

Lux junior 2026

18. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs 26. bis 28.06.2026 Dörfeld/Ilm

Abstracts



Deutsche Gesellschaft für
LichtTechnik+LichtGestaltung

th
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Lux junior 2026

Abstracts

18. Forum für den lichttechnischen Nachwuchs

26. bis 28. Juni 2026

Dörfeld bei Ilmenau

Veranstalter:

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik

und

LiTG e. V.

Deutsche Gesellschaft für LichtTechnik und LichtGestaltung
Bezirksgruppe Thüringen-Nordhessen

PF 10 05 65, D-98684 Ilmenau
Tel.: (03677) 69-3732, Mail: lichttechnik@tu-ilmenau.de

11:30 Mittagessen (Lunch)

Dörnfeld

13:00 Eröffnung (Opening)

OEC 5007

13:15 Meike Barfuß (FH Südwestfalen, Hagen)

Die LED: Was man einer LED Gutes tun muss

The LED: How to Take Good Care of an LED

13:45 Benedikt Lamontain (HS Magdeburg-Stendal)

Die Optik: Vom Chip zum Lichtkegel

The Optics: From Chips to Light Beam

14:15 Pause (Break)

14:30 Udo Krüger, Christian Schwanengel (TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau)

Die Messung: Lichtverteilungen richtig messen

The Measurement: Measuring Light Distribution Correctly

15:00 Udo Krüger, Christian Schwanengel (TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau)

Live Demo: Jetzt wird gemessen

Live Demo: Now We're Measuring

16:00 Straßenfest Werner-von-Siemens-Straße

Tobias Kaufmann, Harm Weyberg, Johannes Ledig (TU Braunschweig)

S. 10 **Simulation, Messung und Auswertung einer realen Beleuchtungssituation eines Seminarraumes der TU Braunschweig**

Simulation, Measurement and Analysis of the Actual Lighting Conditions in a Seminar Room at the Technical University of Braunschweig

Alexander Klarius (L-LAB, Lippstadt)

S. 12 **Lichtformung im Nahfeld von Lichtquellen mit Mikro- und Nanooptiken**

Light Forming in the Near Field of Light Sources with Micro and Nano Optics

Dominik Metzner (L-LAB, Lippstadt)

S. 14 **Erstellen von Freiformlinsen durch Lösen der Poisson-Gleichung mittels modifiziertem Gauß-Seidel-Algorithmus**

Generating Freeform Optics solving Poissons Equation using a Modified Gauss-Seidel Algorithm

Alina Waldmann¹, Aniella Johannsen¹, Tibor Petzoldt², Christoph Schulze²
(¹L-LAB, Lippstadt; ²TU Dresden)

S. 16 **Nachhaltige adaptive Lichtverteilungen für urbane Verkehrsumgebungen**

Sustainable adaptive vehicle headlight distributions for urban traffic environments

07:30 Frühstück (Breakfast)

08:00 Begrüßung & Vorstellung der Poster (Welcome & Presentation of the Posters)

08:20 Kai Broszio (BAuA, Dortmund) Schulungsvortrag (Lecture)

**Lichtexposition als gestaltbarer Umweltfaktor im Arbeitsschutz:
Nichtvisuelle Lichtwirkungen im Arbeitskontext**

Light Exposure as a Modifiable Environmental Factor in Occupational Safety:
Non-Visual Effects of Light in the Workplace

09:00 Paul Seebacher (Seebacher GmbH, Waakirchen)

S. 18 Praxisbeispiel circadiane LED-Beleuchtung im Gebäude

Practical example of circadian LED lighting in a building

09:20 Maatje Hilmer, Johannes Ledig, Till Schwarznecker (PTB, Braunschweig)

S. 20 Charakterisierung von Photometern für Beleuchtungsstärke

Characterization of photometers for illuminance measurement

09:40 Oliver Maak, Christoph Schierz, Stefan Wolf, Cornelia Vandahl (TU Ilmenau)

**S. 22 Versuchsaufbau zur Bestimmung von Kontrastschwellenerhöhungen nach
Blendimpulsen**

Experimental setup for determining increases in contrast sensitivity following
glare pulses

10:00 Kaffeepause (Coffee Break)

10:20 Niklas Mertens, Julian Klages, Babak Zandi, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)

S. 24 Entwicklung eines zeitabhängigen Pupillenmodells

Development of a time-dependent pupil model

10:40 Friedemann Altenhöner, Korbinian Kunst, Tom Weidemann, Tran Quoc Khanh
(TU Darmstadt)

S. 26 Energieeinsparpotenziale durch adaptive Lichtfunktionen im Kfz-Bereich

Energy Saving Potentials through Adaptive Lighting Functions in the
Automotive Sector

11:00 Finn Völkel, Marius Sillmann, Melanie Helmer (Mercedes-Benz AG, Sindelfingen)

**S. 28 Entwicklung eines kühlungsoptimierten LED-Moduls einer
Kühlergrillumrissbeleuchtung**

Development of a Thermally Optimized LED Module for
Radiator Grill Contour Lighting

- 11:20** Bjarne Grunenberg (Mercedes-Benz AG, Sindelfingen)
S. 30 Optimierung des elektrischen Designs von Ambientebeleuchtungssystemen für verbesserte Nachhaltigkeit

Optimization of the Electrical Design of Ambient Lighting Systems for Enhanced Sustainability

- 11:40** Melanie Helmer (Mercedes-Benz AG, Sindelfingen)
S. 32 Innenraumbeleuchtung in Kraftfahrzeugen: Rechtliche Einordnung, sicherheitsrelevante Bewertungsmaßstäbe und Konsequenzen für die Funktionsentwicklung

Interior lighting in motor vehicles: Legal Classification, Safety-Relevant Assessment Criteria and Implications for Function Development

12:00 Mittagspause (Lunch Break)

- 13:00** Bastian Ernst (FH Südwestfalen, Hagen)
S. 34 SmartScene: Akzentbeleuchtung beliebiger sprachlich definierter Objekte durch KI-gestützte semantische Szenenanalyse

SmartScene: Accent lighting of arbitrary linguistically defined objects via AI-supported semantic scene analysis

- 13:20** Konstantin Ladner, Robert Maass, Thorsten Gerloff (PTB, Braunschweig)
S. 36 MultiSpeX: Synchrone Ansteuerung eines Goniophotometers mit 14 Achsen und 19 Empfängern unter LabVIEW

MultiSpeX: Synchronous control of a goniophotometer with 14 axes and 19 detectors under LabVIEW

- 13:40** Emily Böttner^{1,2}, Johannes Ledig², Carolin Liedtke¹
 (¹HAW Hamburg; ²PTB, Braunschweig)
S. 38 Nutzbarkeit einfacher Multispektralsensoren zur Messung von künstlichem nächtlichem Licht am Beispiel des Opplé Light Master IV

Practical Use of Simple Multispectral Sensors for Measuring Artificial Light at Night Using the Example of the Opplé Light Master IV

- 14:00** Nathalie Müller, Mirko Waldner, Torsten Bertram (TU Dortmund)
S. 40 Einfluss von Umgebungsmerkmalen in Kombination mit Scheinwerferlichtverteilungen auf die Erkennungsleistung von Fußgängern bei Nacht

Influence of Scene Characteristics in Combination with Headlamp Light Distributions on Nighttime Pedestrian Detection Performance

14:20 Kaffeepause (Coffee Break)

14:40 Frithjof Hansen, Stephan Völker (TU Berlin)

**S. 42 Entwicklung des mobilen Messsystems „Street Light Scanner“:
Echtzeit-Kompensation geometrischer Fehler durch verteilte Sensorfusion**

Development of the Mobile Measurement System "Street Light Scanner":
Real-time Compensation of Geometric Errors via Distributed Sensor Fusion

15:00 Malte Bruns¹, Haydee Badermann², Johannes Ledig², Carolin Liedtke¹
(¹HAW Hamburg; ²PTB, Braunschweig)

S. 44 Zeitliche Farbmodulation von dekorativen RGBW-Effekt-Bühnenleuchten

Temporal colour modulation of decorative RGBW LED-stage lights

15:20 Haydee Badermann, Johannes Ledig (PTB, Braunschweig)

**S. 46 Messtechnische Grenzen bei der Charakterisierung der Lichtmodulation
hochfrequent PWM-gesteuerter LED-Systeme**

Measurement Limitations in Characterization of Light Modulation in
High-Frequency PWM-Driven LED Systems

15:40 Kaffeepause (Coffee Break)

16:00 Johannes Ledig, Haydee Badermann, Malte Bruns (PTB, Braunschweig)

Workshop: Zeitliche Lichtmodulation

Workshop: Temporal Light Modulation

18:00 Abendessen (Dinner)

**19:30 Treffen des LiTG-Promovierendennetzwerkes
(Meeting of the LiTG PhD Student Network)**

07:30 Frühstück (Breakfast)**08:00 Begrüßung (Welcome)****08:10** Lukas Liegener (TU Berlin)**S. 48 IMoR: Beleuchtungsstärkebasiertes Mapping von Straßen**

IMoR: Illuminance Mapping of Roads

08:30 Moritz Dölle (TU Berlin)**S. 52 Untersuchung der Eignung von Fisheye-Action-Cams zur Messung von orts aufgelösten ähnlichsten Farbtemperaturen des klaren Himmels**

Investigation of the Suitability of Fisheye Action Cameras for Measuring Spatially Resolved Correlated Color Temperature of the Clear Sky

08:50 Stella Engemann (städt. Tiefbauamt, Bochum)**S. 54 Licht & Lebensqualität in Bochumer Wohngebieten: Eine Untersuchung zur Bürgerwahrnehmung von Farbtemperaturen**Light and Quality of Life in Bochum's Residential Areas:
An Investigation of Citizens' Perception of Color Temperatures**09:10** Yannic Nießen (TU Berlin)**S. 56 In-situ Bestimmung der Reflexionseigenschaften von Straßendeckschichten mittels mobiler Messtechnik**In-situ Measurement of the Reflection Properties of Road Surface Layers
Using Mobile Measurement Technology**09:30** Hannes Hoppen (HS Magdeburg-Stendal)**S. 58 Virtuelle Bewertung adaptiver Abblendlichtverteilungen: Multipixel-LEDs für verbesserte Verkehrssicherheit und Komfort**Virtual Evaluation of Adaptive Passing Beam Distributions:
Multipixel LEDs for Improved Traffic Safety and Comfort**09:50** Mike Bartscher (HAW Hamburg)**S. 60 Validierungsmethodik bei der Lichtberechnung mit physik-basierten Renderern**

Validation for Accurate Lighting Calculation Using Physically Based Rendering

10:10 Kaffeepause (Coffee Break)

10:40 Adrian Zwenger, Brandon Fobugwe, Julian Klabes, Paul Myland, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)

S. 62 **Strategien zur Feedback-gesteuerten Mehrkanal-LED-Regelung**
Strategies for Closed-Loop Multichannel LED Control

11:00 Taras Yuzkiv, Adrian Zwenger, Felix Wirth, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)

S. 64 **Einfluss dynamischer spektraler Leistungsverteilungen auf die Lagerstabilität lichtsensibler Güter und deren technische Realisierung in personensicheren Umgebungen**
Influence of Dynamic Spectral Power Distributions on the Storage Stability of Light-Sensitive Goods and their Technical Implementation in Person Safe Environments

11:20 Jonas Bix, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)

S. 66 **Grundsätze der Symbolgestaltung und Helligkeitskonfiguration für Anzeige- und Signaleinheiten im Bereich der AV-Kommunikation**
Principles of symbol design and brightness configuration for display and signaling units in the context of AV-communication

11:40 Dominik Metzner (L-LAB, Lippstadt)

S. 68 **Näherung von inkohärenten und teilweise kohärenten Lichtquellen in Finite-Difference Time-Domain Simulationen**
Approximation of Incoherent and Partially Coherent Light Sources in Finite-Difference Time-Domain Simulations

12:00 Carolin Liedtke, Roland Greule, Anna Carena Mosler (HAW Hamburg)

S. 70 **VR-basierte Visualisierung von Lichtsituationen im Außenraum für Forschung und Beteiligungsprozesse am Beispiel des Tools PARTICLE**
VR-based outdoor lighting visualisation for research and participatory processes as implemented in the PARTICLE tool

12:20 Verabschiedung und Mittagessen (Closure and Lunch)

Simulation, Messung und Auswertung einer realen Beleuchtungssituation eines Seminarraumes der TU Braunschweig

Tobias Kaufmann, Harm Weyberg, Johannes Ledig
Technische Universität Braunschweig, Braunschweig
tobias.kaufmann@tu-braunschweig.de

Innerhalb des veranstaltungsbegleitenden Laborpraktikums „Raumbeleuchtung“ der Vorlesung Lichttechnik an der TU Braunschweig, werden theoretische Kenntnisse aus dieser Vorlesung in der Praxis zur Erfassung realer Beleuchtungssituationen angewendet. Hierbei führen die Studierende fachgerechte Messungen, Dokumentation und Auswertungen nach Vorgaben der DIN 5035-6 aus. Für die Ausführung werden geeignete Räumlichkeiten der TU Braunschweig ausgesucht unter Kenntnis der Leuchtdaten des Beleuchtungssystems. Unter Betrachtung der Vorgaben der DIN EN 12464-1 wird der betrachtete Raum charakterisiert sowie hinsichtlich der Tätigkeit/Sehaufgabe und anhand der ausgewerteten Daten fachlich bewertet.

Zur Analyse der Beleuchtungssituation werden zu Beginn die Raumeigenschaften wie die Raumgeometrie, Oberflächenmaterialien sowie Farben und Reflexionsgrad von Wänden und Gegenstände erfasst. Anschließend wird anhand dieser Dokumentation eine Modellierung und Simulation in der Software DIALux evo 13.1 entwickelt. Danach wird eine fachgerechte Messung mithilfe eines Photometers unter Vorgaben der DIN 5035-6 ausgeführt. Diese Messungen wird mit der Simulation sowie der unter Anwendung des Punktbeleuchtungs- und Wirkungsgradverfahrens verglichen. Zum Abschluss werden Ergebnisse als Form eines Posters präsentiert.

In diesem Tagungsbeitrag werden die in den Kleingruppen erzielten Resultate für den fensterlosen PC-Poolraum HS 65.1 im Gebäude des Gauß-IT-Zentrums der TU Braunschweig vorgestellt. Der Raum beinhaltet 24 LED-Deckeneinbauleuchten mit transluzenter Abdeckscheibe des Modells SIELLA G6 M84 PW19 LED36-840 ET vom Hersteller Trilux. Neben der Beleuchtungsstärkeverteilung werden auch die Gleichmäßigkeit, ein detailgetreues Rendering und Raytracing sowie der Raumwirkungsgrad η_R und der Direktanteil betrachtet.



Abbildung 1: Übersicht der Tätigkeiten des Laborpraktikums

Simulation, measurement, and analysis of the actual lighting conditions in a seminar room at the Technical University of Braunschweig

Tobias Kaufmann, Harm Weyberg, Johannes Ledig
Technische Universität Braunschweig, Braunschweig
tobias.kaufmann@tu-braunschweig.de

As part of the “Room Lighting” laboratory practicum accompanying the Lighting Technology lecture at the Technical University of Braunschweig, theoretical knowledge gained from the lecture is applied in practice to assess real-world lighting situations. In this context, students perform professional measurements, documentation, and evaluations in accordance with the requirements of DIN 5035-6. Suitable rooms at the Technical University of Braunschweig are selected for the practical work, taking into account the lighting data of the lighting system. In accordance with the requirements of DIN EN 12464-1, the room in question is characterized and professionally evaluated with regard to the activity/visual task and based on the analyzed data.

To analyze the lighting situation, room characteristics such as room geometry, surface materials, and the colors and reflectance of walls and objects are recorded at the outset. Subsequently, based on this documentation, a model and simulation are developed in the DIALux evo 13.1 software. Following this, a professional measurement is performed using a photometer in accordance with the requirements of DIN 5035-6. These measurements are compared with the simulation as well as with results obtained using the point-source lighting and efficiency method. Finally, the results are presented in the form of a poster.

This conference paper presents the results obtained in small groups for the windowless computer lab HS 65.1 in the building of the Gauss IT Center at the Technical University of Braunschweig. The room contains 24 LED recessed ceiling lights with translucent covers, model SIELLA G6 M84 PW19 LED36-840 ET, manufactured by Trilux. In addition to illuminance distribution, the study also examines uniformity, accurate rendering and ray tracing, as well as the room efficiency η_R and the direct component.

Lichtformung im Nahfeld von Lichtquellen mit Mikro- und Nanooptiken

Alexander Klarius

L-Lab, Lippstadt

alexander.klarius@forvia.com

Effiziente lichttechnische Systeme erfordern, dass möglichst viel Licht einer Lichtquelle aufgenommen werden kann, um es für die Anwendung nutzbar zu machen. Basiert das System auf klassischen optischen Elementen, wie Linsen oder Reflektoren, wird der Lichtkegel, den es akzeptiert, durch die Größe einer physischen Apertur bestimmt. In Verbindung mit der annähernd lambertschen Abstrahlcharakteristik, der heute vielfach eingesetzten LED-Leuchtmittel folgt, dass in vielen Anwendungen, ein erheblicher Anteil des erzeugten Lichts ungenutzt bleibt. Das emittierte Licht zu kollimieren und somit mehr Licht in den Akzeptanzwinkel des optischen Systems zu bringen ist mit klassischen optischen Elementen möglich, jedoch wird die Kollimierbarkeit der Emission einer ausgedehnten Lichtquelle durch die Erhaltungsgröße Etendue bestimmt, welche im Zusammenhang mit dem Durchmesser der Apertur des Systems steht. In der design- und kostengetriebenen Automobilbranche steht der Wunsch nach stets kleineren und leichteren Systemen im Widerspruch dazu.

Das Ziel der Promotionsarbeit ist es, Konzepte zu untersuchen, für die die Beschränkungen der klassischen Optik nicht gelten und die eine Formung der Emission einer ausgedehnten Lichtquelle ermöglichen. In diesem Beitrag werden zwei dieser Konzepte vorgestellt.

Das erste basiert auf dem Prinzip des Photon Recycling in Kombination mit winkel-filternden optischen Elementen. Dabei wird Licht, welches von der Lichtquelle in unerwünschte Winkelbereiche abstrahlt, zurück zur konvertierenden Schicht gelenkt, um dort einen Remission-Prozess anzuregen.

Ein zweites Konzept verwendet ein Array optischer Nanoantennen auf der Konverterschicht der LED. Die Phasenbeziehung des durch die Antennen gestreuten Lichts erlaubt eine strukturierte Emission, bei der die Ausbreitungsrichtung durch die Wahl der Antennenparameter eingestellt werden kann. Zusätzlich können die Nanoantennen die Emissionsrate der Lichtquelle, durch den Purcell Effekt, positiv beeinflussen.

Light forming in the near field of light sources with micro and nano optics

Alexander Klarius

L-LAB, Lippstadt

alexander.klarius@forvia.com

Efficient photometric systems require capturing as much light as possible from a light source in order to make it usable for the intended application. In systems based on classical optical elements such as lenses or reflectors, the light cone they can accept is determined by the size of a physical aperture. Combined with the Lambertian emission characteristic of the LED as typical modern light sources, this means that in many applications a significant portion of the generated light remains unused. Collimating the emitted light to bring more of it into the acceptance angle of the optical system is possible with classical optical components, however, the ability of collimating the emission from an extended light source is fundamentally limited by the conserved quantity etendue, which is linked to the aperture diameter of the system. In the design and cost-driven automotive sector, the desire for ever smaller and lighter systems conflicts with these constraints.

The goal of this dissertation is to investigate concepts that enable shaping the emission of an extended light source without being subject to the limitations of classical optics. This contribution presents two such concepts.

The first concept is based on the principle of photon recycling in combination with angle-filtering optical elements. Light emitted by the source into undesired angular regions is redirected back to the converter layer to initiate a re-emission process.

A second concept uses an array of optical nanoantennas placed on the LED's converter layer. The phase relationship of the light scattered by these antennas enables a structured emission pattern in which the propagation direction can be controlled by selecting appropriate antenna parameters. Additionally, the nanoantennas can positively influence the light source's emission rate through the Purcell effect.

Erstellen von Freiformlinsen durch Lösen der Poisson-Gleichung mittels modifiziertem Gauß-Seidel-Algorithmus

Dominik Metzner

L-LAB, Lippstadt

dominik.metzner@forvia.com

Gerade in der modernen Lichtindustrie ist es ein Anliegen die Lichtmodulation immer effizienter zu gestalten. Das heißt, dass auf einem möglichst ökonomischen Weg eine hohe Lichtausbeute bei weniger Eingangsenergie generiert werden soll. Gerade auf komplexe Abbildungen mit kontrastarmen Lichtverhältnissen innerhalb der Abbildung bietet die Poisson-Gleichung eine numerische Lösung für Freiformlinsenprofile, die das Licht in eine gewünschte Form verteilen ohne dabei mit Belnden arbeiten zu müssen. Der folgende Artikel stellt eine Lösung der Poisson-Gleichung unter Nutzung eines modifizierten Gauß-Seidel Algorithmus vor. Innerhalb dieses Algorithmus wird iterativ die Ausgangsstrahlenrichtung des jeweilige Flächenelement berechnet um so das optimale Zielbild zu generieren. Hierbei äußert sich die Modifizierung des Algorithmus darin, dass ein Alpha-Faktor hinzugefügt wird, der, sofern er größer eins gewählt wird für eine Over-Relaxation sorgt und somit bei geringerer Genauigkeit schneller konvergiert und für kleiner eins für eine Under-Relaxation sorgt, langsamer konvergiert dafür aber eine höhere Genauigkeit in der Berechnung aufweist. Das erstellte Linsenprofil liegt zunächst digital vor und wird mittels Ray Tracing auf seine Abbildungsqualität untersucht. Zur Experimentellen Bestätigung des Ergebnisses wird das Linsenprofil gefertigt.

Generating Freeform Optics solving Poissons Equation using a Modified Gauss-Seidel Algorithm

Dominik Metzner

L-LAB, Lippstadt

dominik.metzner@forvia.com

In the modern lighting industry, there is a strong demand for increasingly efficient methods of light modulation. In particular, the objective is to achieve high optical efficiency while minimizing the required input energy through economically viable approaches. Especially for complex target irradiance distributions with low-contrast intensity variations, the Poisson equation provides a numerical framework for designing freeform lens profiles that redistribute light into a desired intensity pattern without the need for additional apertures or masking elements. This article presents a solution of the Poisson equation based on a modified Gauss–Seidel algorithm. Within this iterative framework, the output ray direction associated with each surface element is successively computed in order to generate the desired target illumination distribution. The modification of the algorithm consists of introducing an additional relaxation parameter, denoted as an alpha factor. When chosen greater than one, this parameter enables over-relaxation, leading to faster convergence at the expense of reduced numerical precision. Conversely, values smaller than one result in under-relaxation, which improves numerical accuracy while slowing the convergence rate. The resulting lens profile is initially generated in digital form and evaluated with respect to its imaging performance using ray-tracing simulations. For experimental validation of the results, the designed lens profile is subsequently fabricated.

Nachhaltige und adaptive Lichtverteilungen für urbane Verkehrsumgebungen

Alina Waldmann¹, Aniella Johannsen¹, Tibor Petzoldt², Christoph Schulze²

¹L-LAB, Lippstadt

²TU Dresden

alina.waldmann@forvia.com

Städtische Räume sind hochdynamische Verkehrsumgebungen, die durch vielfältige Straßenführungen, Gebäudetypen, Verkehrsteilnehmende und Straßenbeleuchtungs-installationen gekennzeichnet sind. Insbesondere nachts trägt jedes dieser Elemente zur Gesamtbeleuchtung der Szene bei und erhöht dadurch sowohl die Lichtverschmutzung als auch die CO₂-Emissionen. Im Falle von Fahrzeugscheinwerfern entstehen rund 65 % ihres ökologischen Fußabdrucks in der Nutzungsphase, wobei allein das Abblendlicht etwa ein Drittel davon ausmacht. Gleichzeitig führt eine höhere Lichtmenge nicht zwangsläufig zu einer verbesserten Sichtbarkeit von Verkehrsteilnehmenden oder Hindernissen. Daraus ergibt sich ein erhebliches Potenzial für Fahrzeugscheinwerfer, ihre Umweltwirkung zu reduzieren und gleichzeitig die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden aufrechtzuerhalten.

Aktuelle Bewertungsmethoden für Scheinwerferlichtverteilungen basieren überwiegend auf statischen oder stark vereinfachten Szenarien. Solche Ansätze erfassen jedoch nur einen kleinen Ausschnitt der Situationen, die in realen urbanen Verkehrsumgebungen auftreten. Dynamische Untersuchungen werden zumeist anhand subjektiver Einschätzungen durchgeführt, die häufig nicht mit objektiven Sicherheitsstandards übereinstimmen. Infolgedessen sind dynamisch anwendbare und kontextsensitive Bewertungskriterien bislang nur unzureichend erforscht.

Ziel dieser Arbeit ist es, Aspekte der Umweltwirkung von Fahrzeugscheinwerfern mit der Entwicklung dynamischer Bewertungskriterien zu verknüpfen, indem perzeptive, Verhaltens- und physiologische Messgrößen kombiniert werden. Im ersten Schritt wird dynamisch untersucht, ob Fahrverhalten, Blickverhalten und Herzfrequenz durch die Helligkeit von Fahrzeugscheinwerfern beeinflusst werden können. Im zweiten Schritt werden neuartige Scheinwerferlichtverteilungen entwickelt, die auf eine Optimierung der Objektsichtbarkeit abzielen. Dabei werden unterschiedliche Beleuchtungssituationen, einschließlich der Auswirkungen von Gegenverkehr, betrachtet und die Hypothese einer gemeinsamen Lichtnutzung untersucht. Abschließend werden die Messkriterien aus der ersten Studie mit den neu entwickelten Lichtverteilungen kombiniert und unter dynamischen Bedingungen evaluiert. Insgesamt besteht das Ziel darin, den nächtlichen Energieeinsatz von Fahrzeugscheinwerfersystemen zu optimieren, ohne die Objektsichtbarkeit oder das Fahrverhalten der Fahrenden zu beeinträchtigen.

Sustainable adaptive vehicle headlight distributions for urban traffic environments

Alina Waldmann¹, Aniella Johannsen¹, Tibor Petzoldt², Christoph Schulze²

¹L-LAB, Lippstadt

²TU Dresden

alina.waldmann@forvia.com

Urban areas are highly dynamic traffic environments characterized by diverse street layouts, building types, traffic participants, and streetlighting installations. Especially at night, each of these elements contributes to the overall illumination of the scene, in this way increasing both light pollution and carbon emissions. In the case of vehicle headlights, approximately 65% of a headlamp's environmental footprint arises during its use phase, with the low-beam function alone accounting for about one third. At the same time, increased light output does not necessarily improve the visibility of traffic participants or obstacles. Consequently, vehicle headlights offer significant potential for reducing environmental impact while maintaining safety for all road users.

Current evaluation methods for vehicle headlight distributions are predominantly based on static or highly simplified scenarios. Such approaches capture only a limited subset of situations encountered in real urban environments. Dynamic studies are mostly conducted using subjective assessments, which often do not align with objective safety standards. As a result, dynamically applicable and context-sensitive evaluation criteria remain insufficiently explored.

This thesis aims to combine considerations of the environmental impact of vehicle headlights with the development of dynamic evaluation criteria, using a combination of perceptual, behavioral, and physiological measures. First, the thesis dynamically investigates whether driving behavior, gaze behavior, and heart rate can be influenced by variations in headlight brightness. In the second step, novel headlight distributions are designed by optimizing object visibility. Different lighting conditions, including the effects of oncoming traffic, are examined, exploring the hypothesis of shared light usage. Finally, the measurement criteria from the first study are combined with the newly developed light distributions and evaluated under dynamic conditions. Overall, the objective is to optimize nighttime energy consumption in vehicle headlight distributions without compromising object visibility or driving behavior.

Praxisbeispiel circadiane LED-Beleuchtung im Gebäude

Paul Seebacher

Seebacher GmbH, Waakirchen

p.seebacher@seebacher.de

Der Vortrag zeigt die systematische Umsetzung einer circadianen LED-Beleuchtung im Gebäude anhand realisierter Projekte. Die lichttechnische Auslegung und die Auswahl geeigneter Leuchten gelten als gegeben und werden nicht im Detail behandelt.

Im Mittelpunkt steht die Überführung der Bauherrenanforderungen in eine belastbare Systemarchitektur. Dazu zählen Vorgaben zur biologisch wirksamen Lichtführung (Human Centric Lighting), zur Nachbildung natürlicher Tageslichtverläufe sowie architektonische und szenografische Anforderungen.

Auf Basis des hauseigenen ISYGLT-Systems werden verschiedene Realisierungsansätze hinsichtlich Protokoll- und Geräteauswahl (DALI DT6/DT8, 1–10 V, DMX, ISYGLT und projektspezifische Lösungen), Topologie und Integrationsstrategie analysiert – insbesondere der Vergleich zwischen Leuchten mit integrierten Treibern und externen, abgesetzten Betriebsgeräten.

Dabei stehen funktionale Unterschiede, wie z.B. absolut PWM-freie LED-Dimmer, Integrationsaufwand, Skalierbarkeit und Interoperabilität im Fokus.

Ergänzend erfolgt ein Vergleich unterschiedlicher Bedien- und Automatisierungskonzepte – von vollständig automatisierten, zeit- und sensorbasierten Regelstrategien bis hin zu manuellen Eingriffsmöglichkeiten über Taster oder Visualisierungssysteme.

Abschließend rückt der Betrieb in den Blick: Monitoring, Protokollierung und Fehlerdiagnose sowie – im Sinne der Nachhaltigkeit – die langfristige Funktionsfähigkeit, Wartbarkeit und die Update- bzw. Erweiterungsfähigkeit der Steuerungsinfrastruktur.

Practical example of circadian LED lighting in a building

Paul Seebacher

Seebacher GmbH, Waakirchen

p.seebacher@seebacher.de

The presentation demonstrates the systematic implementation of circadian LED lighting in buildings, using realized projects as examples. The lighting design and selection of suitable luminaires are assumed to be established and will not be discussed in detail.

The focus is on translating the building owner's requirements into a robust system architecture. This includes specifications for biologically effective lighting (Human Centric Lighting), the replication of natural daylight patterns, as well as architectural and scenographic requirements.

Based on the in-house ISYGLT system, various implementation approaches are analyzed with regard to protocol and device selection (DALI DT6/DT8, 1–10 V, DMX, ISYGLT, and project-specific solutions), topology, and integration strategy—in particular, the comparison between luminaires with integrated drivers and external, remote control gear.

The focus is on functional differences, such as absolutely PWM-free LED dimmers, integration effort, scalability, and interoperability.

In addition, a comparison of different control and automation concepts is conducted—ranging from fully automated, time- and sensor-based control strategies to manual intervention options via push buttons or visualization systems.

Finally, the focus shifts to operation: monitoring, logging, and fault diagnosis, as well as—in the interest of sustainability—the long-term functionality, maintainability, and the ability to update or expand the control infrastructure.

Charakterisierung von Photometern für Beleuchtungsstärke

Maatje Hilmer, Johannes Ledig, Till Schwarznecker

PTB, Braunschweig

maatje.hilmer@ptb.de

Photometerköpfe zur Messung der Beleuchtungsstärken sind meist aus einer Silizium-Photodiode und einem davorliegendem Filterglas aufgebaut. Das Filter ist so dimensioniert, dass die Kombination aus Filter und Diode der spektralen Empfindlichkeit des Normbeobachters für ein 2° Gesichtsfeld entspricht. Bei einer Umgebungsleuchtdichte $> 5 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ wird diese spektrale Hellempfindlichkeit durch die $V(\lambda)$ -Funktion beschrieben und als photopisches Sehen bezeichnet. Bei geringeren Umgebungsleuchtdichten verändert sich die spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges. Bei Leuchtdichten $< 0,005 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ befindet sich das Auge im vollständig dunkeladaptierten Bereich. Die spektrale Hellempfindlichkeit wird in diesem Bereich durch die $V'(\lambda)$ -Funktion beschrieben und als skotopisches Sehen bezeichnet. Mit Photometerköpfen, die eine Anpassung an die skotopische spektrale Hellempfindlichkeit des Auges aufweisen, können mit integralen Messungen direkt skotopische Beleuchtungsstärken gemessen werden. Die Kalibrierung der skotopischen Beleuchtungsstärkeempfindlichkeit von Photometern wird auf Bezugsnormale rückgeführt, die auch für die photopische Lichtstärke I_v verwendet werden.

Abweichungen der spektralen Empfindlichkeit von Photometerköpfen gegenüber dem Normbeobachter können als Messunsicherheitsbeitrag oder durch unsicherheitsbehaftete Korrekturfaktoren für eine Messung, bspw. von Licht verschiedener Verteilungstemperaturen eines Planck-ähnlichen Strahlers oder für verschiedene Spektren anderer Typen von Lichtquellen (z.B. weiße LEDs), korrigiert werden. Des Weiteren muss bei photometrischen Messungen auch die wirksame Referenzebene und die Alterung der photometrischen Empfindlichkeit des Photometerkopfes berücksichtigt werden.

In diesem Vortrag werden Kalibrierverfahren für Photometerköpfe mit photopischer und skotopischer spektralen Empfindlichkeit vorgestellt. Insbesondere werden Methoden für eine Rückführung integraler Messungen der skotopischen Beleuchtungsstärke auf photopische Lichtstärkenormallampen erläutert. Es wird gezeigt, wie Korrekturen für Abweichungen der spektralen Empfindlichkeit der Photometer gegenüber entsprechenden Normkurven berechnet werden. Es werden vereinfachte Modelle für Fehlanpassungskorrekturen bei Glühlampen und deren Grenzen aufgezeigt. Die Alterung der photometrischen Empfindlichkeit verschiedener Photometerköpfe wird exemplarisch gezeigt, um die Alterung unbekannter Photometerköpfe sinnvoll abschätzen zu können.

Characterization of photometers for illuminance measurement

Maatje Hilmer, Johannes Ledig, Till Schwarznecker

PTB, Braunschweig

maatje.hilmer@ptb.de

Photometer heads for the measurement of illuminance usually consist of a silicon photodiode and a filter glass in front. The filter is built in a way, that the spectral responsivity of the combination made of the filter and the diode is fitted to the spectral responsivity of a standard observer with a 2° field of vision. For an ambient luminance $> 5 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ the spectral responsivity, called photopic vision, is described by the $V(\lambda)$ -function. For lower ambient luminances the spectral responsivity of the human eye changes and for an ambient luminance $< 0,005 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$ the spectral responsivity of the standard observer is given by the $V'(\lambda)$ -function and is called scotopic vision. With photometer heads with a spectral responsivity fitted to the scotopic spectral luminous efficiency of the human eye, scotopic illuminances can be directly determined by an integral measurement. The calibration of the scotopic responsivity of photometer heads is traceable to reference standards that are used for the photopic luminous intensity I_v .

For the measurement of e.g. light of different distribution temperatures of a light source with a spectral distribution similar to a Planckian radiator, or for the measurement of light sources with different spectrums (e.g. white LEDs), deviations of the spectral responsivity of photometer heads from the standard observer can be corrected by a contribution to the measurement uncertainty or by using a spectral mismatch correction factor which itself has an uncertainty. Furthermore, the effective reference plane, and the aging of the photometric responsivity of the photometer head has to be taken into account.

In this presentation procedures for the calibration of photometer heads with a photopic or scotopic spectral responsivity will be presented. In particular methods for the traceability of integral measurements of the scotopic illuminance to a photopic luminous intensity reference measurement standard will be discussed. It will be shown, how correction factors for the deviations of the spectral responsivity of photometer heads from that of the standard observer can be calculated, and how to use a simplified model for the spectral mismatch correction and its limits for the measurement of incandescent lamps. The aging of the photometric responsivity of different photometer heads will be exemplarily shown in order to make reasonable estimates for the aging of unknown photometer heads.

Versuchsaufbau zur Bestimmung von Kontrastschwellenerhöhungen nach Blendimpulsen

Oliver Maak, Christoph Schierz, Stefan Wolf, Cornelia Vandahl

TU Ilmenau

oliver.maak@tu-ilmenau.de

Die Blendungsbewertung ist eine komplexe Aufgabenstellung und steht hängt stark vom jeweiligen Kontextes ab für den die Bewertung erstellt werden soll. Da für die Blendungsbewertung in Industriehallen weiterhin das UGR-Verfahren genutzt wird, dessen Grenzen unter anderem in der in der ZVEI-Schrift „Grenzen des UGR-Verfahrens“ beschrieben wurden, wird im Rahmen des Forschungsprojekts BEBLEIND wird eine neue Methode zur Blendungsbewertung für dieses Applikationsfeld entwickelt.

Um ein Modell aufstellen zu können, welches die Reduzierung der Sehleistung bewertet, müssen die Einflüsse der physiologische Blendung und die Effekte der Sukzessivblendung berücksichtigt werden. Während die physiologische Blendung gut erforscht und somit vorher-sagbar ist, müssen die Effekte der Sukzessivblendung für diesen Anwendungsbereich experimentell ermittelt werden.

Der Versuchsaufbau zur Bestimmung von Kontrastschwellenerhöhungen nach Blendimpulsen dient dazu die einzelnen Einflüsse lichttechnischer Parameter auf das Abklingverhalten der Nachbilder im Auge zu ermitteln. Die Probanden befinden sich in einer kontrollierten Umgebung, die dem Umfeld von Industriearbeitsplätzen entspricht. In diesem Versuchsraum kann ein Ausgangsniveau der Kontrastschwelle ermittelt werden und die relative Erhöhung durch gezielte Blendimpulse bestimmt werden. Aus diesen Messwerten kann eine Funktion über die zeitliche Abhängigkeit der Kontrastschwellenerhöhung ermittelt werden.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine Bestätigung der Annahme, dass mit dem hier beschriebenen Versuchsaufbau die Einflüsse einzelner lichttechnischen Parameter auf die Eigenschaften der Nachbilder im Auge beschrieben werden können.

Experimental setup for determining increases in contrast sensitivity following glare pulses

Oliver Maak, Christoph Schierz, Stefan Wolf, Cornelia Vandahl

TU Ilmenau

oliver.maak@tu-ilmenau.de

Glare assessment is a complex task and depends heavily on the specific context for which the assessment is being conducted. Since the UGR method continues to be used for glare assessment in industrial halls—whose limitations were described, among other things, in the ZVEI publication “Limits of the UGR Method”—the BEBLEIND research project is developing a new method for glare assessment for this application area.

In order to establish a model that evaluates the reduction in visual performance, the influences of physiological glare and the effects of successive glare must be taken into account. While physiological glare is well researched and thus predictable, the effects of successive glare for this application area must be determined experimentally.

The experimental setup for determining contrast threshold increases following glare pulses serves to identify the individual influences of lighting parameters on the decay behavior of afterimages in the eye. The subjects are placed in a controlled environment that corresponds to the setting of industrial workplaces. In this test chamber, an initial contrast threshold level can be determined, and the relative increase caused by targeted glare pulses can be measured. From these measurements, a function describing the temporal dependence of the contrast threshold increase can be derived.

The results to date confirm the assumption that the experimental setup described here can be used to characterize the effects of individual photometric parameters on the properties of afterimages in the eye.

Entwicklung eines zeitabhängigen Pupillenmodells

Niklas Mertens, Julian Klabes, Babak Zandi, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

mertens@lichttechnik.tu-darmstadt.de

In photometrischen Untersuchungen wird der Pupillendurchmesser üblicherweise als eine Funktion der photopischen Leuchtdichte modelliert. Damit spiegeln die auf Leuchtdichte basierenden Ansätze jedoch in erster Linie nur die Beiträge der L- und M-Zapfen und damit die phasische Pupillenlichtreaktion wider. Über längere Zeiträume betrachtet wird der Pupillendurchmesser jedoch maßgeblich von anderen Photorezeptorklassen beeinflusst, insbesondere den S-Zapfen, Stäbchen und intrinsisch photosensitiven retinale Ganglienzellen (ipRGCs). Die auf Leuchtdichte basierenden Modelle reichen demnach nicht aus, um das phasische Pupillenverhalten unter unterschiedlichen spektralen Situationen zu erfassen.

Mit diesem Beitrag wird ein Konzept für die Entwicklung eines zeitabhängigen Pupillenmodells mit adaptiver Rezeptorgewichtung vorgestellt. Im Mittelpunkt steht dabei die Ausarbeitung einer experimentellen Studie, zur Erfassung eines umfassenden Datensatzes des Pupillendurchmessers bei variierender Leuchtdichte und spektraler Verteilung der applizierten Beleuchtungsspektren. Der resultierende Datensatz dient der Entwicklung eines physics-informed neuronalen Netzwerkes zur Vorhersage der zeitlichen Entwicklung des Pupillendurchmessers unter unterschiedlichen spektralen Reizen. Durch die adaptive Gewichtung der Photorezeptorbeiträge stellt dieser Ansatz ein auf den biologischen Mechanismen des Auges basierendes zeitlich aufgelöstes Modell des menschlichen Pupillenlichtreflexes dar.

Development of a time-dependent pupil model

Niklas Mertens, Julian Klabes, Babak Zandi, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

mertens@lichttechnik.tu-darmstadt.de

In photometric studies, pupil diameter is typically modeled as a function of photopic luminance. However, luminance-based approaches primarily reflect only the contributions of L- and M-cones and thus the phasic pupillary light reflex. Over longer periods of time, however, pupil diameter is significantly influenced by other classes of photoreceptors, particularly S-cones, rods, and intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs). Luminance-based models are therefore insufficient to capture phasic pupil behavior under different spectral conditions.

This paper presents a concept for the development of a time-dependent pupil model with adaptive receptor weighting. The focus is on the design of an experimental study to collect a comprehensive dataset of pupil diameter under varying luminance and spectral distribution of the applied illumination spectra. The resulting dataset is used to develop a physics-informed neural network for predicting the temporal evolution of pupil diameter under different spectral stimuli. Through the adaptive weighting of photoreceptor contributions, this approach represents a temporally resolved model of the human pupillary light reflex based on the biological mechanisms of the eye.

Energieeinsparpotenziale durch adaptive Lichtfunktionen im Kfz-Bereich

Friedemann Altenhöner, Korbinian Kunst, Tom Weidemann, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

altenhoener@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Die Energieeffizienz moderner Personenkraftwagen stellt angesichts steigender regulatorischer und technologischer Anforderungen eine zentrale Herausforderung dar. Während bei konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor die Reduktion der CO₂-Emissionen im Fokus steht, ist bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen der Reichweitengewinn durch gesteigerte Effizienz von entscheidender Bedeutung.

Ziel dieses Vortrags ist die Evaluation des Energieeinsparpotenzials adaptiver Lichtfunktionen am Fahrzeug. Grundlage bilden aktuelle Forschungsergebnisse, die aufzeigen, dass die photometrische Strahlungsleistung und die damit verbundene elektrische Leistungsaufnahme in bestimmten Verkehrssituationen reduziert werden können, ohne die Verkehrssicherheit zu beeinträchtigen. Hieraus lässt sich ein bisher ungenutztes Einsparpotenzial ableiten. Zur Quantifizierung dieses Potenzials werden unter Berücksichtigung öffentlich verfügbarer Daten zur Häufigkeit bestimmter Verkehrssituationen folgende Szenarien analysiert:

- Einsparpotenziale im Stau
- Einsparpotenziale während der Hauptverkehrszeiten bei Dämmerung
- Einsparpotenziale im nächtlichen innerstädtischen Verkehr
- Einsparpotenziale im Stand
- Einsparpotenziale an Tagen mit reduziertem Tageslicht

In diesen Szenarien werden mögliche Leistungsreduktionen des Abblendlichts, des Tagfahrlichts sowie des Bremslichts betrachtet. Als technologische Basis werden, wie in modernen Fahrzeugen üblich, LED-Leuchtmittel mit über PWM-Steuerung veränderbarem Lichtstrom angenommen.

Zur Ermittlung des Gesamtpotenzials werden zunächst die möglichen Betriebsstunden mit reduzierter Leistungsaufnahme berechnet. Auf Basis dieser Betriebszeiten sowie beispielhafter photometrischer und elektrischer Leistungsdaten werden die möglichen Energieeinsparungen in GWh berechnet. Um die Einsparungen realistisch einzugrenzen, werden aus den vorliegenden Daten jeweils ein Best-Case- und ein Worst-Case-Szenario abgeleitet.

Energy Saving Potentials through Adaptive Lighting Functions in the Automotive Sector

Friedemann Altenhöner, Korbinian Kunst, Tom Weidemann, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

altenhoener@lichttechnik.tu-darmstadt.de

The energy efficiency of modern passenger cars represents a key challenge considering increasing regulatory and technological requirements. While the reduction of CO₂ emissions is the primary focus for conventional vehicles with internal combustion engines, extending driving range through improved efficiency is of decisive importance for electric vehicles.

The goal of this presentation is to evaluate the energy saving potential of adaptive lighting functions in vehicles. It is based on current research findings demonstrating that photometric radiant output and the associated electrical power consumption can be reduced in specific traffic situations without compromising road safety. To quantify this potential, publicly available data on the frequency of certain traffic situations are considered, and the following scenarios are analysed:

- Energy saving potentials in traffic jams
- Energy saving potentials during rush hours at dusk
- Energy saving potentials in nighttime urban traffic
- Energy savings during vehicle standstill
- Energy saving potentials on days with reduced daylight

Within these scenarios, possible power reductions of the low-beam headlamps, daytime running lights, and brake lights are examined. As a technological basis, consistent with modern vehicles, LED light sources with PWM-controlled adjustable luminous flux are assumed.

To determine the overall potential, the possible operating hours with reduced power consumption are first calculated. Based on these operating times and exemplary photometric and electrical performance data, the potential energy savings are calculated in GWh. To realistically bound the results, both best-case and worst-case scenarios are derived from the available data.

Entwicklung eines kühlungsoptimierten LED-Moduls einer Kühlergrillumrissbeleuchtung

Finn Völkel, Marius Sillmann, Melanie Helmer

Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

finn.f.voelkel@mercedes-benz.com

Mit der Integration von leuchtenden Designelementen im Fahrzeugexterieur eröffnen sich neue Gestaltungsmöglichkeiten die Wiedererkennung der Marke zu unterstützen. So akzentuiert Mercedes-Benz aktuell den Umriss des Kühler-grills mit einem Lichtleiter. Um ein visuell abgestimmtes Erscheinungsbild in Kombination mit den Scheinwerfern zu realisieren, ist eine ausreichend hohe Leuchtdichte des Lichtleiters erforderlich. Zur Annäherung der beider Leuchtdichten ist eine Konzeptoptimierung notwendig.

Da der vorhandene Lichtleiter unverändert bleiben muss, ist eine Erhöhung der elektrischen Leistung des LED-Moduls erforderlich, was zu einer deutlich erhöhten thermischen Belastung führen würde. Folglich ist die Bestromung des LED-Moduls durch die softwareseitige Ansteuerung u.a. in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur anzupassen. Weiterhin muss die Wärmeleitung des LED-Moduls konstruktiv erhöht werden. Hierzu werden zunächst die relevanten Randbedingungen analysiert. Mithilfe von Feldversuchen und einer Parameterstudie wird der Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur, LED-Temperatur und elektrischer Leistung untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für eine softwareseitige Selbstschutzfunktion bei extremen Temperaturbedingungen sowie für die konstruktive Weiterentwicklung des LED-Moduls.

Im Vortrag werden die Ergebnisse der durchgeführten Parameterstudie, die Implementierung der softwareseitigen Selbstschutzfunktion, verschiedener Konzeptansätze sowie Simulations- und Prototypenaufbau dargestellt. Abschließend wird eine Empfehlung für ein neues Serienkonzept abgeleitet.

Development of a Thermally Optimized LED Module for Radiator Grill Contour Lighting

Finn Völkel, Marius Sillmann, Melanie Helmer

Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

finn.f.voelkel@mercedes-benz.com

The integration of illuminated design elements into a vehicle's exterior opens up new design possibilities to enhance brand recognition. For example, Mercedes-Benz currently accentuates the outline of the radiator grille with a light guide. To achieve a visually harmonious appearance in combination with the headlights, the light guide must have a sufficiently high luminance. Concept optimization is necessary to align the two luminance levels.

Since the existing light guide must remain unchanged, increasing the electrical power of the LED module is required, which would lead to a significantly increased thermal load. Consequently, the power supply to the LED module must be adjusted via software control, among other factors, depending on the ambient temperature. Furthermore, the thermal conductivity of the LED module must be improved through design modifications. To this end, the relevant boundary conditions are first analyzed. Using field tests and a parameter study, the relationship between ambient temperature, LED temperature, and electrical power is investigated. The findings form the basis for a software-based self-protection function under extreme temperature conditions as well as for the further design development of the LED module.

The presentation will outline the results of the parameter study conducted, the implementation of the software-based self-protection function, various conceptual approaches, as well as simulation and prototype development. Finally, a recommendation for a new production concept will be derived.

Optimierung des elektrischen Designs von Ambientebeleuchtungssystemen für verbesserte Nachhaltigkeit

Bjarne Grunenberg

Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

bjarne.grunenberg@mercedes-benz.com

Nachhaltigkeit ist ein Begriff, der heute viele gesellschaftliche und politische Diskussionen prägt. Im Kontext des Klimawandels impliziert Nachhaltigkeit, dass die Treibhausgasemissionen (THG) in allen Wirtschaftssektoren reduziert werden müssen. Ziel ist es, langfristig alle THG-Emissionen zu stoppen und somit alle Wirtschaftssektoren klimaneutral zu gestalten. Dies ist ein erklärtes Ziel der EU-Gesetzgeber, die diese Ziele durch verschiedene Verordnungen vorantreiben. Die Automobilindustrie ist davon erheblich betroffen, da sie maßgeblich zu den THG-Emissionen im Transport- und Industriesektor beiträgt.

Die gängigste Methode, um die Auswirkungen von Emissionen aus verschiedenen Quellen vergleichbar zu machen, ist die Verwendung des Global Warming Potential (GWP) als Umweltindikator. Dieser quantifiziert die Auswirkungen einer Emission auf das Klima als CO₂-Äquivalent.

In früheren Veröffentlichungen wurde eine Lebenszyklusanalyse (LCA) für Ambientebeleuchtungskomponenten durchgeführt, um das GWP dieser Systeme zu quantifizieren. Basierend auf dieser LCA konnte gezeigt werden, dass die Produktion und der Betrieb der elektronischen Komponenten von Ambientebeleuchtungskomponenten für etwa 75 % der THG-Emissionen der gesamten Licht-Baugruppe verantwortlich sind.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde eine nachfolgende Systemanalyse durchgeführt, die darauf abzielt, Maßnahmen zur Verbesserung der Designeffizienz zukünftiger Ambientebeleuchtungskomponenten zu identifizieren. Die Analyse identifiziert Schlüsselmaßnahmen mit dem Potenzial, die elektrische Effizienz und folglich die Nachhaltigkeit von Ambientebeleuchtungssystemen erheblich zu steigern. Diese Maßnahmen werden in dieser Veröffentlichung detailliert diskutiert.

Optimization of the Electrical Design of Ambient Lighting Systems for Enhanced Sustainability

Bjarne Grunenberg

Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

bjarne.grunenberg@mercedes-benz.com

Sustainability is a term that now shapes many societal and political discussions. In the context of climate change, sustainability implies that greenhouse gas (GHG) emissions in all economic sectors must be reduced. The goal is to stop all GHG emissions in the long term, making all economic sectors climate-neutral. This is a declared goal of EU legislators, who are advancing these objectives through various regulations. The automotive industry is significantly affected by this, as it contributes substantially to GHG emissions in the transport and industrial sectors.

The most common method to make the impact of emissions from various sources comparable is the use of Global Warming Potential (GWP) as an environmental indicator. This quantifies the impact of an emission on the climate as a CO₂ equivalent.

In previous publications, a Life Cycle Assessment (LCA) for Ambient Lighting Components has been conducted to quantify the GWP of these systems. Based on this LCA, it was possible to show that the production and operation of the electronic components of Ambient Lighting Components are responsible for around 75% of the GHG emissions of the whole light assembly.

Based on these findings, a subsequent system analysis, which aims to identify measures to improve the design efficiency of future ambient lighting components, was conducted. The analysis identifies key measures with the potential to significantly enhance the electrical efficiency and, consequently, the sustainability of ambient lighting systems. These measures are discussed in detail within this publication.

Innenraumbeleuchtung in Kraftfahrzeugen: Rechtliche Einordnung, sicherheitsrelevante Bewertungsmaßstäbe und Konsequenzen für die Funktionsentwicklung

Melanie Helmer

Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

melanie.helmer@mercedes-benz.com

Die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) regelt die technische Ausstattung für Kraftfahrzeuge aller Art sowie für Fahrräder. Dazu werden in § 49a StVZO die allgemeinen Grundsätze für lichttechnische Einrichtungen definiert. In den folgenden Paragraphen sind Anforderungen für spezifische Leuchten und Einsatzzwecke festgelegt, wobei auch auf die relevanten Genehmigungsregelungen der Wirtschaftskommission der Vereinten Nation für Europa (UNECE) verwiesen wird. Ein Ziel der StVZO ist es sicherzustellen, dass Fahrzeuge im Straßenverkehr ausreichend beleuchtet und für andere Verkehrsteilnehmer gut sichtbar sind, ohne dass diese geblendet oder irritiert werden.

Allerdings regelt § 49a ff. StVZO primär die Außenbeleuchtung von Fahrzeugen und nicht explizit die Innenraumbeleuchtung. Weiter ist gemäß Straßen-Verkehrs-Ordnung (StVO) sicherzustellen, dass die Innenraumbeleuchtung das sichere Führen des Fahrzeugs nicht beeinträchtigt. Daher ist es notwendig die Innenraumbeleuchtung unter dem Gesichtspunkt der Verkehrssicherheit zu bewerten.

Durch den technologischen Fortschritt, insbesondere der zunehmende Einsatz von LED-Lichtquellen, eröffnet neue Potenziale für sowohl gestalterische als auch funktionale Lichthanwendungen im Fahrzeuginnenraum. Infolgedessen gewinnt eine fundierte rechtliche sowie sicherheitsrelevante Bewertung derartiger Systeme und ihrer Funktionen zunehmend an Relevanz, insbesondere vor dem Hintergrund der nur unzureichend konkretisierten gesetzlichen Regelung. In diesem Zusammenhang ist zu klären, welche normativen und methodischen Bewertungsmaßstäbe heranzuziehen sind und welche verkehrssicherheitsrelevanten Aspekte bei der Entwicklung entsprechender Funktionen besondere Berücksichtigung finden müssen.

Diese Fragestellungen stehen im Mittelpunkt des Vortrags und werden im begleitenden Paper vertieft analysiert.

Interior lighting in motor vehicles: Legal Classification, Safety-Relevant Assessment Criteria and Implications for Function Development

Melanie Helmer

Mercedes-Benz AG, Sindelfingen

melanie.helmer@mercedes-benz.com

The German Road Traffic Licensing Regulations (StVZO) govern the technical equipment for all types of motor vehicles as well as for bicycles. Section 49a of the StVZO defines the general principles for lighting equipment. The following sections specify requirements for specific lamps and applications, while also referring to the relevant approval regulations of the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). One objective of the StVZO is to ensure that vehicles on the road are sufficiently illuminated and clearly visible to other road users without causing glare or confusion.

However, sections 49a et seq. of the German Road Traffic Licensing Regulations (StVZO) primarily govern the exterior lighting of vehicles and do not explicitly address interior lighting. According to the Road Traffic Regulations (StVO), it must be ensured that interior lighting does not impair the safe operation of the vehicle. Therefore, it is necessary to evaluate interior lighting from the perspective of traffic safety.

Technological advancements – specifically the increasing use of LED light sources – are opening up new possibilities for both aesthetic and functional lighting applications in vehicle interiors. Consequently, a thorough legal and safety-related assessment of such systems and their functions is becoming increasingly important, particularly because the relevant legal regulations are insufficiently specific. In this context, it must be clarified which normative and methodological evaluation criteria should be applied and which road safety-related aspects must be given special consideration during the development of such functions.

These questions are the focus of the presentation and are examined in greater depth in the paper.

SmartScene: Akzentbeleuchtung beliebiger sprachlich definierter Objekte durch KI-gestützte semantische Szenenanalyse

Bastian Ernst

FH Südwestfalen, Hagen

mail@bastian-ernst.de

Stellen Sie sich vor, Sie könnten ein Objekt in einfacher Sprache benennen und es würde automatisch durch Licht hervorgehoben. Herkömmliche Akzentbeleuchtung erfordert spezielle Leuchten, Fachwissen und eine manuelle Einrichtung für jede neue Anordnung – und bewegliche Objekte sind gänzlich außer Reichweite.

SmartScene beseitigt diese Abhängigkeit durch die Kombination zweier Technologien: Segmentierungsmodelle aus dem Bereich der Bildverarbeitung und pixeladressierbare Matrix-LEDs. Eine Kamera erfasst die Szene, ein Grundmodell segmentiert das in natürlicher Sprache beschriebene Objekt, und die resultierende Maske wird als gerichtete Lichtverteilung ausgestrahlt. Da Kamera und Lichtquelle die Szene aus unterschiedlichen Positionen betrachten, durchläuft die Maske eine tiefenabhängige Transformation unter Verwendung pixelgenauer Tiefendaten aus einem Stereo-Setup.

Validierungen in unterschiedlichen Umgebungen bestätigen die Kernidee: Grundmodelle können praktisch jedes Objekt allein anhand von Text segmentieren und so eine objektspezifische Akzentbeleuchtung erzeugen. Die Latenz beschränkt das System derzeit auf statische und sich langsam verändernde Szenen – dennoch eröffnet die Methode neue Anwendungsbereiche, die vom Einzelhandel und von Messen bis hin zur Beleuchtung in Kunstgalerien und Museen reichen.

SmartScene: Accent lighting of arbitrary linguistically defined objects via AI-supported semantic scene analysis

Bastian Ernst

FH Südwestfalen, Hagen

mail@bastian-ernst.de

Imagine naming an object in plain language and having light single it out automatically. Conventional accent lighting demands specialized luminaires, expert knowledge, and manual setup for every new arrangement – and moving objects are out of reach entirely.

SmartScene removes this dependency by combining two technologies: segmentation models from computer vision and pixel-addressable matrix LEDs. A camera captures the scene, a foundation model segments the object described in natural language, and the resulting mask is emitted as a directional light distribution. Because camera and light source view the scene from different positions, the mask undergoes a depth-dependent transformation using pixel-precise depth from a stereo setup.

Validation across varied environments confirms the core idea: foundation models can segment virtually any object from text alone, yielding object-specific accent lighting. Latency currently restricts the system to static and slowly changing scenes – Nevertheless, the method is opening up new areas of application, ranging from retail and trade fairs to lighting in art galleries and museums.

MultiSpeX: Synchrone Ansteuerung eines Goniophotometers mit 14 Achsen und 19 Empfängern unter LabVIEW

Konstantin Ladner, Robert Maass, Thorsten Gerloff

PTB, Braunschweig

konstantin.ladner@ptb.de

Im Bereich der Lichtmessung sind für präzise Kalibrierungen des Lichtstroms und der spektralen Gesamtstrahlungsleistung die simultane Datenerfassungen mehrerer Sensoren und Bewegungsachsen notwendig. Um Messunsicherheiten zu minimieren und komplexe Strahlungseigenschaften effizient zu charakterisieren, wurde an der PTB ein neues Goniophotometer mit dem Namen MultiSpeX konzipiert, konstruiert und gefertigt.

Ziel dieses Beitrags ist die Vorstellung der Ansteuerung von MultiSpeX mit LabVIEW. Hierfür werden 19 optische Empfänger (Photometer, Radiometer und Spektroradiometer) parallel eingesetzt und zusätzlich Umgebungs- und Betriebsbedingungen wie Raumtemperatur, Lampenstrom und -spannung kontinuierlich überwacht und geregelt.

Die Ansteuerung erfolgt in LabVIEW, wobei die verschiedenen Messgeräte über Gigabit-LAN, USB und GPIB-Schnittstellen verbunden sind. Ein zentraler Taktgeber synchronisiert im System alle Messgeräte sowie die mechanischen Bewegungen von insgesamt 14 Achsen im Submikrosekundenbereich, was hochaufgelöste, verlustfreie Datensätze bei dynamischen Messabläufen ermöglicht.

Das selbst gestaltete intuitive Graphical User Interface (GUI) in LabVIEW ermöglicht die vollständige Steuerung aller Messgeräte und Bewegungsachsen auf nutzerfreundliche Weise. Während der Messung erfolgt eine In-Situ-Vorabauswertung der Daten mit Echtzeit-Plausibilitätsprüfung, die Abweichungen sofort sichtbar macht und automatische oder manuelle Nachjustierungen während des Messvorgangs erlaubt.

MultiSpeX: Synchronous control of a goniophotometer with 14 axes and 19 detectors under LabVIEW

Konstantin Ladner, Robert Maass, Thorsten Gerloff

PTB, Braunschweig

konstantin.ladner@ptb.de

In the field of light measurement, precise calibration of luminous flux and total spectral radiant flux requires the simultaneous acquisition of data from several sensors and axes of movement. In order to minimise measurement uncertainties and efficiently characterise complex radiation properties, a new goniophotometer called MultiSpeX was designed, constructed and manufactured at PTB.

The aim of this article is to present the control of MultiSpeX with LabVIEW. For this purpose, 19 optical receivers (photometer, radiometer and spectroradiometer) are used in parallel and, in addition, ambient and operating conditions such as room temperature, lamp current and voltage are continuously monitored and controlled.

The system is controlled in LabVIEW, with the various measuring devices connected via Gigabit LAN, USB and GPIB interfaces. A central clock synchronises all measuring devices in the system as well as the mechanical movements of a total of 14 axes in the sub-microsecond range, which enables high-resolution, loss-free data sets for dynamic measurement sequences.

The self-designed intuitive graphical user interface (GUI) in LabVIEW enables complete control of all measuring devices and movement axes in a user-friendly way. During the measurement, an in-situ pre-evaluation of the data is performed with a real-time plausibility check, which makes deviations immediately visible and allows automatic or manual readjustments during the measurement process.

Nutzbarkeit einfacher Multispektralsensoren zur Messung von künstlichem nächtlichem Licht am Beispiel des Opplé Light Master IV

Emily Böttner^{1,2}, Johannes Ledig², Carolin Liedtke¹

¹HAW Hamburg

²PTB, Braunschweig

emily.boettner@haw-hamburg.de

Lichtverschmutzung durch künstliches Licht in der Nacht stellt eine wachsende Belastung für Umwelt und Biodiversität dar. Für die Bewertung der Auswirkungen von Beleuchtungsanlagen auf Flora und Fauna sowie zur Überprüfung von Grenzwerten sind regelmäßige, zuverlässige Messungen der Beleuchtungsstärke und der ähnlichsten Farbtemperatur erforderlich. Insbesondere an erstmalig bzw. neu zu bewertenden Orten erfolgen entsprechende Messungen häufig durch Laien, da zunächst grundlegende Erkenntnisse gewonnen werden sollen und es meist an Fachleuten und hochwertigem Messequipment mangelt.

Ein Messgerät, welches dafür zunehmend zum Einsatz kommt, ist das OPPLÉ Light Master IV. Dabei handelt es sich um ein handliches und einfach bedienbares Gerät, über dessen Funktionsweise und Messgenauigkeit bislang jedoch nur wenige Informationen vorliegen.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit mit gleichnamigem Titel wurde untersucht, ob der Light Master IV und der darin verbaute Multispektralsensor für die Messung von künstlichem nächtlichem Licht geeignet sind und mit welchen Unsicherheiten die Ergebnisse zu bewerten sind. Dazu wurden Versuche zur Funktionsweise des Gerätes, zum Verhalten der Anzeigewerte bei unterschiedlichen Emissionsspektren sowie zur Streuung der Messfehler mehrerer Light Master IV durchgeführt. Zudem wurden die Kenngrößen zur Einordnung in eine Güteklasse nach DIN 5032-7:2017-02 ermittelt und bewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anzeigewerte des Light Master IV aufgrund unzureichender $V(\lambda)$ - und Kosinus-Anpassung, fehlender UV- und IR- Sperrfilter, hoher Streuung der Eigenschaften mehrerer Light Master IV sowie geringer Auflösung der Anzeige für Beleuchtungsstärke mit hohen Unsicherheiten belastet sind und somit für diesen Anwendungszweck nicht zielführend ausgewertet werden können. Anhand der Richtungsabhängigkeit sowie der abgeschätzten relativen spektralen Empfindlichkeit wird zudem deutlich, dass das Gerätemodell abweichend zur Herstellerangabe keine der Güteklassen nach DIN 5032-7:2017-02 erfüllt. Gleichzeitig verdeutlichen die Untersuchungen, dass der eingesetzte Multispektralsensor und dessen Nachfolger hohe Potentiale für die Entwicklung präziserer Messgeräte besitzen.

In diesem Vortrag werden einzelne Erkenntnisse aus der Bachelorarbeit näher betrachtet und vorgestellt.

Practical Use of Simple Multispectral Sensors for Measuring Artificial Light at Night Using the Example of the Oppla Light Master IV

Emily Böttner^{1,2}, Johannes Ledig², Carolin Liedtke¹

¹HAW Hamburg

²PTB, Braunschweig

emily.boettner@haw-hamburg.de

Light pollution caused by artificial light at night is a growing threat to the environment and biodiversity. Regular and reliable measurements of illuminance and correlated colour temperature are needed to assess the effects of lighting installations on flora and fauna and to verify compliance with regulatory limits. Non-experts often conduct such measurements to gain initial insights at existing and newly investigated lighting installations. At the same time qualified specialists as well as high-quality measurement equipment are often not available.

One device that is increasingly being used for this purpose is the OPPLÉ Light Master IV. This handheld and easy-to-use measuring device is widely accessible; however, only limited information is currently available about its functionality and measurement accuracy.

Within a bachelor's thesis it was investigated whether the Light Master IV and the multispectral sensor integrated within the device are suitable for measuring artificial light at night and how the associated uncertainties of the results should be evaluated. For this purpose, experiments were conducted to analyse the functionality of the device, the behaviour of its displayed values under different emission spectra, and the variation of measurement errors across multiple Light Master IV devices. In addition, the characteristic parameters of the quality criteria needed for classification into a quality class according to DIN 5032-7:2017-02 were determined and evaluated.

The results show that the displayed values of the Light Master IV are affected by significant uncertainties due to insufficient $V(\lambda)$ and cosine correction, the absence of UV and IR blocking filters, a high variability of properties between different Light Master IV units, and the limited resolution of the illuminance display. Consequently, the measurements cannot be evaluated reliably for this specific application. With respect to the angular characteristic and the estimated relative spectral responsivity it is evident that the model does not fulfil any of the classes of DIN 5032-7:2017-02. At the same time, the investigations show that the multispectral sensor used in the device, as well as its successors, have considerable potential for the development of more precise measuring instruments.

This presentation will highlight and discuss selected findings from the bachelor's thesis.

Einfluss von Umgebungsmerkmalen in Kombination mit Scheinwerferlichtverteilungen auf die Erkennungsleistung von Fußgängern bei Nacht

Nathalie Müller, Mirko Waldner, Torsten Bertram

TU Dortmund

nathalie2.mueller@tu-dortmund.de

Die Zuverlässigkeit automatisierter Fahrsysteme hängt eng davon ab, wie genau sie ihre Umgebung wahrnehmen. Dazu stützt sich das Fahrzeug auf verschiedene Sensoren, z. B. optische Kameras, die visuelle Daten aus der Umgebung erfassen und mithilfe neuronaler Netze die Objekterkennung ermöglichen. Diese Informationen ermöglichen die Erkennung kritischer Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger, was für die Vermeidung von Kollisionen unerlässlich ist. Allerdings verschlechtert sich die kamerabasierte Wahrnehmung bei unzureichender Beleuchtung tendenziell, da Bildqualität und Erkennungsleistung bei schlechten Lichtverhältnissen deutlich abnehmen. Um dieser Einschränkung entgegenzuwirken, können verschiedene adaptive Beleuchtungskonzepte unter Verwendung von Matrix-Scheinwerfern eingesetzt werden, um die Ausleuchtung der Szene dynamisch zu verbessern und so die Objekterkennung bei Nacht oder in anderen schlecht beleuchteten Situationen zu unterstützen.

Zwar ist die Lichtverteilung (LID) von Fahrzeugscheinwerfern ein entscheidender Faktor für die Erkennungsleistung, doch ist sie nicht der einzige bestimmende Faktor. Zusätzliche Einflüsse ergeben sich sowohl aus kameraspezifischen Parametern, wie dem Sichtfeld der Kamera, als auch aus szenenbezogenen Merkmalen, einschließlich der Größe und räumlichen Anordnung der vorhandenen Objekte. Frühere Studien haben gezeigt, dass externe Faktoren, wie die Farbe der Kleidung von Fußgängern, die Erkennungsergebnisse erheblich verändern können – von einem vollständigen Versagen bei der Erkennung eines Objekts bis hin zu sehr zuverlässigen Erkennungen mit gut ausgerichteten Begrenzungsrahmen.

Der vorliegende Beitrag untersucht systematisch verschiedene externe Faktoren, die die Leistung der nächtlichen Fußgängererkennung bei verschiedenen adaptiven LIDs beeinflussen können. Die analysierten LIDs umfassen sowohl herkömmliche Konfigurationen, wie beispielsweise Fernlicht, als auch für die menschliche Wahrnehmung und Computer-Vision-Anwendungen optimierte Designs, wie beispielsweise objektbasierte Beleuchtungsstrategien. Darüber hinaus werden speziell auf Computer-Vision-Aufgaben zugeschnittene LIDs berücksichtigt, darunter materialbasierte Beleuchtung und dynamische Abtastverfahren. Zu den externen Einflussparametern zählen beispielsweise mehrere Fußgänger in der Szene, Fußgänger unterschiedlicher Größe, farbenfroh gekleidete Fußgänger, verschiedene Objektklassen sowie unterschiedliche Kameraparameter.

Influence of Scene Characteristics in Combination with Headlamp Light Distributions on Nighttime Pedestrian Detection Performance

Nathalie Müller, Mirko Waldner, Torsten Bertram

TU Dortmund

nathalie2.mueller@tu-dortmund.de

The reliability of automated driving systems is closely linked to how accurately they perceive their surroundings. To achieve this, the vehicle relies on various sensors, e.g., optical cameras, that capture visual data from the environment and enable object detection with neural networks. This information allows the detection of critical road users such as pedestrians, which is essential for preventing collisions. Yet, camera-based perception tends to degrade under insufficient illumination, as image quality and detection performance drop significantly in low-light conditions. To address this limitation, different adaptive lighting approaches using matrix headlights can be employed to dynamically improve scene illumination and thereby support object detection during nighttime or other poorly lit scenarios.

While the luminous intensity distribution (LID) of vehicle headlights is a key factor affecting detection performance, it is not the only determinant. Additional influences arise from both camera-specific parameters, such as the camera's field of view, and scene-related characteristics, including the size and spatial arrangement of objects present. Prior studies have demonstrated that external factors, such as pedestrian clothing color, can substantially alter detection outcomes, ranging from complete failure to detect an object to highly confident detections with well-aligned bounding boxes.

The contribution at hand systematically investigates various external factors that may affect nighttime pedestrian detection performance across different adaptive LIDs. The analyzed LIDs comprise conventional configurations, such as high-beam, as well as designs optimized for human perception and computer vision applications, such as object-based illumination strategies. Furthermore, LIDs specifically tailored for computer vision tasks are considered, including material-based lighting and dynamic sampling approaches. The external impact parameters include, for example, multiple pedestrians in the scene, differently sized pedestrians, colorfully clothed pedestrians, different object classes, and different camera parameters.

Entwicklung des mobilen Messsystems „Street Light Scanner“: Echtzeit-Kompensation geometrischer Fehler durch verteilte Sensorfusion

Frithjof Hansen, Prof. Stephan Völker

TU Berlin

frithjof.hansen@li.tu-berlin.de

Die normative Bewertung der Straßenbeleuchtung gemäß DIN EN 13201-4 erfordert präzise Messungen auf der Fahrbahnoberfläche. Um die Effizienz dieser Abnahmemessungen zu steigern, wird am Fachgebiet Lichttechnik derzeit das mobile Messsystem „Street Light Scanner“ (SLS) entwickelt. Eine zentrale Herausforderung mobiler Systeme ist die Sicherstellung der metrologischen Äquivalenz zu statischen Rastermessungen unter dynamischen Bedingungen.

Beim SLS werden die Beleuchtungsstärkemessköpfe an Vorbau- und Heckprofilen des Messfahrzeugs in ca. 20 cm Höhe montiert. Die Messwerte der räumlich getrennten Sensoren (vorne/hinten, links/rechts) werden nach dem Split-Detektor-Prinzip zu einem virtuellen Messpunkt zusammengesetzt. Die Auslegerprofile weisen während der Fahrt jedoch eine von der Karosserie unabhängige Eigendynamik (Vibrationen, Nick- und Wankbewegungen) auf. Es wird davon ausgegangen, dass diese hochfrequenten Lageänderungen sowie Schwankungen in der Bodenfreiheit zu relevanten geometrischen Fehlern bei der Bestimmung des Lichteinfallswinkels γ führen, welche die normgerechte Auswertung potenziell verfälschen.

Dieser Beitrag behandelt die technische Realisierung und experimentelle Validierung eines verteilten, MCU-basierten Systems zur Echtzeit-Kompensation dieser angenommenen Fehlerquellen. Das Lösungsprinzip beruht auf einer direkten hardwareseitigen Sensorfusion: Unmittelbar unter jedem Beleuchtungsstärkemesskopf ist ein Sensorknoten (ESP32-C6) montiert, der eine 6-Achsen-IMU zur Erfassung der lokalen räumlichen Lage mit einem kompakten LiDAR-Sensor (ToF) zur kontinuierlichen Messung des exakten Abstands zur Fahrbahn vereint. Parallel dazu detektiert ein auf dem Fahrzeugdach installiertes LiDAR-Kamerasystem kontinuierlich die exakte 3D-Position der Straßenleuchten.

Durch die Vektorzerlegung des Lichteinfalls aus der relativen Leuchtenposition und der instantanen Sensorausrichtung (Lage und Abstand zur Fahrbahn) soll der dynamische Cosinus-Fehler für jeden Sensorknoten individuell in Echtzeit berechnet und korrigiert werden. Die Überprüfung dieser Hypothese und die Validierung des Korrekturmodells erfolgen durch den Abgleich der dynamischen Fahrten mit hochpräzisen, statischen Referenzmessungen („Ground Truth“) auf der Teststrecke der TU Berlin. Ziel der Untersuchung ist es herauszufinden, in welchem Maße diese neuartige Sensorarchitektur geometrische Fehlerkomponenten reduziert und ob der SLS dadurch für normkonforme Abnahmemessungen eingesetzt werden kann.

Development of the Mobile Measurement System "Street Light Scanner": Real-time Compensation of Geometric Errors via Distributed Sensor Fusion

Frithjof Hansen, Prof. Stephan Völker

TU Berlin

frithjof.hansen@li.tu-berlin.de

The normative evaluation of road lighting according to EN 13201-4 requires precise measurements at the road surface level. To increase the efficiency of these acceptance tests, the mobile measurement system "Street Light Scanner" (SLS) is currently being developed at the Chair of Lighting Technology. A central challenge for mobile systems is ensuring metrological equivalence to static grid measurements under dynamic conditions.

In the SLS, the illuminance measuring heads are mounted on front and rear aluminum profiles of the measurement vehicle at a height of approximately 20 cm. The readings from these spatially separated sensors (front/rear, left/right) are combined using a split-detector approach to form a virtual measurement point. However, during transit, these extension profiles exhibit their own independent dynamics (vibrations, pitch, and roll) separate from the main vehicle body. It is hypothesized that these high-frequency attitude changes, along with variations in ground clearance, introduce relevant geometric errors in determining the angle of light incidence γ , which could potentially distort standard-compliant evaluations.

This paper presents the technical implementation and experimental validation of a distributed, MCU-based system designed for the real-time compensation of these assumed error sources. The proposed solution relies on direct hardware-level sensor fusion: Directly beneath each illuminance sensor, a sensor node (ESP32-C6) is mounted, combining a 6-axis IMU to capture the local spatial attitude with a compact LiDAR (ToF) sensor to continuously measure the exact distance to the road surface. Simultaneously, a roof-mounted LiDAR camera system continuously detects the exact 3D position of the street luminaires.

By performing a vector decomposition of the incident light—using the relative luminaire position and the instantaneous sensor orientation (attitude and distance to the road)—the dynamic cosine error is intended to be calculated and corrected individually for each sensor node in real-time. The testing of this hypothesis and the validation of the correction model are performed by comparing dynamic runs with high-precision, static reference measurements ("ground truth") on the TU Berlin test track. The objective of this study is to determine the extent to which this novel sensor architecture reduces geometric error components and whether the SLS can thereby be reliably deployed for standard-compliant acceptance measurements.

Zeitliche Farbmodulation von dekorativen RGBW-Effekt-Bühnenleuchten

Malte Bruns¹, Haydee Badermann², Johannes Ledig², Carolin Liedtke¹

¹HAW Hamburg

²PTB, Braunschweig

malte.bruns@haw-hamburg.de

Der Einsatz von LED-basierten dekorativen Bühnenleuchten in Fernsehstudios und auf Konzerten ist in den letzten zehn Jahren zum Standard geworden. Mit dem Wechsel zur LED-Technologie sind jedoch auch neue Herausforderungen verbunden, insbesondere bei der Dimmung der Leuchten mittels Pulsweitenmodulation (PWM). Frequenzabhängig entstehen verschiedene Effekte, die von Menschen wahrgenommen werden und / oder das Kamerabild beeinträchtigen können. Zwar lässt sich die Frequenz der Pulsweitenmodulation in vielen Fällen als Betriebsbedingung am Steuergerät einstellen, bei Mehrkanal-LED-Chips führt jedoch häufig auch die zeitliche Modulation der Farbe zu Artefakten (temporal light artefacts, TLA), die erst mit der LED-Technologie hervortreten. Beispiele für diese Artefakte für die menschliche Wahrnehmung sind der Stroboskopeffekt oder Perlschnureffekt. Störungen im Kamerabild zeigen sich vor allem in Form von Schwebungen bzw. Aliasing-Artefakten aufgrund der Integrationszeit.

Ziel der Untersuchung ist, die Effekte der zeitlichen Farbmodulation anhand eines konkreten Beispiels aufzuzeigen und ihren Einfluss in der medientechnischen Praxis zu diskutieren.

Für die Untersuchung wurde eine aktuell eingesetzte dekorative Bühnen- und Studioleuchte, onePATT™ (Hersteller: Robe), mit einer 40W RGBW-Multichip-LED ausgewählt, da diese bereits in Studioprojekten an der HAW Hamburg unerwünschte TLA-Effekte zeigte. Um diese Effekte genauer zu charakterisieren, wurden mithilfe eines Tristimulus-TLM Messgerätes der zeitliche Verlauf der XYZ-Normfarbwerte mit einer Abtastrate von 200 kSamples/s aufgenommen.

Der Tagungsbeitrag zeigt anhand einer aktuellen dekorativen Bühnen- und Studioleuchte das Problem der TLA auf und stellt Messmöglichkeiten und –ergebnisse vor. Bei der Messung wurde festgestellt, dass alle drei gemessenen LED-Kanäle zeitgleich eingeschaltet und nacheinander, entsprechend dem von Dimmwert und Farbeinstellung abhängigen Tastgrad des jeweiligen LED-Kanals, abgeschaltet werden. Die zeitlichen Verläufe und daraus resultierenden Effekte auf Wahrnehmung und Kamerabild werden im Beitrag dargestellt.

Temporal colour modulation of decorative RGBW LED-stage lights

Malte Bruns, Haydee Badermann, Johannes Ledig, Carolin Liedtke

HAW Hamburg

malte.bruns@haw-hamburg.de

The use of LED-based decorative stage lighting fixtures in broadcast studios and at concerts has become a standard within the last ten years. The transition to the LED technology also brings new challenges, particularly when the dimming strategy is based on using pulse-width-modulation (PWM). Depending on the PWM frequency, miscellaneous effects occur that can be observed by humans and/or interfere with the camera image. In many cases the PWM frequency can be set as an operating-parameter on the control unit but the use of temporal colour modulation in multi-channel LED chips leads to artifacts (temporal light artefacts, TLA) that have only become apparent with LED technology. Examples of such artefacts in human perception include the stroboscopic and the phantom array effect. Artefacts in the camera image can primarily be observed as aliasing artifacts due to the integration time. The aim of this study is to illustrate the effects of temporal colour modulation using a concrete example and to discuss its impact on media technology and production environments.

For this study, a modern decorative stage and studio fixture, the onePATT™ (manufacturer: Robe), equipped with a 40W RGBW multi-chip LED, was selected because it had previously shown undesirable TLA effects in studio productions at the HAW Hamburg. To characterise these effects more precisely, a tristimulus TLM meter was used to record time course of the XYZ tristimulus values at a sampling rate of 200 kSamples/s.

This conference contribution shows the problem of TLA using a modern decorative stage and studio light and presents measurement methods and results. The measurements revealed that all three observed LED channels were turned on simultaneously and then turned off one after the other, according to the duty cycle of the respective LED channel, which depends on the dimming value and colour setting. The temporal patterns and their resulting effects on perception and the camera image are discussed in the conference contribution.

Messtechnische Grenzen bei der Charakterisierung der Lichtmodulation hochfrequent PWM-gesteuerter LED-Systeme

Haydee Badermann, Johannes Ledig

PTB, Braunschweig

haydee.badermann@ptb.de

Die messtechnische Erfassung und Bewertung zeitlicher Lichtmodulation (TLM) gewinnt im Kontext der LED-Technologie zunehmend wissenschaftliche und normative Relevanz. Aktuelle Grenzwertempfehlungen in normativen Dokumenten – insbesondere IEEE 1789-2015 sowie CIE TN 006:2016 – setzen eine zuverlässige messtechnische Basis voraus. In der Praxis werden hierfür Flickermessgeräte eingesetzt, die sich hinsichtlich Bandbreite, Detektoreigenschaften und geräteinterner Signalverarbeitung häufig erheblich unterscheiden.

Viele LED-Systeme regulieren ihre Helligkeit über zwei grundsätzlich verschiedene Verfahren: analoges Dimming, bei dem der konstante Strom abgesenkt wird, und PWM-Dimming (Pulsweitenmodulation), bei dem das Licht in schneller Folge ein- und ausgeschaltet und das Dimmen über den Tastgrad eingestellt wird. Insbesondere bei PWM im Bereich oberhalb mehrerer Kilohertz kann die geräteinterne Signalverarbeitung der Flickermessgeräte – durch Tiefpassfilterung bzw. begrenzte Detektorbandbreite, Abtastrate oder ggf. digitale Mittelwertbildung – dazu führen, dass das Modulationssignal nicht mehr auflösbar ist. Die schnellen Lichtpulse der PWM werden dabei über mehrere Perioden zeitlich gemittelt bzw. geglättet; der Detektor erfasst nur noch den zeitlichen Mittelwert der Beleuchtungsstärke, nicht aber die zugrundeliegende Modulation, sodass beispielsweise eine messtechnische Differenzierung zwischen PWM-Betrieb und analogem Dimming nicht mehr möglich ist.

Ziel des Tagungsbeitrags ist eine systematische, komparative Analyse hochfrequent PWM-gesteuerter LED-Systeme unter Einsatz von Messgeräten unterschiedlicher technischer Spezifikation und Preisklasse. Die Messreihe umfasst einfache photometrische Handmessgeräte mit Flickerfunktion, kompakte Flickermessgeräte sowie Präzisions-Flickermessgeräte. Die gewonnenen Messdaten werden hinsichtlich der ermittelten TLM-Kenngrößen gegenübergestellt und im Kontext der jeweiligen gerätespezifischen Messbandbreite und Signalverarbeitungskette interpretiert.

Der Beitrag adressiert eine in der Praxis unterschätzte Fehlerquelle in der angewandten (Flicker-) Messtechnik: die systematische Signalverfälschung durch geräteinterne Signalverarbeitung bei TLM-Messungen hochfrequenter PWM-Systemen. Die Ergebnisse sollen einen praxisnahen Beitrag zur Bewertung der Messtauglichkeit handelsüblicher Flickermessgeräte leisten und Handlungsempfehlungen für eine sachgerechte Geräteauswahl in Abhängigkeit von der erwarteten Modulationsfrequenz des Messobjekts formulieren.

Measurement Limitations in Characterization of Light Modulation in High-Frequency PWM-Driven LED Systems

Haydee Badermann, Johannes Ledig

PTB, Braunschweig

haydee.badermann@ptb.de

The metrological assessment and evaluation of temporal light modulation (TLM) is gaining increasing scientific and normative relevance in the context of LED technology. Current threshold recommendations in normative documents – in particular IEEE 1789-2015 and CIE TN 006:2016 – presuppose a reliable metrological basis. In practice, flicker meters of varying technical specifications may be employed, which can differ considerably in terms of bandwidth, detector characteristics, and internal signal processing.

Many LED systems regulate their luminous output through two fundamentally different methods: analogue dimming, in which the constant current is reduced, and PWM dimming (pulse-width modulation), in which the light is switched on and off in rapid succession and dimming is realized via the duty cycle. At PWM frequencies above a several kilohertz, the internal signal processing of flicker meters – through low-pass filtering, limited detector bandwidth, sampling rate, or digital averaging – may result in the modulation signal becoming unresolvable. The rapid light pulses are temporally averaged over multiple periods; the detector captures only the time-averaged illuminance rather than the underlying modulation, such that a metrological differentiation between PWM operation and analogue dimming is no longer possible.

The aim of this conference contribution is a systematic, comparative analysis of high-frequency PWM-driven LED systems using measurement instruments of varying technical specification and price range. The measurement series encompasses basic photometric handheld devices with flicker functionality, compact flicker meters, and precision flicker meters. The acquired measurement data are compared with respect to the determined TLM metrics and interpreted in the context of the respective device-specific measurement bandwidth and signal processing chain.

The contribution addresses an underestimated source of error in applied flicker metrology: the systematic signal distortion caused by internal signal processing in TLM measurements of high-frequency PWM systems. The results are intended to provide a practical contribution to the evaluation of the metrological suitability of commercially available flicker meters and to formulate recommendations for the appropriate selection of measurement equipment based on the expected modulation frequency of the measurement object.

IMoR: Beleuchtungsstärkebasiertes Mapping von Straßen

Lukas Liegener

TU Berlin

l.liegener@tu-berlin.de

Eine angemessene Straßenbeleuchtung spielt eine entscheidende Rolle für die Sicherheit im nächtlichen Straßenverkehr, indem sie die Sichtverhältnisse verbessert und das Unfallrisiko reduziert. In der Praxis werden Straßenbeleuchtungsanlagen üblicherweise auf Grundlage der DIN EN 13201 geplant und bewertet.

Innerhalb dieser Norm wird ein Messraster auf der Fahrbahnoberfläche definiert, das als Grundlage für die lichttechnische Bewertung dient. Zwischen zwei benachbarten Leuchten besteht dieses Raster typischerweise aus dreißig oder mehr einzelnen Messpunkten. In der aktuellen Praxis werden diese Messungen mithilfe eines statischen, manuellen Verfahrens durchgeführt, bei dem ein kalibriertes Photometer nacheinander an jedem Messpunkt positioniert wird. Dieses Vorgehen ist arbeitsintensiv und zeitaufwendig, was seine praktische Anwendung erheblich einschränkt. Infolgedessen werden umfassende Überprüfungen nach der Installation sowie wiederholte Messungen im Zeitverlauf nur selten durchgeführt.

Um dieser Einschränkung zu begegnen, wird ein mobiles und dynamisches Messverfahren vorgeschlagen, das eine effiziente Erfassung räumlich aufgelöster Beleuchtungsstärkedaten während der Durchfahrt des Messbereichs ermöglicht. Im Gegensatz zu diskreten Punktmessungen erlaubt ein solches System die Aufzeichnung von Daten mit deutlich höherer räumlicher Auflösung. Aus diesem kontinuierlichen Datensatz können die standardisierten Rasterpunkte rekonstruiert werden, während gleichzeitig eine wesentlich dichtere Abbildung der Beleuchtungsstärkeverteilung bereitgestellt wird.

Die gewonnenen Messdaten können zur Überprüfung der Einhaltung bestehender Normen verwendet werden, bieten jedoch darüber hinaus eine deutlich umfangreichere Datengrundlage für weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen.

Diese Arbeit stellt IMoR (Illuminance Mapping of Roads) vor, ein Konzept für ein mobiles Messsystem, das auf einem umfunktionierten Roomba basiert. Der Roboter wurde aufgrund seiner zugänglichen Steuerungsschnittstelle ausgewählt, die eine programmatische Navigation und die Integration in einen individuellen Messablauf ermöglicht. Ein Raspberry Pi dient als zentrale Einheit für Steuerung und Datenerfassung, während ein Luxmeter der Klasse A zur Aufnahme der Beleuchtungsstärke eingesetzt wird.

Eine zentrale Herausforderung des Ansatzes besteht in der präzisen räumlichen Zuordnung der Messdaten im Außenbereich. Zu diesem Zweck werden verschiedene Lokalisierungsverfahren betrachtet und teilweise implementiert, darunter GNSS mit Real-Time Kinematic (RTK)-

Korrektur zur hochgenauen Positionsbestimmung sowie odometriebasierte Verfahren wie Rad-drehgeberdaten und bordeigene Sensoren. Diese Ansätze werden hinsichtlich ihrer Eignung für eine zuverlässige Positionsbestimmung innerhalb des definierten Messrasters diskutiert.

Durch die Umstellung des Messverfahrens von einem statischen auf einen dynamischen Ansatz hat das vorgeschlagene System das Potenzial, den Messaufwand erheblich zu reduzieren und gleichzeitig die räumliche Auflösung sowie die Wiederholbarkeit zu erhöhen. Diese Arbeit beschreibt das konzeptionelle Design von IMoR und legt die Grundlage für die zukünftige Entwicklung und Validierung mobiler, automatisierter Systeme zur Kartierung der Beleuchtungsstärke in Straßenbeleuchtungsanwendungen.

IMoR - Illuminance Mapping of Roads

Lukas Liegener

TU Berlin

l.liegener@tu-berlin.de

Adequate road lighting plays a crucial role in ensuring safety in nighttime traffic by improving visibility and reducing the risk of accidents. In practice, street lighting systems are commonly designed and evaluated based on DIN EN 13201.

Within this standard, a measurement grid on the road surface is defined as the basis for evaluating lighting installation. Between two adjacent luminaires, this grid typically consists of thirty or more individual measurement points. In current practice, these measurements are carried out using a static, manual procedure in which a calibrated photometer is sequentially positioned at each grid point. This approach is labor-intensive and time-consuming, which significantly limits its practical application. As a result, comprehensive validation after installation and repeated measurements over time are rarely performed.

To address this limitation, a mobile and dynamic measurement approach is proposed, enabling efficient acquisition of spatially resolved illuminance data while traversing the measurement area. In contrast to discrete point measurements, such a system allows data to be recorded with significantly higher spatial resolution. From this continuous dataset, the standardized grid points can be reconstructed while additionally providing a much denser representation of the light distribution.

The resulting measurements can be used to verify compliance with existing standards, but they also provide a richer dataset that may support further scientific investigations.

This work presents IMoR (Illuminance Mapping of Roads), a concept for a mobile measurement system based on a repurposed Roomba vacuum cleaner. The robot is selected due to its accessible control interface, enabling programmatic navigation and integration into a custom measurement workflow. A Raspberry Pi serves as the central unit for control and data acquisition, while a class A lux meter is used to capture illuminance values.

A key challenge of the approach is the accurate spatial referencing of measurement data in outdoor environments. To address this, different localization strategies are considered and partially implemented, including GNSS with Real-Time Kinematic (RTK) correction for high-precision positioning, as well as odometry-based methods such as wheel encoder data and onboard sensors. These approaches are discussed with respect to their suitability for reliable positioning within the defined measurement grid.

By transforming the measurement process from a static to a dynamic one, the proposed system has the potential to significantly reduce measurement effort while increasing spatial resolution and repeatability. This paper outlines the conceptual design of IMoR and provides a foundation for future development and validation of mobile, automated illuminance mapping systems for road lighting applications.

Untersuchung der Eignung von Fisheye-Action-Cams zur Messung von orts aufgelösten ähnlichsten Farbtemperaturen des klaren Himmels

Moritz Christian Dölle

TU Berlin

doelle@campus.tu-berlin.de

Der Mangel an natürlichem Tageslicht stellt sowohl in polarnahen Regionen mit langen Dunkelphasen als auch in modernen urbanen Lebensräumen mit hohen Fassaden ein wachsendes Problem dar. Eine reduzierte Tageslichtexposition kann sich negativ auf das menschliche Wohlbefinden sowie auf zentrale biologische Prozesse wie die Steuerung des zirkadianen Rhythmus auswirken. Technische Ansätze wie tageslichtähnliche Beleuchtung oder eine Rekonstruktion des Himmels in der virtuellen Realität zielen darauf ab, natürliche Lichtbedingungen künstlich nachzubilden. Für eine realistische Umsetzung ist jedoch ein detailliertes Verständnis der räumlichen Verteilung von Leuchtdichte und Lichtfarbe des Himmels erforderlich.

Die vorgestellte Arbeit konzentriert sich auf die Untersuchung der räumlichen Verteilung der ähnlichsten Farbtemperatur (CCT) bei einem klaren Himmel. Ziel ist es zu prüfen, ob kostengünstige Kameras mit Fisheye Objektiven eine geeignete Alternative zu etablierten, jedoch oft teuren Messinstrumenten darstellen können, um die CCT-Verteilung zu messen.

In der Arbeit wurden zwei Action-Cams zunächst hinsichtlich ihrer Projektionseigenschaften charakterisiert. Der entwickelte Prozess erlaubt es das etablierte 145-Patch-Himmelsmodell nach Tregenza (1987) auf die aufgenommenen Fisheye-Bilder zu übertragen und somit eine strukturierte Auswertung der Himmelsbereiche (Patches) zu ermöglichen.

Ein weiterer zentraler Bestandteil der Arbeit ist die Farbkalibrierung der Kameras und die Frage, ob sich akkurate ähnlichste Farbtemperaturen aus den RGB-Bildern der Action-Cams berechnen lassen. Für die Kalibrierung wurden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt: eine spektrale Kalibrierung mithilfe eines OL490-Lichtquellen-Systems sowie eine Kalibrierung auf Basis realer Tageslichtmessungen unter Verwendung des Spectral-Sky-Scanners (SSS) der technischen Universität Berlin. Beide Ansätze zeigten jedoch Einschränkungen. Während die OL490-basierte Kalibrierung zu systematischen Grünverschiebungen führte, kam es bei der SSS-gestützten Methode zu Überkorrekturen, sodass in beiden Fällen keine zufriedenstellende Genauigkeit in der CCT-Bestimmung erreicht werden konnte.

Zusammenfassend zeigt die Arbeit, dass Action-Cams ein vielversprechendes und kostengünstiges Werkzeug zur Untersuchung der räumlichen Verteilung der ähnlichsten Farbtemperatur darstellen. Für eine zuverlässige quantitative Auswertung ist jedoch eine weiter verbesserte und robustere Farbkalibrierung erforderlich.

Investigation of the Suitability of Fisheye Action Cameras for Measuring Spatially Resolved Correlated Color Temperature of the Clear Sky

Moritz Christian Dölle

TU Berlin

doelle@campus.tu-berlin.de

The lack of natural daylight is an increasing concern both in polar regions with extended periods of darkness and in modern urban environments characterized by high-rise buildings. Reduced exposure to daylight can negatively affect human well-being as well as essential biological processes such as the regulation of the circadian rhythm. Technical approaches, such as daylight-like artificial lighting or the reconstruction of the sky in virtual reality, aim to artificially replicate natural lighting conditions. However, realistic implementation requires a detailed understanding of the spatial distribution of sky luminance and color.

This work focuses on investigating the spatial distribution of correlated color temperature (CCT) under clear sky conditions. The objective is to evaluate whether low-cost cameras equipped with fisheye lenses can serve as a suitable alternative to established, yet often expensive, measurement instruments for capturing CCT distributions.

In this study, two action cams were first characterized with respect to their projection properties. The developed method enables the mapping of the established 145-patch sky model according to Tregenza (1987) onto fisheye images, thereby allowing a structured analysis of different sky regions (patches).

Another key aspect of this work is the color calibration of the cameras and the question of whether accurate correlated color temperatures can be derived from the RGB images of the action cams. Two different calibration approaches were investigated: a spectral calibration using an OL490 light source system, and a calibration based on real daylight measurements using the Spectral Sky Scanner (SSS) of the Technical University of Berlin. However, both approaches revealed limitations. The OL490-based calibration resulted in systematic green shifts, while the SSS-based method led to overcorrections. In both cases, satisfactory accuracy in CCT determination could not be achieved.

In summary, this work demonstrates that action cameras represent a promising and cost-effective tool for investigating the spatial distribution of correlated color temperature. However, further improvements in color calibration are required to enable reliable quantitative analysis.

Licht & Lebensqualität in Bochumer Wohngebieten: Eine Untersuchung zur Bürgerwahrnehmung von Farbtemperaturen

Stella Engemann

städt. Tiefbauamt, Bochum

sengemann@bochum.de

Die Straßenbeleuchtung dient nicht ausschließlich der Verkehrssicherungspflicht, sondern trägt auch im Rahmen der Daseinsfürsorge zum Wohlbefinden und subjektiven Sicherheitsempfinden bei. Die Kommunen stehen vor der Herausforderung, die sozialen, ökologischen und energieeffizienten Aspekte in einem Beleuchtungskonzept zu vereinen. Insbesondere die Farbtemperatur stellt dabei einen Gestaltungsparameter dar, dessen Wirkung bislang noch nicht eindeutig geklärt ist.

Ziel dieser Arbeit ist es, empirisch zu untersuchen, wie unterschiedliche Farbtemperaturen der Straßenbeleuchtung in Wohngebieten wahrgenommen werden und welchen Beitrag sie zum subjektiven Sicherheitsempfinden und zum Wohlbefinden der Anwohnenden leisten. Darüber hinaus wird analysiert, inwieweit sich das öffentliche Meinungsbild mit dem tatsächlich wahrgenommenen Zustand deckt.

Die Untersuchung erfolgt am Beispiel der Stadt Bochum anhand vier real installierter Teststrecken mit den Farbtemperaturen 2200 Kelvin, 2700 Kelvin, 3000 Kelvin und 4000 Kelvin. Die Datenerhebung erfolgt über eine stadtweite Online-Umfrage, in der sowohl allgemeine Bewertungen der Straßenbeleuchtung im Wohnumfeld als auch Bewertungen der konkreten Teststrecken erfasst werden.

Durch die Untersuchung realer Beleuchtungssituationen werden Grundlagen für eine bürgerorientierte Weiterentwicklung des städtischen Beleuchtungskonzepts geschaffen, bei der Sicherheitsaspekte und Umweltverträglichkeit gleichermaßen berücksichtigt werden.

Light and Quality of Life in Bochum's Residential Areas: An Investigation of Citizens' Perception of Color Temperatures

Stella Engemann

städt. Tiefbauamt, Bochum

sengemann@bochum.de

Street lighting does not serve the traffic safety obligation alone, but also contributes within the framework of municipal public services to subjective well-being and perceived personal safety. Municipalities are therefore faced with the challenge of integrating social, ecological, and energy-efficient aspects into a coherent lighting concept. In this context, correlated color temperature represents a design parameter whose effects have not yet been conclusively clarified.

The objective of this study is to empirically examine how different color temperatures of street lighting are perceived in residential areas and how they contribute to residents' perceived sense of safety and well-being. In addition, the study analyzes the extent to which public opinion corresponds with the actually perceived lighting conditions.

The investigation is conducted using the city of Bochum as a case study, based on four real-world test sites equipped with street lighting at correlated color temperatures of 2200 K, 2700 K, 3000 K, and 4000 K. Data is collected through a city-wide online survey capturing both general assessments of street lighting within residential environments and evaluations of the specific test sites.

By examining real lighting situations, the study provides a foundation for the citizen-oriented further development of the municipal lighting concept, while simultaneously taking safety-related and environmental requirements into account.

In-situ Bestimmung der Reflexionseigenschaften von Straßendeckschichten mittels mobiler Messtechnik

Yannic Nießen

TU Berlin

niessen@tu-berlin.de

Die lichttechnische Planung von Straßenbeleuchtungsanlagen basiert maßgeblich auf der Kenntnis der Reflexionseigenschaften von Fahrbahnoberflächen. Da Verkehrsteilnehmende nicht die Beleuchtungsstärke, sondern die resultierende Leuchtdichte wahrnehmen, ist die Beschreibung der gerichteten Reflexion durch den Leuchtdichtekoeffizienten $q = \frac{L}{E}$ von zentraler Bedeutung. In der Praxis werden hierfür standardisierte R-Tabellen (R1–R4) verwendet, die aus historischen Goniometer-Messungen typischer Fahrbahnbeläge abgeleitet wurden und bis heute die Grundlage normativer Berechnungsverfahren (z. B. EN 13201) bilden.

Diese Tabellen stellen jedoch eine starke Vereinfachung der realen Reflexionseigenschaften dar und basieren überwiegend auf Messdaten aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Moderne Straßendeckschichten unterscheiden sich jedoch signifikant hinsichtlich Materialzusammensetzung, Textur und Alterungsverhalten. Zudem führen neue Beleuchtungstechnologien, insbesondere LED-Systeme mit gerichteter Lichtverteilung und verändertem Spektrum, zu abweichenden Beleuchtungsgeometrien. Auch der Einfluss von Nässezuständen wird in bestehenden Modellen nur unzureichend abgebildet. Vor diesem Hintergrund ist die Repräsentativität der etablierten R-Klassen für heutige Straßeninfrastrukturen zunehmend fraglich.

Ziel der angestrebten Dissertation ist die Entwicklung und Erprobung eines mobilen Messsystems zur in-situ Bestimmung gerichteter Leuchtdichtekoeffizienten von Fahrbahnoberflächen. Hierzu wird ein Messfahrzeug eingesetzt, das eine definierte Beleuchtungsgeometrie mittels LED-Lichtquelle mit einer gerichteten Leuchtdichtemessung kombiniert. Durch die differenzielle Bestimmung der Leuchtdichte bei aktivierter und deaktivierter Beleuchtung (ΔL) sowie die Erfassung der lokalen Beleuchtungsstärke E kann der Leuchtdichtekoeffizient für ausgewählte Winkelkonfigurationen bestimmt werden. Ergänzend werden Fahrzeugzustandsgrößen wie Fahrzeuginnenlage und Abstand zur Fahrbahn erfasst, um geometrische Einflüsse zu kompensieren. Der Ansatz ermöglicht erstmals eine systematische, ortsaufgelöste Erfassung von Reflexionseigenschaften realer Straßen unter praxisnahen Bedingungen. Auf dieser Basis können Abweichungen zu normativen Annahmen quantifiziert, Einflüsse von Belagstyp, Alterung und Nässe untersucht sowie die Eignung bestehender Klassifikationen bewertet werden. Langfristig eröffnet sich die Möglichkeit, aktualisierte oder erweiterte Modelle zur Beschreibung von Fahrbahnreflexionen abzuleiten und so zu einer präziseren und energieeffizienteren Planung von Straßenbeleuchtungsanlagen beizutragen.

In-situ Measurement of the Reflection Properties of Road Surface Layers Using Mobile Measurement Technology

Yannic Nießen

TU Berlin

niessen@tu-berlin.de

The lighting design of road lighting systems is fundamentally based on knowledge of the reflection properties of road surfaces. Since road users perceive not the illuminance but the resulting luminance, the description of directional reflection through the luminance coefficient $q = \frac{L}{E}$ is of central importance. In practice, standardized R-tables (R1–R4) are used for this purpose. These are derived from historical goniometer measurements of typical road surface materials and still form the basis of normative calculation methods (e.g., EN 13201). However, these tables represent a strong simplification of real reflection properties and are largely based on measurement data from the second half of the 20th century. Modern road surface layers differ significantly in terms of material composition, texture, and aging behavior. In addition, new lighting technologies—particularly LED systems with directional light distribution and altered spectra—result in different illumination geometries. The influence of wet conditions is also insufficiently represented in existing models. Against this background, the representativeness of the established R-classes for current road infrastructures is increasingly questionable.

The aim of the proposed dissertation is the development and testing of a mobile measurement system for the in-situ determination of directional luminance coefficients of road surfaces. For this purpose, a measurement vehicle is used that combines a defined illumination geometry using an LED light source with directional luminance measurements. By determining the luminance difference between activated and deactivated illumination (ΔL), as well as measuring the local illuminance E , the luminance coefficient can be calculated for selected angular configurations. In addition, vehicle state parameters such as vehicle orientation and distance to the road surface are recorded in order to compensate for geometric influences.

This approach enables, for the first time, a systematic, spatially resolved acquisition of the reflection properties of real roads under practical conditions. On this basis, deviations from normative assumptions can be quantified, and the influence of pavement type, aging, and wetness can be investigated. Furthermore, the suitability of existing classifications can be evaluated. In the long term, this opens up the possibility of deriving updated or extended models for describing road surface reflections, thereby contributing to more precise and energy-efficient planning of road lighting systems.

Virtuelle Bewertung adaptiver Abblendlichtverteilungen: Multipixel-LEDs für verbesserte Verkehrssicherheit und Komfort

Hannes Hoppen

HS Magdeburg-Stendal

hannes.hoppen@partner.h2.de

Die fortlaufende Entwicklung von Multipixel-LED-Lichtquellen ermöglicht die Realisierung hochdynamischer Lichtfunktionen. Diese Funktionen bieten das Potenzial, psychologische Blendung unter widrigen Wetterbedingungen zu reduzieren und die Objekterkennungsdistancen zu erhöhen, wodurch sie zu einer verbesserten Verkehrssicherheit und einem gesteigerten Fahrkomfort beitragen. Allerdings erfordern die Entwicklung und Validierung solcher dynamischer Lichtfunktionen in der Regel umfangreiche Feldversuche und kostspielige Prototypen.

Um Entwicklungszyklen zu beschleunigen und Aufwand sowie Kosten zu reduzieren, stützt sich der Entwicklungsprozess zunehmend auf valide Simulationsumgebungen. Virtuelle Tests ermöglichen eine kontinuierliche Verfügbarkeit, eine schnelle Iteration von Lichtkonzepten sowie eine effiziente Umsetzung von Parameteränderungen, insbesondere im Kontext von Nutzerstudien.

Diese Arbeit präsentiert das Studiendesign einer virtuellen Fahrstudie, in der zwei adaptive Abblendlichtverteilungen in eine virtuelle Umgebung übertragen werden. Eine geplante Probandenstudie untersucht das Potenzial von Multipixel-LED-Systemen zur Reduzierung der psychologischen Blendung und zur Erhöhung der Objekterkennungsdistanz unter anspruchsvollen Bedingungen. Darüber hinaus werden die Vorteile und Grenzen der virtuellen Testumgebung kritisch eingeordnet und bestehende Herausforderungen aufgezeigt. Zunächst wird ein Überblick über den aktuellen Stand adaptiver Abblendlichtverteilungen sowie über die eingesetzte virtuelle Umgebung gegeben. Anschließend werden die Methodik der Studie, einschließlich Versuchsaufbau und geplanter Durchführung, beschrieben. Abschließend werden die Grenzen des Ansatzes diskutiert und zukünftige Entwicklungsschritte skizziert.

Zusammenfassend verdeutlicht dieser Beitrag das erhebliche Potenzial von Multipixel-LED-Systemen in Kombination mit virtuellen Entwicklungsumgebungen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und des Fahrkomforts bei gleichzeitiger deutlicher Beschleunigung der Entwicklungsprozesse. Zudem unterstreicht er die Rolle simulationsbasierter Ansätze als zentralen Schlüsselfaktor für innovative Lichtfunktionen in softwaredefinierten Fahrzeugen sowie für eine verkürzte Zeit bis zur Markteinführung.

Virtual Evaluation of Adaptive Passing Beam Distributions: Multipixel LEDs for Improved Traffic Safety and Comfort

Hannes Hoppen

HS Magdeburg-Stendal

hannes.hoppen@partner.h2.de

The continuous development of multipixel LED light sources enables the realization of highly dynamic lighting functions. These functions offer the potential to reduce discomfort glare under adverse weather conditions and to increase object detection distances, thereby contributing to improved traffic safety and enhanced driving comfort. However, the development and validation of such dynamic lighting functions typically require extensive field testing and costly prototypes.

To accelerate development cycles and reduce effort and costs, the development process increasingly relies on validated simulation environments. Virtual testing enables continuous availability, rapid iteration of lighting concepts, and efficient implementation of parameter changes, particularly in the context of user studies.

This paper presents the study design of a virtual driving study in which two adaptive passing beam distributions are transferred into a virtual environment. A planned subject study investigates the potential of multipixel LED systems to reduce discomfort glare and to increase object detection distance under challenging conditions. In addition, the advantages and limitations of the virtual testing environment are critically assessed, and existing challenges are identified. First, an overview of the current state of adaptive passing beam distributions and the applied virtual environment is provided. This is followed by a description of the study methodology, including the experimental setup and the planned execution of the study. Finally, the limitations of the approach are discussed, and future development steps are outlined.

In summary, this contribution demonstrates the significant potential of multipixel LED systems in combination with virtual development environments to enhance traffic safety and driving comfort while substantially accelerating development processes. Furthermore, it highlights the role of simulation-based approaches as a key factor for innovative lighting functions in software-defined vehicles and for reducing time to market.

Validierungsmethodik bei der Lichtberechnung mit physik-basierten Renderern

Mike Bartscher

HAW Hamburg

mike.bartscher@haw-hamburg.de

Das Lichtdesign in modernen Gebäuden hat zwei Schlüsselrollen. Zum einen muss es den gesetzlichen Vorgaben entsprechen. Auf der anderen Seite ist das Lichtdesign essenziell für das Wohlbefinden der Nutzer von Gebäuden. Dabei geht es nicht ausschließlich darum, bestimmte Lichtstärken zu erreichen, sondern vor allem auch darum, Lichtqualitäten wie Lichtfarbe, Blendung sowie die Nutzung von Tageslicht zu berücksichtigen. Ein schlechtes Lichtdesign kann also zu einem geringen Nutzerkomfort führen, für einen hohen Energieverbrauch verantwortlich sein und im schlimmsten Fall auch gesundheitliche Schäden wie z.B. Kurzsichtigkeit verursachen.

Die Software-Programme (Renderer der Computergrafik), die Lichtplaner aktuell zur Lichtberechnung verwenden, nutzen algorithmische Verfahren, welche zwar die Lichtstärken im Raum korrekt berechnen, dabei jedoch im Bereich der Materialabbildung Limitierungen haben. Das bedeutet konkret, dass z.B. reflektierende Materialien und deren Auswirkung auf die Wahrnehmung nicht berücksichtigt werden können.

Da in der Render-Technik in den letzten Jahren große Weiterentwicklungen stattgefunden haben, sollen aktuelle, physik-basierte Render-Engines hinsichtlich ihrer Genauigkeit untersucht werden. Hierfür soll gezielt ein Modell-Raum als Maßstabsmodell hergestellt werden, in dem reale Werte gemessen werden, die dann wiederum mit einem digitalen Zwilling in den Renderern verglichen werden.

Der Vortrag leitet in das Thema der Render-Engines ein, sowie in den Prozess, der zur Validierung dieser führen soll. Das Projekt ist Teil einer Promotionsarbeit, welche in Q2 2026 startet und das Thema der Testfälle zur Beurteilung der Genauigkeit von Beleuchtungscomputerprogrammen (CIE 171:2006) aufgreift. Ziel ist es, Renderer auf ihre Genauigkeit hin überprüfen zu können. Damit Lichtplaner einschätzen können, ob ihre Visualisierungen den gesetzlichen Bestimmungen entsprechen, und Lichtplanungen hinsichtlich Materialeinsatz und Tageslichtnutzung effizienter gestalten.

Validation for accurate lighting calculation using Physically Based Rendering

Mike Bartscher

HAW Hamburg

mike.bartscher@haw-hamburg.de

Lighting design in modern buildings plays two key roles. First, it must comply with legal requirements. Second, lighting design is essential for the well-being of building occupants. This involves not only achieving specific light intensities but also, and perhaps more importantly, considering light qualities such as color temperature, glare, and the use of daylight. Poor lighting design can therefore lead to reduced user comfort, high energy consumption, and, in the worst-case scenario, even health problems such as myopia (short-sightedness).

The software programs (render engines of computer graphics) that lighting designers currently use for lighting calculations employ algorithmic methods that accurately calculate light intensities in a space but have limitations in material rendering. Specifically, this means that reflective materials and their impact on perception cannot be taken into account.

Since rendering technology has advanced significantly in recent years, current, physics-based rendering engines will be examined for their accuracy. For this purpose, a model space will be created as a scale model in which real-world values will be measured and then compared with a digital twin in the renderers.

The presentation will introduce the topic of render engines and the process for their validation. This project is part of a doctoral dissertation, which will begin in Q2 2026 and addresses the topic of test cases to assess the accuracy of lighting computer programs (CIE 171:2006). The goal is to be able to verify the accuracy of renderers, enabling lighting designers to assess whether their visualizations comply with legal regulations and to design lighting plans more efficiently with regard to material usage and daylight utilization.

Strategien zur Feedback-gesteuerten Mehrkanal-LED-Regelung

*Adrian Zwenger, Brandon Fobugwe, Julian Klabes, Paul Myland, Tran Quoc Khanh
TU Darmstadt*

zwenger@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Mehrkanal-LED-Systeme ermöglichen eine flexible Anpassung und adaptive Personalisierung von Helligkeit, Lichtfarbe und Farbwiedergabe. Allerdings führen Umweltfaktoren wie Temperaturänderungen, LED-Alterung und Fremdlichtquellen zu dynamischen und statischen Abweichungen in der emittierten spektralen Leistungsverteilung. Diese Abweichungen beeinflussen die Farbwiedergabe und die wahrgenommene Lichtfarbe über die Zeit hinweg. Damit eine Beleuchtung, welche auf Änderungen der Farbwiedergabe oder der spektralen Leistungsdichte reagiert, robust gegenüber solchen Einflüssen implementiert werden kann, ist eine Feedback-Regelung erforderlich. Bisherige Regelungsstrategien aus der Literatur konzentrieren sich jedoch meist nur auf einzelne Aspekte, wie das radiometrische oder photometrische Integral, die Abweichung zwischen spektraler Ist- und Soll-Leistungsdichte oder die Differenz zwischen gemessener und erwarteter Lichtfarbe. Keine der bestehenden Strategien berücksichtigt alle relevanten Parameter gleichzeitig. In diesem Beitrag werden etablierte Regelungsstrategien für Mehrkanal-LED-Systeme vorgestellt und diskutiert. Darüber hinaus wird eine neue Strategie vorgeschlagen, die die Vorteile der bestehenden Ansätze kombiniert. Erste experimentelle Ergebnisse werden präsentiert.

Strategies for Closed-Loop Multichannel LED Control

Adrian Zwenger, Brandon Fobugwe, Julian Klabes, Paul Myland, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

zwenger@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Multi-channel LED systems enable flexible adjustment and adaptive personalization of brightness, light colour, and colour rendering. However, environmental factors such as temperature fluctuations, LED degradation, and external light sources cause dynamic and static deviations in the emitted spectral power distribution. These deviations compromise colour rendering and alter the perceived light colour over time. To implement lighting systems that respond to changes in colour rendering or spectral power density while remaining robust against such influences, feedback control is essential. Existing control strategies in the literature typically address only individual aspects: the radiometric or photometric integral, deviations between actual and target spectral power density, or discrepancies between measured and expected light colour. No existing strategy simultaneously accounts for all relevant parameters. This paper presents and discusses established control strategies for multi-channel LED systems and proposes a novel approach that integrates the advantages of existing methods. Preliminary experimental results are presented.

Einfluss dynamischer spektraler Leistungsverteilungen auf die Lagerstabilität lichtsensibler Güter und deren technische Realisierung in personensicheren Umgebungen

Taras Yuzkiv, Adrian Zwenger, Felix Wirth, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

taras.yuzkiv@schuch.de

Die Forschungsarbeit untersucht die signifikanten Qualitätsverluste in der Intralogistik, die durch unspezifische Beleuchtung lichtsensibler Güter entstehen (Food Waste). Primäres Forschungsziel ist die Ermittlung warenspezifischer Lichtspektren, die den biochemischen Verderb, wie zum Beispiel: Solaninbildung bei Nachtschattengewächsen oder Photooxidation bei Fetten minimieren und somit die Lagerhaltbarkeit signifikant verlängern. Um den Zielkonflikt zwischen dieser produktschonenden Spezialbeleuchtung und den normativen Sicherheitsanforderungen für Mitarbeiter zu lösen, wird ein Konzept für "Cognitive Lighting" erforscht.

Der methodische Ansatz basiert auf einer Sensorfusion, die mittels Time-of-Flight (ToF) Technologie eine robuste, datenschutzkonforme Präsenzerkennung von Personen gewährleistet und bei Anwesenheit unverzüglich auf ein sicherheitskritisches Weißlichtspektrum mit hoher Farbwiedergabe und hoher Beleuchtungsstärke für die optimale Arbeitsbedingung der Lagermitarbeiter umschaltet. In Ruhephasen soll das System durch multispektrale Güterererkennung (z.B. via NIR) autonom in den erforschten, haltbarkeitsverlängernden Beleuchtungsmodus wechseln. Die Arbeit quantifiziert abschließend den logistischen Mehrwert durch den Vergleich der Lagerdauer unter Standardbedingungen gegenüber den neu definierten, spektral optimierten Szenarien.

Influence of Dynamic Spectral Power Distributions on the Storage Stability of Light-Sensitive Goods and their Technical Implementation in Person Safe Environments

Taras Yuzkiv, Adrian Zwenger, Felix Wirth, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

taras.yuzkiv@schuch.de

This research project investigates significant quality losses in intralogistics resulting from non-specific illumination of light-sensitive goods (food waste). The primary research objective is the determination of product-specific action spectra that minimize biochemical spoilage, such as solanine formation in nightshades or photooxidation in fats, thereby significantly extending shelf life. To resolve the trade-off between this product-preserving special illumination and normative safety requirements for personnel, a concept for "Cognitive Lighting" is investigated.

The methodological approach is based on sensor fusion utilizing Time-of-Flight (ToF) technology to ensure robust, privacy-compliant human presence detection, switching instantaneously to a safety compliant white light spectrum with high color rendering index and high illuminance upon detection. During idle phases, the system is designed to autonomously switch to the identified shelf life extending illumination modes via multispectral material recognition (e.g., using NIR sensors). Finally, the study quantifies the logistical added value by comparing storage duration under standard conditions against the newly defined, spectrally optimized scenarios.

Grundsätze der Symbolgestaltung und Helligkeitskonfiguration für Anzeige- und Signaleinheiten im Bereich der AV-Kommunikation

Jonas Bix, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

bix@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Die in dieser Untersuchung analysierten internationalen Normen und Spezifikationen bilden gemeinsam einen normativen Rahmen für die Gestaltung, Bewertung und Lesbarkeit von visuellen Kommunikationssystemen in automatisierten Straßenfahrzeugen.

ISO23049:2018 und die zukünftige ISO23735:2025 befassen sich mit ergonomischen Anforderungen für externe visuelle Schnittstellen in Fahrzeugen der SAE-Level 4 und 5. Sie untersuchen, wie autonome Fahrzeuge ihren Status, ihre Absicht und ihr Verhalten anderen Verkehrsteilnehmern verständlich, sicher und sozial akzeptabel mitteilen können, sobald traditionelle Fahrerinteraktionen entfallen.

ISO2575:2021 definiert einen einheitlichen Satz grafischer Symbole für Bedienelemente, Anzeigen und Kontrollleuchten und schafft damit eine sprachunabhängige Grundlage für konsistente visuelle Kommunikation.

Die ISO9186-Reihe liefert empirische Testverfahren zur Bewertung der Verständlichkeit, visuellen Erkennbarkeit und Bedeutungszuordnung dieser Symbole unter realistischen Nutzungsbedingungen.

Abschließend ergänzt DIN1450:2024-11 den Rahmen mit verbindlichen Anforderungen zur Schriftlesbarkeit, wobei Wahrnehmungsbedingungen, Betrachtungsabstände und Nutzerdiversität berücksichtigt werden. Gemeinsam bilden diese Normen eine ergänzende Grundlage für die nutzerzentrierte, sicherheitskritische Gestaltung von visuellen Kommunikationssystemen in Innen- und Außenumgebungen für automatisierte Fahrzeuge.

Principles of symbol design and brightness configuration for display and signaling units in the context of AV-communication

Jonas Bix, Tran Quoc Khanh

TU Darmstadt

bix@lichttechnik.tu-darmstadt.de

The international standards and specifications examined herein collectively establish a normative framework for the design, evaluation, and legibility of visual communication systems in automated road vehicles.

ISO23049:2018 and the forthcoming ISO23735:2025 focus on ergonomic requirements for external visual interfaces in SAE Levels4 and5 vehicles, exploring how autonomous cars can convey status, intent, and behavior to other road users in a comprehensible, safe, and socially acceptable manner once traditional driver interactions are removed.

ISO2575:2021 defines a uniform set of graphic symbols for controls, displays, and indicator lights, providing a language-independent basis for consistent visual communication.

The ISO9186 series supplies empirical test methods to evaluate the comprehensibility, visual recognizability, and meaning assignment of these symbols under realistic usage conditions.

Finally, DIN1450:2024-11 supplements the framework with binding requirements for font legibility, addressing perception conditions, viewing distances, and user diversity. Together, these standards form a complementary foundation for user-centric, safety-critical design of visual communication systems in both indoor and outdoor environments for automated vehicles.

Näherung von inkohärenten und teilweise kohärenten Lichtquellen in Finite-Difference Time-Domain Simulationen

Dominik Metzner

L-LAB, Lippstadt

dominik.metzner@forvia.com

Mit zunehmend kleiner werdenden Oberflächenstrukturen auf Optiken treten Beugungsphänomene auf, die berücksichtigt werden müssen. Oftmals führen kohärente Lichtquellen zu klaren Beugungseffekten, jedoch sind Laserquellen in der Realität und in der Massenproduktion eher unwirtschaftlich. Aus diesem Grund werden in optischen Systemen monochromatische oder polychromatische LEDs verwendet. Abhängig von der Kohärenzlänge der LED und der Distanz zwischen Optik und Lichtquelle können Beugungseffekte auch durch LED Licht realisiert werden. Um diese Streueffekte adäquat aufzeigen zu können werden im folgenden unterschiedliche Näherungsmethoden für inkohärente Lichtquellen vorgestellt und diese entsprechend moduliert, sodass der Grad der Kohärenz innerhalb der Simulation angepasst werden kann. Es werden unterschiedliche Methoden wie ein Dipolansatz, ein Ansatz mit ebenen Wellen und mit Gaußstrahlen gegenübergestellt und mit der Korrelationsfunktion verglichen. Zudem wird der ebene-Wellen-Ansatz genutzt um mittels Interpolation von Kohärenzpunkten eine Aussage über das Verhalten von zugeführter Kohärenz und resultierender Kohärenz treffen zu können. Es stellt sich heraus, dass dieses Verhalten einer Exponentialfunktion entspricht.

Approximation of Incoherent and Partially Coherent Light Sources in Finite-Difference Time-Domain Simulations

Dominik Metzner

L-LAB, Lippstadt

dominik.metzner@forvia.com

With progressively decreasing feature sizes on optical surfaces, diffraction phenomena become increasingly significant and must be taken into account. While coherent light sources often produce clearly observable diffraction effects, laser sources are generally uneconomical in practical applications and large-scale manufacturing environments. For this reason, monochromatic or polychromatic LEDs are commonly employed in optical systems. Depending on the coherence length of the LED and the distance between the optical element and the light source, diffraction effects can also be realized using LED illumination. In order to adequately describe these scattering phenomena, several approximation methods for incoherent light sources are introduced and adapted such that the degree of coherence can be controlled within the simulation framework. Different approaches, including a dipole-based model, a plane-wave representation, and a Gaussian-beam formulation, are compared and evaluated with respect to the first-order correlation function. Furthermore, the plane-wave approach is employed to investigate the relationship between imposed coherence and resulting coherence by interpolating coherence sampling points. It is found that this relationship follows an exponential behavior.

VR-basierte Visualisierung von Lichtsituationen im Außenraum für Forschung und Beteiligungsprozesse am Beispiel des Tools PARTICLE

Carolin Liedtke, Roland Greule, Anna Carena Mosler

HAW Hamburg

carolin.liedtke@haw-hamburg.de

Die Nutzung von Virtual Reality (VR) gewinnt in der Lichtplanung und Lichtforschung zunehmend an Bedeutung, da sich Beleuchtungskonzepte bereits in früh realitätsnah erproben lassen. In BIM-basierten Lichtplanungs-Prozessen unterstützt VR die Beurteilung von Lichtwirkungen und erleichtert dadurch die Kommunikation komplexer Planungsinhalte. Auch in der Forschung finden VR-Szenarien Anwendung, etwa bei psychophysikalischen Untersuchungen zu Blendung oder Lichtverteilungen. Technische Limitierungen – wie eingeschränkte Leuchtdichte- und Kontrastwerte von VR-Displays sowie der hohe Aufwand bei der realistischen Material- und Spektralmodellierung – begrenzen jedoch die Übertragbarkeit auf reale Lichtsituationen. Weiterhin kann die immersive Darstellung die Wahrnehmung der Versuchspersonen beeinflussen.

Vor diesem Hintergrund wird an der HAW Hamburg das Tool PARTICLE entwickelt. PARTICLE ist ein Hard- und Softwaretool zur Visualisierung und Analyse von Außenbeleuchtungssituationen in urbanen Räumen. Entwickelt im Rahmen des EU-Interreg-Nordseeprojekts DARKER SKY verfolgt PARTICLE das Ziel, partizipative Planungsprozesse für ökologisch verträgliche Außenbeleuchtung zu unterstützen. Zentral ist dabei die Verbindung von immersiver VR und kollaborativen Interaktionsmöglichkeiten, die einen transparenten Austausch zwischen Fachplanenden, kommunalen Akteuren und einer breiten Öffentlichkeit ermöglicht.

Während einzelne Personen die Situation mittels VR-Brille immersiv erleben, analysieren mehrere andere Beteiligte am Touchtable Stadtquartiere aus der Vogelperspektive. Parameter wie Leuchtenhöhe oder -abstand können unmittelbar verändert und deren Auswirkungen visualisiert werden, was insbesondere für fachfremde Nutzerinnen und Nutzer einen erheblichen Mehrwert darstellt, da unterschiedliche Lichtstärkeverteilungen verständlich und vergleichbar werden.

Im Kontext der Lichtverschmutzung rückt zunehmend das subjektive Sicherheitsempfinden von Nutzerinnen und Nutzern in den Fokus, wobei der Zusammenhang zwischen Beleuchtungsniveau oder Farbtemperatur und wahrgenommener Sicherheit bislang weder eindeutig noch ausreichend erforscht ist. PARTICLE ermöglicht es, Untersuchungsansätze zu erproben, indem reale und virtuelle Lichtsituationen vergleichend evaluiert werden. Erste Tests mittels psychologischer Fragebögen sowie physiologischer Indikatoren wie Herzratenvariabilität weisen dabei auf vielversprechende Potenziale hin, die weiter vertieft werden sollen.

Der Beitrag stellt den aktuellen Stand des Wissens für die VR-basierte Lichtvisualisierung im Kontext von Lichtplanung und Lichtforschung vor und gibt Einblicke und Hintergründe zur Entstehung und ersten Erprobung des Tools PARTICLE. Eine mobile Version bestehend aus Laptop und VR-Brille kann live erlebt und kritisch betrachtet werden.

VR-based outdoor lighting visualisation for research and participatory processes as implemented in the PARTICLE tool

Carolin Liedtke, Roland Greule, Anna Carena Mosler

HAW Hamburg

carolin.liedtke@haw-hamburg.de

The use of virtual reality (VR) is becoming increasingly important in lighting design and lighting research, as it allows lighting concepts to be tested realistically at an early stage. In BIM-based lighting design processes, VR supports the assessment of lighting effects and thereby supports the communication of complex design details. VR scenarios are also used in research, for example in psychophysical studies on glare or light distribution. However, technical limitations – such as the restricted luminance and contrast values of VR displays, as well as the considerable effort involved in realistic material and spectral modelling – limit the transferability to real-world lighting situations. Furthermore, the immersive representation may influence the perception of test subjects.

Within this context, the PARTICLE tool is being developed at HAW Hamburg. PARTICLE is a hardware and software tool for visualising and analysing outdoor lighting scenarios in urban areas. Developed as part of the EU Interreg North Sea project DARKER SKY, PARTICLE aims to support participatory planning processes for environmentally sustainable outdoor lighting. Its central feature is the combination of immersive VR and collaborative interaction options, which enables transparent dialogue between lighting designers, operators, local stakeholders and the wider public. While individuals experience the situation immersively through VR headsets, several other participants analyse and discuss urban neighbourhoods from a bird's-eye view at the touch table.

Parameters such as luminaire height or spacing can be adjusted in real time and their effects visualised, which offers significant added value, particularly for lay users, as it makes different luminous intensity distributions understandable and comparable.

In the context of light pollution, the public focus is shifting increasingly towards users' subjective feeling of safety, although the relationship between lighting levels or colour temperature and perceived safety has not yet been researched clearly or sufficiently. PARTICLE enables research approaches to be tested by comparatively evaluating real and virtual lighting situations. Initial tests using psychological questionnaires and physiological indicators such as heart rate variability point to promising potential, which is to be explored in deeper detail.

This contribution outlines the current state of knowledge regarding VR-based light visualisation in the context of lighting design and lighting research and provides insights and background information on the development and initial testing of the PARTICLE tool. A mobile version comprising a laptop and VR headset can be experienced live and evaluated critically.

Mit freundlicher Unterstützung von:

