



Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

www.dfwg.de

DfwG Jahrestagung 2019

09. – 10. Oktober 2019

Hochschule für Technik Wirtschaft und Kultur Leipzig
Fakultät Informatik und Medien
Gustav-Freytag-Str. 42 | 04251 Leipzig

www.htwk-leipzig.de



Programm und Kurzfassungen der Vorträge

Inhalt

<i>Programm Mittwoch, 9. Oktober 2019</i>	3
Tagesordnung der Mitgliederversammlung.....	4
<i>Programm Donnerstag, 10. Oktober 2019</i>	4
Arbeitsgruppensitzungen, Mittwoch, 9. Oktober 2019	7
Arbeitssitzung AG Multigeometrie.....	7
Arbeitssitzung AG Appearance.....	7
Vortragsskizzenfassung, Mittwoch, 9. Oktober 2019.....	8
Farbdarstellung in 3D – Die Explosion der Möglichkeiten	8
Total Appearance Capture	8
Ist die heutige Farbmessungstechnik 4.0 tauglich oder die Tücken der dritten Dimension?	8
Musterbasiertes Reprofilieren im Digitaldruck: Status und Herausforderungen	9
Mottling – Vorhersagbarkeit von Inhomogenitäten vor dem Druck?	9
OLED- vs. LC-Displays - Das Rennen in Richtung Rec.2020 und HDR1.....	10
Display-Test schnell und präzise mit Spektrometer-unterstützter Farbkamera	12
Vortragsskizzenfassung, Donnerstag, 10. Oktober 2019.....	13
Eine neue Metrik für die gedächtnisfarbenbasierte Bewertung von Lichtquellen.....	13
Etablierung lichttechnischer Güteigenschaften von LED-Leuchten für die Abmusterung farbkritischer Vorlagen.....	13
Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Farbwahrnehmung von LEDs.....	14
Anwendung von Deep-Learning auf Untersuchungen von MacAdam	15
3D-Scannerprofilierung mit KI-Methoden	16
Farbthemen in der CIE.....	16
Pigmente und Farben in der Malerei	17
Lichtschädigung von Farbstoffen und Pigmenten: Von der Messung zur Prognose	17

Programm der DfwG-Jahrestagung 2019

9. bis 10.10.2019, | Hochschule für Technik Wirtschaft und Kultur Leipzig |
Gustav-Freytag-Str. 42 | Leipzig | Gutenberg-Bau | Raum GU 116

Programm Mittwoch, 9. Oktober 2019

9:00	Arbeitssitzung AG Multigeometrie	Raum GU 113	Dr. Schirmacher
09:45	<i>Pause</i>		
10:00	Arbeitssitzung AG Appearance	Raum GU 113	Hr. Dietz
12:00	Registrierung/ Imbiss		
13:00	Eröffnung der 45. DfwG-Jahrestagung		
	<i>Begrüßung durch DfwG-Präsidenten Dr. Andreas Kraushaar</i>		
	<i>Grußworte des Gastgebers Prof. Dr. Frank Roch</i>		

Farbe – Appearance – Farbe

13:20	<i>Marco Mattuschka, Fogra:</i> Farbdarstellung in 3D – Die Explosion der Möglichkeiten
13:45	<i>Felix Schmollgruber, x-rite:</i> Total Appearance Capture
14:10	<i>Walter Franz, NCS:</i> Ist die heutige Farbmessetechnik 4.0 tauglich oder die Tücken der dritten Dimension?
14:35	<i>Pause</i>
15:00	<i>Andreas Presterl, ipac:</i> Musterbasierendes Reprofilng im Digitaldruck: Status und Herausforderungen
15:25	<i>Alexandra Hodes, HTWK Leipzig:</i> <i>Mottling – Vorhersagbarkeit von Inhomogenitäten vor dem Druck?</i>

Displayfarbe

15:50	<i>Michael Becker, Jürgen Neumeier, Instrument Systems Optische Messtechnik GmbH:</i> OLED- vs. LC-Displays - Das Rennen in Richtung Rec.2020 und HDRI
16:15	<i>Jürgen Neumeier, Instrument Systems Optische Messtechnik GmbH:</i> Display-Test schnell und präzise mit Spektrometer-unterstützter Farbkamera
16:40	Fototermin & Pause
17:00	DfwG-Mitgliederversammlung

Tagesordnung der Mitgliederversammlung:

1. Genehmigung der Tagesordnung
 2. Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung 2018
 3. Bericht des Präsidenten
 4. Ehrungen und Vergabe des Förderpreises
 5. Kassenbericht 2018 des Schatzmeisters
 6. Bericht der Kassenprüfer
 7. Bericht der Sekretärin
 8. Entlastung des Vorstandes für das Geschäftsjahr 2018
 9. Verschiedenes
 10. Termin und Tagungsort der nächsten Mitgliederversammlung
-

20:00	Tagungsabend Ratskeller der Stadt Leipzig, Lotterstraße 1 Leipzig Telefon 0341 123 45 67 https://www.ratskeller-leipzig.de
-------	---

Programm Donnerstag, 10. Oktober 2019

9:00	<i>Sebastian Babilon, TU Darmstadt:</i> Eine neue Metrik für die gedächtnisfarbenbasierte Bewertung von Lichtquellen DfwG-Förderpreisträger 2019
9:25	<i>Carolin Breit, HP:</i> Etablierung lichttechnischer Güteigenschaften von LED-Leuchten für die Abmusterung farbkritischer Vorlagen DfwG-Förderpreisträger 2019

Farbwahrnehmung

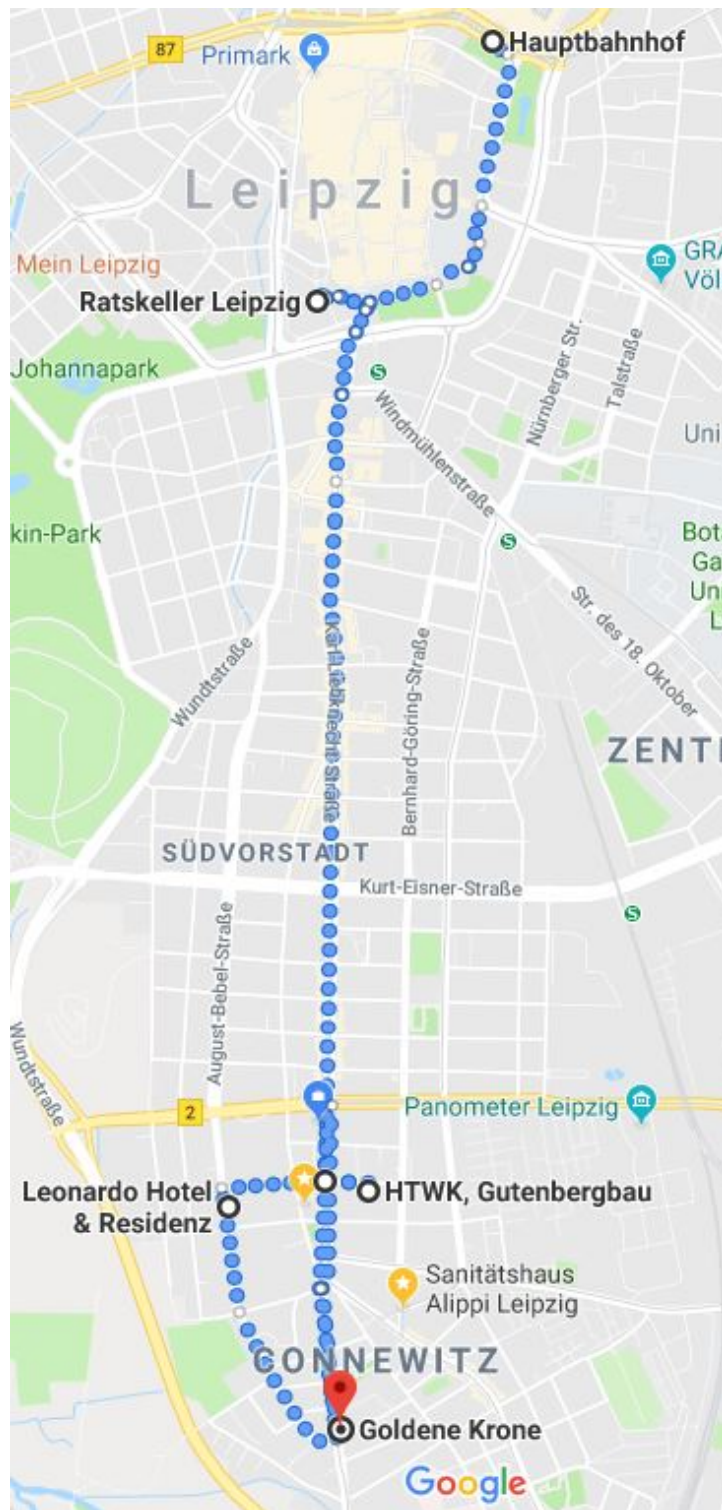
- 09:50 *Nicole Stubenrauch, TU Ilmenau:*
Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Farbwahrnehmung von LEDs
- 10:15 *Pause*
- 10:45 *Christian Greim, Hochschule Mittweida:*
Anwendung von Deep-Learning auf Untersuchungen von MacAdam

Farbbildverarbeitung

- 11:10 *Tarek Stiebel, RWTH Aachen:*
Eine theoretische Betrachtung der Bedeutung und Modellierung der Metamerie für die Messtechnik
- 11:35 *Julie Klein, Fogra:*
3D-Scannerprofilierung mit KI-Methoden
- 12:00 Mittagessen
- 13:00 Gutenberg-Bau-Führung
- 14:00 *Pause*

Farbe interdisziplinär

- 14:30 *Klaus Richter, Berlin:*
Farbthemen in der CIE
- 14:55 *Werner Cramer, Münster:*
Pigmente und Farben in der Malerei
- 15:20 *Christian Weickhardt, HTWK Leipzig*
Lichtschädigung von Farbstoffen und Pigmenten: Von der Messung zur Prognose
- 15:45 Ende des Vortragsprogramms
- 16:00 Abfahrt zum Museum für Druckkunst und Führung durch die Ausstellung
- 18:30 Ende der Jahrestagung



Lageplan der Veranstaltungsorte der DfwG-Jahrestagung

Arbeitsgruppensitzungen, Mittwoch, 9. Oktober 2019

Arbeitssitzung AG Multigeometrie

Dr. Alfred Schirmacher

Fragestellungen zu Aspekten der Reflektometrie werden von nationalen Metrologieinstituten und Partnerorganisationen z.Z. in zwei EU-geförderten Projekten untersucht.

Das EMPIR Projekt BiRD „Bidirectional Reflection Definitions“ (Call Prenormative 2016) behandelt in vier technischen Arbeitsgruppen die Themen „Recommendation for BRDF measurements (WP1)“, „BRDF data handling and visualisation (WP2)“, „Gloss (WP3)“ sowie „Sparkle and graininess (WP4)“. Die gewonnenen Resultate fließen in entsprechende technische Reports der CIE ein.

Im kürzlich gestarteten Projekt BxDiff „New quantities for the measurement of appearance“ (Call SI broader scope 2018) sollen in den fünf Arbeitsgruppen „Advanced metrological issues related to BRDF (WP1)“, „Traceable BTDF Measurements (WP2)“, „Development of the first BSSRDF references (WP3)“, „Modelling and interpolation tools (WP4)“, „Test and transfer artefacts (WP5)“ neue Verfahren entwickelt, bestehende Messmöglichkeiten erweitert und geeignete Proben und Normale untersucht werden.

Es wird über den aktuellen Stand beider Projekte berichtet und spezielle Ergebnisse werden stichpunktartig dargestellt.

Arbeitssitzung AG Appearance

Christian Dietz

In den letzten Jahren wurde in der Industrie vermehrt Augenmerk auf den „gesamten“ visuellen Eindruck von Objekten gelegt.

Der visuelle Eindruck einer gesamtheitlichen Betrachtung eines Objektes in einer bestimmten Szenerie wird im deutschen Sprachraum unter dem Begriff „Erscheinungsbild“ geführt, jedoch ist dieser Begriff im Allgemeinen in der international tätigen Industrie wenig geläufig. Statt des deutschen Terminus wird der englischsprachige Begriff „Appearance“ auch im deutschen Sprachgebrauch als Standard verwendet, weshalb die neu gegründete DfWG-AG den englischen Begriff im Namen trägt.

Anders als bei der „traditionellen“ Farbtonmessung sind viele Begrifflichkeiten und Vorgehen in diesem Bereich entweder nur wenig oder aber in multiple Teilbereiche ohne gesamtheitliche Betrachtung genormt. Tatsächlich setzt sich die Appearance aus vielen Teilbereichen zusammen, wobei traditionelle Betrachtungsweisen wie z.B. „Farbton“ oder „Glanz“ nur Teile der Appearance von Objekten bilden.

Da im Bereich der Appearance derzeit viel geforscht und publiziert wird (siehe z.B. die EURAMET Projekte xDReflect oder BiRD), ist das Hauptaugenmerk der AG Appearance neben der Schaffung einer generellen Grundlage und einheitlicher Terminologie auch die Information über den aktuellen Stand der Technik bzw. Aktivitäten in diesem Bereich.

Aufgrund der hohen Dynamik in diesem Gebiet ist der Anspruch dieser Arbeitsgruppe, einen halbjährlichen Turnus für eventuelle Projektarbeiten ins Leben zu rufen, und seine Mitglieder dementsprechend auch für eine dynamischere Mitarbeit oder Publikationen zu begeistern.

Vortragskurzfassung, Mittwoch, 9. Oktober 2019

Farbdarstellung in 3D – Die Explosion der Möglichkeiten

Marco Mattuschka (FOGRA) – Mattuschka@fogra.org

Neue 3D-Druckverfahren wie das Polyjetverfahren und das Multi-Jet-Fusion Verfahren ermöglichen es, in einem Druckprozess bis zu acht Materialkombinationen zu verdrucken. Dabei können zum einen farbige, weitgehend opake Materialien, zum andern verschiedene klare Materialien verwendet werden. Dies gibt dem grafischen 3D-Druck viele neue Gestaltungsmöglichkeiten. Allerdings bringt es die Anforderung, diese Materialien zu charakterisieren mit sich, um ein vorhersagbares Ergebnis zu produzieren.

3D-Druck Materialien haben die Eigenschaft, dass sich Licht bzw. Photonen im Material ausbreiten können. Um diese Materialien charakterisieren und modellieren zu können, müssen Methoden angewandt werden, welche die Volumenstreuung und Lichtdurchlässigkeit von Materialien berücksichtigen. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass ein typischer 3D-Druckprozess mit sechs Materialien (CMYK/White/Clear) durchgeführt wird und somit sehr viele Testdrucke benötigt werden, um eine gute Charakterisierung des Druckprozesses zu erhalten.

Im Vortrag soll im ersten Teil die im Fogra Forschungsprojekt „Grafischer 3D-Druck - Farbgetreue Monitorarstellung für im Polyjet- und Multijet-Fusion-Verfahren hergestellte 3D-Objekte“ erarbeiteten Verfahren für die Charakterisierung und die Modellierung dieser Materialien aufgezeigt werden. Im zweiten Teil wird das Vorgehen erläutert, wie 3D-Druckmaterialkombinationen mit weniger Testdrucken charakterisiert werden können. Diese Forschung ist Gegenstand des Fogra-Forschungsprojekts „Modellierung der Farberscheinung im Vollfarb-3D-Druck“, welches im Oktober 2019 startet.

Total Appearance Capture

Felix Schmollgruber (x-rite) – Schmollgruber@XRITE.com

Das TAC™-Ökosystem (Total Appearance Capture) von X-Rite ist eine preisgekrönte Lösung, die ein bisher unerreichtes Maß an Realismus und Effizienz in der digitalen Materialerfassung und im 3D-Design ermöglicht. Mit den durch TAC produzierten «digital Twins» echter Materialien, lassen sich über das AxF-Dateiformat (Appearance Exchange Format) Produktdesigns zum Leben erwecken. Dies geschieht mit digitalen Materialdarstellungen, die die gleichen visuellen Eigenschaften wie ihre physischen Gegenstücke aufweisen. In jeder Phase der Produktentwicklung kann man die Daten zum optischen Eindruck von Materialien austauschen – präzise und vorhersagbar, um damit kürzere Design-Freigabezyklen und eine schnellere Markteinführung zu erreichen!

Der Vortrag beleuchtet die Kernkomponenten und die Evolution dieser Technologie und gibt einen Ausblick auf die Zukunft und Weiterentwicklung in diesem Bereich.

Ist die heutige Farbmesstechnik 4.0 tauglich oder die Tücken der dritten Dimension?

Walter Franz (NCS) - wfranz@web.de

Bei Untersuchungen hinsichtlich Digitaler Farbkommunikation/Appearance in der Fahrzeugindustrie konnten wir Effekte feststellen, welche die Übernahme bestehender Farbdaten von **strukturierten**

Proben auch nach der Korrelation nicht zuließen. Dies ist nicht nur unangenehm, sondern auch extrem kostenintensiv, da die physikalischen Muster entweder gealtert oder nicht mehr vorhanden sind.

Eine Lösung hierfür wurde erarbeitet. Der Vortrag beinhaltet Ergebnisse, welche bei einem global agierenden Automobilzulieferer sowie einem OEM erarbeitet wurden.

Hintergrund: Bei Modellwechsel auch innerhalb eines Geräteherstellers treten nach Designänderungen (z.B. Einbau einer Kamera in die Kugel, andere Anordnung der Baffles etc.) deutlich veränderte Anisotropieeffekte im SCI-Modus bei strukturierten Mustern auf. Dies wird vom Gerätehersteller nicht bestätigt, da die Überprüfung mit einem CERAM-Kachelsatz erfolgt und damit der Effekt stark reduziert wird. Die Einhaltung der Fertigungstoleranz (IIA/IMA) kann damit demonstriert werden.

Musterbasierendes Reprofilig im Digitaldruck: Status und Herausforderungen

Andreas Presterl (ipac) – andreas.presterl@ipac.at

Die Firma IPAC arbeitet seit 2-3 Jahren daran, ihre hyperspektrale Messung zielgerichtet für den Digitaldruck einzusetzen. Derzeitiges Ziel dabei ist, eine Closed-Loop Colour Correction zu implementieren bzw. zu unterstützen. Auf dem Weg dahin sind einige technologische und konzeptionelle Herausforderungen zu meistern:

- Umsetzung der hochwertigen hyperspektralen Farbmessung vom Offline- zum multispektralen Inlinebetrieb. Hier sind in puncto Formfaktor und Verarbeitungsgeschwindigkeit ganz andere Zielvorgaben zu erfüllen.
- Aufnahmeformat und Datenaufbereitung der Scans durch neuartige Software auswerten.
- Die erhaltenen Messdaten in geeigneter Form einem Colour Management zur Verfügung stellen.
- Herausforderungen einer praxistauglichen Applikation, wie das durchgehende Error-Handling, Verifikation der Messdaten, Plausibilitätschecks, etc.

Mottling – Vorhersagbarkeit von Inhomogenitäten vor dem Druck?

Alexandra Hodes (HTWK Leipzig) - alexandra.hodes@htwk-leipzig.de

Die Bewertung von Druckprodukten mit messtechnischen Geräten wie Densitometer, Spektralfotometer und ähnlichen zur Bestimmung von optischen Dichten, Tonwerten, Farbörtern etc. sind etablierte Messmethoden in der grafischen Industrie. Geht es allerdings darum, eine bedruckte Farbfläche hinsichtlich der Homogenität bzw. Gleichmäßigkeit zu beurteilen, stößt man schnell an messtechnische Grenzen. Das menschliche Sehvermögen ist zwar sehr gut in der Lage, Druckunregelmäßigkeiten subjektiv wahrzunehmen – diese mit einheitlichen Kennwerten objektiv zu bewerten ist jedoch nicht ohne weiteres möglich.

Um potentielle Inhomogenitäten von Farbflächen bereits vor dem Druck vorhersagen zu können, wurden Mottling-Zielwerte anhand bedruckter Papiere generiert. Dazu wurden mit einem kommerziellen Messgerät Druckunruhen an bedruckten Volltonflächen gemessen. Zur Evaluierung der Messergebnisse wurde eine Survey Study durchgeführt. Diese Ergebnisse dienen als Zielgrößen für das Vorhaben für die Entwicklung einer Mess- und Analysemethodik zur Vorhersagbarkeit von Mottlingerscheinungen an unbedruckten Papieren.

OLED- vs. LC-Displays - Das Rennen in Richtung Rec.2020 und HDRI

Michael E. Becker, Jürgen Neumeier, Martin Wolf

(Instrument Systems Optische Messtechnik GmbH) - becker@instrumentsystems.com

Zusammenfassung

In diesem Beitrag stellen wir Messverfahren und Ergebnisse für qualitativ hochwertigen OLED- und LC-Displays vor, die deren Stabilität von Leuchtdichte, Kontrast und Farbart hinsichtlich Sehrichtung, elektrischer Ansteuerung und Umgebungslicht charakterisieren. Wir präsentieren Beschreibungen für die reflektiven Eigenschaften beider Anzeigetechniken unter halb-räumlich diffuser und gerichteter Beleuchtung. Die Hindernisse auf dem Weg in Richtung Rec.2020 und HDRI (d.h. Bilddarstellung mit erhöhtem Dynamikumfang) werden vorgestellt und diskutiert.

Einleitung

Die ITU-R Empfehlung BT.2020 (oder Rec.2020 [1]) und die Darstellung von Bildinhalten mit erhöhtem Dynamikumfang (HDRI) bilden große technische Herausforderungen für die Hersteller von elektronischen Anzeigen. Der von Rec.2020 geforderte Farbumfang setzt eine hohe Sättigung der Primärfarben voraus (spektrale Halbwertsbreiten < 10 nm). Zur Vergrößerung des Dynamikbereichs sollen Schwarzzustände im Bereich von $0,005 \text{ cd/m}^2$ und gleichzeitig Spitzenleuchtdichten von 1000 cd/m^2 bis 4000 cd/m^2 erreicht werden. Dadurch soll den Möglichkeiten des menschlichen Sehsystems (erfassbarer Dynamikbereich von $> 1 : 5000$ innerhalb einzelner Bilder, [2] [3]) besser entsprochen werden.

Ergebnisse

Jede der beiden hier besprochenen Display-Techniken hat ihre spezifischen Vorteile und Beschränkungen; keine kann die gestellten Anforderungen bezüglich Farb- und Dynamikumfang alleine erfüllen.

a) Farbumfang

Die Farbörter der von Rec.2020 geforderten Primärfarben setzen enge Spektralverteilungen (Halbwertsbreite < 10 nm) voraus, was sich aktuell weder mit OLED-Emission noch mit Quantenpunkten (die zur Hinterleuchtung von LCDs eingesetzt werden) realisieren lässt. Es werden spezielle anorganische LEDs [4] oder Laser-Lichtquellen zur Hinterleuchtung von LCDs benötigt, deren interne Farbfilter entsprechend optimiert werden müssen (insbesondere bezüglich einer hohen Dämpfung der anderen beiden Primärfarben). Aktuell verfügbare Quantenpunkte sind geeignet, um LCD-Monitore mit Adobe-RGB-Farbraum zu realisieren [4] [5].

b) Leuchtdichtedynamik

OLED-Anzeigen sind prinzipiell geeignet, um Leuchtdichten zwischen Null und einigen Tausend cd/m^2 zu liefern, wobei allerdings die Lebensdauer (Abfall der Emission auf die halbe Leuchtdichte) mit der Intensität der Emission stark abnimmt. Im Gegensatz zu Smartphones mit OLED-Display erwartet der Kunde bei Fernsehbildschirmen eine Lebensdauer, die länger ist als zwei Jahre. Ein möglicher Ausweg liegt in der Verwendung von zusätzlichen weißen Teilbildelementen (RGB-W), die zur Darstellung der meist wenig gesättigten aber hellen Glanzlichter verwendet werden.

Um bei LCD-Bildschirmen die geforderten Dunkelzustände (heute typisch $0,1 \text{ cd/m}^2$ bis $0,5 \text{ cd/m}^2$) zu realisieren, muss die Hinterleuchtung lokal veränderlich ausgelegt werden ("local dimming"), was der Kombination von zwei Lichtmodulatoren mit unterschiedlicher Auflösung entspricht, der grob gerasterten Hinterleuchtung und der hochauflösenden LCD-Matrix. Um in einer solchen Anordnung visuelle Artefakte zu vermeiden, muss die LC-Anzeige mit 200 Hinterleuchtungssegmenten einen Kontrast von ~ 5000 aufweisen, bei einem Kontrast von 2000 sind dagegen 3000 Hinterleuchtungssegmente

erforderlich [6]. Mit zunehmend feiner gerasterten Hinterleuchtungen wird dann die LCD selbst irgendwann verzichtbar (mini/micro-LED Anzeigen).

Sehrichtungsabhängigkeiten

Unsere Messungen zeigen, dass die Änderung von Leuchtdichte und Farbart bei modernen Anzeigen recht gering ausfällt, wobei die Änderung der Farbart von Weiß bei OLED Anzeigen stärker ausfällt als bei LCD-Bildschirmen [7] [8].

Raus aus der Dunkelkammer

Um die für HDRI geforderten kleinen Leuchtdichten würdigen zu können, müssen Reflexionen in der Anzeige vermieden und deshalb die Lichtverhältnisse in der Umgebung sehr gut kontrolliert werden. Auf der Grundlage unserer Messdaten [9], [10] berechnen wir zum Beispiel den Einfluss des Umgebungslichts auf den Kontrast im Außenbereich und Reflexionen von weißer Kleidung in dunkler Umgebung.

Schlussfolgerungen

Der aktuelle Stand der Technik von OLED- und LC-Displays deckt die von Rec.2020 geforderte Leuchtdichtedynamik entweder im unteren Bereich (OLED) oder im oberen Bereich hinreichend ab (LCD mit segmentiert ansteuerbarer Hinterleuchtung). Anzeigen auf der Grundlage von mini/mikro-LEDs könnten den gesamten Dynamikbereich abdecken.

Literatur

- [1] Recommendation ITU-R BT.2020
- [2] T. Kunkel, E. Reinhard, APGV 2010 Proc., pp. 17-24
- [3] A. Radonjic, et al., Curr Biol. 21(2011)22, pp. 1931-1936
- [4] D. Wyatt, et al., Proc. SID 2017
- [5] K. Masaoka, et al., Optics Express, 22(2014), 16
- [6] G. Tan, et al., Optics Express, 26(2018)13
- [7] H.-J. Shin, et. al., Proc. IDW 2017
- [8] E. Kim, et al., Organic Electronics (2017)
- [9] M. Becker, J. Neumeier, Proc. SID 2014
- [10] M. Becker, Proc. SID 2016

Display-Test schnell und präzise mit Spektrometer-unterstützter Farbkamera

Jürgen Neumeier (Instrument Systems Optische Messtechnik GmbH) -
Neumeier@instrumentsystems.com

Im Herstellungsprozess von hochwertigen Mobilgeräten wie Mobiltelefonen, Tablets und Laptop-PCs und von PC-Monitoren oder TV-Displays sind die Endkontrollprozeduren für die integrierten Displays, die die Ermittlung der flächigen Gleichförmigkeit, die Weißpunkt- und Farbkalibrierung, die Einstellung der Ansteuerkennlinie und weitere Abgleichschritte umfassen (z.B. der Ansteuerlektronik, um bei LCDs das Flackern zu minimieren), sehr rigoros durch den Takt der Fertigungs- oder Testlinie vorgegeben. Daher muss die farbmetrische Auswertung der gesamten Displayfläche und der Displayabgleich mit hoher Geschwindigkeit, gleichzeitig aber auch mit hoher Genauigkeit und geringer Messunsicherheit durchgeführt werden, um die hohen Qualitätsanforderungen der modernsten Produkte gewährleisten zu können.

Die Messung und Auswertung der flächigen Variation von Farbe und Leuchtdichte wird häufig durch bildgebende Farbmessgeräte (imaging colorimeters) realisiert, die 2D-Bilder des Prüflings aufnehmen, was eine schnelle Analyse beispielsweise der flächigen Homogenität dieser Messgrößen ermöglicht. Allerdings haben solche Geräte, basierend auf Filterrad-Technologie, zwei wesentliche Nachteile, die deren Anwendung in Produktionslinien begrenzen. Einerseits sind die Messzeiten für Farbe relativ lang, da die Farbfilter des Geräts (typisch 4 bis 6) sequenziell gewechselt werden müssen und jeweils ein Bild mit jedem Filter aufgenommen werden muss. Andererseits ist die Messgenauigkeit mit filterbasierten Geräten begrenzt, insbesondere mit Farbdisplays. Bei solchen Messgeräten wird die spektrale Systemempfindlichkeit an die Wahrnehmung des menschlichen Auges angeglichen, was durch die Normspektralwertfunktionen des Farbstandards CIE 1931 festgelegt ist. Dies bedeutet, dass die Messgenauigkeit sehr stark von der Filteranpassung an die Kameraempfindlichkeit abhängt. Besonders bei modernen Displaytechnologien wie OLEDs und LED-hinterleuchteten, evtl. durch Quantum Dots optimierten LCDs mit schmalbandiger Emission können ohne weitere Optimierung bereits kleine Anpassungsfehler signifikante Messfehler hervorrufen. Daher sind für solche Displaytechnologien hochgenaue Spektroradiometer das Mittel der Wahl. Andererseits sind diese Messsysteme Punktmessgeräte, d.h. sie liefern keine räumlich aufgelösten 2D-Bilder des Prüflings, sondern Messdaten, die über meist kleine Flächen integriert werden. Das bedeutet, dass Gleichförmigkeitsmessungen nur durch Flächen-Scans ermittelt werden können, was bei passabler Auflösung sehr lange Messzeiten bedeutet.

Die beschriebenen Anforderungen und Begrenzungen motivierten uns zur Entwicklung eines Messprinzips und darauf basierender Geräte, welche die Vorteile beider Welten vereinigen, nämlich flächig aufgelöste 2D-Bilder, wie sie Farbmesskameras liefern, mit der Genauigkeit von Spektroradiometern, und das bei sehr geringen Messzeiten. Wir verwenden hochauflösende RGB-Kameras zusammen mit einem Spektroradiometer, die simultan und ohne bewegte Teile messen. In der Präsentation beschreiben wir, wie dies mit der LumiTop 2700 realisiert wurde [1] und analysieren die Leistungsfähigkeit dieses Geräts im Vergleich zu klassischen hochwertigen Spot-Spektroradiometer [2].

Quellen

- [1] <http://www.instrumentsystems.com/products/imaging-photometers-and-colorimeters/lumitop-2700/>
- [2] <http://www.instrumentsystems.com/products/spectrometers/cas-140d/>

Vortragskurzfassung, Donnerstag, 10. Oktober 2019

Eine neue Metrik für die gedächtnisfarbenbasierte Bewertung von Lichtquellen

Sebastian Babilon (TU Darmstadt) – babilon@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Bei der Bewertung der Farbwiedergabe von Weißlichtquellen hinsichtlich visueller Präferenz hat sich das Konzept der Gedächtnisfarben als vielversprechender Ansatz erwiesen, der, im Vergleich zu alternativen Farbpräferenzmetriken, ohne die künstliche Einführung einer Referenzlichtquelle auskommt. Bisherige, der Literatur zu entnehmende gedächtnisfarbenbasierte Farbqualitätsmetriken lassen bei näherer Betrachtung allerdings einige Nachteile in ihrer grundsätzlichen Konzeptionierung erkennen. Aus diesem Grund wurde im Zuge unserer aktuellen Forschung eine neue Probandenstudie erarbeitet, deren Hauptziel es war, eine verbesserte Version einer gedächtnisfarbenbasierten Farbqualitätsmetrik zur Bewertung der Farbpräferenz von Lichtquellen abzuleiten. Dieser sogenannte „Memory Color Preference Index“ (MCPI) basiert im Grunde genommen auf der Bewertung der Ähnlichkeit zwischen der Farberscheinung einer Auswahl an Testobjekten, die von einer beliebigen, zu evaluierenden Lichtquelle beleuchtet werden, und der jeweiligen Vorstellung, wie diese Objekte bei gegebener Adaptation für den Beobachter idealerweise auszusehen haben. Der Grad dieser Ähnlichkeit wird mit Hilfe von multivariaten Gauß-Verteilungen ermittelt, deren bestimmende Parameter für jedes der Testobjekte anhand der im Rahmen der Probandenstudie erhobenen Farberscheinungsbewertungen ermittelt wurden. Zusätzlich zum Einfluss unterschiedlicher Adaptationsbedingungen wurde außerdem durch Vergleich chinesischer und deutscher Probanden untersucht, inwieweit der kulturelle Hintergrund eine Auswirkung auf diese Farberscheinungsbewertungen und damit auf die schlussendliche MCPI-Definition hat. Im Rahmen einer umfassenden Meta-Korrelationsanalyse konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass die unterschiedlichen MCPI-Versionen (kulturell-spezifisch vs. global) studienübergreifend signifikant besser mit den visuellen Farbpräferenzbewertungen unterschiedlicher Lichtsituationen korrelieren als bisherige, aus der Literatur bekannte alternative Ansätze.

Etablierung lichttechnischer Güte Merkmale von LED-Leuchten für die Abmusterung farbkritischer Vorlagen

Carolin Breit (HP) – carolin.breit@t-online.de

Die Druckabmusterung ist einer der wichtigsten Arbeitsschritte in der grafischen Industrie. Die dabei verwendete Beleuchtung mit Leuchtstofflampen, die an D50-Normlicht, die Reproduktion des Tageslichts, gemäß ISO 3664 angepasst sind, hat sich bislang bewährt. Die sich im Markt ausbreitende energieeffizientere LED-Technologie und die damit einhergehenden veränderten Beleuchtungsbedingungen können die Bewertung von Farbabständen in der Abmusterung und unter abmusterungsergänzenden Allgemeinbeleuchtung kritisch ändern. Mit der Definition von Gütekriterien kann LED-basierte Allgemeinbeleuchtung für die farbkritische Betrachtung in der Druck- und Medienindustrie klassifiziert werden.

Für die Bestimmung definierter, anwendungsbezogener Gütekriterien wurden im Laufe der Masterarbeit mehrstufige Versuchsreihen, visuell sowie messtechnisch, durchgeführt. Zusätzlich erfolgte ein psychophysikalisches Experiment mit zwölf erfahrenen Probanden in verschiedenen Praxisbetrieben unter definierten Bedingungen. Dieses Experiment diente der Erhebung präferierter Beleuchtungssituationen mit spezifischen Gütekriterien, die sich für eine Abmusterung bewähren. Dafür wurde eine Farbtabelle mit verschiedenen Metameren entwickelt, um reale Abmusterungsbedingungen im Experiment

zu simulieren. Eine anschließende Korrelation der bewerteten Farbunterschiede dieser Farbtafel mit den Farbwiedergabekriterien der zu testenden Leuchten (zehn LED-Leuchten und sieben Normlichtkabinen sowie vier Tageslichtsituationen) dient der Ermittlung der Gütekriterien mitsamt ihren Toleranzgrenzen. Auf dieser Basis konnten technologieneutrale Gütekriterien für die Eignung der LED-Leuchten in abmusterungskritischen Beleuchtungssituationen ermittelt werden. Sie sind eine stabile Ausgangsbasis für weiterführende Untersuchungen. Die verwendete Farbtafel zeigt in der Praxis einen einfachen und flexiblen Weg auf, um verschiedenen Beleuchtungssituationen zu bewerten und einschätzen zu können.

Bei der Betrachtung von Druckmustern auf Substraten mit und ohne optische Aufheller, sowie die metameren Farbproben, zeigt sich kein nennbarer Unterschied zwischen den Gütekriterien der Normlichtbeleuchtung und denen getesteter nicht standardisierter LED-Beleuchtung.

Neben Farbwiedergabekriterien erfolgt eine Bewertung vorhandener LED-Leuchten hinsichtlich der Aufnahme und Interpretation temporärer Lichtartefakte, wie Flimmern oder Stroboskop-Effekte, welche in der Arbeitsumgebung im Sinne der Risikovermeidung ausgeschlossen werden müssen. Die Messung und Interpretation der Bewertungsverfahren für temporäre Lichtartefakte bietet noch großes Fehlerpotential. Um handlungsweisende Aussagen treffen zu können, müssen noch verschiedene praktische Fragen für den Anwender geklärt werden. Bei den getesteten LED-Leuchten und Normlichtkabinen wurden weder Flimmern noch Stroboskop-Effekte beobachtet. Werden für LED-Beleuchtung die Vorgaben gemäß ISO 3664 (Farbwiedergabeindizes R_a und $R_f \geq 90$, sowie $R_i \geq 80$ und MI_{UV-}/MI_{vis} -Index < 1) eingehalten, ist eine farbkritische Bewertung möglich.

Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Farbwahrnehmung von LEDs

Nicole Stubenrauch (TU Ilmenau) – n.stubenrauch@online.de

Die Spektren von weißen LEDs unterscheiden sich durch die verwendete blaue LED und den Leuchtstoff teilweise deutlich. Dadurch können metamere Spektren sehr unterschiedlich sein. Die Berechnung der identischen Farbörter erfolgt mit Spektralwertfunktionen (color matching functions - CMF). Diese CMF sollen die Farbwahrnehmung eines durchschnittlichen Beobachters wiedergeben und wurden schon in vielen Studien untersucht. Die CIE hat 2006 neue CMF herausgegeben, welche Unterscheidungen für die Feldgröße (2° und 10°) sowie das Beobachteralter (20-80 Jahre) ermöglichen.

Die Unterschiede der CMF für junge und alte Probanden sowie für verschiedene Feldgrößen zeigen bei rechnerisch metameren Spektren z.T. deutliche farbliche Unterschiede. Die Metamerie kann nur für eine CMF ermittelt werden, für andere Altersklassen von Beobachtern und andere Beobachtungsbedingungen ist die Metamerie somit nicht gegeben. Typische weiße LEDs weisen einen berechneten Farbunterschied zwischen 2° und 10° sowie 20 und 70 Jahren von bis zu $du'v'_{CIE2006} = 0,0300$ auf. Bereits Lichtfarbenunterschiede von $du'v'_{CIE2006} = 0,0015$ d können unterschieden werden.

Die Unterschiede zwischen Altersgruppen und Feldwinkeln sind vom Spektrum der Lichtquelle abhängig. So gibt es Spektren, bei welchen die Wahrnehmung robust gegenüber Veränderungen des Probandenalters oder der Feldgröße ist, genauso wie es Spektren gibt, bei denen die Beobachterurteile sehr sensibel auf bereits geringe Veränderungen reagieren. In dieser Studie soll ermittelt werden, welchen Einfluss die verschiedenen Wellenlängenbereiche auf die Robustheit gegenüber Veränderungen haben.

Anwendung von Deep-Learning auf Untersuchungen von MacAdam

Christian Greim (Hochschule Mittweida) – greim@hs-mittweida.de

Die aus den Untersuchungen von MacAdam abgeleiteten MacAdam-Ellipsen werden nach wie vor als Gütekriterium für die Bewertung von Farbabstände herangezogen. Von seinen experimentellen Arbeiten wurden auch weitgehend die Rohdaten veröffentlicht, sodass diese kritisch gewürdigt werden können und seine Arbeit zu Recht auch heute noch als Meilenstein gilt. Um die Rohdaten von MacAdam mit modernen Programmen und Programmierkonzepten verarbeiten zu können, ist es notwendig, sich mit allen Details der Arbeit von MacAdam vertraut zu machen. Durch die intensive Beschäftigung damit und die Nutzung der Messdaten und Formeln von MacAdam, ergibt sich ein Bild von der Leistungsfähigkeit und den Grenzen der MacAdam-Ellipsen. Da inzwischen auch kleine Schreibtischcomputer mit großen Datenmengen umgehen können, ist es möglich, die gesamten Messwerte von MacAdam als Gütekriterium heran zu ziehen und nicht nur die abgeleiteten Ellipsen. Erstens stellen diese nur Mittelungen aus den eigentlichen Messergebnisse dar. Zweitens hat MacAdam wesentlich mehr Messungen veröffentlicht als diejenigen, die für die Ellipsen benötigt werden. Drittens lassen sich die gemessenen Abstände einfacher mathematisch verarbeiten als die Ellipsen.

Dieses erweiterte Gütekriterium lässt sich auf ältere und aktuelle Farbsysteme anwenden und ermöglicht über Neuronale Netze und Deep Learning sogar die Entwicklung neuer Farbsysteme, wenn auch nur in gewissen Grenzen. Mit besseren und umfangreicheren Daten im Sinne von MacAdam könnte möglicherweise ein einheitlich gleichabständiges Farbsystem gewonnen werden.

Eine theoretische Betrachtung der Bedeutung und Modellierung der Metamerie für die Messtechnik

Tarek Stiebel (RWTH Aachen) - tarek.stiebel@lfb.rwth-aachen.de

Die Metamerie beschreibt das Phänomen, dass unterschiedliche spektrale Stimuli von einem menschlichen Beobachter als identische Tristimuli wahrgenommen werden. Das Prinzip gilt gleichermaßen bei der Verwendung von Kamerasystemen: Unterschiedliche Spektren können zu identisch gemessenen Kamerasignalen führen. Die Umrechnung eines gemessenen Signals auf den Signalraum eines anderen, möglicherweise maschinellen, Beobachters stellt im allgemeinen eine Herausforderung dar. Ursprünglich metamere Spektren, die mit dem gemessenen Signal assoziiert werden können, werden auf eine ganze Menge an möglichen Farbsignalen für den zweiten Beobachter abgebildet. Ein "Metamer Mismatch Volume" (MMV) entsteht. Dieser Beitrag widmet sich einer theoretischen Betrachtung des Einflusses von multispektraler Bildgebung auf den Schweregrad der MMVs, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der potentiellen Farbgenauigkeit maschinellen Sehens.

3D-Scannerprofilierung mit KI-Methoden

Julie Klein (Fogra) – klein@fogra.de

Im grafischen 3D-Druck stehen die optischen Eigenschaften des gedruckten Objekts im Vordergrund; seine mechanischen Eigenschaften spielen nur eine geringe Rolle. Die 3D-Daten für den Druck werden dabei üblicherweise mit einem photogrammetrischen Verfahren (3D-Scan) gewonnen, wie z.B. mit einer Scankabine oder einem Handscanner.

Um die Farbtreue des gedruckten Objekts möglichst ohne manuelle Bearbeitung der 3D-Daten zu ermöglichen, soll der 3D-Scanner charakterisiert werden. In diesem Beitrag wird der Einsatz von künstlicher Intelligenz und deren Verbesserungspotential für diese Farbcharakterisierung vorgestellt. Es wird insbesondere auf die Möglichkeit der inversen metameren Charakterisierung von 3D-Scannern eingegangen.

Farbthemen in der CIE

Klaus Richter (Berlin) – klaus.richter@mac.com

Mitglieder der CIE-Division 1 "Farbe und Sehen" haben während der CIE-Haupttagung 2019 in Washington-DC die Arbeitsfortschritte und -Planungen der letzten vier Jahre diskutiert. Etwa 40 Teilnehmer vertraten 20 Mitgliedsländer der CIE. Die Division 1 wird seit 2015 von Frau Kwak (Korea) geleitet. Die nächste Tagung ist in Honkong im April 2020 geplant. Weitere Informationen sind unter Division 1 von <http://www.cie.co.at> zu finden.

In den letzten 4 Jahren wurden zwei CIE-Gremien zur Erstellung neuer technischen Berichte gegründet: JTC-16 (D1/D8) "*Validity of chromatic adaptation*" und JTC-17 (D1/D2/D8) "*Gloss measurement and gloss perception: A framework for the definition and standardization of visual cues to gloss*".

Es wurden vier Technische Berichte aus dem Farbbereich veröffentlicht: CIE 230:2019 *Validity of Formulae for Predicting Small Colour Differences*, CIE 015:2018 *Colorimetry*, 4th Edition, CIE 224:2017 *CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use* und CIE 217:2016 *Recommended Method for Evaluating the Performance of Colour-Difference Formulae*.

CIE 230 befasst sich mit der Güte von Farbdifferenzformeln, die auf experimentellen Ergebnissen zur visuellen Farbabstandsbewertung beruhen. Der Bericht beschäftigt sich mit kleinen Farbabständen von aneinandergrenzenden Farben. Visuelle Bewertungen (ΔV) werden mit berechneten Farbdifferenzen (ΔE) für fünf Farbabstandsformeln verglichen: CIELAB, CMC, LABJND, CIE94 und CIEDE2000. Eine Potenzfunktion-(PF)-Korrektur dieser Formeln ist eingeschlossen. Der *STRESS*-Index wird benutzt, um die Güte der Farbabstandsformeln ohne und mit der Potenzfunktions-Korrektur zu testen.

Zusätzlich zum COM-Datensatz, der für die Entwicklung von CIEDE2000 verwendet wurde, werden neun neue Datensätze in diesem Bericht benutzt (mit besonderem Schwerpunkt von Farbdifferenzen unterhalb von 2 CIELAB-Einheiten). Die 13 Datensätze können vom CIE-Server heruntergeladen werden, siehe http://files.cie.co.at/TC181_Datasets.zip.

Verglichen mit der Originalformel CIEDE2000 ohne Potenzfunktion gibt die Formel CIEDE2000 mit Potenzfunktion (CIEDE2000_PF) die besseren Ergebnisse. Aus diesem Grunde empfiehlt dieser CIE-Bericht die Formel CIEDE2000_PF zur Vorhersage von Farbdifferenzen im Bereich 0,0 bis 5,0 CIELAB-Einheiten. Die LABJND Farbabstandsformel mit Potenzfunktion-Korrektur (LABJND_PF) erzeugt gute Resultate für visuelle Datensätze mit einem mittleren Farbabstand unter 1,0 CIELAB-Einheiten.

Die LABJND-Formel von K. Richter (1985) basiert auf dem logarithmischen Weber-Fechnersche Gesetz für aneinandergrenzende Farben. Alle anderen Formeln benutzen das Stevens-Potenzgesetz mit dem

Exponenten $1/3$, das auf der Basis der CIELAB-Formel für separat liegende Farbmuster auf grauer Umgebung geeignet ist und entwickelt wurde.

CIE 15 ist eine Überarbeitung der Ausgabe von 2004 mit allen wichtigen CIE-Grundlagendaten. Sie ist wichtig für fast alle farbmtrischen Anwendungen.

CIE 224 beschreibt einen Farbtreue-Index, der für die Farbwiedergabe in der Beleuchtungstechnik von besonderer Bedeutung ist. Dieser ergänzt den allgemeinen Farbwiedergabeindex R_a nach CIE 13.3.

CIE 217 beschreibt einen *STRESS*-Index, der die Güte der Übereinstimmung von visuellen Abstandsbewertungen und berechneten Farbabständen nach einer Farbabstandsformel kennzeichnet. CIE 217 wird in CIE 230 angewendet.

Im Vortrag werden auch besondere farbmtrische Ergebnisse und Trends beschrieben.

Pigmente und Farben in der Malerei

Werner Rudolf Cramer (Münster) - wrcramer@muenster.de

Direkt verknüpft sind Pigmente und Farben, wobei zusätzlich das Trägermedium eine Rolle spielt. Schon in der Steinzeit haben Menschen ihre Umgebung in vielen Höhlenmalereien dargestellt. Dazu nutzten sie beispielsweise farbige Steine wie Ocker oder verkohlte Hölzer. Aufgrund der Globalisierung im Altertum und Mittelalter war schnell ein Austausch auch von regionalen Pigmenten jeglicher Art möglich. Im Mittelalter entwickelte sich die Malerei auf separaten Holzplatten, die eine feste Positionierung des Gemalten aufhob. Heute sind Malereien auf transportablen Leinwänden selbstverständlich.

Viele Jahre blieb das Angebot an Pigmenten und damit an Farben das Gleiche, bis Anfang des 18ten Jahrhunderts die ersten künstlich hergestellten, anorganischen Pigmente entwickelt wurden. Im darauffolgenden Jahrhundert führte die Entdeckung organischer Pigmente zu einem wahren Boom in der Farbenwelt, der auch die Malerei erfasste. Seitdem werden Pigmente nicht nur in industrielle Anwendungen wie Auto- und Industrielacke, Kunststoffe oder Druckpasten eingesetzt, sondern auch in künstlerischen Bereichen wie Aquarell-, Acryl- und Ölmalerei. Heute stehen Künstler Pigmente und Farben zur Verfügung, die nahezu keine Wünsche offenlassen.

Lichtschädigung von Farbstoffen und Pigmenten: Von der Messung zur Prognose

Christian Weickhardt (HTWK Leipzig) - christian.weickhardt@htwk-leipzig.de

Durch den Einfluss von Licht können Farbstoffe und Pigmente in Ausstellungsstücken durch photochemische Reaktionen irreversibel geschädigt werden. Andererseits sind gute Lichtverhältnisse unabdingbar, um Exponate gut zur Geltung zu bringen. Daher erfordert die Konzeption des Beleuchtungsszenarios einer Ausstellung sensibler Objekte stets einen Kompromiss zwischen optisch ansprechender Präsentation und Minimierung des Schädigungspotentials der Lichtquellen.

Um derartige Abwägungen für den Bereich mittelalterlicher Buchmalerei auf eine verlässliche Datenbasis zu stellen, wurde das Schädigungsverhalten einer Vielzahl von historischen Farbstoffen und Pigmenten bei Bestrahlung mit unterschiedlichen Lichtquellen untersucht. Basierend auf den Daten für schmalbandige LEDs wurde ein Verfahren entwickelt, um die Veränderungen des spektralen Reflexionsgrads eines Farbstoffs bei beliebiger spektraler Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer zu berechnen und daraus Farb- und Helligkeitsveränderungen zu prognostizieren. Mittels einer webbasierten Software können so beliebige Beleuchtungssituationen hinsichtlich ihrer möglichen Gefährdungen bewertet und neuartige Leuchtmittel schnell auf ihre Eignung untersucht werden.

