

Lux junior 2024

17. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs 6. bis 8. 9. 2024 Dörfenfeld/Ilm

Abstracts



Deutsche Gesellschaft für
LichtTechnik+LichtGestaltung

th
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

Lux junior 2024

Abstracts

17. Forum für den lichttechnischen Nachwuchs

6. bis 8. September 2024

Dörnfeld 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 100565, D-98684 Ilmenau
Tel. (03677) 69-3735, Fax (03677) 69-373

11:30 **Mittagessen (Lunch)**

13:00 **Eröffnung (Opening)**

13:15 Prof. Dr. Thomas Römhild (Hochschule Wismar, Vorsitzender der LiTG e. V.)

Vom Data Mining zum Entwurf, Schritt für Schritt zur Lösung komplexer Lichtplanungsarbeiten

From Data Mining to Design, Step by Step to Solving Complex Lighting Design Tasks

14:00 Dr. Carsten Funke (Audi, Ingolstadt)

Innovative Entwicklungen in der automobilen Lichttechnik

Innovative developments in automotive lighting technology

14:45 **Kaffeepause (Coffee Break)**

15:45 Prof. Dr. Christoph Schierz (TU Ilmenau, FG Lichttechnik)

100 Jahre $V(\lambda)$ – Wie geht es weiter?

100 years of $V(\lambda)$ - What's next?

16:30 Dr. Udo Krüger (Technoteam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau)

Spektralwertfunktionen für die wahrnehmungsbasierte und messtechnische Bewertung von Szenen

Color Matching Functions for Perception-based and Metrological Evaluation of Scenes

18:00 **Abendessen (Dinner)**

Posterausstellung

Haydee Badermann, Frauke Heidebroek, Johannes Ledig (TU Braunschweig)

Erfassung und Auswertung einer realen Beleuchtungssituation in einem Messraum der TU Braunschweig

Measurement and calculation of a real lighting installation in a laboratory room of the TU Braunschweig

8
9

Ronak Mahpeyma, Y Quynh Nguyen (TU Braunschweig)

Erfassung und Auswertung einer realen Beleuchtungssituation in einem Flur der TU Braunschweig

Measurement and calculation of a real lighting installation in a corridor of the TU Braunschweig

7:30	Frühstück (Breakfast)	
8:40	Dominik Metzner (L-Lab Lippstadt) Possibilities of the Finite-Difference Time-Domain Method for Hybrid Optical Simulationsen	11
9:00	Bjarne Grunenberg, Melanie Helmer, Svenja Wepfer, Roland Lachmayer (Mercedes-Benz AG, Sindelfingen) Methode zur Quantifizierung optischer Eigenschaften von Lichtleitermaterialien Method for quantifying optical properties of light-guiding materials	12 13
9:20	Vesselin Valkov, Valchan Georgiev, Dilyan Ivanov, Iva Petrinska (Technical University of Sofia, BG) Investigation of the electric quantities and harmonic analysis of a LED luminaire for street lighting, fed by different drivers	15
10:00	Metin Aydanov Ibryamov, Orlin Lyubomirov Petrov (University of Ruse, Bulgarien) Comparison of virtually determined and measured in real conditions parameters of different light sources	17
10:20	Tianshu Chen, Alexander Herzog, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) Detection of the stroboscopic effects in individuals with myopia and normal vision	19

10:40	Kaffeepause (Coffee Break)	
11:00	Leonhard Dudzik, Klaus Trampert, Cornelius Neumann (Karlsruhe Institute for Technology KIT) Die Rolle des Lichtschwerpunkts und sein Unsicherheitsbeitrag für photogoniometrische Messungen Investigation on the influence and uncertainty contribution of the photometric center on photogoniometric measurements	20 21
11:20	Maatje Hilmer (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) Betriebsparameter und Langzeitstabilität von Leuchtdichtenormalen Operating parameters and long-term stability of luminance standards	22 23
11:40	Carolin Lambeck (TU Berlin), Priji Balakrishnan (TU Berlin und Karlsruhe Institute for Technology KIT) Messung der lichttechnischen und spectralen Charakteristik der Lichttransmission durch eine Buche in den Innenraum: Eine Fallstudie Measuring the Luminous and Spectral Characteristics of Light Transmitted through a Beech Tree Indoors: A Case Study	24 25
12:00	Haydee Badermann, Johannes Ledig (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) Charakterisierung von Photometern für hohen Beleuchtungsstärken Characterization of photometers for high illuminance levels	26 27
12:20	Till Schwarznecker, Maatje Hilmer, Johannes Ledig (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) Betriebsbedingungen und Alterung von Lichtstärkennormallampen Operating conditions and ageing of luminous intensity standards	28 29
12:40	Mittagspause (Lunch Break)	

14:00	<p>Brandon Fobugwe, Julian Klages, Alexander Herzog, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)</p> <p>Entwicklung und Validierung eines EEG-Systems zur Analyse visueller Wahrnehmung und Beurteilung der Eignung eines solchen Systems für die lichttechnische Forschung</p> <p>Development and validation of an EEG system for analyzing visual perception and assessment of the suitability of such a system for lighting technology research</p>	30 31
14:20	<p>Elisabeth Kemmler, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)</p> <p>Untersuchung psychologischer Blendung durch eine LED-Lichtquelle bei verschiedenen Leuchtdichteniveaus</p> <p>Investigation of discomfort glare caused by LED light at different luminance levels</p>	32 33
14:40	<p>Mehmet Alp Cehri, Maximilian Baumann, Klaus Trampert, Cornelius Neumann (Karlsruhe Institute for Technology KIT)</p> <p>Untersuchung einer cyan-farbigen Signalleuchte zur Kommunikation im autonomen Mischverkehr</p> <p>Study on a cyan-colored signal lamp for communication in mixed autonomous traffic</p>	34 35
15:00	<p>Felix Feist (TU Ilmenau)</p> <p>Konzept zur Bestimmung individueller melanopischer Größen durch IoT-Sensorik</p> <p>Concept for determining individual melanopic values using IoT sensor technology</p>	36 37
15:20	Kaffeepause (Coffee Break)	
16:00	<p>Workshops in Gruppen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ortsaufgelöste Leuchtdichtemessung 2. Messung von Kenngrößen für die chronobiologische Lichtwirkung 	
18:00	Abendessen (Dinner)	

7:30	Frühstück (Breakfast)	
8:40	Mirko Waldner, Nathalie Müller, Torsten Bertram (TU Dortmund) Matrix Headlight Control Loop for Undistorted Symbol Projection	39
9:00	Nathalie Müller, Mirko Waldner, Torsten Bertram (TU Dortmund) Concept of a Matrix Headlight Control Loop for Enhanced Object Detection in Automated Driving	41
9:20	Matthias Schelhorn (HS Magdeburg-Standel), Kaijie Luan, Torsten Nelke (CREAT GmbH, Wolfsburg) Benedikt Lamontain (HS Magdeburg-Stendal) Skriptbasierte Homogenitätsbewertung automobiler Lichtsignalfunktionen Script-Based Homogeneity Assessment of Automotive Light Signal Functions	42 43
9:40	Leonard Hänsel (L-Lab Lippstadt), Torsten Bertram (TU Dortmund) Untersuchungen zur Umfeldwahrnehmung mittels eines Dynamic Vision Sensor Systems im Kontext des automatisierten Fahrens Investigations into environment perception using a dynamic vision sensor system in the context of automated driving	44 45
10:00	Michael Greulich, Maximilian Baumann, Klaus Trampert, Cornelius Neumann (Karlsruhe Institute for Technology KIT) Charakterisierung eines Displays als Kommunikationsschnittstelle eines autonomen Fahrzeugs Characterization of a Display as Human-Machine-Interface for Autonomous Vehicles	46 47
10:20	Kaffeepause (Coffee Break)	
11:00	Sadetin Basri, Orlin Lyubomirov Petrov, Evgeni Enchev (University of Ruse; BG) Intelligent lighting system with artificial intelligence for greenhouses	49
11:20	Felix Wirth (TU Darmstadt) Erforschung der Veränderung der spektralen Reflektion von Blättern aufgrund verschiedener biochemischer Inhaltsstoffe Exploring the change of spectral reflectances of leaves due to different biochemical constituents	50 51
11:40	Lennart Fedler, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) Untersuchung von Algenwachstum unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen Investigation of algae growth under different irradiation conditions	52 53
12:00	Adrian Zwenger, Jens Balasus, Stefan Klir, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) Herausforderungen bei der Modellierung der Nettophotosyntheserate in Abhängigkeit der spektralen Photonenflussdichte Challenges in Modelling Photosynthesis as a Function of Spectral Photon Flux Density	54 55
12:20	Verabschiedung und Mittagessen (Closure and Lunch)	

Erfassung und Auswertung einer realen Beleuchtungssituation in einem Messraum der TU Braunschweig

Haydee Badermann, Frauke Heidebroek, Johannes Ledig

Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

h.badermann@tu-braunschweig.de

Im Rahmen des an der TU Braunschweig angebotenen Laborpraktikums „Raumbeleuchtung“ werden theoretische Kenntnisse aus der begleitenden Vorlesung Lichttechnik anhand der Erfassung und Auswertung einer realen Beleuchtungssituation praktisch angewendet. Die Studierenden nehmen dabei die Perspektive eines Gutachters oder einer Gutachterin ein, um die Beleuchtungssituation zu bewerten. Zur Auswahl stehen geeignete Räume mit modernen Beleuchtungssystemen (mit Kenntnis der Leuchtendaten) und unterschiedlicher Sehaufgabe/Tätigkeit.

Die Analyse der Beleuchtungssituation umfasst dabei zwei verschiedene Vorgehensweisen: einerseits wird eine fachgerechte Beleuchtungsstärkemessung mit einem Photometer für Beleuchtungsstärke durchgeführt. Ergänzend dazu werden die Raumeigenschaften, einschließlich Geometrie und Oberfläche, erfasst und die Beleuchtungssysteme von Hand (Punktbeleuchtungsverfahren und Wirkungsgradverfahren) berechnet. Zum anderen erfolgte eine Modellierung und Simulation mittels der Software DIALux evo. Abschließend werden die Ergebnisse ausgewertet, verglichen und in Form eines Posters präsentiert.

In diesem Tagungseitrag werden die durch eine Kleingruppe erzielten Ergebnisse für den fensterlosen Laborraum 052 im Gebäude des Laboratory for Emerging Nanometrology (LENA) der TU Braunschweig vorgestellt. Dieser Raum ist mit sechs Leuchten vom Typ Montigo 1500 P 3300-840 ETDD des Herstellers Trilux ausgestattet. Neben der Beleuchtungsstärkeverteilung werden auch die Gleichmäßigkeit, ein detailgetreues Rendering sowie der Raumwirkungsgrad und der Direktanteil betrachtet.

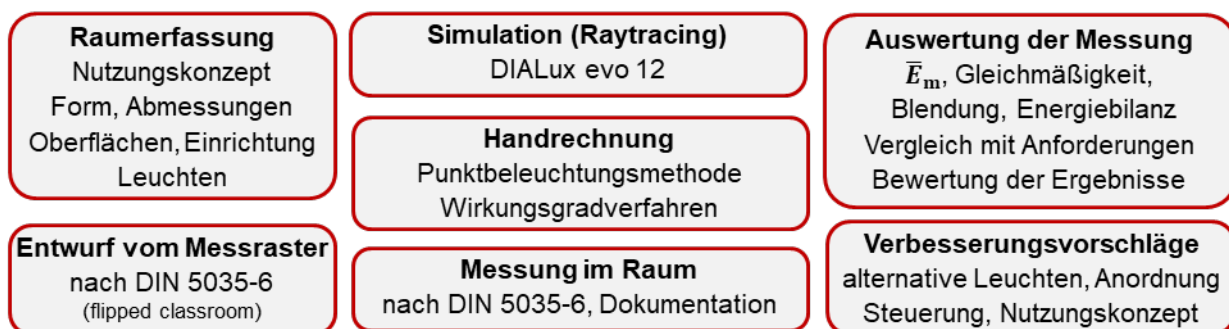


Abbildung 1:

Übersicht der durch die Kleingruppe im Laborpraktikum zu bearbeitenden Teilaufgaben

Measurement and calculation of a real lighting installation in a laboratory room of the TU Braunschweig

Haydee Badermann, Frauke Heidebroek, Johannes Ledig

Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

h.badermann@tu-braunschweig.de

As part of the laboratory course "Room Lighting" established at TU Braunschweig, theoretical knowledge from the accompanying lecture on "Lighting Technology" is practically applied through the measurement and evaluation of a real lighting scenario. The students take on the role of an assessor to evaluate the lighting situation.

They have the choice between suitable rooms with modern lighting systems (with knowledge of luminaire data) and varying visual tasks/activities. The analysis of the lighting scenario involves two main approaches: firstly, conducting a professional illuminance measurement using a lux meter. Additionally, the room properties, including geometry and surface characteristics, are documented, and the lighting systems are calculated manually (using both the single point calculation and the lumen method). Furthermore, the lighting scenario is modelled and simulated using DIALux evo software. Finally, the results will be evaluated, compared, and presented in the form of a poster.

In this contribution the results achieved by a student group for the windowless laboratory room 052 in the building of the Laboratory for Emerging Nanometrology (LENA) at the TU Braunschweig will be presented. This room is equipped with six luminaires Montigo 1500 P 3300-840 ETDD from the manufacturer Trilux. In addition to the illuminance distribution also the uniformity, a detailed rendering as well as the utilization factor and the direct component of the lighting installation are considered.

Possibilities of the Finite-Difference Time-Domain Method for Hybrid Optical Simulations

Dominik Metzner

L-Lab Lippstadt, Institute for automotive lighting and mechatronics

dominik.metzner@forvia.com

The purpose of this article will be to find a basis for a connection of Ray Tracing simulations and wave propagation methods using Finite-Difference Time-Domain simulations. Since Ray Tracing uses geometric optic only refractive optics is considered. However, in modern lighting systems the optical elements become increasingly smaller resulting in the occurrence of diffractive phenomena. Those phenomena cannot be considered using Ray Tracing simulations. Further possibilities using a Finite-Difference Time-Domain methods to characterize the scattering behavior after the wave passes the optical element and analyse material parameters will be listed.

Index Terms: Ray Tracing, Wave Propagation, Hybrid Optical Simulation

Methode zur Quantifizierung optischer Eigenschaften von Lichtleitermaterialien

*Bjarne Grunenberg, Melanie Helmer, Svenja Wepfer, Roland Lachmayer
Mercedes-Benz AG, Benz-Straße, 71063 Sindelfingen, Germany
bjarne.grunenberg@mercedes-benz.com*

Im Automobil werden für eine Vielzahl von Anwendungen Lichtleitermaterialien eingesetzt, etwa in Form von Linsen in Scheinwerfern, Abdeckscheiben vor Lichtquellen oder Lichtleiter im Fahrzeuginnenraum. Aus diesem breiten Spektrum an Anwendungsfällen und sich stetig verändernden Anforderungen ergibt sich eine ständig steigende Auswahl an Lichtleitermaterialien. Diese Materialien unterscheiden sich wesentlich in ihren physikalischen Eigenschaften, die es sowohl messtechnisch als auch physiologisch zu bewerten gilt. Damit wird sichergestellt, dass die Materialien die vorgegebenen Anforderungen, beispielsweise bezüglich gewünschter Lichtverteilung und Farbhomogenität, erfüllen.

Bisher dient vor allem die Transmissionsmessung nach DIN EN ISO 13468 zur Bewertung von Lichtleitermaterialien. Anhand dieser lässt sich die Transmission von Lichtleitstrecken bis ca. 10 mm spektral aufgelöst messen und bewerten.

Allerdings betragen typische Lichtleitstrecken im Fahrzeug 25 ... 850 mm und sind folglich um ein Vielfaches größer als die bisher in der Norm berücksichtigte Lichtleitstrecke. Daher ist eine Extrapolation der Transmissionsmesswerte nach DIN EN ISO 13468 in Verbindung mit anwendungsspezifischen Versuchen erforderlich, die häufig auf eine experimentelle Herangehensweise zurückgreifen. Diese Versuche sind zum einen ressourcen-, zeit- und kostenintensiv, zum anderen ist eine allgemeingültige und objektive physiologische Beurteilung der Materialien schwierig.

Daher ist eine Methode entwickelt worden, die die optischen Eigenschaften von Lichtleitermaterialien unter Berücksichtigung längerer Lichtleitstrecken und gleichzeitig deren physiologischen Aspekte beurteilt.

Method for quantifying optical properties of light-guiding materials

Bjarne Grunenberg, Melanie Helmer, Svenja Wepfer, Roland Lachmayer

Mercedes-Benz AG, Benz-Straße, 71063 Sindelfingen, Germany

bjarne.grunenberg@mercedes-benz.com

In automobiles, light-guiding materials are used for a variety of applications, for example in the form of lenses in headlamps, cover glasses in front of light sources or light-guides in the vehicle interior. This wide range of applications and constantly changing requirements result in an ever-increasing selection of light-guiding materials. These materials differ significantly in their physical properties, which must be evaluated both metrologically and physiologically. This ensures that the materials meet the specified requirements, for example with regard to desired light distribution and color homogeneity.

So far, transmission measurement according to DIN EN ISO 13468 has primarily been used to evaluate light-guiding materials. Based on this, the transmission of optical paths up to approx. 10 mm can be measured and evaluated spectrally.

However, typical light-guiding distances in the vehicle are 25 ... 850 mm and are therefore many times larger than the light-guiding distance previously taken into account in the standard. Extrapolation of the transmission measured values according to DIN EN ISO 13468 is therefore required in combination with application-specific tests, which often use an experimental approach. These tests are resource-, time- and cost-intensive, and a generally valid and objective physiological assessment of the materials is difficult.

Therefore, a method has been developed that assesses the optical properties of light-guiding materials, taking into account longer light-guiding distances and at the same time their physiological aspects.

Investigation of the electric quantities and harmonic analysis of a LED luminaire for street lighting, fed by different drivers

Vesselin Valkov, Valchan Georgiev, Dilyan Ivanov, Iva Petrinska
Technical University of Sofia, Bulgaria
ipetrinska@tu-sofia.bg

The LED luminaires, especially those used for street and industrial lighting are often with considerable power and turning a great number of them on can lead to unwanted effects on the power quality of the electrical grid. A lot of effort is being made for avoiding this problem, including different control strategies, but it still exists and should not be underestimated.

An investigation of the electrical power quantities, characterizing the operation of a LED luminaire, powered by different LED drivers is carried out – Fig. 1.



Fig. 1. LED street luminaire and drivers under investigation

Harmonic analysis is also been made for the luminaire, when fed by 6 different drivers, each of them having four different operational regimes. For the measurement procedure a Portable Power Quality Analyzer – CIRCUTOR - Fig. 2 is used and for each driver and operation regime, a half an hour record of the current harmonics and power quantities is made.



Measuring device - Portable Power Quality Analyzer – CIRCUTOR

The results obtained are not straight forward and are different for the different drivers, which leads to the conclusion that the problem mentioned still exists and attention should be paid to it.

Comparison of virtually determined and measured in real conditions parameters of different light sources

Mag. Eng. Metin Aydanov Ibryamov, PhD student
University of Ruse; Ruse; BULGARIA
mibryamov@uni-ruse.bg

Asst. Prof. Elitsa Silyanova Ibryamova, PhD
University of Ruse; Ruse; BULGARIA
eibryamova@ecs.uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Orlin Lyubomirov Petrov, PhD
University of Ruse; Ruse; BULGARIA
opetrov@uni-ruse.bg

This study aims to compare the parameters of different light sources determined through virtual simulations and those measured under real-world conditions. By examining various lighting technologies, including Sun, spotlight, and lightbulb, this research seeks to identify the discrepancies and correlations between computational models and empirical data. Analyzed parameters include luminous flux, light intensity and light distribution method. The findings highlight the strengths and limitations of virtual modeling in predicting the performance of lighting sources, providing insights for improving the accuracy of simulations and guiding practical applications in lighting design and optimization.

The research aims to present the lighting parameters that can be implemented virtually. In this way, the created virtual simulation through the developed application can facilitate both trainers and trainees in various disciplines related to lighting. A developed virtual laboratory presents the lighting control objects in a computer-generated 3D environment.

At the end of the report, conclusions and some recommendations from the research are drawn and formulated.

Keywords: lighting virtual laboratory, e-learning, education, system engineering software, lighting sources, lighting parameters.

Detection of the stroboscopic effects in individuals with myopia and normal vision

Tianshu Chen, M.Sc., Dr.-Ing. Alexander Herzog, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh;

Technische Universität Darmstadt

Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

chen@lichttechnik.tu-darmstadt.de

This paper investigates the detection of stroboscopic effects by both myopic and normal vision observers, which occur when objects or light sources move under specific parameters such as duty cycle and speed, potentially leading to discomfort or fatigue in visual perception. Myopic individuals may exhibit unique perceptual responses due to variances in their retinal imaging systems compared to those with normal vision.

The experimental setup incorporates a modulated LED light source with a correlated color temperature of 4500 K, illuminating a black-coated rotation disk adorned with a white dot. The LED is modulated by a square waveform signal with frequencies ranging from 100 Hz to 4200 Hz and different duty cycles. Through the visual experiments, the study examines how both myopic and normal vision observers perceive stroboscopic effects under different experimental conditions, aiming to understand differences in their visibility thresholds. Combined with the method of constant stimuli, the 50 percent detection thresholds were derived for each condition tested.

The results reveal distinct perceptual responses between myopic and normal vision observers across different parameter combinations. These findings contribute to a deeper understanding of visual perception differences between two vision groups and have implications for designing lighting systems that minimize stroboscopic effects, thereby enhancing visual comfort for both groups.

Die Rolle des Lichtschwerpunkts und sein Unsicherheitsbeitrag für photogoniometrische Messungen

Leonhard Dudzik, Klaus Trampert, Cornelius Neumann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)

leonhard.dudzik@kit.edu

Wie viel Licht ein Objekt in bestimmte Richtungen aussendet, wird mithilfe der Lichtstärkeverteilung beschrieben. Sie ist das Ergebnis einer Integration über alle leuchtenden Oberflächen, wodurch das Objekt implizit als Punktquelle beschrieben wird. Die Richtungen der Lichtstärkeverteilung werden in einem Koordinatensystem beschrieben, welches durch den Messaufbau definiert wird. Das Messobjekt muss gegenüber dem Koordinatensystem so ausgerichtet sein, dass der Koordinatenursprung dem Punkt entspricht, der das Messobjekt am besten als Punktquelle beschreibt. Dieser Punkt heißt Lichtschwerpunkt. Eine abweichende Ausrichtung der Quelle führt zur Verzerrung der Lichtstärkeverteilungsmessung.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Modell für die Geometrie gebräuchlicher Fernfeldgoniometer vorgestellt, welches es ermöglicht den Einfluss der Position der Quelle auf die Lichtstärkeverteilung zu bestimmen. Da der Lichtschwerpunkt nur mit limitierter Genauigkeit geschätzt werden kann, trägt er zur Unsicherheit der Lichtstärkeverteilung bei. Dieser Unsicherheitsbeitrag wird mittels Monte Carlo Simulation untersucht und betrachtet, unter welchen Bedingungen er signifikant wird.

Investigation on the influence and uncertainty contribution of the photometric center on photogoniometric measurements

Leonhard Dudzik, Klaus Trampert, Cornelius Neumann

Karlsruhe Institute for Technology (KIT), Light Technology Institute (LTI)

leonhard.dudzik@kit.edu

How much light an object emits in certain directions is described by its Luminous Intensity Distribution (LID). It results from integrating over the emitting surface, thereby implicitly modeling the object as a point source. The directions of the LID are expressed in a coordinate system, that is defined by the measurement setup. The object has to be aligned with this coordinate system so that the origin coincides with the point of the object, that best describes it as a point source, which is called the photometric center. A misaligned photometric center results in a distorted LID measurement.

This paper proposes a model for common far-field goniometer geometries and sources that allows to quantify the effect the source position has on the resulting LID. Since the photometric center can only be estimated with a limited confidence, it contributes to the uncertainty of the LID measurement. Therefore, Monte Carlo Simulation is utilized to quantify this uncertainty contribution and determine the conditions, where it becomes significant.

Betriebsparameter und Langzeitstabilität von Leuchtdichtenormalen

Maatje Hilmer, Johannes Ledig

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig

maatje.hilmer@ptb.de

Die Leuchtdichte L in cd/m^2 ist eine von der SI-Einheit für die Lichtstärke, die Candela, abgeleitete Größe. Die Leuchtdichte wird beispielsweise bei der Beurteilung der Helligkeit bzw. der Blendung von Bildschirmen, bei der Blendungsbewertung im Straßenverkehr oder auch bei der Untersuchung der Leuchtdichteverteilung, die durch Autoscheinwerfer auf der Fahrbahn erzeugt wird, und bei der Blendungsbewertung anderer Verkehrsteilnehmer herangezogen.

Zur Messung der Leuchtdichte von ausreichend großen Flächen mit homogener Leuchtdichte können als Spotmeter ausgeführte Photometer verwendet werden. Zur Aufnahme von Leuchtdichteverteilungen bzw. Leuchtdichtebildern, z.B. einer Straßenverkehrssituation, werden dagegen zumeist abbildende Leuchtdichtemesskameras verwendet. Die Charakterisierung dieser Messsysteme ist mit erheblichem Aufwand verbunden und diese sind meist für bestimmte Lichtverhältnisse, Spektralverteilungen und Messaufbauten (Fokussentfernung, Umgebungsbedingungen) angepasst.

Zur Rückführung der Leuchtdichte auf SI-Einheiten und ebenso für ein Primärmessverfahren eignen sich besonders Leuchtdichtenormale, die auf einer möglichst homogen leuchtenden Fläche eine bestimmte Leuchtdichte bereitstellen.

Meistens besteht ein Leuchtdichtenormal aus einer Ulbricht'schen Kugel mit integrierter Lampe und einem Versorgungsgerät. Im Inneren der Ulbricht'schen Kugel wird das Licht einer Glühlampe oder LED durch die spezielle im Sichtbaren spektral aselektive Beschichtung mit hohem Reflexionsgrad mehrfach diffus reflektiert und erzeugt auf einem Lichtaustrittsfenster (mit Diffusor oder offen) eine sehr homogene Leuchtdichte. Um eine Änderung der Leuchtdichte z.B. durch Alterungseffekte der Glühlampe oder Kugelbeschichtung über der Betriebszeit zu erfassen, um deren Einfluss zu verringern, kann mit einem in die Ulbricht'sche Kugel eingelassenem Photometer beständig das Licht im Inneren der Kugel gemessen und z.B. durch Regelung des Lampenbetriebs dieses Photometersignal auf einem konstanten Wert gehalten werden welches dann auch die Leuchtdichte der Kugel stabilisiert.

Bei der Verwendung als Normal zur Rückführung der Messung auf SI-Einheiten oder Verifizierung von Messgeräten müssen sowohl die Abhängigkeiten von Betriebsparametern (wie z.B. der Umgebungstemperatur), das Einbrennverhalten bis zum stabilen Betrieb als auch die Langzeitstabilität, also die Alterung während der Lagerung und des Betriebs, berücksichtigt werden.

Um eine Langzeitstabilität und Alterung eines glühlampenbasierten Leuchtdichtenormals abzuschätzen wurden Messungen der Leuchtdichte eines Teils der Lichtaustrittsfläche sowie der Lichtstärke der gesamten leuchtenden Fläche, die regelmäßig über einen Zeitraum von 16 Jahren durchgeführt wurden, ausgewertet. Insgesamt wurde das Normal dabei für 85 Stunden betrieben. Die Messungen erfolgten mit einem immer gleichen Messaufbau an einer Photometerbank mit Kombinationen aus immer denselben fünf Photometerköpfen, deren Alterung über einen Zeitraum bis zu 30 Jahren sehr genau beobachtet wurde und welche regelmäßig an das nationale Normal für die Lichtstärkeeinheit der PTB angebunden wurden.

In diesem Vortrag werden das Primärmessverfahren der PTB für Leuchtdichte, die Abhängigkeiten der Leuchtdichte von verschiedenen Betriebsparametern und die Langzeitstabilität von glühlampenbasierten Leuchtdichtenormalen über viele Jahre und Betriebsstunden vorgestellt.

Operating parameters and long-term stability of luminance standards

Maatje Hilmer, Johannes Ledig

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig

maatje.hilmer@ptb.de

The Luminance L given in cd/m^2 is a derived quantity of the SI-unit for the luminous intensity, the candela. The luminance is used in the assessment of the perceived brightness and glare of monitors, for the evaluation of glare in road traffic, and for the evaluation of the luminance distribution, which is created on roadways by car headlights, and for the determination of glare for other road users.

For the measurement of the luminance of surfaces with a uniform luminance of sufficient size spot-type photometers can be used. To capture a luminance distribution or luminance image, which for example shows the luminance of an entire scenery of a road traffic situation, an imaging luminance measurement device (camera) can be used. The characterization of these measurement systems is usually associated with significant effort and then mostly adapted for certain lighting conditions, light spectra, and measurement set-ups.

For the traceability of the quantity luminance to SI-base units as well as for a primary reference measurement procedure especially luminance standards which provide a stable luminance on a homogenous light-emitting surface are suitable.

A luminance standard mostly consists of an Ulbricht sphere and a supply device. Inside the Ulbricht sphere, the light of an incandescent lamp is reflected multiple times on the special spectrally aselective coating in the visible range with high reflectivity so that by multiple diffuse reflections a very uniform luminance is produced on a light-emitting surface (diffusor or opening on the side of the sphere). To minimize the change of the luminance caused by aging effects of the incandescent lamp or LED lamp over the burning hours, the light inside the Ulbricht sphere can be constantly measured with a monitor photometer and the lamp operation is then controlled so that the photometer signal is kept constant.

In order to be used as a standard for a traceability to SI-units or for a verification of measurement devices the dependencies from operating conditions such as ambient temperature, the burning-in process up to a stable operation state, and the long-term stability, meaning the aging over long storage periods and during the burning times, have to be characterized.

To estimate the long-term stability and aging of a luminance standard based on an incandescent lamp, measurements of the mean luminance of a part of the light-emitting surface and of the luminous intensity of the entire light-emitting surface, performed over a time span of 16 years, were evaluated. In total the luminance standard was operated for about 85 hours. All measurements took place at the same measurement set-up, a photometric bench, with combinations of the same five photometer heads, whose aging was accurately observed for up to 30 years, and who were regularly calibrated against the national standard for the unit of luminous intensity of PTB.

In this presentation the primary reference measurement procedure for luminance, the dependencies of the luminance from different operating parameters, and the long-term stability over many years and burning hours will be presented.

Messung der lichttechnischen und spectralen Charakteristik der Lichttransmission durch eine Buche in den Innenraum: Eine Fallstudie

Carolin Lambeck, carolin.lambeck@campus.tu-berlin.de

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, Berlin

Priji Balakrishnan, priji.balakrishnan@tu-berlin.de

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik und

Karlsruhe Institute of Technology, Laboratory of Architecture and Intelligent Living (AIL)

Bäume sind für die Schaffung einer nachhaltigen städtischen Umwelt von wesentlicher Bedeutung, da sie zahlreiche ökologische und soziale Vorteile bieten. Bäume, außerhalb von Gebäuden, können den Lichteinfall in Innenräumen durch Fenster verändern, indem sie das Licht durchlassen, abschwächen, streuen und reflektieren. Die genaue Bestimmung der Auswirkungen von Bäumen auf die Tageslichtqualität in Innenräumen kann jedoch aufgrund der komplexen Form von Bäumen und der jahreszeitlichen Veränderungen eine Herausforderung darstellen.

Dieser Vortrag beschreibt eine Feldstudie, die darauf abzielt, die spektralen und photometrischen Größen des Tageslichts durch eine Buche hindurch in einem Innenraum zu charakterisieren. Die Studie konzentriert sich auf einen Raum mit einem Fensterbereich, der vollständig von einer sommergrünen Buche verdeckt wird, deren Laubfarbe und Geometrie sich im Laufe der Jahreszeiten ändert. Es werden Leuchtdichtebilder, Messungen der spektralen Bestrahlungsstärke und der spektralen Strahldichte in dem Raum durchgeführt.

Die Studie umfasst Messungen, die im Frühling, Sommer, Winter und Herbst durchgeführt wurden. Die Präsentation wird die Auswirkungen der Buche auf die Tageslichtqualität in Innenräumen aufzeigen und beschreiben, wie sich die spektralen und photometrischen Eigenschaften des Lichts durch Bäume im Laufe der Jahreszeiten ändern können.

Measuring the Luminous and Spectral Characteristics of Light Transmitted through a Beech Tree Indoors: A Case Study

Carolin Lambeck, carolin.lambeck@campus.tu-berlin.de

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, Berlin

Priji Balakrishnan, priji.balakrishnan@tu-berlin.de

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik und

Karlsruhe Institute of Technology, Laboratory of Architecture and Intelligent Living (AIL)

Trees are essential in creating sustainable urban environments as they provide numerous environmental and social benefits. Trees outside buildings can modify the light entering indoor spaces through windows by transmitting, attenuating, scattering, and reflecting light. However, accurately characterizing the impact of trees on indoor daylight quality can be challenging due to the complex shapes of trees and seasonal changes.

This presentation describes a field study that aims to characterize the spectral and photometric quantities of daylight through a Beech tree in an indoor environment. The study focuses on a room with a window area entirely obscured by a deciduous Beech tree outside, whose color of leaves and geometry changes across seasons. Luminance images, spectral irradiance, and spectral radiance measurements are carried out across the room.

The study includes measurements conducted across spring, summer, winter, and autumn. The presentation will show the impact of the Beech tree on the indoor daylight quality and describe how the spectral and photometric qualities of the light through trees change across seasons.

Charakterisierung von Photometern für hohe Beleuchtungsstärken

Haydee Badermann, Johannes Ledig

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig

haydee.badermann@ptb.de, johannes.ledig@ptb.de

Moderne Photometer bieten Messbereiche für Beleuchtungsstärkemessung von mehreren 10 Lux bis hin zu 200 000 Lux und mehr. Solch hohe Beleuchtungsstärken zu einer signifikanten Erwärmung der Beleuchtungsstärkemessgeräte. Da die optischen Eigenschaften des Anpassungsfilters, des Diffusors sowie die spektrale Empfindlichkeit der Silizium-Photodiode, die im Beleuchtungsstärkemessgerät verbaut sind, temperaturabhängig variieren können, stellen diese Faktoren signifikante Einflüsse für die Messgenauigkeit dar und können zu erheblichen Messunsicherheiten beim Transfer von Kalibrierungen führen.

Eine Untersuchung der Auswirkungen der Beleuchtungsstärkeabhängigkeit auf die Messgenauigkeit von Beleuchtungsstärkemessgeräten ist daher von großer Bedeutung. Insbesondere ist es wichtig, den Einfluss der durch die hohe Beleuchtungsstärke verursachte Erwärmung des Messgeräts auf die photometrische Empfindlichkeit zu evaluieren. Dabei spielen die Veränderungen in der Empfindlichkeit der Si-Photodiode und der Transmission des Filters eine entscheidende Rolle.

Die Messergebnisse an nicht thermostatisierten Photometern zeigen, dass die beleuchtungsstärkeabhängige Temperaturveränderung zu signifikanten Abweichungen in den Messwerten führt, insbesondere bei schmalbandigen Spektren, wie einfarbigen Lichtquellen. Je nach Typ des verwendeten Beleuchtungsstärkemessgeräts und dem Design seiner Komponenten können diese Auswirkungen unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Für die Si-Photodiode geht eine zunehmende Temperatur mit einer Erhöhung der Empfindlichkeit einher. Für die Anpassungsfiler gilt, dass sich ihre spektralen Transmissionseigenschaften mit der Temperatur verändern können. Dabei spielen das Filtermaterial sowie der Aufbau des Filters, wie beispielsweise die Art und Anzahl der verbauten Filterglasschichten, eine entscheidende Rolle dabei, wie sich diese Eigenschaften ändern. Die Kombination all dieser Faktoren – die Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit der Photodiode, die Änderungen der Transmissionseigenschaften des Filters sowie die Temperaturabhängigkeit des Diffusors - kann zu signifikanten systematischen Abweichungen bei photometrischen Messungen führen. In welchem Maß die einzelnen Faktoren die Messungen beeinflussen, hängt vom spezifischen Design der Photometer und deren Komponenten ab. Ein weiterer entscheidender Faktor in den Messergebnissen spielt dabei auch die geräteinterne Thermostatisierung, die häufig in hochwertigen Beleuchtungsstärkemessgeräten integriert ist. Die konstante Temperaturregelung durch die Thermostatisierung eliminiert die Umgebungstemperaturabhängigkeit und trägt wesentlich zur Minimierung der beleuchtungsstärkebedingten Messabweichungen bei.

Characterization of photometers for high illuminance levels

Haydee Badermann, Johannes Ledig

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig

haydee.badermann@ptb.de, johannes.ledig@ptb.de

Modern photometers provide the measurement ranges for illuminance levels ranging from several tens of lux to 200 000 lux and beyond. The use of such high illuminance levels leads to significant heating of illuminance photometers during the measurement. Since the optical properties of the spectral matching filter, the diffuser, as well as the spectral responsivity of the silicon photodiode incorporated within the illuminance meter, can vary with temperature. These factors significantly influence the measurement accuracy and may result in substantial measurement uncertainties during the transfer of calibrations. Therefore, an investigation into the effects of temperature dependence on the accuracy of illuminance measurements is of high importance. It is essential to evaluate the influence of device heating, induced by the illuminance, on photometric responsivity. Here, the changes in the responsivity of the silicon photodiode and the transmission of the filter play a central role.

The obtained measurement results indicate that the temperature change, dependent on illuminance, leads to significant deviations in the measured values, particularly in narrowband spectra, such as colored light sources. Depending on the type of illuminance meter used and the design of its components, these effects can vary in magnitude. For the silicon photodiode, an increase in temperature correlates with an increase in sensitivity. For the filters, their spectral transmission properties can alter with temperature. The filter material and the construction of the filter, such as the number of filter glass layers employed, plays an important role in determining how these properties change. The combination of all these factors - the temperature dependence of the photodiode's sensitivity, the changes in the filter's transmission properties, and the temperature dependence of the diffuser - can lead to significant systematic deviations in photometric measurements. The extent to which these individual factors influence the measurements depends on the specific design of the photometers and their components. An additional crucial factor in the measurement results is a thermostatisation that are often integrated into lab-grade illuminance meters. The constant temperature regulation provided by this thermostatic control eliminates the sensitivity on ambient temperature and significantly minimizing illuminance-related measurement deviations.

Betriebsbedingungen und Alterung von Lichtstärkennormallampen

Till Schwarznecker, Dr. Johannes Ledig, Maatje Hilmer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig

till.schwarznecker@ptb.de

Bei absoluten photometrischen Messungen von Licht, genauer gesagt von der SI-Einheit Lichtstärke bzw. von abgeleiteten Größen, wird eine metrologische Rückführung benötigt. Die Realisierung der SI-Einheiten sowie davon abgeleiteter Einheiten ist eine der Hauptaufgaben der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Die Einheit der Lichtstärke wird dabei mit Normallampen dargestellt und bewahrt.

Eine hochwertige Lichtstärke-Normallampe, welche auch in den weltweiten Lichtstärke-Vergleichen verwendet wird, ist die WI41/G des Herstellers Osram. Dabei handelt es sich um eine Glühlampe mit E27-Sockel. Der konische Glaskolben hat eine halbseitige, lichtundurchlässige Maske mit Fenster. Der Leuchtkörper besteht aus einem mäanderförmig in einer Ebene angeordneten Filament.

Bei einer Messung wird die Lichtstärke-Normallampe nach sehr gut definierten Vorgaben ausgerichtet, und es wird das Licht, welches durch das Maskenfenster scheint, gemessen.

Eine Kalibrierung einer Lichtstärke-Normallampe wird in der PTB in der Regel über das Substitutionsverfahren durchgeführt. Dabei wird die Lichtstärke von zwei Lichtstärke-Normallampen über einen Detektor miteinander verglichen. Weiterhin ist es ebenfalls möglich, über Primärmessverfahren abgeleitete photometrische Größen, wie z.B. die photometrische Empfindlichkeit (A/lx) von einem Photometer für Beleuchtungsstärke, mittels Lichtstärke-Normallampe zu kalibrieren.

Lampen vom Typ WI41/G werden mit einem stromgeregelten Gleichstrom betrieben. Zudem wird die Lampenspannung bei jedem Lampenbetrieb stromlos über zusätzliche Kontakte am Lampensockel gemessen. Die Messung der Lampenspannung erlaubt es zusätzliche Aussagen über die elektrischen Eigenschaften der Lampe zu treffen.

Ein großer Vorteil bei der Verwendung von Glühlampen als Normallampen ist das Alterungsverhalten. Glühlampen ändern ihre Eigenschaft durch Alterung nur im Betrieb, solange sie nicht verwendet werden, ist während sachgerechter Lagerung und Handhabung über viele Jahre keine messbare Veränderung festzustellen. In der PTB gibt es einige Lichtstärke-Normallampen, die schon Jahrzehnte betrieben und regelmäßig kalibriert wurden, dort ist dieses Verhalten gut zu erkennen.

Im Alltag und in modernen Beleuchtungssystemen bilden LED-Lichtquellen den Stand der Technik. In der Messtechnik nimmt deren Verbreitung ebenfalls stetig zu. Es gibt bereits einige Entwicklungen für hochwertige LED-basierte Lichtstärke-Normallampen. In Zukunft soll im Rahmen der CCPR WG-KC TG4 ein Pilotvergleich der Lichtstärke stattfinden, in dem die Eignung von zwei Typen von LED-Lampen als TransfERNormale auf höchstem metrologischem Niveau erprobt werden soll.

Operating conditions and ageing of luminous intensity standards

Till Schwarznecker, Dr. Johannes Ledig, Maatje Hilmer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig

till.schwarznecker@ptb.de

When measuring light, or more precisely the SI unit of luminous intensity or derived quantities, traceability is required. The realization of the SI units is one of the main tasks of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB). The unit of luminous intensity is thereby represented and preserved with standard lamps.

One type of a luminous intensity standard that is used also in worldwide comparisons of luminous intensity at the highest metrological level is the WI41/G from the manufacturer Osram. It is an incandescent lamp with E27 cap which conical glass envelope has a half-sided, opaque mask with a window. The filament is arranged in one plane in the form of a meander.

During a measurement, the luminous intensity standard lamp is aligned according to well defined specifications and only light through the mask window is measured.

The calibration of a luminous intensity lamp at the PTB is usually carried out using the substitution method. In this method the luminous intensity of two luminous intensity standards is compared using a photometer for illuminance. Furthermore, it is also possible to calibrate derived photometric quantities, such as the luminous responsivity (A/lx) of a photometer for illuminance using such a luminous intensity standard lamp.

Lamps of the type WI41/G are usually operated with constant direct current. Nevertheless, the lamp voltage is measured each time the lamp is operated with neglectable current via separate contacts to the cap. The lamp voltage can be used to make a statement about the electrical properties of the lamp.

A major advantage of using incandescent lamps as a luminous intensity standard is their ageing behavior. Incandescent lamps only age during operation; if they are not used and stored/handled properly, no measurable ageing can be detected over many years. At the PTB, there are some luminous intensity standard lamps that have been in operation for decades and calibrated on a regular basis, where this behavior can be clearly seen.

LED light sources are already state of the art in everyday life and modern illumination systems. In metrology, their use is also steadily increasing. There are already some developments for LED-based luminous intensity standard lamps at the highest metrological level. In future, a pilot luminous intensity comparison is to be carried out by the CCPR WG-KC TG4 in which the feasibility of two types of LED-based standard lamps will be tested at the highest metrological level.

Entwicklung und Validierung eines EEG-Systems zur Analyse visueller Wahrnehmung und Beurteilung der Eignung eines solchen Systems für die lichttechnische Forschung

Brandon Fobugwe, Julian Klages, Alexander Herzog, Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt,

Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

brandon.fobugwe@stud.tu-darmstadt.de

Die experimentelle Forschung zur Präferenz von Licht stützt sich immer noch größtenteils auf das subjektive Feedback von Probanden. Solche Experimente könnten sinnvoll durch EEG-Aufzeichnungen bereichert werden, da diese psychologische Reaktionsdaten auf niedriger Ebene liefern. Es existiert nur wenig Forschung über den Einfluss von Farbe auf visuell evozierte Potenziale (VEP) oder die visuelle Verarbeitung bezüglich Farbwahrnehmung, und noch weniger ist über die visuelle Verarbeitung in Bezug auf die Farbpräferenz bekannt.

Diese Arbeit zeigt, dass es möglich ist, sowohl das EEG für verschiedenfarbige Stimuli linear zu separieren als auch die VEPs in Bezug auf verschiedene visuelle Areale im visuellen Kortex räumlich zu trennen; alles unter Zuhilfenahme eines EEG-Geräts der Verbraucherklasse. Stimuli mit hoher Leuchtdichte sowie die dargebotenen roten Stimuli erzeugen höhere VEP-Spitzenwerte als die gezeigten Stimuli mit niedriger Leuchtdichte sowie grüne Stimuli. Darüber hinaus scheint sich das Farb-VEP vom primären visuellen Kortex V1 zum sekundären visuellen Kortex V2 auszubreiten, was die Annahme einer hierarchischen visuellen Verarbeitung von Farbe untermauert.

Diese Arbeit wurde in Antizipation auf weitere Forschung durchgeführt, die letztendlich eine Verbindung zwischen Farbmetriken, Farbpräferenz und EEG Merkmalen herstellen soll.

Development and validation of an EEG system for analyzing visual perception and assessment of the suitability of such a system for lighting technology research

Brandon Fobugwe, Julian Klages, Alexander Herzog, Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt

Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

brandon.fobugwe@stud.tu-darmstadt.de

Experimental research on the preference of a light stimulus still mostly relies on subjective feedback of participants which is why Electroencephalogram (EEG) recordings could meaningfully enrich those experiments by providing low-level psychological response data. There is little research on the influence of color on Visually Evoked Potentials (VEP) or the visual pathway regarding color perception and even less is known about visual processing with regards to color preference.

This work shows that it is possible to both linearly separate EEG for differently colored stimuli as well as to spatially separate the VEPs with regards to different visual areas in the visual cortex all by employing a consumer-grade EEG device. High-luminance stimuli as well as the presented red stimuli produce higher peak VEPs than the produced low-luminance and green stimuli. Furthermore, the Color VEP seems to propagate from the primary visual cortex V1 towards the secondary visual cortex V2 which corroborates the assumptions of a hierarchical visual processing of color.

This work was done in anticipation of further research which is meant to eventually find a link between color metrics, color preference and EEG features.

Untersuchung psychologischer Blendung durch eine LED-Lichtquelle bei verschiedenen Leuchtdichteniveaus

Elisabeth Kemmler, Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

kemmler@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Blendung durch Fahrzeugscheinwerfer im Straßenverkehr ist eine Thematik, die immer wieder in der Kfz-Lichttechnik diskutiert wird. Derzeit steht vor allem die Blendung durch moderne LED-Scheinwerfer im Fokus. Aktuelle Umfragen zeigen, dass zahlreiche Verkehrsteilnehmer von entgegenkommenden Fahrzeugen mit LED-Scheinwerfern sowohl physiologisch als auch psychologisch geblendet werden. Insofern ist es die Aufgabe der heutigen Blendungsforschung Lösungsansätze zur Reduzierung von Blendung durch LED-Scheinwerferlicht zu finden. Während es zur physiologischen Blendung bereits zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen gibt, die dazu beitragen können, ist die psychologische Blendung weitaus weniger erforscht. Daher wurde im Rahmen einer Probandenstudie die psychologische Blendung durch LED-Licht bei verschiedenen Leuchtdichteniveaus im Labor an der Technischen Universität Darmstadt untersucht.

Im Rahmen der Studie sollten die Testpersonen 13 verschiedene Leuchtdichteniveaus bis zu 17.000 cd/m^2 bei einer Hintergrundleuchtdichte von $0,35 \text{ cd/m}^2$ auf der 9-stufigen De Boer-Skala hinsichtlich der subjektiv empfundenen psychologischen Blendung bewerten. Die Bewertung erfolgte für mehrere Wiederholungen und unterschiedliche Größen der leuchtenden Fläche. Die Ergebnisse zeigen, dass die psychologische Blendung bei einer Leuchtdichte im Bereich von 1.900 cd/m^2 und 3.720 cd/m^2 – abhängig von der Größe der Blendlichtquelle – gerade noch akzeptabel ist, was einem De Boer-Wert von 5 entspricht. Diese Erkenntnis liefert einen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen zu psychologischer Blendung.

Schlüsselwörter: Psychologische Blendung, LED, Leuchtdichte

Investigation of discomfort glare caused by LED light at different luminance levels

Elisabeth Kemmler, Tran Quoc Khanh

Technical University of Darmstadt

Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

kemmler@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Glare from vehicle headlights in road traffic is a topic that is repeatedly discussed in automotive lighting technology. Currently, the focus is primarily on glare from modern LED headlights. Recently published surveys showed that many road users are faced with disability glare and discomfort glare by oncoming vehicles with LED headlights. In this respect, the task of today's glare research is to find solutions to reduce glare from LED headlights. While there are already numerous scientific studies on disability glare that can contribute to this, far less research has been carried out on discomfort glare. For this reason, discomfort glare caused by LED light at different luminance levels was investigated in a test subject study in a laboratory at the Technical University of Darmstadt.

Within the study, the test subjects were asked to rate 13 different luminance levels up to 17,000 cd/m² with a background luminance of 0.35 cd/m² on the 9-point De Boer scale in terms of subjectively perceived discomfort glare. The evaluation was carried out for several repetitions and different sizes of the illuminated surface. The results show that discomfort glare is just acceptable at a luminance in the range of 1,900 cd/m² and 3,720 cd/m² - depending on the size of the glare light source - which corresponds to a De Boer value of 5. This finding provides a starting point for further research into discomfort glare.

key words: discomfort glare, LED, luminance

Untersuchung einer cyan-farbigen Signalleuchte zur Kommunikation im autonomen Mischverkehr

*Cehri, Mehmet Alp; Baumann, Maximilian; Trampert, Klaus; Neumann, Cornelius
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)
Engesserstraße 13, Geb. 30.34, 76131 Karlsruhe
udzpi@student.kit.edu, www.lti.kit.edu*

Obwohl der Straßenverkehr bereits durch ein Vielzahl an Gesetzen und gesellschaftlich vereinbarten Konventionen geregelt ist, kommt es dennoch zu Situationen, in denen die Vorfahrtslage nicht eindeutig ist. Hier müssen sich die Verkehrsteilnehmer abstimmen und miteinander kommunizieren. Im autonomen Mischverkehr der Zukunft findet die Kommunikation nicht mehr ausschließlich wie bisher zwischen Mensch und Mensch statt, sondern zusätzlich zwischen Mensch und Maschine, dem autonomen Fahrzeug.

Im Rahmen einer Probandenstudie wurde eine cyan-farbige Signalleuchte als Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Kommunikation in einer Pattsituation untersucht. Diese soll dabei nicht nur den autonomen Fahrstatus anzeigen, sondern auch die Intention des Fahrzeuges, Verzicht auf die Vorfahrt oder nicht, kommunizieren. Zur Anzeige des Vorfahrtsverzichts wurden verschiedener Lichtfunktionen untersucht, zum Teil bestehende, aber auch neuartige, die als Vorschlag für die Integration in den Straßenverkehr genutzt werden können.

Die Ergebnisse der Studie werden im Paper und im Vortrag präsentiert.

Study on a cyan-colored signal lamp for communication in mixed autonomous traffic

*Cehri, Mehmet Alp; Baumann, Maximilian; Trampert, Klaus; Neumann, Cornelius
Karlsruhe Institute for Technology (KIT), Light Technology Institute (LTI)
Engesserstraße 13, Building 30.34, 76131 Karlsruhe, Germany
udzpi@student.kit.edu, www.lti.kit.edu*

Although traffic is already regulated by numerous laws and social conventions, there are still situations where the right-of-way is not evident. In such cases, participants must coordinate and communicate with each other. In future autonomous mixed traffic, communication will no longer occur exclusively between humans but will also include autonomous vehicles, creating more confusion about how to communicate.

To investigate a communication method, a study was conducted where a cyan-colored signal light was used as a human-machine interface for communication in a stalemate situation. This signal light is intended not only to indicate the autonomous driving status but also to convey the vehicle's intention to yield the right-of-way. Various lighting functions were examined to indicate the intention of the vehicle, including both existing and novel concepts that could be proposed for integration into road traffic.

The results of the study will be presented in the paper and the presentation.

Konzept zur Bestimmung individueller melanopischer Größen durch IoT-Sensorik

Felix Feist, M.Sc.

*Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau*

felix.feist@tu-ilmenau.de

Der circadiane Rhythmus des Menschen wird maßgeblich durch Licht gesteuert und beeinflusst. Dies geschieht durch die nichtvisuellen Lichtwirkungen, welche sich psychologisch und physiologisch, z.B. durch die Unterdrückung des Schlafhormons Melatonin, ausprägen. Die durch nichtvisuelle Lichtwirkungen hervorgerufenen biologischen Prozesse im Menschen sind ebenso wie der circadiane Rhythmus individuell. Demnach gibt es kein pauschales Beleuchtungsszenario, welches für jeden Menschen gleichermaßen geeignet ist.

Für die Bestimmung von melanopisch bewerteten Messgrößen ist es von besonderer Bedeutung, das am Auge einfallende Licht möglichst genau messen zu können, da nicht-visuelle Lichtwirkungen unmittelbar von der räumlichen Position des Auges sowie der spektralen Verteilung des einfallenden Lichts abhängig sind.

Zur Bestimmung individueller melanopischer Größen werden Konzepte recherchiert oder ausgearbeitet, welche die Messung oder qualitative Abschätzung des am Auge einfallenden Lichts ermöglichen. Aus einer vergleichenden Bewertung der Konzepte soll eines für eine weiterführende Entwicklung eines Prototypen ausgewählt werden.

Index Terms: nichtvisuelle Lichtwirkung, mEDI

Concept for determining individual melanopic values using IoT sensor technology

Felix Feist, M.Sc.

*Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau*

felix.feist@tu-ilmenau.de

The human circadian rhythm is significantly controlled and influenced by light. This occurs through the non-visual effects of light, which have a psychological and physiological impact, e.g. by suppressing the sleep hormone melatonin. The biological processes in humans caused by non-visual light effects are individual, just like the circadian rhythm. Accordingly, there is no general lighting scenario that is equally suitable for every person.

For the determination of melanopically evaluated measured variables, it is particularly important to be able to measure the light incident on the eye as accurately as possible, as non-visual light effects are directly dependent on the spatial position of the eye and the spectral distribution of the incident light.

In order to determine individual melanopic parameters, concepts are being researched or developed that enable the measurement or qualitative estimation of the incident light on the eye. From a comparative evaluation of the concepts, one will be selected for further development of a prototype.

Index Terms: non-visual effects of light, mEDI

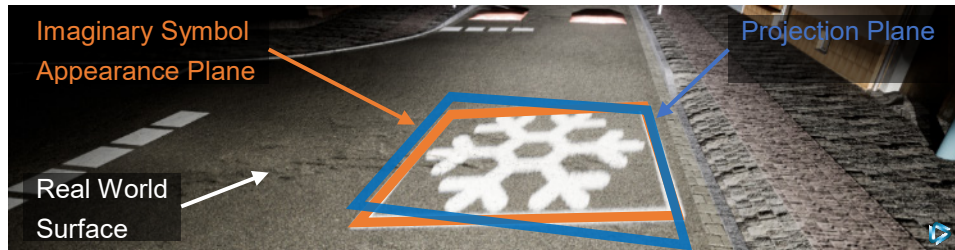


Fig. 1: Visualization of the differences of the imaginary symbol appearance plane and the projection plane.

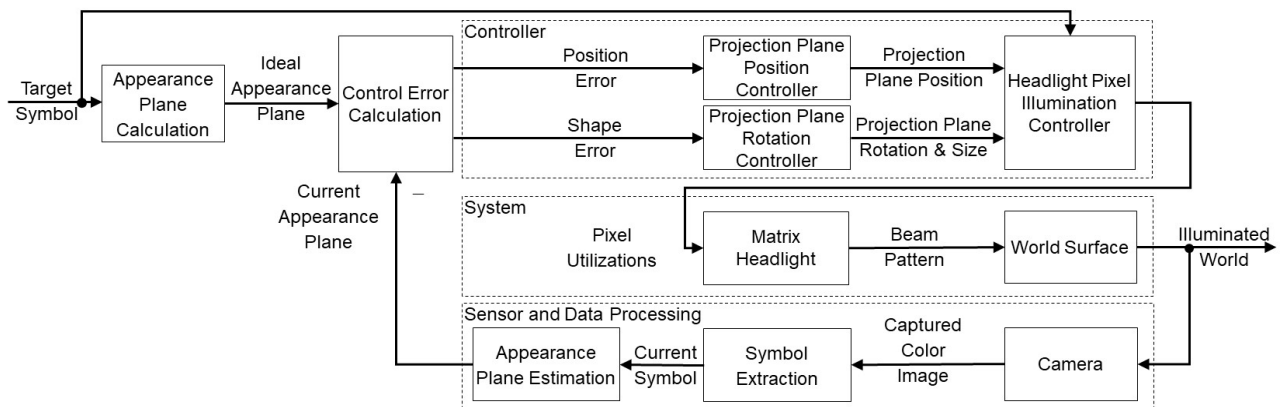


Fig. 2: Symbol projection control loop. The imaginary appearance is controlled by the outer feedback controller and the matrix headlight pixels by the inner feedforward controller.

References

[1] M. Waldner, N. Müller and T. Bertram: Feedback Control of the Projected Symbol of Matrix Headlights on Uneven Surfaces, IEEE 9th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE 2024), 10.-12.05.2024

Matrix Headlight Control Loop for Undistorted Symbol Projection

Mirko Waldner, Nathalie Müller and Torsten Bertram

Institute of Control Theory and Systems Engineering (RST), TU Dortmund University, Germany

mirko.waldner@tu-dortmund.de

The projection of symbols by matrix headlights on uneven surfaces, e.g. the road in front of the ego-vehicle, leads to changes in position and distortion of the appearing symbol. The resulting distortion of the projected symbol image makes reading, interpreting, and understanding the automated vehicle's message difficult. To improve the readability of the symbol, we have shown in a previous contribution [1] that it is possible to develop a feedback control approach for the projected symbol that compares the target symbol with the symbol currently appearing on the road surface. This control method does not require measured or estimated surface elevations of the unevenness of the road.

In the contribution at hand, our approach from [1] is modified so that the control error is not calculated between the ideal and the captured camera image but between the ideal and the current symbol's imaginary appearance plane. The appearance plane is an imaginary plane on which the symbol image appears to lie, which is not the real-world surface. The difference between the imaginary appearance planes leads to an error in the position and shape of the symbol, which a cascaded controller tries to minimize. An outer controller, more precisely a controller for the position and rotation of the plane, calculates a projection plane, and an inner forward headlight pixel controller calculates the optimal pixel utilization for the projection plane. The vehicle camera captures the resulting symbol on the world surface in front of the ego-vehicle. To close the control loop, the current appearance plane is estimated from the image, e.g. with machine learning or point correspondences. Fig. 1 shows an example of the three different planes and surfaces and Fig. 2 the complete cascaded control loop.

In the previous contribution [1], a global optimization algorithm was used to calculate the projection plane, resulting in a jumping symbol in front of the vehicle. Redefining the control error into a separate position and shape error has the potential that the sign and magnitude of the errors indicate the amount and direction of the required change. Thus, a PID controller could be used as an outer controller, resulting in a continuous and smoothly changing symbol in front of the vehicle. The contribution will evaluate the effectiveness and robustness of the novel approach and compare it with the previously published approach in a virtual model of the German city of Lippstadt.

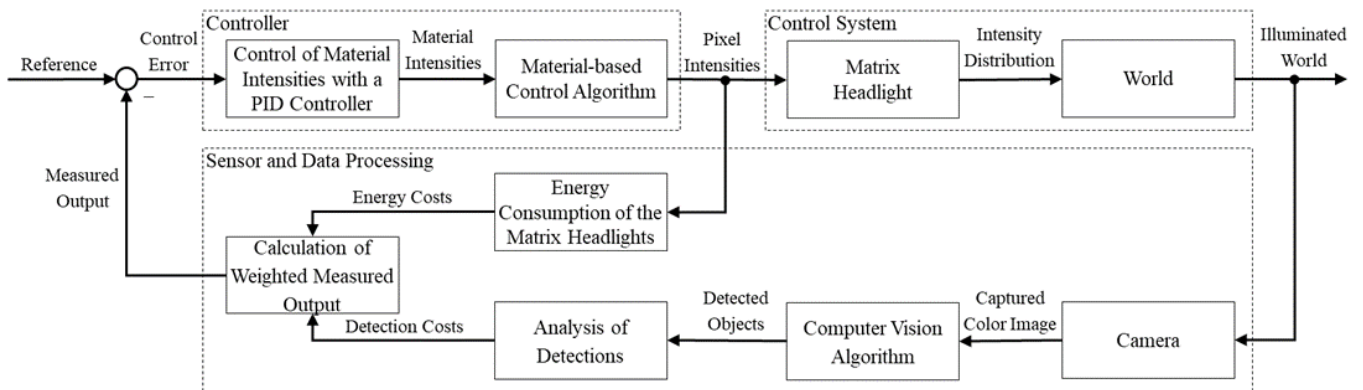


Fig. 1: Possible variant of a matrix headlight control loop.

References

- [1] N. Müller, M. Waldner and T. Bertram: Material-Based Illumination Optimization for Computer Vision in Automated Driving, 2024 10th IEEE International Conference on Applied Systems Innovation (IEEE ICASI 2024), 17.-21.04.2024.
- [2] N. Müller, M. Waldner, A. Maroke and T. Bertram: Usage of Material Properties of 3D Objects for an Improved Illumination by High-Definition Matrix Headlights, Lux junior 2023: 16. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs, 23.-25.06.2023.
- [3] N. Müller, M. Waldner and T. Bertram: Improving Computer Vision by Virtual Optimization of Matrix Headlights Using Surface Properties, International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA), 01.-02.02.2024.

Concept of a Matrix Headlight Control Loop for Enhanced Object Detection in Automated Driving

Nathalie Müller, Mirko Waldner and Torsten Bertram

Institute of Control Theory and Systems Engineering (RST), TU Dortmund University

nathalie2.mueller@tu-dortmund.de

The safety of automated driving depends on a correctly perceived environment. The ego-vehicle uses sensors like optical cameras to get information about the surroundings and detect objects. With the camera information, it is possible to detect objects like vulnerable road users, e.g. pedestrians, to avoid accidents. However, camera detections are often only accurate and reliable in good lighting conditions since the camera suffers from poor lighting. Therefore, the general idea is to support the camera with a dynamic illumination of matrix headlights to enhance object detection in bad lighting situations.

Previous work [1] has shown that today's matrix headlight distributions are inefficient for computer vision at night. One new lighting distribution suited for automated driving uses the selective illumination of matrix headlights to illuminate each material in the environment with different light intensity called material intensity, creating a material-based illumination [2]. In this way, the different reflective behaviors or colors of materials can be used to avoid overexposed images or refine the contrast of objects to their environment. The material-based illumination improves computer vision quality and saves energy simultaneously [3]. However, the optimal material intensities with which the materials are illuminated vary among different situations, and the optimization is incapable of real-time.

The contribution at hand addresses this problem by proposing a novel concept of a control loop for the material intensities, which is in principle real-time capable and thus applicable in real driving vehicles. An opportunity of such a control loop is shown in Fig. 1. The controller determines the material intensities for each material type, which are fed into a second feed-forward control algorithm to determine the material-based illumination. The resulting pixel intensities are input into the control system, which consists of the matrix headlight emitting its intensity distribution into the world to illuminate it. The feedback sensor consists of the camera, which captures an image of the illuminated world. A computer vision algorithm analyzes the image. The data processing calculates a weighted measured output of the detection costs and the energy consumption of the matrix headlights to ensure sustainability. The main challenge, which will be the focus of the final contribution, is choosing the reference, calculating and determining the measured output, and defining the control error for a working control loop. Other variants of control loops will also be discussed. First results show that applying the terms of the cost function used for optimization could be a possible but non-optimal variant to achieve a stable compromise between good detection and low energy consumption.

Skriptbasierte Homogenitätsbewertung automobile Lichtsignalfunktionen

Matthias Schelhorn (HS Magdeburg-Stendal), Kaijie Luan, Torsten Nelke (CREAT GmbH, Wolfsburg) Benedikt Lamontain (HS Magdeburg-Stendal)

Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich IWID, Insitut f. Maschinenbau, Breitscheidstr. 2 Haus 10, 39114 Magdeburg

CREAT GmbH, Wolfsburger Landstraße 6a, 38442 Wolfsburg

Beim Autokauf spielen viele Faktoren eine Rolle. Neben technischen Daten wie der Leistung, dem Verbrauch oder der Ausstattung, beeinflussen viele subjektive Faktoren wie das Image der Marke und das Design des Fahrzeuges die Kaufentscheidung. Durch aktuelle Design-trends und immer komplexere Leuchtengeometrien stehen die Lichttechniker oft vor dem Problem einer unzureichenden Homogenität. Weiterhin kann diese meist erst spät im Produktentstehungszyklus anhand von Lichtmustern und Prototypen bewertet werden, was die Entwicklungskosten in die Höhe treibt und im Gegensatz zu immer höheren Anforderungen an die Nachhaltigkeit steht.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Software, anhand derer eine Homogenitätsbewertung automobiler Lichtsignalfunktionen schon im frühen Produktentstehungszyklus möglich ist. Dazu sollen simulativ erzeugte Daten für die Bewertung genutzt werden um eine zuverlässige Aussage über die zu erwartende Homogenität treffen zu können. Neben einigen Grundlagen liefert die nachfolgende Arbeit eine Übersicht über aktuelle Homogenitätsbewertungsmethoden. Diese werden erläutert und es wird eine Auswahl der Methoden getroffen, welche sich für die spätere Umsetzung im Programm eignen.

Nach der Vorstellung der verwendeten Programmiersprache und Bibliotheken werden die Anforderungen an das Programm formuliert. Anschließend wird während der Erläuterung der Konzeptphase ein Überblick über die Planung des Programms gegeben. Dabei wird die Gesamtfunktionalität in kleinere Teilfunktionen unterteilt und der geplante Programmablauf vorgestellt. Die Lösung und Umsetzung dieser Teilfunktionen als Programmcode werden ausführlich anhand von Minimalbeispielen erklärt. Der allgemeine Aufbau des Programms wird dargestellt und die Funktionsweise wird anhand der einzelnen Funktionsblöcke erläutert.

Zuletzt wird eine Einordnung in den Stand der Technik vorgenommen und ein Ausblick über Verbesserungsvorschläge sowie einer Validierung gegeben.

Script-Based Homogeneity Assessment of Automotive Light Signal Functions

Matthias Schelhorn (HS Magdeburg-Standel), Kaijie Luan, Torsten Nelke (CREAT GmbH, Wolfsburg) Benedikt Lamontain (HS Magdeburg-Stendal)

Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich IWID, Insitut f. Maschinenbau, Breitscheidstr. 2 Haus 10, 39114 Magdeburg

CREAT GmbH, Wolfsburger Landstraße 6a, 38442 Wolfsburg

Many factors play a role in car purchasing. Besides technical specifications such as performance, fuel consumption, and equipment, many subjective factors like brand image and vehicle design influence the buying decision. Due to current design trends and increasingly complex lighting geometries, lighting engineers often face the problem of insufficient homogeneity. Moreover, this can typically be assessed only late in the product development cycle through light patterns and prototypes, driving up development costs and conflicting with ever-higher sustainability requirements.

Goal of this thesis is the development of a software package which is capable of accurately determining the homogeneity of automotive lighting systems in an early stage of development. To accomplish this goal, a simulation of the expected characteristics is carried out, which is then used to predict the homogeneity of the lighting system. In addition to the explanation of various guiding principles in this field, a dive into the methods of testing homogeneity is included in this thesis. The methods used in the actual implementation of the software are then explained further.

To provide the groundwork of the program itself, an overview of the programming-languages and software-packages in use is provided, which then concludes in an overview of the requirements that must be met by the resulting software. The concept-phase, which is based on said requirements, provides a view into the inner workings of the program and the working algorithms. A further analysis splits the program into it's sub-routines, which are then further explained in comprehensive examples.

Finally, an evaluation is given and an outlook on further steps for validation is made.

Untersuchungen zur Umfeldwahrnehmung mittels eines Dynamic Vision Sensor Systems im Kontext des automatisierten Fahrens

Leonard Hänsel (L-Lab Lippstadt), Torsten Bertram (TU Dortmund)
leonard.haensel@forvia.com

Die visuelle Wahrnehmung ist eine wesentliche Komponente für das sichere Führen eines Fahrzeugs in jeder Verkehrssituation. Im Kontext des autonomen Fahrens gilt es, diesen Prozess zu digitalisieren, um eine leistungsfähige Umfelderkennung zu realisieren.

Konventionelle Kamerasensoren, die bisher weit verbreitet sind, stoßen hinsichtlich Dynamikbereich, Geschwindigkeit und Energieverbrauch an ihre Grenzen. Dynamic Vision Sensoren (DVS), auch Event-Kameras genannt, bieten hier entscheidende Vorteile.

Diese Sensoren erfassen zeitliche Helligkeitsänderungen in den beobachteten Szenen, wobei die Pixel unabhängig und asynchron voneinander arbeiten. Neben der visuellen Wahrnehmung durch Kameras haben sich verschiedene Sensorkonzepte zur Fahrerunterstützung und für Fahrerassistenzsysteme entwickelt, darunter die Radio Detection and Ranging (Radar)-Technologie. Das System bietet die Möglichkeit der Erfassung des Abstandes sowie der relativen Geschwindigkeit.

Im Rahmen dieses Artikels werden die Vor- und Nachteile des Dynamic Vision Sensors ausführlich erläutert. Anschließend wird der Stand der Technik bei der Kombination von Dynamic Vision Sensoren und Radaren mittels Sensorfusion dargestellt und mögliche Forschungsinhalte anhand wissenschaftlicher Fragestellungen formuliert. Diesbezüglich werden Vorteile der Fusion beider Sensorsysteme aufgezeigt und Herausforderungen bei der Umsetzung dieser Fusion diskutiert. Aus diesen Erkenntnissen wird ein Ausblick auf eine mögliche Erweiterung des Aufbaus durch ein Pixellichtsystem vorgeschlagen, um die Auflösung des Umfeldes weiter zu erhöhen.

Investigations into environment perception using a dynamic vision sensor system in the context of automated driving

Leonard Hänsel (L-Lab Lippstadt), Torsten Bertram (TU Dortmund)
leonard.haensel@forvia.com

Visual perception is an essential component for driving a vehicle safely in any traffic situation. In the context of autonomous driving, this process needs to be digitized in order to achieve powerful environment recognition.

Conventional camera sensors, which have been widely used to date, are reaching their limits in terms of dynamic range, speed and energy consumption. Dynamic vision sensors (DVS), also known as event cameras, offer decisive advantages here.

These sensors record changes in brightness over time in the observed scenes, with the pixels working independently and asynchronously from one another. In addition to visual perception by cameras, various sensor concepts have been developed for driver support and driver assistance systems, including radio detection and ranging (radar)-technology. The system offers the possibility of detecting distance and relative speed.

The advantages and disadvantages of the Dynamic Vision Sensor are explained in detail in this article. Subsequently, the state of the art in the combination of dynamic vision sensors and radars by means of sensor fusion is presented and possible research content is formulated on the basis of scientific questions. In this regard, the advantages of the fusion of both sensor systems are shown and challenges in the implementation of this fusion are discussed. Based on these findings, an outlook on a possible extension of the setup with a pixel light system is proposed to further increase the resolution of the environment.

Charakterisierung eines Displays als Kommunikationsschnittstelle eines autonomen Fahrzeugs

Greulich, Michael; Baumann, Maximilian; Trampert, Klaus; Neumann, Cornelius

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)

Engesserstraße 13, Geb. 30.34, 76131 Karlsruhe

uphey@student.kit.edu, www.lti.kit.edu

Situationen im innerstädtischen Straßenverkehr, in denen die Vorfahrt nicht eindeutig geregelt ist, werden im Allgemeinen als Pattsituation bezeichnet. Zur Lösung dieser Situationen durch Verzicht sind die Beteiligten, auch nach der StVO angehalten, zu kommunizieren und sich untereinander zu verständigen. Hierfür erlernte Kommunikationsmethoden, wie Blickkontakt oder Gesten, entfallen bei einem autonomen Fahrzeug, in dem die Fahrzeuginsassen ausschließlich Passagiere sind. Eine lichtbasierte Mensch-Maschine-Schnittstelle soll diese sich auftuende Lücke schließen.

Ein möglicher Ansatz hierfür ist ein LED-Display, das an der Fahrzeugfront montiert wird. Zur Kommunikation werden verschiedene Inhalte, wie Formen, Text oder Symbole angezeigt. Daraus ergeben sich einige Herausforderungen, wie beispielsweise die Sichtbarkeit der angezeigten Inhalte in verschiedenen Situationen, unabhängig der Umgebungshelligkeit

Aus diesem Grund wird die Sichtbarkeit der Darstellung auf dem Display unter dem Einfluss verschiedener Störgrößen wie Fremdlicht oder Winkelabhängigkeit überprüft und das Display dahingehend im realen Umfeld charakterisiert. Weiter wird abgeschätzt, ob eine Eignung des Displays als Kommunikationsschnittstelle generell möglich ist. Erkenntnisse für den Betrieb im realen Umfeld wurden daraus abgeleitet und Anforderungen formuliert.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden im Paper und im Vortrag präsentiert.

Characterization of a Display as Human-Machine-Interface for Autonomous Vehicles

*Greulich, Michael; Baumann, Maximilian; Klaus Trampert; Neumann, Cornelius
Karlsruhe Institute for Technology (KIT), Light Technology Institute (LTI)
Engesserstraße 13, Building 30.34, 76131 Karlsruhe, Germany
uphey@student.kit.edu, www.lti.kit.edu*

There are situations in urban road traffic in which the right of way is not clearly regulated, a so-called deadlock. For solving such situations by giving up the right of way, participants involved are encouraged to communicate. For this purpose, learnt communication methods, such as eye contact or gestures, are no longer feasible when an autonomous vehicle occurs, whose occupants are exclusively passengers. A light-based human-machine interface is intended to close this emerging gap.

An approach is a vehicle-mount front-LED-display, on which different content such as shapes, text or symbols are displayed for communication purposes. This results in several of difficulties, such as the visibility of the displayed content in different situations, regardless of the ambient brightness.

Therefore, the visibility of the display presentation is verified in conjunction with different troublemaking sizes such as ambient light or angular dependence. The display is also characterised with respect to real environment. It will further be assessed whether the display is generally suitable as a communication interface. Conclusions for the operation in real environment were derived and requirements are formulated.

The results of the investigation are presented in the paper and in the talk.

Intelligent lighting system with artificial intelligence for greenhouses

Sadetin Basri, Orlin Lyubomirov Petrov, Evgeni Enchev

University of Ruse; Ruse; BULGARIA

sbasri@uni-ruse.bg, opetrov@uni-ruse.bg, eenchev@uni-ruse.bg

Thanks to the continuous development of agricultural technology, there are new types of production processes in this sector, as well as improvements in product quality. Intelligent lighting systems based on artificial intelligence (AI) offer innovative ways to efficiently manage greenhouse lighting specifically adapted to different crops. This article therefore discusses the working principles behind these systems, their main components and advantages.

Based on LED lamps that can be adjusted in terms of spectral composition and light intensity. AI based lighting systems have sensors for light, temperature, humidity and CO₂ concentration for real time data collection. This information is forwarded to an AI controller, which analyses it and controls the lighting, thus providing optimal growing conditions for plants depending on their needs. The system integrates with the IoT and enables process automation by providing a constant connection between different parts.

The main benefits of smart lighting include increased energy efficiency; ideal plant growth; reduced maintenance costs; better overall sustainability of production operations. For example, artificial intelligence systems do not require human involvement as they automatically adjust the lighting according to the current situation and plant needs.

Keywords: Intelligent lighting system, LED color temperature, Artificial intelligence, Greenhouses, Energy efficiency, Automatic regulation, Lighting control, Optimal lighting

Erforschung der Veränderung der spektralen Reflektion von Blättern aufgrund verschiedener biochemischer Inhaltsstoffe

Felix Wirth, Prof. Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

wirth@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Die Forschung im Pflanzenbau zeigt, dass die Lichtqualität eine entscheidende Rolle für Wachstum und Entwicklung spielt. [1] LED-Belichtungssysteme ermöglichen durch gezielte Anpassungen in Lichtintensität, -dauer und -spektrum die physiologische Prozesse wie Photosynthese, Blühzeitpunkt, Pflanzenarchitektur sowie Schutz gegen abiotischen und biotischen Stress, sowie Anteile an Photopigmenten zu optimieren. [2] [3] Photopigmente wie Chlorophyll, Anthocyane und Carotinoide sind dabei von zentraler Bedeutung, da sie an Photosynthese und Stressresilienzreaktionen sowie Aufbau und Schutz von Photosystemen beteiligt sind. Durch Kombinationen von Wellenlängen können artenspezifisch große Veränderungen hervorgerufen werden. [4]

Zur quantitativen Analyse dieser Veränderungen wird das PROSPECT-D-Modell eingesetzt, welche die optischen Eigenschaften von Pflanzenblättern aufgrund von Veränderungen der Inhaltsstoffe simuliert. Mit Hilfe der erhaltenen Reflektionsgraden können unter Betrachtung der Normlichtart D65 die Farbveränderungen bewertet werden. Für Veränderung in Chlorophyll und Caratenoide lassen sich für Basilikum sichtbare Unterschiede erkennen, während Anthocianinkonzentrationsveränderung nur minimale Farbverschiebungen hervorruft.

Index Terms: Basil , Horticulture, Prospect-D, Spectral light Quality

[1] R. Paradiso, S. Proietti, Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. *J Plant Growth Regul* 41, 742–780, 2022

[2] P. A. Davis and C. O. Burns. "Photobiology in protected horticulture", 2016

[3] F. Thoma et al. "Effects of Light on Secondary Metabolites in Selected Leafy Greens: A Review", 2020

[4] H. E. Haddaji et al.. "Effects of Light-Emitting Diodes (LEDs) on Growth, Nitrates and Osmoprotectant Content in Microgreens of Aromatic and Medicinal Plants", 2023

Exploring the change of spectral reflectances of leaves due to different biochemical constituents

Felix Wirth, Prof. Tran Quoc Khanh

Technical University of Darmstadt

Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

wirth@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Research in plant cultivation shows that the quality of light plays a crucial role in growth and plant development. [1] LED lighting systems make it possible to optimise physiological processes such as photosynthesis, flowering time, plant architecture and protection against abiotic and biotic stress, as well as photopigment levels, through targeted adjustments to light intensity, duration and wavelengths. [2] [3] Photopigments such as chlorophyll, anthocyanins and carotenoids are of central importance as they are involved in photosynthesis and stress resilience reactions as well as the formation and protection of photosystems. Combinations of wavelengths can induce species-specific changes. [4]

To quantitatively analyse these changes, the PROSPECT-D model is used, which simulates the optical properties of plant leaves based on changes in the constituents. The colour changes can be evaluated with the aid of the reflectance values obtained from Prospect-D and usage of the Standard Illuminant D65. For changes in chlorophyll and carotenoids, visible differences can be detected for basil, while changes in anthocyanin concentration cause only minimal colour shifts.

Index Terms: Basil , Horticulture, Prospect-D, Spectral light Quality

[1] R. Paradiso, S. Proietti, Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. *J Plant Growth Regul* 41, 742–780, 2022

[2] P. A. Davis and C. O. Burns. "Photobiology in protected horticulture", 2016

[3] F. Thoma et al. "Effects of Light on Secondary Metabolites in Selected Leafy Greens: A Review", 2020

[4] H. E. Haddaji et al.. "Effects of Light-Emitting Diodes (LEDs) on Growth, Nitrates and Osmoprotectant Content in Microgreens of Aromatic and Medicinal Plants", 2023

Untersuchung von Algenwachstum unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen

Lennart Fedler, Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

fedler@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Mikroalgen können bei der Lösung von globalen Herausforderungen wie dem Klimawandel oder der Nahrungsmittelversorgung helfen. Die für das Wachstum der Alge verantwortliche Photosynthese ist dabei abhängig vom auf die Alge treffenden Licht. Die optimale Belichtung der Mikroalgen kann zu einer deutlichen Steigerung des Wachstums beitragen. Diese Arbeit hat daher zum Ziel die ideale Bestrahlungsbedingung für das maximale Wachstum der Mikroalge *Nannochloropsis salina* zu finden.

Zur Ermittlung dieser Bedingungen erfolgt eine Variation der spektralen Zusammensetzung des Lichtes sowie der Bestrahlungsintervalle. Um trotz unterschiedlicher Bestrahlungsbedingungen ein Vergleich ziehen zu können, wird die tägliche Photonenstromdichte der Bestrahlung bei allen Versuchen gleich gehalten. Insgesamt wurden so zehn verschiedene Bedingungen untersucht und anhand der Wachstumsrate miteinander verglichen.

Neben der Betrachtung der Wachstumsrate werden im Rahmen der Arbeit auch eine tägliche Trübungsmessung des Wassers mit enthaltenen Algen durchgeführt. Die Trübungsmessung erfolgt nach der DIN EN ISO 7027-1. Dabei kann eine Diskrepanz zwischen den Wachstumsraten und der Trübung bei bestimmten Spektren festgestellt werden.

Insgesamt führt eine konstante, quasi monochromatischer blaue Bestrahlung zur besten Wachstumsrate von $14,28 \text{ mg l}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Andere Bestrahlungen, wie eine Mischung von blauem und rotem Licht oder quasi monochromatischen grünem Licht erzielen geringere Wachstumsraten. Bei der Verwendung von Wellenlängen nahe des UV-Bereichs kommt es zum Biomasseverlust der Algen.

Investigation of Algae growth under different irradiation conditions

Lennart Fedler, Tran Quoc Khanh

Technical University of Darmstadt

Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

fedler@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Microalgae can be game changing in global challenges such as climate change or food supply. The photosynthesis responsible for the growth of the algae depends on the light that is absorbed by the algae. Optimal illumination of the microalgae can lead to a significant increase in growth. Therefore, this work aims to find the ideal irradiation conditions for the maximum growth of the microalga *Nannochloropsis salina*.

To determine these conditions, the spectral composition of the light and the irradiation intervals were varied. To allow for comparison despite different irradiation conditions, the daily photon flux density of the irradiation was kept constant in all experiments. A total of ten different conditions were investigated and compared based on the growth rate.

In addition to examining the growth rate, daily turbidity measurements of the water containing algae were also conducted as part of the work. The turbidity measurement was carried out according to DIN EN ISO 7027-1. A discrepancy between the growth rates and the turbidity was found for certain spectra.

Overall, constant, quasi-monochromatic blue irradiation led to the best growth rate of 14.28 mg l⁻¹ d⁻¹. Other irradiations, such as a mixture of blue and red light or quasi-monochromatic green light, achieved lower growth rates. The use of wavelengths near the UV range resulted in biomass loss of the algae.

Herausforderungen bei der Modellierung der Nettophotosyntheserate in Abhängigkeit der spektralen Photonenflussdichte

Adrian Zwenger, Jens Balasus, Stefan Klir, Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

adrian.zwenger@stud.tu-darmstadt.de

Künstliche Beleuchtung ist ein kritischer Faktor in der nachhaltigen, effizienten, und von dem Klima und der Jahreszeit unabhängigen Pflanzenkultivierung. Allerdings ist künstliche Beleuchtung mit erheblichen Umwelt- und finanziellen Kosten verbunden. Daher besteht hierbei eine zentrale Herausforderung darin, den Stromverbrauch für die Beleuchtung zu senken, ohne die Pflanzenqualität und den Ernteertrag zu beeinträchtigen. Mit anderen Worten: Es wird eine optimale Beleuchtungsstrategie im Hinblick auf die Nettophotosyntheserate, welche direkt mit der Qualität und dem Ernteertrag zusammenhängt, gesucht.

Das Bestimmen einer optimalen Beleuchtungsstrategie ist allerdings nicht einfach, da der photosynthetische Prozess und dessen Einflussfaktoren noch nicht vollständig verstanden worden sind. Des Weiteren sind Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren untereinander nicht nur möglich, sondern meist auch nicht linear. Deswegen ist das Verwenden von datengetriebenen Ansätzen und Maschinelles Lernen (ML) zur Modellierung des photosynthetischen Verhaltens als abstrakte Blackbox zu einem von vielen Schwerpunkten der Photosyntheseforschung geworden.

Derzeit erfordert die Untersuchung der Nettophotosyntheserate einer Messung der Netto-CO₂-Assimilationsrate. Dies ist arbeitsintensive, aber ebenfalls eine ressourcenintensive Messmethode. Ziel dieser Arbeit ist es, ein Rahmenwerk für die Modellierung der photosynthetischen Aktivität von C₃- und C₄-Pflanzen in Abhängigkeit von der spektralen Photonenflussdichte vorzuschlagen, damit eine Assimilationsratenmessung zur Untersuchung überflüssig wird. Die Herausforderungen, die sich aus der biochemischen Komplexität ergeben, werden aufgezeigt und mögliche Lösungsansätze vorgestellt. Hierbei wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Datenaufbereitung, Datenanreicherung, aber auch auf die vorgeschlagenen Ansätze des Maschinellen Lernens gelegt.

Challenges in Modelling Photosynthesis as a Function of Spectral Photon Flux Density

Adrian Zwenger, Jens Balasus, Stefan Klir, Tran Quoc Khanh

Technical University of Darmstadt

Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing

Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

adrian.zwenger@stud.tu-darmstadt.de

To establish a sustainable and efficient crop cultivation, independent of season and climate, artificial lighting remains a critical factor. Artificial lighting can incur a significant environmental and financial cost. Thus, a key challenge is reducing power consumption for lighting without compromising crop quality and yield. In other terms, lighting needs to be optimized with regard to net photosynthetic activity, which is directly linked to crop quality and yield.

Determining an optimal lighting strategy is not trivial, as the photosynthetic process and its influencing factors have not been fully understood yet. Furthermore, interaction between the influencing factors is not only possible, but can occur non-linearly. This is the reason why using data-driven approaches and machine learning to model photosynthetic behaviour as an abstract black-box has become one of many focal points in photosynthesis research.

Currently, studying photosynthesis requires the examination of the net CO₂-assimilation-rate, which is labour- as well as resource-intensive. The aim of this work is to propose a framework for modelling the photosynthetic activity of C₃- and C₄-plants as a function of the spectral photon flux density, with the goal of eliminating the

assimilation-rate measurement altogether. Challenges arising from the biochemical complexities are highlighted and possible workarounds determined. A special focus is placed on data pre-processing and augmentation steps, as well as proposed machine learning approaches.

Mit freundlicher Unterstützung von:

