

# Lux junior 2023

16. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs 23. bis 25. 6. 2023 Dörfeld/Ilm

## Abstracts



Deutsche Lichttechnische  
Gesellschaft e.V.



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

Lux junior 2023

# Abstracts

16. Forum für den lichttechnischen Nachwuchs

23. bis 25. Juni 2023  
Dörnfeld bei Ilmenau

**Veranstalter:**

Technische Universität Ilmenau  
Fakultät für Maschinenbau  
Fachgebiet Lichttechnik

und

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e. V. (LiTG)  
Bezirksgruppe Thüringen-Nordhessen

PF 100565, D-98684 Ilmenau  
Tel. (03677) 69-3735, Fax (03677) 69-3733

11:30 **Mittagessen (Lunch)**

13:00 **Eröffnung (Opening)**

13:15 Julius Muschaweck (JMO GmbH)

**Grundlagen der Beleuchtungsoptik** (Fundamentals of illumination optics)

14:00 Uwe Slabke (LED Institut)

**Lebensdauer und Zuverlässigkeit von LEDs** (Lifetime and reliability of LEDs)

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

15:30 Mary-Anne Kyriakou (TH Ostwestfalen-Lippe)

**VIZPO: Visual Tempo! Exploring daylight concepts with musical compositional techniques to develop lighting strategies for white box and black box spaces.**

16:15 Johannes Zauner (I3pi)

**Überblick über die nichtvisuellen, über das Auge vermittelte Wirkungen von Licht auf den Menschen: zwischen Humanbiologie und Lichtplanung**  
(Overview of the non-visual, eye-mediated effects of light on humans: between human biology and lighting design)

18:00 **Abendessen (Dinner)**

7:30	<b>Frühstück (Breakfast)</b>	
8:30	Markus Alexander Peier, Julian Kunkel, Babak Zandi, Anil Erkan, David Hoffmann, Korbinian Kunst, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) <b>Blendungsvermeidung bei nächtlichen Fahrten durch adaptive Steuerung der Heckleuchten an Fahrzeugen</b> (Glare reduction during night-time driving through adaptive control of the rear lights on vehicles)	10 11
8:45	Mirko Waldner, Nathalie Müller, Torsten Bertram (TU Dortmund) <b>Different Approaches to Optimize High-Definition Matrix Headlights to Improve Computer Vision</b>	13
9:00	Nathalie Müller, Mirko Waldner, Torsten Bertram (TU Dortmund) <b>Usage of Material Properties of 3D Objects for an Improved Illumination by High-Definition Matrix Headlights</b>	15
9:15	Florian Kriefft (HELLA GmbH & Co. KGaA); Cornelius Neumann (KIT Karlsruhe) <b>Scheinwerfer und Kamera als Sichtweitensensor basierend auf der spektralen Analyse der Rückstreuung</b> (Headlamp and camera as a visibility sensor based on spectral analysis of backscattering)	16 17
9:30	Leonhard Rottmann (HELLA GmbH & Co. KGaA) <b>Lichtbasierte Lösungen für die Akzeptanz rückwärtiger Sitzpositionen in Autonomen Fahrzeugen</b> (Light Based Solutions for the Acceptance of Facing Rearward in Autonomous Vehicles)	18 19
9:45	Maximilian Baumann, Yasmine Chouchen, Klaus Trampert, Cornelius Neumann (KIT Karlsruhe) <b>Untersuchung einer cyan-farbigen Signalleuchte zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern</b> (Study on a cyan-colored signal lamp for communication with other road users)	20 21
10:00	Korbinian Kunst, Anil Erkan, Lily Antoinette Engelbrecht-Schnür, David Hoffmann, Markus Peier, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) <b>Effizienzsteigerungsmöglichkeiten für Kfz-Beleuchtungssysteme durch Analyse der Verkehrssituation</b> (Efficiency enhancement opportunities for automotive lighting systems by traffic situation analysis)	22 23
10:15	Christian Rogalski (HELLA GmbH & Co. KGaA) <b>Analyse von Schwierigkeiten bei der Konzeptionierung von nachhaltiger automobiler Lichttechnik</b> (Analysis of difficulties in the conception of sustainable automotive lighting technologies)	24 25
10:30	Jan Schmidt, Maic Meyer, Robert Maass, Stefan Pendsa, Thorsten Gerloff (PTB Braunschweig) <b>Poster: Realisierung einer hemisphärischen Beleuchtungsstärke in einer Ulbricht-Kugel</b> (Realisation of a hemispherical illuminance in an integrating sphere)	26 27

10:35	<b>Kaffeepause und Posterbesichtigung (Coffee Break)</b>	
11:00	Maatje Hilmer, Johannes Ledig (PTB Braunschweig) <b>Lichtstärkeeinheit im europäischen Vergleich - Stand der Bearbeitung des aktuellen EURAMET-Schlüsselvergleichs</b> (Unit of Luminous Intensity in European Comparison - Processing status of the current EURAMET Key Comparison)	28 29
11:15	Tanja Thiele (TechnoTeam Bildverarbeitung Ilmenau) <b>Bildgebende Messverfahren im Fokus: Fortschritte der Standardisierung im Bereich der Leuchtdichtemesskameras</b> (Focus on imaging measurement methods: Advancements in Standardization and Regulation for luminance measurement cameras)	30 31
11:30	Anil Jean Pekgöz, Jannes Buthmann (EDAG Wolfsburg) <b>Automatisierte und Reproduzierbare Homogenitätsauswertung von simulierten und gemessenen Leuchtdichtebildern</b> (Automated and Repeatable Homogeneity Calculations on Simulated and Measured Luminance Fields)	32 33
11:45	Julian Lerch, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) <b>Entwicklung und Evaluierung einer Machine Learning gestützten Infrarot Array Auswertung zur Situationserkennung</b> (Development and evaluation of a machine learning based Infrared Array Evaluation for Situation Recognition)	34 35
12:00	Annika Stein, Philipp Wiswesser, Johannes Ledig (PTB Braunschweig) <b>Auswertung der zeitliche Lichtmodulation unter Verwendung von bildauflösenden Messgeräten</b> (Evaluation of temporal light modulation using imaging measurement devices)	36 37
12:15	Philipp Wiswesser, Annika Stein, Johannes Ledig (PTB Braunschweig), Konstantinos Pountoukidis (ICCS/NTUA) <b>Bildgebende Messungen und Bewertung von zeitlicher Lichtmodulation in Feldmessungen</b> (Spatial-Resolved Measurements and Assessment of Temporal Light Modulation in Field Measurements)	38 39
12:30	<b>Mittagspause (Lunch Break)</b>	

14:30	Mohammad Beyki (Hochschule Hannover, Leibniz Universität Hannover), Robert Patzke (Hochschule Hannover), Justus Pawlak, Franz Renz (Leibniz Universität Hannover)	40 41
	<b>Simulative Weiterentwicklung des elektronischen Teils der Mößbauer-Spektroskopie mit Fokus auf die Regelbarkeit</b>	
	(Simulative development of the electronic part of Mößbauer spectroscopy with focus on controllability)	
14:45	Till Schwarznecker, Johannes Ledig, Maatje Hilmer (PTB Braunschweig)	42 43
	<b>Lichtquellen und deren Darstellung von niedrigen und hohen Beleuchtungsstärken für die Kalibrierung von Photometern</b>	
	(Light sources and their representation of low and high illuminances for the calibration of photometers)	
15:00	Lukas Liegener (TU Berlin)	44 45
	<b>Vereinfachte lichttechnische Vermessung der ortsfesten Straßenbeleuchtung bei Dunkelheitsunfällen</b>	
	(Simplified photometric measurement of stationary street lighting in the event of accidents at night)	
15:15	Niilo Malinen, Tommi Vilenius, Jussi Collin, Jari Nieminen (Murata Electronics Oy, Nordic Inertial Oy, Finland)	47
	<b>Capacitive silicon MEMS based combined accelerometer and gyroscope sensors in headlight levelling systems</b>	
15:30	Metin Aydanov Ibryamov, Orlin Lyubomirov Petrov (University of Ruse, Bulgarien)	49
	<b>3D techniques for presenting lighting parameters</b>	
15:45	<b>Kaffeepause (Coffee Break)</b>	

16:15	Jan Müller, Ingo Ramsteiner, Reinhold Fieß (Robert Bosch GmbH), Cornelius Neumann (Karlsruher Institut für Technologie)	50 51
	<b>Wellenlängenkonvertierte Lichtquellen in fluoreszenzbasierten Methoden in der Medizintechnik</b>	
	(Wavelength-converted light sources in fluorescence-based methods in medical technology)	
16:30	Oindrila Ghosh, Cornelius Neumann (KIT Karlsruhe), Jan Müller (KIT Karlsruhe, Robert Bosch GmbH), Ingo Ramsteiner, Reinhold Fieß (Robert Bosch GmbH)	52 53
	<b>Lab-on-Chip Projektions-System für fluoreszenzbasierte medizinische Untersuchungen</b>	
	(Lab-on-Chip Projection System for Fluorescence based Medical Analysis)	
16:45	Cvetomir Lukanov, Orlin Lyubomirov Petrov (University of Ruse, Bulgarien)	55
	<b>Intelligent lighting system with the ability to control the color temperature and light flow of the illuminators</b>	
17:00	Marie Henning (TU Ilmenau, BJB Arnsberg)	56 57
	<b>Probandenversuch zur Ermittlung von Grenzwerten für Farbsäume bei Optiken für die Allgemeinbeleuchtung</b> (Experiment with test persons to determine limits for color fringes in optics for general illumination)	
17:15	Tim Hegemann, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)	58 59
	<b>Der Weg zur effizienten Belichtungsregelung in Algen-Photobioreaktoren</b> (The road to efficient lighting control in algal photobioreactors)	
17:30	Filip Duda, Dionyz Gasparovsky, Peter Janiga, Jana Raditschova (TU Bratislava, SK)	61
	<b>Road Traffic Data Harvesting in Residential Settlements and Neighbourhoods for Considerations on Adaptive Road Lighting</b>	
18:00	<b>Abendessen (Dinner)</b>	

8:00	<b>Frühstück (Breakfast)</b>	
9:00	Tianshu Chen, Alexander Herzog, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) <b>Detection of stroboscopic effects in dependence of duty cycle, speed, and illumination</b>	63
9:15	Mark Suppelt, Julian Klages, Paul Myland, Prof. Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) <b>Untersuchung von Farbpräferenz mittels mehrdimensionaler Algorithmen</b> (Evaluating colour Preference by using Multidimensional Approaches)	64 65
9:30	Elisabeth Kemmler, Paul Myland, Julian Klages, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt) <b>Untersuchung der Duv-Präferenz in Abhängigkeit von korrelierter Farbtemperatur (CCT), Farbgamut und betrachteten Objekten</b> (Investigation of Duv Preference Depending on Correlated Color Temperature (CCT), Color Gamut and Objects under Consideration)	66 67
9:45	Martin Schlanke (EAHS Jena) <b>Untersuchungen zur Optimierung von barrierefreien visuellen Kontrasten</b> (Investigations into the optimisation of barrier-free visual contrasts)	68 69
10:00	Frithjof Hansen, Stephan Völker (TU Berlin) <b>Entwicklung von Straßenbeleuchtungskonzepten mittels LED-Technik zur Verbesserung der visuellen Wahrnehmung von Radfahrern</b> (Development of street lighting concepts using LED technology to improve the visual perception of cyclists)	70 71
10:15	Gurubaran Raveendran, Kai Homeyer, Jessica Raabe, Thomas Bartels (Hochschule Hannover), Roland Lachmayer (Leibniz-Universität Hannover) <b>Beleuchtung als Einflussfaktor für eine tiergerechte Mastputenhaltung</b> (Lighting as an influencing factor for animal-friendly fattening turkey husbandry)	72 73
10:30	<b>Kaffeepause (Coffee Break)</b>	



11:00	Damian Seliga, Dionyz Gasparovsky, Roman Dubnicka, Jana Raditschova (TU Bratislava, SK)	75
	<b>Modelling of Lighting in Urban Parks for Investigation of Environmental Impacts</b>	
11:15	Daria Klimova, Svetlana Roslyakova (ITMO University)	77
	<b>Personalized lighting for round-the-clock shift workers</b>	
11:30	Felix Wirth, Jens Balasus, Antoine Wache, Jill Baldus, Tran Quoc Khanh (TU Darmstadt)	78 79
	<b>Auf dem Weg zu einer optimalen Pipeline für die Erzeugung von Punktwolken für Pflanzen unter Verwendung eines kostengünstigen Hardware- und Softwareansatzes</b>	
	(Towards an optimal pipeline for generating point clouds for plants using a low-cost hardware and software approach)	
11:45	Hannah Rolf, Ljiljana Udovicic (BAuA, Dortmund), Stephan Völker (TU Berlin)	80 81
	<b>Wirkung von Licht auf die Aufmerksamkeit von tagarbeitenden Beschäftigten: Eine Laborstudie</b>	
	(Effects of Light on Attention of Daytime Workers: A laboratory study)	
12:00	Corina Varga, Ljiljana Udovicic (BAuA, Dortmund)	82 83
	<b>24-Stunden-Lichtexposition unterschiedlicher Berufsgruppen</b>	
	(24-hour light exposure of different occupational groups)	
12:15	Kai Broszjo (BUA und TU Berlin) Nils König, Martine Knoop, Stephan Völker (TU Berlin)	84 85
	<b>Vergleich zweier Versuchsaufbauten zur Untersuchung der Richtungsabhängigkeit von NIF-Effekten</b>	
	(Comparison of two experimental setups to investigate the directionality of NIF effects)	
12:30	<b>Verabschiedung und Mittagessen (Closure and Lunch)</b>	

# **Blendungsvermeidung bei nächtlichen Fahrten durch adaptive Steuerung der Heckleuchten an Fahrzeugen**

*Markus Alexander Peier, M.Sc., Julian Kunkel, M.Sc., Dr.-Ing. Babak Zandi, Anil Erkan, M.Sc., David Hoffmann, M.Sc., Korbinian Kunst, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh;*

*Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung, Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*peier@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Neue technologische Möglichkeiten, die durch die Einführung von LEDs in Fahrzeugheckleuchten entstehen, haben das Design von Heckleuchten revolutioniert. Die gesetzlichen Anforderungen haben sich diesem Trend bislang nur bedingt angepasst. Insbesondere seit Einführung der LEDs beklagen viele Autofahrer, dass sie sich durch die neuen LEDs in den Heckleuchten des vorausfahrenden Verkehrs geblendet fühlen, obwohl diese normgerecht ausgelegt sind.

Neben der subjektiv empfundenen Blendung (psychologische Blendung) existiert die physiologische Blendung, welche dazu führt, dass die Objektdetektion im nächtlichen Straßenverkehr erschwert wird. Somit besteht insbesondere bei geringen Abständen zwischen Fahrzeugen im innerstädtischen Verkehr die Gefahr, dass zu helle Bremsleuchten eines vorausfahrenden Fahrzeuges die Sicht von nachfolgenden Fahrzeugführern einschränken. Während bei Frontscheinwerfern im ECE-Raum bereits adaptive Konzepte zur Blendungsvermeidung realisiert werden (z.B. blendfreies Fernlicht), werden bei Heckleuchten weiterhin meist hohe Lichtstärken zur vermeintlichen Sicherheitserhöhung genutzt. Dabei sind adaptive Konzepte im Heckbereich ebenfalls im Rahmen der Gesetzgebung realisierbar. Hier wird aber meist nur zwischen Tag- und Nacht, sowie Fahren und Stehen unterschieden, obwohl Studien zeigen, dass es noch weitere Einflussfaktoren, wie beispielsweise den Abstand eines Beobachters zur Heckleuchte des vor ihm fahrenden Fahrzeugs gibt.

Daher befasst sich diese Arbeit mit der Frage, ob durch die adaptive Steuerung der Lichtstärke von intelligenten Heckleuchten je nach Anforderung der Verkehrssituation die Blendung des nachfolgenden Verkehrs reduziert und somit die Sicherheit im Straßenverkehr erhöht werden kann. Hierzu werden Forschungsaktivitäten, welche sich mit dieser Fragestellung beschäftigen, analysiert und miteinander verglichen. Anschließend wird eine Feldstudie durchgeführt, um die bisherigen Forschungsergebnisse zu validieren und den Forschungsstand bezüglich abstandsabhängig optimierter Lichtstärken von Heckleuchtenfunktionen zu erweitern.

## **Glare reduction during night-time driving through adaptive control of the rear lights on vehicles**

*Markus Alexander Peier, M.Sc., Julian Kunkel, M.Sc., Dr.-Ing. Babak Zandi, Anil Erkan, M.Sc., David Hoffmann, M.Sc., Korbinian Kunst, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh;*

*Technische Universität Darmstadt, Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing, Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*peier@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

New technological possibilities created by the introduction of LEDs in vehicle rear lamps have revolutionised the design of rear lamps. The legal requirements have so far only adapted to this trend to a limited extent. Especially since the introduction of LEDs, many drivers complain that they feel glared by the new LEDs in the rear lamps of the traffic ahead, although these are designed in accordance with the standards.

In addition to subjectively perceived glare (psychological glare), there is also physiological glare, which makes it more difficult to detect objects in road traffic at night. Thus, especially in the case of small distances between vehicles in inner-city traffic, there is the danger that excessively bright brake lights of a vehicle in front restrict the visibility of following vehicle drivers. While adaptive concepts to avoid glare are already being implemented for front headlights in the ECE area (e.g. glare-free high beam), high luminous intensities are still mostly used for rear lights to supposedly increase safety. Adaptive concepts in the rear area can also be realised within the scope of the legislation. Here, however, a distinction is usually only made between day and night, as well as driving and standing, although studies show that there are other influencing factors, such as the distance of an observer to the rear lamp of the vehicle in front of him.

Therefore, this paper deals with the question of whether the glare of following traffic can be reduced by adaptive control of the luminous intensity of intelligent rear lamps depending on the requirements of the traffic situation, thus increasing safety in road traffic. For this purpose, research activities dealing with this question will be analysed and compared with each other. Afterwards, a field study will be carried out to validate the previous research results and to expand the state of research regarding distance-dependent optimised luminous intensities of rear light functions.

## References

- [1] M. Waldner, N. Müller and T. Bertram: Energy-Efficient Illumination by Matrix Headlamps for Nighttime Auto-mated Object Detection, International Journal of Electrical and Computer Engineering Research, Vol. 2 No. 3 (2022)
- [2] R. Kauschke, M. Waldner, N. Müller, T. Bertram and M. Grünke: Ist automatisiertes Fahren mit kamera-optimierten Lichtfunktionen besser möglich? Top-Down-Entwicklung optimierter Lichtverteilungen für das automatisierte Fahren, 9. VDI-Tagung Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik 2022, 30.06.-01.07.2022
- [3] M. Waldner and T. Bertram: Feedforward Control of HD-Headlights for Automated Driving, 14th International Symposium on Automotive Lighting (ISAL) 2021, 04.-06.04.2022
- [4] H. Rezatofghi, N. Tsoi, J. Gwak, A. Sadeghian, I. Reid and S. Savarese: Generalized Intersection over Union, The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June, 2019

# Different Approaches to Optimize High-Definition Matrix Headlights to Improve Computer Vision

*Mirko Waldner, Nathalie Müller and Torsten Bertram*

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

*mirko.waldner@tu-dortmund.de*

Automated object detection of traffic objects such as vehicles and pedestrians by computer vision, e.g., with neural networks [1], is similar to human perception but differs in some aspects such as the dependence between the contrast of the object to its background and the resulting quality of detection [1]. Previous studies have shown that a higher contrast caused by more illumination of matrix headlamps can decrease the quality of automated detection by computer vision [1]. Another aspect is that a detection algorithm, in contrast to humans, can communicate its confidence in the recognized objects to the matrix headlight control algorithm faster than humans, which enables the usage of online illumination optimizations to maximize the detection quality with minimal energy consumption. Therefore, the different characteristics of automated computer vision and human vision require different and novel offline and online optimization approaches of the dynamic illumination of automotive matrix headlights to maximize traffic safety and system efficiency [2].

The contribution at hand will present two different optimization approaches, especially cost functions for high-definition (HD) matrix headlights, and will show and compare the results. For the experiments, the current illumination of the matrix headlamps is simulated in the Unreal Engine 5.1. An inner lighting feedforward control algorithm adjusts the beam pattern to optimally reproduce the target luminous intensity distribution [3]. An outer optimization loop defines the target distribution to maximize the quality of object detection as in a cascaded control system.

The contribution at hand shows two different optimization approaches. The applications differ in the definition of the cost function. One approach is to maximize the confidence of the neural network in the detected objects [1]. The other one is to maximize a handcrafted feature, which is some kind of economic directional Weber contrast. This feature is more precisely the amount of magnitude and directional changes of the contrast in the camera image for all image pixels concerning inhomogeneities in the headlamp intensity distribution. Both approaches use simulated headlamp illumination and only information, which is directly readable from the captured image. They therefore have the potential to be used online in future vehicles.

The approaches will be evaluated with different matrix headlamps with individual resolutions in a virtual country road and city scenario, which take place in a high-definition 3D model of the German city Lippstadt.

The evaluation criteria for object detection are the correctness of the object classification and the Generalized Intersection over Union (GIoU) [4] between the detected and true bounding box. In the final contribution the quality of detections, the beam patterns of the matrix headlamps and the resulting illuminations in a virtual world will be presented.

The final contribution shows the first basic suggestions and possibilities for optimizing the illumination of automotive matrix headlights to support object detection for automated driving.



# Usage of Material Properties of 3D Objects for an Improved Illumination by High-Definition Matrix Headlights

*Nathalie Müller, Mirko Waldner and Torsten Bertram*  
*Institute of Control Theory and Systems Engineering (RST)*  
*TU Dortmund University, Germany*  
*nathalie2.mueller@tu-dortmund.de*

The visual perception of objects is mainly influenced by their surface properties such as roughness or color, on which the reflection of light depends. If these surface properties are known, the illumination can be optimally adjusted, e. g. to save energy or to improve automated object detection by avoiding overexposed images. This is important for safety-critical applications, e. g. object detection for automated vehicles, as the occurrence of traffic accidents and near accidents can be minimized if there are no incorrectly detected or undetected objects. The same applies to human recognition in manual driving.

The contribution at hand investigates the potential of high-definition (HD) matrix headlights to improve the illumination of the environment with knowledge of the material properties of the illuminated objects. HD matrix headlights consist of a matrix of pixels that individually light segments of the environment, allowing different materials of objects to be illuminated with different light intensities. This can be used to improve visual perception or to achieve equally good perception while saving energy. The examinations in this contribution are analyzed virtually in the Unreal Engine 5.1.

In this contribution, a multi-story 3D house with a fence at one side is used as an exemplary object with seven known surface features, e. g. glass windows, and plastic window frames. The house originates from a highly detailed map from 3D Mapping Solutions of the real German city Lippstadt. The illumination intensity on the different surfaces is varied by a pair of HD matrix headlamps with more than 100,000 pixels per module to investigate the effects on visual perception for humans and cameras, which are the visual sensors for automated vehicles. For realistic visualization in the simulation, the Physically Based Rendering (PBR) model is used for the 3D model by the Unreal Engine. In addition, another layer of information is applied to the material properties of the 3D model, with each material class, e. g. glass or wood, represented by a specific individual color. In this way, the different surface classes of a virtual object can be recognized and distinguished by the headlight control algorithm during simulation.

The approach, which will be presented in more detail in the final contribution, involves an algorithm for automatically identifying the locations of different material classes based on their individual colors in relation to the headlight coordinate system. This is used to control the pixels of the HD matrix headlights so that each class of material is illuminated with an adjusted light intensity distribution. In addition, the final contribution discusses and demonstrates strategies and suggestions for improved visual perception that are possible with this approach for both automated vehicle cameras and humans. First results show that the approach enables the YOLOv8 neural network to detect objects in front of reflective surfaces that would not be detected without the approach.

# **Scheinwerfer und Kamera als Sichtweitensensor basierend auf der spektralen Analyse der Rückstreuung**

*Florian Krieff (HELLA GmbH & Co. KGaA); Cornelius Neumann (KIT Karlsruhe)*

Bei der Realisierung von automatisierten Fahrsystemen muss sich zwangsweise mit dem Einsatz von unterschiedlichen Sensortypen auseinandergesetzt werden. Je nach Automobil- oder Sensorhersteller unterscheiden sich die Sensorkonzepte hinsichtlich Typen und Anzahl der eingesetzten Sensortechnologien. Generell verfolgen die Sensorkonzepte bei den meisten Herstellern das Ziel, dass sich einzelne Sensoren hinsichtlich ihrer Sensorinformationen ergänzen und somit ein stabiles System gegenüber Umwelteinflüssen bilden. Die große Bedeutung von Kamerasensoren zeigt sich darin, dass sie in nahezu allen automatisierten Fahrsystemen Kernbestandteil sind.

Betrachtet man mögliche Störgrößen, denen die Sensoren im automobilen Umfeld ausgesetzt sind, ist Nebel eine relevante Komponente. Die Streuung durch den im Automobil verbauten Scheinwerfer, wird hier in aller Regel als störend angesehen. Um die Sicherheit der automatisierten Fahrfunktionen auch bei Nebel zu gewährleisten, muss deren Vorhandensein zuverlässig erfasst und klassifiziert werden.

Daher wird im Folgenden diese Störung als Informationsquelle untersucht, in dem das Streuverhalten unter Berücksichtigung der Mie-Theorie basierend auf den erfassten Kameradaten bezüglich der spektralen Bestandteile analysiert wird. Dazu wird ein System bestehend aus Kamera und Scheinwerfersystem vorgestellt, deren Nutzung für die Erfassung von unterschiedlichen Sichtweiten bei Nebel untersucht wird. Die in heutigen Scheinwerfern verbauten LED-, Xenon- oder Halogenleuchtmittel, senden Licht verschiedener spektraler Wellenlängenteile aus. Diese Spektren können mit Hilfe von Kamerasensoren durch den Verbau von unterschiedlichen Farbfiltern (hier: Rot, Grün, Blau) auf Sensorebene erfasst werden. Es werden im Rahmen dieser Veröffentlichung ein LED-Scheinwerfermodul und eine RGB-Kamera genutzt, um durch die Kalibrierung beider Systeme aufeinander die spektralen Einflüsse als mögliche Informationsquelle für Sichtweiten bei Nebel zu untersuchen. Ziel ist es somit, basierend auf den Messdaten, die Umsetzung eines Sichtweitensensors aufzuzeigen. Diese Informationen können anschließend für eine automatisierte Anpassung der Scheinwerferlichtverteilung, der Datenverarbeitung der weiteren Sensoren sowie des Fahrverhaltens in Abhängigkeit der Sichtweite genutzt werden. Die Untersuchungen zur Validierung des Systems wurden in der Nebelkammer des CEREMAs in Clermont-Ferrand, Frankreich durchgeführt. Dabei wurde in den Messungen der Nebel zu Beginn auf 5 m Sichtweite eingestellt und bei über die Zeit zunehmender Sichtweite Messungen durchgeführt.

Basierend auf der Analyse der Messdaten, reicht das spektrale Auflösungsvermögen der Kamerasensoren aus, um Veränderungen im Lichtspektrum zu erfassen. Die Veränderungen variieren zwar bei Zunahme der Sichtweite kontinuierlich, erscheinen jedoch als zu gering, um eine eindeutige Sichtweitenbestimmung vornehmen zu können. Vielmehr eignen sich die generellen Intensitätsverläufe der Streuung der Scheinwerferprojektion zur Sichtweitenbestimmung. Dabei kommen Hardwarekomponenten zum Einsatz, die ohnehin in den meisten heutigen Fahrzeugen verbaut sind. Eine Umsetzung des Systems in heutigen Automobilen wäre also durch eine Anpassung der Bildverarbeitungsalgorithmik und ohne Hardwareanpassungen möglich.



## Headlamp and camera as a visibility sensor based on spectral analysis of backscattering

*Florian Krieff (HELLA GmbH & Co. KGaA); Cornelius Neumann (KIT Karlsruhe)*

When implementing automated driving systems, the use of different sensor types must necessarily be addressed. Depending on the automotive or sensor manufacturer, the sensor concepts differ in terms of types and number of sensor technologies used. In general, the sensor concepts of most manufacturers pursue the goal that individual sensors complement each other regarding their sensor information and thus form a stable system against environmental influences. The great importance of camera sensors is reflected in the fact that they are core components in almost all automated driving systems.

If one considers possible disturbance variables to which the sensors are exposed in the automotive environment, fog is a relevant component. The scattering caused by the headlights installed in the automobile is generally considered as a disturbance. To ensure the safety of automated driving functions even in fog, its presence must be reliably detected and classified.

Therefore, in the following, this disturbance is used as a source of information, in which the scattering behavior is analyzed under consideration of the Mie-theory based on the acquired camera data regarding the spectral components. For this purpose, a system consisting of a camera and a headlamp system is presented that can be used for the detection of different visibility levels in fog. The LED, xenon or halogen lamps installed in today's headlights emit light of different spectral wavelength components. These spectra can be detected by camera sensors by their different color filters (here: red, green, blue) at the sensor level. In this publication, an LED headlamp module and an RGB camera are used to, based on their calibration to each other, analyze the spectral influences as a possible source of information for visibility in fog. The aim is thus to show, based on the measurement data, the implementation of a visibility sensor. This information can then be used for an automated adjustment of the headlamp light distribution, the data processing of the other sensors as well as the driving behavior depending on the visibility. The tests to validate the system were carried out in the fog chamber at CEREMA in Clermont-Ferrand, France. In the measurements, the fog was set to 5 m visibility at the beginning and measurements were performed with increasing visibility over time.

Based on the analysis of the measurement data, the spectral resolving capability of the camera sensors is sufficient to detect changes in the light spectrum. Although the changes vary continuously as the visibility increases, they appear to be too small to make an accurate visibility determination. Rather, the general intensity curves of the scattering of the headlamp projection are suitable for visibility estimations. Hardware components are used that are already installed in most of today's vehicles. An implementation of the system in today's automobiles would therefore be possible by adapting the image processing algorithms and without hardware adaptations.

# **Lichtbasierte Lösungen für die Akzeptanz Rückwärtiger Sitzpositionen in Autonomen Fahrzeugen**

*Leonhard Rottmann*

*HELLA GmbH & Co. KGaA, Rixbecker Str. 75, 59552 Lippstadt  
leonhard.rottmann@forvia.com*

Mit der Einführung autonomer Fahrzeuge (AVs) in den Straßenverkehr geht auch die Entwicklung innovativer Sitzlayouts einher. Konzepte solcher Layouts beinhalten häufig rotierbare Vordersitze, die ein neues Level an sozialer Interaktion während autonomer Fahrten ermöglichen sollen und viel Zuspruch bei potenziellen Nutzern finden. Im Gegensatz dazu steht eine scheinbar sehr geringe Bereitschaft, autonom gefahren zu werden und dabei entgegen der Fahrtrichtung zu sitzen. Dafür zeichnen sich zwei Gründe ab, ein Mangel an Vertrauen gegenüber autonomen Fahrzeugen und Angst vor Kinetose. Während beide generelle Probleme bei der Nutzung von AVs darstellen, deutet der derzeitige Forschungsstand darauf hin, dass sie bei Sitzausrichtung entgegen der Fahrtrichtung noch ausgeprägter ausfallen dürften.

Basierend auf aktueller Literatur wird ein neues Modell zur Akzeptanz autonomen Fahrens etabliert, das Sitzorientierung und Kinetose berücksichtigt. Auf der Grundlage dieses Modells wird der Einsatz von lichtbasierten HMIs zur Erhöhung der Transparenz in Bezug auf die Wahrnehmung und Intention von AVs diskutiert. Ziel der Arbeit ist es, ein detaillierteres Verständnis für die Akzeptanz von rückwärtsgerichteten Sitzorientierungen in autonomen Fahrzeugen zu erlangen und dabei Vertrauen und Kinetose zu berücksichtigen.

# **Light Based Solutions for the Acceptance of Facing Rearward in Autonomous Vehicles**

*Leonhard Rottmann*

*HELLA GmbH & Co. KGaA, Rixbecker Str. 75, 59552 Lippstadt  
leonhard.rottman@forvia.com*

The introduction of autonomous vehicles into road traffic is accompanied by the development of innovative seating layouts. Concepts of such layouts often include rotatable front seats, which are supposed to enable a new level of social interaction during autonomous driving and find much approval among potential users. This contrasts with a seemingly very low willingness to be driven autonomously while sitting in the opposite direction of travel. Two reasons for this emerge, lack of trust in the autonomous vehicles and fear of motion sickness. With both being a point of concern in AVs in general, research suggests them being even more eminent when facing against the direction of travel.

Based on current literature, a new model is proposed taking seating orientation and motion sickness into account. Building on this model, the use of light-based HMIs to increase transparency with respect to perception and intention of the AV is discussed. The goal of the work is to gain a more detailed understanding of the acceptance of rearward seating orientations in autonomous vehicles, incorporating trust and motion sickness

## **Untersuchung einer cyan-farbigen Signalleuchte zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern**

*Baumann, Maximilian; Chouchen, Yasmine; Trampert, Klaus; Neumann, Cornelius*

*Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)  
Engesserstraße 13, Geb. 30.34, 76131 Karlsruhe*

*maximilian.baumann@kit.edu, www.lti.kit.edu*

Die Thematik der lichtbasierten Kommunikation wird derzeit im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben untersucht. Ziel ist es, die bisher mit der fahrzeugführenden Person stattfindende Kommunikation durch eine lichttechnische Einrichtung am Fahrzeug zu ersetzen. Ansätze verwenden beispielsweise Scheinwerferprojektion oder Displays am Fahrzeug zur Darstellung höher aufgelöster Inhalte wie Symbole oder Schrift.

Im Rahmen einer Probandenstudie wurde bewusst auf diese Möglichkeiten verzichtet und eine niedrig aufgelöste Kommunikationseinrichtung am Fahrzeug implementiert und untersucht.

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

## **Study on a cyan-colored signal lamp for communication with other road users**

*Baumann, Maximilian; Yasmine Chouchen; Klaus Trampert; Neumann, Cornelius*

*Karlsruhe Institute for Technology (KIT), Light Technology Institute (LTI)  
Engesserstraße 13, Building 30.34, 76131 Karlsruhe, Germany*

*maximilian.baumann@kit.edu, www.lti.kit.edu*

The subject of light-based communication is currently being investigated as part of various research projects. The aim is to replace the communication that has so far taken place with the person driving the vehicle with a light-based device on the vehicle. Approaches use, for example, headlight projection or displays on the vehicle to show higher-resolution content such as symbols or writing.

In a subject study, these options were foregone and a low-resolution communication device on the vehicle was implemented and investigated.

The results of the study are presented in the paper and in the lecture.

## **Effizienzsteigerungsmöglichkeiten für Kfz-Beleuchtungssysteme durch Analyse der Verkehrssituation**

*Korbinian Kunst, M.Sc., Anil Erkan, M.Sc., Lily Antoinette Engelbrecht-Schnür,  
David Hoffmann, M.Sc., Markus Peier, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*

*Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung  
Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt  
kunst@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Die Nachfrage nach energieeffizienteren Lösungen wächst in allen Bereichen der Gesellschaft. In der Automobilindustrie zum Beispiel steigt mit der Umstellung auf Elektrofahrzeuge die Nachfrage nach energieeffizienten Konzepten bei der Realisierung jeder Komponente. Dazu gehören auch die Beleuchtungssysteme des Fahrzeugs. Ziel ist es, Beleuchtungskonzepte zu entwickeln, die energieeffizienter sind als die derzeitigen Systeme. Dabei ist zu beachten, dass Beleuchtungssysteme für die Sicherheit und Wahrnehmung im nächtlichen Verkehr von großer Bedeutung sind. Es stellt sich daher die Frage, wann und wie die Effizienz von Kfz-Beleuchtungssystemen gesteigert werden kann, ohne die Sicherheit und Wahrnehmung zu beeinträchtigen.

Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Analyse von Verkehrsstatistiken nächtliche Verkehrssituationen zu identifizieren, die das Potenzial zur Effizienzsteigerung haben. Dazu können Staus, der Berufsverkehr oder der nächtliche Verkehr in beleuchteten Gebieten gehören. Diese Situationen werden dann nach ihrem Potenzial zur Effizienzsteigerung geordnet und die Möglichkeiten zur Anpassung der entsprechenden Beleuchtungsfunktionen analysiert. Eine solche Anpassung könnte zum Beispiel das Umschalten von Abblendlicht auf Tagfahrlicht im Stau sein. Die Analyse zeigt, dass vor allem der Berufsverkehr in der Dämmerung und der städtische Nachtverkehr für weitere Untersuchungen in Betracht gezogen werden sollten, da diese das meiste Einsparpotential darbieten.

## **Efficiency enhancement opportunities for automotive lighting systems by traffic situation analysis**

*Korbinian Kunst, M.Sc., Anil Erkan, M.Sc., Lily Antoinette Engelbrecht-Schnür,  
David Hoffmann, M.Sc., Markus Peier, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*

*Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung  
Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt  
kunst@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

The demand for more energy-efficient solutions is growing in all areas of society. In the automotive industry, for example, the switch to electric vehicles is increasing the demand for energy-efficient concepts in the realization of each component. This naturally includes the vehicle's lighting systems. The aim is to develop lighting concepts that are more energy efficient than current systems. In this context, it should be noted that lighting systems are of great importance in terms of safety and perception in night-time traffic. The question therefore arises as to when and how the efficiency of automotive lighting systems can be increased without compromising safety and perception.

The aim of this work is to identify night-time traffic situations that have the potential to increase efficiency by analyzing traffic statistics. These may include traffic jams, rush hour traffic or night-time traffic in illuminated areas. These situations are then ranked according to their potential to increase efficiency, and the possibilities for adjusting the relevant lighting functions are analyzed. For example, switching from low beam to daytime running lights in traffic jams could be one such adaptation. The analysis shows that especially dusk rush hour and urban night traffic should be considered for further studies, as they offer the greatest potential for energy savings.

