



Report

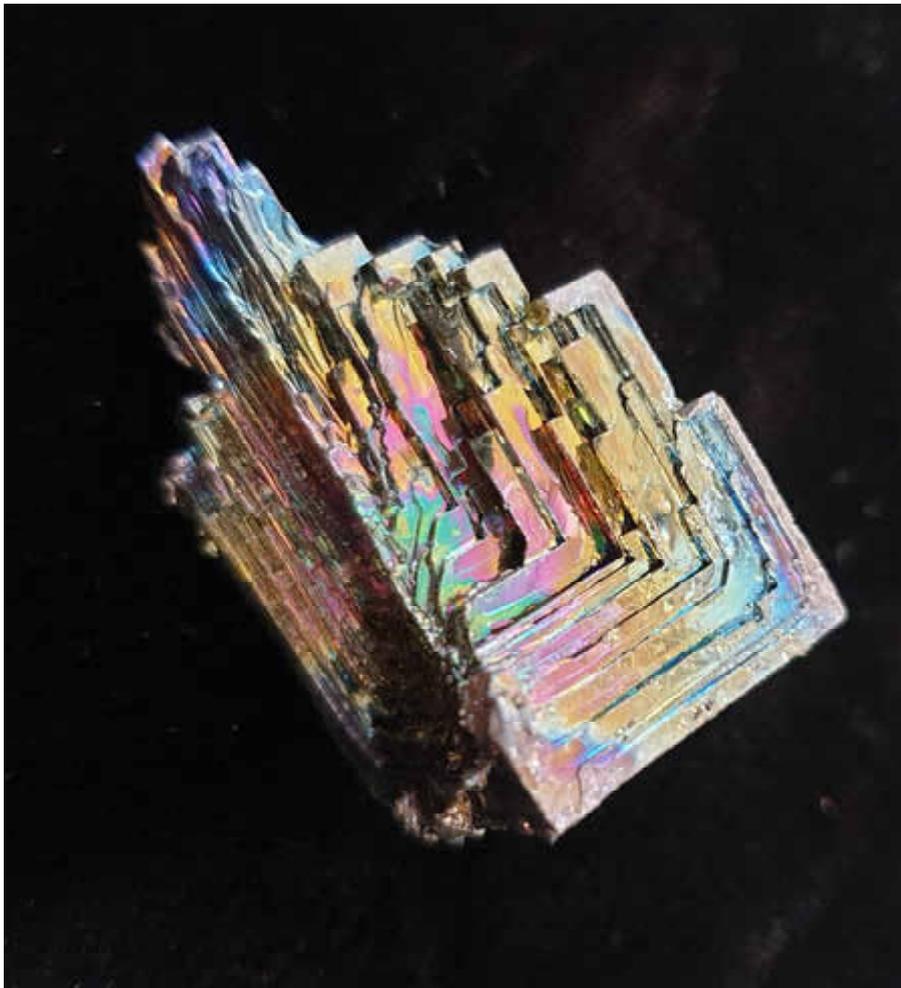
1  
2023

ISSN 1860-2835

## Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

Verantwortlich: Dr. Andreas Kraushaar



Schillernde Farben auf einem Wismutkristall





## Inhaltsverzeichnis

<i>Impressum</i> .....	4
<i>Liebe Farbgemeinde!</i> .....	6
<i>42 Jahre Engagement für die Display-Messtechnik - ein Nachruf auf Jürgen Neumeier (1959-2023)</i> .....	8
<i>Bericht zur International Colour Association (AIC) Konferenz</i> .....	11
<i>Einladung zur DfwG - Jahrestagung 2023</i> .....	16
<i>Optische Signalwirkung und Beleuchtungsleitlinien für das moderne Innenlicht im Automobil – Ein Forschungsüberblick</i> .....	20
<i>Farbwahrnehmung und Optimierungsansätze bei der Beleuchtung von Kunstobjekten</i> .....	30
<i>Farbpräferenz-Datenbank – Eine explorative Datenanalyse</i> .....	36
<i>Dynamische Regelung eines Mehrkanal-LED-Systems hinsichtlich eines konstanten Weißpunktes und einer konstanten Farberscheinung von Objekten</i> .....	45
<i>Erkenntnisse von Psychophysikalischen Untersuchungen an durch Drucken metallisierten Oberflächen</i> .....	57
<i>Farbgetreue 3D-Textilsimulation</i> .....	69
<i>Ergebnisse der winkelaufgelösten BTDF-Charakterisierung von optisch transmittierenden Diffusoren</i> .....	78
<i>Schnittstelle FARBE – Folge 2</i> .....	85
<i>Auch das noch!</i> .....	99

## Impressum

*Präsident*

*Dr. Andreas Kraushaar*

*Telefon 089/43182335*

*E-Mail kraushaar@fogra.org*

*Vize-Präsident*

*Prof. Dr. Christoph Schierz*

*Telefon 03677/693731*

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

*Schatzmeister*

*Dr. Carsten Steckert*

*Telefon 030/6032554*

*E-Mail Carsten.steckert@gmx.de*

*Sekretärin*

*Dr. Karin Bieske*

*Telefon 03677/693737*

*E-Mail 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*

## **DfwG-Report 2023/1**

*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-ilmenau.de*

*Appearance*

*Christian Dietz*

*Telefon 09337/9004799*

*E-Mail christian.dietz@rhopointinstruments.de*

*Multigeometrie*

*Dr. Alfred Schirmacher*

*Telefon 0531/5924510*

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

*Internet*

*www.dfwg.de*

*ISSN 1860-2835*

*Verleger und Herausgeber*

*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.*

*Vereinsregister*

*VR 4979 NZ, Amtsgericht Charlottenburg (Berlin)*

*Redaktion und Layout*

*Werner Rudolf Cramer*

*Druckbetreuung*

*Andreas Kraushaar*

*Titelfoto*

*Karin Bieske*

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

## Liebe Farbgemeinde!

die einführenden Worte für den ersten Report im neuen Jahr fallen weniger poetisch aus, da die Nachricht vom Tod unseres Mitglieds Jürgen Neumeier den Geist nicht wirklich frei für farbenfrohe Worte macht. Ich erinnere mich noch gut, wie wir zusammen auf der letzten Jahrestagung über die von ihm initiierte Kompetenzmatrix der DfwG-Mitglieder gesprochen haben. Ich bedanke mich bereits herzlich bei Michael Becker für den rührenden Nachruf in diesem Report. Dies bestätigt eindrucksvoll die weisen Worte, die mir meine Oma schon mit auf den Weg gab: Willst du den lieben Gott zum Lachen bringen, erzähl ihm deine Pläne.

Nach Frank Rochows Erfahrungen zur International Colour Association (AIC) Konferenz, die 2022 noch rein digital stattfand, widmet sich der erste Teil dieses Reports den Details unserer diesjährigen 47ten Jahrestagung in Potsdam. Ein herzliches Dankeschön an dieser Stelle an die Organisatoren vor und hinter den Kulissen des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Polymerforschung (IAP), insbesondere Armin Wedel. Das Dankeschön gilt ebenso Karin Bieske, die alle wesentlichen Informationen zusammenfasst. Dies beginnt bei der Anmeldung, reicht über die Erinnerung zur Einreichung von Vortragsvorschlägen und Studentenpatenschaften und Förderpreisvorschlägen bis hin zur Einhaltung der formellen Anforderungen an einen eingetragenen Verein wie die rechtzeitige Einladung zur Jahrestagung sowie die Planung der Mitgliederversammlung.

Inhaltlich umfasst dieser Report weitere Beiträge der vergangenen Jahrestagung. Es beginnt mit der mittlerweile etablierten „Darmstadt-Connection“, vier lichttechnische Beiträge aus dem Hause Khanh. Aus China zugeschaltet gibt Christopher Weirich einen Forschungsüberblick über die optische Signalwirkung und Beleuchtungsleitlinien für das moderne Innenlicht im Automobil. Im Anschluss daran berichtet Paul Mylan über die Farbwahrnehmung und Optimierungsansätze bei der Beleuchtung von Kunstobjekten. Julian Klages präsentiert daraufhin seine Meta-Analyse zu Farbpräferenz-Datenbanken. Der diesjährige Förderpreisträger in der Kategorie „beste Masterarbeit“ Christian Endl, stellte die entwickelte dynamische Regelung eines Mehrkanal-LED-Systems hinsichtlich eines konstanten Weißpunktes und einer konstanten Farberscheinung von Objekten vor.

Vier Minuten Fußweg ist es vom Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung zum Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren. Dort promoviert Carl Fridolin Weber. Er berichtet über die Erkenntnisse von psychophysikalischen Untersuchungen an durch Drucken metallisierten Oberflächen.

Im Anschluss daran geht es in den Süden nach München. Hier berichten Marco Mattuschka (Vizoo) und meine Person (Fogra) über die Zwischenergebnisse aus einem laufenden Forschungsvorhaben. Konkret geht es um die farbgerechte 3D-Textilsimulation, die so manche Herausforderung mit sich bringt. Der letzte Fachbeitrag dieser Ausgabe kommt von der PTB aus Braunschweig. Tatjana Quast berichtet von Ergebnissen der winkelaufgelösten BTDF-Charakterisierung von optisch transmittierenden Diffusoren.

Den Abschluss bilden vier weitere Personentafeln aus dem Konvolut „Schnittstelle Farbe“, der Sonderedition - 30 Jahre Dresdner Farbenforum von Eckard Bendin.

## **DfwG-Report 2023/1**

Die Folge 2 schaut auf visionäre Vorleistungen, die vor reichlich 200 Jahren in engem Zusammenhang entstanden und der Entwicklung von Farbwissenschaft und Farbkunst nachhaltige Impulse verliehen haben. Ich verrate an dieser Stelle lediglich, dass alle vier eine starke Beziehung zu Weimar hatten.

Zuletzt berichtet Werner Cramer in seiner schon fast traditionellen Rubrik „Auch das noch“ über Farbmessgeräte, die ein Zuhause suchen.

Ich wünsche Ihnen einen farbenfrohen Frühling!

*Andreas Kraushaar*



## 42 Jahre Engagement für die Display-Messtechnik - ein Nachruf auf Jürgen Neumeier (1959-2023)

*Michael E. Becker*



Fassungslosigkeit und Erschütterung hat die Nachricht von seinem Tod nicht nur bei mir ausgelöst: Jürgen Neumeier ist am 18. März 2023 unerwartet verstorben.

Seit unserer ersten Begegnung im Jahr 1981 an der Universität Karlsruhe ist Jürgen den Weg des Ingenieurs gegangen, der sich mit Fachkenntnis und Begeisterung für die Verbesserung der Technik in seinem Bereich — hier die Display-Messtechnik — einsetzt. Diesen Weg sind wir, trotz einiger Hindernisse und Verzweigungen, gemeinsam gegangen, was zwar nicht geplant, aber, wie die Rückschau nahelegt, zugleich wohl auch unvermeidlich war. Das wird auch durch die Parallelität unserer beruflichen Trajektorien während der letzten 14 Jahre belegt.

Meine Bewunderung galt insbesondere Jürgens blitzschneller Auffassungsgabe, der Fähigkeit, ein Problem zu zerlegen, um kritische Aspekte zu isolieren und daraus einen Lösungsansatz zu konstruieren. Sie galt auch seiner Kreativität, die einerseits nicht von Konventionen beschränkt war, andererseits aber immer auf dem Boden des vernünftigerweise Machbaren blieb. Dieses rechte Augenmaß, das sich nicht durch die Fülle der Möglichkeiten verführen lässt, hat er sich auf der Grundlage seines breiten, immer aktuellen und zugleich profunden Wissens zeitlebens erhalten.

Die Ideen, die während unserer gemeinsamen Zeit an der Technischen Hochschule Karlsruhe aufkeimten, wurden dank Jürgens ingenieösem Potential und seiner Tatkraft zu

komplexen Systemen, die weltweit für Hersteller im Bereich der Displaytechnik eine Grundlage zur systematischen Optimierung ihrer Produkte schaffen.

Im Kontakt mit Kunden konnte Jürgen durch seinen respektvollen und freundlichen Umgang ohne Beachtung von Herkunft und Position schnell eine Verbindlichkeit herstellen, die als Grundlage für eine gute Kommunikation unerlässlich ist. Im Kreise seiner Kolleginnen und Kollegen, mit denen er sein Wissen und seine Erfahrung immer bereitwillig geteilt hat, sorgten seine gute Laune und sein augenzwinkernder Humor für angenehme atmosphärische Bedingungen.

Über einen Zeitraum von 42 Jahren blieb es mir ein intellektuelles Vergnügen, mit Jürgen zu diskutieren und nach neuen Möglichkeiten Ausschau zu halten. Er hinterlässt, auch bei mir, eine große Lücke, wobei dieser Ausdruck, angesichts der Abmessungen der entstandenen Fehlstelle, nicht angemessen erscheint.

*Michael E. Becker*

### **Vita**

Jürgen Neumeier wurde am 1. Juli 1959 in Mannheim geboren und wuchs dort auf. Er studierte Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe (heute Karlsruher Institut für Technologie, KIT) und wurde 1981 am Institut für Theorie der Elektrotechnik und Messtechnik als studentische Hilfskraft eingestellt. Seine Aufgabe war die Implementierung numerischer Verfahren zur Berechnung der elektro-optischen Eigenschaften von Flüssigkristallanzeigen (LCDs) in der Arbeitsgruppe von Privatdozent Michael E. Becker.

Nach Abschluss seines Studiums trat Jürgen Neumeier im Oktober 1985 in die autronic GmbH in Karlsruhe ein, wo Michael E. Becker gerade eine Abteilung zur Kommerzialisierung der während der F&E-Zeit an der Universität entwickelten Produktideen aufgebaut hatte. Durch die enge Zusammenarbeit mit der damals bestehenden LCD-verbundenen Industrie (z. B. AEG, Merck, Siemens, Phillips, etc.) wurde die Produktpalette schnell erweitert und die Eigenschaften der Messgeräte ausgebaut. Die folgenden Jahre waren von Wachstum geprägt: eine wachsende Anzahl an Mitarbeitern, ein größeres Angebot an Messgeräten und eine größere Kundschaft weltweit.

1987 bot die autronic GmbH die weltweit erste numerische Modellierungssoftware für LCDs, *Display Modeling System - DIMOS*, an, die von Jürgen Neumeier für einen IBM PC/AT realisiert wurde.

Einen weiteren Schub erhielt das Geschäft der autronic GmbH durch die Beteiligung des Handelshauses C. Melchers & Co. im Jahr 1993. Jürgen Neumeier wurde Leiter der Entwicklung Display-Messtechnik bis 2012, als das Rechte und Patente von autronic-Melchers an Instrument Systems verkauft und das Unternehmen liquidiert wurde.

Danach wechselte Jürgen Neumeier zur Firma Instrument Systems als Leiter der F&E Displaymesstechnik und konzipierte zusammen mit seinen neuen Kollegen die Display-

messsystem-Serie (DMS) grundlegend neu und entwickelte eine Reihe neuartiger Geräte für schnelle und gleichzeitig hochgenaue Messungen in Fertigungslinien (z. B. die *LumiTop*-Serie).

Jürgen Neumeier war langjähriges Mitglied der SID (Society for Information Display), Mitglied des SID DME Programmkomitees und des DFF (Deutsches Flachdisplay Forum). Er ist Mitautor zahlreicher Veröffentlichungen und Erfinder einer Reihe von Patenten auf dem Gebiet der Display-Messtechnik.



*Foto: Werner R. Cramer*

Seit 2014 war er Vertreter für die Firma Instrument Systems in der DfwG. Noch im vergangenen Jahr nahm er die Ehrung für die 30-jährige Mitgliedschaft in unserem Verein entgegen. Lebendig sind die persönlichen Begegnungen. Danke für die jahrelange Unterstützung unserer Arbeit und für aktive Beiträge während unserer Jahrestagungen!

Jürgen Neumeier hinterlässt eine große Lücke im Kreise seiner Liebsten, Freunde und Kollegen. Seine Leistungen auf dem Gebiet der Display-Messtechnik werden uns noch viele Jahre begleiten.

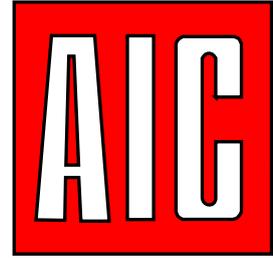
*Im Namen von DfwG-Vorstand und Mitgliedern*

# Bericht zur International Colour Association (AIC) Konferenz

- Sensing -

13. bis 16. Juni 2022 (Online)

Frank Rochow, Berlin - [aic@rochow-berlin.de](mailto:aic@rochow-berlin.de)



Ursprünglich geplanter Tagungsort:  
Toronto, Canada, OCAD University

Die AIC stellt, wie fast immer, die Abstracts und Proceedings ihrer Tagungen über die Webseite <https://aic-color.org> (auch <https://aic-colour.org> funktioniert) kostenlos zur Verfügung. Unter PUBLICATIONS findet man dort neben ANNUAL REVIEWS und NEWSLETTERS der AIC auch PROCEEDINGS von Farbveranstaltungen beginnend mit dem Symposium beim National Physical Laboratory: Visual Problems of Colour 1957.

Die direkten Links zu den AIC 2022 Proceedings und Abstracts sind:

Proceedings-Download (27,9 MB) von:

[https://aic-color.org/resources/Documents/AIC2022-Conference\\_Proceedings.pdf](https://aic-color.org/resources/Documents/AIC2022-Conference_Proceedings.pdf)

Abstracts-Download (2,4 MB) von:

[https://aic-color.org/resources/Documents/AIC2022-Book\\_of\\_Abstracts.pdf](https://aic-color.org/resources/Documents/AIC2022-Book_of_Abstracts.pdf)



- Nathan Phillips Square -

Anders als AIC-Kongresse sind AIC-Midterm Meetings thematisch auf ein Gebiet begrenzt. Das Thema SENSING COLOUR beinhaltet hierbei neben dem „Fühlen“ von Farbe mit den Sinnen auch das messtechnische oder physikalische Erfassen von Farbeigenschaften. Das Organisationskomitee hat über die Konferenz geschrieben:

*„Wir haben uns gleichzeitig gefreut, Sie (virtuell) in Toronto, Kanada, willkommen zu heißen, und sind traurig darüber, dass wir Sie nicht alle an der OCAD University und in der Art Gallery of Ontario persönlich treffen konnten.“*

*2022 war ein Jahr, welches die Hoffnung auf Reisen und Zusammenkommen an einem bestimmten Ort der Welt versprach, um unsere gemeinsamen Interessen und Farbeigenschaften zu teilen. Wir hatten gehofft, einen hybriden Ansatz mit sowohl persönlicher als auch Online-Teilnahme zu ermöglichen, unser Wissen zu teilen und große Beteiligung aus der ganzen Welt zu ermöglichen. Aber am Ende stellten wir fest, dass die Welt noch nicht bereit für die persönliche Komponente war. Wie auch immer, unsere Änderung zu einem vollständigen Online-Treffen, hat viele unterschiedliche Vortragende aus vielen Ländern mit über 250 Teilnehmern aus der ganzen Welt virtuell zusammengebracht.*

*Sensing Colour, unser AIC 2022-Thema, wurde als disziplinübergreifender Rahmen ausgewählt, um an alle wahrgenommenen oder impliziten Grenzen, die unser Verständnis von Farbe einschränken könnten, vorzustoßen. Eine Implikation dieses Themas ist sicherlich die Einbeziehung verschiedener Sinne. Eine andere ist das Teilen verschiedener Mittel zum Erfassen, Wahrnehmen und Verstehen von Farbe. Noch eine andere ist das historische und zeitgenössische Bewusstsein von Farbe als soziales und ethnisches Konstrukt. Deshalb danken wir allen, die neue Sichtweisen und Wege zum Kennenlernen von Farbe zu unserem Verständnis von neuen Dimensionen der Farbeerfahrung eröffnet haben. Wir danken ganz besonders unseren beiden eingeladenen Rednern, deren Vorträge von der Art Gallery Ontario mitfinanziert wurden und die für die breite Öffentlichkeit zugänglich sind.*

*Anong Migwans Beam, der M'Chigeeng First Nation auf Manitoulin Island, teilte ihre Erfahrungen und Herangehensweisen an die Malerei und Herstellung von Pigmenten in ihrem Vortrag über das Sammeln von Farbe. Die preisgekrönte Fotografin Angélica Dass sprach über ihr Humanae-Projekt in Feiern, wie bunt wir sind, und förderte den herausfordernden Dialog, wie wir über Hautfarbe und ethnische Identität denken. Wir möchten auch unseren eingeladenen Rednern danken: Anya Hurlbert, Rob DeSalle, Anna Franklin, Michael Murdoch und Joseph Ingoldsby für ihre aufschlussreichen und hilfreichen Beiträge, die unser Tagungsthema bereicherten. Außerdem möchten wir Tom Butters für die Organisation eines faszinierenden Panels über die Rolle von Farbe und Licht in der Beleuchtungsindustrie danken. Wir danken den Mitgliedern des AIC-Exekutivkomitees für ihre Anleitung und Unterstützung während unseres gesamten Planungsprozesses. Wir danken auch den 12 Mitgliedern unseres Program-Review Komitees für ihre Hilfe bei der Gestaltung von AIC 2022 und unserem Team von 70 Gutachtern, die geholfen haben, die Beiträge zu verfeinern. Wir hatten 68 mündliche Präsentationen und 35 Poster; Dank an alle Mitwirkende für den Erfolg der AIC 2022.“*



- CN Tower -

Die Themen der hauptsächlichen DfwG-Interessen sind bei den folgenden beiden Vortragsgruppen hier aufgeführt. Für die anderen Vortragsgruppen können sie in den Proceedings (Download-Adresse siehe oben) nachgelesen werden.

- COLOUR SCIENCE

**Satoko Taguchi, Yae Ichimiya, Kaori Takahashi, Hirotaka Kakizaki, Sayako Kuroda, Shino Okuda, Katsunori Okajima:**

*Color Materials and Techniques in John Gould's "Folio Bird Books"*

**Ikumi Hirose, Kazuki Nagasawa, Norimichi Tsumura, Shoji Yamamoto:**

*Texture Management for Glossy Objects Using Tone Mapping*

**Tucker J. Downs, Olivia Kuzio, Michael J. Murdoch:**

*Image Based Measurement of Augmented Reality Displays and Stimuli*

**Taisei Horimoto, Yoshitsugu Manabe, Noriko Yata:**

*Study of measurement of 3D shape and spectral reflectance by Multi-View Stereo*

**Che Shen, Mark D. Fairchild, Robert Wanat:**

*Measuring Display Observer Metamerism*

**Ehsan Ullah, Gregory High, Phil Green:**

*Quantifying and Evaluating Colour Appearance Models based on Helmholtz Kohlrausch Effect*

**Abigayle Weymouth, Michael J. Murdoch:**

*Perceived Speed in Transitions between Neutral and Chromatic Illumination*

**Qinyuan Li, Kaida Xiao, Ningtao Mao, Michael Pointer:**

*Visual judgement of the tactile properties of fabrics by altering colours*

**Tanzima Habib, Phil Green, Peter Nussbaum:**

*A Weighted Goodness-of-Fit Metric for Comparison of Spectra*

**Olivia Kuzio, Susan Farnand:**

*Simulating the Effect of Camera and Lens Choice for Color Accurate Spectral Imaging of Cultural Heritage Materials*

**Ruili He, Kaida Xiao, Michael Pointer, Manuel Melgosa, Yoav Bressler:**

*An Investigation on Visual Colour Difference of 3D Printed Objects*

**Hao Xie, Mark D. Fairchild:**

*The Luther Condition for All: Evaluating Colorimetric Camera Design for Personalized Color Imaging*

**David J. C. Briggs:**

*Psychophysical Colour*

**Kyosuke Ota, Midori Tanaka, Takahiko Horiuchi:**

*Preliminary Evidence for the Effect of Circadian Rhythms on Color Perception*

**Qiang Xu, Keyu Shi, Ming Ronnier Luo:**

*A Parametric Colour Difference Study on the Physical Size Effect for Sample Pairs to Have No Separation*

**Kazuki Nagasawa, Shoji Yamamoto, Ikumi Hirose, Yuki Ohira, Wataru Arai, Kunio Hakkaku,**

**Chawan Koopipat, Keita Hirai, Norimichi Tsumura:**

*3D printed human skin appearance with a multilayered spatial distribution of pigment components*

**Mingkai Cao, Yan Lu, Kaida Xiao, Ming Ronnier Luo:**

*Cross-cultural influence of preferred memory colours on mobile display devices*

**Yuanyuan He, Hiromi Sato, Yoko Mizokami**

*Comparison of brightness perception of facial skin with differences of skin color*



- Toronto Skyline -

- COLOUR EDUCATION: TRADITIONAL COLOUR THEORY: HISTORY & INNOVATIONS

**Adam Lauder**

*Josef Albers's Chromatic Perspectivism*

**Esther Hagenlocher**

*Colour Connections in the Work of Fritz Seitz*

## DfwG-Report 2023/1

**Zena O'Connor**

*Exploring the origins of Itten's color theories using digital color mapping*

**Robert Hirschler, David J. C. Briggs, Andreas Schwarz, Stephen Westland**

*Contemporary Analysis of Traditional Colour Theory*

**Ingrid Calvo Ivanovic**

*On Colour Bibliography for Design Discipline: a Study to the References Proposed by 34 Colour Courses*

**Emmanuel Kodwo Amissah**

*Colour preferences and use in textiles design and decoration amongst students*

**Maggie Maggio, Paul Green-Armytage, Ellen Divers**

*Two Voids in the Language of Colour*

**David J. C. Briggs, Eva Fay**

*A Shillito Student Portfolio from the Mid-1940's*

**Doreen Balabanoff, Sharyn Adler Gitalis, David Pearl**

*Colour, Light & Environment: An Experiential Course*

**Ellen Divers**

*Weaving the senses: Learning about color through sound and taste*

Weitere Vortragsthemen waren:

- Design
- Colour and Language
- Colour in Architecture
- Innovations
- Teaching Innovations and Methodologies
- Colour and Buildings
- Colour and Cultural Preferences
- Colour and Art: Inspiration and Materials
- Colour in Health and Design
- Colour in Aesthetics and Culture
- Colour in the Landscape



- The Esplanade -

## Einladung zur DfwG - Jahrestagung 2023

*Karin Bieske*

Die DfwG-Jahrestagung findet am 5. und 6. Oktober 2023 in Potsdam statt. Gastgeber ist das Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung *IAP*. Eingeladen hat Dr. Armin Wedel, der den Forschungsbereich *Funktionale Polymersysteme* leitet. Mit seinem Übersichtsvortrag hat er bereits bei der Tagung im letzten Jahr für das Thema begeistert und Lust auf mehr gemacht (siehe Report 3/2022).

Am Institut werden Materialien erforscht mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften, die zunehmend als Funktionsmaterialien für Hightech-Anwendungen eingesetzt werden. Das Spektrum reicht von Materialien und Technologien für organische elektronische Elemente über Sensoren und Aktoren bis hin zu optischen Komponenten und chromogenen Polymeren. Quantum Dots eröffnen neue Möglichkeiten für technologische Entwicklungen von OLEDs und organischer Photovoltaik, aber auch für die Diagnostik mittels photonischer Methoden. Auf dem Gebiet der polymeren Oberflächen sind Plasmabehandlung, Funktionalisierung und das Aufbringen dünner Schichten abrufbare Methoden. Freuen Sie sich darauf, während unserer Tagung einen Blick in die Labore werfen zu können.



Fraunhofer-Institut für  
Angewandte Polymerforschung IAP  
Geiselbergstraße 69  
14476 Potsdam  
[www.iap.fraunhofer.de](http://www.iap.fraunhofer.de)

Gelegen im Potsdam Science Park ist das Fraunhofer IAP in Golm gut mit Bahn und Bus zu erreichen. Detaillierte Informationen sind auf der Webseite zu finden.

## **DfwG-Report 2023/1**

### *VORLÄUFIGE PROGRAMMPLANUNG FÜR DIE DfwG-JAHRESTAGUNG 2023*

#### **Mittwoch, den 4. Oktober 2023:**

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

#### **Donnerstag, den 5. Oktober 2023:**

9 bis 12 Uhr	Sitzungen der Arbeitsgruppen
13:00 Uhr	Beginn der Jahrestagung
17:00 Uhr	Mitgliederversammlung
19:30 Uhr	Tagungsabend im LANDHOTEL POTSDAM Reiherbergstraße 33   14476 Potsdam/Golm.

#### **Freitag, den 6. Oktober 2023:**

9 bis 12 Uhr	Vormittagsprogramm
12 bis 13 Uhr	Mittagspause
13 bis 17 Uhr	Nachmittagsprogramm

#### *CALL FOR PAPERS*

Gestalten Sie das Fachprogramm aktiv mit und reichen Sie Ihre Vorträge mit einer Kurzfassung (1 A4-Seite) bitte bis zum 30. Juni 2023 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.

#### *DFWG-FÖRDERPREIS 2023*

Es besteht wieder die Gelegenheit, 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 2023 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 ein Formular auf der DfwG-Internetseite freigeschaltet. Sie können gerne auch das nachfolgende Formular verwenden.

### *MITGLIEDERVERSAMMLUNG*

Gibt es 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 Potsdam angefragt. Bitte vermerken Sie auf der Anmeldung Ihr Interesse für unsere Planung.

### *ÜBERNACHTUNGSMÖGLICHKEITEN*

Im LANDHOTEL POTSDAM | Reiherbergstr. 33 | 14476 Potsdam | Tel. +49 (331) 60119-0 ([www.landhotel-potsdam.de](http://www.landhotel-potsdam.de)), das sich in der Nähe des Science Parks befindet, ist ein Kontingent von 30 Zimmern für uns vom 4.10. bis 6.10.2023 für 89 €/ pro Übernachtung ohne Frühstück reserviert. Buchungen sind bis zum 5.8.23 per Mail möglich unter dem Stichwort **DfwG-JT2023** unter: [veranstaltung@landhotel-potsdam.de](mailto:veranstaltung@landhotel-potsdam.de). Bitte teilen Sie Ihre gewünschte Rechnungsadresse bei der Buchung mit. Reservierte Hotelzimmer stehen am Anreisetag ab 15:00 Uhr und am Abreisetag bis 11:00 Uhr zur Verfügung. Als Zusatzleistungen kann ein Frühstücksbuffet (pro Person/pro Tag 18,00 €) sowie ein Parkplatz (pro Tag 5,00 €) zugebucht werden.

Weitere Übernachtungsmöglichkeiten bietet die Innenstadt von Potsdam.

### *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: <https://dfwg.de/wp-content/uploads/2023/04/Flyer-DfwG-JT2023.pdf> .

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

# DfwG-Report 2023/1

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



[www.dfwg.de](http://www.dfwg.de)  
[Sekretariat@DfwG.de](mailto:Sekretariat@DfwG.de)

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

## DfwG-Geschäftsstelle

c/o Dr.-Ing. Karin Bieske

FAX: (03677) 693733

## Technische Universität Ilmenau

Fakultät für Maschinenbau/ Fachgebiet Lichttechnik

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

### ANMELDUNG zur DfwG-Jahrestagung 5. - 6. Oktober 2023 Fraunhofer IAP: Geiselbergstraße 69, 14476 Potsdam

Ich melde mich hiermit zur DfwG-Jahrestagung 2023 an als Tagungsbeitrag

- |                          |                    |          |
|--------------------------|--------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> | Mitglied der DfwG  | 90,00 €  |
| <input type="checkbox"/> | Nichtmitglied      | 120,00 € |
| <input type="checkbox"/> | Studentin/ 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 2023 an:

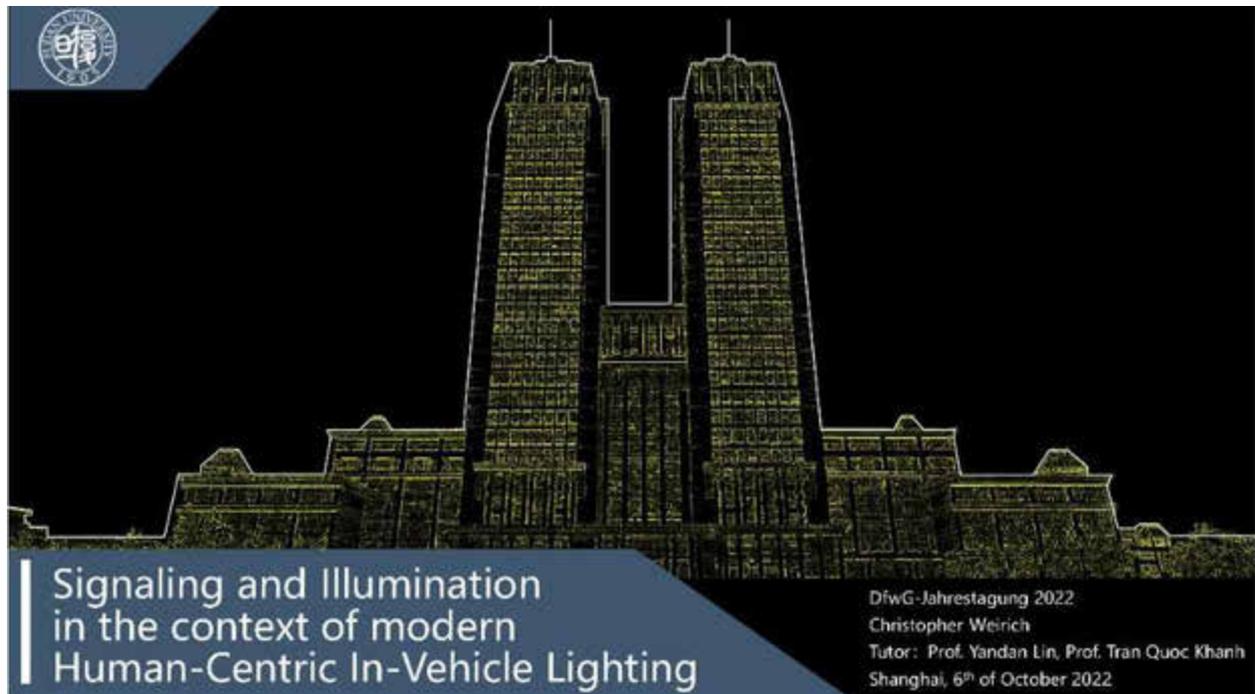
DfwG e.V. IBAN: DE81 1005 0000 2060 0235 83  
SWIFT: BELA DEBE

unter Angabe Ihres Namens und „DfwG-JT-2023“.

- Ich nehme am Vorabendtreffen am 4.10.2023 teil (Selbstzahler).  
 Ich nehme am Tagungsabend am 5.10.2023 teil (Selbstzahler).

# Optische Signalwirkung und Beleuchtungsleitlinien für das moderne Innenlicht im Automobil – Ein Forschungsüberblick

Christopher Weirich



## Optische Signalwirkung und Beleuchtungsleitlinien für das moderne Innenlicht im Automobil – Ein Forschungsüberblick

Christopher Weirich (Fudan University); Yandan Lin (Fudan University); Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) – cweirich20@fudan.edu.cn

- Durch die zunehmende Autonomisierung der heutigen personellen Kraftfahrzeuge gewinnt der Fahrzeuginnenraum mehr an Bedeutung. Erstmals wird es dann möglich, sich während der Fahrt von der heimischen Wohnung zum Flughafen mit Themen abseits des Fahrens zu beschäftigen. Welche Rolle die Lichttechnik im Fahrzeuginnenraum in dieser neuen Situation spielt, ist Teil des Forschungsschwerpunktes des hier vorgestellten Beitrags.
- Hierzu werden Ergebnisse aus zwei Studien vorgetragen, die pandemiebedingt beide auf Online-Umfragen beruhen mit Teilnehmern aus Europa und China. Die erste Studie befasst sich mit der Signalwirkung des Lichts im Innenraum, gestaltet als linienförmige Leuchtsegmente. Folgende drei Kernaussagen konnten identifiziert werden: 1) Nur in der europäischen Gruppe wurde eine Abhängigkeit der Insassen-Aufmerksamkeit mit der Lichtfarbe ermittelt. 2) Zehn unterschiedliche Farbtöne, bewertet nach der Präferenz, konnten global in drei Gruppen aufgeteilt werden. 3) Global präferierte Lichtpositionen sind der Fuß- und Türbereich im Fahrzeug. Die zweite Studie verlässt die Signalwirkung und fokussiert sich auf die Beleuchtung mit Weißlicht, mit unterschiedlicher spektraler und räumlicher Charakteristik, realisiert mittels 360°-Renderings mit folgenden Ergebnissen: 1) Es sind drei Dimensionen notwendig um die Beleuchtung im Fahrzeuginnenraum zu beschreiben. Diese sind hell-dunkel, wärmer-kälter und einzeln-vielseitig. 2) Alle sechs bewerteten psychologischen Lichtattribute konnten nur bei Lichtverteilungen mit gemischter Farbtemperatur höchst zustimmend bewertet werden. 3) Über eine Modellierung der Kontrastverhältnisse des Fahrzeuginnenraums zur Außenwelt im IPT und CAM16 Farb-Wahrnehmungsraum konnten folgende Verhältnisse ermittelt werden: A) Der Helligkeitsunterschied sollte gering sein. B) Die externe Farbsättigung sollte höher sein bei einer dunklen und interessanten Umgebung, die somit dem Hunt-Effekt folgt. C) Der Farbtonunterschied sollte gering sein.
- Erstmals konnten somit vorläufige Richtlinien für Lichttechniker im Fahrzeuginnenraum ermittelt werden, die noch in weiteren Laborstudien verifiziert werden müssen.

2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

2

## Last 10 years of automotive interior lighting

The Milestones of automotive interior lighting by increasing user interface

- 2010**: Multi single color ambient lighting  
Up to 3 colours
- 2014**: Multi single color ambient lighting  
Up to 7 colours
- 2015**: Day Lounge  
Up to 6 colours
- 2016**: Colour and intensity dynamic light  
Up to 24 colours  
Up to 4 lighting modes
- 2018**: Matrix light  
rear: 14 LEDs  
front: 10 LEDs  
Segmented ambient light  
Up to 30 colours
- 2019**: Surface lighting  
Up to 8 colours
- 2021**: Smart lighting  
e.g. warning assistant  
e.g. radar assistant  
Up to 64 colours  
Up to 10 modes

2022.10.06
DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University
3

## Continue as before? More colors, more effect?

- Goal: Human-Centric In-Vehicle Lighting.
  - > Influence performance, mood and body rhythm of vehicle occupants.
- Consider five aspects:

**1. Color perception:**

Subjective preference, memory color, naturalness.

**2. Perceived brightness:**

Visual clarity, visibility.

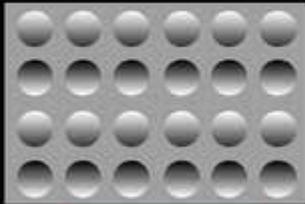
Source: K. A.G. Smet et al. (2014), W. Pepler (2017)

2022.10.06
DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University
4



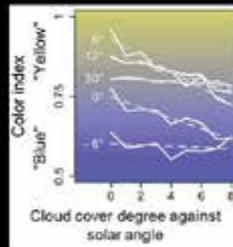
## Continue as before? More colors, more effect?

- Goal: Human-Centric In-Vehicle Lighting.
  - > Influence performance, mood and body rhythm of vehicle occupants.
- Consider five aspects:



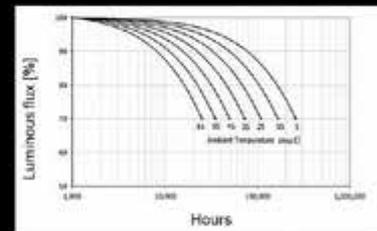
3. Light direction:

Glare, shadowing, depth.



4. Temporal changes:

Natural daylight, flicker.



5. Ageing effects:

Performance change over time.

Source: P. Schiller et al. (2013), T. Woelders et al. (2018), T. Cook et al. (2008)

2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

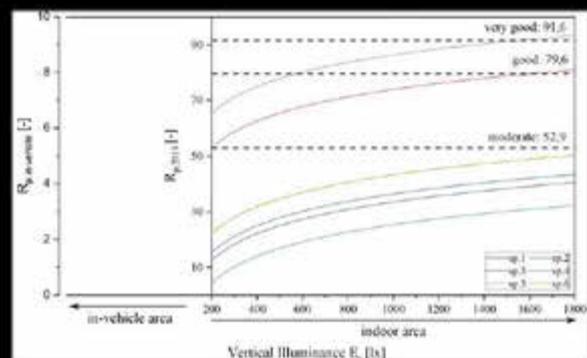
5



## (1) Color perception and (2) Perceived brightness.

For building indoor ->  $R_{p,2019}$  ( $E_v$ , CCT,  $\Delta C_t$ ):

No.	Spectra				Illuminance [ $lx$ ] criteria for $R_{p,2019}$ [1]	
	IES TM-30-18 SPD library: RGB type	$R_f$	CCT(K)	$\Delta C_t$	good	very good
1	135	38	2809	0.59	-	-
2	118	82	3303	0.42	1620	-
3	127	58	2706	1.13	-	-
4	121	63	6769	1.13	-	-
5	122	81	5013	0.70	585	1568
6	123	80	5022	-0.73	-	-



For a "good" or "very good" illumination:  
 a.) A high  $R_f$  isn't enough. || b.) A low CCT isn't enough. || c.) A positive  $\Delta C_t$  is necessary.

Source: [1] T.Q. Khanh et al. (2018)

2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

6

## Apply $R_{p,2019}$ for in-vehicle lighting ?

	Indoor lighting	In-vehicle lighting
<b>Luminaire recommendation:</b>		
Task-Lighting, $E_v$	500–625 lx	1–100 lx depends on function
Psychological glare, UGR	$\leq 19$	No-less glare, not specified
White light color preference	4000 K < CCT < 5800 K	Neutral white
CIE CRI $R_a$	> 80	> 80
Spatial illumination	Indirect part > 60%	No shadow, homogeneous illumination
PWM Frequency	Min. 400 Hz, better > 1000 Hz	488 Hz for RGB LEDs
<b>Scenery boundaries:</b>		
Evaluation	Rate common-colored objects.	Split: internal / external scene.
Location / Surrounding	More static.	More dynamic.
People involved	Primary task: Connected to illumination, like reading. Secondary task: Not available.	Primary task: Driving / passenger transportation. Secondary task: Connected to illumination, like reading.
Box-Setup	More closed box, large.	More open box, small.

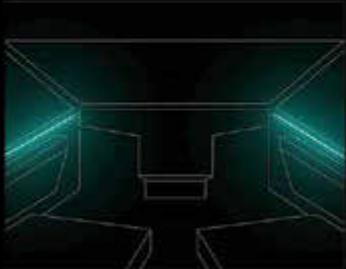
**→ No direct transfer to in-vehicle lighting**

Source: C. Weirich et al. (2022)

2022.10.06
DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University
7

## Our Approach to define In-Vehicle HCL

Study 1: Signaling Context



Source: Weirich C, Lin Y, Khanh TQ (2022) Evidence for Human-Centric In-Vehicle Lighting: Part 1. Applied Sciences, 2022, 12(2):552. doi: 10.3390/app12020552

Study 2: Illumination Context



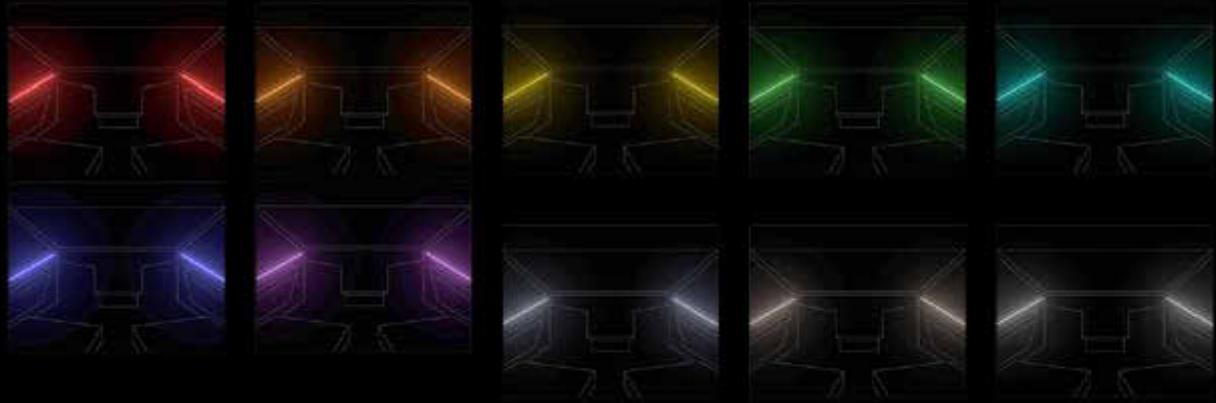
Source: Weirich C, Lin Y and Khanh TQ (2022) Evidence for human-centric in-vehicle lighting: Part 2 - Modeling illumination based on color-opponents. Front. Neurosci, 16:969125. doi: 10.3389/fnins.2022.969125

2022.10.06
DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University
8



## In-Vehicle HCL: Study 1 – Signaling China and Europe, Three Key Points, 238 Participants

### 1. Color preference and 2. Color-Mood relation: 7 mono- and 3 multichromatic



2022.10.06

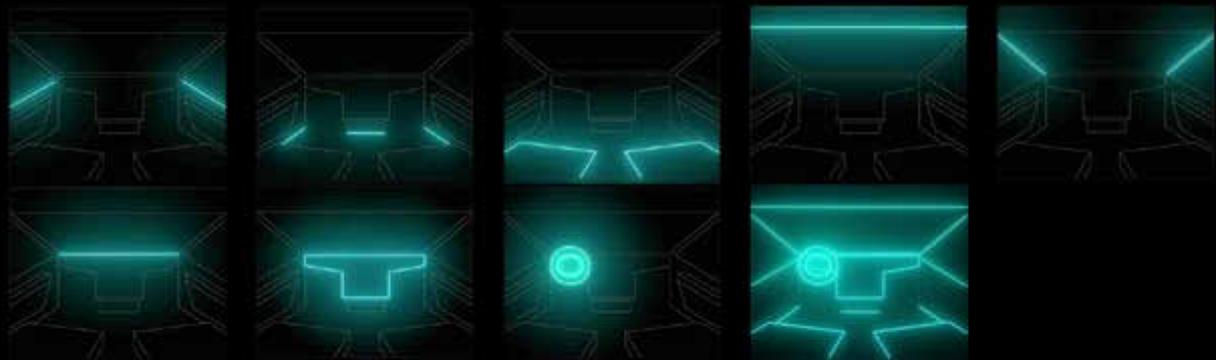
DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

9



## In-Vehicle HCL: Study 1 – Signaling China and Europe, Three Key Points, 238 Participants

### 3. Light position preferences



2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

10

### In-Vehicle HCL: Study 1 – Signaling China and Europe, Three Key Points, 238 Participants

**Q2: Color preference dependencies**

**Q3: Color Sating - ATTENTION - global dependencies**

**Q4: Position dependencies, sit at second row**

**Subjective Color Preferences**

Three major directions:

- I. Polarizing.
- II. Agreeing.
- III. Congruent.

2022.10.06

**Find a Hue-Attention correlation**

-> EU: A significant hue correlation for red / orange.

-> CH: Maybe blue, but no hue correlation.

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

**Light position preferences**

-> EU and CH: Same ratings.

-> Door and foot: Favored.

-> S. Wheel / All: Worst.

11

### In-Vehicle HCL: Study 2 – Illumination China and Europe, Three Key Points, 164 Participants

1. Spot- and spherical illumination with variations in correlated color temperature

2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

12



## In-Vehicle HCL: Study 2 – Illumination China and Europe, Three Key Points, 164 Participants

### 2. Four location- and time points with five brightness levels as 360° images

A. Sun-City



B. Forest



C. Countryside



D. Night-Life



2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

13



## In-Vehicle HCL: Study 2 – Illumination China and Europe, Three Key Points, 164 Participants

### 2. Four location- and time points with five brightness levels as 360° images

A. Spot light: 3000 K, Intensity level 1,3,5



B. Spatial light: 6000 K, Intensity level 1,3,5



2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

14

In-Vehicle HCL: Study 2 – Illumination
China and Europe, Three Key Points, 164 Participants

### 3. Comparing external and internal applied illumination in IPT space

*A, B: Contrast<sub>(I,P,T),(J,c,h)</sub> ↓*

**Contrast:**  
*sc* = external scene  
*il* = internal lighting

*Contrast<sub>(I,P,T),(J,c,h)</sub>*

$$= \frac{abs(sc) - abs(il)}{abs(sc) + abs(il)} \cdot 100 [\%]$$

*C, D: Contrast<sub>(I,P,T),(J,c,h)</sub> ↑*

2022.10.06
DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University
15

In-Vehicle HCL: Study 2 – Illumination
China and Europe, Three Key Points, 164 Participants

28 paired comparison, nMDS, China

Psychological attributes, China

Image transformation in IPT and CAM 16 perceptual space:

**Lightness:** External and internal brightness levels should be on average closer or equal to each other.

**Chroma:** If the outside scenery is dark or dim but interesting, the external chroma is primary higher than the internal, following Hunt.

**Hue:** No hue shift should be observed between outside and inside lighting.

28 illuminations paired compared

Four groups in three dimensions:

- I. Warm - Cool.
- II. Single - Multi.
- III. Bright - Dim.

-> Combinations of mixed CCTs and spatial light distributions outperformed.

**L6,L7: Neutral white, bright, multi**

2022.10.06
DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University
16



## In-Vehicle HCL: Study 2 – Illumination China and Europe, Three Key Points, 164 Participants

4. Best psychological light settings: Mixed CCTs and a combined spot- and spherical  
-> Combination of external with in-vehicle artificial adjustable light

A. L6: Spot light @ 6000 K, Spherical light @ 3000 K



B. L7: Spot light @ 3000 K, Spherical light @ 6000 K



2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

17



## In-Vehicle HCL: Study 2 – Illumination China and Europe, Three Key Points, 164 Participants

5. Worst psychological light settings: Dim, cold, single -> State-of-the-Art

A. L4: Spot light @ 3000 K, Spherical light = OFF



B. L8: No in-vehicle lighting



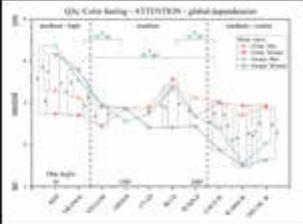
2022.10.06

DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University

18

## Human Centric In-Vehicle Lighting Speech Overview

- For a building in-door illumination:  $R_{p,2019}(E_w, CCT, \Delta C^*)$
- For in-vehicle lighting:  $R_{p,2019} \neq R_{p,in-vehicle}$
- Study 1: In-vehicle lighting for Signaling:  
->  $Hue_{attention, CH} \neq Hue_{attention, EU}$
- Study 2: In-vehicle lighting for Illumination:  
-> Color, Brightness, Space
- Study 3: Real object setup with S1 + S2  
-> Ongoing...



2022.10.06 DfwG-Jahrestagung - Christopher Weirich - Fudan University 19

**Contact:**

Yandan Lin  
Professor, PhD  
Lighting & Color Science  
Dept. Illuminating Engineering & Light Sources  
Fudan University  
Shanghai 200438, P.R.China  
[www.yandanlin.com](http://www.yandanlin.com)  
[ydlin@fudan.edu.cn](mailto:ydlin@fudan.edu.cn)

Study 1:  
Signaling Context



Study 2:  
Illumination Context



# Farbwahrnehmung und Optimierungsansätze bei der Beleuchtung von Kunstobjekten

Paul Myland



## Farbwahrnehmung und Optimierungsansätze bei der Beleuchtung von Kunstobjekten



Paul Myland

## CIE157:2004 (Technischer Report) Control of damage to museum objects by optical radiation



- Grundlagen der durch Strahlung verursachten Schädigungsprozesse
  - Hauptaugenmerk auf Schädigung durch UV-Strahlung
  - Definition von Empfindlichkeitsgruppen und Festlegung von Belichtungsgrenzwerten bis sichtbare Veränderungen auftreten
  - Schädigung durch Wärme-Strahlung

- Praktische Handlungsempfehlungen
  - UV Filter für Lichtquellen
  - Minimierung von Belichtungszeit & Beleuchtungsstärke

Materialeinteilung	Limit Beleuchtungsstärke (lx)	Limit Belichtung (lx h/a)
Unempfindlich	Kein Grenzwert	Kein Grenzwert
Niedrige Empfindlichkeit	200	600000
Mittlere Empfindlichkeit	50	150000
Hohe Empfindlichkeit	50	15000

„Es ist schlechtes Vorgehen, ein Objekt auszustellen, wobei es unweigerlich beschädigt wird, und es dann nicht angemessen zu präsentieren.“

## Studien zu präferierter Beleuchtung für Gemälde Auszug aus und Ergänzung zu Pelowski et al. (2019)

Quelle	Untersuchungsgegenstand	Ergebnis
Scuello et al. (2004a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skalenbasierte Bewertung von 8 CCT x Gemäldekombinationen</li> <li>Kunstwerk-Reproduktionen in Leuchtkästen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generell höchste Bewertungen für 3600K.</li> <li>Keine CCT wird eindeutig abgelehnt.</li> </ul>
Scuello et al. (2004b)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vergleich von CCTs bzgl. der Erscheinung von Bildern (relative Präferenz)</li> <li>Kunstwerk-Reproduktionen in Leuchtkästen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3600K allgemein präferiert</li> </ul>
Pinto et al. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstauswahl der CCT für die ideale Erscheinung von Kunstwerken</li> <li>Kunstwerk-Reproduktionen am Bildschirm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Allgemein 5100K präferiert, kleine Unterschiede zwischen Kunstwerken</li> </ul>
Liu et al. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstauswahl der CCT für die ideale Erscheinung von Kunstwerken</li> <li>3 echte Kunstwerke in Leuchtkästen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verschiedene CCT für jedes Kunstwerk präferiert (2900K, 3920K, 5050K)</li> <li>Vertrautheit mit Bildinhalt könnte Einflussgröße sein.</li> </ul>
Luo et al. (2013)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skalenbasierte Bewertung von 15 CCT x Gemäldekombinationen</li> <li>Handgemalte Reproduktionen in einem Leuchtkasten in Originalgröße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4000K-5000K präferiert</li> </ul>
Nascimento et al. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbstauswahl der CCT für die ideale Erscheinung von Kunstwerken</li> <li>11 Reproduktionen in galerieähnlicher Umgebung (digitale Simulation und real)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5500-5700K präferiert</li> </ul>
Zhai et al. (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skalenbasierte Bewertung von 12 CCT x Gemäldekombinationen</li> <li>6 Ölgemälde in galerieähnlicher Umgebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>höchste Präferenz 2850K, Bewertungen für Kontrast, Helligkeit, Klarheit maximal bei 5000K</li> <li>Pos. Korrelation Beleuchtungsstärke, Plateau ab 200lx</li> </ul>
Feltrin et al. (2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Skalenbasierte Bewertung von 5 CCT x Gemäldekombinationen (verschiedene dominierende Farben)</li> <li>Reproduktionen auf Leinwand im Leuchtkasten in Originalgröße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CCTs von 3500, 4000 und 5000K werden fast gleichmäßig bevorzugt, leichtes Maximum bei 4000K</li> <li>Ähnlicher Trend für alle Gemälde</li> </ul>
Pelowski et al. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 CCT-Bedingungen (Studie 1a), nachträgliche Selbstselektion (Studie 1b), auf bestimmte Lichtverhältnisse abgestimmte Bilder (Studie 2)</li> <li>3 Ölgemälde, 3 Acryl-Gemälde in galerieähnlicher Umgebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nur geringe Effekte durch Beleuchtung</li> <li>Selbsteingestellte CCT 3777K (mit großer Streuung)</li> <li>Keine Effekte für beabsichtigte Beleuchtung</li> </ul>

06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 3

## Chromatische Adaptation auf Umgebung

- Adaptation auf Hintergrund (4500K,  $R_a > 96$ ), Spotbeleuchtung mit CCTs 2500-10000K ( $R_a > 98$ )



06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 4

## Unvollständige chromatische Adaptation

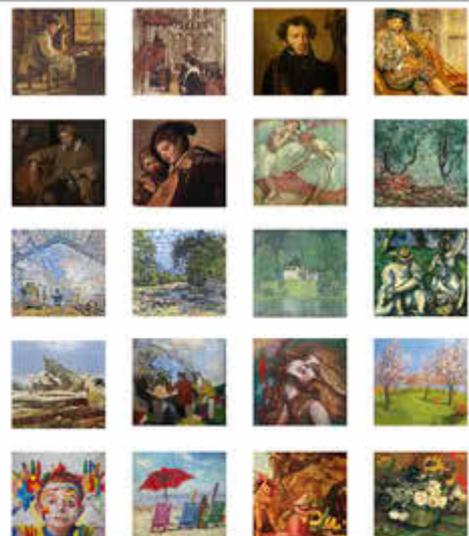
- Mischadaptation auf Wand und Bild



06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 5

## Einblick Probandenstudie: Präferenzuntersuchung zum Beleuchtungsweißpunkt bei Betrachtung von Kunstwerken

- Adaptation auf Hintergrund (4500K,  $R_a > 96$ ), Spotbeleuchtung mit CCTs 2970-7715K ( $R_a > 98$ )
- Diverses Set (Auszug aus WikiArt, ArtGAN) von Fotodrucken



06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 6

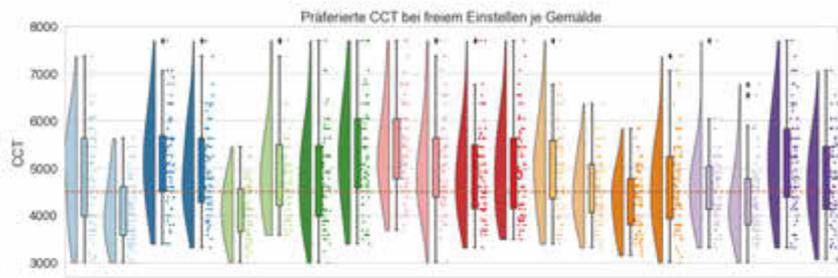
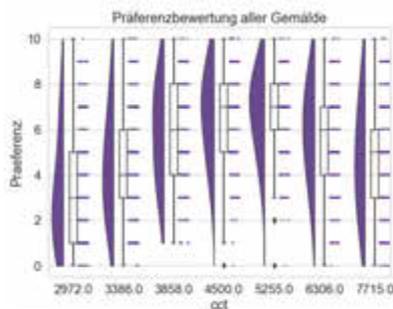
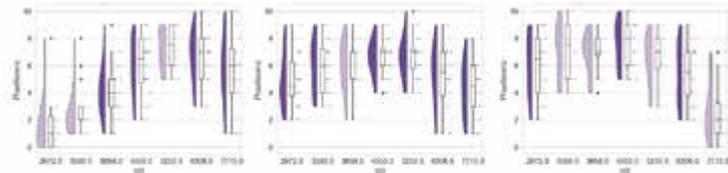
## Probandenstudie: Ablauf, erste Ergebnisse

### Studienablauf:

20 Teilnehmende

- Durchlauf aller Spektren als Anker
  - 4500K Umgebungsbeleuchtung
- Bewertungsverfahren (randomisiert)
- Einstellverfahren (von oben/unten, frei)

### Beispielhafte Bewertungsverläufe



## Zwischenstand Forschungsfragen

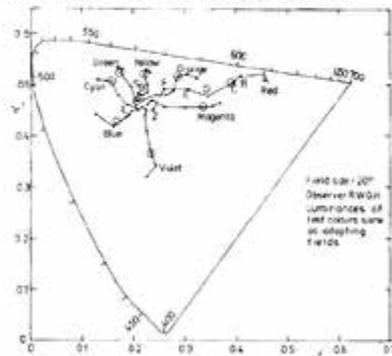
- **Spotbeleuchtung mit Umgebungslichtfarbe ist für alle Bilder unter den guten Bewertungen**
  - Verifikation: Gleicher Effekt für verschiedene Hintergrundweißpunkte?
- **Welche Spotlight-Weißpunkte neben der Umgebungsbedingung gut oder schlecht bewertet werden, ist nicht für alle Objekte gleich**
  - Welche Zusammenhänge gibt es bei den Gemälden mit ähnlichen Präferenzverläufen?
- **Untersucht: Inverse zur Realität**
  - Effektstärke bei fester Spotbeleuchtung und variablem Hintergrund? (veränderlicher Tageslichteinfall)
  - Bedarf für Regelung?
- **Welche Farben wurden tatsächlich wahrgenommen? Wie lässt sich mathematisch der Adaptationszustand beschreiben?**

## Weiterer Komplexitätsgrad: Wahrnehmungsabhängigkeiten Beleuchtungsstärke / Leuchtdichte



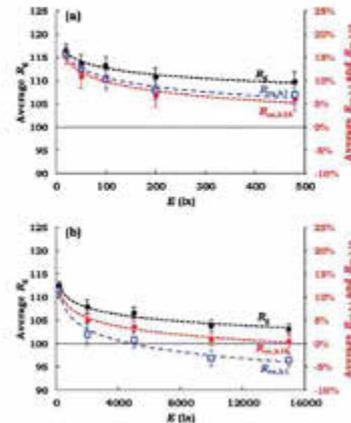
### Hunt-Effekt

- Hier  $1080 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} = 0,075 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$
- (17000-1,2lx bei Reflexionsgrad 0,2)



R. W. G. Hunt (1977). *The Specification of Colour Appearance. II. Effects of Changes in Viewing Conditions*. 2(3), 109–120. doi:10.1002/col.5080020303

### Präferenz (Chroma)



Bao, W., & Wei, M. (2019). Change of Gamut Size for Producing Preferred Color Appearance from 20 to 15000 lux. *LEUKOS*, 17(1), 21–42. doi:10.1080/15502724.2019.1587621

06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 9



## Zusammenfassung und Ausblick



- Museumsbeleuchtung: Konservieren und/oder optimal darstellen?
- Die Leuchtdichte (der Adaptationszustand) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Farbwahrnehmung
  - Wird in allgemeinen Farbwiedergabe-Indices nicht berücksichtigt
- Einfluss des Beleuchtungsweißpunktes (CCT, Duv) auf die Farbwahrnehmung (präferierte Objekterscheinung) hängt von der Vollständigkeit der chromatischen Adaptation ab
- Kleine objektspezifische Präferenzverschiebung durch Mischlichtsituation
  - Praxisrelevanz?
  - Statistische Auswertung
- Universell: Spotbeleuchtung auf Umgebungslicht einstellen (regeln?)
- Hinsichtlich der Vorhersage von chromatischer Adaptation in Mischlichtsituationen besteht noch großer Forschungsbedarf

06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 10



## Literatur



- Commission Internationale de l'Éclairage. "CIE 157: 2004." *Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation* (2004).
- Scuello, M., Abramov, I., Gordon, J., and Weintraub, S. (2004a). Museum lighting: optimizing the illuminant. *Color Res. Appl.* 29, 121–127. doi: 10.1002/col.10231
- Scuello, M., Abramov, I., Gordon, J., and Weintraub, S. (2004b). Museum lighting: why are some illuminants preferred? *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image Sci. Vis.* 21, 306–311. doi: 10.1364/JOSAA.21.000306
- Pinto, P. D., Linhares, J. M. M., and Nascimento, S. M. C. (2008). Correlated color temperature preferred by observers for illumination of artistic paintings. *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image Sci. Vis.* 25, 623–630. doi: 10.1364/JOSAA.25.000623
- Liu, A., Tuzikas, A., Žukauskas, A., Vaicekauskas, R., Vitta, P., and Shur, M. (2013). Cultural preferences to color quality of illumination of different artwork objects revealed by a color rendition engine. *IEEE Photon. J.* 5:6801010. doi: 10.1109/jphot.2013.2276742
- Luo, H., Chou, C., Chen, H., and Luo, M. R. (2013). "Using LED technology to build up museum lighting environment," in *Proceedings of the 12th Conference of AIC Colour 2013 July 8–12, Vol. 4, Newcastle upon Tyne, 1757–1760.*
- Nascimento, S. M. C., and Masuda, O. (2014). Best lighting for visual appreciation of artistic paintings—experiments with real paintings and real illumination. *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image Sci. Vis.* 31, A214–A219. doi: 10.1364/JOSAA.31.00A214
- Zhai, Q. Y., Luo, M. R., and Liu, X. Y. (2015). The impact of illuminance and colour temperature on viewing fine art paintings under LED lighting. *Light. Res. Technol.* 47, 795–809. doi: 10.1177/1477153514541832
- Feltrin, F., Leccese, F., Hanselaer, P., & Smet, K. (2019). Impact of Illumination Correlated Color Temperature, Background Lightness, and Painting Color Content on Color Appearance and Appreciation of Paintings. *LEUKOS*, 16(1), 25–44. doi: 10.1080/15502724.2018.1522261
- Pelowski, M., Graser, A., Specker, E., Forster, M., von Hinüber, J., & Leder, H. (2019). Does Gallery Lighting Really Have an Impact on Appreciation of Art? An Ecologically Valid Study of Lighting Changes and the Assessment and Emotional Experience With Representational and Abstract Paintings. *Frontiers In Psychology*, 10. doi: 10.3389/fpsyg.2019.02148
- WikiArt.org - Visual Art Encyclopedia. [www.wikiart.org](http://www.wikiart.org). (2022). Abgerufen am 26. September 2022.

06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 11



## Literatur II



- Tan, W., Chan, C., Aguirre, H., & Tanaka, K. (2017). ArtGAN: Artwork synthesis with conditional categorical GANs. *2017 IEEE International Conference On Image Processing (ICIP)*. Doi: 10.1109/icip.2017.8296985
- Tan, W. R., Chan, C. S., Aguirre, H. E., & Tanaka, K. (2018). Improved ArtGAN for conditional synthesis of natural image and artwork. *IEEE Transactions on Image Processing*, 28(1), 394–409.

06.10.2022 | Technische Universität Darmstadt | Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung | Paul Myland | 12



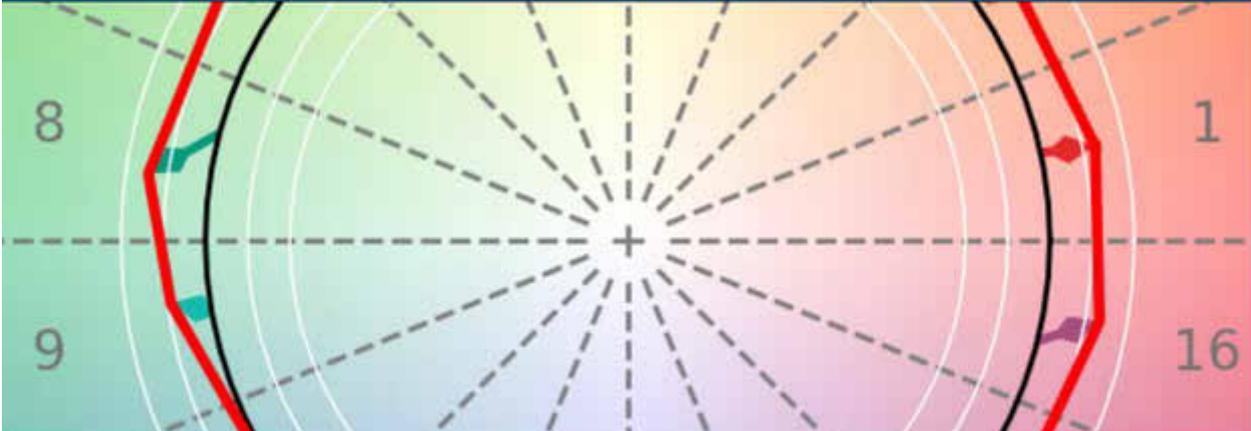
# Farbpräferenz-Datenbank – Eine explorative Datenanalyse

Julian Klabes

**Meta-Analyse**  
**Farbpräferenz im Kontext der Beleuchtungsqualität**

**Julian Klabes & Brandon Fobugwe**  
 Technical University Darmstadt - ALSV

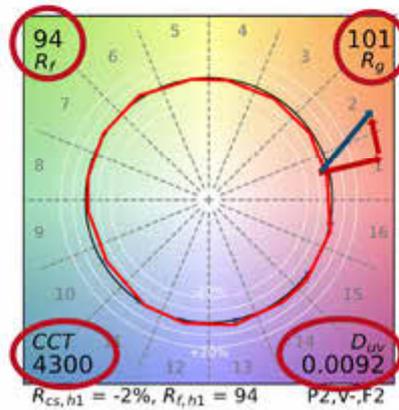
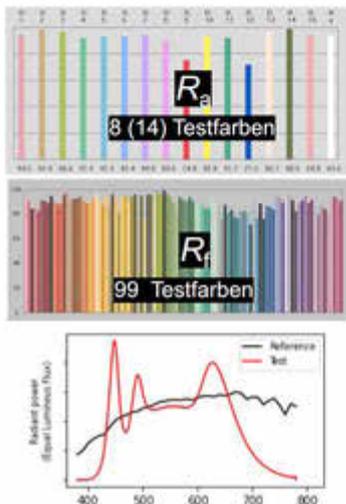
## Motivation / Wiederholung

### Wie ist Farbqualität in der Beleuchtung definiert?



- **Farbtreue** beschreibt die Farbwiedergabe im Vergleich zu einer Referenz gleicher CCT mit Hilfe von ausgewählten Testfarben
  - 1965 – Allgemeiner Farbwiedergabeindex Ra
    - 8 Testfarben
    - Farbraum: CIE 1964 U\*V\*W\*
    - Referenz: Plank und Tageslichtkurve
  - 2015 – TM-30 Fidelity-Index Rf
    - CIE 2017 "Colour fidelity index for accurate scientific use"
    - 99 Testfarben
    - Farbraum: CAM02-UCS
    - Referenz: Plank und Tageslichtkurve (+Kombination)
  - **Farbtreue korreliert nur bedingt mit der Nutzerpräferenz!**
  
- **Farbpräferenz** beschreibt die Verschiebung der Objektfarben zu visuell präferierten Farborten.
  - 1973 – Flattery Index FI
    - Präferierte Farbverschiebung der 8 Ra Testfarben
  - Entwicklung: CPI, CQS-Qp, Rm, MCPI, GAI...
    - Präferierte Farbverschiebungen tendieren zu Übersättigung bzw. Vergrößerung des durch die Testfarben aufgespannten Farbraums
    - Keine Metrik hat sich bisher durchgesetzt
  - 2015 –TM-30 Gamut-Index Rg
    - Mittlere Farbraumveränderung
    - Visuelle Darstellung der Farbraumveränderung
    - Interpretation unterliegt dem Hersteller, Lichtdesigner, Anwender...

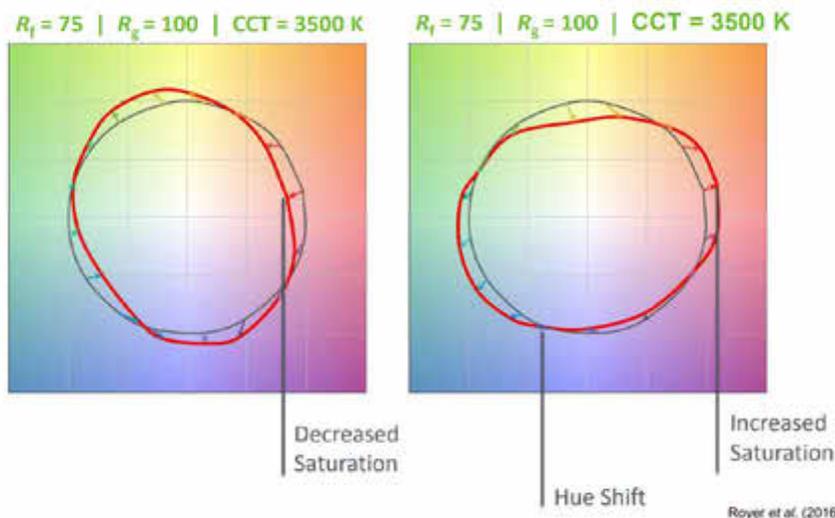
Motivation / Wiederholung  
TM-30 - Color Vector Graphic (CVG)



Repräsentative Darstellung der Farbverschiebungen einer Testlichtquelle

- Aufteilung der 99 Testfarben in 16 Farbbereiche
- Mittlere Chroma- und Farbtonverschiebung der Testfarben
  - Referenz  $R_f = 100$
  - (Schwarzer Kreis)
- Lokale Chroma- und Farbtonverschiebungen
  - $R_{cs,h1} = 6\%$
  - $R_{hs,h1} = 0.04$
- Gamut-Index  $R_g$  mittlere Farbraumänderung

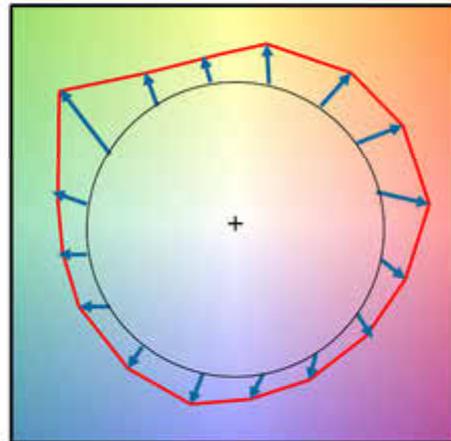
Motivation / Wiederholung  
Problematik mit mittleren Gamut-Metriken



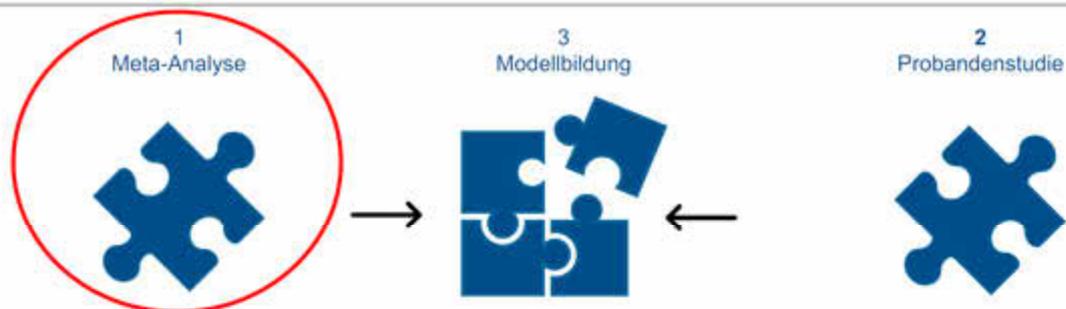
**Motivation / Wiederholung**  
**Forschungsziel**



- Definition einer **Referenz** für die allgemeine Farbpräferenz basierend auf dem TM-30



**Motivation / Wiederholung**  
**Bausteine zur Beantwortung**



- 1**  
 Meta-Analyse
- Aufbau einer Datenbank
  - Vergleich Metriken-Performance
  - TM-30 Chroma- & Hue-Shifts
  - Einfluss *E<sub>v</sub>* & CCT
  - Fehlende Daten-Cluster aufzeigen

- 3**  
 Modellbildung
- Zusammenhänge modellieren
  - Gewichtung der 16 Farbbereiche
  - (Integration in ein *R<sub>p</sub>*-Modell)
  - (Mit Datenbank verifizieren)

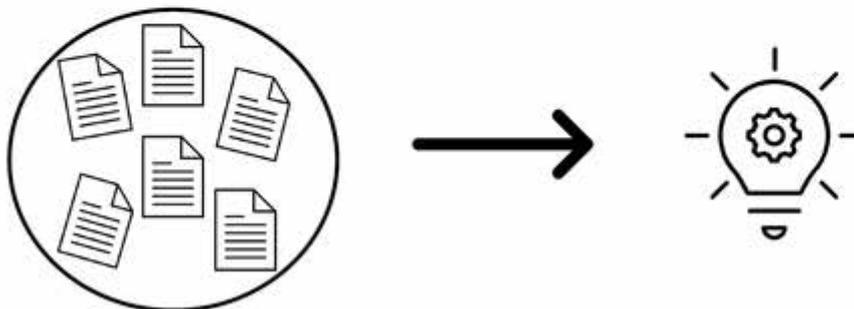
- 2**  
 Probandenstudie
- Definition präferierte Chroma- & Hue-Shifts
  - Abhängig von *E<sub>v</sub>* & CCT
  - Einfluss Geschlecht, Alter und Kultur

## Meta-Analyse Was ist eine Meta-Analyse?



Eine Meta-Analyse ist ein **statistisches Verfahren**, das die **Ergebnisse mehrerer Studien zur selben Fragestellung zusammenfasst** und daraus ein **aussagekräftigeres Ergebnis errechnet**.

Sie versucht **frühere Forschungsarbeiten quantitativ bzw. statistisch zusammenzufassen** und zu präsentieren.



## Farbpräferenzstudien Durchführung einer Präferenzstudie



## Farbpräferenzstudien Jede Studie ist anders



(a)



(b) Klabes et al. (2021)



Royer et al. (2021)



Huang et al. (2019)



Wei et al. (2020)



Wei et al. (2014)

## Farbpräferenzstudien Raum vs. Beobachtungsbox



a)



b)

Babilon (2018)

VS.



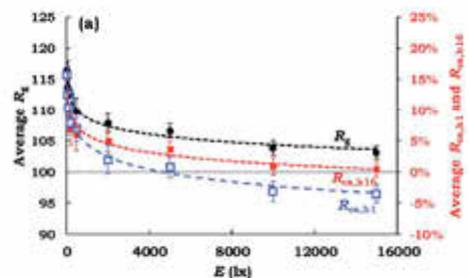
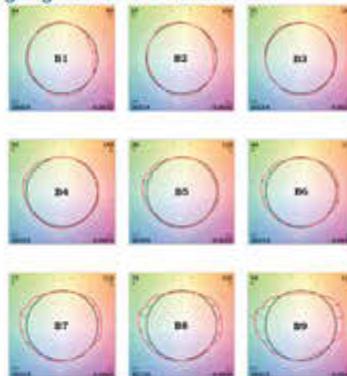
Huang et al. (2019)

## Präferenzstudien Einfluss der Beleuchtungsstärke (Wei et al. 2020)



• Untersuchung der präferierten Übersättigung von 20 bis 15.000 lux

- 9 Metamere Spektren mit 3000 K
- Chroma-Stufen auf der rot-grün Achse

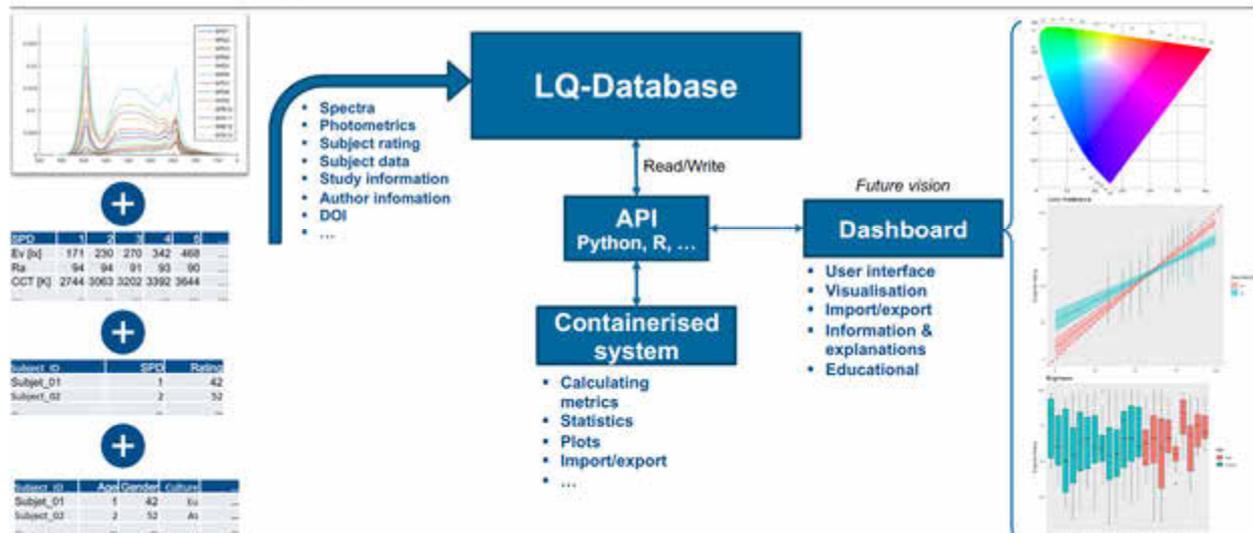


• Präferierte Übersättigung nimmt mit steigender Beleuchtungsstärke ab

- Referenz für die Farbpräferenz ist abhängig von der Intensität
- Farbpräferenz ist **mehrdimensional**



## Beleuchtungsqualitäts-Datenbank Kombination der Ergebnisse von internationalen Probandenstudien



## Beleuchtungsqualitäts-Datenbank

### Internationale Präferenzstudien zur Beleuchtungsqualität

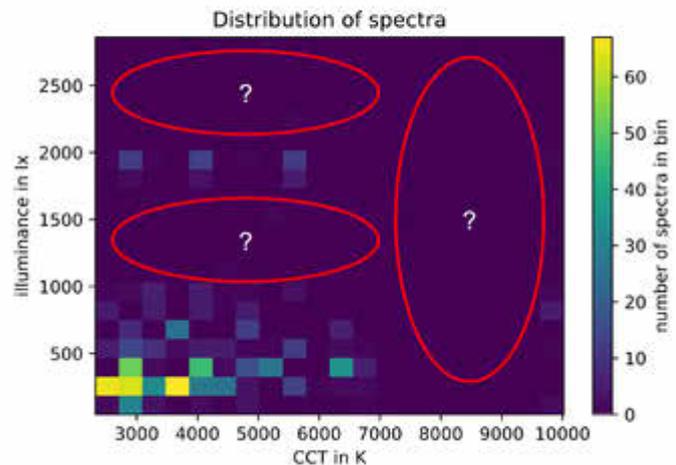


#### ▪ Kombination von mehreren Datenbanken

- Prof. Liu + Dr. Babilon + Dr. habil. Bodrogi
- Weitere Datenakquise steht aus

#### ▪ 42 Studien

- 820 Spektren mit Bewertungen
- $R_a$ : -15 bis 99,99
- $R_g$ : 30 bis 127
- CCT: 1998 K bis 10019 K
- $E_v$ : 45 lx bis 2860 lx



10.10.22 | Technical University of Darmstadt | ALSVV | Meta-Analyse Farbpräferenz | Julian Kläbes & Brandon Fobugwe | 13



## Beleuchtungsqualitäts-Datenbank

### Datenaufbereitung



#### ▪ Problematik

- Unterschiedliche Anzahl an teilnehmenden Person pro Studie
- Verwendung von unterschiedlichen Abfragemethoden und Bewertungsskalen
- Wie Performanz quantifizieren?

#### ▪ Lösung:

- Methode nach Hunter Schmidt (Gewichtung durch Anzahl der Stichprobe)
- Standardisierung der Bewertungsskalen mit Z-Score
- Spearman-Korrelation (Rangreihenfolge)

10.10.22 | Technical University of Darmstadt | ALSVV | Meta-Analyse Farbpräferenz | Julian Kläbes & Brandon Fobugwe | 14



## Ziele der Meta-Analyse Forschungsfragen



1. Performanz-Vergleich bestehender Metriken
2. Ermittlung der präferierten Maxima der Gamut-Metriken
3. Ermittlung der präferierter Chroma- und Farbton-Verschiebungen
4. Bestimmung des Einflusses der Adaptionbedingung
  - Hypothese: Präferierte Übersättigung nimmt mit der Beleuchtungsstärke ab
5. Untersuchung des Einflusses der Studienbedingungen
  - Einfluss Raum / Beobachtungsbox
  - Einfluss Kontext
  - Einfluss Kultur
  - Einfluss Geschlecht

## Performanz-Vergleich Welche Metriken werden betrachtet?



Photometric	Fidelity	Gamut	Preference	Other
$E_v$	$R_a$	CQS $Q_g$	CP	CDI
CCT	CQS $Q_f$	$\Delta C^*$	CQS $Q_p$	GAI
$D_{UV}$	$R_f$	$R_g$	CQI	GAI-CRI
			CQI'	$S_{neutral}$
			MCRI	GVI
			MCPI <sub>Babilon</sub>	CQS $Q_a$
			MCPI <sub>Liu</sub>	

---

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



**Julian Klabes, M.Sc.**

[klabes@lichttechnik.tu-darmstadt.de](mailto:klabes@lichttechnik.tu-darmstadt.de)

+49(0)6151 16-22872

**Technical University of Darmstadt**

Department of Electrical Engineering and Information Technology

Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing

Hochschulstr. 4a, 64289 Darmstadt, Germany

<https://www.lichttechnik.tu-darmstadt.de>



# Dynamische Regelung eines Mehrkanal-LED-Systems hinsichtlich eines konstanten Weißpunktes und einer konstanten Farberscheinung von Objekten

Christian Endl

**Dynamische Regelung eines Mehrkanal-LED-Systems hinsichtlich eines konstanten Weißpunktes und einer konstanten Farberscheinung von Objekten**

Christian Endl  
Betreuer: Paul Myland M.Sc., Julian Klages M.Sc.  
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

ALSV  
Adaptive Lichttechnische Systeme und Visualisierung

06.10.2022



## Motivation



- + Licht unter dem Kunstwerke geschaffen wurden
- + Besucher fühlen sich wohl
- + Sehr gute Farbwiedergabe



- Wechselnde Beleuchtungsstärken
- Variierende Farbtemperaturen
- Mögliche Farbortverschiebungen

## Aufgabenstellung



Dynamische Regelung eines Mehrkanal-LED-Systems entwickeln und validieren, um die Farberscheinung von Objekten unter Fremdlichteinfluss konstant zu halten



06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 3



## Vorgehen



Galeriemessung: Bestimmen von realistischen Umgebungsbedingungen



Simulation der Farbortregelung



Reale Umsetzung des Mehrkanal-LED-Regelsystems



Validierung des realen Systems

06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 4



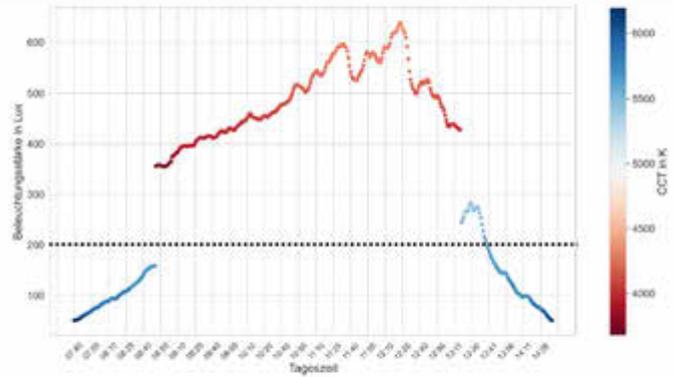


## Lichtmessung in der Galerie Netuschil



Ergebnisse:

1. Große Variation der Farbtemperatur: 3000K – 6000K
2. Große Variation der Beleuchtungsstärke: 50lx – 650lx



⇒ Änderung der Farberscheinung und mögliche Beschädigung von Kunstobjekten

## Entwickeltes Konzept

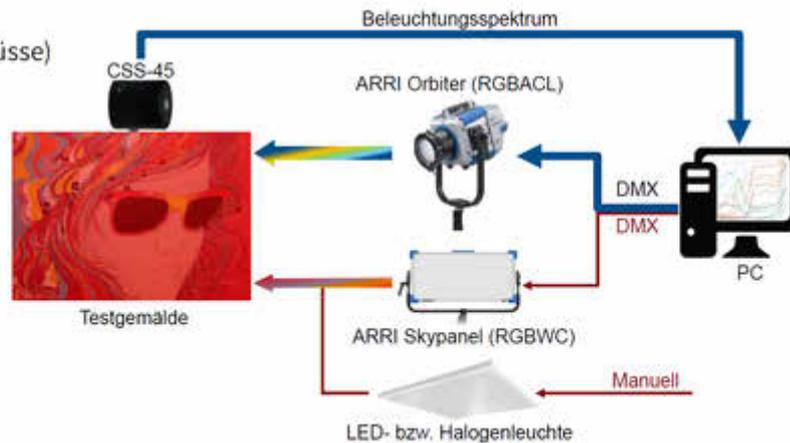


- Drei Gemälde als spezifische Testobjekte



## Entwickeltes Konzept

- Drei Gemälde als spezifische Testobjekte
- Spektrometer als Sensor am Bild
- Orbiter als Regelleuchte
- Fremdlichtquellen (Störeinflüsse)



## Vorgehen



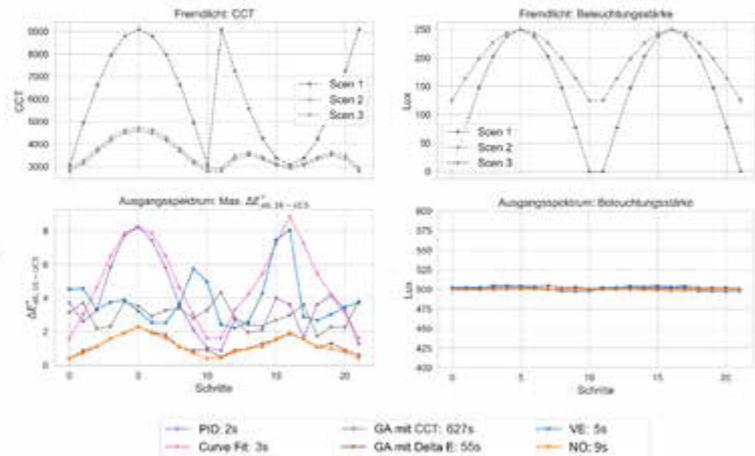
## Vergleich von Reglerarten

### Drei Fremdlichtszenarien:

1. Zeitverlauf von Tageslichtspektren
2. Tageslichtspektren + Halogen
3. Tageslichtspektren + LED

### Vergleich von vier Reglerarten:

1. Spektrumsangleichung (PID, Curve Fit)
2. Genetische Algorithmen (CCT und Delta E)
3. Virtuelle Emittter (VE)
4. Nichtlinearer Optimierer (NO)



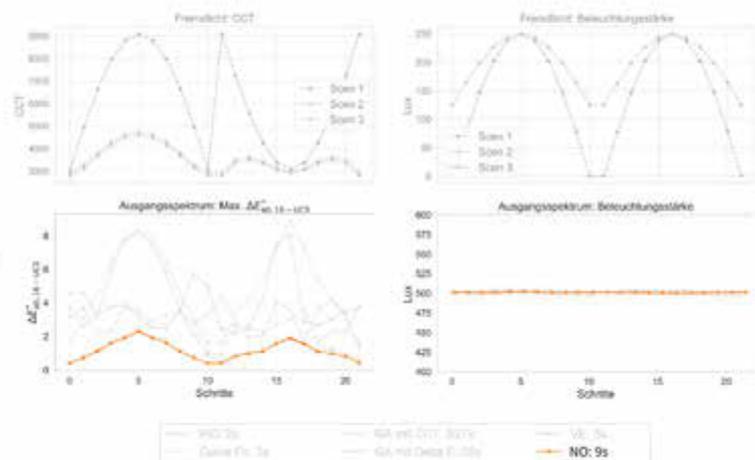
## Bester Farbortregler

### Drei Fremdlichtszenarien:

1. Zeitverlauf von Tageslichtspektren
2. Tageslichtspektren + Halogen
3. Tageslichtspektren + LED

### Vergleich von vier Reglerarten:

1. Spektrumsangleichung (PID, Curve Fit)
2. Genetische Algorithmen (CCT und Delta E)
3. Virtuelle Emittter (VE)
4. Nichtlinearer Optimierer (NO)



## Vorgehen



06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 11



## Übersicht über reale Systemregelung



06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 12

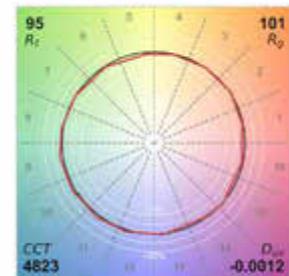
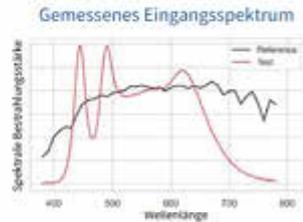


## 🔧 Eingangsspektrum festlegen

Genetischer Algorithmus:

- CCT als Optimierungsfunktion
- Beleuchtungsstärke,  $D_{UV}$ ,  $R_f$  und  $R_g$  als Nebenbedingungen
- Optimiert auf 99 Testfarben (TM-30) oder gemessene Reflexionsspektren

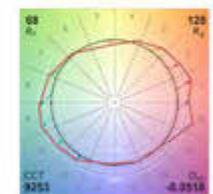
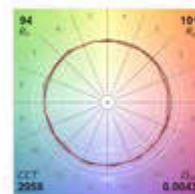
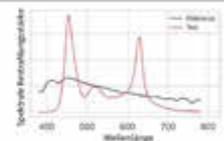
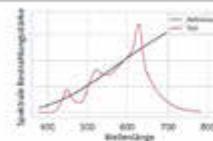
Metrik	Beleuchtungsstärke (E)	Farbtemperatur (CCT)	Abstand zum Planckschen Locus ( $D_{uv}$ )	Fidelity-Index ( $R_f$ )	Gamut-Index ( $R_g$ )
Werte	200 lx, 500 lx, 1000 lx	4800 K	$-0.003 \leq D_{uv} \leq 0.003$	$90 \leq R_f \leq 100$	$95 \leq R_g \leq 105$



## 🔧 Bewertung der Farberscheinungsänderung

Fremdlichteinfluss:

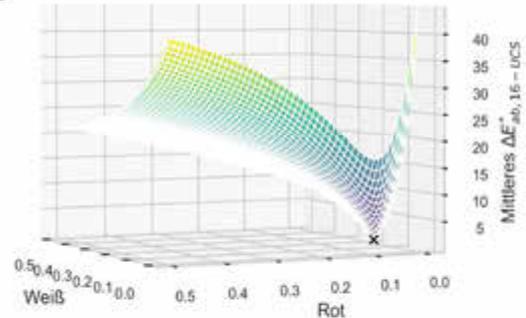
- Änderung der Beleuchtungsstärke (E): 1%
  - Änderung der Farbtemperatur (CCT): 50K
  - Änderung der Farberscheinung ( $\Delta E'_{ab}$ ): 0.5
- ⇒ Dynamischer Regeloffset



## ✂ Farbort- und Helligkeitsregelung

Nichtlinearer beschränkter Minimierer von multivariaten skalaren Funktionen (SLSQP):

- Hauptbedingung: Mittlere Farbortdifferenz  $\Delta E_{ab, CAM16-UCS}^*$
- Initialisierung mit vorherigen Gewichten
- Eingangsparameter:
  1. Spektren der Mehrkanalleuchte
  2. Reflexionsspektren
- Nebenbedingung: Beleuchtungsstärke



## ✂ Farbort- und Helligkeitsregelung



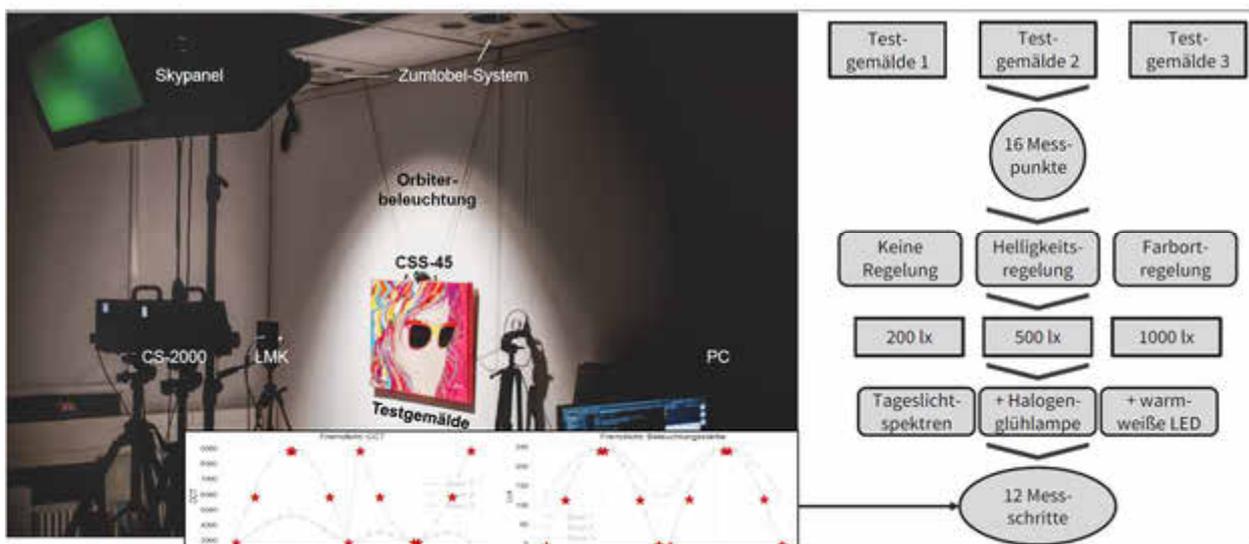
⇒ Mittlere Zeit pro Durchlauf: < 1 sec



## Vorgehen

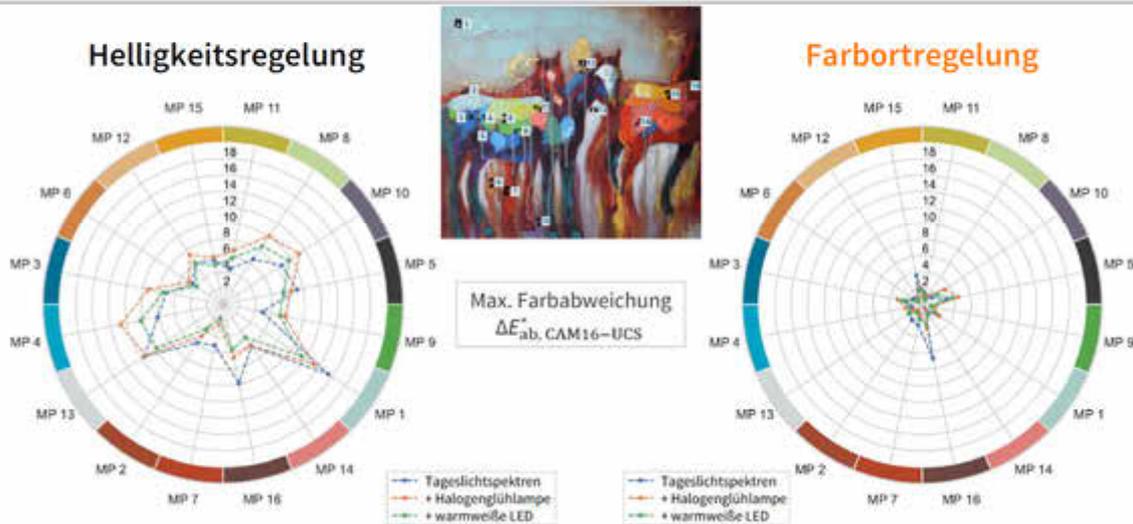


## Messaufbau und -ablauf





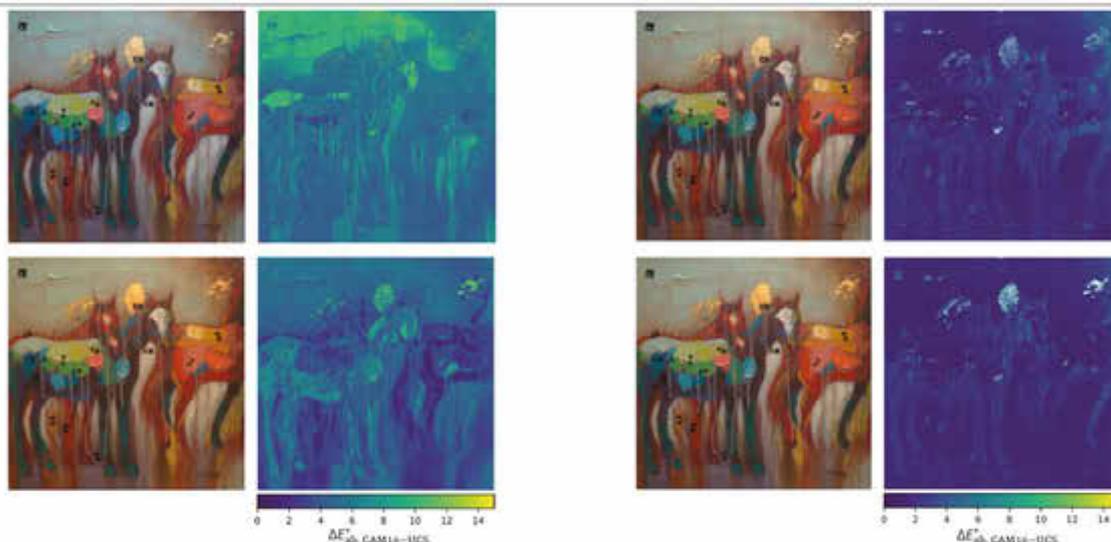
## Ergebnisse der spektralen Farbortmessung



06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 19



## Ergebnisse der pixelweisen Tristimulusmessung



06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 20



## Fazit der Reglervalidierung



- Farbortregelung: Max. Farbabweichung  $\Delta E_{ab, CAM16-UCS}^*$  meistens unter drei (50% Fremdlicht)
- Vergleich zur Helligkeitsregelung: Reduktion der Farbabweichung um circa Faktor 3

						
	Farbortregelung	Helligkeitsregelung	Farbortregelung	Helligkeitsregelung	Farbortregelung	Helligkeitsregelung
1. Szen.	1,99 / 1,84 $\xrightarrow{\times 3,6}$	7,21	3,31 / 2,24 $\xrightarrow{\times 2,6}$	8,5	1,25 / 1,86 $\xrightarrow{\times 3,3}$	7,45 / 6,05
2. Szen.	2,37 / 2,44 $\xrightarrow{\times 3,3}$	7,72	2,81 / 2,62 $\xrightarrow{\times 3,2}$	8,91	1,88 / 2,12 $\xrightarrow{\times 3,0}$	8,07 / 6,37
3. Szen.	3,28 / 1,90 $\xrightarrow{\times 2,8}$	6,33	2,47 / 2,49 $\xrightarrow{\times 3,2}$	7,91	1,70 / 1,82 $\xrightarrow{\times 2,8}$	6,77 / 5,05

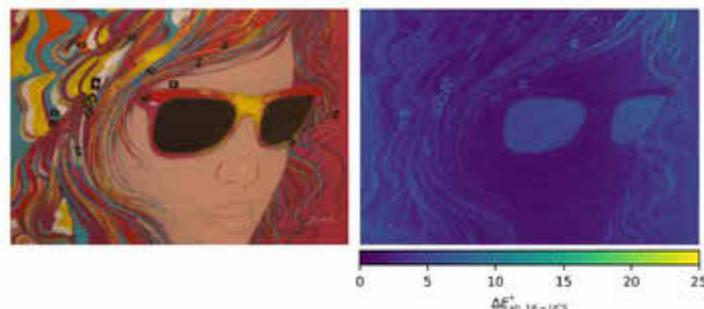
06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 21



## Fazit der Reglervalidierung



- Farbortregelung: Max. Farbabweichung  $\Delta E_{ab, CAM16-UCS}^*$  meistens unter drei (50% Fremdlicht)
- Vergleich zur Helligkeitsregelung: Reduktion der Farbabweichung um circa Faktor 3
- Beleuchtungsstärke (200lx, 500lx, 1000lx) spielt untergeordnete Rolle
- Probleme mit stark reflektierenden Ölfarben
- Größte Verschiebung bei dunkleren Farbtönen



06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 22

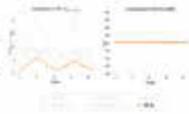


## Zusammenfassung



### Galeriemessung:

⇒ Variation der CCT und E für realistische Konzeptfindung und Testszenarien



### Simulation der Farbortregelung:

⇒ Vergleich der Reglerarten zeigt entwickelten NO als besten Farbortregler



### Reale Umsetzung des Mehrkanal-LED-Regelsystems:

⇒ Farbortregelung funktioniert in Realität mit mittleren Zeiten unter 1 sec



### Validierung des realen Systems:

⇒ Farbabweichung meist unter drei (50% Fremdlicht): Kaum wahrnehmbar

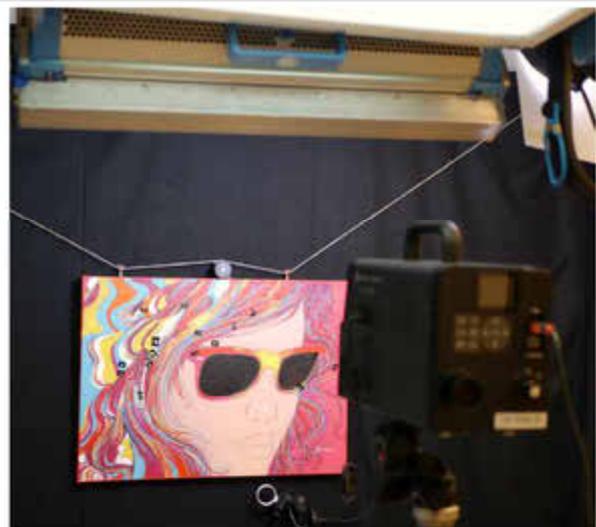
06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 23



## Ausblick



- Dunkle Farbtöne: Weiterführende Messungen
- Position des Spektrometers und Homogenität der Beleuchtung
- Gewichtung der Gemäldefarbtöne bzw. Erweiterung der Sensorik zur Farbortbestimmung



06.10.2022 | Technical University of Darmstadt | Adaptive Lighting Systems and Visual Processing | Dynamische Mehrkanal-LED Regelung | Christian Endl | 24



# Erkenntnisse von Psychophysikalischen Untersuchungen an durch Drucken metallisierten Oberflächen

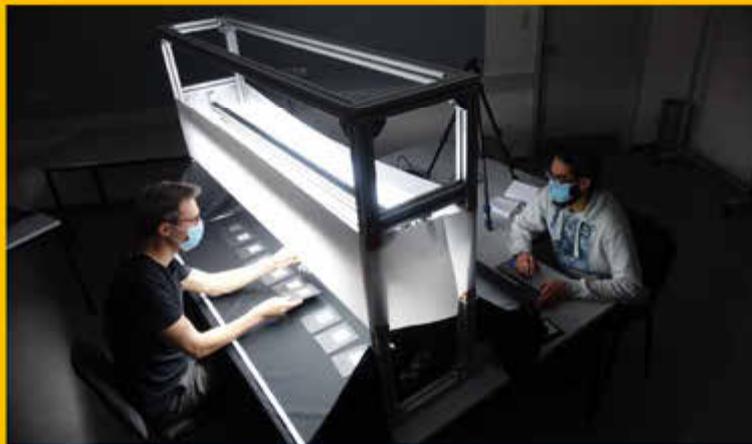
Carl Fridolin Weber

## Erkenntnisse von Psychophysikalischen Untersuchungen an durch Drucken Metallisierten Oberflächen



DfwG Jahrestagung 2022, Stuttgart, 06. Oktober 2022

Carl Fridolin Weber, Labeed Ahmad Solangi, Hans Martin Sauer, Edgar Dörsam, Martin Schmitt-Lewen



MASCHINENBAU **IDD**  
We engineer future

24.10.2022 1

## Methoden zur Metallisierung von Druckproben



Heißfolienprägung



Folienlaminiierung



Druckfarben mit Metalleffektpigmenten

Fokus der Untersuchungen



Siehe: Weber, Carl Fridolin; Spieth Dieter; Dörsam Edgar:  
Printing methods used in the label and package printing industry for the production of metallic embellishments with a focus on metal effect pigments  
In: JPMTR. [Artikel]. (2022)

MASCHINENBAU **IDD**  
We engineer future

DfwG Jahrestagung 2022 | Carl Fridolin Weber 24.10.2022 2

## Problematik an der Druckmaschine

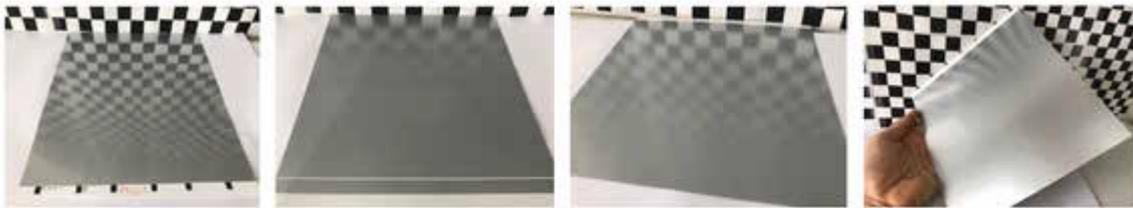


Häufig gestellte Fragen bei Druckversuchen und bei der Suche nach guten Druckparametern:

- Was glänzt denn mehr?
- Was sieht metallischer aus?

→ Erfahrung:

- Eindruck was metallischer ist und was mehr glänzt wird teilweise unterschiedlich wahrgenommen.
- Messwerte der Glanzmessgeräte und das Empfinden stimmen nicht immer überein.



## Forschungsfragen zu psychophysikalischen Untersuchungen mit metallisierten Druckproben



1. Wie korrelieren Verschiedene Aspekte des Aussehens metallischer Oberflächen wie Glanz, Spiegelschärfe, Metallische Anmutung und wahrgenommene Oberflächenrauheit miteinander?
2. Wie korrelieren Glanzmesswerte mit Aussagen von Probanden?
3. Wie reagieren Probanden auf sehr ähnliche und sehr unterschiedliche Proben?
4. Wie stark unterscheiden sich Probanden untereinander?
5. Kann die Mehrzahl von Probanden feine Unterschiede im Glanz verschiedener Proben wahrnehmen?
  1. → Lohnt sich zusätzlicher Aufwand um kleine Verbesserungen in den Glanzmesswerten zu erzielen?

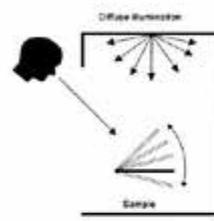
## Abmusterung von glänzenden Oberflächen – Inspiration aus früheren Arbeiten



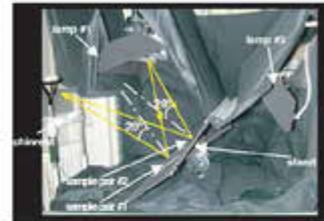
Assessing gloss under diffuse and specular lighting; Ged et al., 2020



Material-, Verfahrens- Voredelungs- und Klimaeinflüsse auf die Ausprägung von Metallic-Effekten im Druck; Berthold, Müller, 2014



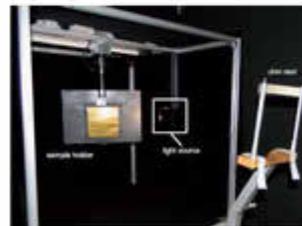
Gloss as an aspect of the measurement of appearance; Ji et al., 2006



Difference scaling of gloss: Nonlinearity, binocularity, and constancy; Obein et al., 2004



Modeling the Appearance of Metal-Like Packaging Printing; Rich et al. 2015



Optical Properties and Visual Appearance of Printed Special effect Colors; Kehren, 2013



Geometry of illumination, luminance contrast, and gloss perception; Leloup et al., 2010

## Was ist das besondere an diesem Experiment?

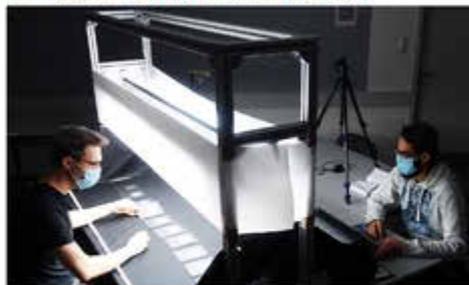


- **Experten aus der Druckindustrie wie auch Laien werden befragt**
  - Experten: Vergleichen und Beurteilen die Qualität von Druckproben zwischen mind. fünfmal pro Woche bis etwa einmal monatlich.
- **Probanden haben größtmögliche Freiheit um Proben zu beurteilen**
  - Keine Fixierung des Kopfes, volle Beweglichkeit erlaubt, Hilfsmittel können verwendet werden.
  - → Es ist das erlaubt was auch an einer Druckmaschine während eines Drucktests möglich wäre.
- **Es kommen zwei verschiedene Probensets zum Einsatz**
- **In einem Experiment werden gleichzeitig viele Aspekte der Appearance ins Auge gefasst**
- **Probanden werden auch allgemeine Fragen zum Thema Glanz gefragt**
  - Welche Objekte empfinden sie als glänzend? Wie würden Sie Glanz beschreiben?

## Psychophysikalische Untersuchungen an gedruckten metallischen Proben – Materialien und ProbandInnen



Probenauswahl: alle Proben mittels Aluminiumpigmenten in Druckfarben in Flexo- & Offsetdruck metallisiert



Bau einer Abmusterungsvorrichtung

Altersbereiche	0-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60+
Anzahl der ProbandInnen 13♂, 14♀	0	10	4	3	10	0

Altersverteilung der ProbandInnen

- 27 Probanden (15 Laien, 12 Experten)
- 2 Probensets à 10 Proben
- Ausarbeitung eines Versuchsplans → Durchführung aller Befragungen im Rahmen der Bachelorarbeit von Labeed Ahmad Solangi

### Rangordnung Probenset 1 legen nach:

1. Glanz
2. Wahrgenommene Rauheit
3. Schärfe der Bildspiegelung
4. Metallischer Eindruck
5. Helligkeit
6. Glanz

### Rangordnung Probenset 2 legen nach:

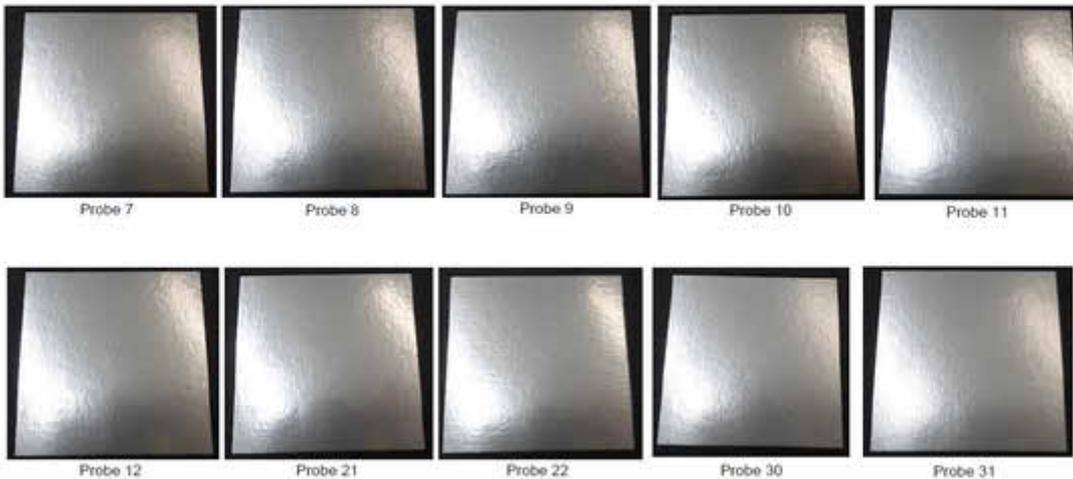
- Glanz

## Vorstellung Probenset A



- Sowohl sehr ähnliche als auch sehr unterschiedliche Proben in einem Set → keine Korrelation zwischen Gloss20, Gloss60 und DOI
- Alle Proben metallisiert mit Farben die VMP Pigmente enthalten. Probe 20 im Offsetdruckwerk metallisiert, alle anderen im Flexodruckwerk.

## Vorstellung Probenset B



- Sehr ähnliche Proben mit nur feinen Unterschieden in einem Set, alle Proben auf dem gleichen Substrat gedruckt mit der gleichen Metallicfarbe
- hohe Korrelation zwischen Gloss20, Gloss60 und DOI

## Glanzmesswerte der Probensets



Alles Glanzmessungen mit IQ-S Glanzmessgerät durchgeführt

### Probenset A

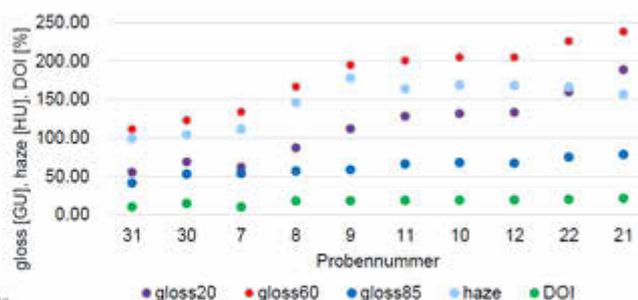
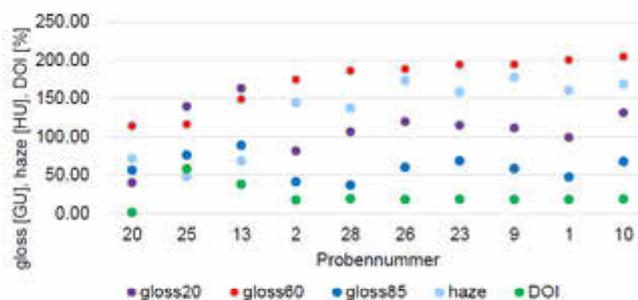
Korrelation* Gloss20** mit Gloss60	0.17
Korrelation Gloss20 mit Gloss85	0.67
Korrelation Gloss20 mit DOI	0.74
Korrelation Gloss60 mit Gloss85	-0.35

### Probenset B

Korrelation Gloss20 mit Gloss60	0.97
Korrelation Gloss20 mit Gloss85	0.96
Korrelation Gloss20 mit DOI	0.89
Korrelation Gloss60 mit Gloss85	0.95

\* Pearson-r Korrelationskoeffizient

\*\*GlossXX → Spiegelglanz gemessen bei XX°



## Abmusterungsbedingungen



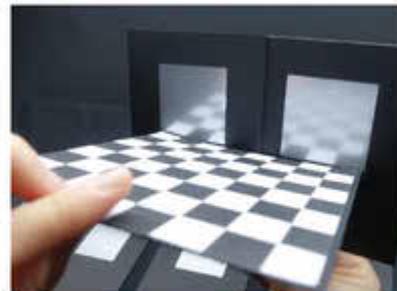
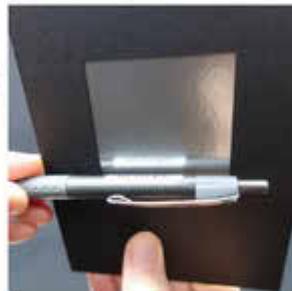
Abmusterungsbedingungen am  
IDD, TU Darmstadt

17 ProbandInnen

Abmusterungsbedingungen bei der  
Heidelberger Druckmaschinen AG

10 ProbandInnen

## Hilfsmittel im Versuch und Nachstellung typischer Positionen von Probanden im Versuch



## Datenverarbeitung → Berechnung Intervallskala

Auswertung erste Rangordnung nach Glanz, erste fünf Laien (Set A)										
Proband	Probennummer									
	1	2	9	10	13	20	23	25	26	28
1	6	5	1	3	4	10	2	9	8	7
2	1	4.3	10	7.7	6.6	2.1	7.7	5.5	3.2	8.8
3	3	4	2	1	6	9	7	10	8	5
4	7.4	8.7	4.8	4.8	2.2	10	6.1	1	3.5	8.7
5	3	5	2	1	7	10	6	9	8	4

Beispielhaft für 5 Probanden

Mean Rank (M <sub>r</sub> ) 1-5	4.08	5.41	3.97	3.52	5.18	8.22	5.77	6.90	6.16	6.71
Proportions $p = (N_r - M_r) / (N_r - 1)$	0.22	-0.10	0.25	0.36	-0.04	-0.80	-0.19	-0.47	-0.29	-0.42
Z score (Abweichung vom Mittelwert)	1.02	0.12	1.09	1.40	0.28	-1.77	-0.12	0.88	-0.38	-0.75

## Vergleich Abweichungen in Aussagen Laien & Experten

Standardabweichung in Rängen zwischen Laien-Probanden (15) in verschiedenen Fragen Kategorien

Für die Helligkeit wurden nur 6 Laien in die Auswertung mit einbezogen, da nur sie von einem flachen Winkel aus die Helligkeit bewertet haben

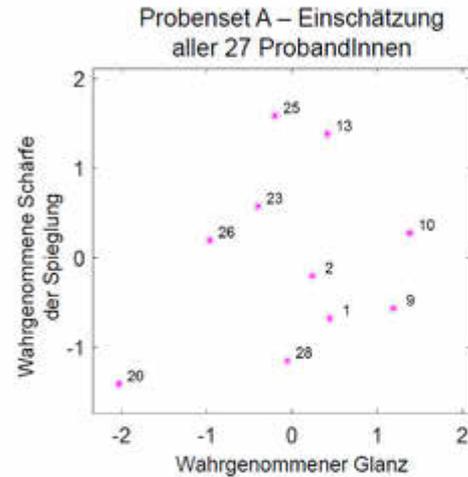
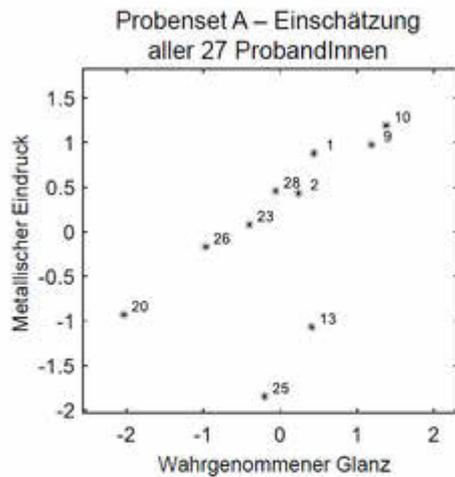
Set A					Set B	
Glanz 1	Rauheit	Bildschärfe	Metallischer Eindruck	Helligkeit	Glanz 2	Glanz 3
2.17	1.19	1.36	2.71	0.91	2.25	1.63

Standardabweichung in Rängen zwischen Experten-Probanden (12) in verschiedenen Fragen Kategorien

Set A					Set B	
Glanz 1	Rauheit	Bildschärfe	Metallischer Eindruck	Helligkeit	Glanz 2	Glanz 3
2.23	1.35	1.44	2.43	0.40	2.16	1.33

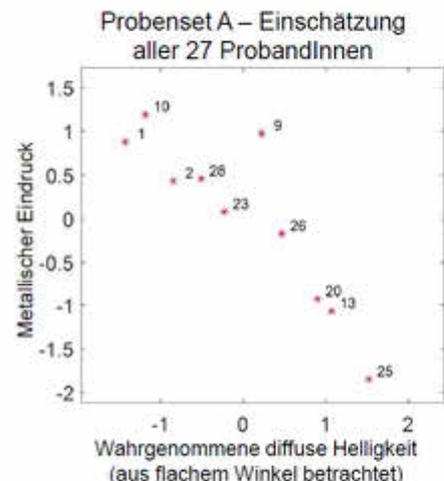
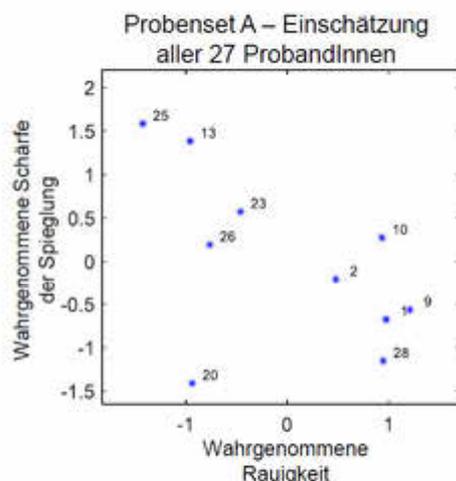
- Die Abweichungen zwischen den Laien sind etwa so hoch wie die der Experten
- Metallischer Eindruck ist ein eher abstrakter Begriff → hohe Abweichungen
- Helligkeit und Bildschärfe sind wenig abstrakt → niedrige Abweichungen

## Glanz – Metallischer Eindruck – Schärfe der Spiegelung



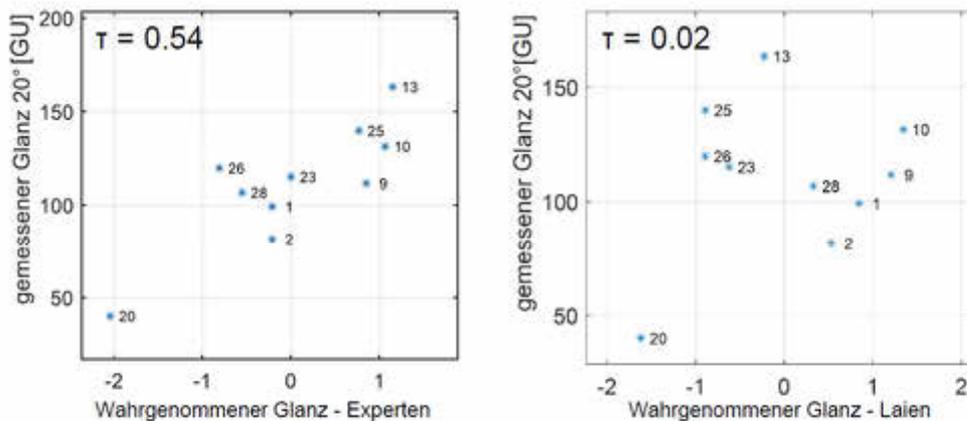
- Für die Proben in Set A hängt der wahrgenommene Glanz mit dem metallischen Eindruck zusammen – außer die Metallisierung ist speziell geglättet oder es wurde Folie als Substrat gewählt wie bei Proben 13 & 25.
- Eine hohe wahrgenommene Spiegelung bedeutet nicht automatisch einen hohen Glanz.

## Schärfe der Spiegelung – Wahrgenommene Rauigkeit – diffuse Helligkeit – metallischer Eindruck



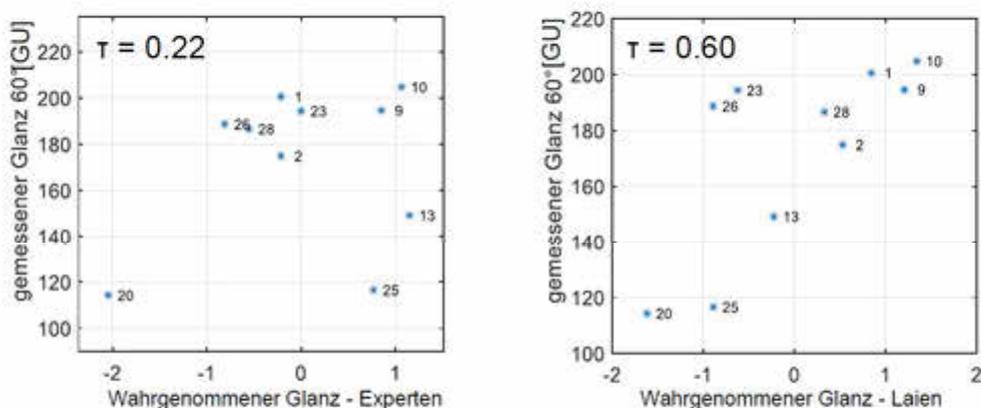
- Es gibt einen negativen Zusammenhang zwischen der Schärfe der Spiegelung und der wahrgenommenen Rauigkeit. Probe 20 ist ein Ausreißer → hier wurde auf glattes Bilderdruckpapier im Offsetdruck gedruckt. Für die anderen Proben wurden Flexodruckwerke verwendet.
- Es gibt einen negativen Zusammenhang zwischen der diffusen Helligkeit der Proben und dem metallischen Eindruck.
- Deckt sich mit Fogra-Forschungsbericht Nr. 34.021: sehr starker positiver Zusammenhang zwischen  $L^*_{max}$  und metallischen Effekt →  $L^*_{max}$  der Proben von diesem Versuch soll noch gemessen werden.

## Korrelation Set A – Vergleich der Glanzwahrnehmung mit gemessenen Spiegelglanz bei 20°



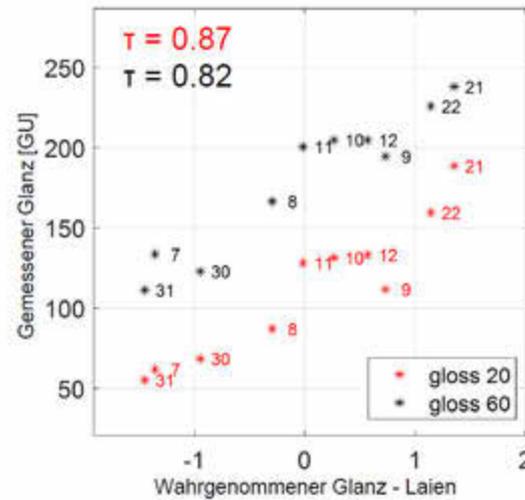
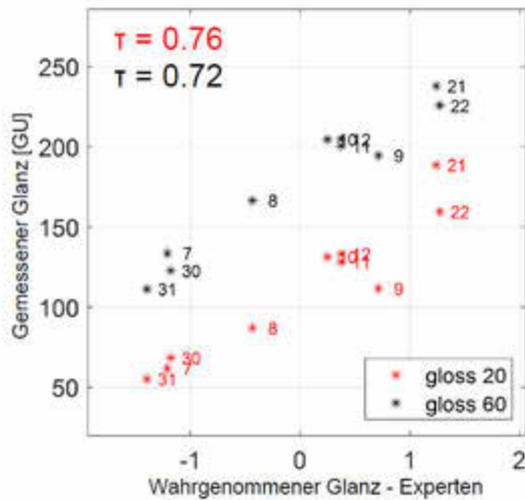
- Dass die Rangordnung des wahrgenommenen Glanzes mit der Rangordnung des Messgeräts übereinstimmt wäre zu erwarten
- Kendall- $\tau$ -Koeffizient: Statistik, mit der die ordinale Assoziation zwischen zwei gemessenen Größen gemessen wird

## Korrelation Set A – Vergleich der Glanzwahrnehmung mit gemessenen Spiegelglanz bei 60°



- Rangordnungen der Experten korrelieren besser mit dem Spiegelglanz gemessen bei 20°.
- Rangordnungen der Laien korrelieren besser mit dem Spiegelglanz gemessen bei 60°.
- Experten beziehen die Schärfe der Spiegelung anscheinend eher in die Bewertung des Glanzes mit ein als die Laien

## Korrelation Set B – specular gloss 60°



→ Für Proben Set B stimmt die Rangfolge beider Gruppen mit den Glanzmesswerten gemessen bei 20° und 60° recht gut überein.

## Antworten auf allgemeine Fragen zum Thema Glanz



Was ist Glanz für Sie?

Reflexion	Feine Rauigkeit	Funkeln	Strahlen
Blenden	Helligkeit	Bildschärfe	Spiegelung
Antiproportional Matt	Nicht Spiegeln	Angenehmes Blenden	Nicht zu sehr diffuses Reflektieren
Kein Spiegel	Leuchtend	Silbrig	Metallische Eigenschaft

Welche 3 Objekte aus Ihrem Alltag empfinden Sie als glänzend?

Autolack	Uhren	Edelstahlbesteck	Goldschmuck
Silberschmuck	Poliertes Metall	Spiegel	Silberfarbene Flugzeuge
Christbaumkugeln	Wasserhahn	Fliesenboden	Ausgeschaltetes Handydisplay
Fliesen	Klavierlack	Gedrucktes Magazin	Diamanten
Geöltes Holz	Fensterglas	Kupferdach	Palletten

## Kenntnisse von Experten über Glanzmessung



- Die meisten Experten kennen Glanzmessgeräte, wissen aber oft nicht genau was die Werte bedeuten
- Manche Experten beurteilen die Qualität von Druckproben fast täglich, kennen aber keine Glanzmessgrößen oder –kennwerte
- Aussage dessen was Glanz für Experten ist, deckt sich häufig nicht mit der Sortierung der Proben
- Mehrdeutigkeit in Aussagen zu Glanz:
  - Glanz ist spiegelnde Reflexion, ein Spiegel wäre aber nicht glänzend
  - Glanz ist Mischung aus homogenem Liegen einer Fläche und Reflexion. Ein Spiegel ist ideal glänzend
  - Glanz muss nicht metallisch sein, je mehr Spiegelung umso glänzender, je mehr Unebenheit umso glänzender das Funkeln

## Ausblick



Frage: Wie beeinflusst Sparkle der Proben mit dem Glanzempfinden?



BYK-mac i  
[www.byk-instruments.com](http://www.byk-instruments.com)

Ankündigung: Veröffentlichung von Konferenzpaper und weiteren Erkenntnissen: Color and Imaging Conference 2022



## Danksagung



Großen Dank für Unterstützung  
und Finanzierung der Versuche

Herzlichen Dank an alle Probanden und  
Probandinnen die an den Versuchen  
teilgenommen haben 😊

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Carl Fridolin Weber, Labeed Ahmad Solangi, Hans Martin Sauer, Edgar Dörsam, Martin Schmitt-Lewen, *Erkenntnisse von Psychophysikalischen Untersuchungen an durch Drucken Metallisierten Oberflächen*, DfwG Jahrestagung 2022, Stuttgart, 06. Oktober 2022

Fragen?

[weber@idd.tu-darmstadt.de](mailto:weber@idd.tu-darmstadt.de)

Technische Universität Darmstadt  
Institute of Printing Science and Technology  
Prof. Dr.-Ing. Edgar Dörsam  
Magdalenenstr. 2  
64289 Darmstadt  
Germany

<https://www.idd.tu-darmstadt.de>



# Farbgetreue 3D-Textilsimulation

Andreas Kraushaar/ Marco Mattuschka



## Farbgetreue 3D-Textilsimulation

Marco Mattuschka (Vizoo), Andreas Kraushaar (Fogra)

### Motivation

- Spezifikation und Visualisierung von Uni-Materialien ist durch die diffuse Farbe (d:8° bzw. 45°:0°) etabliert
  - Umfassende Visualisierung eines Materials geht darüber hinaus (Fotos)
  - Je nach Materialeigenschaften und Erwartungshaltung der Anwendung sind unterschiedliche Aufwände nötig
- Verständnis der Zusammenhänge bei der originalgetreuen 3D Visualisierung mit dem Fokus: Textil



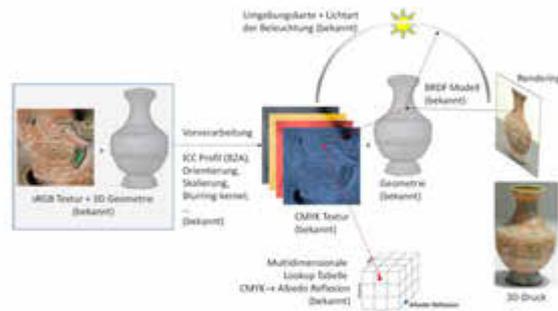
Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

2

## Kochrezept für 3D Szenenrepräsentation

1. 3D-Datenmodell
2. Charakterisierung der Oberflächeneigenschaften → Digitale Materialien
3. Charakterisierung der Umgebung
4. Zusammenspiel im 3D-Rendering



Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

3

## 1. 3D-Datenmodell

- Objekte werden durch Polygone (meist Dreiecke) approximiert
- Erstellung direkt in 3D-Anwendungen oder 3D-Scan
- Eigenschaften der Oberflächen werden separat definiert (entweder mit dem Modell oder später in der 3D-Anwendung)



wireframe

OBJ  
STL  
3MF

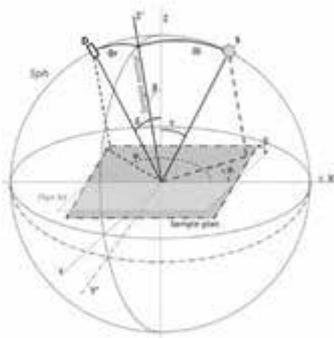
Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

4

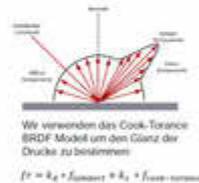
## 2. Charakterisierung von Oberflächen

### Wohin geht die Reise, liebes Photon?



### Praktische Lösungsansätze

- Stark abhängig von den Materialien
- Für Textilien
  - BRDF-Modellierung
  - BRDF-Messung
  - MAP = orts aufgelöste(r) BRDF-Modellparameter



Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

5

## 2. Basisinformationen

### Parameter Schätzung

- Bediener nutzen digitale Materialbibliotheken und passen diese manuell an
- Entertaining-Industrie (Hollywood)
- Es muss photorealistisch („beeindruckend“) sein, aber nicht physikalisch korrekt („farbecht“)

### Parameter-Messung / Erfassung

- Umfängliche Beschreibung mittels Strahlungstransportgleichung (vgl. S. Geiger DfwG 2021) aufwändig und anwendungsfallabhängig
- Umfängliche Abtastung/Messung (Gonio) vom Halbraum (BSSRDF) ist praktisch nicht umsetzbar
- Erfassung/Approximation von BRDF-Modellparametern

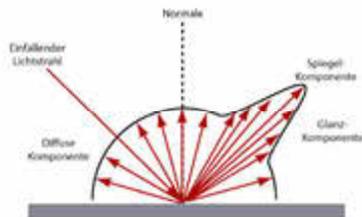
Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

6

## 2. Charakterisierung von Oberflächen

### Populäres BRDF-Modell

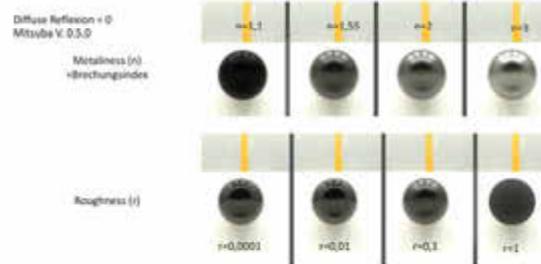


Wir verwenden das Cook-Torrance BRDF Modell um den Glanz der Drucke zu bestimmen:

$$f_r = k_d * f_{\text{lambert}} + k_s * f_{\text{cook-torrance}}$$

### Typische Materialausprägung

Variation Cook-Torrance Parameter (n und r)

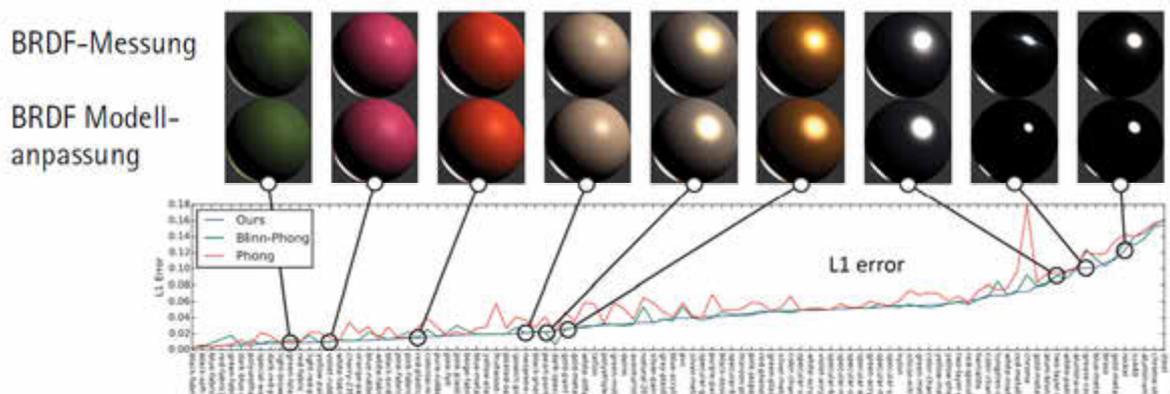


Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

7

## 2. BRDF: Messung versus Modell-Anpassungen



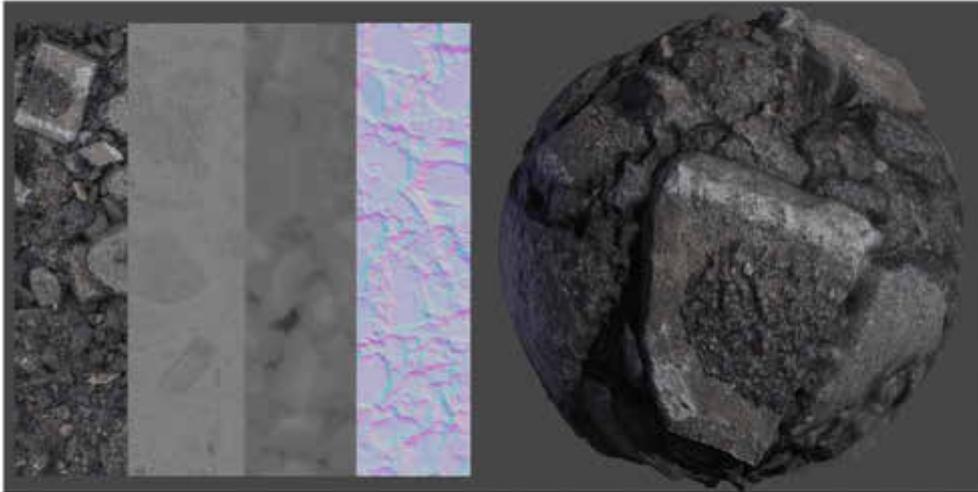
Jeppe Frisvad (DTU)

Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

8

## 2. Wichtigsten Modellparameter in Kürze

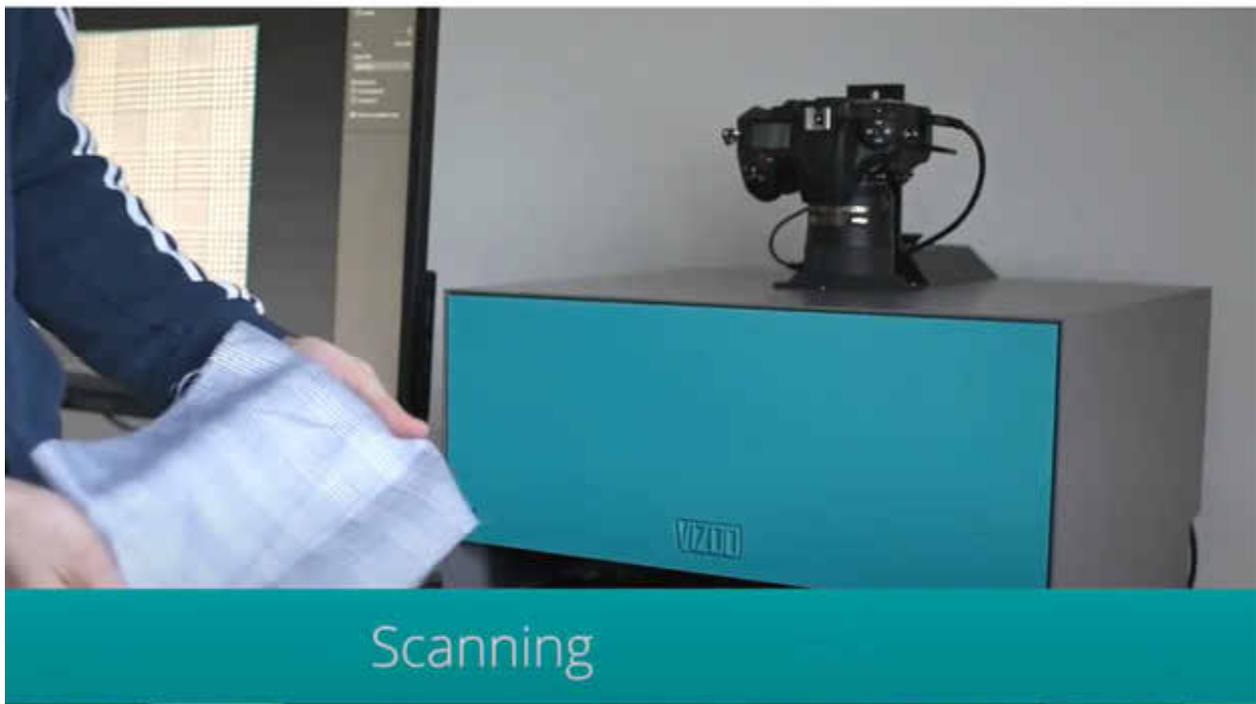


Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

<https://help.polygon.com/en/articles/1712652-what-are-the-different-texture-maps-for>

9



### 3. Charakterisierung der Umgebung

- Umgebungskarte (Environmental Map)
- Ermöglicht die Abbildung des Umfeldes auf die Objekte (Image Based Lighting)
- Fungiert als Lichtquelle
- Als 1D, 3D (RGB) oder spektrale Information möglich



Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

11

### 4. 3D-Rendering

Rendering erstellt die 3-D-Szenenreproduktion aufgrund der Interaktion von:

- 3D-Datenmodell (Triangulation)
- Materialbeschreibung (BRDF)
- Umgebungsbeleuchtung
- (Beobachter)

Fogra

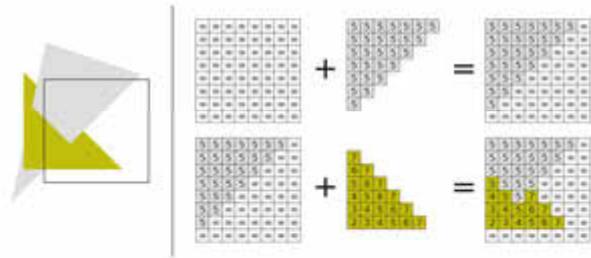
Farbgetreue 3D-Textilsimulation

12

## 4. Techniken für die 3D-Szenenreproduktion

### Z-Buffering

Vorteil: einfache Implementierung  
Nachteil: es werden keine Zusammenhänge der Objekte ausgenutzt



Fogra

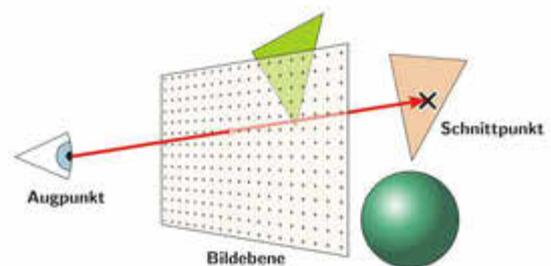
Farbgetreue 3D-Textilsimulation

13

## 4. Techniken für die 3D-Szenenreproduktion

### Raytracing

Vorteil: realistische Bildsynthese möglich  
Nachteil: zeitintensiv, aktuelle Hardware notwendig



Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

14

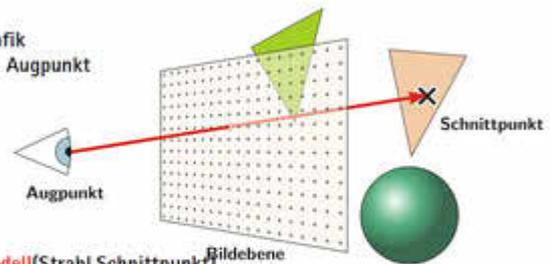
## 5. Beispielcode Ray-Tracing

Prozedur Bild\_Rendern

Strahl.Ursprung := Augpunkt Für jedes (x,y)-Pixel der Rastergrafik  
 Strahl.Richtung := [3D-Koordinaten des Pixels der Bildebene] – Augpunkt  
 Farbe des (x,y)-Pixels := *Farbe\_aus\_Richtung*(Strahl)

Funktion *Farbe\_aus\_Richtung*(Strahl)

Schnittpunkt := *Nächster\_Schnittpunkt*(Strahl)  
 Wenn Schnittpunkt.Gewinner = (kein) dann  
     return *Environment*(Strahl)  
 sonst  
     (neueRichtung, Reflexionsgrad) = *Beleuchtungsmodell*(Strahl, Schnittpunkt)  
     return *Farbe\_aus\_Richtung*(neuerStrahl) \* Reflexionsgrad



Funktion *Nächster\_Schnittpunkt*(Strahl)

... Teste ob es einen Schnittpunkt mit einem geometrischen Primitiva gibt (Geometrie)

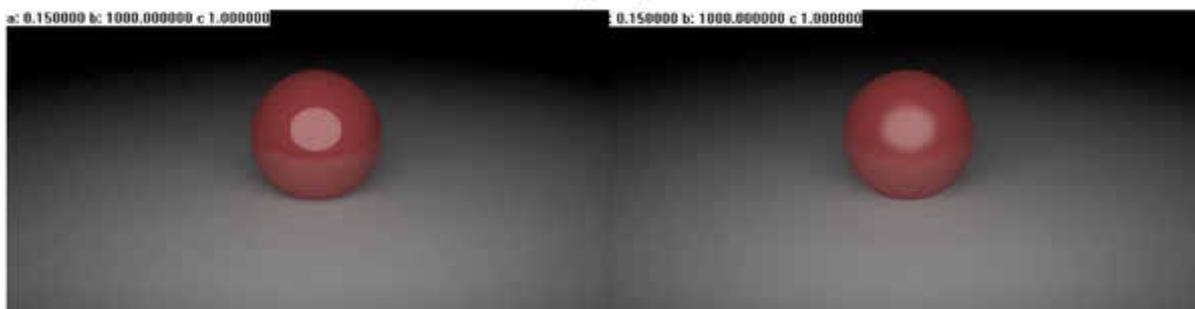
Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

15

## 5. Monte-Carlo-Raytracing

1000 Samples per Pixel



Raw

Denoised



Beeinflusst die Wahrnehmung

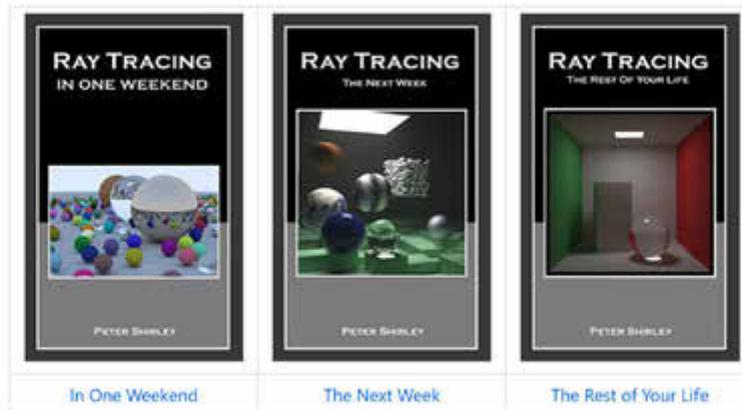
Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

16

## 5. Basic-Lecture

### Ray Tracing in One Weekend Book Series



@ <https://github.com/RayTracing/raytracing.github.io>

Fogra

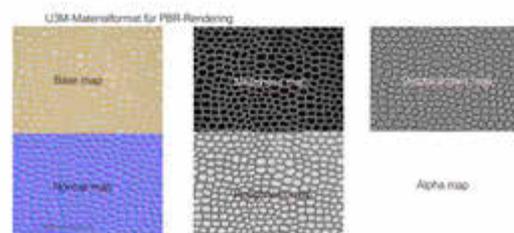
Farbgetreue 3D-Textilsimulation

17

## Ausblick



Fehlende Referenzmaterialien bzw. Referenzaufbau für die visuelle Nachstellung, Schlechte Rückführbarkeit der Maps.



Laufendes ZIM-Kooperationsprojekt mit dem Ziel, eine Referenzszene als „Versicherung“ für die Kunden der Vizoo GmbH zu erstellen.

Fogra

Farbgetreue 3D-Textilsimulation

18

# Ergebnisse der winkelaufgelösten BTDF-Charakterisierung von optisch transmittierenden Diffusoren

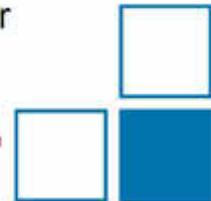
Tatjana Quast



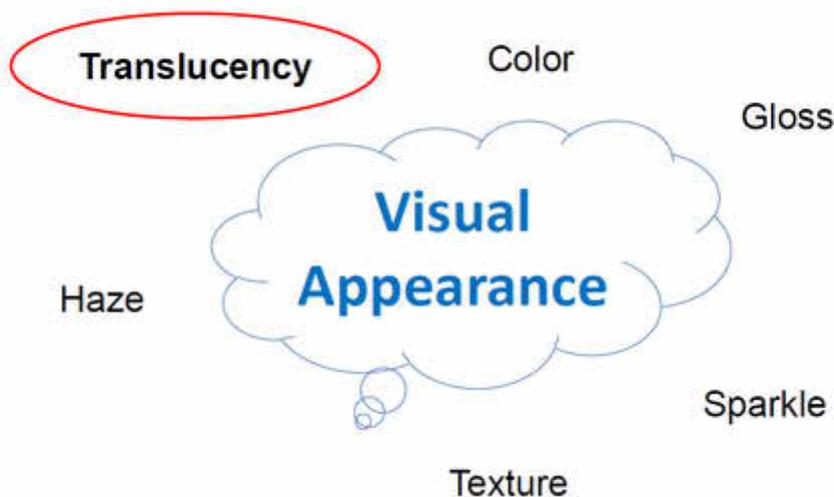
## Preliminary Results of Angle-Resolved BTDF Characterization of Optical Transmissive Diffusers

Tatjana Quast, Jeppe Revall Frisvad, Michael Esslinger, Jinglin Fu, Alfred Schirmacher

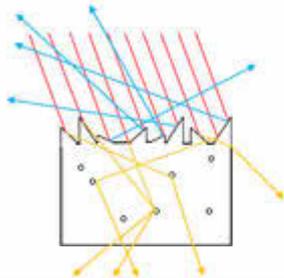
October 6, 2022



### Introduction



# Optical Diffuse Transmission



- Non-uniformities in the medium: dedicated scatterers, designed surface structures & treatment, etc.
- photon trajectory deviation
- **diffuse** reflection & transmission



<https://graphics.ap.averydennison.com/en/home/graphics-products/architectural-film/floatable-window-film.html>

Quantitative characterization?



<https://www.sylsilicone.com/polymethylsiloxane-in-led-light-diffuser-sheet.html>



<https://www.rp-photonics.com/engineered-diffusers-information/>



By Oiler Tran - <http://www.oyonale.com/models.php?lang=eng&page=40>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/index.php?title=745313>

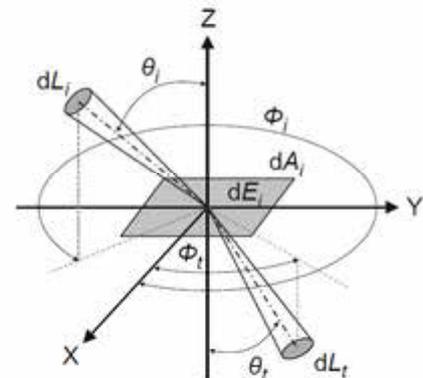
# BTDF Definition



- Bidirectional Transmittance Distribution Function
- Definition:

$$BTDF = \frac{dL_t(\theta_t, \phi_t, \lambda)}{dE_i(\theta_i, \phi_i, \lambda)} [\text{sr}^{-1}]$$

- $L_t$ : radiance of transmitted radiation [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$ ]
- $E_i$ : irradiance of incident radiation [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
- $\theta$ : polar angle (relative to sample normal)
- $\phi$ : azimuthal angle (within the sample plane)
- $\lambda$ : wavelength of incident radiation



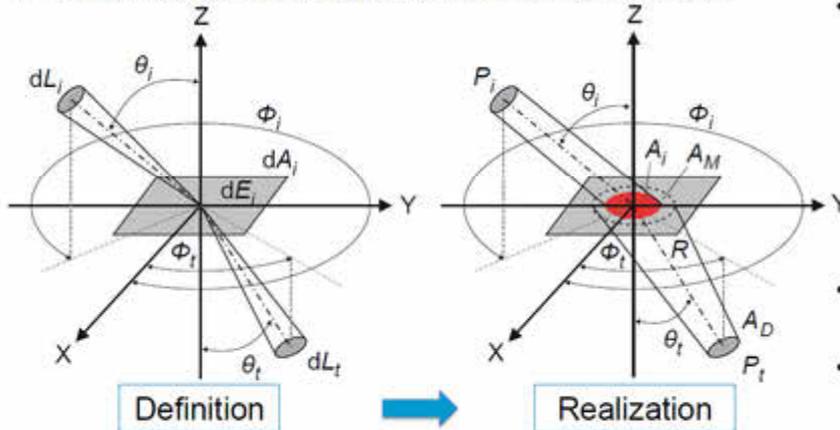
Buder et al., "Comparison of bidirectional transmittance distribution function (BTDF) measurements on fused silica and sintered polytetrafluoroethylene diffusers," Metrologia 56.6 (2019): 065006

Quantitative characterization of diffuse transmission

# BTDF Realization



## ▪ Bidirectional Transmittance Distribution Function



- Measurement with finite resolution:
  - $A_i$ : irradiated area
  - $A_M$ : measurement area
  - $A_D$ : detector aperture area

$$BTDF = \frac{P_t / \Omega}{P_i \cos \theta_t} [\text{sr}^{-1}]$$

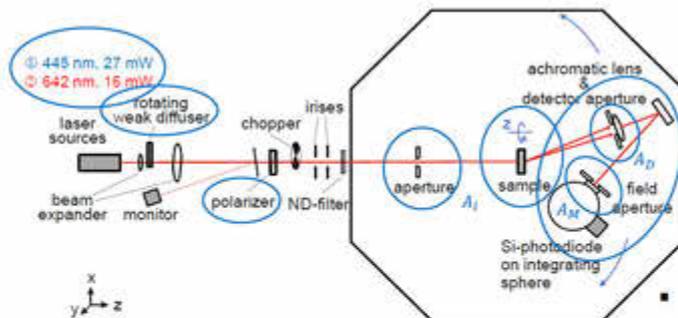
- $P_{i,t}$ : incident / transmitted optical power [W]
- $\Omega = \frac{A_D}{R^2}$ : detector solid angle
  - $R$ : distance from sample to detector aperture

Butler et al., "Comparison of bidirectional transmittance distribution function (BTDF) measurements on fused silica and sintered polyethylmethacrylate diffusers," Metrologia 56:6 (2019): 065008

Physikalisch-Technische Bundesanstalt ■ Braunschweig and Berlin  
11.10.2022

**B-IGSM** National Metrology Institute  
Jinglin Fu

# Measurement Setup



- BxDiff activity: interlaboratory comparison on BTDF of scattering samples
- NaNoRef: the national reference setup for measurement of specular reflection  
→ **Modification**

- Two laser sources
- Rotating weak diffuser: homogeneous illumination + speckle reduction
- Polarizer: BTDF as unpolarized value (average of s- and p-polarization)

- Sample rotation & position: motorized rotary stage & displacement units
- Detection system: motorized rotary arm,  $\pm 80^\circ$
- Apertures:
  - $A_i$ : irradiation spot size
  - $A_D$ : detection angular resolution, min.  $0.5^\circ$
  - $A_M$ : measurement area on sample

Physikalisch-Technische Bundesanstalt ■ Braunschweig and Berlin  
11.10.2022

**B-IGSM** National Metrology Institute  
Jinglin Fu

# Sample Overview

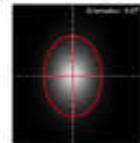


Sample ID	Material	Scattering description
HOD-500	Micro air bubbles ( $\phi < 20 \mu\text{m}$ ) uniformly distributed in synthetic fused silica (HOD <sup>®</sup> ), 2 mm thick	Quasi-Lambertian, bulk scattering
Zenith-250	Zenith polymer <sup>®</sup> , sintered PTFE foil, 0.25 mm thick	Quasi-Lambertian, bulk scattering
DG20-220	N-BK7 substrate, active surface roughened using 220 Grit, 2 mm thick	Gaussian, surface scattering
E28-14	Holographic diffuser, 125 $\mu\text{m}$ thick imprinted PET foil on standard glass substrate, 2 mm thick	2D-Gaussian, surface scattering
ED1-S20	Engineered Diffuser <sup>™</sup> , microlens unit made of Zeonor injection molded on N-BK7 substrate, 1.5 mm thick	Square-shaped scattering distribution

Rotationally symmetric

Azimuthally sensitive\*

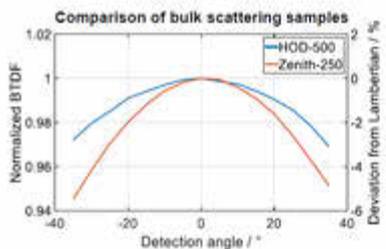
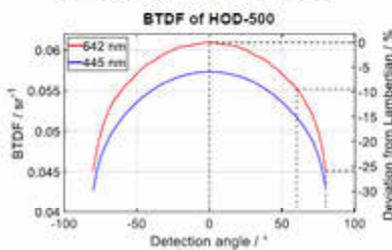
\* Main axis determined by imaging system (CCD camera) prior to measurement



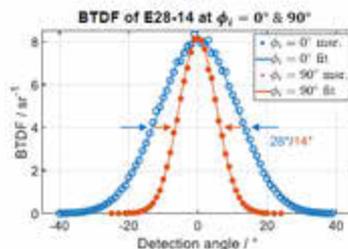
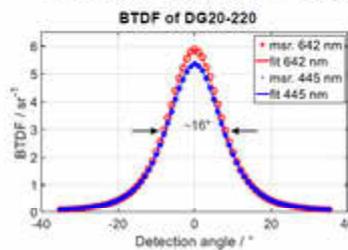
# Preliminary Results



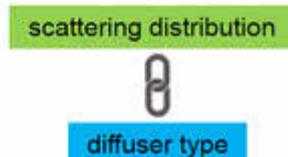
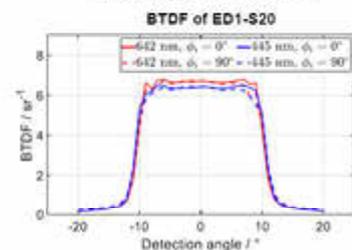
▪ Bulk scattering diffusers



▪ Surface scattering diffusers



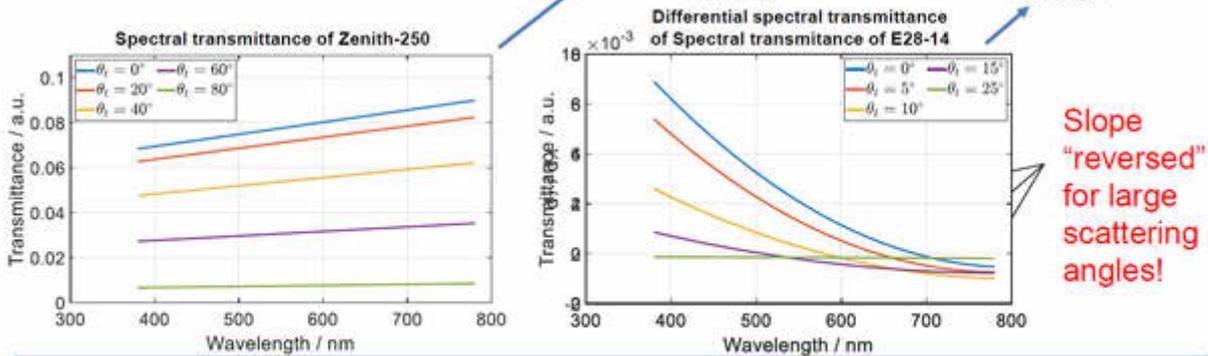
▪ Engineered diffuser



# Wavelength Dependency



- WL-correction for comparison at prescribed WLs
- Measured on Cary 6000i with UMA (mini-goniometer)



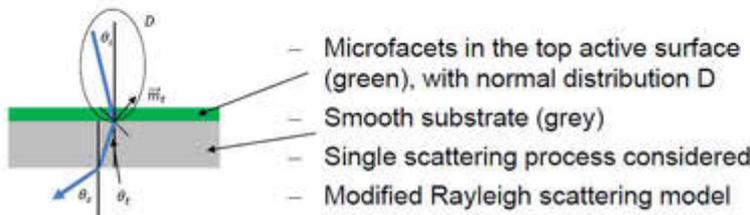
Physikalisch-Technische Bundesanstalt ■ Braunschweig and Berlin  
11.10.2022

National Metrology Institute  
Jinglin Fu

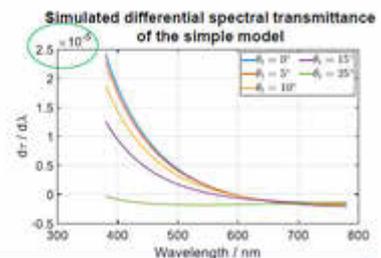
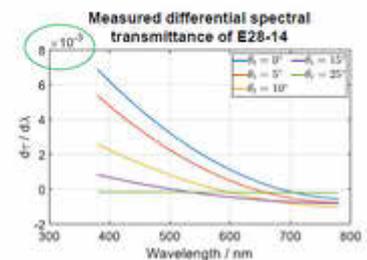
# Wavelength Dependency



- First-step simulation using single scattering model



- Comparison between simulation & measurement
  - Similar behavior at each scattering angle
  - Magnitude might be enhanced considering multiple in-surface scattering
  - Thorough calculation using scalar diffraction theory necessary



Physikalisch-Technische Bundesanstalt ■ Braunschweig and Berlin  
11.10.2022

National Metrology Institute  
Jinglin Fu

# Prelim. Uncertainty Analysis



$$\frac{\Delta BTDF}{BTDF} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_i}{P_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta P_t}{P_t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \Omega_t}{\Omega_t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \theta_t \cdot \sin \theta_t}{\cos^2 \theta_t}\right)^2}$$

E.g. HOD-500,  $\lambda = 445 \text{ nm}$ ,  $\theta_t = 0^\circ$  (best case):

Source	Notation	Rel. uncertainty
Irradiation power	$\Delta P_i$	0.00031
ND-filter	$\Delta \tau_F$	0.00268
Scattered transmitted power	$\Delta P_t$	0.00014
Detection solid angle	$\Delta \Omega_t$	0.00153
- Distance sample to detector	$\Delta R$	0.00054
- Detector aperture area	$\Delta A_D$	0.00134
Receiver angle	$\Delta \theta_t$	0.00005
<b>Estimated total uncertainty (<math>k = 2</math>)</b>	<b><math>\Delta BTDF</math></b>	<b>0.005 / 0.5%</b>

- Larger uncertainty at large detection angles due to:
  - Smaller signal amplitude
  - Larger variation in cosine value
- Sample-specific uncertainty sources:
  - Steep slope in scattering characteristics
  - Sample orientation
- Irradiation area dependence not yet considered

# Summary & Outlook



**BTDF definition & realization**

$BTDF = \frac{dL_t(\theta_t, \phi_t, \lambda)}{dE_i(\theta_i, \phi_i, \lambda)} [sr^{-1}] \rightarrow BTDF = \frac{P_t/\Omega}{P_i \cos \theta_t} [sr^{-1}]$

**Measurement setup**

445 nm, 27 mW  
642 nm, 16 mW

**Preliminary results**

Scattering distribution **Diffuser type**

Thorough simulation to explain WL-dependency

Source	Notation	Rel. uncertainty	Other (sample-specific) uncertainty sources
Irradiation power	$\Delta P_i$	0.00031	→ Complete uncertainty budget
ND-filter	$\Delta \tau_F$	0.00268	
Scattered transmitted power	$\Delta P_t$	0.00014	→ Complete comparison
Detection solid angle	$\Delta \Omega_t$	0.00153	
- Distance sample to detector	$\Delta R$	0.00054	
- Detector aperture area	$\Delta A_D$	0.00134	
Receiver angle	$\Delta \theta_t$	0.00005	
<b>Estimated total uncertainty (<math>k = 2</math>)</b>	<b><math>\Delta BTDF</math></b>	<b>0.005 / 0.5%</b>	



Tatjana Quast  
4.51 Reflection and Transmission  
**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**  
**Braunschweig und Berlin**  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
  
Telefon: +49 (0)531 592 4511  
Email: [tatjana.quast@ptb.de](mailto:tatjana.quast@ptb.de)

## Schnittstelle FARBE – Folge 2

Eckhard Bendin

Die wesentlichen Inhalte zu diesem Beitrag stammen aus dem Konvolut „Schnittstelle Farbe“ (Sonderedition – 30 Jahre Dresdner Farbenforum – 30 Personentafeln mit 3 Ergänzungstafeln: Schnittstelle Farbe, das Dresdner Farbenforum und die Sammlung Farbenlehre. edition bendin, Dresden 2022). Der auszugsweise Nachdruck ist vom Autor genehmigt. Die Folge 2 orientiert auf visionäre Vorleistungen, die vor reichlich 200 Jahren in engem Zusammenhang entstanden und der Entwicklung von Farbwissenschaft und Farbkunst nachhaltige Impulse verliehen. Ihnen war gemeinsam, dass sie auf Künstler und Wissenschaftler höchst anregend fortwirkten. Exemplarisch soll hierzu auch das Werk eines Physiologen hervorgehoben werden, der sich um das Bewahren jenes historischen Erbes besondere Verdienste erwarb.

### Johann Wolfgang von Goethe 1749 - 1832



1810 konnte Johann Wolfgang v. Goethe in Weimar, damals Kristallisationsort für einen Paradigmenwechsel in Kunst und Wissenschaft, die Arbeiten zur Drucklegung seines Hauptwerkes ‚Zur Farbenlehre‘ abschließen, das noch im gleichen Jahr als zweibändige Textausgabe - ergänzt durch einen kolorierten Supplementband – erschien. Es war das Ergebnis langer, über zwei Jahrzehnte andauernden Beobachtungen der farbigen Erscheinungen sowie umfangreicher Studien zur Geschichte der Farbenlehre. In enger Konsultation mit den geistigen Größen seiner Zeit – u. a. im intensiven Austausch mit Friedrich Schiller, den Physikern Johann Wilhelm Ritter und Thomas Johann Seebeck und dem jungen Philosophen Arthur Schopenhauer - arbeitete Goethe noch bis zu seinem Tod an der Abrundung seines Werkes.

Goethes Anliegen wurde auch nach einer Begegnung mit dem jungen Maler Philipp Otto Runge 1804 in Weimar durch fortgesetzten Gedankenaustausch befördert und kongenial ergänzt. Dessen 1809 verfasste, vergleichsweise kleine Schrift ‚Farben-Kugel...‘ erschien nur wenige Monate früher als Goethes Farbenlehre. Als Frucht praktischer wie theoretischer Beschäftigung markiert Runges ‚Farben-Kugel...‘ die Neubelebung eines schon bei Leonardo ausgeprägten künstlerischen Bewusstseins, wissenschaftliche Zielstellungen und Methoden auch für die künstlerische Praxis fruchtbar zu machen. Die Schrift enthielt als eine der ersten uns überkommenen Vorstellungen des räumlichen Zusammenhangs der Farben kolorierte Darstellungen von Ansichten und Durchschnitten eines kugelförmigen Farbschemas.

### Philipp Otto Runge 1777 - 1810



### Arthur Schopenhauer 1788 - 1860



1813 von Goethe in Weimar ebenfalls in dessen Farbenlehre eingewiesen erkannte der junge Philosoph Arthur Schopenhauer, dass ein besonderer Schlüssel in der Physiologie des Sehvorganges liegen müsse. In seiner später in Dresden verfassten Schrift ‚Über das Sehn und die Farben‘ (1816) hob er eine ‚qualitativ geteilte Retinätätigkeit‘ im Zusammenhang mit der Paarigkeit physiologischer Gegenfarben hervor und skizzierte diesen Zusammenhang früher als nachfolgende Sinnesphysiologen. Angemessene Würdigungen jener gedanklichen Vorleistungen Schopenhauers erfolgten erst 1918 durch den Physikochemiker Wilhelm Ostwald und 1961 durch den Physiker Eckart Heimendahl.

### Rupprecht Matthaei 1895 - 1976



Rupprecht Matthaei verdanken wir die anspruchsvolle Sichtung, Bewahrung, Rekonstruktion und Interpretation des fast unübersehbaren Goethe'schen Quellenmaterials zur Farbenlehre. Neben seiner Tätigkeit als ordentlicher Professor für Physiologie an der Universität Erlangen stand Matthaei jahrzehntelang mit den Naturwissenschaftlichen Sammlungen der Stiftung Weimarer Klassik im Goethe-Nationalmuseum Weimar fachlich aufs Engste in Verbindung. Seine Tätigkeit fand Niederschlag in bedeutenden, von ihm herausgegebenen und kommentierten Publikationen, wie ‚Der Corpus der Goethezeichnungen‘ (1963) und ‚Goethes Farbenlehre‘ (1971).

## JOHANN WOLFGANG v. GOETHE (1749 - 1832)



JOHANN WOLFGANG von GOETHE befasste sich als Naturforscher 100 Jahre nach Isaac NEWTON (1643-1727) fast über seine gesamte Schaffensperiode mit dem Phänomen Farbe, und obwohl er hoffte, mit der Farbenlehre aus seinem allgemeinen Verständnis der ‚Sprache der Natur‘ heraus eine „vollkommenere Einheit des ... Wissens“ zu erreichen, ging er das Thema zunächst als Künstler an, um „in Absicht auf Kunst“ etwas über die Farben zu gewinnen. Auch mit seinen ‚Materialien zur Geschichte der Farbenlehre‘ hoffte er, eine „Geschichte des menschlichen Geistes im Kleinen“ liefern zu können, wie wir einem Brief 1798 an Wilhelm v. HUMBOLDT (1767-1835) entnehmen. Im Vorwort zum ‚Didaktischen Teil‘ der Farbenlehre stellt Goethe deutlich seine übergeordnete Erkenntnis voran: „... *Denn eigentlich unternehmen wir umsonst, das Wesen eines Dinges auszudrücken. Wirkungen werden wir gewahr, und eine vollständige Geschichte dieser Wirkungen umfasste wohl allenfalls das Wesen jenes Dinges. Vergebens bemühen wir uns, den Charakter eines Menschen zu schildern; man stelle dagegen seine Handlungen, seine Thaten zusammen, und ein Bild des Charakters wird uns entgegentreten. Die Farben sind Thaten des Lichts, Thaten und Leiden. In diesem Sinne können wir von denselben Aufschlüsse über das Licht erwarten ... aber wir müssen uns beide als der ganzen Natur angehörig denken; denn sie ist es ganz, die sich dadurch dem Sinne des Auges offenbaren will. ... so spricht die Natur hinabwärts zu anderen Sinnen, zu bekannten, verkannten unbekanntem Sinnen; so spricht sie mit sich selbst*

*und zu uns durch tausend Erscheinungen... .“*

Diese Erkenntnis beginnt man erst zunehmend Mitte des 20. Jahrhunderts auch als Wissenschaftskritik an den immer mehr sich verselbständigenden ‚exakten‘ Wissenschaften ernster zu nehmen [6,7,10 u.13]. Mit seiner Farbenlehre, die Goethe selbst als etwas Bleibendes höher schätzt als sein gesamtes dichterisches Werk, schuf er fast seherisch einen phänomenologisch begründeten, exemplarischen Gegenentwurf zu dem heute sogar noch schärfer hervortretenden Dilemma unseres Wissens von der ‚Natur der Dinge‘. Die Einsicht in die Unvergleichbarkeit der Ausgangspunkte und Methoden Newtons und Goethes ist inzwischen gewachsen, obwohl es auch heute nicht an missverständlichen Interpretationen in beiden Lagern fehlt. Während Goethe das ‚**Schauen‘ als phänomenalen Akt des Subjekts** in den Mittelpunkt rückt, nimmt Newton das Subjekt ganz aus seiner Betrachtung heraus. Hier treffen zwei Wahrheiten aufeinander, die sich ergänzen. Goethe bietet die unmittelbare Wahrheit des anschaulichen Denkens auf gegen die mittelbare Wahrheit der Rückführung auf mathematische Gesetze durch Newton.

Zwischen 1790 und 1823 bringt Goethe etwa 2000 Seiten über Licht und Farben zu Papier, von denen die meisten zwischen 1808 und 1810 unter dem Titel ‚Zur Farbenlehre‘ erscheinen. Nach Goethes Auffassung erwächst aus der Polarität von Licht und Finsternis sowie der aus ihrem Wirken entstehenden Trübe die farbige Erscheinung als ‚**Urphänomen**‘. Exemplarisch hierfür sind für ihn vor allem die durch Prismen zu beobachtenden sogen. Kantenspektren (Randfarben), später auch die mit der Polarisationserscheinungen in Verbindung stehenden ‚entoptischen Farben‘. Er entwickelt daraus eine generative Auffassung von den Farben als mannigfaltige und charakteristische Wesen mit ‚sinnlich-sittlicher Wirkung‘. Dementsprechend bildet er auch seine Ordnung der Farben im Kreis. Nach seiner Auffassung der ‚**Steigerung**‘ nimmt das Purpur den höchsten Rang unter den Farben ein. Er ordnet es deshalb oberhalb der beiden - die Basis bildenden - Urfarben Gelb und Blau an, den beiden „zunächst am Licht“ bzw. „an der Finsternis“.

Im ‚**Didaktischen Teil**‘ ging es Goethe darum, die Naturerscheinung ‚Farbe‘ auf ihre Anwendungsmöglichkeiten als Kunstmittel zu untersuchen. Sein eigentliches Problem war die Frage nach der Wirkung der Farbe auf den Menschen, nach der lebendigen Beziehung zwischen dem menschlichen Auge und dem Licht. Goethe unterschied ‚Physiologische‘, ‚Physische‘ und ‚Chemische‘ Farben, untersuchte die Wirkung der Farben auf das ‚Sinnlich - Sittliche‘ und ging auf die Beziehung der Farbtheorie zur Philosophie, Mathematik, Naturgeschichte, Tonlehre u.a. ein. Die ‚**Physiologischen Farben**‘ stellte Goethe an die Spitze seines Werkes, weil sie „das Fundament der Lehre ausmachen“. Hier hatte er erstmalig versucht, schwer zu fassende Erscheinungen des lebendigen Auges zu sammeln und zu ordnen. Im ‚**Polemischen Teil**‘ ging Goethe zu einem Frontalangriff gegen Newtons Farbtheorie über, mit dem er wenig Verständnis fand.

Der historische Teil der Farbenlehre, die ‚**Materialien zur Geschichte der Farbenlehre**‘, wurde als letzter abgeschlossen. Diese Geschichte der Farbenlehre ist der großangelegte Entwurf einer allgemeinen Wissenschaftsgeschichte von der ‚Urzeit‘ bis zur Gegenwart und wurde von Thomas MANN (1875-1955) „ein Gleichnis der Geschichte aller Wissenschaften, den durch die Jahrtausende führenden Roman des europäischen Gedankens“ genannt. All das, was zu Goethes Farbenlehre in den 200 Jahren streitbar und schöpferisch reflektiert worden ist, würde eine mehrbändige

## DfwG-Report 2023/1

Anthologie füllen. Hervorzuheben sind aber drei Persönlichkeiten, denen die Bewahrung und anschauliche Aufarbeitung des Goetheschen Werkes besonders zu danken ist: Johann Peter ECKERMANN (1792-1854), Rudolf STEINER (1861- 1925) und Rupprecht MATTHAEI (1897-1976).

Zudem ist Goethes nachhaltige Anregung auf die bis heute geführte Diskussion über ‚Wissenschaft als Kunst‘ von bleibendem Wert. In diesem Zusammenhang sei hier auch an den mit Goethe eng korrespondierenden genialen Physiker Johann Wilhelm RITTER (1776-1810) erinnert, dem wir - offensichtlich durch Goethe angeregt - die Entdeckung des UV-Strahlung verdanken. [19/25] In seinen letzten Lebensjahren galt Goethes Aufmerksamkeit insbes. Experimenten zu „**entoptischen Farben**“ (Farberscheinungen infolge Doppelbrechung u. Materialspannung), die er mithilfe des Jenaer Physikers Thomas Johann SEEBECK (1770-1831) anstrebte. [7/8/26] Wendepunkte für die Rezeption bildeten neue experimentelle Auseinandersetzungen mit den Spektren, vom ‚umgekehrten‘ Spektrum (KIRSCHMANN 1917, GREBE-ELLIS/ RANG 2010) bis zu den ‚unordentlichen‘ Spektren (NUSSBAUMER 2008). [17,19,21,22]

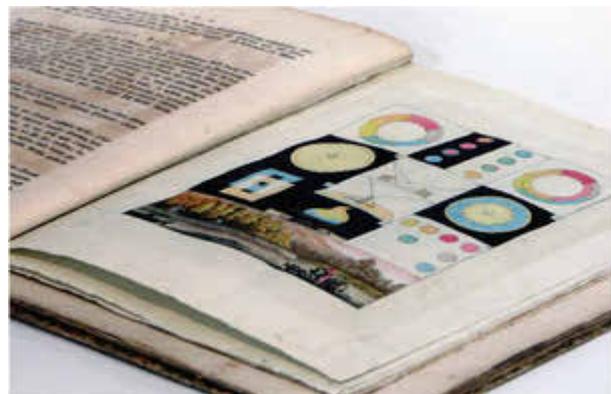
Ungebrochen bis heute ist vor allem die Rezeption der Goetheschen Farbenlehre in der nachfolgenden künstlerischen Entwicklung, kongenial und früh eingeleitet durch Philipp Otto RUNGE (1777-1810) sowie mannigfaltig fortgeschritten einst über HÖLZEL, KANDINSKY, KLEE, später über J. ALBERS, K. GERSTNER, H. MACK bis zur neueren konzeptionellen Farb- und Lichtkunst von J. TURELL, O. ELIASSON, U. BACHMANN, I. NUSSBAUMER und C. NICOLAI [18/20/23]. Goethes visionäre Vorleistung hat unsere Einsicht nachhaltig befördert, dass wir Farbe heute mehr denn je als universales Kommunikationsmittel unserer Lebenswelt verstehen, über jede Wissenschafts-, Kultur- und Sprachgrenze hinaus wirkend.



Ein Demonstrationsschirm Goethes zur Betrachtung spektraler Randfarben mithilfe von Prismen (Goethehaus Weimar)



‚Entoptische Farben‘ an dünnen Gipspräparaten werden mithilfe von Polarisationsfiltern sichtbar (Goethehaus Weimar)



Die zweibändige Erstausgabe der Farbenlehre Goethes und der Supplementband mit 16 Kupfertafeln (Tübingen 1810)

## Biografische Daten

- 1749 am 28. August wird Goethe in der Familie eines Kaiserl. Rates in Frankfurt/M. geboren
- 1768 nimmt Goethe in Leipzig ein Jurastudium auf, bis 1771 Fortsetzung des Studiums in Straßburg, Promotion zum Lizentiat der Rechte
- 1771-75 Advokat und Dichter in Frankfurt und Wetzlar
- 1775 Übersiedlung nach Weimar
- 1776 Ernennung zum Geheimen Legationsrat / Eintritt in den weimarischen Staatsdienst
- 1779 Ernennung zum Geheimen Rat
- 1780 Aufnahme in die Freimaurerloge
- 1784 lateinische Abhandlung ‚Specimen osteologicum‘ über den Zwischenkiefer
- 1786-88 erste Italienreise, Grundgedanken der Metamorphose der Pflanzen
- 1790 zweite Italienreise
- ab 1790 hält Goethe in seiner ‚Freitagsgesellschaft‘ Vorträge über seine Farbenlehre
- 1791 erscheint Goethes erste zusammenhängende Arbeit zur Farbenlehre, Beiträge zur Optik‘
- 1797/98 sendet Goethe den ersten Entwurf zum Schema der Farbenlehre an Schiller; in Jena Arbeit an der Farbenlehre, Umgang mit Schiller, den Brüdern Humboldt, Schlegel u. a.
- 1798 Ernennung zum a. o. Professor in Jena
- 1800/01 Kontakte mit dem Physiker J. W. Ritter in Jena zu Galvanismus und Optik
- 1804 Ernennung zum Wirklichen Geheimen Rat
- 1808 erscheint in Weimar der erste Teil seiner Farbenlehre: Zur Farbenlehre. Didaktischer Teil. Entwurf einer Farbenlehre. Goethe wird zum Ritter der Ehrenlegion ernannt.
- 1810 erscheint in Tübingen sein dreibändiges Werk ‚Zur Farbenlehre‘
- 1815 Ernennung zum Staatsminister
- 1818 Goethe wird zum Mitglied der Kaiserlich Leopoldinisch - Carolinischen Deutschen Akademie der Naturforscher ernannt
- 1822 Johannes Evangelista Purkinje aus Prag besucht Goethe in Weimar
- 1825 Doppelte Ehrendoktorwürde der Universität Jena
- 1832 Goethe stirbt am 22. März 1832 in Weimar



Goethes „Augenvignette“ (Holzschnitt) und aquarellierter Farbenkreis von 1809

## Goethes Schriften zur Farbenlehre (Auswahl)

- [1] Beiträge zur Optik. Erstes Stück. Weimar 1791,
- [2] Beiträge zur Optik. Zweites Stück. Weimar 1792
- [3] Diderots Versuch über die Malerei. Übersetzung 1799
- [4] Zur Farbenlehre. Didaktischer Teil. Entwurf einer Farbenlehre. Weimar 1808
- [5] Polemischer Teil. Enthüllung d. Theorie Newtons. Tübingen 1810
- [6] Materialien zur Geschichte der Farbenlehre. Tübingen 1810
- [7] Die entoptischen Farben. Jena 1817
- [8] Entoptische Farben. Jena 1820

## Quellen

- [1] Gräwell, F.: *Goethe im Recht gegen Newton*. Berlin 1857
- [2] Hantzsch, R.: *Goethes Farbenl. u. d. Farbenl. d. heutigen Physik*. Dresden 1862
- [3] Ostwald, W.: *Goethe, Schopenhauer und die Farbenlehre*. Leipzig 1918
- [4] Steiner, R.: *Goethe als Denker und Forscher*. Abdruck der Einleitungen zu *Goethes Naturwiss. Schriften*. Dornach 1926
- [5] Richter, M.: *Das Schrifttum über Goethes Farbenlehre mit besonderer Berücksichtigung der naturwissenschaftlichen Probleme*. Berlin 1938
- [6] Heisenberg, W.: *Die Goethesche und die Newtonsche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik*. In: *Geist der Zeit* 19 (1941) S.261-275
- [7] Matthaei, R.: *Goethe zur Farbe u. Farbenlehre*. Erlangen 1949 u. Weimar 1955
- [8] Buchwald, E.: *Über Goethes Farbenlehre*. In: *Buchwald, E.: Fünf Kapitel Farbenlehre*. Mosbach / Baden 1955, S.116-142
- [9] Matthaei, R. (Bearb.): *Die Zeichnungen z. Farbenlehre*. In: *NFG der Klass. Deutsch. Literatur in Weimar (Hrsg.): Goethes Sammlgn. z Kunst, Literat. u. Naturwissensch. Als: Corpus d. Goethezeichnungen*. Bd. Va Nr. 1-390, Leipzig 1963
- [10] Matthaei, R.: *Goethes Farbenlehre*. Ausgewählt und erläutert von R. Matthaei. Ravensburg 1971
- [11] Schönherr, H.: *Einheit und Werden. Goethes Newton-Polemik als systematische Konsequenz seiner Naturkonzeption*. Würzburg 1993
- [12] Gage, J.: *Kulturgeschichte der Farbe: von der Antike bis zur Gegenwart*. Ravensburg 1994, S.201-205.
- [13] Rehbock, Theda: *Goethe u. die Rettung der Phänomene. Philosophische Kritik d. naturwissenschaftlichen Weltbildes am Beispiel der Farbenlehre*. Konstanz 1995
- [14] Mausfeld, Rainer: *„Wär nicht das Auge sonnenhaft ...“ Goethes Farbenlehre: Nur eine Poesie des Chromatischen oder ein Beitrag zu einer naturwissenschaftlichen Psychologie?* In: *ZIF Mitteilungen* 4 / 96, Bielefeld 1996, S.3-27
- [15] Vatsella, K.: *Im Reiche der Erscheinungen*. In: *Gundelach, H. / Vatsella, K. (Hrsg.): Pfirsichblüt & Cyberblau. Goethe Farbe Raum*. Weimar 1999, S.6-9
- [16] Helbig, H.: *Naturgemäße Ordnung. Darstellung und Methode in Goethes Lehre von den Farben*. Köln; Weimar; Wien 2004
- [17] Nussbaumer, I.: *Zur Farbenlehre. Entdeckung der unordentlichen Spektren*. Wien 2008
- [18] Scheurmann, K. (Hg.): *color continuo. 1810...2010. System und Kunst der Farbe*. Mit Beiträgen von E. Bendin, S. Schimma, O. Breidbach, A. Pietsch, J. Stollberg, A. Schwarz u.a., Dresden 2009
- [19] Grebe-Ellis, J. Rang, M.: *experimentum lucis*. Berlin Halle 2010
- [20] Bendin, E.: *Zur Farbenlehre. Studien, Modelle, Texte*. Dresden 2010
- [21] Müller, O.L.: *Newton,, Goethe und die Entdeckung neuer Farbspektren am Ende des Zwanzigsten Jahrhunderts*. In: *Vogt, M./ Karliczek, A. (Hg): Erkenntniswert Farbe*. Jena 2013
- [22] Müller, Olaf L.: *„Mehr Licht“: Goethe mit Newton im Streit um die Farben*. Frankfurt/ M. 2015
- [23] Bendin, E.: *Goethes Farbenlehre - Anspruch und Diskurs / Goethe`s Theory of color – Claim and Discours*. In: *B. Steingießer (Hg): Taten des Lichts – Goethe & Mack., Ausstellungskatalog Goethemuseum Düsseldorf*, Berlin 2018, S. 100-117
- [24] Müller, O. L.: *Ultraviolett. Johann Wilhelm Ritters Werk und Goethes Beitrag - zur Geschichte einer Kooperation*. *Schriften der Goethe-Gesellschaft*, Band 80, Frankfurt/M. 2021
- [25] Zawischa, D.: *Zufallsbeobachtungen*.  
In: [https://www.itp.uni-hannover.de/fileadmin/itp/emeritus/zawischa/static\\_html/seltsames2.html](https://www.itp.uni-hannover.de/fileadmin/itp/emeritus/zawischa/static_html/seltsames2.html)



Goethes Darstellung zum ‚Augengespenst‘, d.h. eines „Nachbildes“ (li.) zum Vorbild (re.)

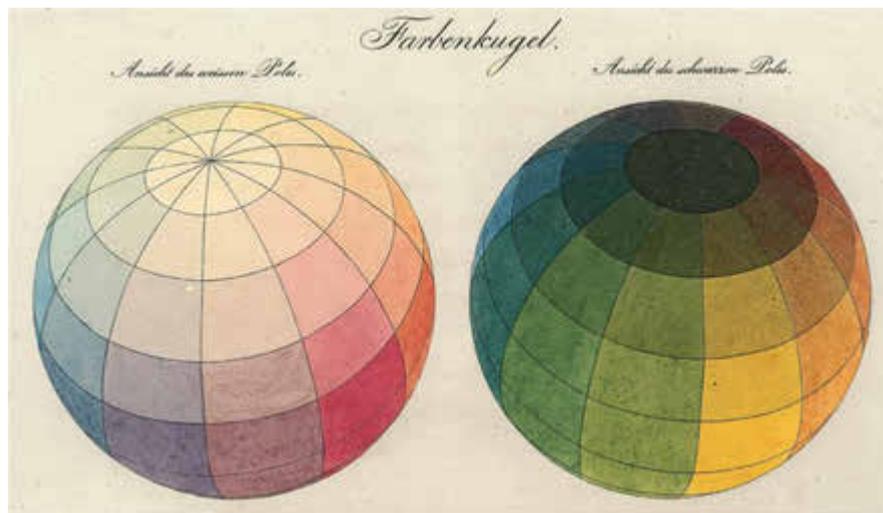
## PHILIPP OTTO RUNGE (1777-1810)



„Ich bin jetzt dabey, ein Schriftchen über das Verhältniß der Farben zu weiß und schwarz herauszugeben ...“ schrieb Philipp Otto RUNGE,

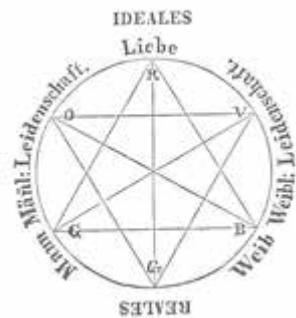
Das 1809 verfasste, 1810 beim Verleger Perthes in Hamburg erschienene Werk *„Farbenkugel...“* war die Frucht jahrelanger theoretischer wie praktischer Beschäftigung des Malers. Die Arbeit an jenem Werk setzte bereits zwischen 1801 und 1803 während seiner Dresdner Zeit in der Entwurfsphase des sinnbildlich gestalteten Zyklus *„Die Zeiten“* ein mit einer Kritik an der Farbentheorie von Anton Raphael MENGS (1728-1779) und nahm bald eine naturphilosophische Richtung. Der Hallenser Naturphilosoph Henrik STEFFENS (1773-1845), der Runge zur Veröffentlichung drängte und die Schrift mit einem eigenen Aufsatz über die Bedeutung der Farben in der Natur begleitete, nennt Runges Schrift ein *„Muster einer in sich abgeschlossenen Untersuchung, selbst für die Naturwissenschaft“*. Es verwundert daher nicht, dass die persönliche Begegnung 1804 mit dem gleichermaßen an den natürlichen Phänomenen orientierten und übergreifend denkenden J. W. v. GOETHE (1749-1832) in Weimar für die beiden bis dahin unabhängig voneinander an einer Farbenlehre Arbeitenden bestätigend wurde und sich fortan ein förderlicher brieflicher Austausch entwickelte, z. B. über Farbmischexperimente auch mit Kreiselscheiben. [4,11]

Eine Schlüsselrolle in Runges Werk spielen seine im Zusammenhang mit dem Entwurf der Farbenkugel stehenden Entwürfe und farbigen Ausführungen des Werkzyklus *„Die Zeiten“*. 1808 stellt er die farbige Fassung des kleinen *„Morgen“* fertig, 1809 beendet er seine Arbeit an der Farbenkugel, arbeitet zugleich aber auch an der 2. Fassung, seines allegorischen Bildwerkes *„Der große Morgen“*. Seine *„Farbenkugel“* erscheint im Januar 1810. Nur vier Monate später kommt auch die Farbenlehre Goethes heraus, die auch einen Brief Runges vom 3. Juli 1806 als Beleg großer Wertschätzung enthält. Das Jahr, in dem die beiden kongenialsten Schriften der Farbenlehre erscheinen, überlebt Runge infolge einer Tuberkulose nicht. Sein sinnbildlichhaftes Werk aber, im Besonderen seine Farbenkugel - nicht nur als eine der ersten uns überkommenen Vorstellungen des räumlichen Zusammenhangs der Farben, sondern auch als Versinnbildlichung des *„auf die Globusformel gebrachten zyklischen Gedankens“* - ist wie Goethes Farbenlehre in unser kollektives Gedächtnis eingegangen.

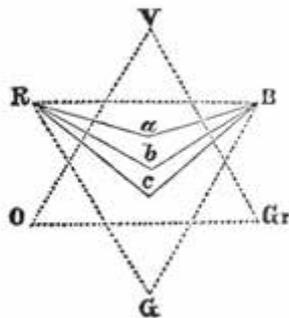


Prinzipdarstellungen und handkolorierte Ansichten der „Farben-Kugel“ von Runge, Hamburg 1810

Philipp Otto Runge unterscheidet **undurchsichtige** von **durchsichtigen Farben** im Sinne von opaken bzw. transluzenten Körperfarben. Seine Farbenkugel kann nach eigener Auffassung nur die *undurchsichtigen* repräsentieren. Er vergleicht seine Farbenkugel selbst mit einem Globus, auf dessen Äquator die reinen Farben RGB liegen. Das Innere des Globus wird von Mischfarben ausgefüllt: die Nordhalbkugel enthält alle Mischungen mit Weiß (*„Erhellungen/Schwächungen“*), die Südhalbkugel alle Mischungen mit Schwarz (*„Verdunklungen/Trübungen“*). Als *„allgemeiner Mittelpunct“* liegt im Zentrum das Grau, in dem der *„individuelle Charakter“* der Farben aufgelöst ist (*„absolute Allgemeinheit/Indifferenz“*).



Runges metaphorische Zuschreibungen bestimmter Polaritäten zum Farbenkreis deckten sich weitgehend mit denen Goethes, z. B. des Grüns als reale Befriedigung im Gegensatz zu Purpur als höchste (ideale) Befriedigung.



Runges schematische Darstellungen zur Aufhebung der Dissonanz durch graue Übergänge, In: Hinterl. Schriften [2]

Detail aus Runges Bild ‚Der kleine ‚Morgen‘ zur Veranschaulichung „durchsichtiger und undurchsichtiger Farben“



Prinzipiskizze zu Runges „Apparat“ zur optischen Farbmischung mit einer durchsichtigen vertikalen Glasscheibe (Rekonstruktion: Bendin 2014 nach einem Brief v. Nov. 1807 an Goethe)



„Der kleine Morgen“ von Ph. O. Runge, 1808



Runges Darstellung zur Auflösung der disharmonischen Wirkung (Figuren 8-16), Farben-Kugel 1810

Der späten Einsicht der Kunstgeschichte, dass die theoretischen Konzepte bahnbrechender Künstler wesentliche Faktoren des schöpferischen wie geschichtlichen Prozesses bilden, ist es schließlich zu danken, daß man das Runge-Bild inzwischen korrigiert hat und ihn heute zu einem der bedeutendsten deutschen Künstlertheoretiker nach Albrecht DÜRER zählen darf. Die heutige Rezeption der Runge'schen Farbenlehre verdankt insbesondere Joerg TRAEGER und Heinz MATILE grundlegende Aufarbeitungen in den 70er Jahren. [2,3,4] Aber bereits 50 Jahre zuvor hatte Wilhelm OSTWALD (1853-1932) Runges ‚Farben-Kugel...‘ in seiner Schriftenreihe ‚Die Farbe‘ neu herausgegeben und als bahnbrechend kommentiert [1]. In seiner Enzyklopädie zur Geschichte der Farbenharmonielehren würdigt auch

Andreas SCHWARZ Runges komplexen Sicht zur **Auflösung von Dissonanz zur Harmonie bzw. Indifferenz** durch Triaden bzw. durch Grau. [8]

Uns erscheint RUNGE heute exemplarisch als Erneuerer auch in Bezug auf die Vereinbarkeit von Subjektivem und Objektivem, von Freiheit und Bindung sowie das Verhältnis von Farbkunst und empirisch-wissenschaftlichen Farbenlehre. Bei ihm finden wir wie bei kaum einem anderen seiner Zeit das Bewusstsein für ein ‚Aufeinander angewiesen Sein‘ von Wissenschaft und Kunst, Freiheit und Gesetz [12].

### Biografische Daten (Auswahl)

- 1777 am 23. Juli wird Philipp Otto Runge in Wolgast geboren
- 1799-1801 Studium an der Kunstakademie Kopenhagen, u.a. bei Abildgaard, Lahde, Juel
- 1800 Bekanntschaft mit Friederike Brun
- 1801 lernt er in Greifswald Caspar David Friedrich kennen
- 1801-03 als freier Maler in Dresden; lernt dort 1801 u. a. F. Hartmann, Ludwig Tieck, kennen, im gleichen Jahr auch seine Frau Pauline Susanna Bassenge bei Anton Graff, einem seiner beiden Dresdner Lehrer; u. a. intensive Beschäftigung mit der Mystik Jakob Böhmes und mit Novalis
- 1802 entsteht der Zyklus aus vier Zeichnungen ‚Die Zeiten‘
- 1804 Zusammentreffen mit Goethe in Weimar; Hochzeit mit Pauline Bassenge in Dresden, Reise nach Hamburg
- 1805 Hamburger Aufenthalt; großformatige Bilder, u.a. ‚Hülsenbeckische Kinder‘
- 1806 Rückkehr nach Wolgast; Aufzeichnung plattdeutscher Märchen, die in die Sammlung der Gebrüder Grimm eingehen (u.a. Vom Fischer und seiner Frau)
- 1806 Beginn des intensiven Briefwechsels mit Goethe zur Farbenlehre
- 1807 Bekanntschaft mit Henrik Steffens, der Interesse an den Farbstudien Runges bekundet, erste Kreiselversuche
- 1808 verstärkte Arbeit an der ‚Farbenkugel‘, Fertigstellung des kleinen ‚Morgen‘
- 1809 Weiterarbeit an der ‚Farbenkugel‘, Beschäftigung mit dem großen ‚Morgen‘
- 1810 erscheint im Januar in Hamburg Runges ‚Farben-Kugel‘, vier Monate später dann auch Goethes Farbenlehre
- 1810 am 02. Dezember stirbt Runge in Hamburg an Tuberkulose im Alter von 33 Jahren

### Runges Schriften zur Farbenlehre (Auswahl)

- [1] Farben-Kugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischung der Farben zueinander, und ihre vollständige Affinität, mit angehängtem Versuch einer Ableitung der Harmonie in den Zusammenstellungen der Farben. Hamburg 1810
- [2] Ph. O. Runge: Hinterlassene Schriften. Hrsg. von seinem ältesten Bruder. Erster und zweiter Teil. Hamburg 1840/1841

### Quellen

- [1] Ostwald, W. (Hg.): *Farben-Kugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischung der Farben zueinander, und ihre vollständige Affinität, mit angehängtem Versuch einer Ableitung der Harmonie in den Zusammenstellungen der Farben*. In: *Die Farbe Nr.40*, Leipzig 1924
- [2] Träger, J.: *Philipp Otto Runge und sein Werk. Monografie und kritischer Katalog*. München 1975
- [3] Träger, J.: *Philipp Otto Runge: oder die Geburt einer neuen Kunst*. München 1977
- [4] Matile, H.: *Die Farbenlehre Philipp Otto Runges. Ein Beitrag zur Geschichte der Künstlerfarbenlehre*. Mittenwald 1977 (ebenso 2. verbess. Aufl. München-Mittenwald 1979)
- [5] Betthausen, P. (Hg.): *Philipp Otto Runge. Briefe u. Schriften*. Berlin 1981
- [6] Stromer, K. (Hg.): *Runges Farben heute. Konstanz 1997 (mit Beiträgen von J. Traeger)*
- [7] Gage, J.: „Zwey verschiedene Welten“: Goethe, Runge u. d. Farbenkugel. In: *Gage, J. Die Sprache der Farben*. Ravensburg 1999, S. 169 ff.
- [8] Schwarz, A.: *Die Lehren von der Farbenharmonie*. Göttingen- Zürich 1999, S. 167-181
- [9] Bendin, E.: *Konzeptionelle Wege - Generalbass und Instrumentar für eine neue Farbkunst*. In: *Scheurmann, Konrad (Hg.): color continuo 1810...2010...System und Kunst der Farbe*. Dresden 2009, S. 54-61
- [10] ebenda, S. 78-91; Pietsch, A.: *Gesetze der Farbe um 1800 – Johann Wolfgang Goethes Farbenlehre und die Farben-Kugel von Philipp Otto Runge im Spiegel der Kunst unserer Zeit*.
- [11] Bendin, E.: *Empfinden und Gestalten zwischen Bindung und Freiheit*. In: *Bendin, E., Zur Farbenlehre*. S. 158ff
- [12] Bendin, E.: *Basisexperimente mit Kreiseln. Begleitheft ‚Historischer Exkurs Farbkreisel‘*. Dresden 2014

ARTHUR SCHOPENHAUER (1788-1860)



*Arthur Schopenhauer*

**ARTHUR SCHOPENHAUER**, „der Begründer der Willensmetaphysik, gehört zu den populärsten deutschen Philosophen. Seine Lehre wirkte über die Grenzen der Philosophie hinaus in der Literatur, Musik und Psychologie. ... Seine Philosophie prägt bis heute die Diskussion über die fundamentalsten Fragen.“ (Ulfi g 2000)

Nicht ohne Grund wählte J. W. v. GOETHE (1749-1832) den 25-jährigen, frisch promovierten Dr. Schopenhauer aus, um ihn 1813 in seiner Farbenlehre persönlich zu unterweisen. Ihm lag daran, seine Denk- und Forschungsweise auf einen jungen Schüler und Mitarbeiter zu übertragen. Im Frühjahr 1814 verlässt allerdings Schopenhauer Weimar, um nach Dresden zu gehen. Einerseits hinreichend durch Goethe geschult, aber auch angefüllt mit Beobachtungen und Ideen, die von denen Goethes etwas abweichen, trägt er sich mit dem Gedanken, diese in einer eigenen Abhandlung darzulegen. Die vier Dresdner Jahre bezeichnet er später als die produktivsten seines Lebens: „Wann ... durch welche günstigen Umstände die Stunde herbeigeführt wurde, wo das Gehirn die höchste Spannung hatte; so mochte mein Auge treffen auf welchen Gegenstand es wollte, - er redete Offenbarungen zu mir.“ Das ganze System sei, schreibt er in einem Brief der letzten Jahre „gewissermaßen ohne mein Zuthun ... strahlenweise wie ein Krystall zu einem Centro konvergierend (zusammengeschossen), so wie ich es sofort im ersten Band meines Hauptwerkes niedergelegt habe.“ (gemeint ist hier sein Hauptwerk ‚Die Welt als Wille und Vorstellung‘) (Safranski 1996)

Im Sommer 1815 schickt er auch das inzwischen fertige Manuskript seiner Abhandlung ‚Über das Sehn und die Farben‘ an Goethe in der Hoffnung auf einen Kommentar. Dieser jedoch kann sich nicht dazu entschließen und so kommt es 1816 zur Veröffentlichung der Schrift ohne eine empfehlende Anmerkung Goethes. Schopenhauer wendet sich erst knapp 40 Jahre später wieder seiner Lehre ‚von der qualitativ geteilten Tätigkeit der Retina‘ zu, indem er sie nur um wenig verbessert und vermehrt neu auflegt (1854).

Er geht von der graduellen Verschiedenheit der ‚intensiven Teilbarkeit der Tätigkeit der Retina‘ aus, von der ‚vollen Tätigkeit‘ bis zur ‚Untätigkeit‘. Danach bestimmt er die Zustände:

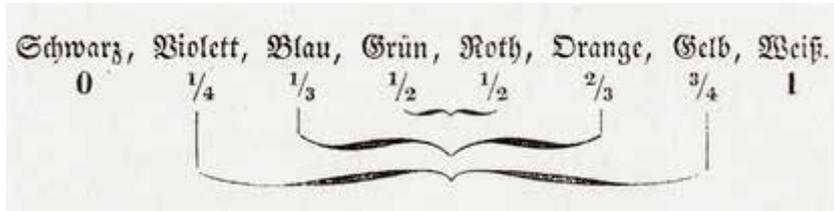
Volle Tätigkeit	Halbschatten	Untätigkeit
Licht	Grau	Finsternis
Weiß		Schwarz

Für jede Qualität gibt Schopenhauer einen gestuften **Helligkeitsgrad in Bruchteilen** zwischen 0 (Schwarz) und 1 (Weiß) an. Er unterscheidet die Funktionen der verschiedenen Buntheiten für die Tätigkeit der Retina: Durch Weiß wird ‚die volle Tätigkeit der Retina‘ entfaltet, während die bunten Farben bestimmte Bruchteile dieser Tätigkeit hervorrufen. In der komplementären Ergänzung addieren sich dann diese partiellen Tätigkeitsgrade, die den Farbhelligkeiten entsprechen, zur vollen Tätigkeit. Nur zwei Farben - Grün und Rot - induzieren einen etwa gleich großen Grad der Tätigkeit, und zwar jede von beiden die halbe! „Die wahre Farbentheorie“, sagt Schopenhauer deshalb, „hat es ... stets mit Farbenpaaren zu tun, ... die Farbe erscheint immer als Dualität, da sie die qualitative Bipartion der Tätigkeit der Retina ist. Chromatologisch darf man daher gar nicht von einzelnen Farben reden, sondern nur von Farbenpaaren, deren jedes die ganze, in zwei Hälften zerfallende Tätigkeit der Retina enthält. Die Teilungspunkte sind unzählig, und, als durch äußere Ursachen bestimmt, insofern für das Auge zufällig. Sobald aber die eine Hälfte gegeben ist, folgt ihr die andere, als ihr Komplement, notwendig.“ Angemerkt werden muss hier eine frühere Arbeit des Chemikers Johann Gottfried VOIGT (1796 veröffentlicht), in der für die wichtigsten Farben ebenfalls Proportionswerte zu einer konstanten Summe angegeben werden, denen allerdings noch eine Einbettung zwischen 0 und 1 fehlte.

Schopenhauer erkannte vermutlich als Erster, dass der Schlüssel für jede psychologische Farbenordnung in der Einheit und Paargestalt des Komplementären und der Äquivalenz ihrer spezifischen Helligkeiten liegt. Sieht man einmal von den „chromatischen Äquivalenten“ ab, die George FIELD (1777-1854) mithilfe seines Metrochroms ermittelte (Field 1835), ebenso von Wilhelm OSTWALD (1853-1932) und Eckart HEIMENDAHL (1926-1974), die Schopenhauers Vorleistung ausdrücklich würdigten und z. T. in ihre eigenen Theorien einbezogen (z. B. in Ostwalds Lehre vom ‚Farbenhalb‘), beachteten Physiologen dessen Arbeit kaum. Aus der von Schopenhauer postulierten physiologischen Äquivalenz der Gegenfarben lässt sich eine spezifische Axialität ableiten, wie sie 1930 z. B. schematisch von der Hölzel-Schülerin Carry van BIEMA analog zu Schopenhauers Bipartion vorgestellt wurde - 1868 aber bereits von Guido SCHREIBER aufgegriffen und 1914 von Adolf HÖLZEL seinem chromatischen Farbkreis (bezug-

nehmend auf Wilhelm v. BEZOLD) zugrunde gelegt wurde. Weiterführende Ausformungen jener Axialität unternahm Eckhard BENDIN (*Bendin 2010*).

Eckart Heimendahl nahm sich Schopenhauers Theorie unter energetischem Aspekt an und vereinigte sie in seiner „Komplementären Stufenordnung“ mit Goethes Theorie der ‚Steigerung‘. Dabei weist er das Paar Purpur-Grün mit gleichen Energiebeträgen als Endkomplement seiner „Kulminationsstufe“ aus und veranschaulicht dessen besondere Rolle auch als Wendepunkt seines axial orientierten „Licht-Farben-Kreislaufs“ (*Heimendahl 1961*).



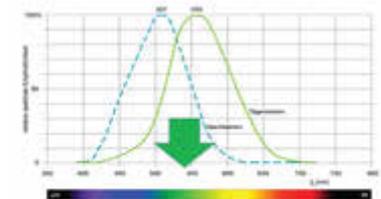
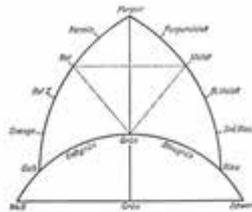
Für jede Qualität gibt Schopenhauer einen bestimmten Helligkeitsgrad in Bruchteilen an.

re: Chromatischer Farbenkreis nach Hölzel mit axialer Stellung der Komplemente (v. Biema)



Eckhard Bendin\_2018  
Zum historischen Diskurs  
- energetisch

Eckart Heimendahl  
Licht und Farbe, 1961  
> Entwurf einer psychophysischen  
Licht-Farben-Funktionsordnung

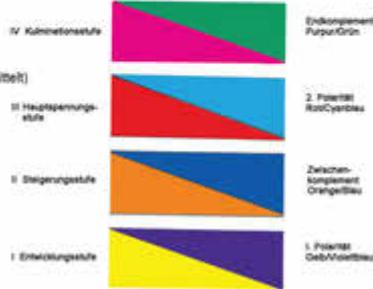


**Erklärung der Zentralität von Grün und Purpur:**

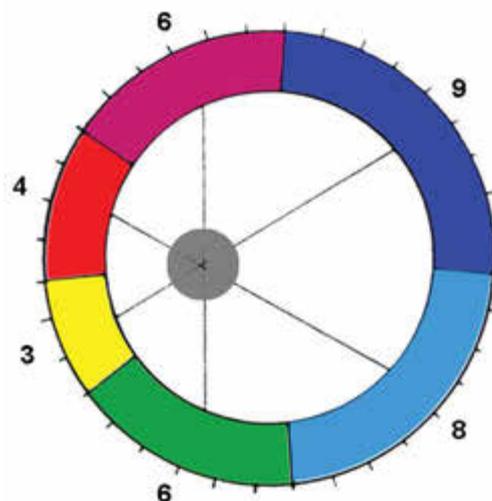
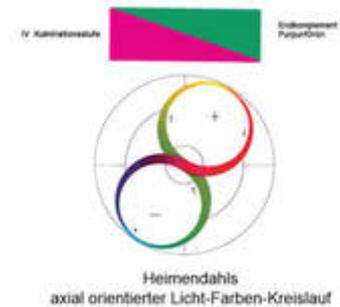
Die aus den Schwingungszahlen als ‚Energiegrößen‘ für die komplementären spektralen Farbenpaare ermittelten **Energiebeträge** entsprechen im Mittel jeweils dem des Grünlichtes (500-580 nm).

Dabei sind sich Grün und Purpur an Energiewert gleich!

- Energiebetrag**  
P\*+G 545 nm  
(\*Purpur aus R u. V ermittelt)
- R+CB 575 nm
- O+B 545 nm
- Y+VB 515 nm



Komplementäre Stufenordnung (Bendin 2010 nach Heimendahl 1961)



Äquivalenten-Farbkreis zu Schopenhauers Theorie der ‚qualitativ geteilten Tätigkeit der Retina‘ nach C. v. Biema 1930, ergänzt durch Graupunkt und Anteile der Summe = 12 (Bendin 2014)

## Biografische Daten (Auswahl)

- 1788 am 22. Februar wird Arthur Schopenhauer in einer patrizischen Kaufmannsfamilie in Danzig geboren
- 1805 Abbruch seiner Kaufmannslehre in Hamburg und Übersiedlung zur Mutter nach Weimar
- ab 1809 Studium der Naturwissenschaften in Göttingen
- ab 1811 Studium der Philosophie in Berlin / Dissertation 1813 in Jena ‚Ueber die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde‘
- 1813 Unterweisungen zur Farbenlehre durch J. W. v. Goethe in Weimar
- 1814 Übersiedlung nach Dresden, Studien in den Sammlungen und Bibliotheken der Stadt, u.a. Begegnung mit dem Maler Ludwig Sigismund Ruhl
- bis 1818 Aufenthalt in Dresden, Entwurf der Farbenlehre und des philosophischen Hauptwerkes
- 1816 Erstveröffentlichung der Schrift ‚Ueber das Sehn und die Farben‘ bei Hartknoch in Leipzig
- 1819 erscheint ‚Die Welt als Wille und Vorstellung‘ bei F.A. Brockhaus in Leipzig
- 1820 Italienreise / Habilitation in Berlin / Versuch einer Lehrtätigkeit an der Universität
- 1830 erscheint bei L. Voss in Leipzig eine lateinische Ausgabe seiner Farbenlehre
- ab 1831 zurückgezogenes Leben als Privatgelehrter in Frankfurt/ M.
- 1851 erscheint Kap. VII ‚Zur Farbenlehre‘ in den ‚Parerga u. Paralipomena‘ bei Brockhaus in Leipzig
- 1854 erscheint in Leipzig die zweite, vermehrte Auflage ‚Ueber das Sehn und die Farben‘
- 1860 stirbt Schopenhauer am 21. September in Frankfurt / M. im Alter von 72 Jahren

## Schopenhauers Schriften zur Farbenlehre (Auswahl)

- [1] Über das Sehn und die Farben. Leipzig 1816
- [2] Pererga und Paralipomena. Kleine philosophische Schriften. Kap. VII ‚Zur Farbenlehre‘. In: Schoph. Sämtl. Werk. 1851
- [3] Über das Sehn und die Farben. Zweite, verb. und verm. Aufl., Leipzig 1854



Eigenhändige Notizen Schopenhauers zur Farbenlehre,

## Quellen

- [1] Field, G.: *Chromatography*. London 1835
- [2] Bezold, W.v.: *Die Farbenlehre im Hinblick auf Kunst und Kunstgewerbe*. Braunschweig 1874
- [3] Ostwald, Wilhelm: *Goethe, Schopenhauer und die Farbenlehre*. Leipzig 1918, zit. nach 2., durchges. Aufl. 1931, S.71ff; ders.: *Die Farbenlehre in fünf Büchern*. 1. Buch: *Mathetische Farbenlehre*. Leipzig 1918, S.122-123
- [4] Schreiber, G.: *Die Farbenlehre....* Leipzig 1868
- [5] Biema, C. v.: *Farben und Formen als lebendige Kräfte*. Jena 1930
- [6] Heimendahl, E.: *Licht und Farbe, Ordnung und Funktion der Farbwelt*. Berlin 1961, S.46ff
- [7] Schwarz, A.: *Die Lehren von den Farbenharmonien*. Göttingen, Zürich 1999
- [8] Ullig, A.(Hg.): *Arthur Schopenhauer. Hauptwerke Bd. 1*, Köln 2000
- [9] Bendin, E.: *Eine offene Frage? Von Itten über Goethe zu Voigt und Schopenhauer...* In: A. Schwarz (Hg.): *Farbe interdisziplinär. Jahrbuch 2006*, Essen; Berlin, S. 97-99
- [10] Stollberg, J.: *Arthur Schopenhauers lebenslanger Versuch, Goethes Farbenlehre zu vollenden*. In: Scheurmann, K. (Hg.): *color continuo 1810...2010...System und Kunst der Farbe*. Dresden 2009, S. 66-75
- [11] Bendin, E.; *Zur Farbenlehre. Studien. Modelle, Texte*. Dresden 2010, S. 40-49; 74-95
- [12] Bendin, E.: *Basisexperimente mit Kreiseln. Filmmodule zur Farbenlehre*. Dresden 2014

## RUPPRECHT MATTHAEI (1895 - 1976)



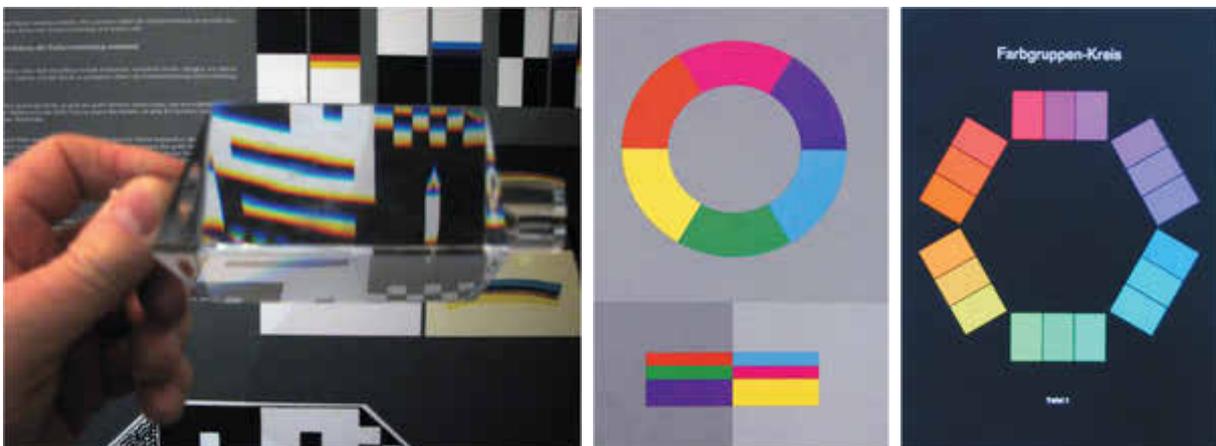
RUPPRECHT MATTHAEI gehört zu den Wissenschaftlern, die - eher von den klassischen Naturwissenschaften geprägt - stets ein stärker universales Verständnis entwickelt und sich geisteswissenschaftlichen Fragen mit gleicher Hingabe gewidmet haben. Das Besondere in Leben und Schaffen Matthaeis besteht zweifellos in seiner wohl einmaligen, kongenialen Zuwendung zum umfänglichen Goethe'schen Werk der **„Farbenlehre“**, sicher ein nicht hoch genug einzuschätzendes Verdienst. Wir verdanken ihm heute vor allem die Sichtung, Bewahrung, Rekonstruktion und Interpretation eines fast unübersehbaren Goethe'schen Quellenmaterials zur Farbenlehre in Wort und Bild. Neben seiner Tätigkeit an der Universität Erlangen als ordentlicher Professor für Physiologie stand er jahrzehntelang mit den Naturwissenschaftlichen Sammlungen der Stiftung Weimarer Klassik im Goethe – Nationalmuseum in Weimar fachlich aufs Engste in Verbindung. Seine unermüdliche Tätigkeit findet in den bedeutenden von ihm herausgegebenen und kommentierten Publikationen **„Der Corpus der Goethezeichnungen“** (1963) und **„Goethes Farbenlehre“** (1971) sowie in einer Vielzahl weiterer Schriften und Vorträge ihren Ausdruck. Bekannt geworden sind vor allem seine Rekonstruktion des Farbkreises von Goethe (siehe dazu auch Siegfried RÖSCH (1899- 1984), der 1958 für Matthaei die Farbanalysen besorgte) sowie die

Nachstellung des Goethe'schen Versuchs zu den Farberscheinungen in gefärbtem Wasser zur Veranschaulichung der ‚Theorie der trüben Medien‘.

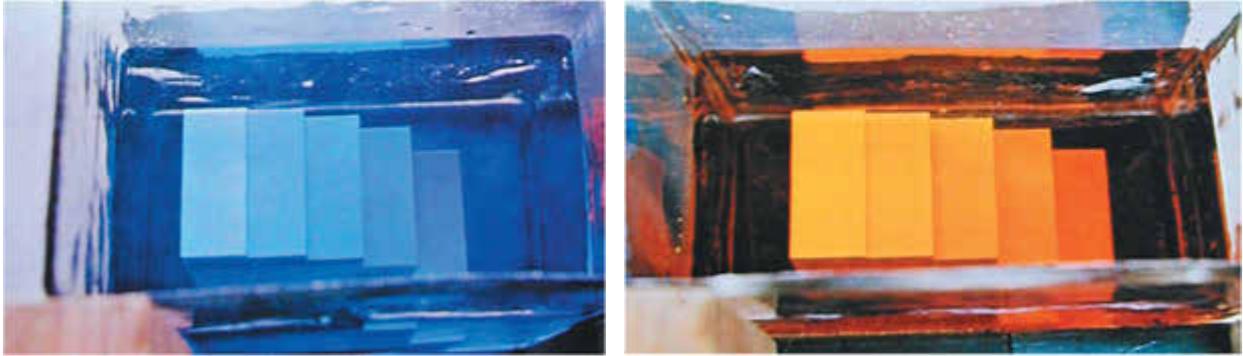
Rupprecht Matthaei hat durchaus auch wichtige eigenständige Arbeiten eingebracht. Sie reichen von physiologischen Untersuchungen (z. B. ‚Erregung des Neurons als physiologische Grundlage psychologischer Vorgänge‘ 1924), Arbeiten zur Gestalttheorie (‚Das Gestaltproblem‘ München 1929) bis zur speziell farbtheoretischen Auseinandersetzung. Es gibt z. B. umfangreiche **„Experimentelle Studien über die Attribute der Farben“** (1928), in denen er das Helligkeitsproblem der Farben untersucht und Grundsätzliches zur ‚Helligkeitsmessung‘ sowie zur ‚Systematik der Farbenhelligkeit und Farbenharmonie‘ darstellt. Er entwickelt auch einen **„Neutralen Farbkreis“** (1925), in dem er die Eigenhelligkeiten der Farbtöne in ein entsprechend helles achromatisches Umfeld stellt. Dadurch verweist er auf das oft vernachlässigte Attribut jeglicher Farberscheinung mit Auswirkungen auch auf Farbzusammenstellungen bzw. sogenannten ‚Farbverbände‘.

Die Hervorhebung und Auseinandersetzung mit den wichtigsten Attributgegensätzen der Farben (warm - kalt / stark - schwach / hell - dunkel) bildet für ihn auch den Schwerpunkt der enzyklopädischen Publikation **„Farbenphänomenologie“** (Handwörterbuch der Naturwissenschaften 1933) sowie der praxisorientierten **„FNF – Richtlinien zur Raumgestaltung“** (1962). Sie drücken die hohe Wertschätzung aus, die man Matthaei entgegenbrachte als einen sowohl naturwissenschaftlich wie auch in gestalttheoretischen oder ästhetischen Fragen anerkannten Theoretiker.

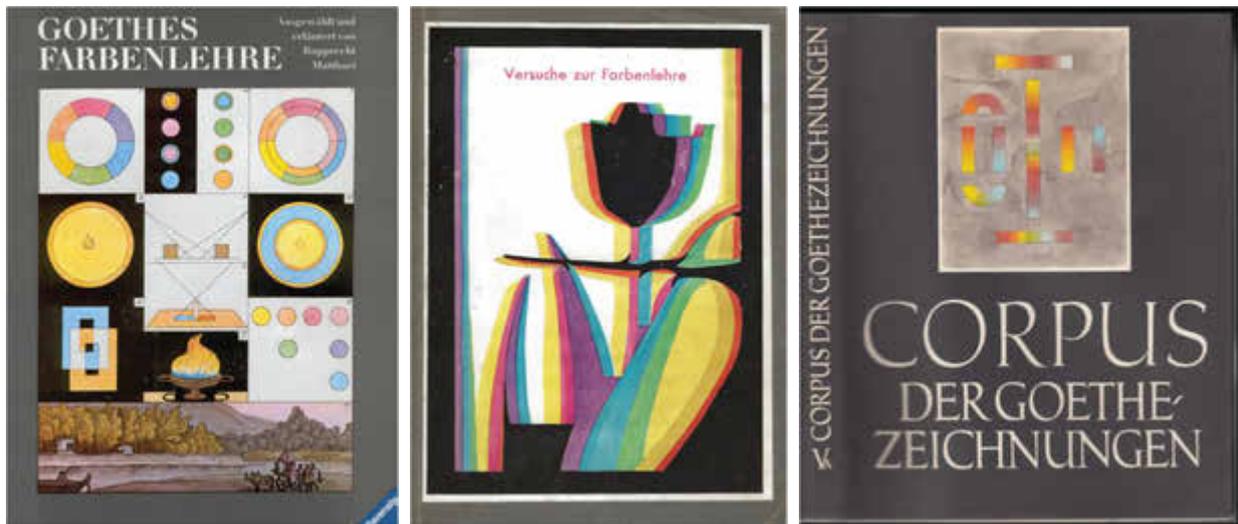
Der in den Richtlinien zur Raumgestaltung enthaltene **„Farbgruppen-Kreis“** stellt ganz im Sinne Goethes das Purpur als ‚höchste Farberscheinung‘ obenan und berücksichtigt auch ansonsten die Wesensarten der Farben in ihrer Stellung zueinander (Links / Rechts, Oben / Unten). Matthaei wurde nicht müde, immer wieder den Gestaltcharakter der Farben zu betonen und auf die Betrachtung des Farbganzen, insbesondere in den ‚Farbverbänden‘ der Farbklänge hinzuweisen.



Goethes Farbkreis geht von den spektralen Randfarben aus. 1932 rekonstruierte Matthaei Goethes Kreis (Mitte). Dazu entwarf er auch einen „Farbgruppen-Kreis“ (rechts)



Mithilfe von Stufengefäßen (weißes Porzellan in gefärbtem Wasser) stellte Matthaei Versuche Goethes zur „Farbsteigerung“ nach (re: stufenartige Steigerung von Gelb nach Rot).



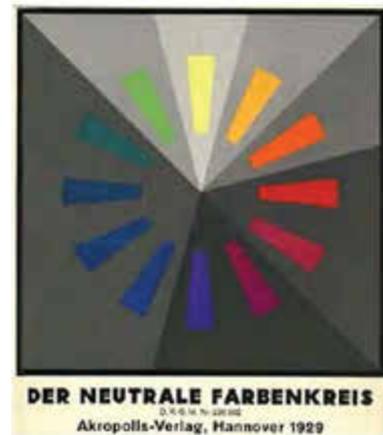
Matthaeis Publikationen waren auch auf das Nachvollziehen der Goetheschen Versuche zur Farbenlehre gerichtet, zu denen er praktische Anleitungen entwarf.

### Biografische Daten

- 1895 am 22. Februar wird Rupprecht Karl Adelbert Matthaei in der Familie des o. Prof. für Bau- und Kunstgeschichte Adalbert Matthaei in Kiel geboren
- 1913-19 zunächst kurzes Studium der Chemie an der TH Danzig, dann der Medizin in Königsberg, Bonn und München / 1919 Dr. med. in Bonn
- 1922-29 wiss. Assistent am Physiologischen Institut der Universität Bonn
- 1923 Habilitation für Physiologie, Privatdozent an der Universität Bonn / Mitglied der Goethe – Gesellschaft
- 1929-30 wiss. Assistent am Physiologischen Institut der Universität Tübingen
- 1930 Privatdozent und a. o. Professor / Silbermedaille der Fotografischen Gesellschaft, Wien
- 1935 Erstellung einer Ausstellung über Goethes Farbenlehre im Goethe - Nationalmuseum, Weimar
- 1935-45 Ernennung zum o. Professor für Physiologie des Physiologischen Instituts der Universität Erlangen
- 1949-55 Dozent in Erlangen
- 1956 o. Professor für Physiologie für Psychologen an der Universität Erlangen
- 1961 Emeritus, freier Mitarbeiter der Goethe - Gesellschaft und des Goethe - Nationalmuseums Weimar
- 1971 erscheint die kommentierte Ausgabe ‚Goethes Farbenlehre‘ im Verlag Maier, Ravensburg
- 1976 Rupprecht Matthaei stirbt am 6. Januar in Erlangen im Alter von 80 Jahren

**Auswahl an Publikationen von Matthaei**

- [1] *Ein neuer Farbenkreis. In: Pflügers Archiv* 210, 1925, S.623
- [2] *Experimentelle Studien über die Attribute der Farben. In.: Zeitschr. für Sinnesphysiologie*, hrsg. v. Martin Gildemeister u.a, 59. Bd., Leipzig 1928, S.257ff
- [3] *Das Gestaltproblem. München* 1929
- [4] *Der Neutrale Farbenkreis. Hannover* 1929
- [5] *Goethes Farbenkreis, die quellenmäßige Begründung einer Rekonstruktion. Euphorion* 34, 1933, S.119-211
- [6] *Farbenlehre. I. Farbenphänomenologie. In: Handwörterbuch der Naturwissenschaften* 3, Jena 1933, S.979-989
- [7] *Die Möglichkeit einer psychologischen Physiologie auf dem Boden der Gestaltlehre. In: Mod. Naturwiss.* 10 (1934) Stuttgart, S.19
- [8] *Versuche zu Goethes Farbenlehre mit einfachen Mitteln. Jena* 1939
- [9] *Die Farbenlehre im Goethe - Nationalmuseum. Jena* 1941
- [10] *Die Farbenlehre im Faust. = Jahrbuch d. Goethe - Ges. NF* 10, 1947, S.59-148
- [11] *Textsammlung: Goethe zur Farbe und Farbenlehre. Weimar* 1955
- [12] *Über das Farbenwunder. In: DIE FARBE* 6 (1957), S.7-22
- [13] *Über die Voraussetzungen einer farbigen Raumgestaltung + FNF-Richtlinien zur farbigen Raumgestaltung, Teil 1: In: DIE FARBE* 11 (1962) 1 / 6, S.1-18 sowie Teil 2: FNF-Richtlinien zur farbigen Raumgestaltung, o. JA., S.265 -274
- [14] *Die Zeichnungen zur Farbenlehre. In: NFG der Klassischen Deutschen Literatur in Weimar (Hrsg.): Goethes Sammlungen zur Kunst, Literatur und Naturwissenschaft. Als: Corpus der Goethezeichnungen. Bd. Va Nr.1-390, Leipzig* 1963
- [15] *Goethes Farbenlehre. Ausgewählt und erläutert von Rupprecht Matthaei. (Hrsg.), Ravensburg* 1971
- [16] *Dazu eine Vielzahl von Aufsätzen zu Goethes Farbenlehre; siehe dazu Bibliografie zu Goethes Farbenlehre von Felix Höpfner (unter Quellen)*



**Quellen**

- [1] *J.C. Poggendorf - Biographisch - Literarisches Handwörterbuch der Exakten Naturwissenschaften, Berlin* 1958, hrsg. von der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Bd. VIIa, Teil 3: L-R, S.221
- [2] *Richter, Manfred: Rupprecht Matthaei, ein großer Erforscher der Sinneserlebnisse. In.: DIE FARBE* 25 (1976), S.210-215
- [3] *Matthaei - Kurzbiografie des Instituts für Physiologie der Universität Erlangen, o. JA.*
- [4] *Matthaei, Heinrich: Rupprecht Matthaei. In: NDB Bd. 16 (1990), S.391f*
- [5] *Höpfner, Felix: Wissenschaft wider die Zeit: Goethes Farbenlehre aus rezeptionsgeschichtlicher Sicht. Heidelberg* 1990, S.272-273
- [6] *Matthaei, Heinrich: Die Veröffentlichungen von Rupprecht Matthaei. Göttingen* 1995

## **Auch das noch!**

*Werner Rudolf Cramer, Münster*

### **Farbmessgeräte suchen ein Zuhause!**

Man kennt das von sich selber, irgendwann räumt man auf oder schafft man sich neue Sachen an. Und wohin mit den alten? Und so geht's auch mit alten Farbmessgeräten. In den meisten Fällen haben Firmen ihre Messgeräte verschrottet, weil sie nicht mehr benötigt wurden und man nicht wusste, wo und vor allen Dingen warum man sie lagern sollte. Es gab und gibt aber Enthusiasten, die diesen Prozess nur mit weinenden Augen verfolgen konnten und sich um den Erhalt historischer Messgeräte kümmerten und kümmern.

Das Industriemuseum, was bislang Standort war, sucht neue Räumlichkeiten. Wer eine Idee für eine Unterbringung hat, sollte sich ans Sekretariat der DfwG oder direkt an Gerd Pausch: [info@pausch.com](mailto:info@pausch.com) oder [gp@pausch.com](mailto:gp@pausch.com).

Hier sind einige Bilder aus der Sammlung. Am Zeiss DMC25 und 26 habe ich meine ersten Erfahrungen mit der Farbmessung gemacht. Nach dem Vordiplom wurde ich von einem Lackhersteller gefragt, als „Messknecht“ (meine Interpretation) in der Farbmessung zu jobben. Wir – das waren acht Studenten – wurden zunächst von den Mitarbeiterinnen eingeordnet, nicht mehr pro Stunde zu messen als sie. Unsere Arbeitszeit betrug vier Stunden. Wir schafften aber die berechnete Zahl an Messungen in zwei Stunden. Und wir sollten nach 17 Uhr kommen, weil eine Telefon-Standleitung rund um die Uhr zum Rechner nach Düsseldorf gemietet war. Die Messungen lieferten Reflexionswerte, die anschließend mit einem Tischrechner in Farbwerte umgerechnet wurden. Zur Erleichterung generierte das Messgerät Lochkarten.

Auch von Werner Mieskes kommen historische Angebote: Verschiedene Bücher, eine Software zum Thema Auge und Farbe, verschiedene Semester- und Diplomarbeiten über Themen wie „Effektpigmente in der Rezepturberechnung“, „FRB der Effektlacke mit der 2K-Theorie“, „Bewertung der Farben am Bildschirm vs. Abmusterungskabine“ etc.

Werner Mieskes war Leiter der Coloristik, zunächst bei Akzo, dann bei PPG. Anfragen an [werner.mieskes@gmx.de](mailto:werner.mieskes@gmx.de) oder an [Sekretariat@DfwG.de](mailto:Sekretariat@DfwG.de).



pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



Gardner  
Photometric Unit PG 5500  
Colorimeter XL 20  
Colorimeter XL 10

pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



Zeiss Elko II

pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



Vitrine mit  
Kleingeräten

pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



Zeiss Elepho

pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



pauch messtechnik 



Gardner Glanzmeßgeräte

pauch messtechnik  Farbmessgerätesammlung



