christoph Schierz*

*Telefon*

*03677/693731*

*E-Mail Christoph.schierz@tu-ilmeneau.de*

*Appearance*

*Christian Dietz*

*Telefon*

*089/435715660*

*E-Mail Christian.Dietz@seu.konicaminolta.eu*

*Multigeometrie*

*Dr. Alfred Schirmacher*

*Telefon*

*0531/592-4510*

*E-Mail Alfred.schirmacher@ptb.de*

*Internet*

*www.dfwg.de*

*Verleger und Herausgeber*

*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.*

*ISSN 1860-2835*

*Redaktion und Layout*

*Werner Rudolf Cramer*

*Druckbetreuung*

*Andreas Kraushaar*

*Titelbild*

*Werner Rudolf Cramer*

*Für die Inhalte von fachlichen Artikeln sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.*

## Liebe Farbgemeinde,

ich wünsche Ihnen ein zuversichtliches und hoffnungsfrohes neues Jahr!

Ganz im Zeichen der Hoffnung beginnt auch dieser Report mit der Planung unserer Jahrestagung am 5. – 7. Oktober 2021 in Kerpen-Horrem bei Köln. Sie finden alle aktuellen Informationen im vorliegenden Report und bereits jetzt ein herzliches Dankeschön an den Gastgeber Dietmar Wüller, Geschäftsführer von der Image Engineering GmbH. Hervorheben möchte ich zwei Besonderheiten. Zum einen steht die Wahl des DfwG-Vorstandes an. Ich habe bereits bei der Amtsübergabe ausgedrückt, dass ich den Zugvögeln gleich die Leitung auch wieder weitergeben möchte. Die Führung unseres Vereins ist sowieso eine Team-Arbeit, wobei jeder, egal ob aus der ersten oder zweiten Reihe, seine Impulse setzen kann. Zum Zweiten steht heuer der 90ste Geburtstag des 1931-2°-Normalbeobachters an. Wir möchten dieses Jubiläum einen besonderen Themenblock im Programm unserer Jahrestagung widmen. Kommen Sie also gerne mit Vortragsvorschlägen, egal ob aus Wissenschaft oder aus der Anwendung, auf uns zu. Freilich gibt es neben unserer Jahrestagung noch viele weitere spannende Veranstaltungen, auf die wir sowohl im aktuellen Heft als auch stets online hinweisen. Ganz faszinierend finde ich das Symposium "Colour & Poetry" am 19. – 22. März 2021 – gibt es etwas Interdisziplinäreres als die Farbe?

Anschließend finden sich im aktuellen Report Zusammenfassungen der im letzten Jahr stattgefundenen Farbveranstaltungen CIC (Color Imaging Conference), der ICC Developer Conference sowie der AIC2020-Tagung. Es ging also auch mit Corona weiter!

Inhaltlich steht der 3D-Druck in diesem Report im Mittelpunkt. Ich erinnere mich noch an den ersten Vortrag aus unserem Haus, der Fogra, dessen Titel bis kurz vor der Veröffentlichung "Farbdarstellung in 3D – die Explosion der Probleme" lautete. Eine euphemistische Verwendung des Begriffes Herausforderungen lag mir damals fern. Sie erinnern sich womöglich an den finalen Titel oder schauen direkt im Report 2019-4 nach. Letztlich überwog das Positive und aus Problemen wurden Möglichkeiten.

Der erste Beitrag beginnt mit ersten Entwicklungen, die Farbigkeit auch in den laserbasierten 3D-Druck zu etablieren, der bisher nur für einfarbige Drucke bekannt ist.

Interessanterweise stieß ich in einem Artikel der Photonik auf Prof. Bilal Gökce, der sich während der Kontaktaufnahme sofort bereit erklärt hat, einen Artikel zu verfassen. Mit etwas Glück können wir ihn auch im Oktober zu unserer Jahrestagung begrüßen.

Nach diesen spannenden neuen Möglichkeiten kommt ein Beitrag aus meiner Feder. Es ist die Kurzfassung des Abschlussberichts zum vorher angesprochenen Vortrag. Es geht um die farbgenaue Darstellung von im 3D-Druck hergestellten Objekten auf dem Monitor – dem 3D-Softproof. Bei der Lektüre werden Sie feststellen, wie viele neue spannende, aber auch problematische Aufgaben bewältigt werden müssen. Hinzu kommt das Zusammenspiel der Farbe mit der Glanzwirkung – ein für die akkurate Nachstellung der Oberflächenbeschaffenheit unersetzliches Appearance-Attribut.

Eine dieser Aufgaben ist die winkelabhängige Charakterisierung von Oberflächen. Passend dazu berichtet Alfred Schirmacher vom abgeschlossenen BiRD-Projekt (Bidirectional Reflectance Definitions). Es legt die Grundlagen für die Standardisierung von Goniochromatismus im Allgemeinen sowie Glanz und Glitzer (Sparkle) im Allgemeinen. Das Projekt hat eine umfassende Sammlung an Publikationen hervorgebracht, die es jetzt in der Standardisierung und der Anwendung zu verdauen gilt.

Abschließend freue ich mich noch, dass ich Stephan Gauss gewinnen konnte, uns einen Ausblick in die Überarbeitung bzw. die Neuauflage des DIN-Fachberichts 49 "Verfahren zur Vereinbarung von Farbtoleranzen" zu geben. Ein für mich sehr wichtiger Begleiter und Helfer in so manchen Gutachten.

Bleiben Sie negativ und denken Sie positiv.

**Liebe Grüße,**

**Andreas Kraushaar**

## Einladung zur DfwG-Jahrestagung 2021

*Karin Bieske*

Wir versuchen optimistisch in die Zukunft zu sehen und haben Hoffnung, dass unsere diesjährige Jahrestagung wieder in Präsenz möglich sein wird. Unserer Jahrestagung ist vom 5. - 7. Oktober 2021 geplant.

Gastgeber wird die Image Engineering GmbH in Kerpen-Horrem bei Köln sein, eine Firma, deren Tätigkeitsfeld Testequipment für Kameras ist. Zum Angebot der Firma gehören eine große Anzahl unterschiedlicher Test-Charts, Messtechnik und -zubehör sowie die entsprechende Analysesoftware und Komplettlaborlösungen. Das Messlabor der Firma ist das weltgrößte unabhängige Messlabor für die Analyse der Bildqualität von Kamerasystemen.



**Image Engineering**

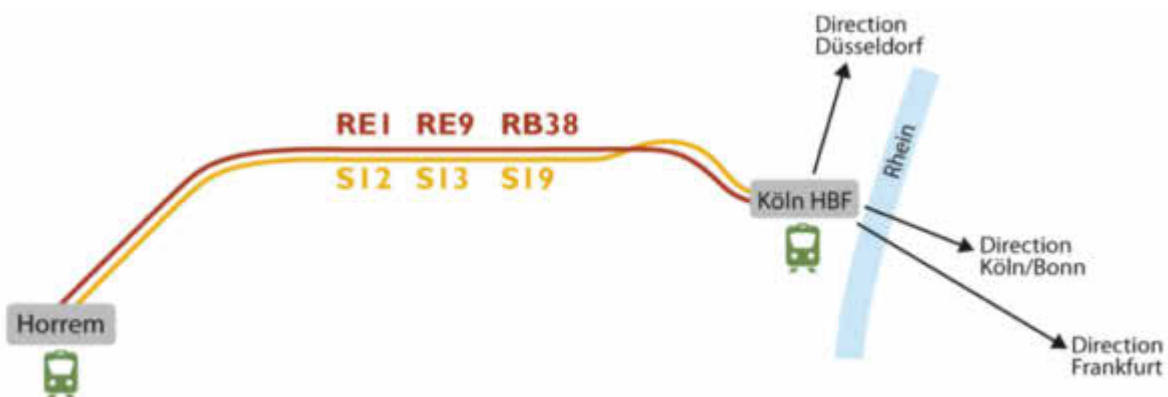
Solutions to test image quality

Im Gleisdreieck 5

50169 Kerpen-Horrem

[www.image-engineering.de](http://www.image-engineering.de)

Über Regionalverbindungen und S-Bahn ist der Tagungsort gut vom Kölner Hauptbahnhof erreichbar.



**Gute Anbindung des Tagungsortes mit öffentlichen Verkehrsmitteln**

### VORLÄUFIGE PROGRAMMPLANUNG FÜR DIE DFWG-JAHRESTAGUNG 2021

#### Dienstag, den 5. Oktober 2021:

Vorabendtreffen ab 18:00 Uhr in einem Restaurant in der Kölner Innenstadt.

#### Mittwoch, den 6. Oktober 2021:

9:00 bis 12:00 Uhr Sitzungen der Arbeitsgruppen

13:00 Uhr Beginn der Jahrestagung  
Themenblock: 90. Jahre CIE 1931

17:00 Uhr Hauptversammlung mit Wahl

19:30 Uhr Tagungsabend in einem Traditionsrestaurant in der Kölner Innenstadt.

#### Donnerstag, den 7. Oktober 2021:

9:00 bis 12:00 Uhr Vormittagsprogramm

12:00 bis 13:00 Uhr Mittagspause

13:00 bis 17:00 Uhr Nachmittagsprogramm

### CALL FOR PAPERS

Gestalten Sie das Fachprogramm aktiv mit und reichen Ihre **Vorträge mit einer Kurzfassung** (maximal 1 A4-Seite) **bis zum 30. Juni 2021** ein unter: [Sekretariat@DfwG.de](mailto:Sekretariat@DfwG.de). Bis Mitte Juli soll das Tagungsprogramm fertiggestellt und veröffentlicht werden. Sie haben von spannenden Themen erfahren und gute fachliche Vorträge gehört? Gerne sprechen Sie auch Personen außerhalb der DfwG an und machen auf unsere Jahrestagung aufmerksam. In diesem Jahr jährt sich die Einführung des CIE-Normvalenzsystem zum 90-zigsten Mal. Ein Vortragsblock wird daher diesem Thema gewidmet sein.

### DFWG-FÖRDERPREIS 2021

In diesem Jahr besteht die Gelegenheit, wieder einen Förderpreis für junge Wissenschaftler und Studierende zu vergeben, die sich vertieft und engagiert mit Themen der Farbwissenschaft beschäftigt haben. Alle Mitglieder der DfwG sind berechtigt, eigene Arbeiten einzureichen oder Kandidaten für die Preisverleihung vorzuschlagen. Diese richten Sie bitte **bis zum 31. Mai 2020** an: [Sekretariat@DfwG.de](mailto:Sekretariat@DfwG.de).

Die Förderrichtlinien finden Sie unter: <http://www.dfwg.de>

► **Home** ► **Förderpreis** ► **Förderpreisbestimmungen**

Das Preiskomitee wird bis Ende Juli über eine Preisvergabe entscheiden. Bitte machen Sie auf den DfwG-Förderpreis aufmerksam.

#### *ANMELDUNG*

Für die **Anmeldung zur Jahrestagung** wird **ab Mai** ein Formular auf der DfwG-Internetseite freigeschaltet sein. Sie können gerne auch das nachfolgende Formular verwenden.

#### *HAUPTVERSAMMLUNG*

Die Mitgliederversammlung wählt in diesem Jahr der Vorstand der DfwG. Möchten Sie sich aktiv in die Vereinsarbeit einbringen? Gibt es noch Themen, die Sie in der Sitzung ansprechen möchten? Vorschläge und Anregungen senden Sie bitte an: [Sekretariat@DfwG.de](mailto:Sekretariat@DfwG.de).

#### *VORABENDTREFFEN UND TAGUNGSABEND*

Für unser traditionelles Treffen am Vorabend und unseren Tagungsabend sind Gaststuben in der Kölner Innenstadt angefragt. Bitte vermerken Sie auf der Anmeldung Ihr Interesse für unsere Planung.

#### *UND WENN ES DANN ANDERS KOMMT*

Falls eine Präsenzveranstaltung nicht möglich sein sollte, werden wir einen anderen Rahmen für unsere Veranstaltung organisieren und rechtzeitig darüber informieren.

#### *FLYER*

Bitte unterstützen Sie uns bei der Bewerbung der DfwG und unserer Jahrestagung. Einen Flyer finden Sie unten auf der Startseite unserer Internetseiten zum Download: [http://dfwg.de/wp-content/uploads/2021/02/Flyer-DfwG\\_2021\\_02\\_17\\_mit-JT.pdf](http://dfwg.de/wp-content/uploads/2021/02/Flyer-DfwG_2021_02_17_mit-JT.pdf)

Die Ausrichter und der DfwG-Vorstand freuen sich auf viele Teilnehmer und Teilnehmerinnen, interessante Vorträge, Diskussionen und Gespräch.

Von: \_\_\_\_\_  
Titel, Name, Vorname \_\_\_\_\_  
Firma/ Institution \_\_\_\_\_  
Straße Nr.: \_\_\_\_\_  
PLZ Ort: \_\_\_\_\_  
Telefon \_\_\_\_\_  
E-Mail \_\_\_\_\_



www.dfwg.de  
Sekretariat@DfwG.de

Bitte melden Sie sich mit diesem Formular an per Fax, Mail bzw. Brief im Fensterumschlag oder direkt online über [www.dfwg.de](http://www.dfwg.de).

**DfwG-Geschäftsstelle**  
c/o Dr.-Ing. Karin Bieske  
**Technische Universität Ilmenau**  
Fakultät für Maschinenbau/ Fachgebiet Lichttechnik  
**Postfach 10 05 65**  
**98684 Ilmenau**

FAX: (03677) 693733

**ANMELDUNG**  
**zur DfwG-Jahrestagung 6. – 7. Oktober 2021**  
**Image Engineering GmbH, Im Gleisdreieck 5, 50169 Kerpen-Horrem**

- |  |                |
|--|----------------|
| Ich melde mich hiermit zur DfwG Jahrestagung 2021 an als | Tagungsbeitrag |
| <input type="checkbox"/> Mitglied der DfwG               | € 90,00        |
| <input type="checkbox"/> Nichtmitglied                   | € 120,00       |
| <input type="checkbox"/> Student                         | € 10,00        |

Ich stimme der Verarbeitung meiner Anmelde­daten für die Organisation der Tagung zu.

Mit der Veröffentlichung meiner oben genannten Kontaktdaten im Teilnehmerverzeichnis der Tagung bin ich  einverstanden / bin ich nicht  einverstanden.

Mit der Veröffentlichung meines Namens bei Bildunterschriften von Tagungsfotos im DfwG-Report bin ich  einverstanden / bin ich nicht  einverstanden.

- Ich benötige eine Papier-Rechnung an o. g. Adresse.  
 Ich benötige eine Rechnung per E-Mail an o. g. Adresse.  
 Ich benötige keine Rechnung.

\_\_\_\_\_  
Datum / Unterschrift

Den Tagungsbeitrag überweisen Sie bitte bis zum 1. September 2021 an:

bei **DfwG e.V.**  
**Berliner Sparkasse**  
IBAN: **DE81 1005 0000 2060 0235 83**  
SWIFT: **BELADEBE**

unter Angabe Ihres Namens und „DfwG-JT-2021“.

- Ich nehme am Vorabendtreffen teil.  
 Ich nehme am Tagungsabend teil.

## Tagungsankündigungen

---



### International Colour Day 2021

21. März 2021 (10h – 12h)  
ICA-Belgium via Zoom (free access)

<https://ica-belgium.org/international-colour-day-2021-belgium/>

---



### AIC-Tagung 2021 **ONLINE ONLY**

*Call for papers: 31. März 2021*

30. August bis 3. September 2021  
Associazione Italiana Colore

<https://www.aic2021.org/>

---



### LONDON imaging MEETING IMAGING FOR DEEP LEARNING

*Call for papers: 5. April 2021*

20.-22. September 2021  
London, UK

[https://www.imaging.org/site/IST/IST/Conferences/LIM/LIM\\_Home.aspx](https://www.imaging.org/site/IST/IST/Conferences/LIM/LIM_Home.aspx)

---

#### LIM 2021 PROGRAM TOPICS

1. Impact of imaging system design on DNN performance
  2. Imaging system optimization for improved DNN performance
  3. Imaging system modelling for data augmentation for DNN training
  4. Metrification of imaging performance for DNN input
  5. DNNs for metrification of imaging systems
  6. DNNs for optimization of imaging performance
  7. DNNs for image quality prediction
  8. DNN components for imaging systems
  9. Domain adaptation of DNNs for imaging systems
-



## Eurodisplay 2021

*Call for papers: 31. März 2021*

22. bis 24. September 2021  
Universität Stuttgart

<https://www.eurodisplay.uni-stuttgart.de/>

### **Themenschwerpunkte:**

1. Active-Matrix Devices
2. Applied Vision/Human Factors
3. Automotive/Vehicular Displays and HMI Technologies
4. Display Electronics
5. Display Manufacturing
6. Display Measurement
7. Display Systems
8. Emerging Technologies and Applications
9. Emissive, MicroLED, and Quantum-Dot Displays
10. Flexible Displays and E-Paper
11. Flexible OLED, MicroLED, QD-LED and other Emissive Materials, Displays and Devices
12. Interactive Displays and Systems
13. Liquid Crystal Technologies
14. Lighting



## Color and Imaging Conference

4. bis 8. Oktober 2021  
Chiba, Präfektur Chiba, Japan



## MUNICH 3D-FORUM Managing 3D Reality

21. Oktober 2021  
Fogra, Aschheim bei München

<https://fogra.org/veranstaltungen/symposien>

## International Colour Association (AIC) Konferenz 2020 - Rückblick

Karin Bieske



Das AIC Interim Meeting zum Thema *Natural Colours - Digital Colours* wurde vom französischen Farbenzentrum Centre Français de la Couleur unter Leitung von Patrick Callet organisiert. Es versprach gerade auch wegen des Tagungsorts in Avignon ein farbenfrohes Erlebnis zu werden, verbinden sich meine Eindrücke von der Provence mit leuchtenden Lavendelfeldern, duftenden Kräutern, beeindruckenden Landschaften, historischen Stätten und wohlschmeckendem Essen und Wein.

Bekanntermaßen hat die Corona-Pandemie vieles verändert. Die AIC-Tagung wurde online abgehalten und so kann ich hier nur meine virtuellen Eindrücke wiedergeben. Dabei habe ich mich auch vom Tagungsrückblick von Françoise Vienot in der Abschlussveranstaltung inspirieren lassen.

Die Veranstaltung fand am 20. November und vom 26. bis 28. November statt. Vier thematische Schwerpunkte gaben den Rahmen für die 48 Vorträge und 35 Posterpräsentationen vor:

- COLOUR, ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY
- COLOUR AND HERITAGE
- PERCEPTION, CAPTATION AND COLOUR CREATION
- DIGITAL COLOUR AND VIRTUAL WORLD

Ich schätze, dass die Online-Tagung ungefähr 120 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus 35 Ländern aus unterschiedlichen Kulturen und Fachbereichen zusammenbrachte. Nachfolgend sind ausgewählten Vorträge zu unterschiedlichen Themenfeldern aufgelistet, die für viele DfwG-Mitglieder von Interesse sein könnten oder die ich spannend fand. Alle Beiträge sind im Tagungsband zu finden, in dem auch die zahlreichen Posterbeiträge veröffentlicht sind. Er kann unter [https://aic2020.org/wp-content/uploads/2021/01/AIC2020\\_20210126.pdf](https://aic2020.org/wp-content/uploads/2021/01/AIC2020_20210126.pdf) heruntergeladen werden.

### COLOUR, ENVIRONMENT AND SUSTAINABILITY

#### Hélène de Clermont-Gallerande

From the design of the shades to the sale of make-up products: the contribution of the expertise of colourists during research and development

#### Riikka Räsänen, Gerardo A. Montero, Harold S. Freeman

BioColour – Bio-based colourants for sustainable material markets: a fungal-based anthraquinone for PLA and PET in supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>) dyeing

#### Yumi Awano, Masayuki Osumi

Gonio-photometric spectrum analysis and texture evaluation of structural color design — Considerations on "Peacock feather weave" by Kondaya Genbey (1)

#### Delia Dumitrescu, Marjan Kooroshnia, Jessica Carolina Cornelia Rijkers

The influence of colour mixtures on the textural perception of surface design: deciphering textile methodology in the field of bio-plastic design (2)

#### Zena O'Connor

Legendary pigments: Bridging the gap between natural world and the digital world (3)

## COLOUR AND HERITAGE

### Alexia Raimondo

Color in the archives or color archives [\[4\]](#)

### Aurélie Mounier, Hortense de la Codre, Charlotte Marembert, Pauline Claisse, Floréal Daniel

Rediscover the faded colours of an 18<sup>th</sup> century tapestry kept in the Cité Internationale de la tapisserie in Aubusson (France) [\[5\]](#)

### Victor de Seauve, Alexandre Semerok, Olivier Grauby, Vincent Detalle, Jean-Marc Vallet

Modelling and IR thermal monitoring of the laser reversion of blackened pigments

### Changying Xiang, Phil Green, Barbara Szybinska Matusiak

The Impact of Surface Properties on Photovoltaics' Colour Angular Sensitivity- A Comparison Study for Façade Integration

### Haruno Tsuda, Azusa Takei, Nozomu Yoshizawa, Kaoruko Kitamura

Verification of the validity of the perceived colour measurement method using tablet devices in architecture

### Emilie Chalmin, Bernard Schmitt, Claire Chanteraud, Aurélie Chassin de Kergommeaux, Fayçal Soufi, Hélène Salomon

The contribution of diffuse reflectance spectroscopy to the knowledge of prehistoric red colouring matter

### Jeremie Berthonneau, Paola Scaramuzza, Philippe Bromblet

Relationships between natural color, mineralogy, and decay of the ashlars of the Palace of the Popes (Avignon, France)

### Louis Fagbohoun, Carole Mathe, Fernand Gbaguidi, Marc Ayedoun, Cathy Vieillescazes

Characterization of cultural heritage objects from South Benin. What do we know about the natural dyes used in their manufacture?

### M. James Shyu, Yuan-Feng Chang

An application of hyper-spectral color technique in finding proper color pigment for painting conservation

## PERCEPTION, CAPTION AND COLOUR CREATION

### Carla Pereira

The meaning of colors in Brazilian food packaging

### John S. Werner, Brennan Marsh-Armstrong, Kenneth R. Knoblauch

Long-term adaptation to color filters in anomalous trichromats

### Karin Bieske, Christoph Schierz, Nicole Stubenrauch

Perception and Evaluation of Luminous Colour Differences

### Nozomi Tobaru, Noriko Yata, Yoshitsugu Manabe

Analysis of mechanism in material estimation by CNN

### Min-Ho Jung, Jean Baptiste Thomas, Marius Pedersen, Vien Cheung, Peter A. Rhodes

Effect-coating glint according to binocular and monocular vision

### John L. Barbur, Benjamin EW Evans, Elisabetta Baldanzi, Regina Comparetto, Alessia Fava, Alessandro Farini

Blue-blocking lenses – how much short wavelength light can be removed from daylight illuminants without significantly affecting colour vision?

## DIGITAL COLOUR AND VIRTUAL WORLD

### Kai Berger

A fractal polyhedron packing of the RGB space for intuitive high-dimensional data visualization [\[6\]](#)

### Ichiro Katayama, Kin'nosuke Yamaji, Shogo Nishi, Motonori Doi

Effect of texture on whiteness perception [\[7\]](#)

### Morgane Gerardin, Nicolas Holzschuch, Alain Ibanez, Bernard Schmitt, Pauline Martinetto

Correlation between micro-structural features and color of nanocrystallized powders of hematite [\[8\]](#)

### Youko Inoue, Yoko Ikegami, Haruka Hamana, Ayana Kishima

Study on dynamic adaptation properties under the chromatic colored light and the glare source

### Federico Grillini, Jean-Baptiste Thomas, Sony George

Mixing models in close-range spectral imaging for pigment mapping in Cultural Heritage

### Raza Aiman, Jost Sophie, Dubail Marie

Dominant color and image color palette retrieval from complex images

### Laura Rey-Barroso, Mónica Roldán, Francisco J. Burgos-Fernández, Ignacio Isola, Anna Ruiz-Llobet, Susanna Gassiot,

### Meritxell Vilaseca

Multispectral imaging of healthy and diseased red blood cells using confocal microscopy [\[9\]](#)

**Yu-Zhi Ouaa, Hung-Shing Chenb**

Color Quality Effects of White Light LEDs for Illuminating Color Proof in Comparison with Soft Proof

**Candong He, Janlong Zhang, Ronnier Luo**

A Design Tool: Appearance simulator based on spectrum tunable LED lightings

#### Ausgewählte Posterbeiträge:

**Barbara Blaznik, Sabina Bračko**

Can you remember colour correctly?

**Ana Rabal, Guillaume Ged, Arnaud Richard, Gaël Obein**

Effect of the size and shape of the measurement area on BRDF measurements on glossy samples

**Kazushi Ohshima, Hiroyuki Sugimoto, Masatoshi Sugimori, Emika Sawada**

Effect of painting treatment on color change considering cellular structure inside of wood

**Yuan Tian, Jean-Baptiste Thomas, Fereshteh Mirjalili**

The Impact of Individual Observer Color Matching Functions on Simulated Texture Features

**Noora E. Yau, Konrad W. Klockars, Blaise L. Tardy, Orlando J. Rojas**

The Highlight effect in structural color from cellulose nanocrystals [\(10\)](#)

**Italo José de Medeiros Dantas, Camila Assis Peres Silva**

The importance of the semiotic development of a color chart in a fashion collection

**Shunta Sugiyama, Yoshitsugu Manabe, Noriko Yata**

Analysis of color feature extraction processing in color constancy network by CNN

**Luis Gómez-Robledo, Javier Hernández-Andrés, Rafael Huertas, Miguel A. Martínez-Domingo, Eva M. Valero**

Effect of Colorlite filters on colorblind observers

Zusätzlich waren **eingeladene Vorträge** ins Tagungsprogramm integriert, hier eine Auswahl:

**Sophie Nadot**

The colourful life of flowers [\(11\)](#)

In diesem Vortrag wurden die faszinierenden Farben der Blumen vorgestellt. Die Blüten besitzen eine Vielfalt an Farben und Formen. Sie werden vorwiegend von Insekten bestäubt. Die Farbwahrnehmung von Menschen und Bienen unterscheidet sich dahingehend, dass Bienen auch im UV-Bereich bei fehlender Rotkomponente sehen. Die Blütenfarbenvielfalt, wie wir sie heute beobachten, ist das Ergebnis einer langen Evolution. Dabei haben Umweltfaktoren bei dieser Diversifizierung eine wesentliche Rolle gespielt.



Blütenvielfalt in Form und Farbe, aus [\(11\)](#)

**Laure Bonnaud-Ponticelli**

Colour and natural environment

In einem fesselnden Vortrag wurde ein Überblick zur Farbe in Pflanzen und Tieren geboten. Es wurde erklärt, wie Tiere ihre Farbe ändern können und sie Farbe wahrnehmen. Vorgestellt wurde der Oktopus, ein Kopffüßer, der wie das Chamäleon seine Farbe wechselt und das in

Bruchteilen einer Sekunde. Einerseits gelingt dem Oktopus über die Änderung der Hautfarbe die farbliche Anpassung an die Umgebung und z. T. werden sogar Formen imitiert. Andererseits dient die Farbgebung aber auch der Kommunikation mit Artgenossen. Neben weiteren Beispielen wurde die Paua Muschel gezeigt, deren Perlmutter-schillern im Inneren sich durch die Staffelung von Mikroschichten ergibt. Die gezeigten Bilder haben mich sehr beeindruckt. Leider fehlt ein Beitrag im Tagungsband.

**Laurent Urban, Bernard Orsal, Dounyazade Chabane Sari, Salah Fgaier, Hugo Goncaves, Loïc Ledermann, Yves Matton, Monica Lopes, Jawad Aarrouf**

The amazing potential of flashes of UV-C light and pulsed light for driving biological changes in plants.

Gepulste UV-Strahlung zeigt Effekte auf Pflanzen. Sie kann die Photosynthese anregen und die Abwehrkräfte stärken. Dies könnte Möglichkeiten zur Steigerung der Pflanzenleistung oder zur Reduzierung des Pestizideinsatzes bieten.

**Robert Sève**

Whiteness evaluation: A review with new proposals

Das Thema Weißgrad ist bestimmt für einige DfwG-Mitglieder von besonderem Interesse.

**Jean-Ronan Le Pen**

The hidden color of the Ocean's pollution

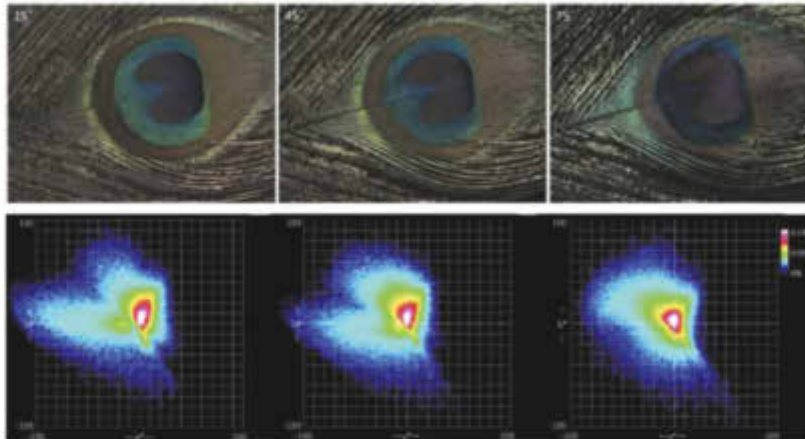
Umweltschutz und Nachhaltigkeit und der sorgsame Umgang mit Ressourcen wurden als ein Hauptthema der AIC2020-Konferenz deutlich herausgestellt. Der Journalist und Umweltaktivist thematisierte in seinem Vortrag die Verschmutzung des Ozeans und den Klimawandel. Er zeigte Bilder, die er von seinem Boot aus aufgenommen hatte. Wärmer werdendes und saureres Wasser stresst Korallen zunehmend. Sie sterben ab und bleichen aus und damit verschwindet eine farbenfrohe, lebendige Unterwasserlandschaft. In den dicht besiedelten Küstenregionen sind die maritimen Ökosysteme in Gefahr. Bedrückend sind die Bilder von buntem Plastikmüll im Wasser und der Einleitungen von Industrierückständen ins Wasser. Jean-Ronan Le Pen kämpft mit Umweltverbänden aktiv gegen die Verschmutzung des Mittelmeeres und fordert dazu auf, aktiv zu werden. Ein klares Statement.

Die Tagung bot ein buntes Programm und zeigt die Breite des Themas Farbe mit seinen unterschiedlichen Facetten. Ein Großteil der Beiträge thematisierten die Konservierung und Restaurierung von Kunstgegenständen und Kulturgütern oder Farbe in der Architektur. Eine online-Tagung nimmt nicht Rücksicht auf unterschiedliche Zeitzonen und so manche technische Schwierigkeit, machte es nicht immer leicht, den Präsentationen zu folgen. Gefehlt haben die Gespräche am Rande einer solchen Veranstaltung und der Austausch in den Study Group Meetings. Ich hoffe sehr, auch wieder Konferenzen in Präsenz erleben zu dürfen.



Die nächste AIC-Konferenz wird vom 30. August bis zum 3. September 2021 in Mailand (Italien) stattfinden. Die Veranstalter haben aber bereits wegen der aktuellen Pandemiesituation angekündigt, dass die Tagung als Online-Veranstaltung durchgeführt wird. Die Tagungsseiten sind unter: <https://www.aic2021.org/> zu finden.

Da ich mit keinen eigenen Fotos die Atmosphäre der Tagung wiedergeben kann, habe ich einige Abbildungen aus dem Tagungsband ausgewählt und angefügt. Vielleicht regen sie den einen oder anderen Leser an, mal genauer nachzulesen.



Winkelabhängige Farbverteilung im CIELAB-Farbenraum für eine Pfauenfeder, aus (1).



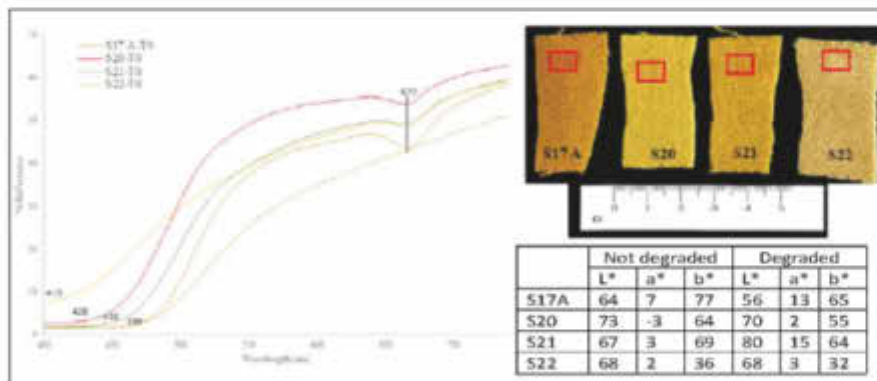
Archivmaterial von historischen Kontrollprotokollen für Farbstoffe, aus (4).



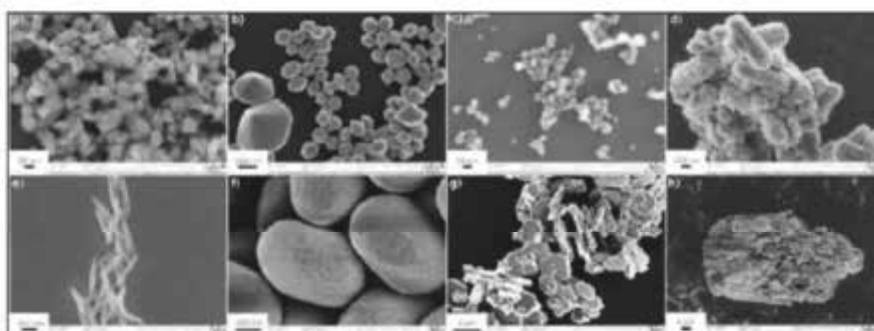
Unterschiedliche Effekte und Möglichkeiten von Bioplastik, aus (2).



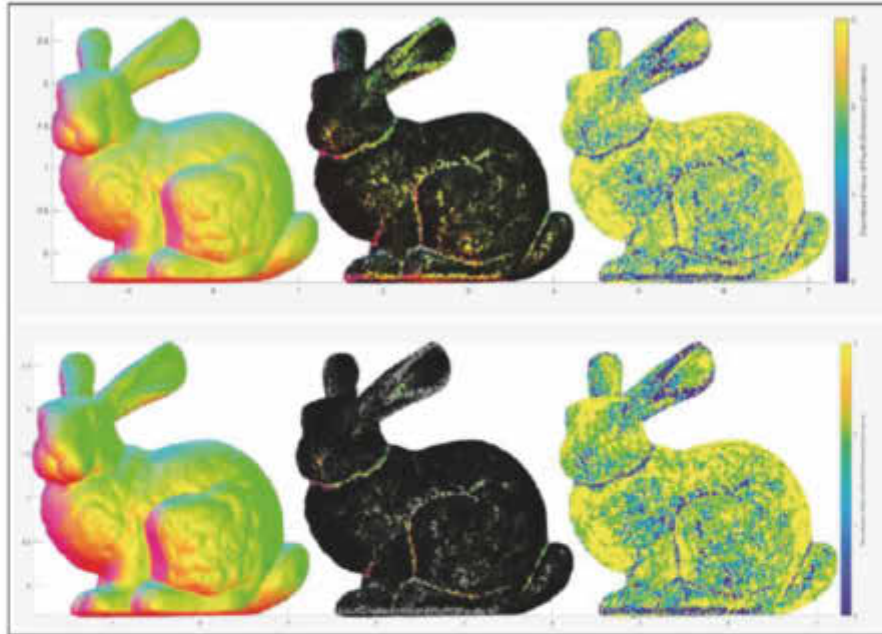
Analyse von Pigmenten und Farbstoffen in Gemälden - Digitales Colour Mapping, aus (3).



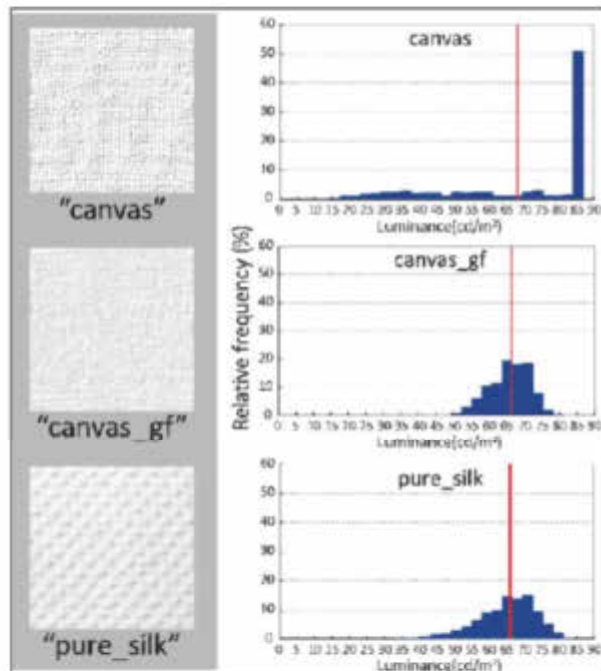
Multispektraltechnik für die Analyse der Alterung von Textilfarben zur Rekonstruktion verblasster Farben, aus (5). Weitere Informationen in einem Video (in Französisch) sind unter <https://lejournal.cnrs.fr/videos/retrouver-les-couleurs-du-siecle-des-lumieres> zu finden.



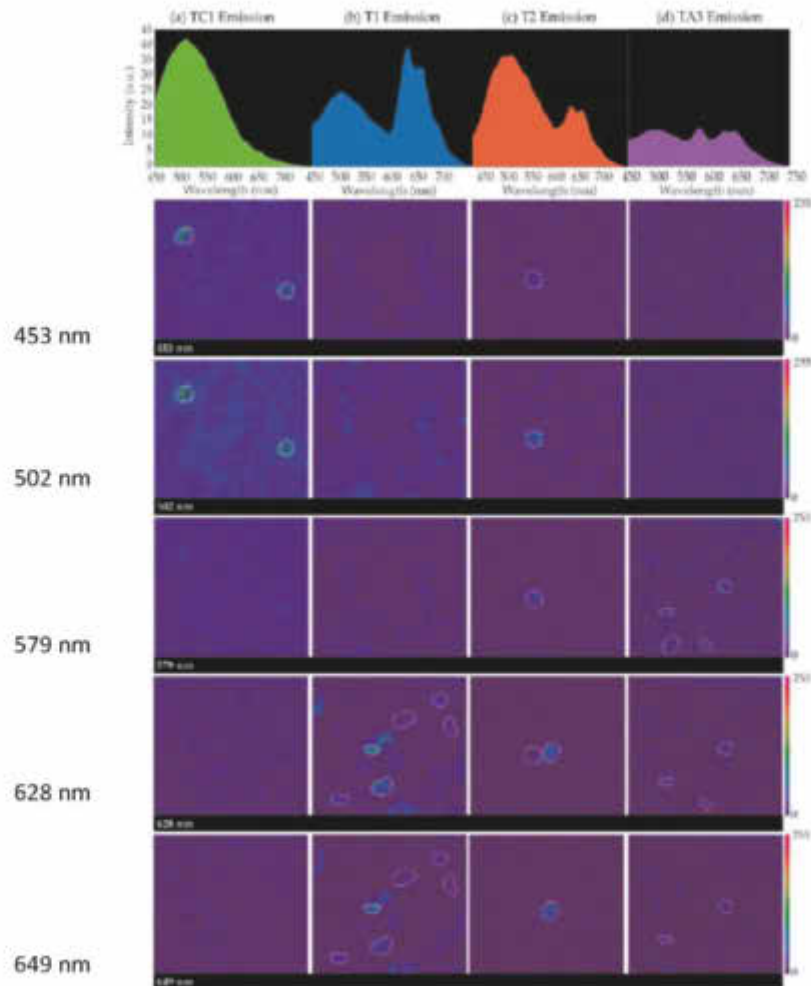
Bilder vom Rasterelektronenmikroskop zur Analyse von Korngröße und Partikelform von Hämatit zur Untersuchung des Einflusses auf die Farbgebung, aus (8).



Ansätze zur Visualisierung von Daten mit bis zu vier Dimensionen wie sie für die Beschreibung von Farbattributen hilfreich ist, aus (6).



Histogramme der Leuchtdichtevertellung zur Analyse der Textur, aus (7).



Nach Anregung mit Strahlung von 405 nm, zeigen Blutzellen bei bestimmten Erkrankungen spezifische Fluoreszenz, was zur Diagnostik genutzt werden kann, aus (9).



Nanokristalle auf Zellulosebasis erzeugen schillernde Farben und könnten in Kunst und Design eine umweltfreundliche Alternative bieten, aus (10).

## Rückblick auf die Colour Imaging Conference CIC28

Donatela Saric (Fogra), 2021



Die 28. CIC (Colour Imaging Conference) fand vom 4. bis 19. November 2020 – erstmals online - statt. Inhaltlich wurde das etablierte Programm mit Präsentationen, Postervorträgen, Einführungskursen und Workshops übernommen. Alle Präsentationen und Kurse wurden aufgezeichnet und sind für die Teilnehmer

bis 15. März 2021 verfügbar. Die Online-Umsetzung erfolgte erstaunlich fehlerfrei und mehrheitlich reibungslos.

Die Konferenz gliederte alle Vorträge in die folgenden vier Themenblöcke:

- Farbmatrik und Farbmodellierung
- Digitale Farbbildtechnik
- Farbdisplays
- Farbkorrekturen

Nach den Kursen fanden in gewohnter Weise die Posterpräsentationen (2 Minute je Poster) statt. Die Highlights waren wie immer die eingeladenen Keynote Präsentationen. Diese waren dieses Jahr:

- Colour Appearance and Spatio-chromatic Vision  
*Sophie Wuerger, University of Liverpool (UK)*
- Why are there Colors in the Ocean?  
*Derya Akkaynak, Florida Atlantic University, Harbor Branch Oceanographic Institution (US)*
- Rethinking Color Measurement,  
*Ayan Chakrabarti, Washington State University in St. Louis McKelvey School of Engineering (US)*

Eine Auswahl an potenziell interessanten Vorträgen, je nach täglich variierendem Schwerpunkt, sind hier aufgeführt:

### **Farbwahrnehmung**

Practical Color Contrast Sensitivity Functions for Luminance Levels up to 10000 cd/m<sup>2</sup>  
*Rafal Mantiuk<sup>1</sup>, Minjung Kim<sup>1</sup>, Maliha Ashraf<sup>2</sup>, M. Ronnier Luo<sup>3</sup>, Jasna Martinovic<sup>4</sup>, and Sophie Wuerger<sup>2</sup>; <sup>1</sup>University of Cambridge, (UK), <sup>2</sup>University of Liverpool, (UK), <sup>3</sup>Zhejiang University (China), and <sup>4</sup>University of Aberdeen (UK)*

Observer Metamerism: Why do [mis]Matches of Neutral Appear Pinkish or Greenish?  
*Yongmin Park, Michael Murdoch, and Mark Fairchild, Rochester Institute of Technology (US)*

The Effect of Texture on Perceived Memory Color Quality  
*Anku Anku and Susan Farnand, Rochester Institute of Technology (US)*

Glossiness-aware Image Coding in JPEG Framework  
*Midori Tanaka, Tomoyuki Takanashi, and Takahiko Horiuchi, Chiba University (Japan)*

Texture-aware Error Diffusion Algorithm for Multi-level Digital Halftoning  
*Donghui Li, Takuma Kiyotomo, Midori Tanaka, and Takahiko Horiuchi, Chiba University, and Kaku Shigeta, Think Laboratory Co., Ltd. (Japan)*

Investigating Effects of Visual and Auditory Adaptation on Metallic Material Appearance  
*Takumi Nakamura, Daichi Yagi, Kuangzhe Xu, Toshihiko Matsuka, and Keita Hirai, Chiba University (Japan)*

### ***Farbbildverarbeitung***

Interactive White Balancing for Camera-rendered Images  
*Mahmoud Afifi and Michael Brown, York University (Canada)*

Improving Color Space Conversion for Camera-captured Images via Wide-gamut Metadata  
*Hoang Le, Mahmoud Afifi, and Michael Brown, York University (Canada)*

Camera ISP Modification to Enable Image De-rendering  
*Abhijith Punnappurath and Michael Brown, Samsung Research, AI Center (Canada)*

Spectral Reflectance Estimation Using Projector with Unknown Spectral Power Distribution  
*Hironori Hidaka, Yusuke Monno, and Masatoshi Okutomi, Tokyo Institute of Technology (Japan)*

Effect of Color Gamut and Luminance on Observer Metamerism in HDR Displays  
*Yongmin Park<sup>1,2</sup> and Michael Murdoch<sup>1</sup>; <sup>1</sup>Rochester Institute of Technology (US) and <sup>2</sup>LG Display (South Korea)*

Von Kries 2020: Evolution of Degree of Chromatic Adaptation  
*Mark Fairchild, Rochester Institute of Technology (US)*

## **Farbanwendungen**

Linear Spectral Estimate Refinement for Spectral Reconstruction from RGB  
*Tarek Stiebel and Dorit Merhof, RWTH Aachen University (Germany)*

Revisiting Print-attribute Optimization: A Direct Pattern Generation Approach  
*Peter Morovic<sup>1</sup>, Hector Gomez<sup>1</sup>, Ján Morovic<sup>2</sup>, Pere Gasparin<sup>1</sup>, Tanausu Ramirez<sup>1</sup>, Xavier Fariña<sup>1</sup>, and Sergio Etchebehere<sup>1</sup>; <sup>1</sup>HP Inc. (Spain) and <sup>2</sup>HP Inc. (UK)*

Estimation of Layered Ink Layout to Reproduce Desired Translucency of Skin in Inkjet 3D Printer Using Deep Neural Network Trained with Synthetic Simulated Data  
*Kensuke Fukumoto<sup>1</sup>, Kazuki Nagasawa<sup>1</sup>, Wataru Arai<sup>2</sup>, Kunio Hakkaku<sup>2</sup>, Satoshi Kaneko<sup>2</sup>, Keita Hirai<sup>1</sup>, and Norimichi Tsumura<sup>1</sup>; <sup>1</sup>Chiba University and <sup>2</sup>Mimaki Engineering Co., Ltd., (Japan)*

Spectral Estimation of Multiple Light Sources based on Highlight Detection  
*Shoji Tominaga<sup>1,2</sup>, Keita Hirai<sup>3</sup> and Takahiko Horiuchi<sup>3</sup>, <sup>1</sup>Norwegian University of Science and Technology (Norway), <sup>2</sup>Nagano University (Japan), and <sup>3</sup>Chiba University (Japan).*

Simultaneous Measurement of BRDF and Surface Curvature by Using Pattern Illumination  
*Shinichi Inoue and Norimichi Tsumura, Chiba University (Japan)*

Observer Metamerism to Display White Point Using Different Primary Sets  
*Minchen Wei<sup>1</sup>, Yu Hu<sup>1,2</sup>, and Ming Ronnier Luo<sup>2</sup>; <sup>1</sup>The Hong Kong Polytechnic University (Hong Kong) and <sup>2</sup>University of Leeds (UK)*

Der letzte Tag der Konferenz widmete sich den folgenden vier Workshops:

- Skin Characteristics Measurement, Perception and Applications
- Color in the Art
- Open Table on the Future of Color Research
- VR/AR/MR Appearance and Perception

Den Preis für das beste Paper bekam Rafal Mantiuk und sein Team für den Beitrag: „Practical Color Contrast Sensitivity Functions for Luminance Levels up to 10000 cd/m<sup>2</sup>“. Die Registrierung war auch nach den Online-Vorträgen noch möglich und reichte bis zum 15.3.2021. Alles in allem eine gelungene Alternative und Respekt an die Organisatoren für die professionelle Durchführung.

## Rückblick auf die ICC DevCon 2020 – die Tagung des International Color Consortium



*Donatela Saric (Fogra), 2021*

An der Entwicklerkonferenz des ICC (International Color Consortium) "ICC DevCon2020" stand einen ganzen Tag lang die Zukunft des Farbmanagements im Mittelpunkt. Mit der Veröffentlichung von ISO 20677 ("Farbverwaltung in der Bildtechnik - Erweiterungen für die Architektur, das Profilformat und die Datenstrukturen") wurden die Voraussetzungen für die nächste Entwicklungsstufe des Farbmanagement (V5 oder besser bekannt als iccMAX) gesetzt.

Das Online-Konferenzprogramm teile sich auf mehrere Tage auf und umfasste jeweils einen konkreten Themenblock mit jeweils drei bzw. vier Vorträgen. Alle Video-Aufzeichnungen können kostenlos auf der Webseite der ICC heruntergeladen werden. Den Auftakt bildete die Session mit dem Titel „emerging needs in colour management of colorimetric and spectral data“, welche am 16.11.2020 stattfand.:

- **Color Management in the 21st century** *Danny Rich, Sun Chemical (a division of Dainippon Ink and Printing)*
- **Spectral Reproduction** *Tanzima Habib, NTNU*
- **A new colour management paradigm** *William Li, Kodak Inc.*

Die zweite Session fand am 23. November statt, wobei die Vorträge dem Leitthema "colour and material appearance" folgten:

- **Colour appearance** *Ronnier Luo, Zhejiang University*
- **3D printing spatially varying color and translucency** *Philipp Urban, Fraunhofer Institute*
- **BRDF implementation** *Tanzima Habib, NTNU*
- **Total Appearance capture and reproduction** *James Vogh, x-Rite*

Die dritte Session, am 30. November 2020, widmete sich dem Motto "Display and Print". Die Vorträge hierzu waren:

- **Colour on the web and broadcast** *Chris Lilley*
- **Printing beyond 4-colour process: requirements for n-colour reproduction** *William Li, Kodak*
- **N-colour work at Onyx** *Max Derhak, Onyx Graphics*

Die restlichen drei Sessions widmen sich den Grundlagen sowie der praktischen Umsetzung auf Basis der neuen Profilarchitektur iccMAX. Sie wurden vom "iccMAX-Erfinder" Max Derhak (Onyx Graphics) geleitet, der auch eine beispielhafte Implementierung "RefIccMAX" kostenlos zur Verfügung stellt. Der Auftakt machte der Workshop am 11.1.2021 mit den Vorträgen:

- **Features of iccMAX** MaxDerhak, *Onyx Graphics*
- **Profile connection and PCS operations** Max Derhak, *Onyx Graphics*
- **IccMAX implementation at Barbieri Michele Conni**, *Barbieri Electronic*

Am 18.1. gab es die folgenden Beiträge:

- **Working with RefICCMAX** Max Derhak, *Onyx Graphics*
- **Using iccXML to create and get information about profiles** Max Derhak, *Onyx Graphics*
- **Calculator Element programming** *Tanzima Habib, NTNU*

Das letzte Training erfolgt am 25. Januar 2021 und umfasste die folgenden Präsentationen:

- **Interoperability conformance specifications** *Phil Green, NTNU*
- **Using ICS workflow profiles to better understand iccMAX** Max Derhak, *Onyx Graphics*
- **DevCon2020 warp-up** *William Li, Kodak Inc.*

## Laserbasierter 3D-Druck in Farbe

*Bilal Gökce*

Technische Chemie I und Center for Nanointegration Duisburg-Essen (CENIDE),  
Universität Duisburg-Essen

Mit dem zunehmenden Bedarf an einem nachhaltigeren Umgang mit Rohstoffen und der Forderung nach höherer Komplexität im Design ist das Interesse an der additiven Fertigung (umgangssprachlich: 3D-Druck) sowohl in der Entwicklung und Anwendung [1] als auch in der Gesellschaft exponentiell gewachsen.[2] Im Einklang mit dieser Entwicklung entstand die Nachfrage nach neuen, für die additive Fertigung geeigneten Materialien. Im Bereich des Laser-Pulverbettenschmelzens von Polymeren (PBF-LB/P) (ein durch ISO/ASTM 52900 definiertes Verfahren) sind  $\approx 90$  % aller derzeit verwendeten Polymerpulver Polyamidpulver.[3] Daher gibt es große Anstrengungen, neue oder modifizierte verarbeitbare Materialien für dieses spezielle Verfahren zu entwickeln. Geeignete neue Pulver kommen jedoch nur sehr langsam auf den Markt, und sie haben oft damit zu kämpfen, industriellen Qualitätsstandards zu entsprechen, wie z. B. ausreichende Fließfähigkeit, optische Absorption sowie Schmelz- und Verfestigungseigenschaften. [4]

Die Entwicklung von PBF-LB-verarbeitbaren Polymeren, wie z. B. TPU, wird durch die schwache Absorption im sichtbaren und nahen Infrarotbereich weiter eingeschränkt, so dass teure CO<sub>2</sub>-Laser zum Aufheizen und Verschmelzen der Pulver erforderlich sind. Um Studien zu Laser-Prozessparametern zu erleichtern sowie dem weltweiten Trend zur Kommerzialisierung von Desktop-3D-Druckern gerecht zu werden, ist der Einsatz von kostengünstigen und kompakten Diodenlasern für PBF-LB im sichtbaren oder nahen Infrarotbereich sehr erwünscht. Photothermische Sensibilisatoren auf Kohlenstoffbasis, wie z. B. Ruß, Graphen oder Kohlenstoffnanoröhren, können dieses Problem überwinden und führen zu einer starken Absorption im sichtbaren und nahen infraroten Spektrum, was das Diodenlasersintern ermöglicht, aber auch dazu führt, dass die fertigen Teile eine schwarze Farbe haben. Die Teile können also erst in der Nachbearbeitung eingefärbt werden, was ein Nachteil gegenüber der Materialextusion oder dem Binder-Jetting ist, die beide mit unterschiedlichen Farben im 3D-Druckprozess arbeiten können. Um dieses Problem zu überwinden, ist die Verwendung eines nanoskaligen photothermischen Sensibilisators mit einem auf eine bestimmte Wellenlänge abgestimmten Absorptionsbereich ein vielversprechender Ansatz. Während nano- und mikropartikuläre Additive verwendet werden können, um die optischen, mechanischen und kalorimetrischen Eigenschaften von Pulvern für PBF-LB zu verbessern, führen die typischerweise erforderlichen hohen Mengen der Additive ( $\gg 1$  Gew.-%) oft zu Agglomeration und mangelnder Dispersion. Daher werden kleine Massenbeladungen, d. h.  $< 0,1$  Gew.-%, und eine feine, homogene Dispersion der Nanopartikel benötigt. Eine skalierbare Additivierungsmethode, die diese Anforderungen erfüllen kann, ist die kolloidale

Additivierung mit ligandenfreien Nanopartikeln, die für Polyamid (PA) 12 [5] für die PBF-LB-Prozessierung gezeigt wurde. Dabei werden kolloidale Nanopartikel und Polymermikropartikel gemischt und eine homogene Dekoration der Oberflächen der Polymermikropartikel mit Nanopartikeln erreicht. Die kolloidale Additivierung von Polymeren zeichnet sich durch eine hohe Dispersion mit nur geringer Aggregation der Nanopartikel während des Prozesses aus. Insbesondere Nanopartikel, die durch die Lasersynthese [6] erzeugt werden, eignen sich für die kolloidale Beschichtung, da sie keine Liganden enthalten und oft ein verbessertes Adsorptions- Verhalten an Mikropulvern aufweisen. Da die Lasersynthese ein vielseitiges, skalierbares und wirtschaftliches Verfahren zur Erzeugung von Kolloiden ist, ist es mit der Herstellung von Pulver für die additive Fertigung kompatibel.

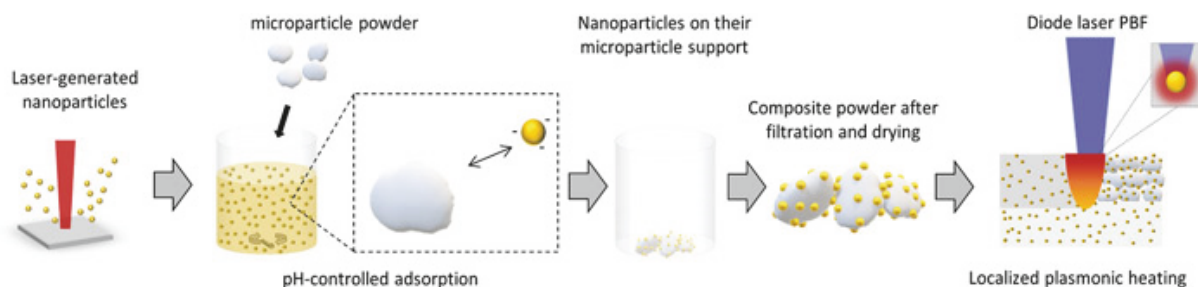


Abb. 1: Prozesskette zur kolloidalen Additivierung von Kunststoffpulvern mit lasergenerierten Nanopartikeln. [7]

In unserer aktuellen Studie [7] haben wir gezeigt, dass die Lichtabsorption von TPU-Pulvern in einem kleinen Spektralbereich erhöht werden kann, um PBF-LB mit einem Diodenlaser bei 445 nm unter Verwendung eines geringen Massenanteils an Silbernanopartikeln ( $\ll 1$  Gew.-%) durchzuführen. Silber-Nanopartikel eignen sich aufgrund ihres hohen molaren Absorptionskoeffizienten ideal für den Einsatz als photothermische Sensibilisatoren. Die in Abbildung 1 dargestellte kolloidale Additivierungsrouten wurde verwendet, um eine hohe Dispersion und eine hohe Oberflächenbedeckung von plasmonischen Silber-Nanopartikeln auf TPU-Mikropulvern zu erreichen, um Licht bei 445 nm während der PBF-LB zu absorbieren, ohne dass das Endteil nach der Verarbeitung eine schwarze oder graue Farbe aufweist.



Abb. 2: Links: Mit Nanopartikeln additierte Kunststoffpulver. Rechts: 3D-gedruckte Kunststoff-Geometrien in Farbe.

Nach dem 3D-Druck sind die Nanopartikel weiterhin gut auf der Oberfläche der Kunststoff-Teile verteilt (Abb. 2 rechts). Außerdem korrelieren die optischen Eigenschaften der plasmonischen Pulver (Abb. 2 links) stark mit der Dispersionsqualität und der Adsorptionsmenge der Nanopartikel auf der Oberfläche des Polymers, was die Analyse des optischen Pulvers zu einer leistungsfähigen Methode für das schnelle Screening von Parametern macht. Insgesamt unterstreicht diese Studie das Potenzial der kolloidalen Additivierung in Bezug auf die Modifizierung der Eigenschaften von optischen Pulvern mit kleinen Mengen hochdisperser Nanopartikel. Den Farben sind bei diesem Verfahren keine Grenzen gesetzt wie in Abb. 2 dargestellt. Als Bonus werden auch noch andere Eigenschaften der Nanopartikel, wie z. B. die antibakterielle Wirkung von Silber oder die magnetischen Eigenschaften von Eisenoxid, erhalten.

### Literatur:

- [1] S. C. Ligon, R. Liska, J. Stampfl, M. Gurr, R. Mülhaupt, *Chem. Rev.* 2017, 117, 10212.
- [2] R. Jiang, R. Kleer, F. T. Piller, *Technol. Forecast. Soc. Change* 2017, 117, 84.
- [3] K. Wudy, D. Drummer, *Addit. Manuf.* 2019, 25, 1.
- [4] M. Schmid, A. Amado, K. Wegener, *J. Mater. Res.* 2014, 29, 1824.
- [5] T. Hupfeld, T. Laumer, T. Stichel, T. Schuffenhauer, J. Heberle, M. Schmidt, S. Barcikowski, B. Gökce, *Proc. CIRP* 2018, 74, 244.
- [6] D. Zhang, B. Gökce, S. Barcikowski, *Chem. Rev.* 2017, 117, 3990.
- [7] T. Hupfeld, A. Wegner, M. Blanke, C. Doñate-Buendía, V. Sharov, S. Nieskens, M. Piechotta, M. Giese, S. Barcikowski, B. Gökce, *Adv. Opt. Mater.* 2020, 8, 2000473.



München, Oktober 2020  
Fogra-Forschungsbericht 12.017 K

# Grafischer 3D-Druck - Farb- getreue Monitordarstellung für im Polyjet- und Multijet- Fusion-Verfahren herge- stellte 3D-Objekte

Andreas Kraushaar  
Marco Mattuschka  
Mostafa Abdelkader Morsy  
Philipp Urban

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Dr. Andreas Kraushaar	1	Einleitung	4
Dr. Marco Mattuschka	2	Grundlagen des winkelabhängigen Reflexionsverhalten	5
Mostafa Abdelkader Morsy	3	Vom 2D- zum 3D-Softproof (HDR)	7
Dr. Philipp Urban	4	Physikalisch motivierte Bildsynthese	9
Fogra-FB/DE-2021/03-DE+12.017	5	Softproofaufbau	10
Stichworte: 3D-Druck, Farbe, Softproof	5.1	Umsetzung eines 3D-Softproofs	10
	5.2	Farbpsychologische Bewertung der Softproofdarstellung: Farbe	14
	5.3	Farbpsychologische Bewertung der Softproofdarstellung: Glanz	17
	6	Zusammenfassung und Ausblick	22
	7	Literatur	22

Das IGF-Vorhaben 08595/17 des Fogra Forschungsinstituts für Medientechnologien e.V., Einsteinring 1a, 85609 Aschheim bei München, einer Forschungsvereinigung unter dem Dach der AIF, wurde über die AIF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Diese Arbeit wurde vom Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V., durchgeführt. Es ist beim Finanzamt München (Steuernr. 143/215/00707) als gemeinnütziger Verein eingetragen.



#### Impressum

Fogra-Forschungsberichte erscheinen mindestens vierteljährlich und geben in ihrem Inhalt die Schlussberichte der von der Fogra bearbeiteten Forschungsvorhaben wieder.

Sie werden herausgegeben vom Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V., Einsteinring 1a, 85609 Aschheim bei München; Tel. +49 89.431 82-0, Fax + 49 89.431 82-100, E-Mail [info@fogra.org](mailto:info@fogra.org), Internet [www.fogra.org](http://www.fogra.org)  
©2021 by Fogra



*Andreas Kraushaar*

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden die praktischen Grundlagen für die physikalisch korrekte digitale Darstellung von im 3D-Druck erzeugten Objekten untersucht. Diese farbgenaue Visualisierung wird 3D-Softproofing genannt und impliziert eine visuell gute Übereinstimmung zwischen dem gedruckten Objekt in einer Abmusterkabine und der Bildschirmdarstellung im Hinblick auf Farbe und Oberflächenbeschaffenheit, d.h. insbesondere des Glanzes. Dazu wurde zu Beginn ein Konzept für einen Renderer entwickelt, der physikalische Objektparameter mit berücksichtigt. Er umfasst die Charakterisierung der notwendigen 3D-Umgebung samt aller relevanten Objekte.



*Marco Mattuschka*

Auf Basis dieser Anforderungsbeschreibung widmete sich ein Schwerpunkt der Charakterisierung der Szenenumgebung (Environment Map), die mittels Hochdynamikerefassung (HDR) realisiert wurde, sowie der datengetriebenen und modellbasierten Beschreibung der winkelabhängigen Reflexionseigenschaften (BRDF) der 3D-Drucke. Konkret kamen die 3D-Vollfarbdrucker von Stratasys, Mimaki (beide Polyjet-Printing) und HP (Multijet-Fusion-Verfahren) zum Einsatz.



*Mostafa Abdelkader Morsy*

In einem zweiten Schwerpunkt wurde eine Software zur Bildschirmdarstellung von 3D-Drucken entwickelt, der diesen Anforderungen genügt. So konnte die beispielhafte Umsetzung mittels technischer und bildhafter Testobjekte sowohl an frei verfügbaren Visualisierungsprogrammen wie dem etablierten Mitsuba-Renderer als auch mit dem eigens entwickelten Renderer ("Cuttlefish Proof") untersucht werden.



*Philipp Urban*

Im dritten Schwerpunkt wurde eine Bewertung der Bildschirmdarstellung der 3D-Drucke vorgenommen. Hierbei wurde ein neuer Ansatz verfolgt, bei dem das 3D-Objekt physikalisch und farbmetrisch korrekt in eine 2D-Szene überführt wird. Im Anschluss wurde dies mit der Bildschirmdarstellung durch einen Probanden verglichen und bewertet. Dieser Ansatz wurde zunächst messtechnisch umgesetzt und mittels psychovisualer Experimente überprüft und optimiert. Damit können viele störende Einflussparameter, die beim "3D-2D-Vergleich" auftreten, eliminiert und die Bewertung der Visualisierungsgüte deutlich beschleunigt werden. Die erreichte visuelle Qualität der Bildschirmdarstellung ähnelt bereits denen des international etablierten Validation Prints, d.h. einer Vorstufe zum farbverbindlichen Proof.

## 1 Einleitung

---

Ein elementarer Prozessschritt im 3D-Druck ist die visuelle Vorhersage des Datenmodells am Monitor (3D-Softproof) im Rahmen der Datenaufbereitung. Die Anforderungen hinsichtlich Farbtreue und geometrischer Genauigkeit an diese Vorhersagbarkeit sind dabei stark anwendungsfall- und prozessabhängig. So spielt in vielen Segmenten des 3D-Drucks die farbgetreue Wiedergabe gegenwärtig noch eine untergeordnete Rolle. Dies ändert sich allerdings rapide. Kontinuierlich steigende Qualitätsanforderungen der Kunden, zusätzliche Materialien in den bereits etablierten 3D-Druckverfahren sowie die Vorstellung gänzlich neuer 3D-Druckverfahren [1] führen bei mangelhafter Vorhersage zunehmend zu Reklamationen und zusätzlichen Kosten durch Testdrucke und Neuproduktionen. Dies gilt insbesondere für den grafischen 3D-Druck, bei dem Druckobjekte vollfarbig, also im Vier- oder Mehrfarbdruck erzeugt werden. Diese Unterkategorie des 3D-Druck-Marktes wird derzeit von den neuen Vollfarb-Maschinen der Polyjet- oder der Multijet-Fusion-Technologien dominiert. Deshalb sind diese aussichtsreichen Nachfolger des 3DP-Verfahrens (Pulverdruck) Gegenstand des Forschungsvorhabens. Zusätzlich sind 3D-Drucke derzeit sehr zeit- und kostenintensiv was KMU vor weitere Schwierigkeiten bei der Beschaffung der Farbmuster stellt. Eine Farbvorhersage dieser Art ist nur für Modelle sinnvoll anwendbar, die im CAD-Verfahren (rechnerunterstütztes Konstruieren) erstellt werden sollen. Deshalb wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein Verfahren für einen 3D-Softproof entwickelt, welcher eine verbindliche Farbvorhersage von 3D-Drucken am Computerbildschirm realisiert.

## 2 Grundlagen des winkelabhängigen Reflexionsverhalten

---

Die Erfassung von Farben erfolgt in der grafischen Industrie mittels Spektralphotometern nach einem standardisierten Verfahren [2]. Dabei wird eine nahezu ebene Probe unter einem Winkel von  $45^\circ$  mit kollimiertem Licht beleuchtet und senkrecht zur Oberfläche ( $0^\circ$ ) detektiert. Ein Prüfdruck (oder Proof) hat die Aufgabe, das spätere Druckergebnis zum Zwecke der Revision zu simulieren. Bezüglich der Albedofarbe müssen strenge Toleranzen eingehalten werden. Als zweites Appearance-Attribut sollte der Papierglanz des Prüfdruckes nach [3] in der gleichen Kategorie „matt“, „semimatt“ oder „glossy“ sein. Lässt man den Fluoreszenzeffekt außen vor, lässt sich mit Hilfe der beiden Parameter „Farbe“ und „Glanz“ eine gute visuelle Übereinstimmung zwischen Original und Reproduktion erzeugen. Für die umfangreiche Charakterisierung der visuellen Erscheinung eines 3D-Druckes ist die alleinige Erfassung der Albedo (diffuser Farbeindruck) nicht ausreichend. Dies zeigt Abb. 1 sehr deutlich.



**Abb. 1:** 3D-Druck eines Personenscans im Multi Jet Fusion und im Polyjet-Verfahren. Man erkennt die glänzenden Stellen, insbesondere in der Hose, die dem Betrachter darauf hinweisen, dass diese Oberfläche glatter und somit glänzender ist als die Oberfläche des darunterliegenden Drucks.

3D-Drucke haben im Allgemeinen eine gekrümmte Oberfläche und somit wird das Objekt sowohl im Bereich der direkten Reflexion (Spiegelwinkels) sowie indirekt gesehen. Deshalb spielen Glanzunterschiede bei der Bewertung des Aussehens hier eine übergeordnete Rolle. Um solch ein Reflexionsverhalten umfänglich zu beschreiben, ist die bidirektionale Reflexionsverteilungsfunktion oder auch kurz BRDF geeignet. Die BRDF stellt als Funktion das Reflexionsverhalten einer Oberfläche eines Materials unter beliebigen Einfallswinkeln dar. Dabei liefert sie für jeden auf dem Material auftreffenden Lichtstrahl mit einem gegebenen Eintrittswinkel den Quotienten aus Strahlungsdichte und Bestrahlungsstärke für jeden austretenden Lichtstrahl. Sie kann zum Beispiel für alle Einfalls-/Reflexionswinkel (4-dimensional), für jede Wellenlänge (5-dimensional) oder auch für jeden Punkt der Oberfläche (7-dimensional) bestimmt werden. Dieses vereinfachte Modell, das das Reflexionsverhalten von Oberflächen beschreiben kann, wird häufig in der Computergrafik eingesetzt. Bei der in diesem Projekt verwendeten Technologie zur Erstellung einer Bildsynthese (engl. Rendering) eines 3D-Druckes werden die Oberflächencharakteristiken ebenfalls mit einer BRDF beschrieben.

### **Charakterisierung der Oberfläche (Textur)**

Allen Datenformaten gemein ist, dass sie nur das Aussehen des 3D-Objekts in seiner Form und seiner visuellen Erscheinung (Appearance) an der Oberfläche beschreiben. Für die Beschreibung der Geometrie der Oberfläche wird die Technik der Gittererzeugung (engl. Meshing) verwendet. Dabei wird die Oberfläche oder ein gegebenes Raumvolumen durch eine Menge kleinerer, meist sehr einfacher geometrischer Primitiva (geschlossene Polygonzüge [4]) angenähert. Besonders häufig wird eine Triangulierung, eine Beschreibung der Oberfläche durch Dreiecke, verwendet. In den 3D-Dateiformaten werden die Eckpunkte der Polygonzüge als *Vertices* Vektor in einem 3D-Koordinatensystem, abgespeichert. Die einzelnen Flächen, parametrisiert durch geschlossene Polygonzüge, werden im Anschluss als *Faces* durch n-Vertices beschrieben. Durch diese Triangulierung wird die Geometrie der 3D-Objekte beschrieben. Für die Beschreibung des Aussehens der 3D-Drucke gibt es zwei Wege. Einerseits lassen sich die Appearance-Attribute für eine Gruppe von Faces separat definieren. Alternativ dazu kann eine Beschreibung

durch die Zuordnung von UV-Koordinaten für jedes Polygonobjekt geschehen, wobei die Koordinaten auf eine zweidimensionale Textur, wie z.B. eine jpg- oder tif-Datei zeigen. In den meisten Anwendungsfällen wird das UV-Mapping für die Beschreibung der diffusen Reflexion (Albedofarbe) verwendet. Hierbei wird eine RGB bzw. CMYK abgespeicherte Texture-Map verwendet. Abb. 2 zeigt die einzelnen Elemente der digitalen Modelle.

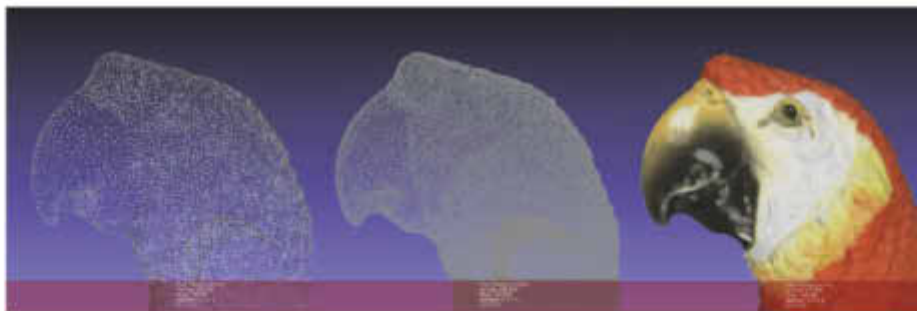


Abb. 2: Aufbau eines typischen 3D-Dateiformat, Links: nur Vertices, Mitte: Faces, Rechts: Geometrie und Textur

### 3 Vom 2D- zum 3D-Softproof (HDR)

Für den konventionellen Druck gibt es für die Bewertung von Druckerzeugnissen einen etablierten Standard [5]. Dieser beschreibt einerseits die notwendigen Eigenschaften der Abmusterkabine und zusätzlich welche Bedingungen das Umfeld erfüllen muss. Im Einklang zu dem Standard der Abmusterung ist auch ein Standard für die virtuelle Begutachtung von Drucken, dem sogenannten Softproof, durch einen standardisierten Prozess beschrieben [6]. Zu dieser Thematik wurden in der Vergangenheit mehrere Forschungsprojekte durchgeführt [z. B. 7].

Für die visuelle Bewertung von 3D-Drucken gibt es noch keine Empfehlung. Nahe liegend ist es, auch für 3D-Drucke eine Abmusterkabine, welche eine Zertifizierung nach [5] besitzt, zu verwenden. Werden in die marktüblichen Normlichtkabinen unbedruckte Druckpapiere gelegt, so werden diese sehr homogen ausgeleuchtet. Der Glanz der Papiere spielt für die Begutachtung nur eine untergeordnete Rolle, da die Proben in der Normlichtkabine nicht im Spiegelwinkel betrachtet werden. Bei der visuellen Begutachtung von Druckproben werden die Proben überschlägig unter einem Winkel von 45 Grad beobachtet und bei ca. 0 Grad beleuchtet. Falls eine gute

Übereinstimmung der Farbmesswerte nach [2] vorliegt, kann erwartet werden, dass dies auch für die visuelle Bewertung gilt. Für die Begutachtung einer gekrümmten Oberfläche hingegen spielt der Glanz eine entscheidende Rolle. Dies wird durch ein Bild einer stark spiegelnden Kugel besonders deutlich und ist in Abb. 3 dargestellt.



**Abb. 3:** Durch gekrümmte und stark spiegelnde Oberflächen werden Glanzreflexionen sichtbar. Prototypischer Aufbau der verwendeten Abmusterkabine in diesem Vorhaben.

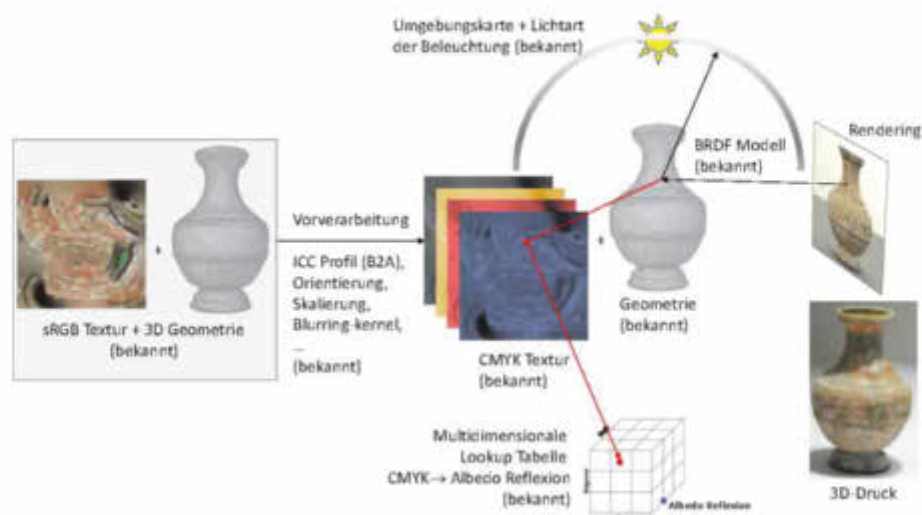
Für eine physikalisch korrekte Darstellung eines 3D-Objektes spielt somit dessen Umgebung eine entscheidende Rolle und muss für eine physikalisch korrekte Darstellung genau erfasst werden. Eine spektrale Erfassung der Lichtquelle allein würde hier nicht ausreichen. Ein weiteres Problem stellt der Dynamikumfang einer Szene dar, die ein stark spiegelndes Objekt enthält. Das menschliche Auge ist in der Lage einen großen Dynamikumfang zu erfassen. Handelsübliche Computerbildschirme haben nur eine begrenzte maximale Leuchtdichte und sind somit nicht in der Lage eine derartige Szene physikalisch exakt nachzustellen.

Die meisten handelsüblichen Bildschirme weisen Leuchtdichten von weniger als  $500 \text{ cd/m}^2$  auf. Wird ein derartiger Bildschirm verwendet, ist es nicht möglich, so eine Szene exakt im Sinne gleicher CIE XYZ-Werte, wobei CIE Y der absoluten

Leuchtdichte entspricht, nachzustellen. Um jedoch eine wahrnehmungsgetreue Darstellung zu erreichen, wird ein sogenanntes Tone-Mapping verwendet. Beim Tone-Mapping werden die Intensitätsverhältnisse so skaliert, dass sie auf einen Bildschirm mit einem kleineren Helligkeitsumfang ausgegeben werden können. Weiterführende Details zum durchgeführten Tone-Mapping sowie zur Charakterisierung der gedruckten 3D-Objekte finden Sie im Abschlussbericht sowie auf der Themenwebseite: <https://fogra.org/forschen/medienvorstufe/3d-softproof-12017>.

#### 4 Physikalisch motivierte Bildsynthese

Für eine akkurate Simulation des 3D-Drucks benötigt der Renderer genaue Szeneninformationen (siehe Abb. 4).



**Abb. 4: 3D-Softproof benötigt bekannte Szeneninformationen (Betrachtungsbedingungen, Modellinformationen, Materialinformationen und Druckprozessinformationen) um den 3D-Druck akkurat zu rendern.**

Diese umfassen bei dem im vorliegenden Vorhaben maßgeblich verwendeten Renderer "Cuttlefish Proof" die folgenden drei Hauptbestandteile: die Beleuchtung, die Druckprozess- bzw. Treiberinformationen der zu rendernden Objekte sowie den Eigenschaften der Druckmaterialien, d.h. Die Albedo-Reflexion, die für eine 45/0 Geometrie vermessen wird und die BRDF. Weitere Details hierzu sind ebenso im Abschlussbericht zu finden.

## 5 Softproofaufbau

---

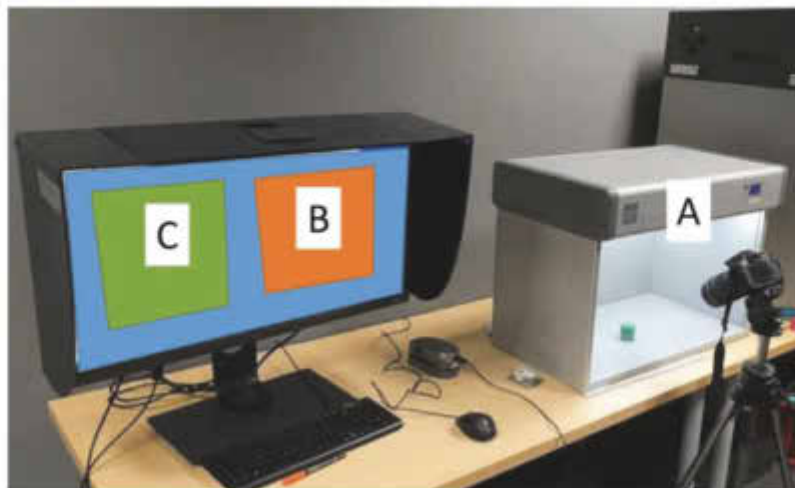
### 5.1 Umsetzung eines 3D-Softproofs

Die Untersuchung der Einflussfaktoren auf die farbverbindliche Bildschirmdarstellung war bereits Gegenstand mehrerer IGF-Vorhaben [8]. Insofern konnten beim Design des 3D-Abmusterplatzes auf die umfangreichen Erfahrungen und Hilfsmittel zurückgegriffen werden. Im Gegensatz zum etablierten 2D-Softproof ergeben sich für den 3D-Softproof eine Reihe an zusätzlichen Einflussfaktoren. Der wichtigste Parameter bzw. die größte Änderung ist die Betrachtung einer dreidimensionalen Szene inkl. der Wechselwirkung der Objekte untereinander und mit dem Umfeld. Um diese Wechselwirkung so gering wie möglich zu halten wird in diesem Vorhaben der 3D-Softproof auf die Betrachtung eines Objektes beschränkt, dass sich jeweils in einer konkreten Abmusterkabine befindet. Der Einfluss der Beleuchtung für die Betrachtung von 3D-Objekten ist im Gegensatz zur Beleuchtung weitestgehend planer Vorlagen wie z.B. Drucke deutlich größer, wobei der Schwerpunkt auf dem Grad der Diffusität bzw. "umgedreht" das Ausmaß wie stark oder wie gering die auf das Objekt fallende Beleuchtung gerichtet ist. Als zweiter grundlegender Unterschied ist die Visualisierungs-Software<sup>1</sup> zu nennen, welche die Szeneninformationen derart umsetzt, dass aus dem Blick des "virtuellen Auges" ein Bild entsteht, dass dem des 3D-Objektes visuell nahekommt. Das bedeutet, dass ein solcher Renderer nur dann eine farbechte Nachstellung erzeugen kann, wenn die Kameraposition exakt mit der Position und dem Sichtfeld des Betrachters zusammenfällt. Hier fällt konkret auf, dass die meisten Menschen ihre Umwelt mit beiden Augen betrachten, eine handelsübliche Kamera aber nur das Licht aus "einem Auge" erfasst. Aufgrund dieser und weiterer Schwierigkeiten beim Vergleich von 3D-Szenen mit 2D-Nachstellungen wurde ein neuer Ansatz entwickelt. Dieser besteht darin, die 3D-Szene mit einer farbmetrisch hochgenauen, profilierten Kamera zu erfassen und daraus ein CIEXYZ-Bild zu berechnen. Hierbei spiegelt die CIEY-Koordinate die Leuchtdichte

---

<sup>1</sup> Als Fachbegriff hat sich auch im deutschen Sprachgebrauch der Begriff Renderer etabliert. Dies gilt auch für die berechneten Bilder, die als Renderings bzw. gerenderten Bilder bezeichnet werden.

wieder, die aus der Betrachterposition, z. B. mit einem Telespektorradiometer, gemessen wird. Um den großen Leuchtdichte- bzw. Helligkeitsbereich zu erfassen, ist eine Hochdynamik-Aufnahme nötig. Das Ziel dieser farbgenauen Erfassung ist der Vergleich zweier zweidimensionaler Bilder – dem Kamerabild und dem gerenderten Bild aus der Visualisierungssoftware wie z.B. Adobe Photoshop, dem frei verfügbaren Mitsuba-Renderer oder dem hier entwickelten Forschungs-Renderer "Cuttlefish-Proof". Dieser Ansatz ist schematisch in Abb. 5 verdeutlicht.



**Abb. 5:** Darstellung des verwendeten 3D-Softproof-Aufbaus. Ausgangspunkt ist ein zu betrachtendes Objekt (hier das grüne Oktagon-Prisma), welches sich in einer charakterisierten Abmusterkabine befindet – "A". Auf einem daneben befindlichen, farbgenau charakterisierten Monitor werden anschließend sowohl das Kamerabild der Szene ("C") als auch das Bild des Renderers ("B") dargestellt. Die visuelle Bewertung erfolgte im abgedunkelten Raum.

Unter der Voraussetzung, dass die Realisierung des Kamerabildes eine genaue Nachstellung der originalen Szene, konkret des Retinabildes des einäugigen Betrachters, entspricht ("A-C-Vergleich"), kann dieser Ansatz hervorragend verwendet werden, um die Güte des 3D-Softproofs durch den praktisch wesentlich einfacheren "B-C-Vergleich" zu bewerten. Die Ergebnisse der Güte der Bildnachstellung finden sich in Abschnitt 5.2 für die Farbreproduktion und in Abschnitt 5.3 für die Wiedergabe des Glanzes. Die konkrete Umsetzung der 3D-Softproofdarstellung gemäß diesem Ansatz soll stichpunktartig beschrieben werden:

1. Erstellung eines ICC-Kameraprofils für konkrete Abmustersituation (dies erfolgte mit intensitätslinearen HDR-Bildern von der ColorChecker-Farbtabelle mit 24-Farbfeldern samt einer ca. 3 cm großen gepressten Tablette aus Bariumsulfat und dem Programm "input" der Firma basICColor)
2. Erstellung eines ICC-Bildschirmprofils des verwendeten BenQ-Monitors. Dieser wird in seinem nativen Verhalten mit maximaler Leuchtdichte betrieben, konkret  $320 \text{ cd/m}^2$ .
3. Initialisierung der Kamera (des Auges) des Renderers, dass eine gute Übereinstimmung der Position und des Sichtfeldes des jeweiligen Objektes gegeben ist
4. Rendering der Szene, wobei zunächst nur der Weißstandard (Bariumsulfat-Tablette) in der konkreten Environment Map und der Lichtart D50 verwendet wird. Das Rendering wird als spektrales Strahldichtebild (oder direkt als CIEXYZ-Bild) abgespeichert, wobei prinzipbedingt keine absolute Referenz vorliegt.
5. Ermittlung der mittleren CIEXYZ-Werte auf Basis einer ausgewählten Fläche in der Mitte des gerenderten Weißstandards. Sie dienen als Referenz für den diffusen Weißpunkt.
6. Normierung des CIEXYZ-Bildes, sodass die CIEXYZ-Werte für die Bariumsulfat-Tablette die korrekte Reflexion aufweisen, hier  $CIEY=0.98$ .
7. Ermittlung der RGB-Werte, die für den Bildschirm nötig sind, um eine Leuchtdichte von  $160 \text{ cd/m}^2$  zu erzielen. Dies ist zum einen eine etablierte Größe für den 2D-Softproof und gibt zum anderen noch ausreichend "Spielraum" für die Abbildung der Glanzlichter – mit Reflexionswerten oberhalb des diffusen Weißpunktes.
8. Rendering der Szene mit dem zu bewertenden 3D-Datenmodell (und den vorher, manuell ermittelten optimalen Materialeigenschaften)
9. Umsetzung des Tone-Mappings, für den Fall, dass das normierte CIEXYZ-Bild Werte größer als 2 aufweisen. Bis zu diesem Wert können die CIEXYZ-Werte nämlich 1:1 auf dem Monitor dargestellt werden.

10. Darstellung des Rendering-Bildes auf der rechten Hälfte des Bildschirms ("B")
11. Anwendung des ICC-Kameraprofils auf das Bild der Kamera vom Objekt.  
Wichtig ist, dass dieses Bild mit den gleichen Belichtungseigenschaften aufgenommen wird wie die Testtafel, die zu Charakterisierung verwendet wurde. Es hat sich hier ebenso herausgestellt, dass die Position der Farbtafel in der Szene von Bedeutung ist. Sie sollte möglichst planparallel zum Objekt platziert werden.
12. Anwendung der gleichen Normierung und des Tone-Mappings, wenn nötig.
13. Darstellung des Kamerabildes ("C")

### 5.2 Farbpsychologische Bewertung der Softproofdarstellung: Farbe

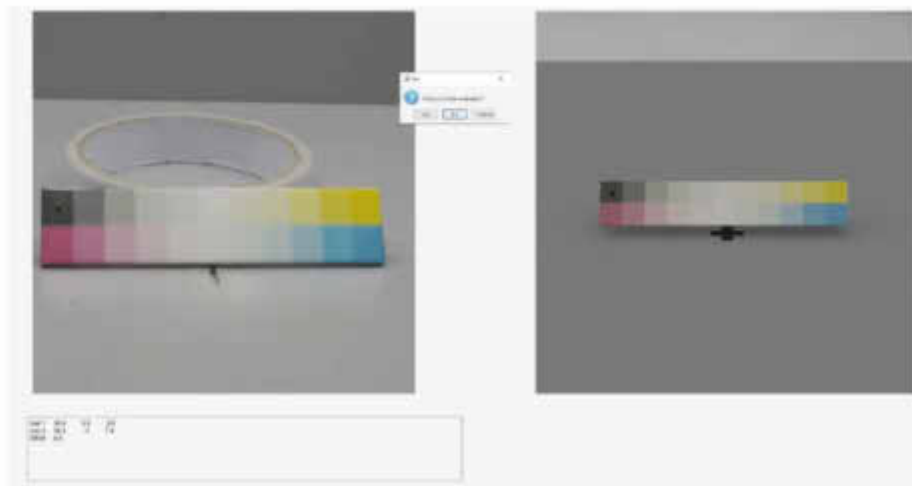
Die Wahrnehmung des Glanzes und der Farbe sind unterschiedliche Eigenschaften, die in noch nicht vollständig erforschter Weise zu einem ganzheitlichen Bildeindruck zusammenwirken. Um die Güte der Nachstellung dieser beiden Appearance-Attribute: Farbe und Glanz möglichst direkt zu erfassen, und nicht das summarische Zusammenspiel zweier Beiträge, werden beide Attribute in diesem Vorhaben getrennt bewertet. Dieser Trennung liegt zum Teil auch die zuvor beschriebene Normierung des Kamera- und des Rendering-Bildes zu Grunde. Die Verwendung des annähernd perfekt reflektierenden Bariumsulfats als Adaptationspunkt ermöglicht es die Farbe bzw. die Farbgenauigkeit mit den etablierten Methoden der Farbabstandsbewertung zu beschreiben. Die Details der Glanzbewertung finden sich im folgenden Abschnitt.

Vor diesem Hintergrund wurden exemplarische 3D-Drucke aus der aufgebauten Mustersammlung für die Bewertung der Farbgenauigkeit verwendet. Einzige Voraussetzung ist die Präsenz einiger homogen eingefärbter Farbbereiche im jeweiligen Objekt. Für die drei unterschiedlichen, gegenwärtig im Vollfarbdruck relevanten Drucksysteme wurde eine Matlab-Routine entwickelt, welche die besagte Farbtransformation durchführt und beide Bilder auf dem Monitor bildschirmfüllend und farbgenau darstellt.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die Farbgenauigkeit der Kamera- und der Bildschirmprofilierung mit Farbabständen von  $\Delta E_{00\text{Mittel}} \approx 0.3 - 1.0$  bzw.  $\Delta E_{00\text{Max}} \approx 1.5$  bis 3.5 als sehr gut zu bezeichnen sind. Beispielhafte Protokolle mit den entsprechenden Details finden sich auf der Themen-Webseite.

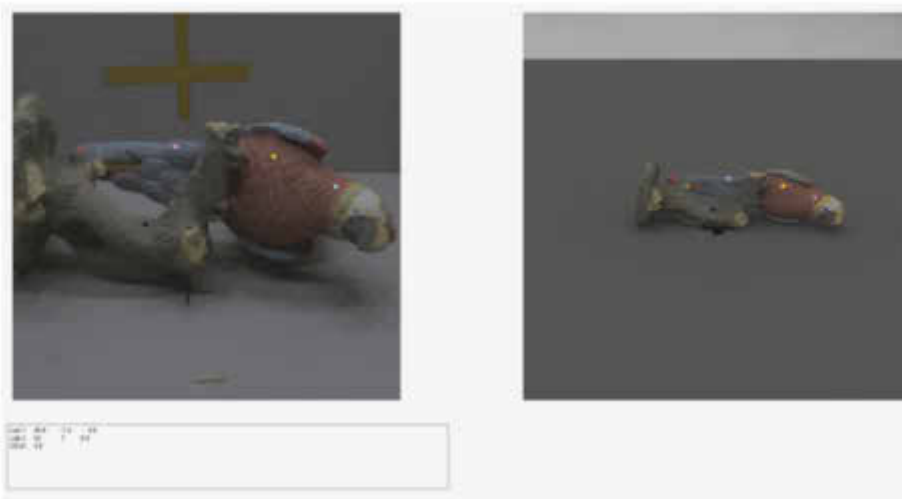
Bei der Betrachtung der zu vergleichenden Bilder, d.h. dem Kamerabild der 3D-Szene ("C") und dem Rendering Ergebnis ("B") ist zu beachten, dass der neutralgraue Kabinenuntergrund nicht Teil der Szenenbeschreibung war und nur durch einen Körper gleicher spektraler Reflexion von 37 % charakterisiert wurde. Ferner ist anzumerken, dass je nach Motiv nicht ganz identische Kamerapositionen und somit Bildausschnitte verwendet wurden. Dies ist für die farbmétrische Genauigkeit allerdings nicht relevant. Hinzu kommt, dass manche 3D-Szenenaufnahmen teilweise

noch Inhalte zeigen, die nicht Teil der 3D-Szenenbeschreibung sind, sondern beispielsweise der stabilen Platzierung der abzumusternden Proben dient. Die entwickelte Routine erlaubt neben der farbgenauen Darstellung auch die Markierung von ausgewählten Flächen und berechnet und visualisiert die jeweiligen Farborte und Farbabstände. Die Abb. 6 zeigt den Vergleich von Kamerabild (3D-Szene) und Rendering für den 3D-Druck eines Druckkontrollstreifens auf dem Mimaki 3DUJ-553.



**Abb. 6:** Bildschirmkopie aus dem Vergleich des Kamerabildes (links, "C") und des Renderings für dieses Objekt (rechts, "B"). Das 3D-Objekt "Druckkontrollstreifen" wurde mit dem Mimaki-Drucker gedruckt und man erkennt eine gemeinhin gute visuelle Übereinstimmung. Konkret wurde das schwarze Feld für die Farbbewertung ausgewählt. Der Farbabstand von  $\Delta E_{00}=4,5$  ist in der Infobox unter dem linken Bild zu erkennen. Die Rolle Klebeband dient lediglich der Stabilisierung des Objektes.

Die gute Übereinstimmung zeigt sich auch beim Vergleich von 3D-Drucken mit den beiden anderen 3D-Druckern, siehe Abb. 7 und Abb. 8. Eine detaillierte Auswertung aller Objekte samt aller manuell ausgewählten Farbbereiche findet sich auf der Themen-Webseite. Im Mittel über alle Drucker und Druckobjekte ergeben die insgesamt 118 Farbpaare eine Farbstatistik von  $\Delta E_{00\text{Mittel}} \approx 5$  und ein 95%-Quantil von  $\Delta E_{00\text{95th}} \approx 8$ . Dies entspricht etwa den Anforderungen des international etablierten und in ISO 12647-8 publizierten Validation Prints.



**Abb. 7:** Bildschirmkopie aus dem Vergleich des Kamerabildes (links, "C") und des Renderings für dieses Objekt (rechts, "B"). Das 3D-Objekt "Papagei" wurde mit dem HP Jet Fusion 300/500-Drucker gedruckt und erkennt eine sehr gute visuelle Übereinstimmung. Konkret wurden mehrere Felder für die Farbbewertung ausgewählt. Der Farbabstand von  $DE_{00}=4,8$  ist in der Infobox unter dem linken Bild zu erkennen und kennzeichnet die jeweils zuletzt ausgewählte Farbe, hier den Ast.



**Abb. 8:** Bildschirmkopie aus dem Vergleich des Kamerabildes (links, "C") und des Renderings für dieses Objekt (rechts, "B"). Das 3D-Objekt "Baumstamm" wurde mit dem Stratasys J850-Drucker gedruckt.

Ein Validation Print kennzeichnet in der grafischen Industrie eine farbverbindliche Vorhersage des späteren 2D-Druckergebnisses, dass nur unwesentlich geringere Qualitäts-Anforderungen wie der Digitalprüfdruck, d.h. dem Contract Proof gemäß ISO 12647-7, aufweist.

### 5.3 Farbpsychologische Bewertung der Softproofdarstellung: Glanz

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Glanzempfindung ist so alt wie die Versuche zum Verständnis und der objektiven Bewertung der Farbempfindung [9]. Während für die Farbempfindung eine etablierte Farbmeterik hervorgegangen ist, gilt dies nicht für den Glanz. Hier spricht Hunter in [9] über sechs unterschiedliche Arten bzw. Attributen von Glanz, die im aktuellen Licht von Dietz in [10] zusammengefasst werden. Die renommierte CIE-Wörterbuch definiert Glanz als:

“Attribut der Erscheinung, bei der reflektierte Glanzlichter von Objekten aufgrund der richtungsselektiven Eigenschaften der Oberfläche als überlagert wahrgenommen werden“

Während allgemein Einverständnis herrscht, dass der Glanz nicht sechs unabhängige Dimensionen für dessen eindeutige Beschreibung benötigt, werden je nach Versuchsaufbau und Herangehensweise ein, zwei oder drei Dimensionen als nötig erachtet. Interessant ist, dass einige Forscher mit mehrdimensionaler Skalierung nachweisen, dass für eine konkrete Aufgabenstellung und Sammlung an zu bewertenden Proben die Glanzempfindung mit nur einer Dimension zu beschreiben sei [11, 12]. Leloup fasst den gegenwärtige Stand der Technik in [13] brillant zusammen: Glanzmessgeräte bzw. Reflektometermessgeräte zur Charakterisierung von Aspekten des Oberflächenglanzes werden seit Jahrzehnten in vielen Industriezweigen eingesetzt und sind auch heute noch im Gebrauch. Dies beweist ihre Nützlichkeit, z. B. zur Qualitätskontrolle und zum Erkennen von Anomalien oder Defekten während der Produktion. Dennoch haben diese Geräte ihre Grenzen, die sie für die empfindungsgemäße Messung des Oberflächenglanzes ungeeignet macht. Dort wird die Bedeutung der gesamten winkelabhängigen Rückstrahlcharakteristik, d.h. der BRDF oder umgangssprachlich als "Streukeule" bezeichnet, vorgeschlagen.

Die Vorgehensweise der Glanznachstellung in diesem Vorhaben folgt diesem Ansatz indem sie die Glanzcharakteristik (BRDF) der zu simulierenden Oberflächen durch ein physikalisch motiviertes Modell (Cook-Torrance-Modell) erfasst und diese im Rendering verwendet. Die datengetriebene Modellierung mittels goniometrischer Messungen auf der einen und die modellbasierte Beschreibung der Glanzkeule auf

der anderen Seite zeigten die Vor- und Nachteile beider Ansätze. Die messtechnische Erfassung liefert verlässliche BRDF-Daten, erfordert allerdings ein vergleichsweise teures Messgerät und eine zeitaufwändige Messung. Zudem ist die Winkelauflösung nahe dem Spiegelwinkel oft nicht ausreichend fein genug. Letztere Beschränkung wird durch moderne Appearance-Messgeräte wie dem Canon Reflectance Analyser oder dem RhoPoint IQ-S von Konica Minolta überwunden. Die Verwendung vieler Datenpunkte in Form einer Lookup-Tabelle wurde implementiert und untersucht; erfordert beim Renderingprozess allerdings eine aufwändige Interpolation und verlangsamt somit die Darstellung. Aus diesem Grund wurde in diesem Vorhaben der modellbasierte Ansatz auf Basis des Cook-Torrance-Modells weiterverfolgt. Auf Basis der Messwerte wurden somit Startparameter für die Modellparameter  $m$  (Brechungsindex) und  $n$  (Rauheit) abgeleitet. Durch eine visuelle Feinjustage beim Vergleich des Renderingbildes mit dem Original in der Abmusterkabine wurden somit für jeden der drei Drucker gut passende Modellparameter ermittelt. Hierzu zählt auch eine Weichzeichnung der Textur, um die Effekte der Volumenstreuung überschlüssig zu erfassen. Die Modellierung der Volumenstreuung ist nicht Gegenstand dieses Vorhabens. Sie soll in einem Folgevorhaben untersucht werden.

Letztlich gilt es den Helligkeitsbereich der für den Glanzeindruck charakteristischen Empfindung zu erfassen und diesen mittels Tone-Mapping auf einen Monitor mit herkömmlichem Dynamikumfang (SDR, Standard Dynamic Range). Das hier verwendete und in der Langfassung beschriebene Verfahren basiert auf Ergebnissen von Phillips und Ferwerda [14], die den Glanzunterschied bei der Reproduktion auf SDR- und HDR-Monitoren untersucht haben. Hierbei gab es kleine Vorteile für die Renderings auf einem HDR-Monitor, doch im Wesentlichen galt es eine sanfte Kompression der Glanzlichter in den verfügbaren Helligkeitsbereich durchzuführen. Die finale Bewertung des Glanzes erfolgte nach einigen Tests und persönlichem Austausch mit Prof. Ferwerda, der verschiedene Vergleiche (Bildschirm mit Bildschirm, Reale Szene mit Reale Szene und Bildschirm mit realer Szene in [15]) untersucht hat, mittels einer Ordinalskala. Das bedeutet, dass die Glanzempfindung für jeden der drei Bereiche "A", "B" und "C" separat voneinander betrachtet und bewertet wird.

Die Bewertung erfolgt anhand des Torso Glanzgradfächers [16], den wir dankenswerterweise vom Torso-Verlag zur Verfügung gestellt bekommen haben. Es ist ein in Lackbeschichtung ausgeführter Fächer mit vier Farben grau, rot, schwarz und weiß im Format 60 x 200 mm. Jede der vier Farben ist in sechs sogenannten Glanzgraden eingeteilt, die auf Boller zurückgehen [17]. Er nennt diese: Stumpfmatt, Matt, Halbmatt, Halbglanz, Glanz und Hochglanz. In diesem Vorhaben werden diese Begriffe im Sinne sechs diskreter Stufen auf einer Ordinalskala verwendet. Die Aufgabenstellung lautet:

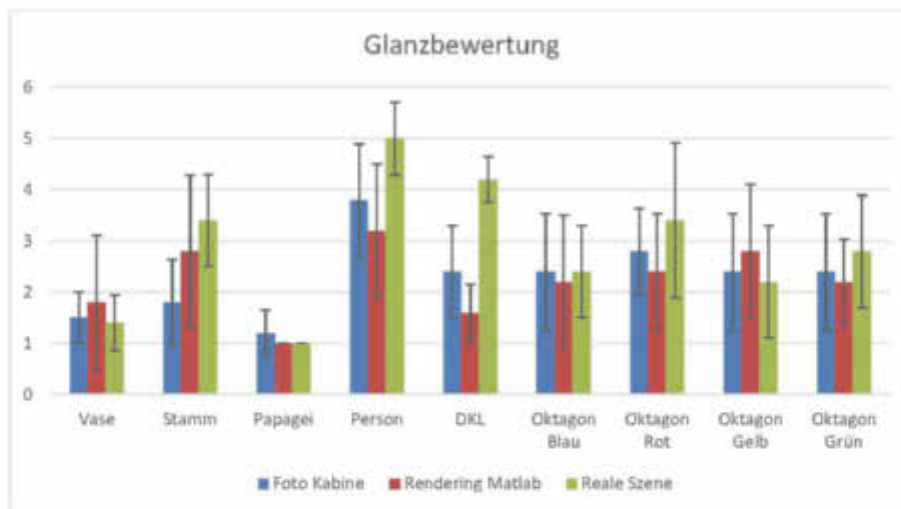
Vor sich sehen Sie eine Referenz-Glanzskala mit vier Farben, die in ihrem Glanz in sechs Stufen (Noten) von 1. stumpfmatt bis 6. hochglänzend variieren. Bitte bewerten Sie nacheinander die beiden Bildschirmdarstellungen sowie das Originalobjekt in der Abmusterkabine, wobei Sie die Note verwenden, die Ihnen im Vergleich zwischen der Darstellung und dem Referenzfächer am ähnlichsten erscheinen. Sie können auch Zwischenstufen verwenden, also z.B. 3.5. Dieser Versuchsaufbau ist in Abb. 9 dargestellt.



**Abb. 9:** Proband bei der Durchführung der Glanzbewertung. Vor ihm liegt der Glanzfächer, der ständig betrachtet werden kann. Wichtig ist, dass jeweils nur eine Vorlage, d. h. "A", "B" oder "C" bewertet wird.

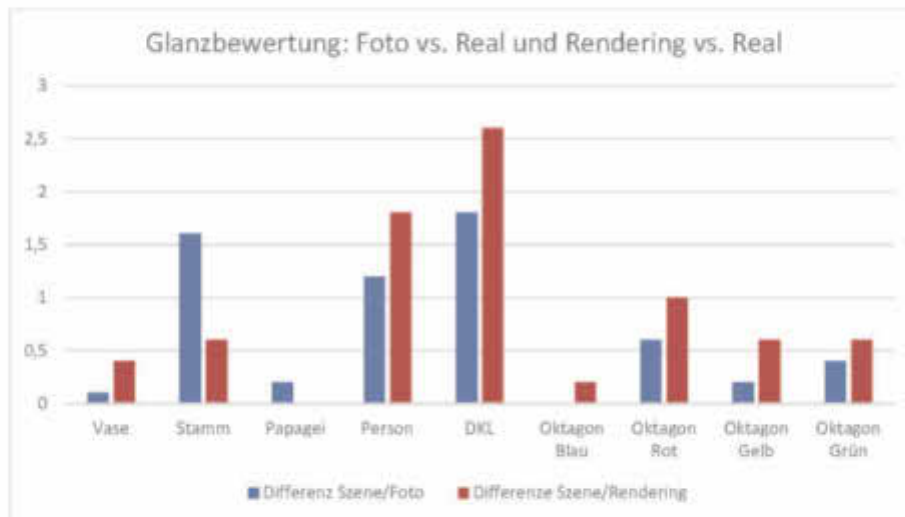
### Auswertung

Die Auswertung erfolgte mit 8 normalsichtigen Personen, konkret Mitarbeiter der Fogra. Corona bedingt konnten leider keine Teilnehmer aus dem projektbegleitenden Ausschuss (PA) teilnehmen. Die Auswertung der Glanzbewertung zeigt Abb. 10. Die Fehlerbalken kennzeichnen die Unterschiede zwischen den Probanden.



**Abb. 10: Glanzeinteilung von 1 (stumpfmatt) bis 6 (hochglänzend) der 9 verwendeten 3D-Objekte. Blau: Bewertung des Glanzeindrucks vom HDR-Foto der Szene, welches via Tone-Mapping am Bildschirm dargestellt wird. Rot: Glanzbewertung des Renderings, nach der Normierung und Tone-Mapping. Grün: Glanzbewertung der realen Szene, d.h. des 3D gedruckten Objektes in der Abmusterkabine.**

Man erkennt zum einen, dass die verwendeten 3D-Drucke nicht den gesamten Glanzumfang ausnutzen und eher matt als glänzend sind. Dies liegt zum einen in der Natur der aktuell verwendeten 3D-Druckprozesstechnik und zum anderen in der fehlenden Nachbearbeitung (z.B. Polieren) dieser Objekte begründet. Unter der Prämisse, dass das farbgenaue und Glanzlichter abbildende Foto als Referenz dient, zeigt das 3D-Rendering in allen Fällen eine nicht zu unterscheidende Ähnlichkeit, was für die hohe erreichte Rendering-Qualität steht. Der Vergleich beider Monitorarstellungen mit der realen Szene zeigt bei den matten Proben ebenso eine sehr gute Übereinstimmung. Lediglich für die halb-glänzenden Objekte ist der Glanzeindruck stets 1-2 "Glanznoten" geringer. Bei der Person handelt es sich um das 3D-Objekt aus Abb. 1. Eine differenzierte Darstellung der Unterschiede zwischen der realen Szene und den beiden Bildschirmnachstellungen zeigt Abb. 11.



**Abb. 11: Unterschiede der Glanzbewertung in der hier verwendeten Glanzskala mit den Noten 1 bis 6. Man erkennt, dass bis auf das 3D-Objekt "Stamm" (siehe Abb. 8) das Rendering eine etwas größere Abweichung zur realen Szene aufweist als das Foto.**

Diese Unterschiede bestätigen die Erwartung, dass die korrekte Aufnahme eines Objektes immer noch die bessere Übereinstimmung zu diesem aufweist als ein Rendering auf Basis einer komplett digitalen Szenenbeschreibung. Als mögliche Ursachen kommen mehrere Einflussfaktoren in Betracht. Zum einen ist sicherlich noch etwas Optimierungspotenzial in der Charakterisierung der Oberflächencharakteristik (BRDF) vorhanden, da lediglich nur ein Brechungsindex (für alle Wellenlängen) verwendet wurde. Des Weiteren ist die Volumenstreuung zu nennen, die nicht Gegenstand dieses Vorhabens war.

Auf Basis der hier gemachten Erfahrungen und vielversprechenden Ergebnisse wird gegenwärtig ein Folgevorhaben beantragt, der u.a. diese Einflussfaktoren besser berücksichtigen wird.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

---

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden die praktischen Grundlagen für die physikalisch korrekte digitale Darstellung von im 3D-Druck erzeugten Objekten untersucht. Die erreichte visuelle Qualität ähnelt bereits denen des international etablierten Validation Prints, d.h. einer Vorstufe zum farbverbindlichen Prüfdruck.

Die heutigen Drucktechnologien erlauben es voll-farbige 3D-Modelle mit örtlich-variabler Transluzenz bis hin zur Transparenz zu drucken – die damit einhergehende Designvielfalt stößt allerdings an die Grenzen, da das verwendete Alpha-Blending zu nicht korrekten Vorhersagen führt. Dies wird Gegenstand eines Folgevorhabens werden, dass den sperrigen Arbeitstitel: "3D-Softproof zur akkuraten Simulation volumetrischer Lichtstreuungseffekte und prozessbedingter geometrischer Fehler im graphischen 3D-Druck" trägt. Alle interessierten Anwender sind auch hier zu einer aktiven Mitarbeit eingeladen.

## 7 Literatur

---

1 N.N.: 2020

Wohlers Report - 3D Printing and Additive Manufacturing

State of the Industry Annual Worldwide, Progress Report

ISBN 978-0-9913332-3-3

2 ISO 13655:2017-07

Graphic technology- Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images

Beuth-Verlag, 10772 Berlin [www.beuth.de]

3 ISO 12647-1:2013-12

Drucktechnik - Prozesskontrolle für die Herstellung von autotypischen Farbausätzen, Prüfdrucken und Auflagendruckern - Teil 1: Parameter und Messmethode

Beuth-Verlag, 10772 Berlin [www.beuth.de]

4 N.N

Polygonzug

[https://de.wikipedia.org/wiki/Polygonzug\\_\(Mathematik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Polygonzug_(Mathematik))

5 Norm ISO 3664:2009

Betrachtungsbedingungen für die graphische Technologie und die Fotografie

Beuth-Verlag, 10772 Berlin [[www.beuth.de](http://www.beuth.de)]

6 ISO 12646:2015-07

Drucktechnik - Bildschirme zur farbverbindlichen Darstellung von Bildinhalten - Parameter und Betrachtungsbedingungen

Beuth-Verlag, 10772 Berlin [[www.beuth.de](http://www.beuth.de)]

7 KRAUSHAAR, A.: 2010

Aufbau und Untersuchung eines Softproof-Arbeitsplatzes

AiF-Nr: 15002

8 KRAUSHAAR, A.; BYSKO, R.; TRÖSTER, P.; KARP, P.: 2016

Einflussgrößen auf die hochqualitative Monitordarstellung hinsichtlich einer Standardisierung von Softproofsystemen

München, Fogra-Abschlussbericht, Nr. 10.058

9 HUNTER, R. S.: 1987

The Measurement of Appearance

New York, John Wiley & Sons, 2te Auflage, ISBN:0-471-830006-2

10 DIETZ, C.: 2018

Stop playing around – Die Spielarten des Glanzes

Hohenstein, Jahrestagung der DfwG, Vortrag

URL: <http://wordpress.dfwg.de/wp-content/uploads/dfwg-report/Report-2019-1.pdf>

11 BILLMEYER FW, Jr.; O'DONELL:

Visual gloss scaling and multidimensional scaling analysis of painted specimens.

In: Color Res Appl., 1987, 12:315–326.

12 O'DONNELL FXD.; BILLMEYER, F.W. Jr:

Psychometric scaling of gloss.

In: Review and Evaluation of Appearance: Methods and Techniques.

Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1986, S. 14–32.

13 LELOUP, F.; OBEIN, G.; POINTER, M.; HANSELAER, P.: 2014

Toward the Soft Metrology of Surface Gloss: A Review

In: Color Research & Application 39. 10.1002/col.21846

14 PHILLIPS, J.B; FERWERDA, J.: 2010

Effects of Image Dynamic Range on Apparent Surface Gloss

In: 17th Color Imaging Conference Final Program and Proceedings

URL: [https://www.imaing.org/site/PDFS/Reporter/Articles/2010\\_25/REP25\\_1\\_CIC17\\_PHILLIPS\\_PG193.pdf](https://www.imaing.org/site/PDFS/Reporter/Articles/2010_25/REP25_1_CIC17_PHILLIPS_PG193.pdf)

15 FERWERDA, J.: 2014

Perceiving Gloss in Surfaces and Images

In: Journal of Vision August 2014, Vol.14, 453.

doi:<https://doi.org/10.1167/14.10.453>

16 WOLBER, R.:2020

Glanz-Skala zur visuellen Bestimmung des Glanzgrades von Oberflächen

URL: <https://www.torso.de/Farbstandards/Spezial-Farbkarten/Deutschland/Torso-R-Gloss-Meter-Glanzgradfaecher:683.html>

17 BOLLER, C.: 1955

*Eine Glanz-Skala.*

In: Fette Seifen Anstrichmittel. Band 57, Nr. 12, 1955, S. 1018–1020.

## BiRD – “Bidirectional Reflectance Definitions”, a EURAMET EMPIR pre-normative project

Alfred Schirmacher and Tatjana Quast

AG 4.51 Reflection and Transmission, PTB Braunschweig



In the joint research project BiRD (5/2017 – 8/2020) [1] eleven partners carried out work in four technical work packages to clarify how measurements on standard materials and surfaces exhibiting **goniochromatism**, **gloss** and **sparkle visual effects** should be performed.

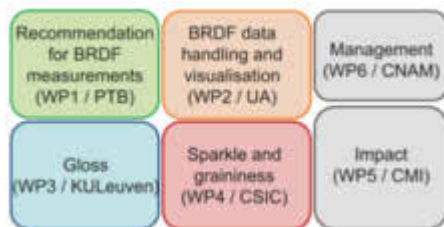


Fig.1 BiRD, Objectives and Structure

Gained results and knowledge are transferred then to CIE technical committees TC2-85 (BRDF), JTC 17 (Gloss), and JTC 12 (Sparkle) [2] to generate definitions of the measurands and recommendations on related measurements. The latter two TCs were established within the course of and by the project. In WP2 an universal data-format to handle BRDF data and an app to visualize them were developed. A specific TC for these activities was not established.

More details information than can be given here can be found on the webpage [1] of the project in terms of progress reports and presentations. In the following only some aspects from WPs 1-5 will be addressed and the project’s work programme is illustrated.

Particular work in WP1 focused on *Optical parameters of the illumination and detection beams* for glossy, goniochromatic (interference and diffractive), and sparkling samples ([3], [4]). Also investigated was the influence of the *Measurement area in BRDF measurements* for such samples, covering the range from standard sizes down to sub-millimetre dimensions. To ensure low-uncertainty BRDF measurements, also disturbing side-effects must be taken into account. Therefore, certain activity was invested to study the influence of polarization ([5], [6]) and fluorescence [7]. Last, but not least, as BRDF measurements generally are multi-dimensional and therefore can tend to be complex and time consuming, sampling strategies were examined that provide maximum information on a basis of a minimum of geometries/ measurements. Currently the acquired information is assembled to generate a technical report in CIE TC 2-85.

Starting by a survey on currently available data formats, WP2 followed the aim to develop a universal file format. A human readable JSON text-format was chosen [8]. The relevant Appearance descriptors from BRDF data and visualisation modes [9] were identified and then integrated into an open-access web application [10]. Providing data in the project’s file format, users can visualize their own results by simply upload to this

app. Also available for the general public will be the data of the project, which are to be stored for further use by the consortium members.

In WP3 (Gloss) the *State of the art of gloss measurement and gloss perception* was analysed. Current measurement methods show certain deficits as they are not adapted to the characterisation of sophisticated visual effects stemming from e.g. the subtle structure of the gloss peak ([11], [12]). To support the development of new methods in gloss measurement with the long perspective to establish a gloss standard observer, starting from a CIE reportship, the new JTC 17 was founded. Project results regarding the *Acquisition of parameters on the physical nature of gloss* and by *Acquisition of parameters on the visual nature of gloss* were fed into the discussion in JTC 17 to draft *Recommendations for the physical and visual evaluation of gloss*. One important technical result is the development of an image-based gloss measurement technique [13].

WP4 worked on the measurands, the measurement technique, and appropriate measurement scales for sparkle and graininess [14]. Although sparkle and graininess effects can be found in a wide span of industrial applications, no commonly used standard procedures existed and no generally accepted definition of the measurands were available. Only two commercial systems applying spatially resolved CCD-measurements were in use, using not-disclosed definitions of measurands. Therefore, the work-programme of WP4 aimed for an *Establishment of a CIE TC on sparkle and graininess* [2] as discussion forum, which was reached in the early phase of the project. Similar as for gloss measurement this development was supported by a foregoing reportship. Consortium partners are also members of the founded JTC and the *Definition of measurands and measurement procedure for sparkle and graininess* laid the foundation for *Testing the existing measurement capabilities of NMIs for sparkle and graininess* ([15], [16]). Without too restricted requirements on technical details, four participants realized their own camera-based measurement approaches, which were then used for comparison. Despite technical diversity, an encouraging agreement of results was found. It can be concluded that an appropriate definition of measurands was found and that traceable measurements can be provided by the involved institutes. In a following step, also the combination of the objective measurement results with result gained by visual sparkle ranking [17] was successful and showed an excellent correlation. Therefore, for the first time, a at least preliminary sparkle scale could be established, which can be regarded as an outstanding result of the BiRD project.

Dissemination of obtained project results is always an important part in the project's work programme, usually accomplished by publications and presentations at conferences. Additional workshops and training courses were planned to be held in conjunction with the 5<sup>th</sup> CIE Expert Symposium on Colour and Visual Appearance (Hongkong, April 2020). But according to the developing epidemic this conference was postponed and in personal presence finally cancelled. But recorded video tutorials in conjunction with life question sessions were found as a new format and project partner contributed successfully with two sessions concerning *Advanced BRDF* and *Sparkle and*

*Graininess* in the July event [18]. It is discussed to keep the information available for the interested public for a longer period of time.

On the following pages, some selected items of BiRD activities are visualized by presentation sheets.

In conclusion one can state that the BiRD project, a EURAMET research programme with a relatively small budget, will have an ongoing influence on the standardisation of appearance-related measurement.

## Literature and links

- [1] 16NRM08 BiRD “Bidirectional Reflectance Definitions”, Joint research programme in the EURAMET European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), May 2017 – August 2020, <https://www.birdproject.eu>  
<https://www.euramet.org/research-innovation/research-empir/?L=0>  
<https://www.euramet.org/publications-media-centre/empir-publicity/?L=0> and information in: Normative Brochure - EMPIR Call 2016
- [2] CIE (<http://cie.co.at>) technical committees related to the BiRD project:  
TC 2-85 “Recommendation on the geometrical parameters for the measurement of the Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)”  
JTC 12 (D2/D1/D8) “The measurement of sparkle and graininess”  
JTC 17 (D1/D2/D8) “Gloss measurement and gloss perception: A framework for the definition and standardization of visual cues to gloss”
- [3] A Rabal, G Ged, G Obein, “Effect of the solid angle of collection in BRDF of glossy samples”, BiRD 3rd Progress Meeting April 2018,  
<https://www.birdproject.eu/3rd-progress-meeting-presentations/>
- [4] A Ferrero and J Campos, “Angular and Spectral Bandwidth Considerations in BRDF Measurements of Interference and Diffraction-Based Coatings”, *Coatings* 2020, 10, 1128; doi:10.3390/coatings10111128
- [5] T Quast, A Schirmacher, K-O Hauer and A Koo, “Polarization properties and microfacet-based modelling of white, grey and coloured matte diffuse reflection standards”, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 972 (2018) 012024, doi :10.1088/1742-6596/972/1/012024
- [6] A Calderón, A Ferrero and J Campos, “Accounting for polarization-related effects in the measurement of the bidirectional reflectance distribution function”, *Metrologia* 2020, Volume 57, Number 4 045003, <https://doi.org/10.1088/1681-7575/ab804f> (BxDiff project result, see <https://bxdiff.cmi.cz/>)

- [7] F Manoocheri, “Spatial distribution of scattered & emitted photons from fluorescent reference material”, BiRD 3rd Progress Meeting April 2018, <https://www.birdproject.eu/3rd-progress-meeting-presentations/>
- [8] D Lanevski and P Venäläinen, “BiRDView - an open source GUI to plot and compare BRDF”, BiRD Progress Meeting May 2019, <https://www.birdproject.eu/progress-meeting-may-2019/>
- [9] F M Martínez-Verdú, “Objectives and review of elements to be included in a universal BRDF file format”, BiRD 3rd Progress Meeting April 2018, <https://www.birdproject.eu/3rd-progress-meeting-presentations/>
- [10] BiRDViewv2.0, <https://birdview-app.herokuapp.com>
- [11] G. Ged, PhD thesis CNAM 2017, [guillaume.ged@lecnam.net](mailto:guillaume.ged@lecnam.net)
- [12] G Ged, A M Rabal, M Himbert, G Obein, “Assessing gloss under diffuse and specular lighting”, *Color Res Appl.* 2020; 45:591–602, [wileyonlinelibrary.com/journal/col 591, https://doi.org/10.1002/col.22510](https://doi.org/10.1002/col.22510)
- [13] F B Leloup, J Audenaert, P Hanselaer, “Development of an image-based gloss measurement instrument”, *J. Coat. Technol. Res.*, 16 (4) 913–921, 2019, <https://doi.org/10.1007/s11998-019-00184-8>
- [14] E Perales, B Micó-Vicent, K Huraibat, V Viqueira Pérez, “Evaluating the Graininess Attribute by Visual Scaling for Coatings with Special-Effect Pigments”, *Coatings* 2020 10(4):316, <https://doi:10.3390/coatings10040316>
- [15] A Ferrero, N Basic, J Campos, M Pastuschek, E Perales, G Porrovecchio, M Šmid, A Schirmacher, J L Velázquez and F M Martínez-Verdú, “An insight into the present capabilities of national metrology institutes for measuring sparkle”, *Metrologia* 2020 **57** 065029, <https://doi.org/10.1088/1681-7575/abb0a3>
- [16] N Basic, P Blattner, M Pastuschek, “Spatially resolved measurements of diffuse reflectance”, Conference: Proceedings of the 29th Quadrennial Session of the CIE, DOI: 10.25039/x46.2019.PO063
- [17] A Ferrero, E Perales, N Basic, M Pastuschek, G Porrovecchio, A Schirmacher, J.L. Velázquez, J Campos, F M Martínez-Verdú, M Smid, P Linduska, T Dauser, P Blattner, “Preliminary measurement scales for sparkle and graininess”, *OpticsExpress* ID 411953, accepted, to be published February 2021
- [18] Online tutorials on “CIE Colorimetry”, “Reproduction and Measurement of 3D Objects”, (a) “Advanced BRDF”, (b) “Sparkle and Graininess”,  
(a): A Koo, “Reflectance and BRDF measurements – let’s start with good basics”;

T Quast & A Schirmacher, "BRDF and polarization: pitfalls - and how to avoid them"; G Obein, "BRDF in the specular, don't be naive"; B Deschamps & S Régnier, "BRDF in automotive industry, what for?"; S Morim Santos & M Ortiz, "BRDF in cosmetic industry, what for?"

(b): N Basic, "Brief Description of the Physics Behind Sparkle and Graininess"; C Vignolo, "The Evolution of Automotive Coatings and the Challenge of Texture Measurements"; A Ferrero, "Visual Texture from Reflectance Measurements"; E Peralez, "Visual Assessment of Sparkle and Graininess",

<http://cie.co.at/news/cie-tutorials-colorimetry-and-visual-appearance>

## Projekt DIN/TR 5020 „Verfahren zur Vereinbarung von Farbtoleranzen“ – eine praxisbezogene Einführung in die gute Farbmessung

Dr. Stephan Gauss | Eschborner Str. 18 | 65843 Sulzbach | Tel. 06196 72039



Seit 1995 ist der DIN-Fachbericht 49 „Verfahren zur Vereinbarung von Farbtoleranzen“ eine kurze, aber sehr praxisbezogene Einführung in die Farbmessung. Sein Titel erscheint sehr theoretisch aber der größte Teil der 52 Seiten ist eine praxisnahe Darstellung darüber, was für gute und präzise Farbmessungen zu beachten ist. Dies gilt sowohl messtechnisch als auch bezüglich der Probenherstellung. Dazwischen gibt es dann auch die mehr theoretischen Kapitel zur Signifikanz von Farbabständen und zur Toleranzfindung.

Nach 26 Jahren war eine Aktualisierung dieses Berichts dringend nötig. So gab es seither in der Farbmessung neue Farbräume (z. B. DIN99, DIN 6176:2018-10) und neue Farbdifferenzformeln (z. B. CIEDE2000, DIN EN ISO 11664-6:2016-12). Neue Metallic-Beschichtungen oder Interferenzpigmente bewirkten die Weiterentwicklung der Messtechnik und die Mehrwinkelmessung kam hinzu (DIN 6175:2019-07). Die neuen IT-Möglichkeiten lassen inzwischen ganz andere Möglichkeiten der mathematischen Auswertung zu, wie sie auch in der kommenden DIN 55600 beschrieben werden. Ein anderer mindestens genauso wichtiger Aspekt sind die seit 1995 global deutlich höheren Erwartungen aus dem Qualitätsmanagement. Die Kommunikation von präzisen Farbmaßen zwischen Lieferanten und Kunden ist umfangreicher und deutlich engere Toleranzen sind einzuhalten. Dies verlangt gleichzeitig eine spezifischere Abstimmung zwischen den Partnern von der Probenaufbereitung bis zu den Messbedingungen. Das Thema dieses Berichtes ist also immer wichtiger geworden.

Seit einem Jahr arbeitet nun ein Projektteam von 15 Autoren aus dem Normausschuss FNF 2 an dem neuen Text, wobei die alte Struktur zum größten Teil übernommen wurde. Die verschiedenen Kapitel wurden je von einem oder mehreren Fachleuten des Themas entweder neu erstellt oder doch grundlegend überarbeitet und so ist ein Text

von nun ca. 90 Seiten entstanden. Diese vielen Autoren sorgen für einen abwechslungsreichen Schreibstil auch bei diesem eher trockenen Thema.

Der Inhalt des Reportes beginnt mit der korrekten visuellen Bewertung und geht dann zur Mess- und Auswertetechnik über. Welche Messgeometrie ist für welche Probenart und welche Messaufgabe am geeignetsten? Was ist bei Besonderheiten zu beachten? Anschließend werden die Farbabstandsformeln von CIELAB und seinen Nachfolgern vorgestellt.

Die nachfolgenden Kapitel behandeln die Unsicherheit bei der Farbprüfung und ihre Ermittlung. Was ist die Mess- und Prüfunsicherheit einer Farbmessung? Was ist die Signifikanz der gemessenen Farbabstände? Als nächster Schritt folgt die Darstellung zur Toleranz bei der instrumentellen Farbabmusterung, zu Toleranzvereinbarungen und zur Prozessfähigkeit der Probenherstellung. In den anschließenden Kapiteln wird sehr praxisbezogen die korrekte Prüfung der Farbeigenschaften von Farbmitteln (Pigmente und Farbstoffe) diskutiert. Dabei wird auch neu spezifisch auf die Prüfung von Schwarzpigmenten sowie Metalleffekt- und Perlglanzpigmenten eingegangen. Zum Abschluss wird auf spezifische farbmetrische Fragestellungen in den anwendungstechnischen Bereichen von Lack, Druck, Kunststoff und Textilien eingegangen.

Der neue Report ist aktuell in der letzten redaktionellen Überarbeitung und wird danach von DIN-Arbeitskreis FNF freigegeben. Mit einer Veröffentlichung des DIN/TR 5020 ist dann zum Jahresende 2021 zu rechnen.

## Auch das noch!

Das Titelbild zeigt die psychologische Bewertung des gesamten Umfelds (Blickfeldes) auf unsere Wahrnehmung. Und so entstand das Titelbild: Zunächst wurden rote, grüne und blaue Streifen im Wechsel aufgetragen. Die Wörter „Frohe Ostern 2021“ wurden in Hellgrau angelegt und über diese Streifen positioniert (siehe Abbildung auf dieser Seite). Teilweise wurden einzelne Farbstreifen dann in den Vordergrund über die Wörter gesetzt: Bei „Frohe“ sind die roten Streifen nach vorne gerückt, bei „Ostern“ die grünen und bei „2021“ die blauen. Durch diese Ausrichtung erscheinen die Wörter farbig, obwohl sie objektiv hellgrau sind (siehe Abbildung auf der nächsten Seite).

W.R.Cramer