# Analyse von Schwierigkeiten bei der Konzeptionierung von nachhaltiger automobiler Lichttechnik

*Christian Rogalski*

*HELLA GmbH & Co. KGaA, Rixbecker Str. 75, 59552 Lippstadt  
christian.rogalski @forvia.com*

Mit steigendem Konsumentenbewusstsein für das Thema Nachhaltigkeit steigt gleichzeitig auch der Bedarf an immer nachhaltigeren Produkten. Dies betrifft auch die Automobilindustrie und damit auch deren Zulieferer für Lichtsysteme. Um Kreislaufprozesse zu ermöglichen, Materialien bestmöglich wiederzugewinnen und so den Einfluss auf die Umwelt größtmöglich zu reduzieren sind in den vergangenen Jahren Methoden zum Ökodesign oder der recyclinggerechten Konstruktion entwickelt worden. Produkte, die ausschließlich nach diesen Prinzipien aufgebaut sind können nicht immer die geforderten funktionalen und Qualitätsanforderungen erfüllen. Dies gilt im Besonderen für komplexe lichttechnische Systeme in der automobilen Anwendung, deren Anforderungsprofil der Verwendung von Ökodesignprinzipien behindern oder sogar widersprechen kann. Im Rahmen dieses Papers werden am Beispiel eines generalisierten automobilen Scheinwerfers zunächst Elemente identifiziert, die nicht dem Ökodesign entsprechen. Anschließend werden in Kombination mit den Anforderungen Ursachen für diese Bauweisen identifiziert und potenzielle Verbesserungen diskutiert, um ökologische Vorteile zu erzielen.



# **Analysis of difficulties in the conception of sustainable auto-motive lighting technologies**

*Christian Rogalski*

*HELLA GmbH & Co. KGaA, Rixbecker Str. 75, 59552 Lippstadt  
christian.rogalski @forvia.com*

With increasing consumer awareness of the topic of sustainability, also the need for more sustainable products rises. This also applies to the automotive industry and in consequence to the suppliers of lighting systems. In order to enable circular processes, to recover materials in the best possible way and thus reduce the impact on the environment, methods for eco-design and recycling-friendly construction have been developed in recent years. Products designed by a purely environmentally friendly approach cannot always fulfil the given functional and quality requirements. This applies in particular to complex automotive lighting systems, where the requirement profile and ecodesign specifications can hinder or even contradict each other.

Within the scope of this paper, elements that do not correspond to ecodesign are first identified using the generalized example of a car headlight. Then, in combination with the requirements, causes for these construction methods are identified and potential improvements are discussed in order to achieve ecological benefits.

# Realisierung einer hemisphärischen Beleuchtungsstärke in einer Ulbricht-Kugel

*Jan Schmidt, Maic Meyer, Robert Maass, Stefan Pendsa, Thorsten Gerloff*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig*

*jan.schmidt@ptb.de*

Zur Kalibrierung von Photometern kann neben der planaren Beleuchtungsstärke auch eine hemisphärische gefordert werden. Hierfür verwendet die PTB eine Ulbricht-Kugel mit einem Durchmesser von 1,65m. Diese Ulbricht-Kugel besitzt mehrere verschließbare Öffnungen, in denen Lampenhaltestangen, die Hilfslampe oder auch großflächige Bauteile an- und eingebaut werden können.

Zur Realisierung einer hemisphärischen Beleuchtungsstärke aus einer homogenen räumlichen Leuchtdichteverteilung wurde die Lampenhaltestange im Inneren der Kugel entfernt und das Licht durch eine großflächige Öffnung in der Kugelwand eingebracht. Hierfür wurden verschiedene Lichtquellen ringförmig auf einer Trägerplatte angeordnet und damit die Kugelöffnung verschlossen. Durch Vielfachreflexionen wird eine sehr gleichmäßige Leuchtdichteverteilung auf der Oberfläche im Inneren der Ulbricht-Kugel erzeugt. Im Zentrum der ringförmig angeordneten Lichtquellen können nacheinander verschiedene Detektoren angebracht werden, deren Gesichtsfeld auf die gegenüberliegende Kugelseite gerichtet ist.

Als Lichtquellen können 21 Glühlampen verwendet werden. Die ähnlichste Farbtemperatur wird über den Lampenstrom auf z.B. 2856K eingestellt (ähnlich Normlichtart A) und die Beleuchtungsstärke auf dem Detektor kann mit Hilfe eines motorisierten Shutters vor den Lampen reguliert werden. Um die Beleuchtungsstärke auf dem Detektor auf Zielwerte zwischen 1 lux und 5000 lux einzustellen, werden die Lampen in drei Reihenschaltungen von je 7 Lampen in 3 separaten Stromkreisen betrieben, die einzeln ein- oder ausgeschaltet werden können. Weiterhin können die Glühlampen ausgetauscht werden und so die elektrische Leistung der einzelnen Lampen zwischen 10 Watt bis 250 Watt gewählt werden.

Neben den Glühlampen können auch LEDs auf einer weiteren Trägerplatte an der Öffnung angebaut werden. Diese Platte ist mit sechs verschiedenen, ringförmig angeordneten LED-Typen bestückt. Jeder LED-Typ ist an einem eigenen Stromkreis angeschlossen und kann getrennt geregelt werden. Die vorhandenen Typen haben die Farben Kaltweiß, Warmweiß, Rot, Grün, Blau und Infrarot.

Um die Homogenität der Leuchtdichteverteilung auf der Kugeloberfläche zu bestimmen, wurde eine Leuchtdichtemesskamera mit Fisheye-Objektiv verwendet, die mit nur einer Aufnahme die gesamte Kugeloberfläche erfasst.

Die auf der Detektoroberfläche realisierte hemisphärische Beleuchtungsstärke wird mit einem kalibrierten Photometerkopf bestimmt. Zeitgleich wird der Photostrom eines weiteren Photometerkopfs an der Kugelwand (Monitorempfänger) gemessen. Nun kann der kalibrierte Photometerkopf durch unbekannte Detektoren ausgetauscht werden und die Beleuchtungsstärke über Messungen mit dem Monitorempfänger eingestellt werden.

## Realisation of a hemispherical illuminance in an integrating sphere

*Jan Schmidt, Maic Meyer, Robert Maass, Stefan Pendsa, Thorsten Gerloff*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig*

*jan.schmidt@ptb.de*

For the calibration of photometers, a hemispherical illuminance can be required in addition to the planar illuminance. For this purpose, the PTB has used an integrating sphere with a diameter of 1.65m. This integrating sphere has several closable openings in which lamp-holder, the auxiliary lamp or also large-area components can be attached and installed.

To achieve a hemispherical illuminance from a homogeneous spatial luminance distribution, the lampholder inside the sphere was removed and the light was emitted from a large-area opening in the surface of the sphere. For this purpose, various light sources were arranged in a ring on a support plate, thus closing the opening in the sphere. Multiple reflections create a very uniform luminance distribution on the surface inside the integrating sphere. Various detectors can be mounted one after the other in the centre of the ring-shaped light sources, the field of view of which is directed to the opposite side of the sphere.

21 incandescent lamps can be used as light sources. The correlated colour temperature CCT is set to 2856K via the lamp current (similar to standard illuminant A) and the illuminance on the detector can be regulated with the help of a motorised shutters in front of the lamps. To adjust the illuminance on the detector to target values between 1 lux and 5000 lux, the lamps are operated in three series circuits of 7 lamps each in 3 separate circuits that can be switched on or off individually. Furthermore, the incandescent lamps can be exchanged and thus the electrical power of the individual lamps can be selected between 10 watts and 250 watts.

In addition to the incandescent lamps, LEDs can also be mounted on another support plate at the opening. This plate is equipped with six different LED types arranged in a ring. Each LED type is connected to its own circuit and can be controlled separately. The available types have the colours cool white, warm white, red, green, blue and infrared.

In order to determine the homogeneity of the luminance distribution on the surface of the sphere, a imaging luminance measuring device with a fisheye lens was used, which captures the entire surface of the sphere with just one shot.

The hemispherical illuminance realised on the detector surface is determined with a calibrated photometer head. At the same time, the photocurrent of another photometer head is measured on the sphere wall (monitor detector). Now the calibrated photometer head can be replaced by unknown detectors and the illuminance can be adjusted via measurements with the monitor detector.

## **Lichtstärkeinheit im europäischen Vergleich – Stand der Bearbeitung des aktuellen EURAMET-Schlüsselvergleichs**

*Maatje Hilmer, Johannes Ledig*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig*

Die nationalen Metrologieinstitute (NMIs) der Mitgliedsstaaten der Meterkonvention verpflichteten sich 1999 in einer gemeinsamen Vereinbarung, dem „Mutual Recognition Arrangement (MRA)“, zur gegenseitigen Anerkennung der in den NMIs bewahrten Normale und der ausgestellten Ergebnisberichte. Diese Vereinbarung beinhaltet die Aufforderung zu regelmäßig durchgeführten Schlüsselvergleichen um jeweils die Äquivalenz der realisierten Einheiten mit einem Vergleichsreferenzwert, dem „Key Comparison Reference Value“ (KCRV), festzustellen.

Mit der Veröffentlichung des Abschlussberichts im Mai 2022 wurde der aktuelle weltweite Lichtstärkevergleich von 2014 abgeschlossen. Den in diesem Vergleich ermittelte KCRV gilt es nun in den einzelnen Metrologieregionen (Regional Metrology Organizations – RMOs) in einem abgeleiteten Vergleich weiterzugeben.

Anfang 2020 startete ein RMO-Schlüsselvergleich in der EURAMET-Region. Auf dieser Vergleichsebene kann jedes Institut mit der nötigen technischen Kompetenz teilnehmen. Für diesen Sternvergleich mittels glühlampenbasierten Lichtstärkenormallampen vom Typ Osram Wi41/G haben sich 21 Institutionen angemeldet. Als Pilotlabor, welches die Organisation, die Koordination vom Entwurf des Technischen Protokolls für den Ablauf des Vergleichs sowie die Durchführung und Auswertung der Vergleichsmessungen übernimmt, fungiert das METAS, das NMI der Schweiz.

Staaten der am EURAMET-Schlüsselvergleich teilnehmenden Institute sind in der Grafik links gekennzeichnet. Zusätzlich zu Instituten aus 18 Ländern der EURAMET Region nehmen das NMI Usbekistan aus der RMO COOMET und das NMI Saudi-Arabiens aus der RMO GULF-MET teil.

Der KCRV aus dem aktuellen Weltvergleich wird in diesen abgeleiteten Vergleich anhand der Link-Labore PTB (Deutschland), METAS (Schweiz) und IO-SCIC (Spanien) eingebracht.

Die Messungen am Pilotlabor wurden im Dezember 2022 abgeschlossen und die Teilnehmer sind nun angehalten, ihre TransfERNormale abzuholen, bis April 2023 die notwendigen Rückmessungen in ihren Laboren durchzuführen und dem Piloten die Ergebnisse zur finalen Auswertung mitzuteilen.

## Unit of Luminous Intensity in European Comparison – Processing status of the current EURAMET Key Comparison

Maatje Hilmer, Johannes Ledig

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig

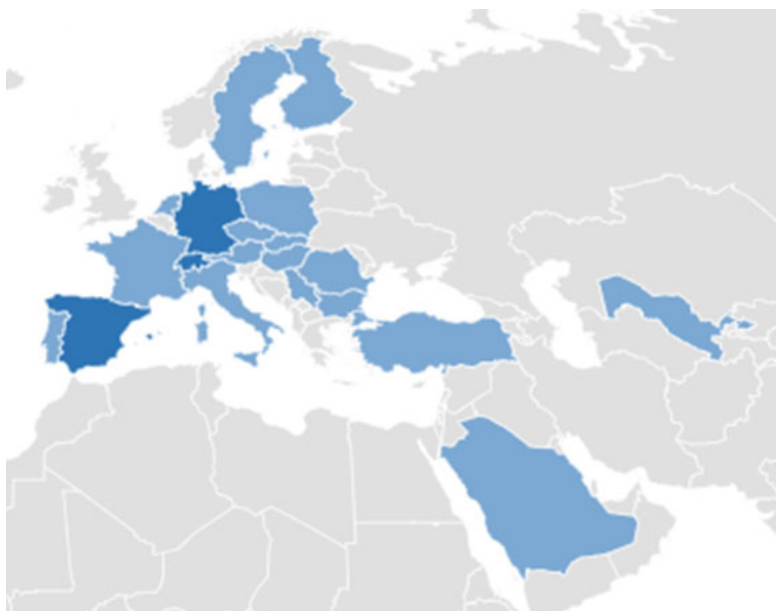
In 1999, the national metrology institutes (NMIs) of the member states of the Metre Convention committed themselves in a common agreement, the “Mutual Recognition Arrangement (MRA)”, to the mutual recognition of national measurement standards and the calibration and measurement certificates issued. This Agreement calls upon the regular participation in appropriate Key Comparisons to determine the degree of equivalence of the corresponding realized unit with a comparison reference value, called the “Key Comparison Reference Value” (KCRV).

With the publication of the final report in May 2022, the latest worldwide Luminous Intensity Comparison of 2014 was completed. The KCRV determined in this comparison must now be passed on to the individual metrology regions (Regional Metrology Organizations - RMOs) in a derived comparison.

At the beginning of 2020, an RMO Key Comparison started in the EURAMET region. On this comparison level every institute with required technical competence can participate. 21 institutes signed up for this star-type comparison utilising incandescent luminous intensity standard lamps of type Osram Wi41/G.

METAS, Switzerland’s NMI, is acting as the pilot laboratory, which is responsible for organising the comparison, coordinating the drafting of the technical protocol, and carrying out and evaluating the comparison measurements.

States of the institutes participating in the key comparison are marked in the graphic. In addition to the Institutes from 18 States of the EURAMET-Region there are the NMI of Uzbekistan from the RMO COOMET and the NMI of Saudi-Arabia from the RMO GULFMET participating.



The current KCRV is brought into this derived comparison using the link laboratories PTB (Germany), METAS (Switzerland) and IO-SCIC (Spain) which formerly participated in the latest worldwide Luminous Intensity Comparison.

The measurements at the pilot laboratory were completed in December of 2022 and the participants are now required to collect their transfer standards, carry out the necessary repeated measurements in their laboratories by April 2023, and report the results to the pilot for the final evaluation.

## **Bildgebende Messverfahren im Fokus: Fortschritte der Standardisierung im Bereich der Leuchtdichtemesskameras.**

*Tanja Thiele, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH*

Standardisierung und Produktentwicklung sind eng miteinander verbundene Prozesse, die sich gegenseitig beeinflussen und ergänzen. Einerseits entwickeln sich Produkte weiter, so dass stetig an aktuellen Standards gearbeitet werden muss. Andererseits kann auch der Gesetzgeber Rahmenbedingungen definieren, so dass das Produkt einem Standard entsprechen muss. In jedem Fall wird durch die Verwendung von Standards sichergestellt, dass die Produkte kompatibel sind und die gleiche Leistung und Zuverlässigkeit aufweisen. Dies wird auch in der Entwicklung und in der Verwendung von bildgebenden Leuchtdichtemessgeräten angestrebt. Dadurch entsteht innovative Messtechnik, die das Messen nach standardisierten Anforderungen erlaubt und ein Qualitätsstandard schafft. Besonders im Automotivbereich sind durch gesetzliche Bestimmungen für die Sicherheit im Straßenverkehr auf solche Qualitätsstandards zu achten.

## **Focus on imaging measurement methods: Advancements in Standardization and Regulation for luminance measurement cameras.**

*Tanja Thiele, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH*

Standardization and product development are closely related processes that influence and complement each other. On the one hand, products continue to evolve, so that we have to constantly work on current standards. On the other hand, legislators can also define framework conditions, so that the product must comply with a standard. In any case, the use of standards ensures that products are compatible and have the same performance and reliability. This is also the aim in the development and use of imaging luminance measurement devices. This results in innovative measurement technology that allows measurement according to standardized requirements and creates a quality standard. Particularly in the automotive sector, legal requirements for road safety mean that attention must be paid to such quality standards.

## **Automated and Repeatable Homogeneity Calculations on Simulated and Measured Luminance Fields**

*Anil Jean Pekgöz, Jannes Buthmann; EDAG Wolfsburg*

*anil.jean.pekgoz@edag.com; jannes.buthmann@edag.com*

In the field of optical systems, calculating the homogeneity performance of the developed device is a time-consuming process that can take hours or even days to evaluate. Moreover, the fact that the process is done by hand and evaluated with a subjective perspective makes the results unrepeatable and dissimilar. This leads to a problem of accuracy between revisions and/or between two evaluations within the same prototype.

In our project, we have developed a program that uses mathematical methods and manufacture specific rules to produce a repeatable, non-divergent result. Furthermore, with deep optimisation, the program can process enormous data in minutes rather than days or weeks without any compromises in precision and accuracy. The user has the opportunity to get a statement about the fulfillment of the manufacturer's specific requirements for the lighting system quickly and with repeat accuracy.

To process all kinds of luminance fields, an array of subsequential algorithms and postprocessing methods are used. One of those methods is the local labelling process where a mask is generated to find the included and excluded pixels. Furthermore, correction and smoothing of the spatial masks are done via various morphological operations. Additionally, with a custom, morphological algorithm, we also solved the problem of stringing with the morphological skeletonization operation.

For more accurate calculations, the spatial information about the object itself plays a crucial role. The real coordinate system where the object is present must be also aligned to the pseudo-coordinate system of the image itself. With this intention, a Linear Coordinate Transformation is done to create a position space of the object. Besides that, a Nonlinear Coordinate Transformation can also be applied to correct the objects with curvilinear nature.

With the automated process of calculation, the user can spend more time and energy on other projects while evaluating a measurement/simulation. Thus, the effective output and load capacity of the user increases significantly without increasing the work itself.



## **Automatisierte und Reproduzierbare Homogenitätsauswertung von simulierten und gemessenen Leuchtdichtebildern**

*Anil Jean Pekgöz, Jannes Buthmann; EDAG Wolfsburg*

*anil.jean.pekgoz@edag.com; jannes.buthmann@edag.com*

Auf dem Gebiet der optische Systementwicklung ist die Auswertung der Homogenität des entwickelten Lichtsystems ein zeitaufwändiger Prozess, dessen Auswertung Stunden oder sogar Tage dauern kann. Die subjektive Auswertung von Leuchtdichtebildern verursacht auch das Problem von unwiederholbaren und divergenten Ergebnissen zwischen zwei Auswertungen von demselben Prototypen und/oder zwischen zwei Produktrevisionen.

In unserem Projekt haben wir ein Programm entwickelt, indem die Homogenität mit festen mathematischen Methoden und vordefinierten Kriterien ausgewertet wird. Die Ergebnisse dieser Vorgehensweise sind, gegenüber den traditionellen Verfahren, reproduzierbar und einheitlich. Darüber hinaus berechnet das Programm die Ergebnisse in Minuten anstatt in Tagen wie bei der herkömmlichen Vorgehensweise. Der Anwender hat somit die Möglichkeit wiederholgenau und schnell eine Aussage über die Erfüllung der Hersteller spezifischen Anforderungen an das Lichtsystem zu erhalten.

Um alle Arten von Leuchtdichtefeldern zu verarbeiten, wird eine Reihe von Algorithmen und Nachbearbeitungsmethoden verwendet. Eines dieser Verfahren ist der lokale Etikettierungsprozess, bei dem eine Maske erzeugt wird, um die eingeschlossenen und ausgeschlossenen Pixel auf dem Leuchtdichtebild zu finden. Darüber hinaus erfolgt die Korrektur und Glättung der Maske mit der Hilfe von verschiedenen morphologischen Operationen. Zusätzlich haben wir mit einer modifizierten morphologischen Skelettierungsoperation die Mittlere Linie von der erkannten Maske für jedes Feld berechnet, obwohl die Form von diesen Masken komplex und chaotisch geprägt ist.

Die räumliche Information über dem Objekt, bzw. die Information über der Form und den Maßen des Objekts, spielen eine entscheidende Rolle für genauere Berechnungen der Homogenität. Das Koordinatensystem, in dem sich das Objekt befindet, muss zudem auf das Pseudo-Koordinatensystem des Bildes ausgerichtet werden. Mit dieser Absicht wird eine lineare Koordinatentransformation durchgeführt, um einen Ortsraum des Objekts virtuell in dem Programm zu erzeugen. Im Weiteren könnte auch eine nichtlineare Koordinatentransformation angewendet werden, um die Objekte mit krummliniger Fläche zu korrigieren.

Der automatisierten Berechnungsprozess hilft auch deutlich den Benutzer, um mehr Zeit und Energie zu sparen. Dadurch erhöht sich auch die effektive Leistung und Belastbarkeit des Benutzers mit ohne reale Zusatzbelastung.

# Entwicklung und Evaluierung einer Machine Learning gestützten Infrarot Array Auswertung zur Situationserkennung

*Julian Lerch, M.Sc.,*

*Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh;*

*Technische Universität Darmstadt*

*Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung*

*Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*lerch@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Mit der steigenden Nachfrage nach modernen Systemen zur intelligenten Steuerung und Überwachung von elektrischen Geräten oder Räumen steigt auch die Nachfrage nach den dafür eingesetzten Sensoren sowie Algorithmen zur Steuerung dieser Systeme. Eine der Sensorarten, die von dieser Entwicklung profitieren sind thermophile Infrarot-Sensorarrays mit niedriger Auflösung. Diese Sensoren werden gerade in Anwendungen, die die Unterstützung von Menschen, wie in Smart-Homes oder zur Überwachung der Bewohner von Altenheimen, eingesetzt, da sie durch ihre geringe Auflösung die Privatsphäre nicht verletzen. Jedoch benötigen sie durch gerade diese Eigenschaft besonders leistungsfähige Algorithmen, die auch mit stark verrauschten Bildern sehr niedriger Auflösung eine zuverlässige Anwesenheitskontrolle und Personendetektion durchführen können.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen geeigneten Algorithmus des maschinellen Lernens zu identifizieren, zu trainieren und zu evaluieren. Das resultierende Modell soll in der Lage sein, Personen in Wärmebildern der thermophilen Infrarot-Sensorarrays mit niedriger Auflösung zuverlässig zu erkennen und zu lokalisieren. Dies soll auch in neuen, dem Modell unbekannt Umgebungen und mit untrainierten Personen möglich sein.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden mit Hilfe der Design Science Research Methodology, einem problemorientierten Forschungsansatz, geeignete Detektoren entwickelt. Daraus ergeben sich zwei Modelle, ein YOLOv5-Detektor, der dem Prinzip "You Only Look Once" (YOLO) folgt, und einem Detection Transformer (DETR). Diese beiden Modelle sollen zwei gegensätzliche Philosophien bzw. Herangehensweisen an das Problem repräsentieren. YOLO ist ein Ansatz, der hauptsächlich auf schnelle Detektion und Echtzeitanwendung setzt. DETR versucht eine möglichst genaue Detektion zu erreichen, indem es das gesamte Bild und den Kontext des Objekts mit einbezieht, dafür aber langsamer arbeitet. Für das Training der jeweiligen Modelle wird im Rahmen dieser Arbeit ein einfacher Bildgenerator entwickelt und getestet, der in der Lage ist, große Mengen an Trainingsbildern zu erzeugen. Dieser Generator soll dazu beitragen, dass die Modelle generalisiertes Wissen über die Erkennung von Personen erlernen. Beide trainierten Modelle erreichen auf realen Bildern sehr gute Genauigkeiten und erweisen sich als robust gegenüber Störungen. In einer abschließenden Evaluierung, in der beide Algorithmen in verschiedenen, der Realität nachempfundenen Testszenerien verglichen werden, erweist sich das YOLOv5-Modell als noch etwas genauer und vielseitiger.

# Development and evaluation of a machine learning based Infrared Array Evaluation for Situation Recognition

*Julian Lerch, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh;*

*Technische Universität Darmstadt,  
Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing  
Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*lerch@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

With the increasing demand for modern systems for intelligent control and monitoring of electrical devices or rooms, the demand for the sensors used for this purpose as well as algorithms for controlling these systems is also increasing. One of the sensor types that benefit from this development are thermophilic infrared sensor arrays with low resolution. These sensors are especially used in applications that support people, such as in smart homes or for monitoring the residents of old people's homes, because they do not violate privacy due to their low resolution. However, due to this very property, they require particularly powerful algorithms that can perform reliable presence control and person detection even with highly noisy images of very low resolution.

The aim of this work is to identify, train and evaluate a suitable machine learning algorithm. The resulting model should be able to reliably detect and locate people in the thermal images of low-resolution of these thermophilic infrared sensor arrays. This should also be possible in new environments unknown to the model and with untrained persons.

To achieve this goal, suitable detectors are being developed using Design Science Research Methodology, a problem-oriented research approach. This results in two models, a YOLOv5 detector that follows the principle of "You Only Look Once" (YOLO) and a Detection Transformer (DETR). These two models are meant to represent two opposing philosophies or approaches to the problem. YOLO mainly focuses on fast detection and real-time application. DETR tries to achieve the most accurate detection possible by including the whole image and the context of the objects, but works slower. For the training of the respective models, a simple image generator is developed and tested, which is able to generate large amounts of training images. This generator should help to let the models learn generalized Knowledge of how to detect people. Both trained models achieve very good accuracies on real images and prove to be robust against disturbances. In a final evaluation, in which both algorithms are compared in different test scenarios based on reality, the YOLOv5 model proves to be even slightly more accurate and versatile.

# **Auswertung der zeitliche Lichtmodulation unter Verwendung von bildauflösenden Messgeräten**

*Annika Stein, Philipp Wiswesser, Johannes Ledig*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig*

Die technische Entwicklung der LED, die ein erhebliches Potenzial zur Minimierung des Energieverbrauchs und zu Verringerung der negativen Auswirkungen der Beleuchtung auf die Umwelt hat, führt dazu, dass in so gut wie allen Bereichen überwiegend LEDs zur Beleuchtung eingesetzt werden. Der Betrieb von LED-Lampen am Niederspannungsnetz kann zu starken Schwankungen in der Lichtleistung führen, die als zeitliche Lichtmodulation (engl. temporal light modulation = TLM) bezeichnet werden. Die TLM kann zu zeitlichen Lichtartefakte (engl. temporal light artefacts = TLAs) führen und sich unter bestimmten Voraussetzungen negativ auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Sicherheit der Menschen oder Tiere auswirken. Daher legt die neue EU-Ökodesign-Verordnung 2019/2020 "Einheitliche Beleuchtungsverordnung" Grenzen für die TLM fest.

In dem Technischen Hinweis TN 006:2016 der CIE werden die drei TLA-Arten Flimmern, Stroboskopeffekt und der Perlschnurreffekt definiert. Für die Bewertung von Flimmern und den Stroboskopeffekt werden bereits Metriken von der CIE empfohlen. Für den Perlschnurreffekt gibt es jedoch noch keine anwendbare Metrik.

Reale Szenen weisen oft eine Kombination aus verschiedenen Lichtquellen und auch Tageslicht auf. Die herkömmliche Messmethode erfordert für eine solche Szene mehrere Einzelmessungen mit einem Spot-TLM-Messgerät. Diese Szenen können aber auch mit Hochgeschwindigkeitskameras oder bildgebende Leuchtdichtemessgeräte (engl. imaging luminance measurement devices = ILMD) in einer Messung aufgenommen und ausgewertet werden. Ein derartiges Messverfahren beschreibt damit eine Alternative zur gängigen Methode und wird in diesem Beitrag anhand von gängigen Lampentypen demonstriert. Aus den Aufnahmen werden die Metriken berechnet, dabei werden die Parameter der einzelnen und der überlagerten Lichtquellen extrahiert und bewertet. Ein wesentlicher Vorteil der Aufnahme einer gesamten Szene ist es, dass auch die räumliche Verteilung der TLM betrachtet und in der Bewertung berücksichtigt werden kann. In dieser Arbeit werden die Möglichkeiten und die Grenzen der bildgebenden TLM-Messung anhand von unter Laborbedingungen erstellten Beispiele aufgezeigt.

# Evaluation of temporal light modulation using imaging measurement devices

*Annika Stein, Philipp Wiswesser, Johannes Ledig*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig*

The technical development of LED which has significant potential to minimize energy consumption and reduce the negative impact of lighting on the environment, particularly important in times of energy scarcity and climate change, is leading to a prevalent use of LEDs for lighting in virtually all areas. Operating LED lamps on the low-voltage grid (mains electricity) leads to strong fluctuations in light output, which are called temporal light modulation (TLM). TLM can lead to temporal light artifacts (TLAs) and, under certain conditions, can have a negative impact on the health, well-being and safety of humans or animals. Therefore, the new EU Ecodesign Regulation 2019/2020 sets limits for TLM.

The Technical Note CIE TN 006:2016 defines the three TLA-types flicker, stroboscopic effect, and the phantom-array effect. For the evaluation of flicker and the stroboscopic effect, metrics are already recommended by the CIE. For the phantom-array effect, however, there is not yet an applicable metric.

Real scenes often feature a combination of different light sources and daylight. Conventional measurement methods require several individual measurements with a spot TLM meter for such a scene. However, these scenes can also be recorded and evaluated using high-speed cameras or imaging luminance measurement devices (ILMD) at once measurement. This measurement method thus describes an alternative to the common method and is demonstrated using common lamp types. The metrics are calculated from the recordings, and the parameters of the individual and superimposed light sources are extracted and evaluated. A major advantage of recording an entire scene is that the spatial distribution of the TLM can also be analyzed and considered in the evaluation. In this presentation, the possibilities and limitations of an image-based TLM measurement are demonstrated using examples created under laboratory conditions.

## **Bildgebende Messungen und Bewertung von zeitlicher Lichtmodulation in Feldmessungen**

*Philipp Wiswesser, Annika Stein, Johannes Ledig, Konstantinos Pountoukidis (ICCS/NTUA)*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig*

Die CIE definiert in ihrer Technical Note TN 012:2021 eine Messung als Feldmessung, wenn sie nicht unter kontrollierten Laborbedingungen durchgeführt wird, z. B. eine Messung in einem Büro oder im Freien.

Zu Beginn der Präsentation wird eine Lichtszene untersucht, die aus mehreren Lichtquellen mit unterschiedlichen TLM-Eigenschaften (Modulationsform und -Frequenz) besteht. Für die Messung der Szene werden die Vorteile von bildgebenden orts aufgelösten Messungen im Vergleich zu Beleuchtungsstärke-Flickermessgeräten ausgenutzt und hervorgehoben, da nur eine Messung erforderlich ist, um TLM (Temporal Light Modulation) zu messen und die TLA (Temporal Light Artefacts) einer ganzen Lichtszene zu analysieren. Nach der Darstellung der Szene und der Modulationen der verschiedenen Lichtquellen mittels eines Slow-Motion-Videos werden die gemessenen zeitlichen Signale der Lichtquelle vorgestellt und analysiert.

Anhand einer RGB-LED-Leuchte, in diesem Beispiel zwei LED-betriebene Teelichter, wird eine anschauliche Darstellung der PWM-Farbmischung gegeben. Hier werden die Möglichkeiten der multispektralen Messung aufgezeigt, die mit Hilfe von klassischen Leuchtdichtemessgeräten nicht möglich wären. Mit Hilfe der drei Farbkanäle einer RGB-Kamera kann eine Analyse der zeitlichen Modulation des Farbortes durchgeführt werden.

Abschließend werden einige Feldmessungen vorgestellt. Der Schwerpunkt wurde auf Messungen der Beleuchtung in dem Automobilbereich gelegt. In diesem Bereich nimmt das Thema TLM und TLA eine sehr wichtige Rolle ein, da eine Fehleinschätzung der wahrgenommenen Situation sehr schnell zu einer Gefährdung von Fußgängern und Fahrzeugen führen kann. Es zeigt sich, dass durch den vielfachen Einsatz von LEDs sowohl in der Außen- als auch in der Innenbeleuchtung von Fahrzeugen, die derzeit fast ausschließlich mit Hilfe von PWM gedimmt werden, sehr starke Stroboskopeffekte (stroboscopic visibility measure = SVM) und Wahrnehmungsartefakte auftreten, die in einigen Fällen sogar einen SVM von 5 überschreiten.

Ein SVM von 1 bedeutet, dass die Eingangsmodulation des Lichtsignals einen gerade noch sichtbaren stroboskopischen Effekt erzeugt, d. h. einen Effekt, der an der Sichtbarkeitschwelle liegt. Dies bedeutet, dass ein durchschnittlicher Beobachter des Artefakts diesen mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % erkennen kann. Ein SVM-Wert über 1 bedeutet daher, dass ein Stroboskop-Effekt mit einer Erkennungswahrscheinlichkeit von größer als 50 % wahrnehmbar ist.

Diese Messungen werden auch mit einer selbst geschriebenen Funktion analysiert, die die SVM jedes Kamerapixels aus einer zeitlichen Abfolge von Bildern auswertet und dann als Heatmap-Bild visualisiert. Dies ermöglicht die Darstellung des SVM jeder Lichtquelle in einem Bild für eine gesamte Lichtszene.

## **Spatial – Resolved Measurements and Assessment of Temporal Light Modulation in Field Measurements**

*Philipp Wiswesser, Annika Stein, Johannes Ledig, Konstantinos Pountoukidis (ICCS/NTUA)*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig*

The CIE defines in its Technical Note 012:2021 a measurement as a field measurement if it is not made under controlled laboratory conditions, e.g., a measurement made in an office or outdoors.

In the beginning of the presentation, a light scene consisting of multiple light sources with different TLM characteristics is examined. For the measurement of scenes, the advantages of imaged-based spatial resolved measurements compared to illuminance flickermeters is exploited and highlighted, since only one measurement is required to measure TLM and analyze TLA of an entire light scene. After introducing the scene and the modulations of the different light sources using a slow-motion video, the measured temporal signals of the light source are presented and analyzed.

Using an RGB LED luminaire, in this example two LED powered tea lights, the spectral mismatch is also explained. Here, the possibilities of spectral measurements are shown, which would not be possible with the help of classic spot meters. With the help of the three color channels of an RGB camera, an analysis of the chromaticity coordinates can be performed.

Finally, some field measurements are presented. The focus is placed on measurements of lighting in the automotive domain, since it is precisely in this field that the topic of TLM and TLA play a very important role, since underestimation can very quickly endanger pedestrian and vehicles. However, it turned out that due to the multiple use of LEDs in both exterior and interior automotive lighting, which are currently dimmed almost exclusively with the help of PWM, very high stroboscopic effects occur, some of which even exceed a SVM of 5.

An SVM of 1 means that the input modulation of the light signal produces a just visible stroboscopic effect, in other words an effect that is at the visibility threshold. This means that an average observer of the artifact can detect the stroboscopic effect with a probability of 50 %. A value above 1 therefore implies a visibility of the effect, meaning a detection probability of more than 50 %.

These measurements are also analyzed using a self-written function that evaluates the SVM of each pixel from a temporal sequence of images and then displays it as a heat map image. Thus, the SVM of each light source can be displayed in one image for an entire lighting scene.

## **Simulative Weiterentwicklung des elektronischen Teils der Mößbauer-Spektroskopie mit Fokus auf die Regelbarkeit**

*M. Beyki<sup>\*,\*\*</sup>, R. Patzke<sup>\*</sup>, J. Pawlak<sup>\*\*</sup>, F. Renz<sup>\*\*</sup>*

*\* Fak.I - Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Hannover*

*\*\*Institut für anorganische Chemie, Leibniz Universität Hannover*

Bei lichtverarbeitenden Systemen wird aufgrund des Photoeffekts die Lichtenergie in einen Photostrom gewandelt. Da die Signalverarbeitung erst nach einer nachgeschalteten Spannungsumwandlung erfolgen kann, ist die analoge Schaltungsentwicklung essentiell. Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer hochpräzisen Energie-Spannungswandlung zur Optimierung der Signalverarbeitung bei lichtverarbeitenden Systemen mit Anwendung in der Weltraumanalytik (Mößbauer Spektroskopie). Zu diesem Zweck werden mehrere Schaltungen zur Spannungsumwandlung entwickelt, optimiert und miteinander verglichen. Bei der Entwicklung handelt es sich um Operationsverstärker- und Transistorschaltungen.

Zur Optimierung werden Filter hinzugeschaltet, welche zu einem deutlich besseren Signal-Rausch-Abstand führen und die Signalgüte verbessern.



## **Simulative development of the electronic part of Mößbauer spectroscopy with focus on controllability**

*M. Beyki<sup>\*,\*\*</sup>, R. Patzke<sup>\*</sup>, J. Pawlak<sup>\*\*</sup>, F. Renz<sup>\*\*</sup>*

*\* Fak.I - Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Hannover*

*\*\*Institut für anorganische Chemie, Leibniz Universität Hannover*

In light-processing systems, light energy is converted into a photocurrent due to the photoelectric effect. Since signal processing can only be performed after downstream voltage conversion, analog circuit development is essential. The goal of this project is to develop a high-precision energy-to-voltage conversion circuit to optimize signal processing in light-processing systems with application in space analytics (Mößbauer spectroscopy). For this purpose, several circuits for voltage conversion are developed, optimized and compared. The development involves operational amplifier and transistor circuits. Filters are added for optimization, which lead to a significantly better signal-to-noise ratio and improve the signal quality.

# Lichtquellen und deren Darstellung von niedrigen und hohen Beleuchtungsstärken für die Kalibrierung von Photometern

*Till Schwarznecker, Dr. Johannes Ledig, Maatje Hilmer*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig  
till.schwarznecker@ptb.de*

Die Realisierung der SI-Basiseinheiten ist eine der Hauptaufgaben der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB). Die Einheit der Lichtstärke wird dabei mit Normallampen dargestellt und bewahrt. Eine davon abgeleitete essenzielle Messgröße ist die photometrische Empfindlichkeit von Detektoren (Photometer). Diese wird für die Weitergabe der Lichtstärke mithilfe von Substitutionsverfahren benötigt.

Ein Photometerkopf besteht typischerweise aus einer Silizium-Photodiode, welche das auftreffende Licht erfasst und in einen elektrischen Strom umwandelt. Über einen integrierten  $V(\lambda)$ -Filter bestehend aus mehreren Schichten Farbglass, wird dabei die relative spektrale Empfindlichkeit des Detektors an die des menschlichen Auges (eines Normbeobachters) angepasst. Die Komponenten eines Photometers sind häufig thermostatisiert, da dadurch die Abhängigkeit von der Raumtemperatur erheblich verringert wird.

Mithilfe eines Beleuchtungsstärke-Photometers lässt sich die Beleuchtungsstärke auf dessen Referenzebene bestimmen. Mit dem dazugehörigen Abstand zur Lichtquelle kann daraus über das photometrische Entfernungsgesetz die Lichtstärke ermittelt werden. Häufig haben Photometer ein zugehöriges Anzeigegerät, das den Photostrom in Ampere oder eine Beleuchtungsstärke in Lux anzeigt. Die Kalibrierung solcher Photometer ist eine der Aufgaben der Arbeitsgruppe 4.12 Lichtstärkeneinheit der PTB.

Um ein Photometerkopf zu kalibrieren, kann eine photometrische Empfindlichkeit in  $A/lx$  angegeben werden, die beschreibt, wie viel Photostromstärke pro Beleuchtungsstärke erzeugt wird. Alternativ können auch die Anzeigewerte bei bestimmten Beleuchtungsstärken im Kalibrierschein angegeben werden. Dabei wird meist eine große Spannweite an zu berichtenden Beleuchtungsstärken angefragt, damit in der Anwendung diesen Werten interpoliert werden kann, um ebenfalls eine photometrische Empfindlichkeit in Skalenteile pro Beleuchtungsstärke für das Gerät zu bestimmen.

Das reguläre Leistungsangebot der PTB deckt dabei die Kalibrierung von Photometern bei Beleuchtungsstärken von 1 mlx bis 10 klx bezogen auf Glühlampenlicht ab. Die Erzeugung dieser unterschiedlichen Beleuchtungsstärken kann nur mit einer passenden Auswahl von Lichtquellen realisiert werden. Daneben gibt es weitere Aspekte, die bei den Lichtquellen zu beachten sind: Stabilität der Lichtquelle, Homogenität der räumlichen Lichtverteilung und die ausgestrahlte Lichtart (d.h. relative Spektralverteilung). In diesem Tagungsbeitrag werden unterschiedliche Typen und Arten von Glühlampen betrachtet und auf die genannten Eigenschaften untersucht.

In Zukunft soll in der PTB eine Lichtquelle basierend auf freistrahlenen Hochleistungs-LEDs eingesetzt werden, die für die Kalibrierung über einen großen Dynamikbereich mit Beleuchtungsstärken bis 10 klx oder höher verwendet werden kann. Dazu werden in diesem Beitrag erste Ansätze gezeigt, sowie Vorteile und Herausforderungen der Kalibrierverfahren bei Einsatz solcher LED erörtert.

# Light sources and their representation of low and high illuminances for the calibration of photometers

*Till Schwarznecker, Dr. Johannes Ledig, Maatje Hilmer*

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38115 Braunschweig  
till.schwarznecker@ptb.de*

The realization of the SI base 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. An essential measurand derived from this is the photometric responsivity of detectors (photometers). This is required for the transfer of the luminous intensity with the help of substitution methods.

A photometer head typically consists of a silicon photodiode, which detects the incident light and converts it into an electric current. An integrated  $V(\lambda)$  filter consisting of several layers of filter glass is used to match the relative spectral responsivity of the detector to that of the human eye (of a standard observer). The components of a photometer are often thermostatically controlled, as this significantly reduces its sensitivity on room temperature.

With the help of an illuminance photometer, the illuminance on its reference plane can be determined. With the associated distance to the light source, the luminous intensity can be determined from this using the photometric distance law. Photometers often have an associated display unit that presents the photocurrent in Ampere or an illuminance in Lux. The calibration of such photometers is one of the tasks of PTB's Working Group 4.12 Unit of Luminous Intensity.

To calibrate a photometer head, a photometric responsivity in A/lx can be specified, which describes how much photocurrent is generated per illuminance. Alternatively, the display values at specific illuminances can be specified in the calibration certificate. In this case, usually a wide range of illuminances to be reported is requested, so that in the application these values can be interpolated to also determine a photometric responsivity in terms of display scale per illuminance for the instrument.

PTB's regular range of services cover the calibration of photometers at illuminances from 1 mlx to 10 klx relative to incandescent light. The generation of these different illuminances can only be realized with a suitable selection of light sources. In addition, there are further aspects to be considered for the light sources: Stability of the light source, homogeneity of the spatial light distribution, and the type of emitted illuminant (i.e., relative spectral distribution). In this conference paper, different types and kinds of incandescent lamps are considered and investigated for the above-mentioned characteristics.

In the future, a light source based on free-radiating high-power LEDs is to be used at PTB. These can be used for calibration over a large dynamic range with illuminances up to 10 klx or higher. For this purpose, first approaches are shown in this paper, and advantages and challenges of the calibration procedures when using such LEDs would be discussed

## **Vereinfachte lichttechnische Vermessung der ortsfesten Straßenbeleuchtung bei Dunkelheitsunfällen**

*Lukas Liegener (TU Berlin)*

*l.liegener@tu-berlin.de*

Bereits 1992 stellte die Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Straßenbeleuchtung und Unfallhäufigkeit fest. Auch Untersuchungen des Fachgebietes Lichttechnik an der TU Berlin weisen auf einen Zusammenhang zwischen Unfallzahlen und Straßenbeleuchtung hin. Zur Senkung der Verkehrsunfälle, welche vermutlich aus einer unzureichenden Beleuchtung resultieren, müssen diese Verkehrsorte zuerst durch fotometrische Messungen identifiziert werden. Demnach soll zukünftig routinemäßige an Unfallorten die Einhaltung der normativen Vorgaben zur Straßenbeleuchtung (DIN EN 13201) überprüft werden.

Gängige Messgeräte/verfahren, um dies zu ermöglichen sind teuer und brauchen viel Zeit in der Anwendung. In diesem Projekt wurden deshalb folgende drei, vereinfachte Messverfahren entwickelt.

1. Ein elektrisches Fahrzeug zur Messung der Beleuchtungsstärkeverteilung, welches über eine Webapplikation gesteuert werden kann.
2. Ein Leuchtdichtenormal, mit dessen Hilfe eine Abschätzung der Fahrbahnleuchtdichte ermöglicht werden soll.
3. Die Kalibrierung einer Digitalkamera zur Messung von Leuchtdichten.

## **Simplified photometric measurement of stationary street lighting in the event of accidents at night**

*Lukas Liegener (TU Berlin)*

*l.liegener@tu-berlin.de*

As early as 1992, the Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) established a statistically significant correlation between street lighting and the frequency of accidents. Studies by the Department of Lighting Technology at the Technical University of Berlin also point to a connection between the number of accidents and street lighting. In order to reduce traffic accidents resulting from insufficient lighting, these traffic locations must first be identified by photometric measurements. Accordingly, compliance with the normative specifications for street lighting (DIN EN 13201) should be routinely checked at accident sites.

Common measuring devices/procedures to enable this are expensive and take a long time to use. In this project, therefore, the following three simplified measurement methods were developed.

1. An electric vehicle for measuring the illuminance distribution, which can be controlled via a web application.
2. A luminance standard, with the help of which an estimation of the roadway luminance should be made possible.
3. The calibration of a digital camera to measure luminance.



# Capacitive silicon MEMS based combined accelerometer and gyroscope sensors in headlight levelling systems

*Niilo Malinen, Tommi Vilenius, Jussi Collin, Jari Nieminen*

*Murata Electronics Oy, Finland*

*Nordic Inertial Oy, Finland*

*niilo.malinen@murata.com*

When driving in conditions with suboptimal lighting, the use of headlights is essential for safe travel. However, headlights pose a fundamental safety conflict as with increasing headlight intensity, visibility is improved, but this simultaneously increases the glaring effect on pedestrians and oncoming traffic, reducing overall safety. To address this issue, the UN has launched a regulation binding all original equipment manufacturers, or OEMs, of the concurring regions to implement automatic head light levelling systems that aim to keep the headlight alignment optimal. The regulation will apply to all ordinary vehicles and light commercial vehicles starting from September 2024 and buses and heavy vehicles starting from September 2026. Since in most cases OEMs are offering a great variety of different automobiles, this regulation is putting high pressure to find a general cost-effective solution that works for every model and configuration.

When switching from manual headlight alignment to automatic, the system needs to consider how load from passengers and luggage is tilting the vehicle and what is the vehicle pose in respect to the road angle. In static situations, this can be handled with a 3-axis accelerometer sensor in combination with an extended Kalman filter. When adjustment in dynamic situations is required, the complexity of algorithms between sensor data and actuators controlling the headlight alignment becomes significantly higher. The system needs to now take into account accelerations, breaking, driving in bends and vibration effects. To improve interpretation of these dynamic situations, a 3-axis gyroscope must be implemented to the system as well. Additionally, in dynamic situations, a fast response time is crucial and when considering the relatively small angles of adjustments needed, effects of lifetime degradation start to play a role in accuracy. This means that high reliability and performance of the measurement capability is needed for the whole system to retain its accuracy.

Development in the MEMS field has enabled manufacturing of low cost, but extremely accurate, stable and reliable accelerometers and gyroscopes, which makes them a good candidate to address the aforementioned problems. This paper is reviewing an automatic headlight levelling solution utilizing a combined accelerometer and gyroscope sensor, which is based on capacitive silicon MEMS technology.





### **3D techniques for presenting lighting parameters**

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

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

Light plays an essential role in a person's perception of the world. Light determines how people sense and relish every element: hue, consistency, space, and shape. In the global lighting society, products require the creation of more intelligent lighting control systems that can adjust many parameters. New opportunities are created with the development of computer technology to design more accurate visualizations and simulations of the three-dimensional world. These lighting control systems can be viewed in a computer-generated 3D environment.

This report aims to study the lighting parameters that can be performed virtually. The idea is to facilitate the learning of both students and instructors of lighting design. 3D visualization and testing make it easy to experiment with lights from a design perspective.

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 parameters.

## Wellenlängenkonvertierte Lichtquellen in fluoreszenzbasierten Methoden in der Medizintechnik

*Jan Müller, Karlsruher Institut für Technologie, Robert Bosch GmbH*

*Ingo Ramsteiner, Robert Bosch GmbH*

*Reinhold Fieß, Robert Bosch GmbH*

*Cornelius Neumann, Karlsruher Institut für Technologie*

*jan.mueller9@de.bosch.com*

Eine quantitative Echtzeit-PCR (Polymerase Chain Reaction), kurz ein qPCR-Test, ist ein Beispiel für fluoreszenzbasierte Methoden in der Medizintechnik und hat das Ziel, eine oder mehrere ausgewählte DNA-Sequenzen in einer Probe zu amplifizieren und mit einer Fluoreszenzmarkierung messbar zu machen. Der Nachweis mehrerer DNA-Sequenzen erfolgt durch den Einsatz unterschiedlicher Fluoreszenzmarker, die selektiv an die nachzuweisenden DNA-Sequenzen andocken. Da sich die Fluoreszenzmarker in ihren Absorptions- und Emissionsspektren unterscheiden, ist die Konzentration einer DNA-Sequenz in der Probe nach Fluoreszenzmarkierung mit der Fluoreszenz des zugehörigen Fluoreszenzmarkers korreliert und somit messbar. Ein Anwendungsbeispiel für eine s.g. Multiplex-qPCR ist der Nachweis von Influenza A, Influenza B, SARS-CoV-2 sowie menschlicher DNA (als Referenz) in einer Probe. Lab-on-chip (LoC) Analyser ermöglichen die Durchführung von qPCR-Tests am Point of care, stehen im Vergleich zu professioneller Laborausstattung aber unter stärkerem Kostendruck.

Hohe Multiplex-Grade bedingen definierte und spektral begrenzte Spektren zur selektiven Anregung der Fluoreszenzmarker. Beleuchtungssysteme in preisgünstigen LoC Geräten bestehen meist aus spektral gefilterten weißen LEDs oder direkten LEDs. Im Laborsegment finden sich Gasentladungslampen in Kombination mit Interferenzfiltern oder mehrere Laser. Der Stand der Technik weist je nach Technologie verschiedene Nachteile auf, wie eine begrenzte Strahldichte, eine aufwendige spektrale Filterung, Wellenlängen-Drifts, eine geringe Lebensdauer oder eine begrenzte Verfügbarkeit bei relevanten Wellenlängen.

Neben den spektral breitbandigen Leuchtstoffen, wie sie in weißen LEDs eingesetzt werden, finden spektral schmalbandige Leuchtstoffe Anwendung in Displays, um einen möglichst großen Farbraum abzudecken. Speziell entwickelte Leuchtstoffe erlauben eine Anregung durch einen fokussierten Laserspot und bieten so spektral konvertierte Strahlung mit hoher Leistungsdichte für Etendue-limitierte Anwendungen wie Scheinwerfer oder Projektoren. Sowohl schmalbandige Leuchtstoffe als auch Leuchtstoffe mit hoher Strahldichte könnten als Lichtquelle in fluoreszenzbasierten Untersuchungen interessant sein.

Um das Potential von Leuchtstoffen zu evaluieren, untersucht der vorliegende Beitrag verschiedene Leuchtstoffklassen und bewertet diese am Beispiel einer Multiplex-qPCR-Analyse in einem LoC-System. Eine Klassifizierung von Leuchtstoffen sowie eine Einschätzung möglicher Leistungsdichten erfolgt basierend auf einer Literaturrecherche. Zur Analyse der spektralen Eigenschaften werden in einem Herstellerscreening Anregungs- und Emissionsspektren verschiedener Leuchtstoffgruppen in einer Datenbank (approximiert) hinterlegt und hinsichtlich der Eignung für das Anwendungsbeispiel Multiplex-qPCR theoretisch evaluiert.

## Wavelength-converted light sources in fluorescence-based methods in medical technology

*Jan Müller, Karlsruhe Institute of Technology, Robert Bosch GmbH*

*Ingo Ramsteiner, Robert Bosch GmbH*

*Reinhold Fieß, Robert Bosch GmbH*

*Cornelius Neumann, Karlsruhe Institute of Technology*

*jan.mueller9@de.bosch.com*

Quantitative real-time-PCR (Polymerase Chain Reaction), also known as qPCR-Test, is an example of fluorescence-based methods in medical technology allowing an amplification of one or several selected DNA sequences in a probe and the measurement of their concentration using fluorescence labeling. The analysis of several DNA sequences is realized by different fluorescent dyes (in this context called fluorophores) which are attached to a specific DNA sequence, respectively. Since the fluorophores differ in absorption- and emission spectrum, the concentration of a DNA sequence in the probe is correlated to the fluorescence of the corresponding fluorophore after labeling and is therefore measurable. An example for a so-called Multiplex-qPCR is the detection of Influenza A, Influenza B, SARS-CoV2 and human DNA (as reference) in a single probe. Lab-on-chip (LoC) analyzer allow the execution of qPCR-Tests at the point of care but are under higher cost pressure in comparison to professional lab equipment.

High degrees of multiplexing require defined and spectrally limited radiation to excite the fluorophores. Most illumination systems in cheap LoC Analyzers use spectrally filtered white LEDs or direct LEDs. In the lab segment gas discharge lamps in combination with interference filters or multiple lasers can be found. Depending on the technology, state of the art solutions show up different drawbacks such as limited radiance, costly spectral filtering, wavelength drifts, a short lifetime or a limited availability at relevant wavelengths.

Besides spectrally broad phosphors as used in white LEDs, spectrally narrower phosphors are applied in display applications to maximize their color space. Specially developed phosphors allow for excitation with a focused laser spot which results in spectrally converted radiation with high power density for etendue-limited applications as headlamps or projection systems. Phosphors with narrow emission spectrum as well as phosphors providing high radiance levels could be interesting as excitation source in fluorescence-based analysis.

To evaluate the potential of phosphors, the presented contribution investigates different phosphor categories and assesses them considering the example of a Multiplex-qPCR-analysis in a LoC-System. A classification of phosphors as well as an estimation of possible power densities is based on literature research. With help of a manufacturer screening, a database of (approximated) phosphor absorption and emission spectra is set up. Using the database, the suitability of many phosphor spectra for the considered example use case of a Multiplex-qPCR could be theoretically evaluated.

# Lab-on-Chip Projektions-System für fluoreszenzbasierte medizinische Untersuchungen

*Oindrila Ghosh, Karlsruher Institut für Technologie*

*Jan Müller, Karlsruher Institut für Technologie, Robert Bosch GmbH*

*Ingo Ramsteiner, Robert Bosch GmbH*

*Reinhold Fieß, Robert Bosch GmbH*

*Cornelius Neumann, Karlsruher Institut für Technologie*

*fixed-term.Oindrila.Ghosh@de.bosch.com, jan.mueller9@de.bosch.com*

Quantitative Echtzeit PCR (qPCR) ist eine etablierte Technologie in der Molekulardiagnostik, die bestimmte DNA-Sequenzen (in mehreren thermischen Zyklen) amplifiziert und deren Konzentration mittels der Fluoreszenz von Farbstoffen (Fluorophoren) misst. Die Anregung erfolgt in einem spektral definierten Anregungsband, passend zum eingesetzten Fluorophor. Die gefilterte Strahlung regt den in der qPCR genutzten Fluorophor an und misst dessen Fluoreszenz mit einem Detektor und einem geeigneten Detektionsfilter.

Die Thermozyklen der qPCR werden im vorgestellten Lab-on-Chip (LoC) System auf einer Einweg-Kartusche durchgeführt. Da die Kartusche austauschbar ist, kann diese für den jeweiligen Test, wie z.B. MRSA oder SARS COV2, optimiert werden. Das optische System zur Anregung der Fluoreszenz sowie die Kamera-basierte Nachweisoptik befinden sich im Analyzer. Wegen der limitierten Strahldichte der genutzten LED-Lichtquellen kann nur eine kleine Fläche auf der Probe zur Durchführung der Fluoreszenzanalyse beleuchtet werden, was wiederum die Freiheit im Kartuschen-Design limitiert.

Um das eingeschränkte Sichtfeld der Anregungs-Optik zu vergrößern, wird ein Flying-Spot Projektions-System basierend auf Laser-angeregten Leuchtstoffen mit hoher Strahldichte vorgeschlagen. Unser Beitrag untersucht das Potential des zuvor beschriebenen Projektions-Systems in einem konkreten LoC Szenario. Das Projektions-System erlaubt deutlich mehr Flexibilität im Kartuschen-Design, um auch zukünftigen Ansprüchen gerecht zu werden.

Ein Unterschied zu einem konventionellen Projektions-System ist die Nutzung von Interferenzfiltern, die nur mit einer eingeschränkten Strahldivergenz effizient funktionieren und die nutzbare Leistung der eingesetzten Lichtquelle verringern. Zusätzlich spannt die optische Achse des Projektions-Systems einen 45 Grad Winkel zur Probenebene auf, um Fresnel-Reflexionen im Nachweispfad zu verhindern. Im Spezialfall eines Projektions-Systems führt diese geometrische Einschränkung zu einer veränderlichen Spotgröße im Scanbereich auf der Probe. Diese Faktoren tragen dazu bei, dass sich die finale Strahldichte auf der Probe verringert.

Der erste Schritt der Entwicklung des beschriebenen Projektions-Systems ist die Evaluierung der theoretischen Möglichkeiten basierend auf Etendue-Berechnungen. Anschließend werden optische Simulationen des gesamten Setups erstellt, um die Bestrahlungsstärke auf der Detektionsfläche zu untersuchen und das Setup zu optimieren. Eine noch durchzuführende Streulicht-Analyse prüft die Filter-Effizienz des Systems. Im weiteren Verlauf der Entwicklung soll ein Prototyp des Projektions-Systems aufgebaut, mit den Simulationsergebnissen verglichen und anhand einer qPCR-Analyse evaluiert werden.

## Lab-on-Chip Projection System for Fluorescence based Medical Analysis

*Oindrila Ghosh, Karlsruhe Institute of Technology*

*Jan Müller, Karlsruhe Institute of Technology, Robert Bosch GmbH*

*Ingo Ramsteiner, Robert Bosch GmbH*

*Reinhold Fieß, Robert Bosch GmbH*

*Cornelius Neumann, Karlsruhe Institute of Technology*

*fixed-term.Oindrila.Ghosh@de.bosch.com, jan.mueller9@de.bosch.com*

Quantitative real-time polymerase chain reaction (qPCR) is an established technology in molecular diagnostics, which amplifies specific DNA sequences (in several thermal cycles) and measures their concentration via the fluorescence of dye molecules (fluorophores). The excitation is done using a spectrally defined excitation band, chosen accurately for a given fluorophore. The filtered light excites the fluorophore used in the qPCR and the emission is measured with a detector and a suitable detection filter.

In the Lab-on-Chip (LoC) system presented here, the qPCR thermocycles are performed on a disposable cartridge. Having an exchangeable cartridge, a cartridge can be designed and optimized for a specific test such as for MRSA or SARS COV2 etc. The optical systems for illumination of the fluorophores as well as the camera-based detection optics are both located in the analyzer. Due to the limited radiance of the used LED light sources, only a small area on the probe can be illuminated for conducting fluorescence analysis which again limits the flexibility in cartridge design.

To overcome the limited field of view of the existing illumination system, a flying-spot projection system is suggested which is based on laser-pumped phosphor light sources providing high radiance levels. Our contribution evaluates the potential of the above-mentioned projection system in a concrete LoC scenario. This will allow considerable flexibility in cartridge design to cater to future needs.

A difference between a conventional projection system and this system is the usage of interference filters that limit the permissible propagating beam divergence and total power of the source which can be effectively used. Additionally, the optical axis of the projection system and the sample plane span a 45-degree angle to avoid strong Fresnel reflections into the camera lens. In the special case of a projection system, this geometrical constraint will result in a variation of the beam spot size as the whole field is scanned. These factors will decrease the final irradiance value on the probe.

To develop such a projection system, first the theoretical feasibilities are explored using the etendue calculations. Then optical simulations of the entire setup are made to study the irradiance on the detector plane and to optimize the setup. Finally stray light analysis of the setup is to be done to check the filter efficiency. In further development, a prototype of the projection system will be built, compared to the simulation results, and evaluated in a qPCR analysis.



## **Intelligent lighting system with the ability to control the color temperature and light flow of the illuminators**

*Mag. Eng. Cvetomir Lukanov*

*Assoc. Prof. Orlin Lyubomirov Petrov, PhD*

*University of Ruse; Ruse; BULGARIA*

*opetrov@uni-ruse.bg*

Modern lighting products allow the creation of intelligent control systems with the ability to adjust many parameters of lighting devices (for example, luminous flux, color temperature, light color, etc.). The presence on the market of relatively cheap lighting sensors (for illuminance, for color temperature, for light color, for movement, etc.) allows the monitoring of many parameters of the environment and, accordingly, more precise regulation of various parameters.

The report presents a concept for the realization of an intelligent lighting system, which, depending on the external conditions of the environment, can regulate the parameters of an internal lighting system. Regulation is carried out according to external illumination, external color temperature, presence in the room, set algorithm of work, etc. Modern LED light sources with a variable color temperature and the possibility of dimming are planned to be used in the implementation of the system.

A structural diagram of such a system, the element base and the control algorithm is presented.

Conclusions and some recommendations from the research are formulated.

Keywords: Intelligent lighting system, LED color temperature.

## **Probandenversuch zur Ermittlung von Grenzwerten für Farbsäume bei Optiken für die Allgemeinbeleuchtung**

*Marie Henning*

*TU Ilmenau und BJB GmbH & Co. KG Arnsberg*

*marie.henning@tu-ilmenau.de*

Im Rahmen einer Masterarbeit wurde ein Versuch zur Ermittlung von Grenzwerten für Farbsäume durchgeführt. Das Ziel dieses Versuches war es, Werte zu ermitteln die in der Optikentwicklung verwendet werden können um vorab beurteilen zu können, ob die Farbsäume störend sind oder akzeptiert bzw. nicht gesehen werden.

Dazu wurde ein Versuch im Labor aufgebaut, bei dem Probanden aus der Entwicklungsabteilung ihre Beurteilung zu 15 verschiedenen Optiken bezüglich der Farbsäume abgegeben haben. Diese subjektiven Bewertungen wurden anschließend mit Messwerten der Optiken verglichen. Es wurden dazu verschiedene Möglichkeiten der Auswertung erprobt.

Zudem wurde der Versuch in LightTools nachgebaut und ein Vergleich zwischen den Messwerten und den Simulationsergebnissen gezogen.



## **Experiment with test persons to determine limits for color fringes in optics for general illumination**

*Marie Henning*

*TU Ilmenau und BJB GmbH & Co. KG Arnshausen*

*marie.henning@tu-ilmenau.de*

As part of a master's thesis, an experiment was carried out to determine limit values for color fringes. The aim of this experiment was to determine values that can be used in the development of optics in order to be able to assess in advance whether the color fringes are disturbing or are accepted or not seen.

For this purpose, an experiment was set up in the laboratory in which test subjects from the development department gave their assessment of 15 different optics with regard to color fringes. These subjective evaluations were then compared with measured values of the optics. Various evaluation options were tested for this purpose.

In addition, the test was simulated in LightTools and a comparison was made between the measured values and the simulation results.

# Der Weg zur effizienten Belichtungsregelung in Algen-Photobioreaktoren

*Tim Hegemann, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*

*Technische Universität Darmstadt*

*Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung*

*Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*hegemann@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Die Belichtung von konservativen Algen-Photobioreaktoren erfolgt häufig ausschließlich durch Sonnenlicht. In modernen Photobioreaktoren wird bereits additiv, jedoch oft pauschal von außen, belichtet. Durch die Verwendung von integrierten Lichtquellen mit auf den Reaktor abgestimmten Einkoppeloptiken kann die Effizienz eines Photobioreaktors gesteigert werden. Für eine weitere Effizienzsteigerung bedarf es jedoch zusätzlich einer Regelung, welche das zur Verfügung stehende, sowie das zu erwartende Tageslicht berücksichtigt und den Anteil künstlicher Belichtung dynamisch anpasst. Durch den Einsatz von optischen Messsystemen kann das aktuelle Tageslicht und somit die aktuelle Belichtungssituation erfasst und in das Regelsystem gegeben werden. Mithilfe kurzfristiger Energiekostenprognosen können Regelstrategien vorgeplant und die Effizienz maximiert werden.

Maßgebende Messgröße für das Tageslicht ist hierbei die photosynthetische Photonenflussdichte (PPFD) welche angibt, wie viele Photonen im Spektralbereich der PAR-Strahlung (400 nm bis 700 nm) pro Fläche und Zeiteinheit aufgenommen werden. Durch die kontinuierliche Aufzeichnung der PPFD ist es möglich, die Lichtsumme eines Flächenelements über den gesamten Tag zu bestimmen (Tageslichtintegral (DLI)).

In diesem Paper werden drei Methoden zur Bestimmung der PPFD von Tageslichtspektren mit kostengünstigen Spektursensoren vorgestellt. Die erste Methode schätzt die PPFD anhand der Kanalempfindlichkeitskurven. Bei der zweiten Methode wird die PPFD auf der Grundlage der berechneten ähnlichsten Farbtemperatur (CCT) und einer spektralen Rekonstruktion unter Verwendung des CIE-Tageslichtmodells berechnet. Und die dritte Methode basiert auf einem Regressionsmodell zur Berechnung der PPFD. Es wird gezeigt, dass die Berechnung der PPFD mit Hilfe von Spektursensoren möglich ist und die tatsächlichen Tageslichtspektren zu stark vom CIE-Tageslichtmodell abweichen, um eine hinreichend genaue Aussage zur PPFD zu treffen. Abschließend erfolgt ein Test der Robustheit dieser Methoden anhand von realen Messdaten, die mit den Sensoren im Freien bei verschiedenen Tageslichtverhältnissen erzeugt wurden.

## The road to efficient lighting control in algal photobioreactors

*Tim Hegemann, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh;*

*Technical University of Darmstadt*

*Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing*

*Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*hegemann@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

The lighting concept of conservative algae photobioreactors is often done exclusively by sunlight. In modern photobioreactors lighting is already additive, but often blanket external. The efficiency of a photobioreactor can be increased by using integrated light sources with coupling optics matched to the reactor. For a further increase in efficiency, however, a control system is also required which considers the available and expected daylight and dynamically adjusts the proportion of artificial lighting. By using spectral measuring systems, the current daylight and thus the current lighting situation can be recorded and fed into the control system. With the help of short-term energy cost forecasts, control strategies can be planned and efficiency maximized.

The relevant measurement parameter for daylight is the photosynthetic photon flux density (PPFD), which indicates how many photons in the spectral range of PAR radiation (400 nm to 700 nm) are absorbed per area and time unit. By continuously recording the PPFD, it is possible to determine the light sum of an area element over the entire day (daylight integral (DLI)).

In this paper, three methods for determining the PPFD of daylight spectra using low-cost spectral sensors are presented. The first method estimates the PPFD based on the channel sensitivity curves. In the second method, the PPFD is calculated based on the correlated color temperature (CCT) and a spectral reconstruction using the CIE daylight model. And the third method is based on a regression model to calculate the PPFD. It is shown that the actual daylight spectra deviate too much from the CIE daylight model to make a sufficiently accurate prediction of the PPFD. Finally, a test of the robustness of these methods is performed using real measurement data generated with the sensors outdoors at different daylight conditions.



## **Road Traffic Data Harvesting in Residential Settlements and Neighbourhoods for Considerations on Adaptive Road Lighting**

*Author Name: Filip Duda*

*Author Affiliations: Gasparovsky Dionyz, Janiga Peter, Raditschova Jana*

The urban parks are representing the nature in urban space. Residents visit these parks for the purpose of relaxation, recreation or free time activities. Urban parks help them with enjoying this time with their content like trees or bushes that provide shade, grass areas, flowers or small animals which take place in these parks. At night, these parks are illuminated and often the lighting can not only illuminate benches or sidewalks, but also the whole trees and other parts of park. Does this light have an environmental impact on the urban park? By modelling the lighting in urban parks we can simulate situations in which we illuminate directly content of a park, like trees. By creating multiple simulations we can choose which kind of lights and their light sources, and which kind of overall light system, have a greater or lesser impact on the urban park.



## **Detection of stroboscopic effects in dependence of duty cycle, speed, and illuminance**

*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*

Due to the fast time response of Light emitting diodes (LEDs), these emitters are capable to convert electrical current changes into light changes with almost no time delay. As a result, LED induced luminance levels perceived by human eye, can be dimmed by using pulse width modulation (PWM). However, improper selection of the driving parameters can result in visible temporal light artefacts (TLAs), such as the stroboscopic effect. It causes visual discomfort and possibly negative health effects. Hence, it is important to understand the visibility of the stroboscopic effect depending on parameters like duty cycle, speed, and illuminance.

These dependencies were analyzed by using a LED light source illuminating a black coated rotating disc with a white dot mounted on top of it. Modulating the light source with a square wave signal between 100 Hz and 4200 Hz and different duty cycles (10%, 30%, 50%, 70%, 80%), allowed to determine the subject's visibility of the stroboscopic effect for different rotation speeds (2m/s, 4m/s, 6m/s) and illumination levels (100lx, 500lx, 1000lx). Combined with method of constant stimuli, the 50 percent detection thresholds were derived for each condition tested.

Based on the results of these experiments, an objective model was developed, allowing to predict the visibility of the stroboscopic effect for temporally modulated light sources under the previously described constraints. This model can be used to increase the accuracy and validity of the Stroboscopic Visibility Measure, and effectively reduce the Stroboscopic effects to obtain high user acceptance and to avoid possible health risks.

# Untersuchung von Farbpräferenz mittels mehrdimensionaler Algorithmen

*Mark Suppelt, Julian Klages, Paul Myland, Prof. Tran Quoc Khanh*

*Technical University of Darmstadt*

*Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing*

*Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*mark@suppelt.biz*

Farbpräferenz ist ein maßgeblicher Faktor bei der Planung und Bewertung von Beleuchtungssystemen, insbesondere mit dem Aufkommen von Mehrkanal-LED-Systemen, die eine größere Kontrolle über das Spektrum des emittierten Lichts und folglich der Farberscheinung der bestrahlten Objekte ermöglichen. Um die Farbpräferenz genauer und objektiver messen zu können, besteht ein wachsendes Interesse an der Entwicklung mehrdimensionaler Bewertungsalgorithmen, die mehrere Parameter der Farbwiedergabe, wie Chroma- und Farbtonverschiebung, berücksichtigen.

Ziel dieser Studie war es, die Leistung verschiedener mehrdimensionaler Bewertungsalgorithmen für die Farbpräferenz bei verschiedenen Anwendungen zu vergleichen und zu bewerten. Mithilfe von computergenerierten Bildern eines farbigen Objekts, welches auf einem Bildschirm unter einem festen Weißpunkt angezeigt wird, wurden die Farbverschiebungen des Objekts unter verschiedenen Lichtquellen simuliert und Versuchspersonen bewerteten die Ergebnisse mit einer Reihe von mehrdimensionalen Algorithmen.

Unsere Analyse ergab, dass es signifikante Unterschiede in der Leistung dieser gibt, wobei einige genauer und zuverlässiger die Farbpräferenz ermitteln als andere. Unter Berücksichtigung aller relevanter Kriterien scheinen genetische Algorithmen den vielversprechendsten Ansatz zu liefern, da diese schnell und zuverlässig zu einem Ergebnis führen. Diese Ergebnisse haben wichtige Auswirkungen auf die Auswahl und den Einsatz mehrdimensionaler Algorithmen zur Bewertung der Farbpräferenz bei der Beleuchtung, insbesondere im Zusammenhang mit mehrkanaligen LED-Systemen, und können als Grundlage für künftige Forschungen in diesem Bereich dienen



## **Evaluating colour Preference by using Multidimensional Approaches**

*Mark Suppelt, Julian Klages, Paul Myland, Prof. Tran Quoc Khanh*

*Technische Universität Darmstadt*

*Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing*

*Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*mark@suppelt.biz*

Colour preference is a key factor in the design and evaluation of lighting systems, particularly with the emergence of multichannel LED systems which allow for greater control over the spectrum of light emitted and therefore the colour appearance of the illuminated objects. In order to more accurately and objectively measure colour preference, there has been a growing interest in the development of multidimensional evaluation algorithms that consider multiple dimensions of colour rendering, such as chroma and hue shift.

The purpose of this study was to compare and evaluate the performance of different multidimensional evaluation algorithms for colour preference in lighting applications. Using computer-generated images of a coloured object displayed on a screen under a fixed white point, we simulated the colour shifts of the object under different light sources and test subjects evaluated the results using a range of multidimensional algorithms.

Our analysis revealed that there are significant differences in the performance of these algorithms, with some providing more accurate and reliable measures of colour preference than others. Considering all relevant criteria, genetic algorithms seem to provide the most promising approach, as they lead to a result quickly and reliably. These findings have important implications for the selection and use of multidimensional algorithms for evaluating colour preference in lighting, particularly in the context of multichannel LED systems, and can inform future research in this area.

## **Untersuchung der Duv-Präferenz in Abhängigkeit von korrelierter Farbtemperatur (CCT), Farbgamut und betrachteten Objekten**

*Elisabeth Kemmler, M.Sc.*

*Paul Myland, M.Sc.*

*Julian Klages, M.Sc.*

*Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*

*Technische Universität Darmstadt*

*Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung*

*(ehemals Fachgebiet Lichttechnik)*

*kemmler@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Der Weißpunkt einer weißen LED-Lichtquelle kann mithilfe der korrelierten Farbtemperatur CCT und dem Duv vollständig und auf intuitive Weise beschrieben werden. Der Duv-Wert gibt dabei die Lage des Farbortes in Bezug auf den Planck'schen Kurvenzug an. Bei einem negativen Duv-Wert ist der Weißpunkt leicht in Richtung Purpurlinie verschoben. Bei einem positiven Duv-Wert liegt eine leichte Verschiebung des Weißpunkts ins Gelb-Grünliche vor.

Für die Bewertung der Farbqualität von weißem LED-Licht wurde lange Zeit nur die CCT berücksichtigt. Der Duv wurde meistens vernachlässigt, obwohl er genauso wichtig ist, was 2014 kritisiert wurde. Im Rahmen der Kritik wurde auf eine Studie verwiesen, bei der die Probanden bei gleicher CCT negative Duv-Werte gegenüber positiven Duv-Werten bevorzugten.

In den darauffolgenden Jahren haben verschiedene Forschungsgruppen weitere Präferenzuntersuchungen zum Duv durchgeführt. Das Ziel dieser Studien war es, den von Probanden präferierten Duv-Wert für eine oder mehrere bestimmte CCTs zu ermitteln. Die Ergebnisse der Studien sind jedoch zu hinterfragen, da weder eine Einordnung in einen bestimmten Kontext vorgenommen wurde noch die Auswahl vorhandener und beleuchteter, farbiger Objekte begründet wurde.

Vor diesem Hintergrund wurde in einer eigenen Probandenstudie untersucht, inwiefern die korrelierte Farbtemperatur, der Farbgamut und die betrachteten Objekte einen Einfluss auf den präferierten Duv-Wert und somit auf den präferierten Weißpunkt haben. Im Zuge dessen wurden drei verschiedene Testszenarien entwickelt und acht Testobjekte auf Basis von Simulationen für die Studie ausgewählt. Als Datenerhebungsverfahren kamen sowohl das adaptive Staircase-Verfahren als auch die Herstellungsmethode aus der Psychophysik zum Einsatz.

Schlüsselwörter: Farbqualität, Weißpunkt, CCT, Duv, Präferenz

# Investigation of Duv Preference Depending on Correlated Color Temperature (CCT), Color Gamut and Objects under Consideration

*Elisabeth Kemmler, M.Sc.*

*Paul Myland, M.Sc.*

*Julian Klages, M.Sc.*

*Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*

*Technical University of Darmstadt*

*Laboratory of Adaptive Lighting Systems and Visual Processing*

*(formerly Laboratory of Lighting Technology)*

*kemmler@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

The chromaticity of a white LED light source can be described completely and intuitively using the correlated color temperature CCT and the Duv. The Duv value indicates the position of the chromaticity coordinate in relation to the Planckian locus. A negative Duv value indicates a slightly color shift towards the line of purples. A positive Duv value indicates a slightly color shift to the yellowish-greenish area.

For a long time, only the CCT was considered for the evaluation of the color quality of white LED light. The Duv was often neglected, although it is just as important, which was criticized in 2014. In this regard, reference was made to a study, in which the subjects preferred negative Duv values to positive Duv values for the same CCT.

In the subsequent years, various research groups have conducted further preference studies on Duv. The aim of these studies was to determine the Duv value preferred by subjects for one or more specific CCTs. However, the results of these studies should be questioned, as no contextualization was performed, nor was the selection of existing and illuminated colored objects justified.

Against this background, a study was conducted to investigate the extent to which the correlated color temperature, the color gamut and the objects under consideration have an influence on the preferred Duv value and thus on the preferred white point. In this course, three different test scenarios were developed, and eight test objects were selected for the study based on simulations. Both the adaptive staircase method and the method of adjustment from psychophysics were used as data collection methods.

keywords: color quality, white light chromaticity, cct, duv, preference

## Untersuchungen zur Optimierung von barrierefreien visuellen Kontrasten

Martin Schlanke\*, Oliver Kolbe\*, Prof. Dr. Michael Gebhardt\*, Dr. Cornelia Vandahl\*\*, Dr. Karin Bieske\*\*, Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz\*\*, Prof. Dr. Kathleen Kunert\*\*\*

\* Ernst-Abbe-Hochschule Jena

\*\* TU Ilmenau

\*\*\* REGIOMED REHA Klinik Masserberg

**Ziel.** Ziel der Studie ist die Quantifizierung von Beleuchtungsparametern zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von visuellen Kontrasten bei Sehbehinderung.

**Material und Methoden.** Visus, Kontrastschwelle bei Dämmerung und Blendempfindlichkeit wurden mittels Freiburger Visual Acuity and Contrast Test (FrACT) erhoben. In einer Einblickvorrichtung wurden fünf Testfelder mit abnehmendem Kontrast nach Michelson ( $K_M=0,40$ ; 0,25; 0,16; 0,10; -0,10) dargeboten. Als Sehobjekte wurde ein randomisiert angeordnete ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ) Streifen (2 cm und 1 cm Breite) dargeboten. Eine Kontraststufe galt als erkannt, wenn der Proband die Orientierung von mindestens 4 von 6 dargebotenen Sehobjekten richtig identifizierte. Bei nicht Erkennung wurde die Umgebungsleuchtdichte (L) in 0,15-log-Schritten bis zur Erkennung erhöht. Zusätzlich erfolgte eine Darbietung der Kontrasttafeln unter Blendung. Probanden mit Sehbehinderung (Interventionsgruppe; n = 50) wurde augengesunden jungen (Kontrollgruppe I; n = 37) und alten (Kontrollgruppe II; n = 37) gegenübergestellt.

**Ergebnisse.** Die Interventionsgruppe benötigte eine höhere Testfeld-Umfeldleuchtdichte als die Kontrollgruppen. In der Interventionsgruppe erkannten alle Probanden  $K_M = 0,40$  mit 2 cm Streifenbreite bei  $L = 8 \text{ cd/m}^2$ . Bis  $K_M = 0,25$  konnten 95% der Probanden bei  $L = 22,3 \text{ cd/m}^2$  erkennen. Unter Blendung konnten nur 90% der Interventionsgruppe  $K_M = 0,40$  erkennen.

**Schlussfolgerung.** Die Erhöhung der Testfeld-Umfeldleuchtdichte führt zu einer Verbesserung der Wahrnehmung von Kontrasten. Kontraste unter  $K_M = 0,40$  konnten auch trotz Erhöhung der Testfeld-Umfeldleuchtdichte nicht von allen Probanden erkannt werden.

Direktblendung führt dazu, dass Kontraste schlechter wahrgenommen werden. Eine Kompensation der Blendung durch Erhöhung der Testfeld-Umfeldleuchtdichte führte nicht bei allen Probanden zu einer Erkennbarkeit.

Anmerkung: Die finale, detaillierte und statistische Auswertung sowie eine Betrachtung der Blendempfindlichkeit stehen noch aus.

Schlüsselwörter: Sehbehinderung, Kontraste, visuelle Barrierefreiheit, Umfeldleuchtdichte

## Investigations into the optimisation of barrier-free visual contrasts

*Martin Schlanke\**; *Oliver Kolbe\**, *Prof. Dr. Michael Gebhardt\**, *Dr. Cornelia Vandahl\*\**, *Dr. Karin Bieske\*\**, *Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz\*\**, *Prof. Dr. Kathleen Kunert\*\*\**

\* *Ernst-Abbe-Hochschule Jena*

\*\* *TU Ilmenau*

\*\*\* *REGIOMED REHA Klinik Masserberg*

**Purpose.** The aim of the study is to quantify lighting parameters to improve the perceptibility of visual contrasts in visual impaired people.

**Material and methods.** Visual acuity, mesopic contrast sensitivity, and glare sensitivity were estimated using the Freiburg Visual Acuity and Contrast Test (FrACT). Five test fields with decreasing contrast according to Michelson ( $K_M = 0.40; 0.25; 0.16; 0.10; -0.10$ ) were presented in an insight device. Randomly arranged ( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ ) strips (2cm and 1cm wide) were presented as visual objects. Contrast level was considered „recognized“ if the orientation of at least 4 of 6 presented strips were identified correctly. In case of non-recognition, the luminance (L) was increased in 0.15-log steps until recognition. In addition, the contrasts were presented under glare. Subjects with visual impairment (intervention group;  $n=50$ ) were compared with healthy young (control group I;  $n=37$ ) and old (control group II;  $n=37$ ) subjects.

**Results.** The intervention group required a higher luminance than the control groups. In the intervention group, all subjects detected  $K_M=0.40$  with 2cm stripe width at  $L=8 \text{ cd/m}^2$ . Up to 95% of intervention group could detect  $K_M=0.25$  at  $L=22.3 \text{ cd/m}^2$ . Under glare, only 90% of this group could identify  $K_M=0.40$ .

**Conclusion.** Increasing the luminance leads to an improvement in the perception of contrasts. Contrasts below  $K_M=0.40$  could not be detected by all subjects even by an increase in illumination.

Glare leads to poorer perception of contrasts. Compensation of the glare by increasing luminance did not lead to recognition by all subjects.

Note: The final, detailed and statistical evaluation as well as a consideration of the glare sensitivity are still pending.

Keywords: Visual impairment, contrasts, visual accessibility, luminance

# Entwicklung von Straßenbeleuchtungskonzepten mittels LED-Technik zur Verbesserung der visuellen Wahrnehmung von Radfahrern

*Frithjof Hansen, Stephan Völker*

*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*

*frithjof.hansen@li.tu-berlin.de*

Der fließende Radverkehr erfolgt entweder im Mischverkehr mit dem motorisierten Verkehr auf der Fahrbahn oder auf separaten Radverkehrsanlagen, welche durch Markierung, bauliche oder verkehrsregelnde Maßnahmen vom motorisierten Verkehr getrennt sind.

Mit Radverkehrsanlagen kann der Verkehrsfluss für beide Verkehrsteilnehmer verbessert werden. Darüber hinaus soll durch die Trennung die Verkehrssicherheit erhöht werden.

Untersuchungen der Unfallforschung der Medizinischen Hochschule Hannover zeigen jedoch, dass die Unfallzahlen von Radfahrern auf von der Fahrbahn getrennten Radwegen höher sind als im Mischverkehr auf der Fahrbahn. Insbesondere an Knotenpunkten kommt es häufig zu gefährlichen Konfliktsituationen zwischen Rad- und Kfz-Verkehr, hier ereignen sich mehr als die Hälfte aller Unfälle mit Radfahrerbeteiligung.

Das Sicherheitsrisiko für Radfahrer wird auf verschiedene Ursachen zurückgeführt. Untersuchungen der TU Berlin belegen die hohe Bedeutung einer eingeschränkten Sichtbarkeit des Radfahrers aus Sicht des Kraftfahrers und des Fußgängers, insbesondere bei Dämmerung und Dunkelheit durch unzureichende ortsfeste Straßenbeleuchtung.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung und Erprobung von lichttechnischen und gestalterischen Parametern für ortsfeste innerstädtische Straßenbeleuchtungssysteme zur Realisierung einer deutlich verbesserten Sichtbarkeit von Radfahrern. Dazu werden lichttechnische Parameter ausgewählt, weiterentwickelt und mit optimierten Lichtverteilungen umgesetzt.

Hinweise auf die sichtbarkeitsbestimmenden Parameter liefern lichttechnische Messungen an ausgewählten Fahrradunfallstellen im Raum Hannover im Zusammenhang mit einer umfangreichen Analyse der örtlichen Fahrradunfalldaten.

Da die neu entwickelten Parameter Einfluss auf die Verkehrssicherheit haben, müssen sie nicht nur aus technischer Sicht, sondern auch an der Schnittstelle Licht-Mensch bewertet werden. Daher wird eine Validierung hinsichtlich ihrer Sichtbarkeitsverbesserung für Radfahrer sowohl im Labor als auch auf der Teststrecke des Fachgebiets, dem LED-Laufsteg, durchgeführt.

Basierend auf den entwickelten und evaluierten Beleuchtungs- und Gestaltungsparametern werden Hinweise zur Anpassung bestehender Normen bzw. Vorschriften gegeben und ein Leitfaden als Handlungsempfehlung für Kommunen erstellt.

## **Development of street lighting concepts using LED technology to improve the visual perception of cyclists**

*Frithjof Hansen, Stephan Völker*

*Technische Universität Berlin, Chair of Lighting Technology*

*frithjof.hansen@li.tu-berlin.de*

Cycling can either be mixed with motorised traffic on the carriageway or on separate facilities for segregated cycling, which separate motorised traffic by means of signage, construction or traffic control measures.

Cycling facilities can improve the flow of traffic for both motor vehicles on the road and cyclists. They are also intended to improve road safety by separating or demarcating cyclists from motorised traffic.

However, studies by the Accident Research Unit of the Hanover Medical School have shown that cyclists are more likely to be involved in accidents on cycle paths separated from the carriageway than in mixed traffic on the carriageway. Dangerous conflict situations between cyclists and motorised traffic are particularly common at junctions, where more than half of all accidents involving cyclists occur.

Cyclists are at risk for a number of reasons. Studies by the Technical University of Berlin have shown the importance of cyclists' reduced visibility to motorists and pedestrians, especially at dusk and in the dark, due to inadequate street lighting.

The aim of the research project is to develop and test lighting and design parameters for fixed urban street lighting systems in order to significantly improve the visibility of cyclists. To this end, lighting parameters will be selected, developed and implemented using optimised light distributions.

Photometric measurements at cycling accident sites in the Hannover area, combined with a comprehensive analysis of local cycling accident data, will provide indications of the parameters that are critical for visibility.

Such a project cannot be evaluated only from a technical point of view, as the new parameters have an impact on road safety. The results of the project must be recorded and evaluated at the light-human interface. Therefore, a validation of the developed lighting and design parameters in terms of their visibility improvement for cyclists will be carried out both in the visual laboratory and on the department's test road, the LED catwalk.

Based on the developed and evaluated lighting and design parameters, advice will be given on the adaptation of existing standards and regulations, and a guideline will be written as a recommendation for action for local authorities.

## Beleuchtung als Einflussfaktor für eine tiergerechte Mastputenhaltung

G. Raveendran\*, K. Homeyer\*, J. Raabe\*\*, T. Bartels\*\*, R. Lachmayer\*\*\*

\* Fak.I - Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Hannover

\*\*Institut für Tierschutz und Tierhaltung, Friedrich-Loeffler-Institut

\*\*\*Fakultät für Maschinenbau, Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, Leibniz-Universität Hannover

Im Rahmen des Forschungsprojekts OptiLiMa (**Optimierung des Lichtmanagements** in der Haltung von **Mastputen**) wird der Einfluss der Stallbeleuchtung auf das Verhalten von Mastputen untersucht. Dafür wird eine LED-Vollspektrumbeleuchtung mit Wellenlängen vom UVA-Bereich bis zum sichtbaren Licht, sowie ein automatisches Tierbeobachtungssystem mittels KI-videobasierter Objekterkennung entwickelt. Im Fokus der Untersuchungen steht dabei ein bislang wenig untersuchter möglicher Einflussfaktor, der Einfluss der Beleuchtung auf das Verhalten von Mastputen.

Getestet wurde einerseits die Auswirkung von Flimmerfrequenzen mit 165 Hz, 500 Hz und 16 kHz sowie unterschiedliche Lichtspektren im für Menschen sichtbaren Bereich mit und ohne einen zusätzlichen UVA-Anteil. Die von den Puten bevorzugten Aufenthaltsbereiche im Maststall wurden analysiert. Zusätzlich wird in Federproben die Konzentration von Corticosteron gemessen, um die Effekte der verschiedenen Flimmerfrequenzen auf die Langzeitsekretion dieses Stresshormons als Reaktion auf die Umgebungsbedingungen zu erfassen. Ziel der Studie ist es, Parameter für eine den Haltungsansprüchen von Mastputen gerecht werdende Stallbeleuchtung zu bestimmen, die ggf. zur Verbesserung des Tierwohls beitragen kann.



## Lighting as an influencing factor for animal-friendly fattening turkey husbandry)

G. Raveendran\*, K. Homeyer\*, J. Raabe\*\*, T. Bartels\*\*, R. Lachmayer\*\*\*

\* *Fak.I - Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Hannover*

\*\**Institut für Tierschutz und Tierhaltung, Friedrich-Loeffler-Institut*

\*\*\**Fakultät für Maschinenbau, Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, Leibniz-Universität Hannover*

As part of the OptiLiMa research project, the influence of barn lighting on the behaviour of fattening turkeys is being investigated. For this purpose, full-spectrum LED lighting with wavelengths from the UVA range to visible light, as well as an automatic animal observation system using AI video-based object recognition, were developed. Investigations are focussed on an illumination parameter that has been little studied to date, namely the influence of lighting on the behaviour of fattening turkeys.

The flicker frequencies 165 Hz, 500 Hz, 16 kHz and the light spectrum with visible light and UVA component were tested. Under these experimental conditions, the behaviour of fattening turkeys is to be analysed in order to detect possible influences of the flicker frequency. In addition, the concentration of corticosterone is determined in feather samples to measure the effects of the different flicker frequencies on the long-term secretion of this stress hormone. The aim of the study is to determine parameters for a barn illumination that satisfies the requirements of fattening turkeys for an animal-friendly husbandry and, if necessary, can contribute to improving animal welfare.



## **Modelling of lighting in urban parks for investigation of environmental impacts**

*Author Name: Damian Seliga*

*Author Affiliations: Gasparovsky Dionyz, Dubnicka Roman, Raditschova Jana*

The urban parks are representing the nature in urban space. Residents visit these parks for the purpose of relaxation, recreation or free time activities. Urban parks help them with enjoying this time with their content like trees or bushes that provide shade, grass areas, flowers or small animals which take place in these parks. At night, these parks are illuminated and often the lighting can not only illuminate benches or sidewalks, but also the whole trees and other parts of park. Does this light have an environmental impact on the urban park? By modelling the lighting in urban parks we can simulate situations in which we illuminate directly content of a park, like trees. By creating multiple simulations we can choose which kind of lights and their light sources, and which kind of overall light system, have a greater or lesser impact on the urban park.

[1] European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Working conditions in a global perspective. Publications Office of the European Union, 2019.

[2] Bragina Tatiana, et al. "Impact of personalized lighting on the psychophysical state of a human." 2021 Joint Conference-11th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting & 17th International Symposium on the Science and Technology of Lighting (EEDAL/LS: 17). IEEE, 2022.

[3] Manfredini Roberto, et al. "Light, Circadian Rhythms and Health." Therapeutic Landscape Design: Methods, Design Strategies and New Scientific Approaches. Cham: Springer International Publishing, 2023. 81-92.

## Personalized lighting for round-the-clock shift workers

*Daria Klimova, Svetlana Roslyakova*

*ITMO University*

*daklimova@itmo.ru*

In the modern world, the expansion of services provided to the population and the development of new technologies have led to an increasing need for constant control over the workflow and direct round-the-clock human participation in it. In this regard, employers often abandon the standard work schedule, which is 8 hours in the daytime, in favor of shift schedules. According to a study conducted by the International Labor Organization, 10-20% of employees around the world work at night, including around the clock [1]. Around-the-clock work is often associated with complex visual tasks and high responsibility, for example medical workers, operators, and dispatchers. At the same time, working at non-standard times is one of the causes of human health problems. The round-the-clock shifts of medical workers is one of the main factors of circadian rhythm disorders, causing significant changes in sleep patterns that affect the psychophysiological state of employees and can negatively affect the quality of work.

Modern studies have proved that light (both artificial and natural) affects the human body and circadian rhythms, and such parameters of artificial lighting as correlated color temperature and illuminance affect productivity, satisfaction and mood of employees [2,3]. With the existing recommendations on artificial lighting of rooms with a standard operating mode, there are no mechanisms for regulating lighting in rooms with non-standard schedules.

In this study, an adaptive lighting system was developed that helps maintain the psychophysiological state of employees in norm. The existing methods for adapting lighting were considered. The main users of the adaptive lighting system were medical workers having round-the-clock shifts. It was concluded that the psychophysiological factor of adaptation is relevant for both employers and employees. The use of dynamic lighting, the parameters of which vary depending on the time of day and the user well-being, is one of the ways to preserve health and efficiency of employees working in the round-the-clock schedule mode. Dependences between light characteristics (illuminance, spectral composition) and the human condition were obtained using methods for assessing the psychophysiological state. Basic lighting modes were created to improve the psychophysiological state of users.

It was decided to integrate biomonitors for obtaining user data and psychological methods that focus on the personality structure. Biomonitoring of employees is performed using wearable sensors, namely fitness trackers. The sensors provide information about the psychophysiological state of a person: heart rate, stress level, sleep quality. The lighting system changes the lighting in real time based on the sensors data. Due to this, the adaptive lighting system performs not only a functional role, that is, dynamically illuminate the space, but also acts as a permanent monitoring system for the well-being of the personnel. The developed adaptive lighting systems can be used in different areas that require non-standard schedules and increased accuracy to perform work tasks. The focus on improving health and productivity indicators will positively influence the efficiency and well-being of employees. This study was supported by Russian Science Foundation (RSF) 22-28-20408.

**Keywords:** adaptive lighting system, round-the-clock work schedule, circadian rhythms, psychophysiological state, biomonitors

# **Auf dem Weg zu einer optimalen Pipeline für die Erzeugung von Punktwolken für Pflanzen unter Verwendung eines kostengünstigen Hardware- und Softwareansatzes**

*Felix Wirth\*, Jens Balasus, Antoine Wache, Jill Baldus, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*

*Technische Universität Darmstadt*

*Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung*

*Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*\*wirth@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Die Phänotypisierung von Pflanzen, d.h. die Bestimmung topologischer und physiologischer Pflanzenmerkmale ist eine zeit- und arbeitsintensive Aufgabe, die als Engpass im Pflanzenzüchtungszyklus gilt. Dabei gibt es die Opportunität, die automatische Bestimmung der architektonischen und morphologischen Merkmale durch die Erstellung von 3D Pflanzenpunktwolken zu erzielen. Der erste notwendige Schritt dafür ist die schnelle und kostengünstige Bereitstellung dieser Punktwolken und somit die Konstruktion eines geeigneten 3D-Scanners.

Für die Umsetzung eines 3D-Scanners bieten sich derzeitige typische berührungslose 3DMessverfahren an, welche sich grob in die Kategorien 3D ToF-Sensoren, LiDAR, Structured Light 3D Scanning, Photogrammetrie und Computertomographie (CT) einteilen lassen.

Aufgrund der Zielsetzung dieser Arbeit, eine kostengünstige für die Forschung einsetzbare 3DScanner zu entwickeln, hat sich die Photogrammetrie als geeigneter Ansatz herausgestellt. Als Algorithmus wird die Structure-from-Motion/Multi-View-Stereo-Methode (SfM/MVS) mit der 3DModelle von Objekten oder Szenen aus mehreren 2D-Bildern rekonstruiert werden können, gewählt. Dabei werden die Kamerapositionen und die 3D-Struktur der Szene aus einer Reihe von überlappenden Bildern bestimmt und anschließend verfeinert, um ein hochwertiges 3D-Modell zu erstellen. Zur Aufnahme der Bilder sind verschiedene Kamera-zu-Messobjekt-Konfigurationen denkbar. Bei der gewählten Forward-Intersection-Methode wird die Kameraposition vor der Bildaufnahme festgelegt und das zu vermessende Objekt dreht sich vor der Kamera, welches den Vorteil der Echtzeit- und automatisierbaren Messungen hat. Um die Aufnahme der Pflanze aus allen Richtungen zu ermöglichen, wird ein Drehtisch und ein automatisiertes ferngesteuertes Kamerasystem bestehend aus 4 Kameramodulen entwickelt. Der Drehteller besteht aus einem NEMA-17 Stepper Motor, welcher von einem Arduino Uno-Microcontroller angetrieben wird und Schrittweite und Drehgeschwindigkeit eingestellt werden können. Da qualitativ hochwertige Bilder der Schlüssel zur Generierung guter 3D-Modelle sind, werden vier Arducam 16MP Autofocus Quad-Kameras verbaut, welche mit Hilfe eines Raspberry Pi 4 mit dem Drehteller synchronisierte Aufnahmen erstellen können. Die Kamerapositionen sind mit einem 3D gedruckten mechanischen Mechanismus beliebig in Höhe und Winkel verstellbar und befinden sich typischerweise in  $-30^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  und  $60^\circ$  Orientierung zur Pflanze.

Als Beleuchtung wird eine Kombination aus direktem Licht aus der Blickrichtung der Kameras und diffusem Licht emittierend von der Decke des Gehäuses, welches aus Aluminiumprofilen besteht, installiert. Ergänzt wird der Aufbau durch ein Referenzobjekt in Form eines Topfes, der mit einem Wavelet-Rauschen bedruckt ist, sowie verschiedenen homogenfarbigen Hintergründen, um je nach Pflanzenwahl, eine bestmögliche Rekonstruktion zu gewährleisten. Zur Verarbeitung der Bilder werden drei open source Software (VisualSfM, Meshroom und Colmap) miteinander verglichen und die erstellten 3D Punktwolken anhand der Richtlinie "VDI 2634/1" bewertet.

# Towards an optimal pipeline for generating point clouds for plants using a low-cost hardware and software approach

*Felix Wirth\*, Jens Balasus, Antoine Wache, Jill Baldus, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*

*Technische Universität Darmstadt*

*Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung*

*Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt*

*\*wirth@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Plant phenotyping, i.e., the determination of topological and physiological plant traits, is a labor-intensive and time-consuming procedure that is considered a bottleneck in the plant breeding cycle. Thereby, there is an opportunity to achieve automatic determination of architectural and morphological features by creating 3D plant point clouds. The first necessary step for this is to provide these point clouds quickly and cheaply, and thus to construct a suitable 3D scanner.

Current conventional non-contact 3D measuring techniques for the deployment of a 3D scanner can be loosely categorized as 3D ToF sensors, LiDAR, Structured Light 3D Scanning, Photogrammetry, and Computed Tomography (CT). Owing to the goal of this thesis to create a low-cost 3D scanner suitable for research, photogrammetry has emerged as an appropriate method. The selected algorithm is structure-from-motion/multi-view stereo (SfM/MVS), which reconstructs 3D models of objects or scenes from multiple 2D photos. In this method, the camera positions and the 3D structure of the scene are determined from a series of overlapping images and then refined to produce a high-quality 3D model. Various camera-to-object configurations are possible for capturing the images. In the selected forward intersection approach, the camera location is defined prior to picture collection and the object to be measured rotates in front of the camera, allowing for real-time and automated measurements. A turntable and an automated remote camera system consisting of 4 camera modules are developed to allow the plant to be imaged from all directions. The turntable is comprised of a NEMA-17 stepper motor that is controlled by an Arduino Uno microcontroller, with adjustable step size and rotation speed. Since high-quality images are key to generating good 3D models, four Arducam 16MP autofocus quad cameras are installed, which can take images synchronized with the turntable using a Raspberry Pi 4. Using a 3D-printed mechanical mechanism, camera positions are arbitrarily adjustable in height and angle, and are commonly oriented at  $-30^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , and  $60^\circ$  with respect to the plant.

As illumination, a combination of direct light from the cameras' line of sight and diffuse light from the ceiling of the aluminum-profiled housing is installed. The setup is complemented by a reference object in the form of a pot, which is printed with a wavelet noise, and various homogeneously colored backgrounds to ensure the best possible reconstruction, depending on the plant selection. For the image processing, three open-source applications (VisualSFM, Meshroom and Colmap) are compared and the resulting 3D point clouds are evaluated in accordance with the "VDI 2634/1" standard.

# Wirkung von Licht auf die Aufmerksamkeit von tagarbeitenden Beschäftigten: Eine Laborstudie

Hannah Rolf\*, Ljiljana Udovicic\*, Stephan Völker\*\*b

\*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund

\*\*Technische Universität Berlin (TUB)

[hannah.rolf@campus.tu-berlin.de](mailto:hannah.rolf@campus.tu-berlin.de), [rolf.hannah@baua.bund.de](mailto:rolf.hannah@baua.bund.de)

Obwohl die Existenz nicht-visueller Wirkungen des Lichts im Bereich lichttechnischer Forschung allgemein anerkannt ist, sind die zugrundeliegenden Mechanismen noch nicht vollständig erforscht. Insbesondere auf dem Gebiet der akuten aufmerksamkeitssteigernden Effekte sind weitere Studien erforderlich, die die Auswirkungen verschiedener spektraler Zusammensetzungen und Beleuchtungsstärken untersuchen. Im Jahr 2017 veröffentlichten Souman et al.<sup>1</sup> ein systematisches Review über akute Effekte von Licht auf die Aufmerksamkeit. In ihrer Arbeit beschreiben die Autoren eine unklare Studienlage. Sie betonen, dass Studien mit größerem Stichprobenumfang und höherer statistischer Aussagekraft erforderlich sind, um die aufmerksamkeitssteigernde Wirkung höherer Beleuchtungsstärken und Blauanteile im Licht, die in einigen der analysierten Studien festgestellt wurde, weiter zu spezifizieren. Darüber hinaus weisen sie auf die Notwendigkeit von Studien hin, die die Analyse von Moderatoren wie Tageszeit oder Expositionsdauer ermöglichen. Die meisten der analysierten Studien wurden abends oder nachts durchgeführt. Da sich unser Aufmerksamkeitsstatus tageszeitabhängig verändert, sind Ergebnisse möglicherweise nicht auf den Tag übertragbar<sup>2</sup>. Weitere Studien sind daher nötig um unser Wissen in diesem Bereich zu erweitern.

Die vorliegende Studie ist ein Beitrag dazu, die Wissenslücke auf diesem Gebiet zu verringern. Im Hinblick auf eine Vielzahl tagarbeitender Beschäftigter, sind aufmerksamkeitssteigernde Effekte von Licht während des Tages von besonderem Interesse. Außerdem sind Vollzeitbeschäftigte oft bis zu acht Stunden der Beleuchtung an ihrem Arbeitsplatz ausgesetzt. Daher sollten Wirkungen bei längerer Expositionsdauer explizit untersucht werden. Die Laborstudie im Within-Subject Design soll akute Effekte auf die Aufmerksamkeit von Vollzeitbeschäftigten am Tag untersuchen. 42 Teilnehmende durchliefen mehrere Versuchstage mit einer Dauer von etwa 7,5 Stunden. Effekte von drei Lichtszenen mit unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung und horizontaler Beleuchtungsstärke auf dem Tisch (2700 K 500 lx; 5400 K 500 lx, 5400 K 1500 lx) wurden untersucht. Dies führte zu einer systematischen Variation der melanopisch gewichteten tageslichtäquivalenten Beleuchtungsstärke. Alle Lichtszenen erfüllten die Vorschriften für die Arbeitsplatzbeleuchtung in Deutschland. An den Versuchstagen führten die Teilnehmenden mehrere Testphasen durch, die sowohl subjektive Skalen als auch psychomotorische Aufgaben umfassten. Zusätzlich wurden Arbeitsaufgaben durchgeführt, die die Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit über mehrere Stunden erforderten.

In der Präsentation werden das Studiendesign sowie Ergebnisse ausgewählter Aufmerksamkeitsparameter vorgestellt.

<sup>1</sup> Souman, J.L. et al. , Behavioural Brain Research (2017), doi: 10.1016/j.bbr.2017.09.016

<sup>2</sup> Lok, R. et al., Journal of Biological Rhythms (2018), doi: 10.1177/0748730418796443



# Effects of Light on Attention of Daytime Workers: A laboratory study

Hannah Rolf\*, Ljiljana Udovicic\*, Stephan Völker\*\*

\*Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA), Dortmund

\*\*Technical University of Berlin (TUB)

rolf.hannah@baua.bund.de, hannah.rolf@campus.tu-berlin.de

Although the existence of effects of light on humans beyond vision is nowadays well accepted in the lighting community, the exact mechanisms that underlie these phenomena are yet to be fully discovered. Particularly, in the field of acute alerting effects of light, more studies concerning the impact of different spectral compositions and illuminances on measures of attention are needed. In 2017, Souman et al.<sup>1</sup> published a systematic literature review on the acute alerting effects of light. In their work, the authors conclude that evidence is still unclear, partly due to a high variety in different study designs and light interventions. They emphasize that studies with larger sample sizes and higher statistical power are needed to either confirm or question alerting effects of high illuminances and blue-enriched light that were found in some of the analyzed studies, but not all. In addition, they point out the need for well-planned studies that enable the analysis of mediating factors, such as time of day or exposure duration. The majority of analyzed studies were conducted during evening or night. Since our alerting system is likely to display a higher light-sensitivity during the night, results might not be translatable to daytime<sup>2</sup>. Therefore, daytime studies that include larger sample sizes and exposure durations may help to increase our knowledge about acute alerting effects.

The presented study is an attempt to reduce the gap of knowledge in this field. Since most employees work during the day, alerting effects of light during daytime are of particular interest. Furthermore, fulltime workers are often exposed to lighting at their workplace for up to eight hours. Therefore, effects of prolonged exposure duration should be investigated in more detail. In our within-subject laboratory study, we aimed at focusing on acute alerting effects of fulltime daytime workers. 42 participants took part in experimental session days with a duration of approximately 7.5 hours. Three lighting scenes, differing in their spectral composition and horizontal illuminance at desk (2700 K 500 lx; 5400 K 500 lx, 5400 K 1500 lx), were included. Thereby, melanopic daylight illuminance was varied systematically. All lighting scenes fulfilled regulations for workplace lighting in Germany. During sessions, participants performed several test phases that included subjective scales as well as psychomotor tasks, in order to generate extensive knowledge about their attentional state. To simulate a working day, on which people typically have to maintain their attention over several hours, we also included other working tasks that were completed between test phases.

In the presentation, the study design will be introduced in more detail. In addition, results of exemplary chosen measures of attention and well-being will be presented.

<sup>1</sup> Souman, J.L. et al., Behavioural Brain Research (2017), doi: 10.1016/j.bbr.2017.09.016

<sup>2</sup> Lok, R. et al., Journal of Biological Rhythms (2018), doi: 10.1177/0748730418796443

## 24-Stunden-Lichtexposition unterschiedlicher Berufsgruppen

Varga, C. und Udovicic, L.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund

Licht beeinflusst die menschliche Gesundheit, indem es eine Reihe von physiologischen Prozessen steuert, die circadianen Rhythmen unterliegen. Nächtliche Lichtexposition während der Nachtschicht (bezeichnet als „Licht zur falschen Zeit“) sowie geringe Lichtexposition während des Tages („Lichtmangel“) im Zusammenhang mit Tätigkeiten in Innenräumen und wenig Zeit im Freien bei Tageslicht können die circadiane Rhythmik beeinträchtigen und zu einer Desynchronisation der physiologischen Prozesse führen.

Im Rahmen einer Feldstudie wurde die Lichtexposition unterschiedlicher Berufsgruppen untersucht. Die Lichtexposition der Beschäftigten wurde mit tragbaren ActTrust Lichtexpositionsdetektoren (Condor Instruments) erfasst während des gesamten Tages (24 Stunden) und über eine Arbeitswoche im Winter und Frühjahr/Sommer. Die erhobenen Daten wurden mithilfe eines Aktivitätstagebuchs ausgewertet, in dem die täglichen Aktivitäten sowohl während der Arbeitszeit als auch in der Freizeit protokolliert wurden.

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse für drei Berufsgruppen vor: Kommissionier, die in Nachtschicht arbeiten; Lehrkräfte, die tagsüber in Innenräumen tätig sind sowie Gärtner, die im Freien arbeiten. Die erhobenen Daten wurden über eine Stunde gemittelt und als mittlere stündliche Beleuchtungsstärke  $E_v$  und Beleuchtungsstärke-Dosis  $H_v$  dargestellt. Die Ergebnisse zeigen die unterschiedlichen Lichtexpositionen der Beschäftigten bedingt durch ihre Arbeitszeit und ihren Arbeitsort.

## 24-hour light exposure of different occupational groups

Varga, C. and Udovicic, L.

*Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA), Dortmund*

Light affects human health by influencing a number of circadian physiological processes in the human body. Light exposure during the night shift ("light at night", LAN), as well as poor light exposure during the day ("lack of light"), mainly associated to indoor activities and less time spent outdoors to daylight, can impair circadian system leading to desynchronization of physiological processes.

We investigated in a field study the light exposure of different occupational groups.

A portable ActTrust device (Condor Instruments) recorded the light exposure of employees over a full day (24 hours) and over one working week in winter and in spring/summer. The assessed data are analysed using an activity diary in which daily activities were recorded during both working and leisure hours.

In this paper, we present the light exposure for three different occupational groups: order pickers with night schedules (LAN), teaching staff working indoors during the day (lack of light) and gardeners working outdoors. The assessed data are averaged over one hour and described as mean hourly illuminance  $E_v$  and luminous exposure  $H_v$ . The results show different light exposures of employees depending on their working time and working place.

# Vergleich zweier Versuchsaufbauten zur Untersuchung der Richtungsabhängigkeit von NIF-Effekten

Kai Broszio\* \*\*, Nils König\*\*, Martine Knoop\*\*, Stephan Völker\*\*

\*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) Gruppe 2.2, Dortmund

\*\*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik

Der derzeitige Forschungsstand zur Richtungsabhängigkeit der nichtvisuellen (eng. Auch non-image-forming, NIF) Effekte des Lichts zeigt starke Tendenzen, neben der spektralen Verteilung, der Dauer, der Intensität und dem Zeitpunkt des Lichts ein wichtiger Einflussfaktor zu sein. Allerdings sind die Studienergebnisse noch sehr uneinheitlich und inhomogen. Um die Gründe für die widersprüchlichen Ergebnisse aufzudecken und die Grundlage für weitere Forschungen zum Einfluss der Lichteinfallrichtung auf die NIF-Effekte zu schaffen, wurden Nachbildungen von zwei Versuchsaufbauten, d.h. Rea et al. (2021) und Broszio et al. (2019) erstellt. Beide Versuchsaufbauten mit unterschiedlichen Beleuchtungswinkeln wurden photometrisch auf denselben vertikalen MEDI für die Lichtszenarien aus dem oberen und unteren FOV eingestellt. Bei näherer Betrachtung und Berücksichtigung der Gesichtsphysiognomie sowie der für NIF-Effekte relevanten Bereiche des FOV wurde deutlich, dass unterschiedliche relevante Netzhautzonen mit unterschiedlichen Intensitäten bestrahlt wurden und dass die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Studien vermutlich darauf zurückzuführen sind.

Diese Erkenntnisse und die Versuchsaufbauten wurden für eine Pilotstudie mit Probanden genutzt, um den Einfluss von Richtungs-, Raum- und Winkelabhängigkeiten auf die subjektive und akute Wachheit zu untersuchen. Ziel war es zunächst, eine explorative Analyse durchzuführen und daraus Empfehlungen für die Optimierung von Folgestudien abzuleiten sowie notwendige Stichprobengrößen für das Erreichen signifikanter Ergebnisse zu projizieren.

Zu diesem Zweck wurde ein Within-Subjects-Design mit zehn Probanden im Alter von 22 bis 32 Jahren erstellt. Jede Versuchsperson wurde in einem ausgewogenen Crossover-Verfahren in fünf experimentellen Sitzungen 32 Minuten lang allen Szenarien ausgesetzt und auf Veränderungen in Bezug auf die akute Aufmerksamkeit mittels verschiedener auditiver und subjektiver Aufmerksamkeitstests (KSS, PVT und Go/NoGo) vor, während und nach der Exposition untersucht.

Statistische Testmethoden wie rmANOVA und der gepaarte t-Test wurden verwendet, um die Veränderungen in den operationalisierten Aufmerksamkeitsmessungen zu bewerten. Wie aufgrund der unzureichenden statistischen Power zu erwarten war, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Lichtszenarien festgestellt werden. Daher konzentrierten wir uns bei der Auswertung auf die Effektgrößen. Es werden kleine bis mittlere Effekte beobachtet, die sich jedoch hinsichtlich der Hypothesen teilweise widersprechen. Die hier formulierte Forschungsfrage kann daher nicht abschließend diskutiert werden, da wesentlich größere Stichproben benötigt werden. Dennoch bringt dieses Projekt einen Mehrwert für die Forschung, die sich mit dem Einfluss von Licht auf die Aufmerksamkeit beschäftigt, und insbesondere für Folgestudien, da die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit einerseits für Reviews und Metanalysen genutzt werden können und andererseits als Leitfaden für Folgestudien dienen. Darüber hinaus zeigt diese Arbeit, dass einige gängige Paradigmen in der Beleuchtungsforschung zur Aufmerksamkeit hinterfragt werden müssen, generell viel zu kleine Stichprobengrößen verwendet werden und noch ein enormer Forschungsbedarf zur Richtungsabhängigkeit des Einflusses von Licht auf die Aufmerksamkeit am späten Abend und im Allgemeinen besteht.

Schlüsselwörter: NIF-Effekte, Richtungsabhängigkeit, Aufmerksamkeit

# Comparison of two experimental setups to investigate the directionality of NIF effects

Kai Broszio\* \*\*, Nils König\*\*, Martine Knoop\*\*, Stephan Völker\*\*

\*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) Gruppe 2.2, Dortmund

\*\*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik

The current state of research on the directionality of the Non-Image-Forming (NIF) effects of light shows strong tendencies to be an important influential factor along with the light's spectral distribution, -duration, -intensity, and -timing. However, study results are still highly inconsistent and inhomogeneous. In order to uncover the reasons for the contradictory results and to establish the basis for further research on the influence of the direction of light incidence on NIF effects, replications of two experimental setups, i.e. Rea et al. (2021) and Broszio et al. (2019) were created. Both setups, having different lit solid angles, were photometrically adjusted to the same vertical MEDl for the light scenarios from the upper and lower field of view (FOV). On closer examination and consideration of the facial physiognomy as well as the areas of the FOV relevant for NIF effects it became clear that, different relevant retinal zones were irradiated with different intensities and that the different results of the studies are likely due to this fact.

These findings, results and reproduced experimental setups were used for a pilot study with human subjects to investigate the influence of directional, spatial, and angular dependencies on subjective and acute alertness. The initial objective was to perform an exploratory analysis, then draw recommendations for the optimization of follow-up studies as well as to project necessary sample sizes for achieving significant results.

For this purpose, a within-subjects design with ten subjects aged 22 to 32 years was set up. Each subject was exposed in a balanced crossover manner to all scenarios on five experimental sessions for 32 minutes each and assessed for changes in terms of acute alertness using different auditory and subjective alertness tests (KSS, PVT and Go/NoGo) before, during and after exposure.

Statistical test methods like rmANOVA and the paired t-test were used to evaluate changes in operationalized alertness measurements. As it was expected due to insufficient statistical power no statistically significant differences between the investigated light scenarios could be revealed. Hence, for assessment we focused on effect sizes. Small to medium effects are observed, which however partly contradict each other according to the hypotheses. Hence, the research question formulated here cannot be discussed conclusively, as much larger samples are needed.

Nevertheless, this project brings a value added to research dealing with the influence of light on alertness and in particular to follow-up studies, as the results of the present work can be used for reviews and meta-studies on the one hand and act as a guide for follow-up studies on the other hand. Furthermore, this work shows that some common paradigms in lighting research on alertness need to be questioned, generally far too small sample sizes are used, and there is still an enormous need for research on the directionality of light on alertness in the late evening and in general.

Index Terms: NIF effects, directionality, alertness

Mit freundlicher Unterstützung von:

