

# Lux junior 2019

14. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs 6. bis 8. 9. 2019 Dörrfeld/Ilm

## Abstracts



Deutsche Lichttechnische  
Gesellschaft e.V.

th

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

Lux junior 2019

# Abstracts

14. Forum für den lichttechnischen Nachwuchs

6. bis 8. September 2019  
Dörnfeld bei Ilmenau

**Veranstalter:**

Technische Universität Ilmenau  
Fakultät für Maschinenbau  
Fachgebiet Lichttechnik

und

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

d

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

ISBN: 978-3-927787-65-0

## Freitag, 6.9.2019      Schulungsvorträge (Lectures)

11:30    **Mittagessen (Lunch)**

13:00    **Eröffnung (Opening)**

13:15    **Wann empfinden wir einen Raum als hell? Größen für die Raumhelligkeit**

Paul W. Schmits, HAWK Hildesheim, Fakultät Gestaltung

14:00    **Licht und Sicht - Neues aus der automobilen Lichttechnik**  
(Light and Vision - News from Automotive Lighting Technology)

Cornelius Neumann, Lichttechnisches Institut, KIT Karlsruhe

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

15:45    **Das neu SI-Kilogramm**

Thomas Fröhlich, TU Ilmenau, Fachgebiet Prozessmesstechnik

16:30    **Neudefinition der SI-Basiseinheit Candela und deren praktische Bedeutung**

(Redefinition of the SI Base Unit Candela and its Practical Meaning)

Johannes Ledig, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig

18:00    **Abendessen (Dinner)**

---

7:30	<b>Frühstück (Breakfast)</b>	
9:00	<b>Enhanced Human Centric Lighting – Individuell automatisierte Lichtlösungen mittels eines tragbaren Lichtdosimeters</b> (Enhanced Human Centric Lighting - Individual Automated Lighting Condition by Means of a Wearable Light Dosimeter) Frederic Rudawski, Martine Knoop, TU Berlin	
9:15	<b>Zusammenhang zwischen der saisonalen Lichtexposition auf die Schläfrigkeit von Frühschichtarbeitern</b> (Relationship between Seasonal Light Exposition and Sleepiness of Early Shift Workers) William Truong, Pracht Institute of Technology GmbH Dautphetal-Buchenau; Tran Quoc Khanh, TU Darmstadt	8 9
9:30	<b>Evaluierung der Auswirkungen von klein- und großflächigen Leuchten auf die Melatoninsuppression als Maß für nicht-visuelle Wirkungen von Licht</b> (Evaluation of the impact of small- and large-scale light sources on the melatonin suppression as a measure for non-image-forming effects) Laura Thelen, Kai Broszio, Philipp Novotny, Herbert Plischke, Stephan Völker, TU Berlin	10 11
9:45	<b>Aufbau eines Versuchsraums für Probandenversuche im Bereich NIF und dessen lichttechnische Charakterisierung</b> (Conversion of a Test Room for Human Subject Studies in the Field of Non-Image-Forming Effects and its Photometric Characterization) Frithjof Barkholdt, Kai Broszio, Stephan Völker, TU Berlin	12 13
10:00	<b>Finde den NIF-Supersitzplatz</b> (Find the NIF-Super Seat) Nadine Eichbrett, Kai Broszio, Stephan Völker, TU Berlin	14 15
10:15	<b>Kann eine Richtungsabhängigkeit nicht-visueller Wirkungen von Licht während des Tags mittels psychologischer Tests gezeigt werden?</b> (Can a Directional Dependence of Non-Image-Forming Effects of Light During Daytime be Demonstrated by Psychological Tests?) Kai Broszio, Martine Knoop, Stephan Völker, TU Berlin	16 17
10:30	<b>Research on the Electrical Parameters of Modern LED Street Luminaire</b> Orlin Lyubomirov Petrov, University of Ruse (BG)	19

10:30	<b>Präsentation aller Poster (Poster Presentations)</b>	
10:30	<b>Untersuchung der Eignung von high-power-LEDs für den Einsatz als Strahlungsquellen für das Gonioreflektometer der PTB</b> (Investigation of the Suitability of High-Power LEDs for the Use as Radiation Source for PTB's Gonioreflectometer) Irina Santourian, Sven Teichert, Kai-Olaf Hauer, Alfred Schirmacher, PTB Braunschweig	20 21
10:35	<b>LED-Beleuchtung in der Pferdehaltung. Horse Centric Lighting</b> (LED-Lighting in Horse Husbandry. Horse Centric Lighting.) Thomas Jost, Serge Stephan, Martin C. Stäcker, NORKA Automation Dörverden/Hülsen	22 23
10:45	<b>Kaffeepause und Posterbesichtigung (Coffee Break)</b>	
11:30	<b>Influence of the Light Distribution of Luminaires and the Reflectance of Room Surfaces on the Illumination Levels, Uniformity and Glare in Indoor Lighting Systems</b> Iva Petrinska, Dilyan Ivanov, Valchan Georgiev, TU Sofia, Bulgarien	25
11:45	<b>Photo Biological Risk from the Spectral Emission of Human Centric LED Luminaires – Case Study</b> Kamelia Nikolova, Iva Petrinska, Dilyan Ivanov, Dimitar Pavlov, TU Sofia, Bulgarien	27
12:00	<b>Einfluss von Betriebstemperatur und -strom auf die Alterung der elektrischen Größen von weißen SiC und GaN High Power LEDs</b> (Influence of Operating Current and Ambient Temperature on Electric Ageing Behaviour of SiC and GaN High Power LEDs) Benjamin Weigt, Hochschule Hannover	28 29
12:15	<b>Lighting Installations and Practices - the Difference between Design and Implementation</b> Valchan Georgiev, Iva Petrinska, Dilyan Ivanov, TU Sofia, Bulgarien	31
12:30	<b>Mittagspause (Lunch Break)</b>	
14:15	<b>Rückwärtsschnitt zur geometrischen Kalibrierung einer kamerabasierten Goniometermesstechnik für hochauflösende Lichtstärkeverteilungen</b> (Geometric Calibration of a Camera-Based Goniophotometer Measurement System for High-Resolution Luminous Intensity Distributions Using Spatial Resection) Jan Feßler, Markus Katona, Klaus Trampert, Cornelius Neumann, KIT Karlsruhe.	32 33
14:30	<b>Systemanalyse eines bildgebenden LVK Messsystems mittels Monte Carlo Simulation</b> (System Analysis of an Imaging LVK Measuring System Using Monte Carlo Simulation) Markus Katona, Klaus Trampert, Cornelius Neumann, KIT Karlsruhe Christian Schwanengel, TechnoTeam Bildverarbeitung Ilmenau	34 35

14:45	<b>Analyse von Digitalkameras im Infrarotbereich für die 3D-Rekonstruktion von Personen</b> (Analysis of Digital Cameras in the Infrared Range for 3D Human Body Reconstruction)	36 37
	Marina Leontopoulos, TU Berlin	
15:00	<b>Entwicklung eines Farbkalibrierungssystems für ein Mehrkameranensystem zur 3D Rekonstruktion von Personen</b> (Development of a Color Calibration System for a 3D Human Body Reconstruction Multi-Camera System)	38 39
	Silke Müller, TU Berlin	
15:15	<b>Einfluss von Tuben zur Abschirmung von Streulicht bei photometrischen Messungen</b> (Influence of Tubes for Stray Light Shielding in Photometric Measurements)	40 41
	Laura Kallenbach, Thorsten Gerloff, Johannes Ledig, PTB Braunschweig	
15:30	<b>Sensor Array zur Analyse der Beleuchtungssituation in einer intelligenten Industriehalle</b> (Sensor Array for the Analysis of the Lighting Situation in an Intelligent Industrial Hall)	42 43
	Simon Benkner, Tran Quoc Khanh, TU Darmstadt	
15:45	<b>Kaffeepause (Coffee Break)</b>	
16:15	<b>Harmonic Distortions from LED Lighting in Industrial Buildings</b>	44 45
	Orlin Lyubomirov Petrov, Angel Musev, University of Ruse (BG)	
16:30	<b>Auswirkung von spektral moduliertem Licht auf die Photosynthese von Pflanzen</b> (Effect of Spectrally Modulated Light on Photosynthesis of Plants)	46 47
	Jens Balasus, Tran Quoc Khanh, TU Darmstadt	
16:45	<b>Methode zur Messung des Einflusses von Lichtimpulsen auf die visuelle Leistungsfähigkeit</b> (Method for Measuring the Influence of Light Stimuli on Visual Performance)	48 49
	Melanie Helmer, Cornelius Neumann, KIT Karlsruhe	
17:00	<b>Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Wahrnehmung von LEDs</b> (Development of an Robustness-Index for the Perception of LEDs)	50 51
	Nicole Stubenrauch, Christoph Schierz, TU Ilmenau	
17:15	<b>Optimierung der visuellen Erkennbarkeit von Fußgängern auf Basis vernetzter Infrastruktur</b> (Optimizing the Visual Recognition of Pedestrians Based on Networked Infrastructure)	52 53
	Marwin Barsch, Cornelius Neumann, KIT Karlsruhe	
17:30	<b>Lighting of Ski Slopes</b>	55
	Dimitar Pavlov, Kamelia Nikolova, Dilyan Ivanov, TU Sofia, Bulgarien	
18:00	<b>Abendessen (Dinner)</b>	

8:00	<b>Frühstück (Breakfast)</b>	
9:00	<b>Dimmung des Scheinwerferlichts für zukünftige Elektrofahrzeuge</b> (Dimming of Headlamps for Future Electric Cars)	56 59
	Pascal Janke, Aniella Thoma, Jürgen Locher, L-LAB Lippstadt, Torsten Bertram, TU Dortmund	
9:15	<b>Anwendung von Projektionstechniken im automobilen Interieurbereich</b> (Application of Projector Techniques in the Automotive Interior)	58 59
	Maximilian Baumann, Melanie Helmer, Cornelius Neumann, KIT Karlsruhe	
9:30	<b>Reflexionsverhalten von Interieur-Materialien im Kraftfahrzeug</b> (Reflection Behaviour of Materials in the Automotive Interior)	60 61
	Markus Schöneich, Daimler AG Sindelfingen; Roland Lachmayer, Leibniz Universität Hannover; Cornelius Neumann, KIT Karlsruhe	
9:45	<b>Laserscheinwerfer im Automobil – Scannendes Lasersystem mit eindimensionalem Facettenreflektor</b> (Laser Headlamps for Automotive Applications – Scanning Laser System Using a One-Dimensional Facetted Reflector)	62 63
	Jan Müller, KIT Karlsruhe; Marcel Bursy, L-LAB Lippstadt Jörg Wallaschek, Leibniz Universität Hannover	
10:00	<b>Hochauflösende scannende Laserscheinwerfer mit akustooptischen Deflektoren und optimiertem Optikdesign</b> (High-Resolution Laser Scanning Headlamps with Acousto-Optic Deflectors and Optimized Optics Design)	64 65
	Aysenur Alp, Marcel Bursy, L-LAB, Lippstadt Jörg Wallaschek, Leibniz Universität Hannover	
10:15	<b>Kaffeepause (Coffee Break)</b>	
11:00	<b>Simulation und Design mikrostrukturierter Linsen für automobiler Scheinwerfer</b> (Simulation and Design of Microstructured Lenses Used in Automotive Headlamps)	66 67
	Dennis Zimmermann, Hella Lippstadt; Cornelius Naumann, KIT Karlsruhe	
11:15	<b>Lichttechnische Eignungsprüfung von Retrofit-LEDs als Ersatz für Halogen-glühlampen in Kfz-Scheinwerfern</b> (Photometric Suitability Testing of Retrofit LEDs as a Replacement for Halogen Bulbs in Vehicle Headlamps)	68 69
	Anil Erkan, Jonas Kobbert, Kyriakos Kosmas, Tran Quoc Khanh, TU Darmstadt	
11:30	<b>Dynamisch RGB beleuchtetes EDAG Fahrzeugherstelleremblem</b> (Dynamic RGB Illuminated EDAG Vehicle Manufacturer Emblem)	70 71
	Jannes Buthmann, EDAG Wolfsburg	
11:45	<b>Projektionen mit einem scannenden RGB-Laserscheinwerfer</b> (Projections by a Scanning RGB Laser Headlamp)	72 73
	Roman Danov, Volkswagen Konzernforschung Wolfsburg Eugen Thiessen, Volkswagen Osnabrück	

## **Zusammenhang zwischen der saisonalen Lichtexposition auf die Schläfrigkeit von Frühschichtarbeitern**

*William Truong<sup>1 2</sup> w.truong@pracht.com  
Prof. Tran Quoc Khanh<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> PIT – PRACHT INSTITUTE OF TECHNOLOGY GmbH, Dautphetal-Buchenau

<sup>2</sup> TU Darmstadt Fachgebiet Lichttechnik, Darmstadt

In der heutigen Gesellschaft hat sich das Schichtsystem in der Industrie etabliert. In 2017 leisteten in Deutschland nach Eurostat 15,3% der Erwerbstätigen Schichtarbeit (ca. 6,2 Mio), dessen Großteil in der Frühschicht eingeteilt ist. In der deutschen Lichtindustrie wird das „Human-Centric-Lighting“ (HCL) mit tunable-white Lösungen mit Farbtemperaturänderungen und Helligkeitsänderungen propagiert. Das auf Menschen maßgeschneiderte Licht soll für besseres Wohlbefinden der Arbeiter sorgen. Das Kunstlicht steht hierbei jederzeit in Konkurrenz mit natürlichen saisonal abhängigen Tageslicht der Sonne. Demnach soll in einer Frühschicht ohne eine Beleuchtung nach dem HCL-Konzept ein saisonal abhängiges Wohlbefinden aufzeigen.

In der hier vorgestellten Feld-Studie wird der Zusammenhang der Schläfrigkeit und der Jahreszeit in einer gewöhnlichen Frühschicht mit einer aktuellen statischen üblichen Beleuchtungsanlage untersucht. Zur Untersuchung der saisonalen Lichtwirkung dienen als Eingangsgrößen dienen die Zeiten der Lichtexposition der Arbeiter. Eine Ausgangsgröße für das Wohlbefinden bietet die Schläfrigkeit der Arbeiter während der Arbeitszeit dar, die mit dem weit verbreiteten „Karolinka Sleepiness Scale“ (KSS) aufgenommen wird.

Das Ergebnis dieser Studie soll den saisonalen Zusammenhang zwischen Lichtexposition und der Schläfrigkeit bei Frühschicht aufzeigen. Zukünftig ist eine nach dem HCL konzipierte dynamische Beleuchtungsanlage geplant, um die HCL-Lichtwirkung auf das Wohlbefinden und Schläfrigkeit zu untersuchen.



# Relationship between Seasonal Light Exposition and Sleepiness of Early Shift Workers

*William Truong<sup>1 2</sup> w.truong@pracht.com  
Prof. Tran Quoc Khanh<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> PIT – PRACHT INSTITUTE OF TECHNOLOGY GmbH, Dautphetal-Buchenau

<sup>2</sup> TU Darmstadt Fachgebiet Lichttechnik, Darmstadt

In today's society, the shift system has become established in industry. In 2017, according to Eurostat, 15.3% of the working population in Germany are working in shiftwork (about 6.2 million). The majority of them are early shift workers. The current trend in the German lighting industry is called "Human-Centric-Lighting" (HCL) using tunable-white lighting solutions with adaptive color temperature and adaptive brightness to improve the well-being of the people. The artificial light is always competing with the natural seasonal dependent daylight of the sun. Therefore in a morning shift without the HCL lighting concept, a seasonal dependent well-being should be identified.

In the presented field study, the relationship between sleepiness and the season is examined in an ordinary morning shift using a current standard static lighting system. For the investigation of the seasonal light effects the times of light exposure of the workers serve as input variables. A measure of well-being is provided by the sleepiness of workers during working hours using the widely-used "Karolinka Sleepiness Scale" (KSS).

The result of this study should indicate the seasonal relationship between light exposure and sleepiness in the morning shift. In the future, a HCL-designed dynamic lighting system is planned to study the effect of HCL on well-being and sleepiness.

# **Evaluierung der Auswirkungen von klein- und großflächigen Leuchten auf die Melatoninsuppression als Maß für nicht-visuelle Wirkungen von Licht**

*Laura Thelen, Kai Broszio, Philipp Novotny, Herbert Plischke, Stephan Völker  
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik  
thelen@campus.tu-berlin.de*

Seit der Entdeckung des selbst photosensitiven retinalen Ganglienzellen-Rezeptors (eng. intrinsically photosensitive retinal ganglion cell (ipRGC)) gilt dem Forschungsgebiet nicht-visuelle (eng. non-image-forming, NIF) Wirkung von Licht neue Aufmerksamkeit. Nicht-visuell bedeutet, dass ein Fehlen des ipRGC-Rezeptors keine Auswirkung auf das Sehen des Menschen hätte. Jedoch beeinflussen die Signale dieses Rezeptors den circadianen Rhythmus des Menschen. Unter circadianem Rhythmus versteht man beispielsweise die tageszeitabhängige Hormonproduktion, den Schlaf-Wach-Rhythmen und weitere biologische und kognitive Funktionen des Menschen.

Der ipRGC-Rezeptor enthält das Photopigment Melanopsin. Wird der Rezeptor mit einem spezifischen Spektrum angeregt, so kann nachts die Ausschüttung des Hormons Melatonin durch die Epiphyse gehemmt werden. Melatonin wird zunehmend im Laufe der Abendstunden und während der Nacht ausgeschüttet. Menschen in industrialisierten Gesellschaften verbringen ca. 90 % der Zeit in Innenräumen bei relativ niedrigen Beleuchtungsstärken am Auge, verglichen mit üblichen Bedingungen im Freien unter Tageslicht. Mit einer entsprechend angepassten Innenraumbeleuchtung kann der circadiane Rhythmus der Nutzer unterstützt werden.

Ganglienzellen treten in Verbindung mit den Stäbchen und Zapfen auf. Die photosensitive Variante (ipRGC) entspricht weniger als 5% aller Ganglienzellen und ist über nahezu die gesamte Netzhaut des menschlichen Auges verteilt. Insofern gibt es die Vermutung, dass ein Zusammenhang zwischen der Größe der leuchtenden Fläche (entsprechend der Abbildung auf der Netzhaut) und der NIF-Wirkung bestehen könnte. In der Praxis der Lichtplanung könnten somit Leuchten bzw. Konzepte geplant und gezielt eingesetzt werden, die diesen Zusammenhang berücksichtigen und entsprechend der gewünschten Wirkung nutzen.

Zur Untersuchung des Einflusses der Größe der Lichtquelle auf die Melatoninunterdrückung wurde im Jahr 2013 von Novotny et al. eine Probandenstudie mit 30 Versuchsteilnehmern durchgeführt deren Ergebnisse noch unveröffentlicht sind. Diese wurden mit zwei unterschiedlich großen Flächen bei gleicher Beleuchtungsstärke am Auge beleuchtet, um zu erforschen ob die Melatoninunterdrückung flächenabhängig ist. Der Melatoninspiegel wurde mittels Salivaproben untersucht. Bereits 2010 führte Novotny et al. eine entsprechende Probandenstudie mit 6 Versuchsteilnehmern durch. Die Auswertung der damaligen Studiendaten ergaben einen Trend, dass eine große Fläche die Melatoninausschüttung unter den verwendeten Versuchsbedingungen mehr unterdrücken könnte.

Dieser Beitrag stellt einen Ausschnitt der ermittelten Ergebnisse von Novotnys zweiter Studie vor, analysiert diese und berücksichtigt zusätzliche Faktoren wie, z.B. den Einfallswinkel des Lichts in die Augen des Betrachters. Zur Charakterisierung der Lichtbedingungen und Beschreibung des Stimulus für NIF-Effekte wurde der Aufbau von Novotnys Studie in einem LED-Testraum der TU Berlin rekonstruiert. Hierbei soll eine fundierte Aussage über die Wirkung unterschiedlich großer Flächen getroffen werden.

# **Evaluation of the impact of small- and large-scale light sources on the melatonin suppression as a measure for non-image-forming effects**

*Laura Thelen, Kai Broszio, Philipp Novotny, Herbert Plischke, Stephan Völker*  
*Technische Universität Berlin, Lighting Technology*  
*thelen@campus.tu-berlin.de*

Since the discovery of the ipRGC receptors, the research interest in non-image-forming effects has massively increased. Non-image forming (NIF) means that a lack of the ipRGC receptor would have no impact on the vision of the human but on the circadian rhythm. The term circadian rhythm refers to time dependence of hormone production, sleep-wake-cycle and other biological and cognitive human functions.

The ipRGC receptor contains the photopigment melanopsin. If the receptor is stimulated at night with a specific spectrum, the release of the hormone melatonin by the epiphysis can be inhibited. Melatonin is increasingly released during the evening hours and during the night. People in modern societies spend about 90% of their time indoors at relatively low illuminance levels at the eye, compared with normal outdoor conditions in daylight. The circadian rhythm of these users can be supported by appropriately adapted interior lighting.

Ganglion cells occur in conjunction with the rods and cones. The photosensitive variant (ipRGC) corresponds to less than 5% of all ganglion cells and is distributed over almost the entire retina of the human eye. In this respect, there is a suspicion that there could be a connection between the size of the luminous surface (and its reproduction on the retina) and the NIF effect. In lighting design, luminaires or concepts could be planned and specifically used that take this relationship into account and use it in accordance with the desired effect.

To research the impact of the size of a light source on the melatonin suppression, Novotny et al. performed a study with 30 test subjects in 2013. The data and its evaluation is up to now unpublished. Those were illuminated by two light sources differing in their size to assess whether the melatonin suppression is dependent on the covered solid angle. The melatonin level was determined by saliva samples.

Already in 2010 Novotny et al. performed the similar study with six test subjects. The evaluation shows a trend that a larger light source surface decreased the melatonin release more efficiently than a smaller lit surface. In 2013 the same study with more test subjects was repeated to prove the result of the study in 2010.

This article presents an extract of the data of Novotnys latest study and its evaluation, analyses it and considers additional factors such as the angle of incidence of the radiation on the human eye. To characterize the light condition and for the description of the stimulus for non-image-forming effects the set-up of Novotnys study had been reconstructed in the LED test room of the TU Berlin. In doing so, a profound statement about the impact of the different sizes shall be made.

# **Umbau eines Versuchsraums für Probandenversuche im Bereich NIF und dessen lichttechnische Charakterisierung**

*Frithjof Barkholdt, Kai Broszio, Stephan Völker  
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik  
frithjof.barkholdt@gmx.de*

Die nicht-visuellen Lichtwirkungen (eng. non-image-forming, NIF) bilden ein weites Forschungsfeld, welches in der modernen Gesellschaft aufgrund der langen Aufenthalts-dauern in Innenräumen, zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die Abhängigkeit dieser Effekte von dem dominanten Einfallswinkel des Lichtes auf das menschliche Auge ist ein Forschungsschwerpunkt am Fachgebiet Lichttechnik der TU Berlin. Ziel dieser Arbeit ist es, einen bereits vorhandenen Versuchsraum baulich für einen Probandenversuch im Bereich NIF vorzubereiten und lichttechnisch klar nach den relevanten Normen (bspw. CIE S026 und DIN SPEC 5031-100) und über deren Anforderungen hinausgehend zu charakterisieren.

In dem Versuch sollen zwei Lichtszenen gezeigt werden, die bei fester Blickrichtung die Augen der Probanden aus zwei unterschiedlichen Regionen beleuchten. Dabei soll eine jeweilige vertikale Beleuchtungsstärke von 1000 Lux am Auge erreicht werden. Das Spektrum soll einer typischen Bürosituation entsprechen, dabei eine hohe melanopisch-gewichtete Bestrahlungsstärke besitzen, und in beiden Lichtsituation gleich sein.

Realisiert wird dies mit insgesamt 12 LED-Paneelen mit jeweils 3 unterschiedlichen LED-Gruppen (kaltweiß, warmweiß, blau). Die Anordnung im Raum wird mittels einer DIALux-Simulation im Vorfeld ermittelt und anschließend umgesetzt.

Für die Messung der lichttechnischen Eigenschaften wird zunächst mittels eines Spektroradiometers das mit  $V(\lambda)$  bewertete Spektrum am Probandensitzplatz aufgenommen. Dabei wird zugleich verifiziert, dass eine Beleuchtungsstärke von 1000 Lux in beiden Lichtsituationen erreicht wird. Anschließend wird ein Leuchtdichtebild, sowie Strahldichteaufnahmen melanopisch- und  $V'(\lambda)$ -gewichtet, des Raumes erstellt, um eine genaue Dokumentation der Lichtsituation zu ermöglichen. Ergänzt werden diese durch Spotmessungen mit dem Spektroradiometer in aussagekräftigen Raumrichtungen.

Zur Sicherstellung der zeitlichen Stabilität werden die Messungen wiederholt über eine längere Einschaltphase der LED-Paneele durchgeführt.

# Conversion of a Test Room for Human Subject Studies in the Field of Non-Image-Forming Effects and its Photometric Characterization

*Frithjof Barkholdt, Kai Broszio, Stephan Völker*  
*Technische Universität Berlin, Lighting Technology*  
*frithjof.barkholdt@gmx.de*

The non-image-forming (NIF) effects of light form a broad field of research, which is becoming increasingly important due to the long periods of time spent indoors in modern society. The dependence of these effects on the dominant angle of incidence of light on the human eye is a research focus at the Department of Light Technology at the TU Berlin. The aim of this work is to prepare an already existing test room for a human subject study on acute alertness and to characterize the lighting scenes clearly according to the relevant standards (e.g. CIE S026 and DIN SPEC 5031-100) and even beyond their requirements.

In the experiment, two lighting scenes are to be shown which illuminate the eyes of the test persons from two different regions while maintaining the same gaze direction. The aim is to achieve a vertical illuminance of 1000 lux at the eye. The spectrum should correspond to a typical office situation, have a high melanopic-weighted irradiance and be the same in both lighting scenes.

This is achieved with a total of 12 LED panels, each with 3 different LED groups (cold white, warm white, blue). The arrangement in the room is determined beforehand using a DIALux simulation and then implemented.

To measure the photometric properties, a spectroradiometer is first used to record the  $V(\lambda)$  rated spectrum at eye level for a person sitting in the test seat. This also verifies that an illuminance of 1000 lux is achieved in both light situations. Subsequently, a luminance image and spatially resolved radiance measurements of the room, melanopic- and  $V'(\lambda)$ -weighted, are created in order to enable precise documentation of the lighting situation. These are supplemented by spot measurements with the spectroradiometer in meaningful spatial directions.

To ensure repeatability and temporal stability, the measurements are repeated over a longer switch-on phase of the LED panels.

## Finde den NIF- Supersitzplatz

*Nadine Eichbrett, Kai Broszio, Stephan Völker*  
*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*  
*nadine.s.eichbrett@campus.tu-berlin.de*

Jeder Studierende wird im Laufe seines Studierendendaseins mehrfach vor die Entscheidung gestellt „Wo setze ich mich im Hörsaal am besten hin?“.

Wenn man davon ausgeht, dass der Studierende die Absicht hat der Vorlesung möglichst aufmerksam und wachsam zu folgen, sollte er sich bei der Entscheidungsfindung mit NIF-Effekten von Licht (eng. non-image-forming effects; NIF) auseinandersetzen.

Es gibt viele Parameter die einen Einfluss auf NIF- Effekte haben. Zum einen die vorherrschende Lichtsituation zum anderen der Faktor Mensch. Die Lichtsituation wird durch die spektrale und räumliche Verteilung des Lichts, den Zeitpunkt der Beleuchtung, Richtung der Lichteinstrahlung sowie die horizontale Beleuchtungsstärke und die vertikale Beleuchtungsstärke am Auge.

Beim Menschen spielt z.B. das Alter, der individuelle Chronotyp, der Zeitpunkt der Lichtexposition im Hinblick auf zirkadiane Änderungen sowie die Lichthistorie eine Rolle.

Die für NIF- Effekte hauptverantwortlichen intrinsisch photosensitiven retinalen Ganglienzellen sind besonders für blaues Licht empfindlich. Das für sie festgelegte Aktionsspektrum wird als melanopisches Wirkungsspektrum ( $s_{mel}(\lambda)$ ) bezeichnet.

Forschungen ergaben, dass hohe Beleuchtungsstärken und hohe ähnlichste Farbtemperaturen einen positiven Effekt auf nicht visuelle Wirkungen haben.

Weitere Forschungen gaben Hinweise darauf, dass die Sensitivität der ipRGCs von deren Lage auf der Netzhaut abhängt, wobei sie im unteren Teil der Netzhaut eine höhere Empfindlichkeit aufweisen. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass auch Zapfen und Stäbchen einen Einfluss auf NIF-Effekte haben.

Auf Grundlage dieser Forschungsergebnisse werden räumlich und spektral aufgelöste Messungen vorgenommen, bei denen die horizontale Beleuchtungsstärke auf der Nutzfläche, die vertikale Beleuchtungsstärke sowie das Spektrum am Auge gemessen werden. Außerdem werden Leuchtdichteaufnahmen mit speziellen Filtern ( $V(\lambda)$ ,  $V'(\lambda)$ ,  $s_{mel}(\lambda)$ ) in Blickrichtung gemacht.

Anhand dieser Messungen werden für einen Hörsaal an der TU Berlin, der mit einer speziellen Beleuchtungsanlage ausgestattet ist, verschiedene Lichtszenen lichttechnisch charakterisiert und es soll ermittelt werden ob die Wahl des Sitzplatzes unter der Berücksichtigung der Lichteinfallrichtung und möglicher empfindlicher Regionen der Netzhaut einen Einfluss auf den Stimulus für NIF-Effekte hat.

## Find the NIF- Super Seat

*Nadine Eichbrett, Kai Broszio, Stephan Völker*  
*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*  
*nadine.s.eichbrett@campus.tu-berlin.de*

In the course of his student life, every student wonders several times "Where do I sit in the lecture hall best?".

Assuming that the student intends to follow the lecture as attentively and vigilant as possible, he should deal with non- image forming (NIF) effects of light in the decision-making process.

There are many parameters that affect NIF effects. On the one hand the prevailing light situation and on the other the human factor.

The light situation is determined by the spectral and spatial distribution of light, length and temporal distribution of light stimuli, the direction of the irradiation as well as the horizontal illuminance and the vertical illuminance at eye level.

In humans, for example, age, individual chronotype, timing of light exposure for circadian changes, and light history.

The intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs), which are mainly responsible for NIF-effects, are particularly sensitive to blue light. The action spectrum defined for the ipRGCs is called the melanopic action spectrum ( $s_{mel}(\lambda)$ ).

Research has shown that high illuminance and high correlated color temperatures have a positive effect on non-visual effects. Further research has suggested that the sensitivity of ipRGCs depends on their location on the retina, with higher sensitivity in the lower part of the retina. Furthermore, it is assumed that rods and cones also have an influence on NIF effects.

Based on these research results, spatially and spectrally resolved measurements are taken, which measure the horizontal illuminance, the vertical illuminance at eye level and the spectrum at eye level. In addition, luminance images in viewing direction are taken with a luminance camera, which has a filter wheel with photometric filters ( $V(\lambda)$  and  $V'(\lambda)$ ) and a melanopic filter ( $s_{mel}(\lambda)$ ).

Based on these measurements, different light scenes are characterized for a lecture hall at Technische Universität Berlin. This lecture hall is equipped with a special lighting system. It is to be determined whether the choice of the seating, taking into account the direction of light and possible sensitive regions of the retina, affect the stimulus for NIF effects.

# **Kann eine Richtungsabhängigkeit nicht-visueller Wirkungen von Licht während des Tags mittels psychologischer Tests gezeigt werden?**

*Kai Broszio, Martine Knoop, Stephan Völker  
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik  
kai.broszio@tu-berlin.de*

Nicht-visuelle Effekte des Lichts (englisch: non-image-forming, NIF), die durch intrinsisch photosensitive Retinale Ganglienzellen (englisch: intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cell, ipRGC), werden auch als ipRGC-beeinflusste Lichtwirkungen (englisch: ipRGC-influenced light effects, IIL) und sind ein stark wachsendes Interessengebiet in Forschung und Industrie. Unter diesem Begriff werden viele unterschiedliche Auswirkungen des Lichts auf die menschliche Physiologie (z.B. Melatoninsuppression, Körperkerntemperatur, Schlaf-Wach-Phasenverschiebung, etc.) und Psychologie (z.B. Subjektive Wachheit, Saisonal Abhängige Depression, etc.) verstanden. Ihre Ausprägung wird durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Bisher lag der Fokus der Forschung auf der Untersuchung der Beleuchtungsstärke am Auge, der spektralen Verteilung, der Lichthistorie, der Dauer und des Zeitpunkts der Lichtexposition. Ein relativ gut untersuchter Zusammenhang besteht zwischen der Lichtexposition und dem zeitlichen Konzentrationsverlaufs des nur während der Nacht vorhandenen Hormons Melatonin. Einige Studien zeigten, dass die Stärke der Melatoninsuppression während der Nacht von der Lichteinfallrichtung beeinflusst wird. Licht aus dem oberen Gesichtsfeld, das auf die untere Netzhauthälfte fällt, und Licht aus dem seitlichen Gesichtsfeld, das auf die nasenseitige Netzhaut fällt, führte zu einer stärkeren Melatoninsuppression. Der Einfluss der Lichteinfallrichtung auf andere NIF-Effekte während der Nacht, wie z.B. Phasenverschiebung, Körperkerntemperatur und subjektive Schläfrigkeit, wurde bisher nur von einzelnen Studien untersucht. Ob und in wie weit ein Einfluss der Lichteinfallrichtung am Tag ebenfalls besteht, ist bisher nicht bekannt.

Ziel dieser Arbeit ist zu untersuchen, ob die Übertragbarkeit, der für die Nacht gefundenen Richtungsabhängigkeit auf NIF-Effekte am Tag möglich ist. Zur Untersuchung der Übertragbarkeit muss zunächst ein geeigneter NIF-Effekt gewählt werden, der unabhängig von der Tageszeit anwendbar ist. Ist damit die Richtungsabhängigkeit während der Nacht nachweisbar, kann der Versuch auf den Tag übertragen werden, um eine mögliche Richtungsabhängigkeit auch dort zu finden. Hier wurde die akute Aufmerksamkeit gewählt und durch einen psychologischen Test (Karolinska Sleepiness Scale, KSS) und durch physiologische Tests (Audioreaktionszeit und NoGo-Test) operationalisiert.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Probandenstudie – 2x2 wiederholte Messungen – durchgeführt. Die Durchführung fand für jeden Teilnehmer zweimal um 23 Uhr und zweimal um 10 Uhr im Abstand je einer Woche statt. Die Probanden (N=38, w=15) mussten bei jedem Termin für 30 min in eine homogen ausgeleuchtete Halbkugel schauen und trugen eine Brille mit verdeckter oberer oder unterer Gesichtsfeldhälfte. Die Beleuchtungsstärke am Auge betrug 2000 lx (bzw. 1000 lx bei aufgesetzter Brille), mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von ca. 6450 K und einem Farbwiedergabeindex größer 80. Es wurde das wiederholte Messungen Design gewählt und als randomisiert gegenbalancierte Cross-over-Studie durchgeführt. Die vorläufigen Ergebnisse dieser, sowie einer Vorstudie mit Bedingungen eines realeren Büroumfelds, werden im Vortrag vorgestellt.



# Can a Directional Dependence of Non-Image-Forming Effects of Light During Daytime be Demonstrated by Psychological Tests?

*Kai Broszio, Martine Knoop, Stephan Völker*  
*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*  
*kai.broszio@tu-berlin.de*

Non-visual effects of light (non-image-forming, NIF) are a rapidly growing field of interest in research and industry. This term refers to many different effects of light on human physiology (e.g. melatonin suppression, body core temperature, sleep-wake phase shift, etc.) and psychology (e.g. subjective alertness, seasonal depression, etc.). Their expression is influenced by a variety of parameters. So far, the focus of research has been on the investigation of illuminance at the eye, spectral distribution, light history, duration and timing of light exposure. A relatively well studied relationship exists between light exposure and the temporal concentration of the hormone melatonin. Some studies have shown that the strength of melatonin suppression during the night is also influenced by the direction of incidence of light. Light from the upper visual field falling on the lower retinal half and light from the lateral visual field falling on the nasal retina led to stronger melatonin suppression. The influence of the direction of light incidence on other NIF effects during the night, such as phase shift, body core temperature and subjective sleepiness, has only been investigated by individual studies. Whether and to what extent there is also an influence of the direction of light incidence during the day is not yet known.

The aim of this work is to investigate whether the transferability of the directional dependence of NIF effects found for the night to NIF effects during the day is possible. First a suitable test for NIF effects, applicable in day and night and capable of detecting an impact of light incidence must be selected. If the directional dependence can be detected during the night, the experiment can be repeated in daytime. We chose acute alertness which is operationalized by a psychological test (Karolinska Sleepiness Scale, KSS) and by physiological tests (audio reaction time and NoGo test).

In a 2x2 repeated measurements study design each participant had to take part twice in a test at 11 p.m. and twice at 10 a.m., one week apart. The test persons (N=38, w=15) had to gaze into a homogeneously illuminated hemisphere for 30 min at each appointment and wore glasses with covered upper or lower half of the visual field. The illuminance at the eye was 2000 lx (or 1000 lx with glasses on), with a CCT of approx. 6450 K and a CRI greater than 80. It was designed as a repeated measures experiment with a randomized and counterbalanced crossover design. The preliminary results of this and a preliminary study using a more realistic office-like setting will be presented in the conference presentation.



## **Research on the Electrical Parameters of Modern LED Street Luminaire**

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

The report presents the study of the electrical parameters (P, Q, S, cos  $\phi$ , harmonic pollution, etc.) of a modern LED street luminaire.

For the purpose of the study, an LED streetlight luminaire with COB-LED and a glass optical system was selected. The electrical power of the luminaire is 30 watts, the power supply voltage is 220 volts, the driver is on reputable manufacturer.

The luminaire has been studied for a long period of operation for a period of 1 month. To measure the data, a power network analyzer with very good accuracy and the ability to record the measured parameters is used. The report presents the results of the measurement of the LED illuminator and the processing of the received data.

There are made appropriate conclusions from the study.

Keywords: LED street light, LED parameters, electrical parameters of LED.

# Untersuchung der Eignung von high-power-LEDs für den Einsatz als Strahlungsquellen für das Gonioreflektometer der PTB

*Irina Santourian, Sven Teichert, Kai-Olaf Hauer, Dr. Alfred Schirmacher  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig  
irina.santourian@ptb.de*

Die Anwendungsbereiche, in denen Licht emittierende Dioden (LEDs) als Strahlungsquellen Verwendung finden, wachsen stetig. Vor allem ihre hohe Lebensdauer, ihre Effizienz und die verfügbaren hohen Strahlungsleistungen tragen dazu bei. Auch die Erschließung weiterer Spektralbereiche durch den Einsatz und die Herstellung neuer Halbleiterverbindungen machen sie für viele Anwendungen attraktiv. So können sich z.B. UV LEDs auf der Basis von AlGaN, AlN oder InGaN zunehmend als alternative Strahlungsquellen gegenüber konventionellen UV-Strahlern behaupten.

Aufgrund dieser Vorzüge von LEDs als Strahlungsquellen soll untersucht werden, inwieweit sich diese als (ergänzende) Strahlungsquellen für das bestehende roboterbasierte Gonioreflektometer der PTB eignen.

Das Gonioreflektometer dient zur Bestimmung des absoluten spektralen Strahldichtefaktors  $\beta(\lambda)$  in vielfältigen bidirektionalen Messgeometrien. Die Erzeugung eines homogenen unpolarisierten Messstrahls erfolgt mittels eines speziell entwickelten Kugelstrahlers, der eine 400 W Wolframhalogenlampe als Strahlungsquelle enthält. Dieser auf einem Drehkranz um die Probe schwenkbare Kugelstrahler sowie ein fünfschiger Roboter zur Probenmanipulation im Zentrum der Apparatur ermöglichen bei fester Detektionsrichtung Messungen der Reflexionseigenschaften diffus reflektierender Materialien mit nahezu beliebigen Bestrahlungs- und Detektionswinkeln relativ zur Oberflächennormalen der Probe. [1]

Es wurde ein LED-Kugelstrahler basierend auf dem Prinzip des aktuell verwendeten Kugelstrahlers konstruiert. Dieser neue Strahler behält die Vorzüge des existierenden Systems bei, verbessert jedoch die zur Verfügung stehende Strahlungsleistung im kurzwelligen Spektralbereich. Dazu wurde exemplarisch eine Kombination von käuflich erhältlichen high power LEDs für den Wellenlängenbereich von 350 nm bis 450 nm verwendet.

Da bei goniometrischen Messungen die zeitliche Stabilität der Strahlungsquelle sowie die Homogenität des Strahlungsfeldes auf der Probenoberfläche von besonderer Bedeutung sind, wurden diese Eigenschaften des LED Kugelstrahler ausgiebig untersucht.

Schlüsselwörter: High power LEDs, Gonioreflektometer, Strahldichtefaktor, Kugelstrahler

[1] D. Hünerhoff, U. Grusemann, und A. Höpe. „New robot-based gonioreflectometer for measuring spectral diffuse reflection“, Metrologia, BIPM and IOP Publishing Ltd, Vol. 43, Nr. 2, S. 1-10, März 2006

## Investigation of the Suitability of High-Power LEDs for the Use as Radiation Source for PTB's Gonioreflectometer

*Irina Santourian, Sven Teichert, Kai-Olaf Hauer, Dr. Alfred Schirmacher  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig  
irina.santourian@ptb.de*

The application areas in which light-emitting diodes (LEDs) are used as radiation sources are growing steadily. Main reasons are their long lifetime, efficiency and the available high radiation power. Also, the increase of accessible spectral ranges through the use and production of new semiconductor compounds make them attractive for many applications. For this reason, UV LEDs based on AlGaIn, AlIn or InGaIn increasingly become alternative radiation sources compared to conventional UV lamps.

Due to these advantages of LEDs, the suitability as (supplementary) radiation sources for the existing robot-based gonioreflectometer at PTB was investigated.

The gonioreflectometer is used to determine the absolute spectral radiance factor  $\beta(\lambda)$  in a variety of bidirectional measurement geometries. The irradiation of a sample with a homogeneous unpolarized measuring beam is carried out by a special integrating sphere radiation source with an internal 400 W tungsten halogen lamp. This sphere radiation source can be swiveled around the sample along a large rotation stage. In combination with a five axis robot for sample manipulation in the center of the apparatus and a fixed detection direction, the setup enables measurements of the reflection properties of diffuse reflecting materials with almost any irradiation and detection angle relative to the surface normal of the specimen. [1]

An LED sphere radiation source was constructed based on the principle of the currently used integrating sphere radiation source. This new source retains the benefits of the existing system and improves the available radiant power in the short wavelength spectral range. For this purpose, a combination of commercially available high power LEDs in the wavelength range from 350 nm to 450 nm was used.

Since the temporal stability of the radiation source and the homogeneity of the radiation field on the sample surface are of great importance for goniometric measurements, especially these properties of the LED sphere radiation source were extensively investigated.

Keywords: High-power LEDs, gonioreflectometer, radiance factor, sphere radiation source

[1] D. Hünerhoff, U. Grusemann, and A. Höpe, "New robot-based gonioreflectometer for measuring spectral diffuse reflection", Metrologia, BIPM and IOP Publishing Ltd, Vol. 43, No. 2, pp. 1-10, March 2006

## **LED-Beleuchtung in der Pferdehaltung. Horse Centric Lighting.**

*Thomas Jost, Serge Stephan, Martin C. Stäcker  
NORKA Automation GmbH Dörverden/Hülsen  
thomas.jost@norka-automation.de  
serge.stephan@norka-automation.de  
martin.staecker@norka-automation.de*

Wie in allen Lebensbereichen werden auch in der Pferdehaltung künstliche Lichtquellen eingesetzt. Die in der Allgemeinbeleuchtung verwendeten weißen Leuchtdioden (LEDs) sind aus Effizienzgründen an die Hellempfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$  des Menschen bei Tag angepasst. Das abgestrahlte Spektrum dieser Lichtquellen stimmt mit dem Sehempfinden der Pferde nicht überein. Im Vergleich zu den Menschaugen sind Pferdeaugen anatomisch anders aufgebaut. Zudem sind Pferde dämmerungs- und nachtaktive Beutetiere, deren Sehvermögen an schlechte Lichtverhältnisse, Dunkelheit und die Wahrnehmung kleinster Unstimmigkeiten sehr gut angepasst ist.

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde der Frage nachgegangen: In wie weit sind die weißen LEDs und die übliche Art der Allgemeinbeleuchtung für den Einsatz in der Pferdehaltung geeignet? Die gesammelten Informationen wurden bewertet und daraus ein Vorschlag zu einer theoretisch möglichen artgerechten Beleuchtung in der Pferdehaltung unter Beachtung der geltenden Normen erstellt.

## **LED-Lighting in Horse Husbandry. Horse Centric Lighting.**

*Thomas Jost, Serge Stephan, Martin C. Stäcker  
NORKA Automation GmbH Dörverden/Hülsen  
thomas.jost@norka-automation.de  
serge.stephan@norka-automation.de  
martin.staecker@norka-automation.de*

Like in all areas of life, artificial lighting is also used in horse husbandry. The white light-emitting diodes (LEDs) used in general lighting are adjusted to the photopic luminosity function  $V(\lambda)$  of the human. The radiated spectrum of thus light sources does not conform with the visual perception of horses. Compared to the human eyes, horse eyes are differently anatomically designed. Moreover horses are crepuscular and nocturnal prey animals, whose vision is very well adapted to the dim light, darkness and the perception of the smallest discrepancies.

As part of a literature review, the question was asked: To what extent are the white LEDs and the usual type of lighting suitable for use in horse husbandry? A proposal for a theoretically possible species-appropriate illumination in horse keeping in compliance with the applicable standards was created.





# **Influence of the Light Distribution of Luminaires and the Reflectance of Room Surfaces on the Illumination Levels, Uniformity and Glare in Indoor Lighting Systems**

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

The increasing use of LED luminaires provides a lot of opportunities for indoor lighting. On one side the use of LED luminaires can lead to significant reduction in the electricity consumption for lighting, on the other side it can be so tuned that it allows human centric lighting. The advantages of LEDs as light sources are indisputable, but they also have some drawbacks, that should be considered. A lot of attention is currently paid to optimization of the light distribution curves of luminaires for indoor lighting. It is very important, but not the only characteristic that should be considered. The real reflective properties of the indoor surfaces also influence to great extend the quality and quantity of indoor lighting.

The current paper aims to make a detailed review of the existing LED luminaires and their efficiency for indoor lighting, based on their light distribution curve and the reflective properties of the surfaces in the room space. Except for the qualitative, also the quantitative properties of the lighting systems are considered in terms of uniformity of the illuminance and glare.

One of the designed solutions is also practically realized and experimentally tested. A comparison between designed and real values of illuminance, uniformity and glare is made. The color rendering of the luminaires for different color temperatures of the luminaires are also measured.



# **Photobiological Risk from the Spectral Emission of Human Centric LED Luminaires – Case Study**

*Kamelia Nikolova, Iva Petrinska, Dilyan Ivanov, Dimitar Pavlov*  
*Technical University of Sofia, Bulgaria*  
*ipetrinska@tu-sofia.bg*

## **Abstract**

People spend most of their time indoors. That is a good reason for implementation Human Centric Lighting solutions in offices. Such solutions can lead to increased productivity and motivation to employees. The spectral composition of light, the timing of the different light scenes and the duration of light exposure play important role for the non-visual effects of light that occur in humans. Moreover, research has shown that these effects may depend on the environment, specifics of the activity, and personal characteristics of people.

The use of LED Luminaires makes the implementation of Human Centric Lighting easy and possible. The LEDs as light sources, however can lead to blue light hazard risk that should be estimated. The human eye is adapted to function in a media of optical radiation that ensures not only vision, but also important physiological functions. The emission of LED luminaires is in wide spectrum, especially in the blue part, and it can be both favorable and harmful. The current paper represents an experimental research of the possibility of blue light hazard in a real human centric lighting system..

Index Terms: Photobiological safety, human centric LED luminaires

Optical Radiation Directive 2006/25/EC, 2007

# **Einfluss von Betriebstemperatur und -strom auf die Alterung der elektrischen Größen von weißen SiC und GaN High Power LEDs**

*Benjamin Weigt, Hochschule Hannover, Fachgebiet: Industrieelektronik und Lichttechnik  
benjamin.weigt@stud.hs-hannover.de*

Die weiße LED ist aus der industriellen und privaten Beleuchtungstechnik nicht mehr wegzudenken und somit spielen die Lebensdauer und die Alterungsmechanismen der LED eine wichtige Rolle für die Beleuchtungsindustrie. Die Anzahl der Alterungsmechanismen ist in den letzten Jahren von 10 auf über 60 gestiegen. Die Messung der einzelnen Alterungsmechanismen ist schwierig, da diese zusammenwirken und die LED nur als gesamtes System gemessen werden kann. Die Alterung der elektrischen Größen sind gegenüber der lichttechnischen Größen einfacher und präziser über die UI Kennlinie messbar und geben Rückschlüsse auf die verschiedenen Alterungsmechanismen Senkung des Photostroms, Erhöhung des Vorwärts-Leckstromes, Erhöhung des Bahnwiderstandes und die Verschiebung der UI Kennlinie im Rekombinationsbereich. Die Messungen eines Dauerversuchs (9000h) zeigen die genannten Alterungen in der UI Kennlinie. Die verwendeten Messobjekte des Dauerversuchs sind 720 High Power LEDs von zwei verschiedenen Herstellern, die jeweils bei drei verschiedenen Strömen (350 mA, 700 mA und 1000 mA) und Temperaturen (55 °C, 85 °C und 95 °C) gealtert wurden. Der jeweilige Hersteller verwendet das Halbleitermaterial SiC oder GaN. Das Ziel ist die Erstellung eines elektrisches Ersatzschaltbild aus dem Alterungsverhalten der Kennlinie.

Die LED ist ein elektronisches Halbleiter-Bauelement, deren Alterung über ihre lichttechnischen Größen Lichtstrom-Degradation und Farbortverschiebung ermittelt und dargestellt wird. Allerdings ändern sich auch die elektrischen Größen der LED mit der Alterung, welche einfacher und genauer messbar durch die Verschiebung der UI Kennlinie sind. Die Fehlertoleranz der elektrischen Messung ist geringer gegenüber der lichttechnischen Messung. Die Kennlinie der LED hat einen exponentiellen Verlauf mit verschiedenen Bereichen, in denen sich die Steigung und der jeweilige Sättigungsstrom ändert. Die Kennlinie unterteilt sich in zwei Hauptbereiche den Durchlass- (erster Quadrant in der IU-Darstellung) und Sperrbereich (dritter Quadrant), wobei der Durchlassbereich in die drei weiteren Bereiche Rekombinations-, Diffusions- und Hochstrombereich unterteilt wird. In diesen Bereichen wirken unterschiedliche Alterungsmechanismen der LED, die separat voneinander betrachtet werden müssen. Die Messungen zeigen eine Korrelation zwischen der Verschiebung des Rekombinationsbereich und der Degradation des Lichtstroms. Bei höheren Betriebsströmen und höheren Umgebungstemperaturen verschiebt sich der Rekombinationsbereich schneller bzw. der Vorwärts-Leckstrom steigt schneller. Außerdem zeigen die Messungen während der Alterung eine Verschiebung im Hochstrombereich, in dem normalerweise der Betriebspunkt der LED liegt. Diese Verschiebung entsteht durch die Erhöhung des Bahnwiderstandes des Halbleitermaterials. Somit steigt die Betriebsspannung bei konstantem Betriebsstrom. Eine weitere Messung ist die Änderung der UI Kennlinie bei gezielter Beleuchtung. Die LED wird in diesem Fall durch den inneren Photoeffekt als Photodiode betrieben und dadurch knickt die Kennlinie im Rekombinationsbereich ab und verläuft durch den vierten Quadranten. Je größer die Beleuchtungsstärke wird, desto mehr verschiebt sich der Verlauf nach unten. Die Messungen zeigen, dass der Verlauf der Kennlinie im Rekombinationsbereich und im vierten Quadranten sich in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und des Betriebsstromes der LED verschieben. Bei höheren Betriebsströmen und höheren Umgebungstemperaturen ist der Photostrom geringer und der Kennlinienverlauf nähert sich dem normalen unbeleuchteten Verlauf an. Des Weiteren zeigen die Messungen den Einfluss des verwendeten Halbleitermaterials SiC oder GaN auf die Alterung der elektrischen Größen.

Aus den verschiedenen Verschiebungen der Kennlinie, den elektrischen Größen und dem verwendeten Halbleitermaterial kann ein elektrisches Ersatzschaltbild der LED erstellt werden, welches die Alterung der LED modelliert.

# Influence of Operating Current and Ambient Temperature on Electric Ageing Behaviour of SiC and GaN High Power LEDs

*Benjamin Weigt, Hochschule Hannover, Fachgebiet: Industrieelektronik und Lichttechnik  
benjamin.weigt@stud.hs-hannover.de*

White LEDs are very important for the industrial and private lighting industry. Therefore, lifetime and different ageing mechanisms of LEDs are also crucial. The number of different ageing mechanisms is rising from ten to over 60. The measurement of single mechanisms is very difficult due to their interaction and the measurement of LEDs as an overall system. The ageing of electrical values are a simpler and more precise measurement in LED characteristic curves than optical values. Measuring the LED characteristic curve shows several ageing mechanisms such as an increase of forward leakage current, a reduction of photocurrent, an increase of bulk resistance and a shift of LED characteristic curves in the recombination area. An experimental setup with a runtime of 9000 h shows these ageing mechanisms in the characteristic curve. The experimental setup includes 720 High Power LEDs from two different manufacturers. The operating points are at three different operating currents (350 mA, 700 mA and 1000 mA) and three different ambient temperatures (55 °C, 85 °C and 95 °C). One manufacturer takes SiC and the other one takes GaN for his semiconductor material. The goal is to create an electrical equivalent circuit diagram as a result of electric ageing behaviour in LED characteristics.

LEDs are electronic semiconductors and their ageing is described by lighting values such as degradation of luminous flux and shift of chromatic coordinates. Also, the change in the electrical values of LEDs during ageing is measured by the LED characteristic curve. The advantage is that they are simpler and more precise measurement than optical measurement because of a lower fault tolerance. An LED characteristic has an exponentially curve with several areas where gradients and saturation currents are changed. These LED characteristics can be grouped in a forward (first quadrant) and a reverse area (third quadrant). The forward area can be grouped in three other areas called recombination area, diffusion area and high current area. In these areas there are several ageing mechanisms that need to be considered alone. The measurements show a correlation between degradation of luminous flux and shift of recombination area. At a high operating current and a high ambient temperature, the recombination area is shifted faster and the forward leakage current increases faster. The measurements also show a shift in the high current area where LEDs normally have their operating point. This area is changed by increasing the bulk resistance. As a result, the forward voltage is also increased by a constant operating current. Another measurement is to illuminate LEDs with a constant illumination. If LEDs are illuminated, they work like a photodiode and generate a photocurrent as a result of the internal photoelectric effect. The LED characteristic curve is changed in the recombination area and will take course whereby the fourth quadrant. A higher photocurrent follows a higher illumination and the characteristic curve is shifted further down. The measurements also show that the course in the recombination area and fourth quadrant during ageing depend on operating current and ambient temperature. At a high operating current and a high ambient temperature the photocurrent is less than at a lower operating point and the LED characteristic nourish the normally unlighted course. Furthermore, the measurements show the influence of the semiconductor material used on the ageing of the electrical values.

From the various displacements of the characteristic curve, the electric values and the material of semiconductor an electrical equivalent circuit diagram of LEDs are created, which models the ageing LEDs.



## **Lighting Installations and Practices – the Difference between Design and Implementation**

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

The fast development of LED luminaires leads to the need of renovation of existing lighting systems, especially when it comes to street lighting, industrial and indoor lighting. Designers are expected to use the existing infrastructure and at the same time they have to design energy efficient and cost-effective lighting decisions. This is not an easy process, because LED luminaires are still expensive and a compromise is often made. The major problem comes when the designed “retrofit” lighting systems are practically implemented, but not as they have been initially designed. In Bulgaria the investors usually choose cost-effective installations that are not the designed ones but are similar to them. This choice leads to differences between designed and planned energy efficiency and quality and the realized ones.

The current paper shows case studies for real projects of lighting retrofits of street lighting, industrial lighting and indoor lighting systems and gives the comparison between designed and realized lighting parameters in terms of energy efficiency, quality and quantity of lighting.

# Rückwärtsschnitt zur geometrischen Kalibrierung einer kamerabasierten Goniometermesstechnik für hochauflösende Lichtstärkeverteilungen

*Jan Feßler, Markus Katona, Klaus Trampert, Cornelius Neumann  
Karlsruher Institut für Technologie  
jan.fessler@kit.edu*

Die Entwicklung von Lichtfunktionen mit hohen Gradienten, wie sie beispielsweise bei der Hell-Dunkel-Grenze bei Automobilscheinwerfern vorkommen, erfordert hochaufgelöste Lichtstärkeverteilungskurven (LVK). Die Bestimmung dieser LVKs mit gängigen photometerbasierten Fernfeldgoniometern nimmt viel Zeit in Anspruch. Die Verwendung eines kamerabasierten Fernfeldgoniometers ermöglicht die Vermessung einer kompletten Lichtstärkeverteilungskurve schnell in einer Auflösung im Bereich von  $0,01^\circ$ .

Ein kamerabasiertes Goniometersystem ersetzt das Photometer durch einen weißen, diffus reflektierenden Schirm als Empfängerfläche, welcher mit einer Leuchtdichtekamera ortsauflöst vermessen wird. Dadurch ist es möglich, alle auf dem Schirm abgebildeten Raumrichtungen simultan zu bestimmen. Für eine präzise Berechnung der LVK aus dem Leuchtdichtebild ist eine geometrische Kalibrierung notwendig. Eine Möglichkeit ist die Verwendung der Posen, bestehend aus Position und Richtung, der Messkamera, des Schirms und des Messobjekts zueinander.

Die Bestimmung dieser Posen kann mithilfe der Methode des Rückwärtsschnitts erfolgen. Der Rückwärtsschnitt ist eine aus der Photogrammetrie bekannte Methode zur Berechnung der Kamerapose aus Korrespondenzen von zueinander bekannten Bild- und Objektpunkten unter der Bedingung der Kollinearität.

Fest montierte Marker am Schirm stellen die reellen Objektpunkte dar. Ihre Lage im Raum wird vermessen und so in ein Raumkoordinatensystem eingeordnet. Mit der Kameraaufnahme des Schirms, Lokalisierung der Marker im Bildkoordinatensystem und der Kameraparameter kann mithilfe des Rückwärtsschnitts die relative Pose zwischen Schirm und Kamerabild berechnet werden. Diese Pose kann zur geometrischen Kalibrierung des Messsystems genutzt werden.

Zur Posenfindung wurden vier Algorithmen aus der Literatur herangezogen und anhand der variablen Auslegungsmöglichkeiten von Rotation und Aufnahmerichtung miteinander verglichen. Der Abgleich der Abweichungen der Lösungen unterschiedlicher Testdatensätzen ermöglichte die Wahl des robustesten und präzisesten Algorithmus. Der gewählte Algorithmus fand anschließend Anwendung in der Testkalibrierung des Goniometers im LTI.

Im ersten Schritt der Kalibrierung wird die Pose der Messkamera bestimmt. Aufgrund fehlender Absolutwerte der Position der Kamera im Raum erfolgt die Validierung über den Rückprojektionsfehler. Im zweiten Schritt nimmt eine zweite Kamera die Position des Messobjekts ein. Durch Fahrten entlang der Achsen des Goniometers kann die Präzision der ermittelten Posen des Messobjekts überprüft werden. Die entlang der Fahrt bestimmten Posen zeigen deutliche Abweichungen zu den berechneten Regressionsgeraden der Achsen. Dies deutet auf eine ungenaue Posenbestimmung hin, da die Fehler über der Anfahrgenauigkeit des Goniometers liegen. Lediglich die Entfernung zwischen Messobjekt und Schirm entspricht der geforderten Präzisionsvorgabe. Aufgrund nicht vorhandener absoluter Raumkoordinaten der angefahrenen Positionen steht eine Validierung dieses Teils der geometrischen Kalibrierung noch aus.



# Geometric Calibration of a Camera-Based Goniophotometer Measurement System for High-Resolution Luminous Intensity Distributions Using Spatial Resection.

*Jan Feßler, Markus Katona, Klaus Trampert, Cornelius Neumann  
Karlsruher Institut für Technologie  
jan.fessler@kit.edu*

The development of lighting functions with high gradients, for example the cut-off line in automobile headlights, requires high-resolution luminous intensity distribution curves (LID). Determining these LIDs with common photometer-based far-field goniometers takes a lot of time. The use of a camera-based far-field goniometer allows the measurement of a complete luminous intensity distribution curve quickly with a resolution in the range of  $0.01^\circ$ .

A camera-based goniometer system replaces the photometer with a white, diffusely reflecting screen as the receiver surface, which is measured in a spatially resolved manner using a luminance camera. This makes it possible to simultaneously determine all spatial directions depicted on the screen. For a precise calculation of the LID based on the luminance image a geometrical calibration is necessary. This can be achieved by calculating the poses, consisting of position and direction, from the measuring camera, the screen and the object to be measured with respect to each other.

The determination of these poses can be done using the spatial resection method. The spatial resection is a method known from photogrammetry for calculating the camera pose from correspondences of known image and object points under the condition of collinearity.

Fixed markers on the screen represent the real object points. Their position in space is measured and arranged in a spatial coordinate system. With the camera image of the screen, localization of the markers in the image coordinate system and the camera parameters, the relative pose between the screen and the camera image can be calculated using spatial resection. This pose can be used for geometric calibration of the measurement system.

Four algorithms from the literature were used to find the pose and compared with each other based on the variable design possibilities such as rotation and recording direction. The comparison of the deviations from the solutions of different test data sets made it possible to select the most robust and precise algorithm. The selected algorithm was then applied in the test calibration of the goniometer in the LTI.

In the first step of the calibration, the pose of the measuring camera is determined. Due to missing absolute values of the position of the camera in space, the validation takes place via the back-projection error. In the second step, a second camera takes the position of the measurement object. By moving along the axes of the goniometer, the precision of the determined poses of the measuring object can be verified. The poses determined along the path show clear deviations from the calculated regression lines of the axes. This indicates an inaccurate pose determination, since the errors lie above the precision of movement of the goniometer. Only the distance between the object to be measured and the screen meets the required precision specification. Due to the lack of absolute spatial coordinates of the approached positions, a validation of this part of the geometric calibration is still pending.

# Systemanalyse eines bildgebenden LVK Messsystems mittels Monte Carlo Simulation

*Markus Katona, Klaus Trampert, Cornelius Neumann  
Karlsruher Institut für Technologie  
markus.katona@kit.edu*

*Christian Schwanengel  
TechnoTeam Bildverarbeitungs GmbH*

Die Lichtstärkeverteilung einer Lichtquelle (LVK) wird klassischerweise mit einem Goniophotometer gemessen. Dafür wird die LVK der Lichtquelle in großer Entfernung, d.h. im Fernfeld mit einem Photometerkopf entsprechend der gewünschten Winkelauflösung abgetastet. Durch die punktuelle Abtastung des Winkelraums ist die Messauflösung direkt mit dem Zeitbedarf gekoppelt. Als Alternative hierzu hat sich die LVK Messung mit bildgebenden Empfängern entwickelt. Bei dieser kamerabasierten Messtechnik wird mit einer Leuchtdichtekamera ein Ausschnitt der LVK auf einem weißen Schirm betrachtet, der in großer Entfernung zum vermessenden Objekt steht. In Kombination mit einem Goniometer ist es durch Mehrfachaufnahmen möglich die vollständige LVK der Lichtquelle zu bestimmen. So kann bei deutlich geringerem Zeitbedarf die LVK mit sehr hoher Winkelauflösung erfasst werden.

Wie bei der klassischen LVK Messtechnik ist eine Unsicherheitsangabe der LVK auch bei kamerabasierten Messsystemen aktuell noch nicht möglich. Zudem wird durch die große Anzahl simultaner Messungen mit dem bildgebenden Detektor die Komplexität des Messsystems nicht geringer. Zur Abschätzung der Unsicherheiten des Messsystems, ist es notwendig die relevanten Beitragsgrößen und deren Sensitivitäten zu bestimmen. Dafür wird die Systembeschreibung des kamerabasierte Messsystems aufgestellt und in eine geometrische und eine photometrische Systemkomponente zerlegt. Zusätzlich zur funktionellen Systembeschreibung müssen die Größen der Systemparameter und deren Unsicherheiten bestimmt werden. So kann der Beitrag der einzelnen Systemparameter zur Gesamtunsicherheit der LVK berechnet und die relevanten Eingangsgrößen und deren Sensitivitäten bestimmt werden.

In einem ersten Schritt wird dies für den geometrischen Systemteil durchgeführt. Dafür wurde in [1] ein Ansatz vorgestellt in dem die geometrischen Systemparameter per photogrammetrischer Methode bestimmt werden.

Dieser Beitrag beschreibt die Aufstellung der geometrischen Systembeschreibung der kamerabasierten LVK-Messtechnik mithilfe kinematischer Transformationen. Dafür wird der Aufbau incl. Goniometer und Schirm als Transformationskette beschrieben. Mit dieser Systembeschreibung wird die Abbildung eines idealen, d.h. virtuellen Geometrienormals, als Punktmuster auf dem Schirm berechnet. Mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation kann der Einfluss der Unsicherheitsparameter der geometrischen Eingangsgrößen auf das Gesamtergebnis der Messung analysiert und in Form einer Winkel- und Distanzunsicherheit ausgegeben werden. Diese können als Grundlage für eine spätere Messunsicherheitsbetrachtung des Gesamtsystems verstanden werden.

[1] M. Katona, J. Fessler, L. Sayanca, K. Trampert, C. Neumann, C. Schwanengel - Geometrische Kalibrierungsmethode einer kamerabasierten Goniometermesstechnik für hochaufgelöste Lichtstärkeverteilungen im Fernfeld. LICHT 2018.

# System Analysis of an Imaging LVK Measuring System Using Monte Carlo Simulation

*Markus Katona, Klaus Trampert, Cornelius Neumann  
Karlsruher Institut für Technologie  
markus.katona@kit.edu*

*Christian Schwanengel  
TechnoTeam Bildverarbeitungs GmbH*

The luminous intensity distribution of a light source (LID) is typically determined using a goniophotometer. For this, the LID of the light source is scanned in the far field with a photometer according to the desired angular resolution. Due to sampling of the angular space, the measuring resolution is directly dependent on the time requirement. Alternatively, there are camera based LID measurement technics. Therefore, a luminance camera is used to capture a section of the LID on a white screen that is far away from the device under test. In combination with a goniometer, it is possible to determine the entire LID of the light source taking multiple images. Thus, the complete LID is measured faster with a very high angular resolution.

According to the photometer based measurement system an uncertainty analysis of the camera base measurement system is yet not possible. Nevertheless to minimize measurement errors it is necessary to set up a system layout which is divided into a geometric and a photometric system component. In addition to the system layout, the system parameters and their input uncertainties must be determined. So it is possible to determine the relevant input variables and their sensitivities.

In a first step, this is done for the geometric system component. For this purpose, an approach was presented in [1], which determines the geometric system parameters by photogrammetric method.

This article describes the setup of the geometric system model of the camera-based LID measuring method using kinematic transformations. The transformation chain calculates the projection of an ideal geometry measurement standard on the screen, which is a dot pattern. Using Monte-Carlo simulation, the influence of the various uncertainty parameters can be calculated, in the form of an angular and distance uncertainty.

[1] M. Katona, J. Fessler, L. Sayanca, K. Trampert, C. Neumann, C. Schwanengel - Geometrische Kalibrierungsmethode einer kamerabasierten Goniometermesstechnik für hochaufgelöste Lichtstärkeverteilungen im Fernfeld. LICHT 2018.

# Analyse von Digitalkameras im Infrarotbereich für die 3D-Rekonstruktion von Personen (Masterarbeit)

*Marina Leontopoulos*

*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*

*marina.leontopoulos@tu-berlin.de*

Nachdem computergenerierte 3D-Modelle inzwischen überall zu sehen sind und immenser Aufwand betrieben wird, ganze Körper schichtweise zu modellieren, ist noch nicht klar, ob solche Modelle jemals in der Lage sein werden, die echten Emotionen ihrer menschlichen Vorbilder wiederzugeben. Das Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut beschäftigt sich deshalb mit der 3D-Rekonstruktion von Personen in Volumetric Video Studios – Rotunden aus diffus hinterleuchtetem Material von fünf bis sechs Metern Durchmesser, auf deren Zentren 32 Videokameras gerichtet sind. Aus den aufgenommenen 25 Bildern pro Sekunde in 5K werden anschließend für jeden Zeitabschnitt aus den 32 Kameraperspektiven automatisch Pixelkorrespondenzen ermittelt, aus denen schließlich 3D-Modelle einer Person erzeugt werden. Auf diesem Weg entsteht eine 3D-Modellsequenz, die in einer beliebigen virtuellen Umgebung eingebettet, als volumetrisches Video abgespielt werden kann.

Dadurch, dass die Anzahl der verwendeten Kameras im Vergleich zu 3D-Scan-Studios deutlich geringer sein muss, um die anfallenden Datenströme der Videos verarbeiten zu können, ist der erreichbare Detailreichtum eingeschränkt. Für den Zuschauer macht sich dies bei genauem Hinsehen u.a. durch fehlende scharfe Kanten am Übergang zwischen Mund und Nase bemerkbar. Auch die Rekonstruktion von glatter Haut stellt eine Herausforderung dar, weil es bei strukturlosen Oberflächen kaum möglich ist, Pixelkorrespondenzen zu erkennen.

Es wurden daher Verfahren untersucht, die die Rekonstruktionsqualität von Gesichtern verbessern. Dabei soll anders als in zahlreichen Untersuchungen, die sich mit der Optimierung der Algorithmen von 3D-Rekonstruktionsverfahren beschäftigen, ein neuer Weg gezeigt werden, der sich ausschließlich mit Anpassungen des Quellmaterials befasst, bevor es überhaupt für die Rekonstruktion eingesetzt wird. Die Eigenschaften von Kamerasensoren in Bezug auf ihre Interpretation von Strahlung wurden hierfür als Grundlage gewählt, wobei besonderes Augenmerk auf den Infrarotbereich gelegt wurde. Die Informationen aus den Bereichen roter und infraroter Strahlung wurden genutzt, um auf glatter Haut tiefere Strukturen hervorzuheben.

Konkret wurden dafür die Sensoren von drei Kameras unterschiedlicher Kategorien spektral vermessen und darauf aufbauend die Farborte bestimmt, in die infrarote Strahlung im sRGB-Farbraum abgebildet wird. Diese wurden in infrarotbehaftetem Bildmaterial detektiert und ihre Helligkeit reduziert, wodurch Muster auf der Haut sichtbar wurden. Bei den Volumetric Video Studios werden allerdings LED-Leuchten eingesetzt, die frei von Infrarotstrahlung sind. Bei der Separation von Blau- und Grünkanälen konnte hier ein ähnlicher Effekt wie bei der Reduktion von Farben, die durch den Einfluss von infraroter Strahlung im Bild entstanden sind, festgestellt werden. Für die Validierung verschiedener Beleuchtungssituationen im Studio wurde zudem ein Messkörper hergestellt, der anstelle eines Menschen aufgenommen und rekonstruiert werden kann. Für die Gestaltung der Oberfläche wurden die spektralen Reflexionseigenschaften von menschlicher Haut betrachtet und mehrere Lederproben auf ihre Ähnlichkeit hin untersucht.

Im Vortrag werden sowohl der Messkörper als auch die Resultate der vorgestellten Methoden präsentiert. Bei Letzteren hat sich gezeigt, dass im 3D-Modell mehr Details beim Übergang zwischen Nase und Mund sowie bei der Nasenspitze rekonstruiert werden konnten. Zudem wird ein Ausblick auf eine konkrete Anwendung von Infrarotstrahlung aus einem IR-Gitterprojektor im Volumetric Video Studio gegeben.

# **Analysis of Digital Cameras in the Infrared Range for 3D Human Body Reconstruction (Master's thesis)**

*Marina Leontopoulos*

*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*

*marina.leontopoulos@tu-berlin.de*

With computer-generated 3D models now on display everywhere and immense effort being made to model entire bodies in layers, it is not yet clear whether such models will ever be able to reproduce the true emotions of their human counterparts. The Fraunhofer Heinrich Hertz Institute is therefore involved in the human body reconstruction utilizing Volumetric Video Studios - rotundas made of diffuse backlit material with five to six meters in diameter with each 32 video cameras pointing at their centers. From the recorded 25 frames per second in 5K pixel correspondences are then automatically determined from the 32 camera perspectives for each recorded frame, from which finally 3D models of a person are generated. In this way, a 3D model sequence is created that can be embedded in any virtual environment and played back as a volumetric video.

The number of cameras used compared to 3D scan studios is significantly lower due to the resulting data streams of the videos, hence the achievable detail level is limited. For the viewer, there is a noticeable lack of shape edges on closer inspection of the transition between mouth and nose. Even the reconstruction of smooth skin is challenging because it is hardly possible to recognize pixel correspondences on structureless surfaces.

Therefore, methods have been investigated which improve the reconstruction quality of human faces. In contrast to numerous studies that deal with the optimization of the algorithms of 3D reconstruction methods, a new way is shown which deals exclusively with adaptations of the source material before it is even processed for 3D reconstruction. The properties of camera sensors with respect to their interpretation of radiation were used as the basis, with particular attention being paid to the infrared range. The range between red and infrared was used to highlight deeper structures on smooth skin.

Specifically, the sensors of three cameras of different categories were spectrally measured and, based on this, the color loci determined, in which infrared radiation is mapped in the sRGB color space. These were detected in infra-red exposed material and their brightness reduced, revealing patterns on the skin. However, Volumetric Video Studios are equipped with LED lights that are free of infrared radiation. With the separation of blue and green color channels, a similar effect could be observed as in the reduction of colors, which were caused by the influence of infrared radiation in the image. For the validation of different lighting situations in the studio, a measuring body was produced, which can be recorded and reconstructed instead of a real person. For the design of the surface, the spectral reflection properties of human skin were examined as well as several leather samples.

In the presentation, both the measuring body and the results of the stated methods will be discussed. In the case of the latter, it has been shown that more details could be reconstructed in the transition between nose and mouth as well as at the tip of the nose in the 3D model. In addition, an outlook is given on a practical application of infrared radiation coming from an IR grid projector in a Volumetric Video Studio.

# Entwicklung eines Farbkalibrierungssystems für ein Mehrkameranystem zur 3D Rekonstruktion von Personen (Masterarbeit)

*Silke Müller*

*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*

*silke.a.mueller@tu-berlin.de*

Im Oktober 2017 wurde am Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut mit dem Volumetric Video Studio das erste volumetrische Videostudio des europäischen Festlands aufgebaut. Mit 32 über 360° verteilten Kameras kann der Bewegungsablauf eines Schauspielers aufgenommen werden und in einem späteren Schritt in eine Sequenz von 3D-Modellen umgewandelt werden. Mit Hilfe einer Virtual-Reality-Brille kann der Zuschauer in einem begehbaren Film den Schauspieler von allen Seiten betrachten.

Bei einem Mehrkameranystem zur 3D-Rekonstruktion von Personen ist die Farbkalibrierung eine wichtige Grundlage, um naturgetreue Texturen zu generieren. Da jeder Sensor Fertigungstoleranzen unterliegt, kann es selbst bei der Verwendung gleicher Kameras zu Flecken in der Textur kommen. Ziel der Masterarbeit war der Entwurf eines Farbkalibrierungsverfahrens, das eine möglichst akkurate Angleichung der Kameras ermöglicht. Dabei wurden sowohl Wahl und Entwicklung eines Kalibrierobjektes sowie dessen Verwendung unter den speziellen Gegebenheiten des Volumetric Video Studios berücksichtigt.

Im ersten Teil der Arbeit wurde die Voraussetzungen zum Einsatz des gängigsten Kalibrierobjektes, dem Referenzchart, untersucht. Besonderer Fokus wurde dabei auf die Beleuchtung des Charts sowie die Ausrichtung zum Mehrkameranystem gelegt. Als Alternative wurden in der Arbeit zwei aktive Kalibrierungskonzepte vorgestellt, die von der Beleuchtungssituation während der Dreharbeiten im Studio entkoppelt sind. Eines davon verwendet die RGB-Module der im Studio installierten LED-Leuchten zur Erzeugung von Testfarben auf einer weißen Kugel in der Mitte des Raumes. Für die zweite aktive Variante wurde die Entwicklung einer LED-Leuchte vorgenommen, bei der die Testfarben durch einen LED-Emitter mit RGB+Amber-Chips realisiert werden.

Die Resultate zeigen, dass die Aufstellung des Referenzcharts, die bisher im Studio verwendet wurde, bei inhomogenen Lichtverhältnissen die Kalibrierung beeinträchtigt. Im Vortrag wird die Kalibrierung mit dem Chart im Detail präsentiert sowie ein kurzer Überblick über die beiden aktiven Kalibrierungskonzepte gegeben.

# **Development of a Color Calibration System for a 3D Human Body Reconstruction Multi-Camera System (Master's thesis)**

*Silke Müller*

*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik*

*silke.a.mueller@tu-berlin.de*

In October 2017 the Volumetric Video Studio, the first volumetric video studio in mainland Europe, was built at the Fraunhofer Heinrich Hertz Institute. With 32 cameras distributed over 360° an actor's movement can be captured and later converted into a sequence of 3D models. With the help of virtual reality glasses the viewer can observe the actor from all sides in a walk-in movie.

In order to generate lifelike textures for a human body reconstruction workflow the color calibration of the multi-camera system is an essential step. Since each sensor is subject to manufacturing tolerances, the texture can contain visible stains, even if the same camera model is used. The aim of this work is the design of a color calibration procedure which allows consistent color responses among the cameras. Therefore the choice and development of a calibration object as well as its use under the special conditions of the Volumetric Video Studio were considered.

In the first part of the thesis the requirements for using the most common calibration object, a reference chart, were examined. The lighting of the chart and the orientation to the multicamera system were the main focus of the research.

As an alternative, two active calibration concepts were presented, which are independent of the lighting situation during the shooting in the studio. Firstly, the RGB modules installed in the studio were used to produce test colors on a white sphere in the middle of the room. Secondly, an LED luminaire with RGB + Amber chips which emits the required test colors was designed.

The results show that the previously used setup of the reference chart in the studio affects the calibration in inhomogeneous lighting conditions. In the presentation the calibration with the chart will be presented in detail and a short overview of the two active calibration concepts will be given.

## **Einfluss von Tuben zur Abschirmung von Streulicht bei photometrischen Messungen**

*Laura Kallenbach, Thorsten Gerloff, Johannes Ledig  
Fachbereich 4.1 Photometrie und Spektroradiometrie  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany  
Laura.Kallenbach@ptb.de*

Beim Messen von photometrischen Größen wie beispielsweise der Beleuchtungsstärke entsteht immer auch ein Beitrag durch Streulicht aus Reflexionen an Umgebungsobjekten. Zusätzlich zur Möglichkeit, diese Reflexionen durch z.B. mattschwarze Farbe an den Objekten gering zu halten, können bei der Messung der durch die Lichtquelle erzeugten, senkrechten Beleuchtungsstärke auf die Referenzebene eines Photometerkopfes, z.B. zur Bestimmung der Lichtstärke oder des Lichtstroms im Goniophotometer, auch Streulichtblenden im Strahlungsfeld platziert werden.

Diese Blenden sollten idealerweise so positioniert werden, dass das Gesichtsfeld des Empfängers möglichst nur die Lichtquelle erfasst. Um dies zu ermöglichen, sind sogenannte Tuben (siehe Abbildung 1) besonders wichtig. Diese enthalten häufig intern mehrere Blenden und werden direkt vor der optischen Eintrittsfläche des Empfängers montiert. Jedoch kann es bei den Tuben auch zu unerwünschten Störeffekten kommen, wie beispielsweise Reflexionen im Inneren des Tubus. Ebenso sind Nahbereichseffekte bei ausgedehnten Lichtquellen durch Abschattung der Empfängerfläche durch den Tubus zu beobachten. Diese und weitere Effekte wurden durch unterschiedliche Messungen demonstriert und charakterisiert.

Bei den Messungen wurden verschiedene Tuben vor unterschiedlichen Empfängern montiert. Unter den Empfängern waren drei Photometer, drei Radiometer (ungefilterte Silizium-Photodiode) und ein Spektroradiometer. Mit den Empfängern wurden unterschiedliche Lichtquellen in verschiedensten Geometrien gemessen. Darunter befanden sich ein glühlampenbasiertes Leuchtdichtennormal und schmalbandige LEDs. Das Ergebnis dieser Messungen wird im Vortrag vorgestellt und erläutert.



Abbildung 1: Foto von vier verwendeten Tuben



# Influence of Tubes for Stray Light Shielding in Photometric Measurements

*Laura Kallenbach, Thorsten Gerloff, Johannes Ledig  
Fachbereich 4.1 Photometrie und Spektroradiometrie  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany  
Laura.Kallenbach@ptb.de*

When photometric quantities such as illuminance are measured, there is always a contribution caused by stray light stemming from reflections on surrounding objects. These reflections can be kept low not only by using e.g. objects that have been painted matt black, but also by placing stray light suppressing apertures in the radiation field when measuring the vertical illuminance on the reference surface of a photometer head that is generated by the light source, e.g. for the determination of the luminous intensity or the luminous flux in a goniophotometer.

Ideally, these apertures should be positioned in such a way that the receiver's field of view is restricted to the light source. So-called tubes (see Fig. 1) are especially important for realizing this restriction. These tubes are often equipped with several apertures in the inside and mounted directly in front of the optical entry of the receiver. Nevertheless, these tubes may also be affected by undesired interfering effects, e.g. additional reflections inside the tube. Truncation effects that are generated by the tube shadowing the receiver area may also occur in the case of extended light sources. These and other effects were demonstrated and characterized by different measurements.

During these measurements, different tubes were mounted in front of a set of receivers. The receiver set comprised three photometers, three radiometers (unfiltered silicon photodiodes) and one spectroradiometer. Different light sources in different geometries were measured by means of these receivers. One incandescent-based luminance standard and narrowband LEDs were among the light sources. The results of these measurements will be presented and explained.



Figure 1: Photo of four of the tubes used in the experiment

## **Sensor Array zur Analyse der Beleuchtungssituation in einer intelligenten Industriehalle**

*Simon Benkner, M.Sc., Prof. Tran Quoc Khanh  
Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik  
benkner@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

In dieser Arbeit wird die Möglichkeit des Einsatzes eines Mehrkanal-Farbsensors zur Detektion von Kunst- und Tageslicht zum Einsatz in einer intelligent beleuchteten Industriehalle untersucht. Dazu wird zuerst ein Überblick über intelligente Beleuchtungssysteme gegeben und der Versuchsaufbau erklärt. Aufgrund der hohen Datenmenge wird anschließend die Verarbeitung von großen Datensätzen beleuchtet. Anhand der erhobenen Daten wird abschließend gezeigt, dass es möglich ist mittels Mehrkanal-Farbsensors zwischen Tages- und Kunstlicht zu unterscheiden.

## **Sensor array for the analysis of the lighting situation in an intelligent industrial hall**

*Simon Benkner, M.Sc., Prof. Tran Quoc Khanh  
Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik  
benkner@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

In this paper, the possibility of using a multi-channel color sensor to identify artificial light and daylight for use in an intelligently illuminated industrial hall is investigated. First, an overview of intelligent lighting systems is given and the experimental setup is explained. Due to the large amount of data, the processing of large data sets is then highlighted. On the basis of the data collected, it will then be shown that it is possible to distinguish between daylight and artificial light using multi-channel colour sensors.



## Harmonic Distortions from LED Lighting in Industrial Buildings

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

In recent years, there was increased use of advanced light sources with electronic control gear (LED Sources). This inevitably affects the generation of harmonic pollution in the power grids for lighting.

The report presents a study of harmonic pollution in industrial power grids for lighting. The aim of the study was to analyze the impact of modern LED sources on the quality of energy in industrial lighting power grids.

Since it is usually in the industry, lighting networks have a large number of luminaires and high power, the impact of the generated harmonics on the power supply parameters is noticeable.

A particular lighting facility of a medium-sized industrial building was investigated.

The study is done with the operation of the lighting system. Various electrical parameters were measured using a network analyzer. Results are displayed after processing the measured data.

There are made appropriate conclusions from the study.

Keywords: LED harmonics, harmonic pollution, LED drivers.

## **Auswirkung von spektral moduliertem Licht auf die Photosynthese von Pflanzen**

*Jens Balasus, M.Sc., Prof. Tran Quoc Khanh  
Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik  
balasus@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Für einen profitablen Anbau von Pflanzen in geschlossenen Kultursystemen ist der Einsatz elektrischer Energie zu optimieren. Wesentlich hierfür ist das Erlangen von Kenntnissen über den Zusammenhang zwischen Bestrahlungssituation und Pflanzenwachstum. Als potentielles Maß für die Wachstumsleistung gilt die Photosyntheserate der Pflanze, die durch die Messung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme eines Blattes ermittelt wird. Von Vorteil ist hierbei, dass Auswirkungen auf die Photosynthese im Gegensatz zum Wachstum direkt messbar sind. Aus diesem Grund wird zunächst der Einfluss von verschiedenen Bestrahlungsspektren auf die Photosyntheserate untersucht.

Das Ergebnis zeigt, dass die spektrale Zusammensetzung des Lichts messbare Auswirkungen auf die Photosyntheserate hat. Um zukünftig den Zusammenhang zwischen Photosyntheserate und Pflanzenwachstum zu untersuchen zeigt der Ausblick, wie hierfür Versuchsstände in weiteren Studien aufgebaut sein können. Mit diesen können verschiedene Wachstumsparameter erfasst, und damit wiederum Korrelationen festgestellt werden.

## Effect of Spectrally Modulated Light on Photosynthesis of Plants

*Jens Balasus, M.Sc., Prof. Tran Quoc Khanh  
Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik  
balasus@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

For profitable cultivation of plants in closed cultivation systems, the use of electrical energy must be optimised. The key to this is to gain knowledge about the relationship between irradiation situation and plant growth. The plant's photosynthesis rate, which is determined by measuring the CO<sub>2</sub> uptake of a leaf, is considered a potential measure of growth performance. The advantage here is that the effects on photosynthesis, unlike growth, can be measured directly. For this reason, the influence of different irradiation spectra on the photosynthesis rate is first investigated.

The result shows that the spectral composition of the light has measurable effects on the photosynthesis rate. In order to investigate the relationship between photosynthesis rate and plant growth in the future, the outlook shows how test stands can be set up for this in further studies. These can be used to record various growth parameters and thus determine correlations.

## **Methode zur Messung des Einflusses von Lichtimpulsen auf die visuelle Leistungsfähigkeit**

*Melanie Helmer, Cornelius Neumann*

*Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Lighttechnology Institute (LTI)*

*M.Helmer@kit.edu*

Fahrten im Straßenverkehr sind durch sich ständig verändernde Lichtsituationen charakterisiert, an die sich das Auge innerhalb sehr kurzer Zeit anpassen muss. Diese Anpassung, auch Adaptation genannt, erfolgt automatisch und ist ein Vorgang, der von dunkel zu hell sehr schnell und von hell zu dunkel verhältnismäßig langsam erfolgt. Während dieses Anpassungsprozesses verfügt das visuelle System nicht über seine optimale visuelle Leistungsfähigkeit, sodass potentiell gefährliche Objekte unter Umständen zu spät oder gar nicht erkannt werden können. Um das damit verbundene Gefährdungspotential in solchen Situationen mithilfe von Probandenstudien evaluieren zu können, wurde eine objektive Messmethode, die sogenannte MeLLI-Methode (Measurement of glaring Light stimuli with Letter Identification) entwickelt und erfolgreich validiert. Die Ergebnisse sollen im Paper und im Vortrag vorgestellt werden.



## **Method for Measuring the Influence of Light Stimuli on Visual Performance**

*Melanie Helmer, Cornelius Neumann*

*Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Lighttechnology Institute (LTI)*

*M.Helmer@kit.edu*

Driving in road traffic is characterized by continuously changing light situations, to which the eye must adapt as quickly as possible. The adaptation of our visual system to this changing lighting situations is an automatic process which is very fast from dark to bright but slow from bright to dark. During this process, the visual system does not have its optimal visual performance. This can lead to longer detection times or overlooking potentially critical objects. An objective measuring method, the so-called MeLLI-Method (Measurement of glaring Light stimuli with Letter Identification), was developed and validated in order to be able to evaluate the associated hazard potential in such situations with the aid of subject studies. The results will be presented in the paper and in the presentation.

# Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Wahrnehmung von LEDs

*Nicole Stubenrauch, Christoph Schierz,  
TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
n.stubenrauch@online.de*

## Motivation:

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

Schaut man sich an, wie stark sich die CMF für junge und alte Probanden sowie für die verschiedenen Feldgrößen unterscheiden, so ist es nicht verwunderlich, dass rechnerisch metamere Spektren i.A. große farbliche Unterschiede haben, da die Metamerie schließlich nur für eine CMF ermittelt werden kann. Für andere Altersklassen von Beobachtern und andere Beobachtungsbedingungen ist die Metamerie somit nicht gegeben.

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

## Durchführung:

In einer Probandenstudie wurden die Schwellwertellipsen von acht unterschiedlichen Spektren mit jeweils zwei Referenzen ermittelt. Dabei wurden Feldwinkel von 2° und 10° (mit Ausparung des 2°-Bereiches) sowie alte und junge Probanden beider Geschlechter untersucht. Bei den acht Testspektren handelt es sich um verschiedene RGB- sowie RGBW- Kombinationen, die sich teilweise nur in einer Komponente unterscheiden oder, durch die Beteiligung einer weißen LED, in ihrer spektralen Homogenität. Alle Spektren sind auf den gleichen Farbbort eingestellt (Planck 4000 K in CIE 2006).

## Ergebnisse:

Erste Ergebnisse bestätigen, dass es große Unterschiede zwischen beiden Altersgruppen und Feldgrößen gibt. Eine Bewertung der Robustheit einzelner Spektren steht aktuell noch aus.

## Development of a Robustness-Index for the Perception of LEDs

*Nicole Stubenrauch, Christoph Schierz,  
TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
n.stubenrauch@online.de*

### Motivation:

White LED spectra differ a lot because of the used blue diode and the phosphor. Therefore, metamere spectra can be very different. The calculation of metamer spectra is based on color coordinates, which were determined with the color matching functions (CMF). The CMF should represent the color perception of a normal observer and was researched in many cases. In 2006 the CIE published new CMF, including the differences in field size (2° and 10°) and the age of the observer (age 20-80).

Considering the variation in the CMF between the age groups and field sizes, it is easy to understand the error between calculated metamere spectra and the visual perception. Metamerism can be calculated only for one CMF. Observer with other age and field size doesn't see metamere spectra.

The quantity of the differences between age groups and field sizes depend to the light source spectrum. There are spectra which are robust with changes and spectra which create great different perception for different age or viewing conditions. This study examines, which part of the spectral wavelength range had a great or less influence to the robustness of the spectra against changes.

### Experiment:

There has been a study examining the threshold of identical color coordinates of eight different spectra with each two references. Field sizes of 2° and 10° (2° were blacked out), as well as young and older subjects both genders. The eight spectra contain RGB and RGBW combinations and are all adjusted to the same color coordinate (4000 K in CIE 2006 10°). The spectra partly differ only in one component or at the involvement of the white LED, thus the homogeneity of the spectrum.

### Results:

First results confirm the differences between age and field size groups. The evaluation of the experiment is still in progress.

## **Optimierung der visuellen Erkennbarkeit von Fußgängern auf Basis vernetzter Infrastruktur**

*Marwin Barsch, Cornelius Neumann*

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

*marwin.barsch@kit.edu*

Dass Fußgänger bei Dämmerung und in der Nacht für Autofahrer schwer erkennbar sind, hat in der Vergangenheit zu vielen tödlichen Unfällen geführt (Mennicken, 2003) und ist auch heutzutage noch ein Problem. Grund hierfür ist die Tatsache, dass Fußgänger oft dunkel gekleidet sind und sich daher nicht ausreichend von der Umgebung abheben. Um diesem Problem entgegenzuwirken, ist an Fußgängerüberwegen eine ortsfeste Beleuchtung vorgeschrieben. Um die Sichtbarkeit für Fußgänger weiter zu verbessern, ist die situative Anpassung der Lichtverteilung denkbar. Inwiefern hochauflösende Scheinwerfer und Car2X dazu genutzt werden können, um diese Situation zu verbessern, soll innerhalb des Projektes OpEr (Optimierung der visuellen Erkennbarkeit von Fußgängern auf Basis vernetzter Infrastruktur) in Zusammenarbeit mit dem Testfeld autonomes Fahren (TAF) in Karlsruhe evaluiert werden.

Mennicken, D.-I. C. (Juni 2003). Unfälle an Fußgängerüberwegen. Unfälle in der Dunkelheit, S. 26-27.

## **Optimizing the Visual Recognition of Pedestrians Based on Networked Infrastructure**

*Marwin Barsch, Cornelius Neumann*

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

*marwin.barsch@kit.edu*

The restrained visibility of pedestrians at night led to many fatal accidents in the past (Mennicken, 2003). The reason is that pedestrians are often dressed in dark colours so that they do not stand out from the dark background. To counteract this issue stationary lighting is obligatory on pedestrian crossings. Moreover, it is possible to adjust the light distribution situationally. The project OpEr (Optimierung der visuellen Erkennbarkeit von Fußgängern auf Basis vernetzter Infrastruktur, 'optimizing of the visibility of pedestrians based on linked infrastructure') and the TaF (Testfeld Autonomes Fahren, 'Test Area Autonomous Driving') will examine how high definition headlights and Car2X could be used to improve the situation.

Mennicken, D.-I. C. (Juni 2003). Unfälle an Fußgängerüberwegen. Unfälle in der Dunkelheit, S. 26-27.



## **Lighting of Ski Slopes**

*Dimitar Pavlov, Kamelia Nikolova, Dilyan Ivanov*  
*Technical University of Sofia, Bulgaria*  
*ipetrinska@tu-sofia.bg*

The beauty of the nature and the dynamics of the movements make the skiing one of the most popular and attractive sports in a lot of countries. The daylight skiing is the most often practice but not only. The night time practicing has its own beauty and is also attractive. For this purpose is needed appropriate artificial lighting. In some cases and for big international events it is obligatory. The visual tasks, the curved slope fields, the not smooth calculating surfaces, the snow reflection characteristics, the speed of the movement and recognition make this field of lighting design quite interesting and challenging as the sport itself.

In the present paper it is proposed a practical solution for artificial lighting of a skiing slope, completed with 3D modelling of the track surface with its reflecting characteristics and fulfilling the standard requirements for artificial lighting of that kind of sport practicing.

Index Terms: Sports lighting, ski slopes, 3D modeling of surfaces

## Dimmung des Scheinwerferlichts für zukünftige Elektrofahrzeuge

*Pascal Janke, Aniella Thoma, Dr. Jürgen Locher, L-LAB Lippstadt, Pascal.Janke@l-lab.de  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr. h.c. Torsten Bertram, Technische Universität Dortmund*

Im Zuge der Elektrifizierung von Fahrzeugen ergeben sich neue Anforderungen an das Scheinwerferlicht. Ein effizienter Ressourceneinsatz über ein Energiemanagement, in das auch die Fahrzeugbeleuchtung integriert ist, kann dazu beitragen, dass die Reichweite um einige Kilometer erhöht werden kann. Daraus ergeben sich zahlreiche Fragen: Was muss sich am Licht für zukünftige E-Autos ändern? Wie werden diese Änderungen akzeptiert? Durch die aktuell verwendete LED-Technologie ergeben sich im Scheinwerfer ganz neue Möglichkeiten für Lichtfunktionen. Das bisherige Ziel der Fahrzeugbeleuchtung ist es, viel Licht für eine gute Ausleuchtung der Verkehrssituation zu erzeugen. Die Möglichkeit der Dimmung einzelner LEDs kann aber in Zukunft auch für energieeffiziente Lichtfunktionen genutzt werden.

Um das Potenzial hinsichtlich einer ressourceneffizienten Ausleuchtung bewerten zu können, wurde im HELLA-Lichtkanal in Lippstadt eine Probandenstudie durchgeführt, die der Frage nachgegangen ist, wie weit kann das Scheinwerferlicht heruntergedimmt werden, bevor es für den Fahrer als zu dunkel wahrgenommen wird. In der Studie wurden zwei verschiedene Szenarien betrachtet: Einerseits eine Fahrt durch eine Ortschaft mit Straßenlaternen am Fahrbahnrand bei aktiviertem Abblendlicht sowie andererseits eine Landstraßenfahrt bei aktiviertem Fernlicht. Zuerst wurde den Probanden jeweils eine Referenzlichtverteilung präsentiert, die dem standardmäßigen Abblend- bzw. Fernlicht des verwendeten Scheinwerfers entspricht. Nachdem das Licht für ca. 5 Sekunden ausgeschaltet war, wurde daraufhin eine gedimmte Lichtverteilung eingeschaltet. Die Probanden sollten den Unterschied zwischen der Referenzlichtverteilung und der gedimmten Lichtverteilung bewerten. Die 9-stufige Bewertungsskala, bei der nur jede zweite Stufe beschriftet war, reichte hierbei von „unmerklich“, über „akzeptabel“, „gerade zulässig“ und „nicht vertretbar“ bis hin zu „intolerabel“. Für diese Studie wurde ein Matrix-LED-Scheinwerfer mit 84 einzeln ansteuerbaren LEDs im Hauptmodul, sowie 4 weitere Dimmbare LEDs im Vorfeld-Modul, genutzt. Die verwendeten Dimmstufen ergaben sich aus der Ansteuerung des Scheinwerfers, wobei auf eine gleichmäßige Dimmung geachtet wurde, so dass trotz der Veränderung des Lichts keine Inhomogenitäten aufgetreten sind.

Die Auswertung der Studie führt zu dem Ergebnis, dass in beiden Szenarien eine Dimmung des Lichts auf ca. 55% des ursprünglichen Gesamtlichtstroms im Vergleich zur Referenz durchschnittlich noch als „akzeptabel“ bewertet wird. Eine Dimmung des Lichts auf ca. 35% des Referenzlichts wird noch als „gerade zulässig“ bewertet. Grundsätzlich werden bei einer Dimmung der LEDs auf ca. 30% die gesetzlichen Werte sowohl für das Abblend- als auch das Fernlicht gerade noch erreicht. Obwohl die prozentuale Dimmung der LEDs in beiden Szenarien gleichwertig vorgenommen wurde, ergibt sich aus der absoluten Lichtreduktion eine starke Diskrepanz. Das Abblendlicht im ersten Szenario hat einen Referenzlichtstrom im gemessenen Winkelbereich von ca. 1600 lm. Beim Fernlicht im zweiten Szenario liegt der Lichtstrom beider Scheinwerfer zusammen bei ca. 2900 lm. Daher ist die Reduktion des Lichtstroms bei gedimmtem Fernlicht deutlich höher als bei gedimmtem Abblendlicht.

Da die Ergebnisse auf die Durchschnittswerte der Probandenbewertung bezogen sind, ist eine Dimmung auf den „gerade zulässigen“ Wert, trotz einer gaußverteilten Bewertung, nicht sinnvoll. Hier haben bereits einige Probanden die Lichtverteilung als „nicht vertretbar“ bewertet. Nichtsdestotrotz wird das Einsparpotential in einem möglichen Energiesparmodus für Elektrofahrzeuge deutlich. Bei der im Durchschnitt als „akzeptabel“ bewerteten Lichtverteilung gibt es kaum noch Personen, die schlechter als „gerade zulässig“ bewertet haben. Hierbei ist es bereits möglich, im Abblend- als auch im Fernlichtfall, ca. 45% des Lichtstroms zu sparen. Da die Ergebnisse innerhalb der gesetzlichen Rahmenwerte liegen, kann auf eine Untersuchung zur Sichtbarkeit von Objekten verzichtet werden.



## Dimming of Headlamps for Future Electric Cars

*Pascal Janke, Aniella Thoma, Dr. Jürgen Locher, L-LAB Lippstadt, Pascal.Janke@l-lab.de  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr. h.c. Torsten Bertram, Technische Universität Dortmund*

Due to the development of electric cars, new requirements for headlamps appeared. An efficient use of resources by an energy management, which includes the car lights, may result in an enhanced drivable range. This leads to many questions: What has to change in the lighting of future electric cars? Are those changes being accepted? With the LED-technology in headlamps, new lighting functions are possible. The main goal of headlamps is to produce much light for a good illumination in every driving situation. In the future, the ability of dimming single LEDs may be used for energy efficient lighting functions.

The question is, to which amount is it possible to dim the headlamp until it seems to be too dark for the driver. This has been verified by an empirical study in the HELLA lighting tunnel to evaluate the potential of an efficient lighting. Therefore, two different scenarios have been examined. First, driving through a town, which has street lamps on the sides and the cars lowbeam light distribution is activated. Second, driving on a country road with activated highbeam. For both scenarios the subjects have been asked to compare the light distribution to a reference light distribution, which was equivalent to the standard low- or highbeam of the headlamp. After about 5 seconds with the light shut off, they have been presented a dimmed light. Their task was to rate the dimmed light in comparison with the reference light. The 9-step rating scale was described from “no change”, over “acceptable”, “barely legal” and “not acceptable” up to “intolerable”. Only every second step was labeled. The empirical study has been realized with a Matrix-LED-headlamp, which has 84 controllable LEDs. In addition, the headlamp has 4 more controllable pre-field LEDs. The steps of dimming were restricted by the control unit of the headlamp. The shown dimmed light distributions had no inhomogeneities.

The evaluation of the study shows, that in both scenarios, a dimming of the light to 55% of the overall luminous flux, was rated as “acceptable” in comparison to the reference light. A dimming to 35% of the reference light, has been rated as “barely legal”. The legal requirements of the headlamps are assured till a dimming to 30%, for low- and highbeam. Though the relative dimming of the light is equal in both scenarios, the absolute reduction of the light shows a huge difference. The measured reference luminous flux of the lowbeam, in the first scenario, is at about 1600 lm. For the highbeam, in the second scenario, the reference luminous flux of both headlamps together is at about 2900 lm. This results in a greater reduction of the luminous flux in comparison to the dimmed lowbeam.

These results are all related to the average rating results of the subjects. Thus, a dimming to the “barely legal” rated luminous flux is not recommended, though it was evenly spread in a gaussian form. Some of the subjects have already rated this light distribution as “not acceptable”. Even though, the potential of a possible energy saving mode for electric cars is clearly high. At the “acceptable” rated dimmed light level, just a few subjects rated the light distribution as “barely legal” or worse. With this light, it is possible to already save 45% of the luminous flux, for both the low- and the highbeam. Due to the fact that the results are in the range of legal requirements, a study regarding the sight of objects has been renounced.

## Anwendung von Projektionstechniken im automobilen Interieurbereich

*Maximilian Baumann, Melanie Helmer, Cornelius Neumann  
Karlsruhe Institute for Technology (KIT), Light Technology Institute (LTI)  
maximilian.baumann@student.kit.edu*

Scheinwerfer mit adaptiver Lichtverteilung und Matrixbeam sind mittlerweile als Serienstandard anzusehen. Die Anwendung verschiedener Projektionstechniken hingegen ist noch Stand der Forschung und Entwicklung in der Automobilbranche. Da im Exterieurbereich die Nutzung von Projektionstechniken viele Vorteile, wie beispielsweise lichtbasierte Fahrerassistenz oder Fußgängerkommunikation hinsichtlich autonomen Fahrens mit sich bringt, liegt die Überlegung nahe, diese auch im Interieurbereich zu nutzen.

Mit Monitoren können verschiedene Nutzeranwendungen an festen, ebenen Flächen im Fahrzeuginnenraum dargestellt werden. Inhalte wie Messenger-Dienste, Social Media Anwendungen, News-Feeds oder Streaming Dienste sind hier möglich. Mit Hinblick auf autonom fahrende Fahrzeuge werden Techniken benötigt, die es erlauben relevante Informationen ortsunabhängig darzustellen.

Dies ist bei der Verwendung von Monitoren durch die feste Einbauposition im Fahrzeug sowie die Flexibilität der Darstellung jedoch stark eingeschränkt. Der Einsatz von Projektionstechniken hingegen ermöglicht es, Informationen an beliebigen Positionen nutzerorientiert darzustellen und ist dabei nicht ausschließlich auf planare Oberflächen beschränkt. Theoretisch betrachtet kann jede beliebige Oberfläche im Fahrzeuginnenraum für die Projektionsdarstellung verwendet werden.

Die entwickelten Ansätze zur Lösung der Probleme, welche sich in der Umsetzung dieser Technik ergeben, sowie weitere Anwendungsmöglichkeiten für Projektion im Innenraum werden im Paper und während des Vortrags genauer erläutert.

## **Application of Projector Techniques in the Automotive Interior**

*Maximilian Baumann, Melanie Helmer, Cornelius Neumann  
Karlsruhe Institute for Technology (KIT), Light Technology Institute (LTI)  
maximilian.baumann@student.kit.edu*

Headlamps with adaptive light distribution and matrix headlights are to be regarded as series production. The application of various projection techniques, however is still state of research and development in the automotive industry. The use of projection techniques in the exterior area brings many advantages, such as light-based driver assistance or pedestrian communication. Especially with regard to autonomous driving, the consideration suggests to use them in the interior as well.

Monitors allow different user applications to be displayed on solid, flat surfaces inside the vehicle. Content such as messenger services, social media applications, news feeds or streaming services are possible here. With regard to autonomous vehicles, however techniques are needed that allow relevant information to be displayed in a specific location.

But this is strictly limited in the use of monitors by the fixed mounting position in the vehicle as well as the flexibility of presentation. The use of projection techniques makes it possible to present information in user-oriented manner at any positions and is not limited to planar surfaces. Theoretically, any surface in the vehicle's interior can be used for the projection.

The developed approaches to solve the problems that arise in the implementation of these techniques, as well as other applications for projection in the interior will be explained in more detail in the paper and during the presentation.

## Reflexionsverhalten von Interieur-Materialien im Kraftfahrzeug

*Markus Schöneich; Vorentwicklung Innenlicht Daimler AG,  
markus.schoeneich@daimler.com*

*Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer; IPeG Leibniz Universität Hannover  
Prof. Dr. rer. nat. Cornelius Neumann; LTI Karlsruher Institut für Technologie*

Viele Fahrzeughersteller bieten im Interieur Beleuchtungen an. Dabei kann in Funktions- und Ambientebeleuchtung unterschieden werden. Eine typische Funktionsbeleuchtung ist hierbei das Leselicht, das in einem definierten Bereich einen Lichtkegel erzeugt. Auf der anderen Seite ermöglicht derzeit die Ambientebeleuchtung ein gesteigertes Raumgefühl und unterstreicht Designlinien und -konturen. Die Ambientebeleuchtung wird in direkte und indirekte Lichtlinien oder Lichtflächen unterschieden. Bei der direkten Variante ist für den Passagier eine leuchtende Linie oder Fläche wahrnehmbar, wobei bei der indirekten Variante eine beleuchtete Linie oder Fläche die Designsprache untermalt.

Damit ist für den Passagier die wahrgenommene indirekte Variante stets von der Interieur-Ausstattung, dem angeleuchteten Material, abhängig. Diese Materialien sind auf Makroebene nicht planar, das bedeutet sie weisen eine Textur bzw. Strukturierung auf. Diese Struktur hat sowohl einen visuellen als auch haptischen Zweck.

Zur lichttechnischen Simulation dieser Materialien gibt es derzeit verschiedene Möglichkeiten. Auf der einen Seite wird die Oberflächentopologie als planar angenommen und eine klassische BRDF definiert die Verteilungsfunktion eines einfallenden Strahls. Auf der anderen Seite gibt es die Möglichkeit eine Werkzeugrauigkeit aus der VDI 3400 als Oberflächenstruktur anzunehmen.

Aktuelle Modelle ermöglichen es nicht - vor allem im flachen Betrachtungswinkel – eine Ähnlichkeit zwischen Simulation und realer Messung zu erzielen. Der Beitrag gibt einen Einblick, wie ein mögliches Modell für Reflexionseigenschaften von genarbttem Leder aussehen könnte.

Dabei wird das zu untersuchende Material in Textur, Objektfarbe und Glanzgrad unterteilt. Über die Messdatengenerierung, der Datenverarbeitung und anschließender Extrahierung typischer Kenngrößen einer Flächentopologie kann damit ein mögliches Modell der Textur aufgebaut werden. Hierbei werden vor allem die Einflussfaktoren nach der Datenerzeugung hinterfragt um die Einflussfaktoren zu minimieren. Die Folge ist ein stabiles und ggf. auch übertragbares Modell.

Als Abschluss wird das Modell mit den heutigen Verfahren gegenübergestellt und die Vor- und Nachteile der Varianten diskutiert. Die Modellierung ermöglicht somit eine Trennung von Körperfärbung und Textur und reduziert somit die Anzahl der Varianten zur Simulation. Des Weiteren wird durch die Minimierung der subjektiven Einflüsse und Parametrisierung der Eingangsgrößen ein übertragbares, stabiles Modell aufgestellt. Hiermit wird eine Simulation von natürlichen Texturen mit geringeren Abweichungen zur Realität als der gewöhnliche BRDF und der VDI-Ansatz ermöglicht.

Schlüsselwörter: Fahrzeuglichttechnik; Simulation & Modellbildung; reale Parameter

## Reflection Behaviour of Materials in the Automotive Interior

*Markus Schöneich; Vorentwicklung Innenlicht Daimler AG  
markus.schoeneich@daimler.com*

*Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer; IPeG Leibniz Universität Hannover  
Prof. Dr. rer. nat. Cornelius Neumann; LTI Karlsruher Institut für Technologie*

Many vehicle manufacturers offer lighting in the interior. It can be distinguished in functional and ambient lighting. A typical functional light is the reading light, which generates a light cone in a defined area. On the other hand, the ambient lighting currently enables an increased sense of space and underscores design lines and contours. The ambient lighting is differentiated into direct and indirect light lines or light areas. In the direct variant, a luminous line or surface is perceptible to the passenger, whereby in the indirect variant, an illuminated line or surface underlines the design target.

Thus, for the passenger, the perceived indirect variant always depends on the interior configuration, the illuminated material. These materials are not planar at the macro level, they have a texture or structuring. This structure has a visual and a haptic purpose.

There are currently various possibilities for the photometric simulation of these materials. On the one hand, the surface contour is assumed to be planar and a classical BRDF defines the distribution function of an incident beam. On the other hand, there is the possibility of adopting a tool roughness from VDI 3400 as a surface structure.

Current models do not allow a similarity between simulation and real measurement - especially in the flat viewing angle. The paper gives an insight on what a possible model for reflective properties of grained leather might look like.

The material to be examined is subdivided into texture, object color and gloss level. With the generation of measurement data, data processing and subsequent extraction of typical characteristics of a surface topology, a possible model can be set up. In particular, the influencing factors after the data generation are questioned in order to minimize the influencing factors. The result is a stable and possibly also transferable model.

As a conclusion, the model is compared with today's methods and discussed the advantages and disadvantages of the variants. The modeling thus allows a separation of body color and texture and thus reduces the number of variants for simulation. Furthermore, a transferable, stable model is established by minimizing the subjective influences and parameterizing the input variables. This allows a simulation of natural textures with less deviation from reality than the ordinary BRDF and the VDI approach.

Keywords: vehicle lighting technology; simulation and modeling; real parameters

# Laserscheinwerfer im Automobil – Scannendes Lasersystem mit eindimensionalem Facettenreflektor

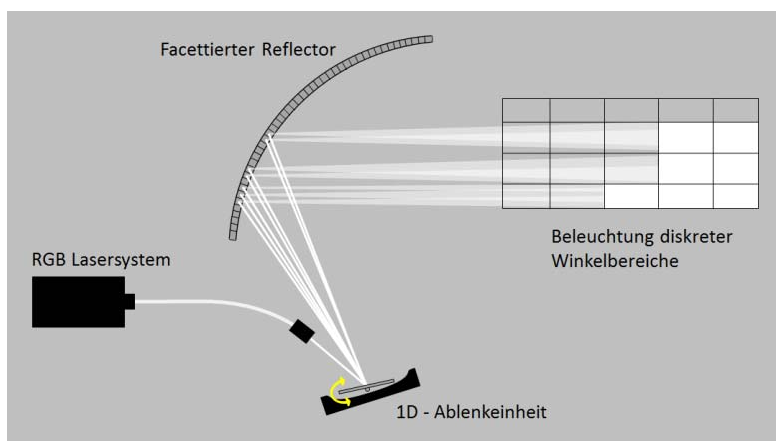
Jan Müller, *Karlsruher Institut für Technologie*  
Marcel Bursy, *L-LAB, Lippstadt*;  
Jörg Wallaschek, *Leibniz Universität Hannover*  
uxdrs@student.kit.edu, marcel.bursy@l-lab.de

Hochauflöste Lichtmodule bieten die Möglichkeit auf die Situation angepasste Lichtverteilungen zu generieren und ermöglichen unter Anderem ein blendfreies Fernlicht. Es gibt zwei prinzipiell unterschiedliche Möglichkeiten zur Erzeugung einer gewünschten Lichtverteilung. Bei der additiven Erzeugung ist die Grundeinstellung dunkel und Licht wird gezielt nur dorthin gerichtet, wo es gebraucht wird. Bei der subtraktiven Erzeugung ist die Grundeinstellung hell und das Licht wird dort, wo es nicht gebraucht wird, vernichtet. Additive Systeme sind daher effizienter.

In dem von uns untersuchten scannenden Lasersystem wird der Laserstrahl durch eine Ablenkeinheit im Strahlengang in den gewünschten Raumwinkelbereich adressiert. Durch eine darauf abgestimmte zeitliche Modulation des Lasers entsteht die Ziellichtverteilung. Scannen folgt also dem additiven Prinzip und ist dementsprechend unter energetischen Gesichtspunkten besonders effizient. Gleichzeitig bietet es eine hohe Auflösung im Vergleich zu anderen additiven Realisierungen, wie beispielsweise LED Matrix Systemen.

Ähnlich wie bei einem Bildschirm, muss der Laser die beleuchtete Fläche auf der Straße in einer bestimmten Zeit komplett abfahren, damit das Auge die zeitlich versetzten Laserpunkte als ein Bild wahrnimmt. Derzeitige Ansätze scannender Systeme basieren meist auf dem Scannen in zwei Richtungen. Für die zweite Dimension ist eine Scanfrequenz erforderlich, die einem Vielfachen der Bildwiederholrate entspricht. Die hohen Frequenzen stellen hohe Anforderungen sowohl an das mechanische System als auch an die Modulation des Lasers.

Der hier vorgestellte Ansatz reduziert die Komplexität. Ein Lichtstrahl aus einem RGB-Laser wird mit einem beweglichen Spiegel in einer Ebene abgelenkt. Der oszillierende Strahl trifft auf eine facettierte Aufweitungsoptik. Die Elemente auf dem facettierten Spiegelarray formen das Licht und generieren in Gesamtheit eine zweidimensionale Lichtverteilung. Die Anzahl der Facetten entspricht der Anzahl der Pixel auf der Straße. Durch die mechanische Bewegung um nur eine Achse sinken die Anforderungen an die Modulation des Lasers. Die Problematik des schnellen Scannens in der zweiten Dimension entfällt gänzlich. Neben funktionalen Vorteilen ist die schmale Lichtaustrittsfläche ein stilistisches Merkmal.



Die besondere Herausforderung bei der Entwicklung des Facettenreflektors besteht darin, die Facettengröße zu minimieren, einen Trade-Off aus Anzahl der Pixel und Größe des Aufbaus zu finden, den Facetten einzeln ihre auszuleuchtenden Raumwinkelbereiche zuzuweisen, die Steuerung des Lasers anzupassen und das System hinsichtlich Auflösung und Kontrast zu optimieren.

# Laser Headlamps for Automotive Applications – Scanning Laser System Using a One-Dimensional Facetted Reflector

Jan Müller, *Karlsruher Institut für Technologie*  
Marcel Bursy, *L-LAB, Lippstadt*;  
Jörg Wallaschek, *Leibniz Universität Hannover*  
*uxdrs@student.kit.edu, marcel.bursy@l-lab.de*

High-resolution light modules offer the opportunity of generating light functions which are adapted to the driving situation, for example a glare-free high beam can be realized. In principle there are various methods to generate a desired light distribution. With the additive principle the basic distribution is dark, but light will be intentionally directed to the desired area. With the subtractive principle the basic distribution is bright, but light will be absorbed where it is not needed. Additive systems are therefore more efficient.

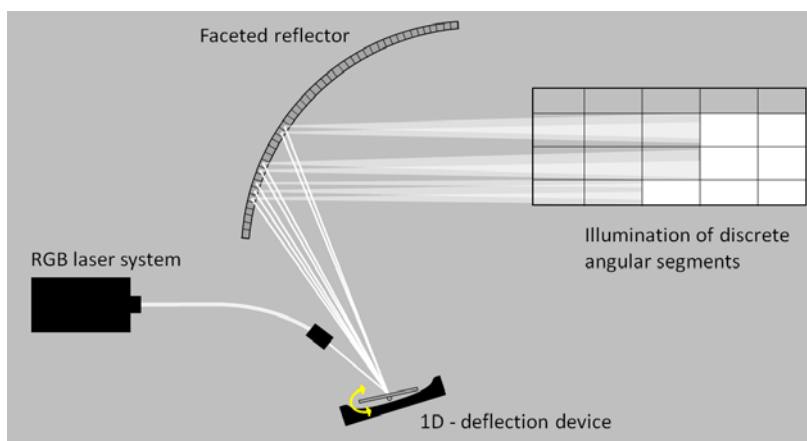
The scanning laser system we develop works by using a deflection unit to address the laser beam to the desired angular range. By using a timed modulation of the laser, the desired light distribution is formed. Therefore, scanners use the additive principle and are particularly efficient from an energetic point of view. At the same time, they offer higher resolution compared to other additive systems, for example LED matrix systems.

The laser must scan the whole illuminated area in a specific amount of time, so the observer's eye will perceive the laser spots displaced in time as a stable illumination. Current approaches of scanning systems are mostly based on scanning in two directions. The second direction demands a deviation frequency of the mechanical system that is a multiple of the frame rate. The high frequencies place high demands on both the mechanical system and the modulation of the laser.

The presented approach reduces complexity. A light beam from an RGB laser is deflected in one plane by a moveable mirror. The oscillating beam hits a facetted widening optics. Every facet on the mirror array forms the light and together they generate a two-dimensional light distribution. The number of facets corresponds to the number of pixels on the street.

Laser modulation is less challenging due to movement in one axis only. The problem of fast scanning in the second dimension is completely eliminated. Beside functional advantages, the small optics and the narrow light-emitting surface are stylistic features.

In further development and improvement, the facet size will be decreased and a trade-off between number of pixels and assembly space will be determined. Apart from further optics development the laser modulation will be implemented and the system will be optimised concerning contrast and resolution.



# Hochauflösende scannende Laserscheinwerfer mit akustooptischen Deflektoren und optimiertem Optikdesign

Aysenur Alp, Marcel Bursy, L-LAB, Lippstadt  
Jörg Wallaschek, Leibniz Universität Hannover

[aysenur.alp@ruhr-uni-bochum.de](mailto:aysenur.alp@ruhr-uni-bochum.de), [marcel.bursy@l-lab.de](mailto:marcel.bursy@l-lab.de)

In der Automobilbeleuchtung wurde in den letzten Jahren die Sicherheit des Fahrers durch adaptive Lichtsysteme erhöht, die an die Fahrsituation angepasste Lichtverteilungen erzeugen. An dieser Stelle könnten Laser aufgrund ihrer geringen Größe, hohen Reichweite und Leistung große Fortschritte erzielen. Wenn Laser mit einem Scansystem im Scheinwerfer kombiniert werden, entstehen neue technologische Möglichkeiten. Beim Scannen wird das Licht horizontal und vertikal in verschiedenen Winkelbereichen abgelenkt, um gewünschte Lichtverteilungen zu erhalten. Die hohe Intensität des Strahls kann sowohl für die gewünschte Beleuchtungsanwendung als auch für eine hochauflösende Projektion von Symbolen vor dem Fahrzeug genutzt werden.

In diesem Beitrag beschreiben wir einen neuartigen Aufbau für scannende Laserscheinwerfersysteme und zeigen, wie damit vielversprechende neue Lichtfunktionen realisiert werden können. Unser System basiert auf einer Mechanik-freien Ablenkvorrichtung in der ein akustooptischer Deflektor (AOD) zur Ablenkung genutzt wird. Ziel ist es dabei, hochdynamische und hochauflösende Lichtverteilungen mit zwei akustooptischen Elementen zu realisieren, die den Strahl eines RGB-Lasers in horizontaler und vertikaler Richtung ablenken. Die Ablenkung des Lichts erfolgt über den akustooptischen Effekt nach der Bragg-Bedingung und durch Beugung, so dass auf mechanisch bewegte Spiegel verzichtet werden kann. Da die Beugungsphänomene stark von der Wellenlänge abhängig sind, ist die chromatische Überlappung der roten, blauen und grünen Wellenlängen problematisch. Infolge dessen haben die AODs einen kleinen Auslenkungsbereich. Der gewünschte Öffnungswinkel für Automobilanwendungen erfordert einen Ablenkungsbereich, der ein Vielfaches des Scanwinkels der AODs beträgt. Deshalb verwenden wir in unserem System eine speziell entwickelte optimierte Optik. Da die Winkelauflösung des Systems stark von dem Divergenzwinkel des Strahls abhängt, ist das Optikdesign sehr anspruchsvoll. Es musste ein Optimum zwischen der Strahldivergenz und einem großen Sichtfeld mit gutem Kontrast gefunden werden. Als Randbedingung beim Optikdesign wurde die Bauraum-Integration in ein Mechanik-freies, kompaktes und effizientes Laserscheinwerfersystem zugrunde gelegt und das Optimierungsziel bestand darin, eine möglichst hohe Auflösung und guten Kontrast zu erreichen.

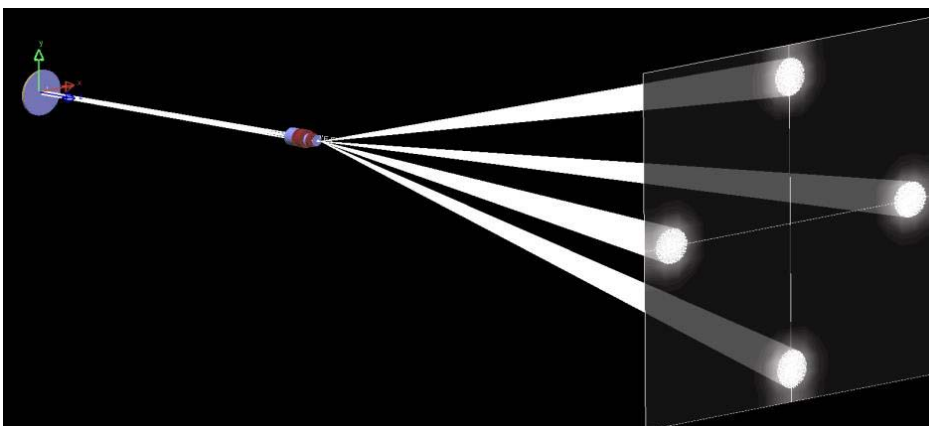


Abb.1: Erste Simulation des Versuchsaufbaus in LightTools: RGB-Laserstrahl mit geringer Divergenz durchläuft die Optik nach der Ablenkung durch die AODs.



# High-Resolution Laser Scanning Headlamps with Acousto-Optic Deflectors and Optimized Optics Design

Aysenur Alp, Marcel Bursy, L-LAB, Lippstadt  
Jörg Wallaschek, Leibniz Universität Hannover

[aysenur.alp@ruhr-uni-bochum.de](mailto:aysenur.alp@ruhr-uni-bochum.de), [marcel.bursy@l-lab.de](mailto:marcel.bursy@l-lab.de)

Over the last years in automotive lighting technology the safety of the driver has been significantly increased by “adaptive lighting systems”. This expression can be clarified as optimising the light distribution and creating desired illumination patterns adapted to the driving situation. Lasers were brought on stage to make a major progress due to their small size, high range and power. When lasers are combined with a scanning system in the headlamp, new technological possibilities arise. The scanning process can be explained as deflecting the light horizontally and vertically in different angular ranges to obtain the desired light distribution. The high luminous intensity of the beam can be used both for the desired lighting application and for a high-resolution projection of symbols in front of the vehicle.

In this contribution we show a unique and innovative setup for scanning headlight systems and its promising features. Our innovative approach is based on a deflection device with a mechanical-free configuration in which an Acousto-Optic Deflector (AOD) is used for deflection. The goal is to realise high dynamic and high-resolution light distributions with two acousto-optic devices that deflect the beam of an RGB laser in horizontal and vertical directions. The deflection of light is carried out via the acousto-optic effect based on Bragg’s law and diffraction so that mechanically moved mirrors or similar devices can be avoided. Since the diffraction phenomena are strongly dependent on the wavelength there is a difficulty emerging from the chromatic overlap of the red, blue and green wavelengths. As a result, the AODs have a small deflection range. The desired field of view (FOV) for automotive applications requires a deflection range which is multiple times higher than that of the AODs. Because of this we use a specially designed optimised optical system. Since the system’s angular resolution is strongly dependent on the divergence angle of the beam, the optics design is very challenging. An optimum had to be found between the beam divergence and a large FOV with good contrast. The boundary condition for the optical design was the integration of the installation space into a mechanical-free, compact and efficient laser headlamp system. Its design is optimised for high resolution and good contrast.

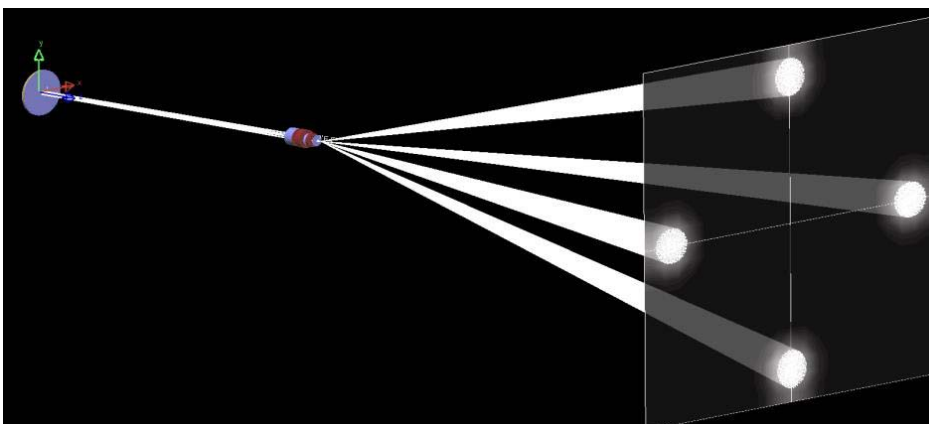


Fig.1: First simulation of the experimental setup in LightTools: Low divergence RGB laser beam passing through optics after deflection by AODs.

## **Simulation und Design mikrostrukturierter Linsen für automobiler Scheinwerfer**

*Dennis Zimmermann, HELLA GmbH & Co. KGaA, Lippstadt  
dennis.zimmermann@hella.com*

*Cornelius Neumann, Lichttechnisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe*

Aufgrund der größer werdenden Individualität von Scheinwerfern müssen deren Entwicklungskosten und -zeiten immer weiter reduziert werden, um einen wirtschaftlichen Prozess zu erreichen. Einerseits müssen die Kundenanforderungen erfüllt, andererseits Gesetzesvorgaben wie ECE oder FMVSS eingehalten werden. Unter anderem definieren diese Vorschriften das Verhalten des Übergangs von dem hellen in den dunklen Bereich der Scheinwerfer-Lichtverteilung, der sogenannten Hell-Dunkel-Grenze. Der Gradient der Hell-Dunkel-Grenze muss dabei innerhalb eines gesetzlich vorgegebenen Bereiches liegen.

Um die Härte der Hell-Dunkel-Grenze einzustellen, werden die Oberflächen der Linsen von Scheinwerfer-Projektionssystemen mit stochastischen Strukturen moduliert, deren Amplituden im Bereich von wenigen Mikrometern liegen. Ohne Struktur würde die Hell-Dunkel-Grenze zu hart ausfallen und der Scheinwerfer keine Zulassung erhalten. Durch die Struktur wird ein Teil des Lichtes gestreut, sodass die Hell-Dunkel-Grenze aufweicht. Die Herausforderung liegt darin, ausreichend Licht zu streuen, um eine gesetzeskonforme weiche Hell-Dunkel-Grenze zu erhalten, jedoch ohne durch das gestreute Licht den Gegenverkehr zu blenden.

In diesem Beitrag wird erläutert, wie mikrostrukturierte Flächen im CAD und in der lichttechnischen Simulationsumgebung dargestellt werden. Aktuell basiert die Auslegung der Mikrostrukturen auf einem „try-and-error“-Verfahrens. Um eine automatisierte Auslegung der Strukturen zu erreichen, musste die Simulationszeit reduziert werden. Die dazu veränderte Simulationsmethodik wird präsentiert. Die Anwendung von Optimierungsalgorithmen zur automatisierten Bestimmung geeigneter Strukturen wird erläutert und erste Ergebnisse präsentiert.

# Simulation and Design of Microstructured Lenses Used in Automotive Headlamps

*Dennis Zimmermann, HELLA GmbH & Co. KGaA, Lippstadt  
dennis.zimmermann@hella.com*

*Cornelius Neumann, Lichttechnisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe*

Due to the increasing individuality of headlamps, their development costs and times must be reduced further to achieve an economical process. On the one hand, customer requirements must be met, on the other hand, legal requirements such as ECE or FMVSS has to be fulfilled. Among other things, these regulations define the behavior of the transition from the light to the dark area of the headlamp light distribution, the so-called cut-off line. The gradient of the cut-off line has to be within a statutory specified range.

To adjust the hardness of the cut-off line, the surfaces of the lenses of projection headlamps are modulated with stochastic structures whose amplitudes are in the range of a few micrometers. Without the structure, the cut-off line would be too hard and the headlamp would not be approved. The structure scatters a portion of the light, so that the cut-off line is softened. The challenge is to scatter enough light to achieve a statutory compliant soft cut-off line, but do not glare oncoming traffic.

This article explains how microstructured surfaces are represented in CAD and the optical simulation environment. Currently, the design of microstructures is based on a try-and-error process. To achieve an automated design of the structures, the simulation time had to be reduced. The modified simulation methodology is presented. The application of optimization algorithms for the automated determination of suitable structures is explained and first results are presented.

## **Lichttechnische Eignungsprüfung von Retrofit-LEDs als Ersatz für Halogenleucht Lampen in Kfz-Scheinwerfern**

*Anil Erkan, M.Sc., Dr.-Ing. Jonas Kobbert, Dr.-Ing. Kyriakos Kosmas,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh  
Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik  
erkan@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

Die Licht-emittierende-Diode (LED) gewinnt in der Beleuchtungsindustrie stetig an Bedeutung. Dieser Trend kann sowohl im Haushalt als auch in der Automobilindustrie beobachtet werden. Durch die Verwendung von sogenannten Retrofit-LEDs erfolgt bereits seit einigen Jahren der Umstieg von konventionellen Glühlampen zu LED-Leuchtmitteln im Haushalt. Durch bereits verfügbare Retrofit-LEDs wäre auch in der automobilen Lichttechnik ein Umstieg von Halogenleuchtmitteln auf Retrofit-LEDs technisch möglich. In Deutschland und Europa fehlen derzeit jedoch die rechtlichen Rahmenbedingungen für solch eine Zulassung.

Dabei könnten sich durch die Verwendung von Retrofit-LEDs theoretische Vorteile wie erhöhte Sichtweiten und bessere Detektionsmöglichkeiten ergeben. Diese Vorteile würden aus dem erhöhten Lichtstrom und der kälteren Lichtfarbe der Retrofit-LED resultieren. Andererseits kann durch die Verwendung von Retrofit-LEDs das Blendpotential steigen, da eine Veränderung der Lichtverteilung des Leuchtmittels zu einer Veränderung der Lichtverteilung des Scheinwerfers führt.

Mit der durchgeführten Untersuchung wird eine Aussage bezüglich der Sicherheitserhöhung im nächtlichen Straßenverkehr durch die Verwendung von aktuell verfügbaren Retrofit-LEDs getroffen. Hierfür werden photometrische Messungen im Labor und ein Feldtest durchgeführt und ausgewertet.

Die Analyse der Ergebnisse aus den photometrischen Messungen der Leuchtmittel beinhaltet die Überprüfung der Mindestanforderungen, die durch die Retrofit-LEDs erfüllt werden müssen um als potentieller Ersatz für die Halogenleucht Lampen geeignet zu sein. Hierzu werden die Retrofit-LEDs nach den gesetzlichen Regelungen für Halogenleucht Lampen vermessen und bewertet. Dabei werden die Leuchtmittel sowohl isoliert als auch im Gebrauch innerhalb des Gesamtscheinwerfersystems betrachtet. Die photometrischen Messungen beinhalten neben der Messung der Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) und des Lichtstroms der Leuchtmittel die Messung der Lichtverteilung des Gesamtscheinwerfersystems.

In einem Feldtest werden die Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen validiert. Hierzu werden Testfahrten für die Untersuchung des Blendpotentials durchgeführt und ausgewertet.

## **Photometric Suitability Testing of Retrofit LEDs as a Replacement for Halogen Bulbs in Vehicle Headlamps**

*Anil Erkan, M.Sc., Dr.-Ing. Jonas Kobbert, Dr.-Ing. Kyriakos Kosmas,  
Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh  
Technische Universität Darmstadt, Laboratory of Lighting Technology  
erkan@lichttechnik.tu-darmstadt.de*

The light-emitting diode (LED) is becoming increasingly important in the lighting industry. This trend can be observed both in the household and in the automotive industry. The use of so-called retrofit LEDs has already led to the switch from conventional incandescent lamps to LED lamps in the household for several years. Retrofit LEDs already available would also make it feasible to switch from halogen lamps to retrofit LEDs in automotive lighting technology. In Germany and Europe, there is currently no legal framework for such an approval.

The use of retrofit LEDs could result in theoretical advantages such as increased visibility and better detection possibilities. These advantages derive from the increased luminous flux and the colder colour of light from the retrofit LED. On the other hand, the use of retrofit LEDs can increase the glare potential, since a change in the light distribution of the light source leads to a change in the light distribution of the headlamp.

With the investigation executed, a statement is made regarding the safety increase in night-time road traffic through the use of currently available retrofit LEDs. For this purpose, photometric measurements in the laboratory and a field test are carried out and evaluated.

The analysis of the results from the photometric measurements of the light sources includes the verification of the minimum requirements, which have to be fulfilled by the retrofit LEDs in order to be suitable as a potential replacement for the halogen incandescent lamps. For this purpose, the retrofit LEDs are measured and evaluated in accordance with the statutory regulations for halogen incandescent lamps. The light sources are considered both isolated and in use inside the overall headlamp system. The photometric measurements include the measurement of the light distribution curve (LDC) and the luminous flux of the light sources and the measurement of the light distribution of the overall headlamp system.

The results of the laboratory tests are validated in a field test. For this purpose, test drives for the investigation of the glare potential are carried out and evaluated.

## **Dynamisch RGB beleuchtetes EDAG Fahrzeugherstelleremblem**

*Jannes Buthmann, EDAG Wolfsburg  
jannes.buthmann@edag.com*

In der Fahrzeugentwicklung ist neben Sicherheit, Funktionalität und innovativer Technik der Aspekt der im Fahrzeug verbauten Lichttechnik von zunehmender Bedeutung. Durch die Automobilbranche zieht sich derzeit ein Wettlauf der verschiedenen OEMs im Bereich der Lichttechnik. Abgesehen von Ambientebeleuchtungen im Fahrzeuginterieur werden auch vermehrt Lichtlinien oder beleuchtete Elemente im Exterieur installiert.

In mehreren Konzeptstudien der OEMs sind bereits einfarbig beleuchtete Herstelleremblem in den Fahrzeugen zu erkennen. Diese bringen zwar einen „Eye-Catcher“-Effekt mit sich, tragen jedoch nicht zu einer Erweiterung des Funktionsumfangs eines Fahrzeugs bei. Schon seit geraumer Zeit gibt es von den OEMs und auch den Zulieferern Konzepte, in denen die Übermittlung von anderen Informationen wie Stauanzeige oder auch Fahrzeugzustand eine tragende Rolle spielt. Dabei ist auch die Darstellung eines Ladezustandes oder Ladefüllstandes im Hinblick auf die Elektromobilität denkbar. Besonderes Innovationspotenzial bietet demnach die Integration der Informationsübermittlung in die Darstellung eines beleuchteten Emblems. Farbverläufe im Fahrzeugherstelleremblem können dazu dienen, dem Betrachter im Fahrzeugumfeld nützliche Informationen zu übermitteln und gleichzeitig das Nachtdesign eines Fahrzeuges zu prägen.

Maßgebendes Güte Merkmal einer Ambientebeleuchtung ist neben der Zielhelligkeit oder der Farbtreue die Homogenität. Da für die Bewertung der Homogenität in der Fahrzeugentwicklung bisher nur wenig vergleichbare und objektive Bewertungsverfahren angewandt werden, wird für die Bewertung der leuchtenden Flächen des Herstelleremblems eine Berechnungsmethode zur Ermittlung der mittleren Homogenität verwendet.

Das entwickelte dynamisch beleuchtete RGB-Emblem verkörpert somit großen einen Teil des EDAG Know-hows in der automobilen Lichttechnik. Mit Start des Projektes in der Konzeptentwicklung bis hin zur Evaluation des virtuellen Prototypen.

## Dynamic RGB Illuminated EDAG Vehicle Manufacturer Emblem

*Jannes Buthmann, EDAG Wolfsburg  
jannes.buthmann@edag.com*

In vehicle development next to safety, functionality and innovative technology the aspect of light technology is of increasing importance.

The automotive industry is currently running a race of various OEMs in the field of lighting technology. Apart from ambient lighting in the vehicle interior the number of installed lightdesings or illuminated emblems is uprising. Many concepts studies of OEMs already have shown one colored illuminated emblems. These emblems don't involve extra functionality next to the basic "eye-catcher"-effect. For some time there are concepts of OEMs and suppliers to join functions of exterior lighting and information transfer, for example traffic jam or vehicle status, in the car. It would be also possible to transfer information as battery or charging status, regarding to electric mobility, to the vehicle environment with an illuminated emblem.

Therefore special potential for innovation is given trough the integration of the transfer of information into an illuminated emblem. For example color changes in the illuminated area, could show battery status or could support the night design of the vehicle.

For the evaluation of illuminated shapes, next to brightness and color trueness, the homogeneity is a decisive criterion. In the automotive industry the evaluation of illuminated shapes is still not very objective and not comparable. To prevent such problems the illuminated emblem is going to be evaluated with a new calculation method for the mean luminance of illuminated shapes.

The developed illuminated emblem is representing a large part the EDAG know-how in automotive lighting technology. With the start of the project in the concept development up to the evaluation of a virtual prototype.

## **Projektionen mit einem scannenden RGB-Laserscheinwerfer**

*Roman Danov, Volkswagen Konzernforschung  
Dr. Eugen Thiessen, Volkswagen Osnabrück  
roman.danov@volkswagen.de*

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes Kooperativer Laserscheinwerfer (KoLa) wird in der Volkswagen Konzernforschung ein innovativer scannender RGB-Laserscheinwerfer entwickelt. Dieser erlaubt die Umsetzung der klassischen Lichtfunktionen, wie beispielsweise maskiertes Dauerfernlicht und kann die Form und Farbtemperatur der Lichtverteilung mit hoher Präzision dynamisch der Fahrsituation anpassen. Darüber hinaus lassen sich beliebig farbige Projektionen vor dem Fahrzeug zur Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern realisieren. Dieser Aspekt wird insbesondere für automatisierte Fahrzeuge wichtiger. Im Paper wird über die Systemanforderungen für die Projektionen sowie über Qualität der Projektionen anhand Licht-Simulationsdaten diskutiert.



## **Projectionen by a Scanning RGB Laser Headlamp**

*Roman Danov, Volkswagen Konzernforschung  
Dr. Eugen Thiessen, Volkswagen Osnabrück  
roman.danov@volkswagen.de*