

# Lux junior 2015

12. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs 25. bis 27.9.2015 Dörnfeld/Ilm

## Abstracts



Deutsche Lichttechnische  
Gesellschaft e.V.



UNESCO  
Internationales Jahr des  
Lichts



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

Lux junior 2015

# **Abstracts**

12. Forum für den lichttechnischen Nachwuchs

25. bis 27. September 2015  
Dörfeld bei Ilmenau

**Veranstalter:**

Technische Universität Ilmenau  
Fakultät für Maschinenbau  
Fachgebiet Lichttechnik

und

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

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

ISBN: 978-3-927787-51-3



## **Freitag, 25.9.2015 Schulungsvorträge/Vorträge (Lectures/Presentations)**

11:30	<b>Mittagessen (Lunch)</b>	
13:00	<b>Eröffnung (Opening)</b>	
13:15	<b>Roland Greule</b> (Hamburg): Planung von Bühnen- und TV-Beleuchtung mit photometrischen Daten (Planning of stage and TV lighting with photometric data)	9
13:45	<b>Andreas Bielawny</b> (Paderborn): Praxis der Lichtsimulation im Computer: Lichtverteilung und Erscheinungsbild (Lighting Simulation and Visualization - Practical Aspects)	11
14:15	<b>Uwe Slabke</b> (Bensheim): Grundlagen der LED-Anwendung	13
14:45	<b>Cornelia Moosmann</b> (Karlsruhe), <b>Cornelia Vandahl</b> (Ilmenau): LitG-Fragebogen zur Bewertung von Lichtsituationen (LiTG Questionnaire for the evaluation of lighting situations)	15
15:15	<b>Kaffeepause (Coffee Break)</b>	
16:15	<b>Norbert Fernkorn</b> (Goslar): Integration transparenter Nanostrukturen in Lichtleiter zur Seitenlicht-einkopplung für bildschirmarbeitsplatz-gerechte Beleuchtung gemäß DIN EN 12464-1 (Integration of transparent nano structures into light guides for illumination of video based workplaces according EN 12464-1)	17
16:30	<b>Siegfried R. Bratner, Holger A. Jakstat</b> (Leipzig): Visuelle Zahnfarbdifferenzierung Lehren und Lernen – ein Curriculum (Teaching and Learning visual tooth shade discrimination – a Curriculum)	19
16:45	<b>Ingo Rotscholl, Cornelius Neumann</b> (Karlsruhe): Die Farbtemperatur in der Lichttechnik (Colour Temperature in Lighting Technology)	21
17:00	<b>David Ruland</b> (Hildesheim): Wirken Lichtfarben und Körperfarben unterschiedlich? (Act body colors and light colors differently?)	23
17:15	<b>Carsten Funke</b> (Ilmenau): Erweiterung des UGR-Blendungsbewertungsverfahrens für strukturierte LED-Leuchten (Extension of the Unified Glare Rating Formula for Non-Uniform LED Luminaires)	25
17:30	<b>Aicha Diakite</b> (Berlin) Daylight as a design tool to create sustainable urban forms	27
19:00	<b>Abendbuffet (Dinner)</b>	

7:30	<b>Frühstück (Breakfast)</b>	
9:00	<b>Iva Petrinska, Valchan Georgiev, Dilian Ivanov</b> (Sofia (BG): Optimizing Lighting Energy Savings in Public Buildings through Maximal Use of Day-light	29
9:15	<b>Oliver Ebert, Bert Junghans</b> (Dornbirn); <b>David Geisler-Moroder, Matthias Werner</b> , (Innsbruck) DALEC - Konzeptanalysetool für ganzheitliche Lichtplanung - Kunstlichtparameterstudie am Standort Erfurt (DALEC - Concept analysis tool for integrated lighting design - Study for artificial light parameters at Erfurt location)	31
9:30	<b>Inga Rothert</b> (Berlin): Einfluss des Lichts auf die Aufmerksamkeit des Menschen am Tag (Influence of Light on human attention during the day)	33
9:45	<b>Jan Krüger</b> (Dresden), <b>Armin Windel</b> (Dortmund): Lichtrichtung und Schattigkeit beeinflussen visuomotorische Leistung (Shadow characteristics of indoor lighting influence visuomotor performance)	35
10:00	<b>Danny Büchel, Rüdiger Hennig</b> (Leipzig): Rekonstruktion von historischen Lichtwerbeanlagen an ausgewählten Beispielen (Reconstruction of historical illuminated advertising systems at specific examples)	37
10:15	<b>Präsentation aller Poster (Poster Presentations)</b>	
10:15	<b>Ingo Herzog, Oliver Dannberg, Richard Roeder, Benjamin Rudolf, Alexander Behr</b> (TU Ilmenau) : Entwicklung eines Versuchstandes zum Ermitteln der Leuchtdichten von Fahrradscheinwerfer mit der LMK nach DIN 33958 (2013) (Development of a test facility to determine the luminance of bicycle headlight with the LMK in accordance with DIN 33958 (2013))	39
10:20	<b>Iva Petrinska, Dilian Ivanov Dimitar Pavlov, Kamelia Nikolova</b> (Sofia): Road Surface Reflection Properties of Typical for Bulgaria Pavement Materials	41
10:25	<b>Felix Börner</b> (Ilmenau): Die Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte bei inhomogenen Umfeldern über die Messung der Schwarzschwelle (Determination of the adaptation luminance under non - homogenous luminance distributions while measuring the luminance of subjective black)	43
10:30	<b>Sebastian Hesse, Frank Hofmann</b> (Brand-Erbisdorf): Hofmann Effiziente Lichtlösungen für Anwendungen in der Industrie mit Leuchtstoff- und LED – Lampen	45
10:45	<b>Kaffeepause und Posterbesichtigung (Coffee Break)</b>	

11:30	<b>Philipp Schneider, Armin Sperling, Katharina Salfner, Saulius Nevas</b> (Braunschweig): Grundlagen einer neuen Realisierung der SI-Basiseinheit „Candela“ (Towards a new realization of the SI-base unit “Candela”)	47
11:45	<b>Kamelia Nikolova, Bojana Florian, Nikolina Yaneva, Petya Djanovska, Iva Petrinska, Dimitar Pavlov</b> (Sofia): Spectral Correction of Photoelements for Measurement of Radiation in the Blue Light Spectrum	49
12:00	<b>Katharina Salfner, Philipp Schneider and Saulius Nevas</b> (Braunschweig): Characterisation of a room temperature quantum efficient detector for application as primary standard for radiometry	51
12:15	<b>Roman Dubnička, Dionýz Gašparovský</b> (Bratislava, SK): Mesopic Illuminance Meter Based on CCD Fibre-Optics Spectroradiometer	53
12:30	<b>Benjamin Ruggaber, Udo Krüger, Franz Schmidt</b> (Ilmenau): Entwicklung einer Hyperspektralkamera unter Verwendung von Filtertechnologien mit stark vom Einfallswinkel des Lichts abhängigem Transmissionsverhalten (Development of a Hyperspectral Camera Using Optical Filters with Strong Angular Dependent Transmittance)	55
12:45	<b>Mittagspause (Lunch Break)</b>	
14:00	<b>Peter Janiga, Lukáš Lipnický, Dionýz Gašparovský, Anton Beláň, Michal Barčík</b> (Bratislava, SK): Inrush current of lamp	57
14:15	<b>Oliver Maak</b> (Ilmenau): Erstellung und Umsetzung eines Lichtkonzeptes für ein Satellitenbeobachtungsgerät (Creation and implementation of a lighting concept for a satellite observation unit)	59
14:30	<b>Marc de Wille, Christian Jebas</b> (München) <b>Cornelius Neumann</b> (Karlsruhe): Subjektive Bewertungskriterien von Abblendlichtverteilungen aus der Sicht von Fahrzeugführern (Subjective appraisal criteria of low-beam distributions)	61
14:45	<b>Robin Hofner, Steffen Michenfelder, Cornelius Neumann, Iulia Cristea</b> (Karlsruhe): Ausblendungsstrategien von adaptiven Scheinwerfersystemen (Investigation on Deglare Spots of Adaptive Front-lighting Systems)	63
15:00	<b>Christian Werner</b> (Nürnberg), <b>Benedikt Kleinert, Michael Marutzky, Sven Bogdanow</b> (Gifhorn), <b>Christoph Schierz</b> (Ilmenau): Blendfreie dynamische Abblendlichtverteilung für Kfz-Scheinwerfer – Anforderungen und Validierung (Glare free dynamic low beam light distribution for automotive head-lamps – Requirements and validation)	65

15:15	<b>Kaffeepause (Coffee Break)</b>	
16:15	<b>Sören Schäfer</b> (Lippstadt): ASSIST – Die erste Generation selbstjustierender Scheinwerfer (ASSIST – The first self-adjusting headlamp generation)	67
16:30	<b>Maximilian Barthel, Sebastian Thomschke, Gunnar Koether</b> (Wolfsburg), <b>Cornelius Neumann</b> (Karlsruhe): Ambiente Innenraumbeleuchtung und Aufmerksamkeitslenkung in Fahrzeugen (Ambient interior lighting and attention control in vehicles)	69
16:45	<b>Julien Hansen, Benjamin Willeke, Sören Schäfer</b> (Lippstadt): Konzeptentwicklung und Realisierung einer breitbandigen Laserlichtquelle unter Ausnutzung von Nichtlinearitäten (Concept development and realization of a broad-band laser light source using non- linearities)	71
17:00	<b>Britta Schwanz, Michael Marutzky, Benedikt Kleinert, Sven Bogdanow</b> (Gifhorn) Messsystemanalyse eines Leuchtdichtekamera-basierten Scheinwerferprüfstands (Measurement systems analysis on a luminance camera-based test bench for head- lamps)	73
17:15	<b>Iva Petrinska, Dilian Ivanov, Dimitar Pavlov</b> (Sofia, BG): Estimation of the Reflectance Properties of Real Materials Used for Buildings' Facades	75
18:45	<b>Abendessen (Dinner)</b>	

8:00	<b>Frühstück (Breakfast)</b>	
9:15	<b>Orlin Lyubomirov Petrov</b> (Ruse, BG) Application of Modern Street Lighting with COB LED's	77
9:30	<b>Christian Schön</b> (Lippstadt): Optik in der Luftfahrt (Optics in Aerospace)	79
9:45	<b>Michal Barčík, Dionýz Gašparovský</b> (Bratislava): Proposal for standardization of switching and control profiles in public lighting	81
10:00	<b>Sandy Buschmann</b> (Berlin): Der LEDLaufsteg in Berlin - Forschung und Innovationen auf einer einzigartigen Demonstrationsstrecke (The LEDLaufsteg in Berlin - Research and innovations on a unique demonstration road)	83
10:15	<b>Kaffeepause (Coffee Break)</b>	
11:15	<b>Lukáš Lipnický, Dionýz Gašparovský</b> (Bratislava, SK): Calculation of the photometric parameters in public lighting	85
11:30	<b>Sebastian Schade</b> (Berlin): Lichtverteilungen in der Straßenbeleuchtung - Konflikt von Sicherheit und Energieeffizienz (Light Distributions in Road Lighting – Conflict of Traffic Safety and Energy Efficiency)	87
11:45	<b>Mathias Niedling</b> (Berlin): LEDs in der Straßenbeleuchtung – der Einfluss des Abstandes zwischen diesen auf die Blendung (LEDs in street lighting – the influence of the distance between them and glare perception)	89
12:00	<b>Juri Steblau</b> (Berlin): Ein sichtbarkeitsorientiertes Bewertungsverfahren von Straßenbeleuchtungsanlagen im dynamischen Fall (Visibility-oriented evaluation method of road lighting in the dynamic case)	91
12:15	<b>Verabschiedung und Mittagessen (Closure and Lunch)</b>	



## **Planning of stage and TV lighting with photometric data**

*Prof. Dr.-Ing. Roland Greule, HAW-Hamburg, Fakultät DMI, Department Medientechnik, Finkenau 35, 22081 Hamburg*

In the field of stage, show and TV-Lighting we used for planning and pre-visualization of large events more and more lighting simulating programs. In addition to programs such as Relux or Dialux, we used programs such as Vectorworks, 3ds Max and special proprietary programs as grandMA 3D, Wysiwig and Martin Showdesigner.

In view to photometric data in stage and TV-shows it has done much. Earlier we have (if at all) only two-dimensional photometric data of stage and TV-lighting, to calculate the Illuminance levels, depending on distance. Today we get the photometric data from spotlights from the leading manufactures as ETC, Martin et al ARRI in Eulumdat oder IES data format, and we can directly import this data in programs such as Relux and Dialux. So it is possible that we can plan correctly large TV and stage shows with photometric data of the spotlights. Unfortunately, some of the above programs cannot import or work with Eulumdat or IES data and cannot calculate Luminance or Illuminance levels. But this programs (grandMA 3D, Wysiwig and Martin Showdesigner) have the advantage that they can render in real time and have the possibility to control the lights by a lighting control console und can represent light and color changes in real time.

Some lighting designers take the possibility of calculating with correct photometric data and make their pre-planning and pre-visualization with the programs like Relux. A current example is the 1st European Games from mid to late June 2015 in Baku. The sporting event has sports like fencing, boxing and swimming and the opportunity for direct qualification to the Summer Olympics in Rio de Janeiro.

The German lighting designer Olli Olma and the staff of his company Mo2 in Cologne have planned specially for the fencing events and the boxing matches the selected spotlights with the program Relux, to present the International Olympic Committee or respective TV channels that the required vertical Illuminance of 1400 lx will be achieved. On site in Baku they have only had to be just fine-tuned and focused the spotlights.

Another prominent example for lighting design with photometric data was the redesign of the NDR-studio (320 m<sup>2</sup>) for Tagesschau and Tagesthemen in April 2014 with 85 ARRI-LED-headlights of the type LC-7. In the main position C eleven ARRI headlights only are used for this moderation position alone. All this, of course, planned and simulated with photometric data.

## Planung von Bühnen- und TV-Beleuchtung mit photometrischen Daten

*Prof. Dr.-Ing. Roland Greule, HAW-Hamburg, Fakultät DMI, Department Medientechnik, Finkenau 35, 22081 Hamburg*

Im Bereich der Bühnen-, Show- und TV-Beleuchtung werden seit einiger Zeit zur Planung und zur Previsualisierung von großen Events Lichtsimulationsprogramme eingesetzt. Neben Programmen wie Relux oder Dialux, kommen dabei auch Programme wie Vectorworks, 3ds Max und spezielle firmeneigene Programme wie grandMA 3D, Wysiwig und Martin Showdesigner zum Einsatz.

Dabei hat sich im Bühnen- und TV-Bereich bezüglich der photometrischen Daten sehr viel getan. Während es früher meist (wenn überhaupt) nur zweidimensionale photometrische Daten der Bühnen- und TV-Scheinwerfer gab, aus denen man maximal die Beleuchtungsstärken, abhängig von der Entfernung, ablesen konnte, stellen heute die führenden Scheinwerferhersteller wie z.B. ETC, Martin, ARRI u.a. die LVK-Daten ihrer Scheinwerfer in Eulumdat und IES-Datenformat zur Verfügung, so dass man mit Programmen wie Relux und Dialux direkt die photometrischen Daten einlesen kann.

Somit ist es möglich, dass mit den photometrischen Daten der Scheinwerfer gearbeitet und die großen TV- und Bühnenshows lichttechnisch korrekt geplant werden können. Manche der oben genannten Programme können leider noch nicht Eulumdat oder IES einlesen und verarbeiten, entsprechend kann man mit den Programmen schöne und anschauliche Lichtsimulationen durchführen und präsentieren, jedoch ohne Aussagen zu Beleuchtungsstärken und Leuchtdichten. Dafür haben die Programme wie z.B. grandMA 3D, Wysiwig und Martin Showdesigner den Vorteil, dass sie in Echtzeit rendern und damit über ein Lichtstellpult ansteuerbar sind und Licht- und Farbänderungen in Echtzeit darstellen können.

Manche Lichtdesigner setzen in der Zwischenzeit auf die Möglichkeit mit korrekten photometrischen Daten zu arbeiten und verwenden dies bewusst und konsequent bei ihren Vorplanungen und Vorabvisualisierungen. Aktuelles Beispiel ist die gerade Mitte bis Ende Juni 2015 in Baku durchgeführten 1. European Games (Europaspiele) mit Sportarten wie Fechten, Boxen u.v.a. Die Sportveranstaltung war für mehrere Disziplinen die direkte Qualifikationsmöglichkeit für die Teilnahme an den Olympischen Sommerspielen 2016 in Rio de Janeiro. Der deutsche Lichtdesigner Olli Olma und die Mitarbeiter seiner Firma Mo2 in Köln haben z.B. speziell für die Fechtveranstaltungen und die Boxkämpfe im Vorfeld die von ihnen ausgewählten Scheinwerfer in Relux detailliert geplant und dem Internationalen Olympischen Komitee bzw. dem entsprechenden Fernsehsender präsentiert und nachgewiesen, dass die z.B. beim Fechten geforderte mittlere vertikale Beleuchtungsstärke von 1400 lx erreicht werden. Vor Ort in Baku mussten dann die Scheinwerfer nur noch feinjustiert bzw. fokussiert werden. Weiteres prominentes Beispiel für lichttechnische Planung mit photometrischen Daten war die Neugestaltung des NDR-Studio (320 m<sup>2</sup>) für Tagesschau und Tagesthemen im April 2014 mit insgesamt 85 ARRI-LED-Scheinwerfer vom Typ LC-7. In der Haupt-Moderationsposition C werden alleine 11 der ARRI-Scheinwerfer nur für diese Moderationsposition eingesetzt. Dies alles natürlich vorab lichttechnisch geplant und simuliert.

## **Lighting Simulation and Visualization - Practical Aspects**

*Dr. Andreas Bielawny  
CAE Optical Solutions Group  
Synopsys GmbH  
Technologiepark 19  
33100 Paderborn  
Andreas.Bielawny@synopsys.com*

In ray tracing simulations of lighting setups, there are many ways of creating bad results, or worse - false results. Independent of the level of technology, computer software, or the class of the hardware used - it is always the responsibility of the developing engineer to know what he or she is doing. This article briefly introduces typical flaws and mistakes in raytracing simulations, sketches the relation between simulation and "reality", and tries to incorporate the link to the topics of hardware and approximate modelling impact on the results and the speed of simulations.

## **Praxis der Lichtsimulation im Computer: Lichtverteilung und Erscheinungsbild**

*Dr. Andreas Bielawny  
CAE Optical Solutions Group  
Synopsys GmbH  
Technologiepark 19  
33100 Paderborn  
Andreas.Bielawny@synopsys.com*

In Ray Tracing Simulationen der lichttechnischen Entwicklung gibt es mehr als genug Fallstricke, die zu schlechten oder schlimmstenfalls falschen Ergebnissen führen können. Es ist dabei völlig egal, welcher Entwicklungsstand einer Software, oder welche Computerhardware zum Einsatz kommt - es ist nach wie vor die Aufgabe des lichttechnischen Entwicklers, zu wissen, was er oder sie tut. Dieser Artikel versucht, einen Überblick über typische Fehler oder Kandidaten für Bedienfehler zu geben, ein freundschaftliches Verhältnis von Simulation und Wirklichkeit (was auch immer das sein mag) zu skizzieren, aber auch die Einflüsse von Hardware und Approximationen auf Ergebnisse und Rechengeschwindigkeit als verwandte Themen anzuschneiden.



# Grundlagen der LED-Anwendung

*Dr.-Ing. Uwe Slabke; led institut Dr. Slabke GmbH & Co. KG  
64625 Bensheim, Berliner Ring 93; info@led-institut.de*

## **\_1 Einleitung**

LED Leuchten haben eine immer schnellere Marktdurchdringung. Bei Neuanschaffungen werden in den Ausschreibungen flächendeckend LED Leuchten aufgenommen. Selbst für die effizientesten Systeme mit Leuchtstofflampen wie sie im Büro eingesetzt werden, sind die LED Leuchten im Vormarsch, da sowohl die Effizienz als auch der Preis wettbewerbstauglich ist. Über die erhebliche Wartungsreduzierung aufgrund der hohen Lebensdauer kann sich die Investition in eine LED Beleuchtungsanlage rechnen. Die LED hat heute mit ihrer aktuellen Performance alle konventionellen Lampentechnologien überholt. Es werden in der Serie über 140 lm/W inklusive Vorschaltgeräteverluste mit LED Leuchten erreicht und Laborwerte aus der Vorserienfertigung der LEDs geben eine realistische Tendenz zu 170 lm/W an.

## **\_2 Entscheidungsfindung bei der LED Beleuchtung im Großprojekt**

Eine Entscheidung, ob sich eine Investition in eine konventionelle Beleuchtung mit kompakten Leuchtstofflampen noch rechnet, sollte der Anwender genau durchdenken, da die Preisänderung aufgrund Angebot und Nachfrage bei einem immer höheren Anteil an LED Leuchten zu höheren Folgekosten führen können. Zum Beispiel kann die heute verbotene Glühlampe 60W in matter Ausführung heute als Restposten für den 10fachen Preis von damals erworben werden.

## **\_3 Lebensdauer**

Die Entwicklungstendenzen der LED Technik gehen heute hin zu belastbaren Lebensdaueraussagen in Bezug auf Ausfall der LED, Lichtstromrückgang und die Farbveränderung durch Phosphoralterung. Dies ist wichtig für das Vertrauen der Nutzer in diese noch junge Technologie. Die Ausfallraten sind dabei als sehr gering anzusehen. Der Lichtstromrückgang schon innerhalb der ersten 5000 Stunden kann jedoch bei minderwertigen preiswerten Produkten vorkommen.

In Großprojekten ist deshalb eine Aufnahme des Istzustandes wichtig. Eine Referenzleuchte für Kunde und Hersteller zu definieren ist im Projekt für alle Beteiligten sehr hilfreich. Diese muss in ihren Eigenschaften geprüft und ihre Angaben dann verifiziert werden. Dies betrifft vor allem die Lebensdauererwartung. Basis sind die LM-80 Daten und eine differenzierte TM 21 Analyse.

## **LiTG Questionnaire for the evaluation of lighting situations**

*Cornelia Moosmann (Karlsruhe), Cornelia Vandahl (Ilmenau)*  
*cornelia.moosmann@kit.edu*  
*cornelia.vandahl@tu-ilmenau.de*

Quality features are used for qualitative evaluation of lighting situations. Besides illuminance level, uniformity and glare control, these also include color of light, spatial impression, well-being of users, and much more. Surveys with test subjects are required for the definition of meaningful indicators as well as holistic assessments in most cases. Therefore, questionnaires are used in laboratory and field trials.

These are measurement instruments for users' ratings. Questionnaires must include all questions relevant for the research questions. At the same time, it should include no dispensable questions to avoid stressing the subjects unnecessarily. The questions must be easy to understand by the study participants and must be clearly.

In order to compare and link the results of different studies, as many research groups as possible should work with the same issues. Therefore, a basic questionnaire was developed by a working group of LiTG Expert Forum "Interior Lighting" (EFI). The questionnaire is freely available. The current state is still the trial phase. It is based on different questionnaires, which were used in laboratory or field studies of the authors at the KIT or at TU Ilmenau and has been extended with questions that have been proven in studies at the TU Berlin or the Zumtobel company.

The questionnaire includes 25 questions whose answers will take about 10 minutes. It must be adapted to the specific question of an investigation. Questions that are not relevant for the special research topic need to be removed and additional issues possibly implemented. Depending on the application (laboratory or field investigation), a seven- or five-level scale should be used. Personal data of subjects such as age (in years or year of birth), sex, goggles, should always be collected.

Spatial conditions such as window size or kind of illumination are known in laboratory tests. In field studies, they should be covered as far as possible by the experimenter. Thus, the questionnaire can be kept as short as possible and data such as the orientation of a space (the compass), the dimensions, and the photometric quantities to be examined, can be determined in an appropriate way.

The questionnaire can be requested from the authors. The EFI Working Group looks forward to any use of the questionnaire, as well as any feedback. Only in this way it will be possible to further develop the questionnaire into a reliable instrument.

## **LiTG-Fragebogen zur Bewertung von Lichtsituationen**

*Cornelia Moosmann (Karlsruhe), Cornelia Vandahl (Ilmenau)*  
*cornelia.moosmann@kit.edu*  
*cornelia.vandahl@tu-ilmenau.de*

Zur qualitativen Bewertung von Lichtsituationen dienen Gütemerkmale. Dazu gehören neben Beleuchtungsniveau, Gleichmäßigkeit und Blendungsbegrenzung auch Lichtfarbe, Raumeindruck, Wohlbefinden der Nutzer und vieles mehr. Die Festlegung von dafür sinnvollen Kennzahlen sowie eine gesamtheitliche Bewertung sind in vielen Fällen nur durch eine Befragung von Testpersonen möglich. In Labor- und Feldversuchen kommen daher Fragebögen zum Einsatz.

Diese sind Messinstrumente zur Erfassung der Nutzerbewertungen. Ein Fragebogen muss alle für die Untersuchung relevanten Fragen enthalten, jedoch möglichst keine überflüssigen, um die Probanden nicht unnötig zu beanspruchen. Die Fragen müssen von den Untersuchungsteilnehmern möglichst einfach zu verstehen sein und eindeutig verstanden werden.

Um die Ergebnisse verschiedener Studien miteinander vergleichen und verknüpfen zu können, sollten möglichst viele Forschergruppen mit den gleichen Fragen arbeiten. Daher wurde von einer Arbeitsgruppe des LiTG-Expertenforums „Innenbeleuchtung“ (EFI) ein Basisfragebogen entwickelt, der allen zur Verfügung steht. Der derzeitige Stand ist noch in der Erprobung. Er basiert auf verschiedenen Fragebögen, die in Labor- und Felduntersuchungen der Autorinnen am KIT oder an der TU Ilmenau eingesetzt wurden und wurde um Fragen erweitert, die sich in Untersuchungen der TU Berlin oder der Fa. Zumtobel bewährt haben.

Der Fragebogen umfasst 25 Fragen, deren Beantwortung ca. 10 Minuten dauert. Er muss an die konkrete Fragestellung einer Untersuchung angepasst werden. Dabei müssen die für eine konkrete Untersuchung überflüssigen Fragen entfernt werden und unter Umständen zusätzliche relevante Fragen ergänzt werden. Je nach Anwendungsfall (Labor- oder Felduntersuchung) sollte eine sieben- oder fünfstufige Skala verwendet werden. Persönliche Daten der Probanden wie Alter (in Jahren oder Geburtsjahr), Geschlecht, Brille sollten grundsätzlich abgefragt werden.

Räumlichen Gegebenheiten wie Fenstergröße oder Beleuchtungsart sind in Laboruntersuchungen bekannt. In Felduntersuchungen sollten sie nach Möglichkeit vom Versuchsleiter erfasst werden. So kann der Fragebogen möglichst kurz gehalten werden, zudem können Daten wie die Orientierung eines Raumes (Himmelsrichtung) oder Abmessungen ebenso wie die zu untersuchenden lichttechnische Größen in geeigneter Form ermittelt werden.

Der Fragebogen kann bei den Autoren angefordert werden. Die EFI-Arbeitsgruppe freut sich über jede Anwendung des Fragebogens, ebenso über jede Rückmeldung. Nur so kann der Fragebogen zu einem verlässlichen Instrument weiterentwickelt werden.



# Integration of transparent nano structures into light guides for illumination of video based workplaces according EN 12464-1

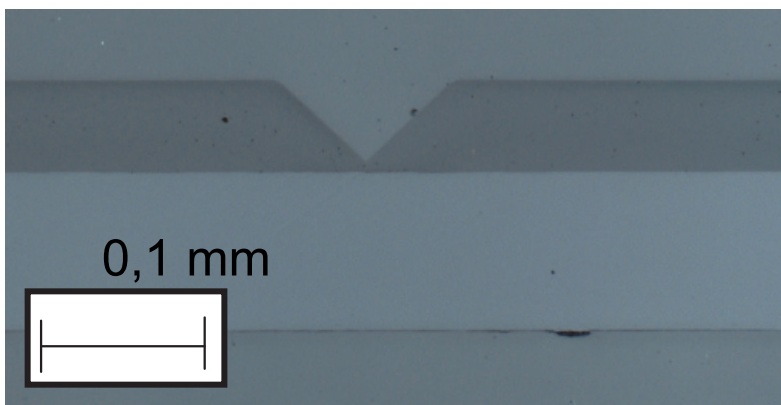
Norbert Fernkorn  
SPITTLER Lichttechnik GmbH  
Stapelner Straße 1-3, 38644 Goslar  
Kontakt: [n.fernkorn@spittler.de](mailto:n.fernkorn@spittler.de)

Panel lights for general lighting are often realized by light guides with side light LED. The result is generally an approximately lambertian light distribution, where the limiting values for the illumination of computer workplaces according to EN12464-1 could be only meet by reducing the total lumen output of the luminaire.

There are products, who meet the limiting values of the EN12464-1 by using additional micro prism structures at the light emitting surface to control the light distribution. With inter corporative research project it was possible to integrate the prismatic structure into the light guide. Due to the miniaturization of the prismatic structures, the efficacy of the light guide could be increased. The most important aspect for the miniaturization is the precision of the prismatic structures. Their radius at the vertex have to be in the range of nano millimeters to reach the requested light control properties.

Thereby additionally the light guide, who give homogeneous light distribution across the complete light emitting surface, appear nearly transparent while position in disconnection.

This presentation will show the structure which is calculated by computer simulation as well as the technology for the production of the light guide with the difficulties who are to manage. As conclusion the measured photometric results of the realized prototypes will presented and analyzed.



Picture of a micro-section of the prismatic structure

Mikroschliff der prismatischen Struktur

# **Integration transparenter Nanostrukturen in Lichtleiter zur Seitenlichteinkopplung für bildschirmarbeitsplatzgerechte Beleuchtung gemäß DIN EN 12464-1**

Norbert Fernkorn  
SPITTLER Lichttechnik GmbH  
Stapelner Straße 1-3, 38644 Goslar  
Kontakt: [n.fernkorn@spittler.de](mailto:n.fernkorn@spittler.de)

Flächenleuchten zur Allgemeinbeleuchtung werden häufig mit Lichtleitern und Seitenlichteinkopplung durch LED realisiert. Das Ergebnis ist im Allgemeinen eine annähernd lambert'sche Lichtverteilung, bei welcher nur durch Reduzierung der Gesamtlichtmenge die Grenzwerte für bildschirmarbeitsplatzgerechte Beleuchtung gemäß DIN EN 12464-1 unterschreitet.

Es gibt Produkte, die durch ein zusätzliches Mikroprisma an der Lichtaustrittsfläche eine zusätzliche Lenkung der Lichtverteilung erreichen mit dem Ziel, die Grenzwerte der DIN EN 12464-1 einzuhalten. Durch ein interkorporatives Forschungsprojekt wurde erreicht, die Prismenstruktur in den Lichtleiter zu integrieren. Durch die Miniaturisierung der Prismenstruktur konnte dabei eine sehr hohe Effizienz des Lichtleiters erreicht werden. Der wichtigste Aspekt bei der Miniaturisierung ist die Präzision der Prismenstrukturen, deren Scheitelradien im Nanomillimeterbereich liegen müssen, um die geforderten Lichtlenkungseigenschaften zu erreichen.

Dadurch wird zusätzlich erreicht, dass der Lichtleiter, welcher unter Licht über die gesamte Fläche eine homogene Lichtverteilung liefert, im ausgeschalteten Zustand nahezu transparent wirkt.

Im Beitrag wird die durch Computersimulation errechnete Struktur sowie die Technologie zur Fertigung der Lichtleiter mit den zu bewältigenden Schwierigkeiten beschrieben. Abschließend werden die vermessenen Lichttechnischen Ergebnisse an den realisierten Prototypen dargestellt und analysiert.



Beispielleuchte SL720  
mit integriertem Nanoprisma-Lichtleiter

Sample Luminaire  
with integrated nano prism light guide

# Teaching and Learning visual tooth shade discrimination – a Curriculum

*Dr. Siegfried R. Bratner, Prof. Dr. Holger A. Jakstat; Universität Leipzig,  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (Direktor: Prof. Dr. Th. Reiber),  
04103 Leipzig, Liebigstr. 12; Siegfried.Bratner@medizin.uni-leipzig.de*

Students in Dentistry need to learn the determination of tooth shades using shade guides (Fig. 1). Therefore JAKSTAT developed at the Leipzig university a Curriculum, which is now used at a group of Dental university clinics too [1].

In a first step the students get a lecture in color vision and the structure of a widely used Tooth Shade system in dentistry (Fig. 2 and 3). A second step is a screening of their capability to identify colors (Test on Color deficiency) with the Ishihara test using an electronic data projector (Fig. 4).

At home the students have to work through the lectures of the computer program "ToothguideTrainer (TT)". This step is web-based. Later they do analog exercises with fabricated mineral teeth using the "ToothguideTrainingBox (TTB)" and a special light source for color determination (Fig. 5).

5 subjects with red-green-deficiency showed nearly the same ability to determine the Tooth Shades than subjects without color deficiency. This was hypothesized in literature, e. g. [2]. The used test procedures will be shown in the lecture.



Fig. 1

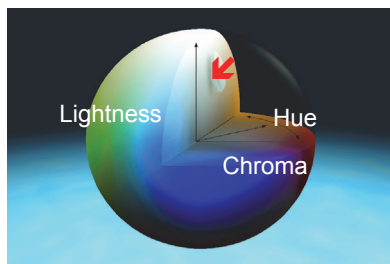


Fig. 2

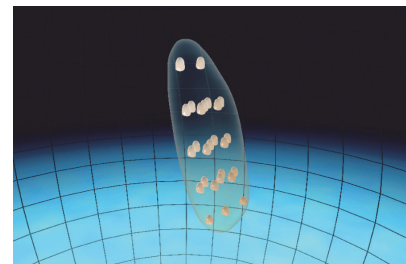


Fig. 3

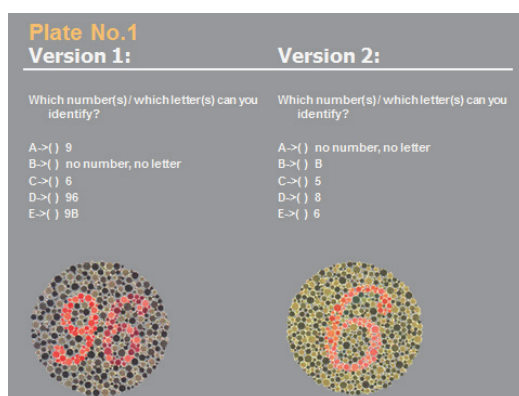


Fig. 4

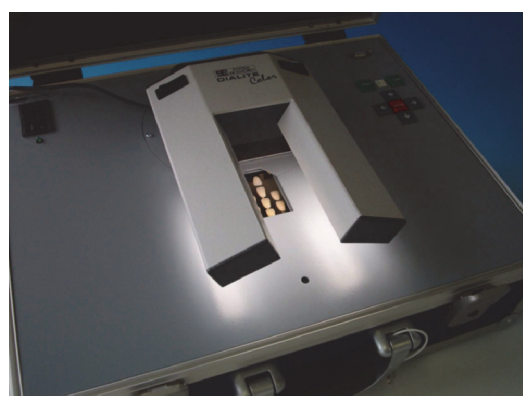


Fig. 5

[1]: Jakstat, HA (2006): Zahnfarbendifferenzierung ist erlernbar – über einen neuen Weg, die richtige Zahnfarbe sicher zu wählen. HZB 2, 12-13

[2]: Judd, DB (1943): Colorblindness and the Detection of Camouflage. Science 97 (2529), 544-546

A part of investigations was supported by VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen.

# Visuelle Zahnfarbdifferenzierung Lehren und Lernen – ein Curriculum

Dr. Siegfried R. Bratner, Prof. Dr. Holger A. Jakstat; Universität Leipzig,  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (Direktor: Prof. Dr. Th. Reiber),  
04103 Leipzig, Liebigstr. 12; Siegfried.Bratner@medizin.uni-leipzig.de

Studenten der Zahnmedizin lernen die Bestimmung von Zahnfarben mit Farbskalen (Zahnfarbmustern, Abb. 1). Dafür wurde in Leipzig von JAKSTAT ein Curriculum entwickelt, welches auch weitere Universitätskliniken international nutzen [1].

Zunächst erhalten die Studenten eine Einführung in das Farbsehen und den Aufbau von Zahnfarbsystemen (Abb. 2 und 3). Es folgt ein Screening ihrer Farbtüchtigkeit mit dem Ishiharatest als Beamerprojektion (Abb. 4).

Zu Hause absolvieren die Studenten das Lernprogramm ToothguideTrainer (TT) über das Internet. Später führen sie die analogen Übungen mit echten Mineralzähnen mit der ToothguideTrainingBox (TTB) und einer Farbnahmeleuchte durch (Abb. 5).

5 Probanden mit Rot-Grün-Schwäche zeigten in der Zahnfarbdifferenzierung keine schlechteren Ergebnisse als Normalsichtige, was aufgrund von Literaturstellen, z. B. [2], vermutet wurde.

Die verwendeten Testverfahren werden im Vortrag vorgestellt.



Abb. 1



Abb. 2

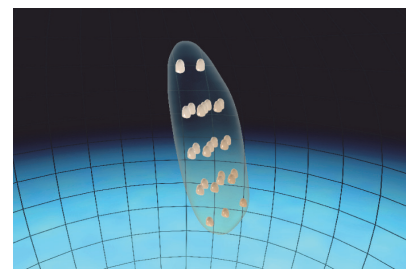


Abb. 3

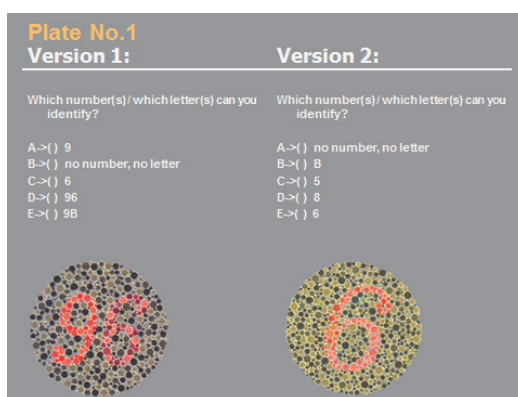


Abb. 4

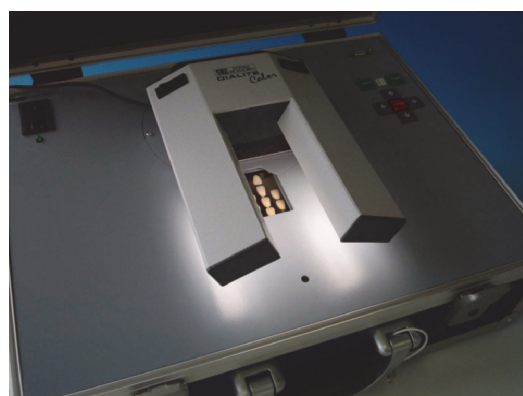


Abb. 5

[1]: Jakstat, HA (2006): Zahnfarbdifferenzierung ist erlernbar – über einen neuen Weg, die richtige Zahnfarbe sicher zu wählen. HZB 2, 12-13

[2]: Judd, DB (1943): Colorblindness and the Detection of Camouflage. Science 97 (2529), 544-546

Ein Teil der Untersuchungen wurde von der VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen, unterstützt.

## **Colour Temperature in Lighting Technology**

*Ingo Rotscholl, Cornelius Neumann  
Lichttechnisches Institut  
Kaiserstrasse 12, 76131 Karlsruhe*

The term colour temperature is often used to describe the colour of a light source. The spectrum of a black body is described by a temperature and defines a colour coordinate in a unique way. The colour temperature of a colour coordinate equals the temperature a black body would need to radiate light of those given colour. Due to this definition the colour temperature has a unique physical background but also a unique physiological interpretation since it is defined based on natural light sources. The term is widely used and a lot of definitions in colorimetry like the colour rendering index base on the colour temperature. However, there are limitations in the usability of the term.

The description of colour discrimination and colour homogeneity sometimes rests upon correlated colour temperature or correlated colour temperature differences. Since the absolute colour temperature changes are nonlinear in terms of perceived uniformity the question arises what colour temperature differences are noticeable? There is also an implicit uncertainty as different chromaticity coordinates might correspond to the same correlated colour temperature.

The influence of the colour temperature for defining a reference white in the calculation process of the colour rendering index will also be discussed. How does the selected reference rate the CRI of a given light source and what is the variance if another reference of the black body is used?

All questions will be answered based on numerical simulations and chosen examples.

## **Die Farbtemperatur in der Lichttechnik**

*Ingo Rotscholl, Cornelius Neumann  
Lichttechnisches Institut  
Kaiserstrasse 12, 76131 Karlsruhe*

Eine häufig verwendete Größe zur Beschreibung der Farbe ist die Farbtemperatur. Einem schwarzen Strahler kann durch Angabe seiner Temperatur eindeutig ein Spektrum und diesem wiederum ein Farbort zugeordnet werden. Die Farbtemperatur eines Farbortes entspricht jener Temperatur, die ein schwarzer Strahler haben müsste, um Licht mit exakt diesem Farbort auszusenden. Somit ist die Farbtemperatur eine Größe, die eine Farbart nicht nur durch einen einzigen Wert beschrieben kann, sondern sie besitzt auch einen eindeutigen physikalischen und wahrnehmungsphysiologischen Bezug zur natürlichen Beleuchtung. In der Farbmeterik haben sich aufbauend auf der Farbtemperatur weitere Temperaturbegriffe wie die Verteilungstemperatur oder die ähnlichste Farbtemperatur etabliert, die für weitere farbmeterische Bewertungsgrößen wie die Farbwiedergabe von Bedeutung sind.

So ist beispielsweise die Angabe der Farbtemperatur oder Farbtemperaturdifferenzen ein Maß für die Angabe von Farbunterschieden. Dabei stellt sich aufgrund ihrer starken Nicht-linearität jedoch die Frage, welche Farbtemperaturunterschiede sind überhaupt sichtbar und wie stark korreliert die Aussage mit der Angabe der ähnlichsten Farbtemperatur?

Als Bezugsgröße zur Bestimmung der Farbwiedergabe hat die Farbtemperatur ebenfalls eine große Bedeutung erlangt. Wie groß der Einfluss einer falschen Bezugstemperatur werden kann, soll anhand ausgewählter Beispiele betrachtet werden.

Die aufgeworfenen Fragestellungen werden im Vortrag auf Basis simulativer Betrachtungen und ausgewählter Beispiele beantwortet werden.

# Act body colors and light colors differently?

*David Ruland, BA of Arts LD, HAWK Hildesheim*

## 1.1 Question

In 2007, particularly sensitive receptors for the short-wave light range with nonvisual effect were detected in the eye, with adequate stimulation to control inter alia the mental motivation. For educational and office purposes, there are a large number of studies that demonstrate the bluish light activating and having performance-enhancing acts, while the reddish light is soothing and relaxing. Thus, the colored light modes of action are attributed that to those in direct contrast applique (body) color are - (blue => calm; red => stimulating). In the future of interior design, many areas, to include; health care, education, administration - Increasingly large illuminating surface (displays, OLEDs and light-diffusing plates with LED Feed) the colors will be applied to walls and furniture used. The question of the effect of light and body color gains, thus, grow increasingly important.

## 1.2 Objective

In cooperation with the field of competence, color design is the different experience of light and applied (body) color that are examined. For this purpose, an experimental design derived of an experimental setup design, with which the effect of both light colors as well as of applied colors can be assessed, is used. There are colored loading and/or backlit white areas illuminated with white light and colored surfaces, set to identical color impression. This determines respective colorimetric indicators. Using a mood questionnaire, the rated emotional color indicates effects with the results of the full scale mockup of the competence field of Compared color design and evaluation. The expected statements should be in the journals of the areas of color, light / lighting Architecture and be published, attracting external funds for further research in these areas.

## 2. Classification in the state of research

Under the headings of "Light and Health" is the activating effect of blue light, which has been one of the main current research topics of lighting and light-technology. In Germany, it is mirrored by the Technical Standards Committee in DIN 27 FNL. The statements about the emotional evaluation the non-visual effects of light are recognizable and contradict the statements of chromo therapy and the color designs. Nevertheless, this incompatibility is to the disciplines interface yet, has not been studied scientifically. In the two areas of expertise (color design and lighting design), the faculty has design. Both have the expertise, as well as proven methods, to solve issues with a view to edit success.

## 3. Baseline

Liedtke, C., Schmits, P.W., Völker, S, The Incidence of Light and directional Light in Interiors Lux Europa Krakau 2013

Schmits "Einfluss der Blickrichtung bei der Blendungsbewertung von LED Leuchten, Licht 2014, Den Haag 2014

Veröffentlichung zur Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen (Zeitschrift LICHT Jan 2013)

LiTG Fragebogens zur Bewertung von Licht-Räumen im Expertenforum Innenraumbeleuchtung EFI in der LiTG (Zeitschrift LICHT geplant Herbst 2014)



# Wirken Lichtfarben und Körperfarben unterschiedlich?

David Ruland, BA of Arts LD, HAWK Hildesheim

## 1.1 Fragestellung

2007 wurden für den kurzwelligen Lichtbereich besonders empfindliche Rezeptoren mit nichtvisueller Wirkung im Auge nachgewiesen. Bei adäquater Reizung steuern sie u.a. die mentale Leistungsbereitschaft. Für die Bereiche Bildung und Büro liegen eine Vielzahl von Untersuchungen vor, die aufzeigen, dass bläuliches Licht hier aktivierend und leistungssteigernd wirkt und rötliches Licht beruhigend und entspannend. Somit werden dem farbigen Licht Wirkungsweisen zugeschrieben, die im direkten Gegensatz zur denen applizierter (Körper-) Farben stehen – (blau => beruhigend; rot => anregend) In der Zukunft werden bei der Raumgestaltung in vielen Bereichen – Gesundheitswesen, Bildung, Verwaltung - vermehrt große leuchtenden Flächen (Displays, OLEDs und lichtstreuende Platten mit LED Einspeisung) an Wänden und Möbel zum Einsatz kommen. Die Fragestellung, der Wirkung von Licht- und Körperfarbe gewinnt somit zunehmend an Bedeutung.

## 1.2 Zielsetzung

In Kooperation mit dem Kompetenzfeld Farbdesign soll das unterschiedliche Erleben von Licht- und applizierten(Körper-) Farben untersucht werden. Hierzu wird zunächst ein Versuchsdesign und davon abgeleitet ein Versuchsaufbau konzipiert, mit dem die Wirkung sowohl von Lichtfarben wie auch von applizierten Farben bewertet werden kann. Es werden farbig be- und/oder hinterleuchtete weiße Flächen und mit weißem Licht beleuchtete farbige Oberflächen auf identischen Farbeindruck eingestellt und die jeweiligen farbmetrieblichen Kennzahlen ermittelt. Mit Hilfe von Befindlichkeitsfragebogen werden die emotionalen Farbwirkungen bewertet und mit den Ergebnissen des fullscale Mockups des Kompetenzfeldes Farbdesign verglichen und ausgewertet. Die zu erwartenden Aussagen sollen in den Fachzeitschriften der Bereiche Farbe, Licht/Beleuchtung, Architektur veröffentlicht werden und so Drittmittel für weitere Forschung in diesen Bereichen einwerben.

## 2. Einordnung in den Stand der Forschung

Unter dem Stichworten „Licht und Gesundheit“ ist die aktivierende Wirkung von blauem Licht seit längeren eines der wichtigsten aktuellen Forschungsthemen der Beleuchtungs- und Licht-Technik. In Deutschland wird es vom Fachnormenausschuss FNL 27 im DIN gespiegelt. Die Aussagen zur emotionalen Bewertung der nichtvisuellen Wirkung des Lichtes stehen erkennbar im Widerspruch zu den Aussagen der Farbtherapie und des Farbdesigns. Dennoch ist diese Inkompatibilität an der Disziplinen-Schnittstelle bislang nicht wissenschaftlich untersucht worden. Mit den beiden Kompetenzfeldern Farb-Design und Lighting Design verfügt die Fakultät Gestaltung sowohl über das Fachwissen wie auch über erprobte Methoden, um diese Thematik mit Aussicht auf Erfolg zu bearbeiten. Aktuell veranstaltet der FNL 27 zu „Wirkung des Lichts auf den Menschen“ jährlich englischsprachige Expertenforen. Zum selben Thema veranstaltet die deutsche Lichttechnische Gesellschaft jährlich die Tagung BioWi.

## 3. Vorarbeiten

Liedtke, C., Schmits, P.W., Völker, S, The Incidence of Light and directional Light in Interiors Lux Europa Krakau 2013

Schmits "Einfluss der Blickrichtung bei der Blendungsbewertung von LED Leuchten, Licht 2014, Den Haag 2014

Veröffentlichung zur Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen (Zeitschrift LICHT Jan 2013)

LiTG Fragebogens zur Bewertung von Licht-Räumen im Expertenforum Innenraumbeleuchtung EFI in der LiTG (Zeitschrift LICHT geplant Herbst 2014)



# Extension of the Unified Glare Rating Formula for Non-Uniform LED Luminaires

*Carsten Funke, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau, carsten.funke@tu-ilmenau.de*

In indoor lighting applications the unified glare rating method (UGR) has been standardised for the assessment of discomfort glare. It has been developed for glare source sizes ranging from 0.0003 sr to 0.1 sr [1]. Since LED light spots usually are smaller than 0.0003 sr for typical indoor distances, luminaires with visible LED cannot be rated with UGR. Although with CIE Technical Report 147 [2] an extension of the UGR formula for small and complex glare sources is available, various investigations (e.g. [3; 4; 5]) show discrepancies in the evaluation of discomfort glare.

In order to determine the impact of the luminous structure of the glare source on the subjective discomfort appraisal, we conducted an extensive psychometric study at the TU Ilmenau. For this study, we designed a full-scale test room with a 0.6x0.6 glare source, which can be varied in the following parameters:

- luminance and luminous flux of the visible LED
- number and distance of the visible LED
- luminance of the immediate vicinity of the LED
- size of the homogeneous lighting immediate vicinity

This glare source was used in all studies. In the first experiment, the angle between glare source and viewing direction and the luminance of the environment had been kept constant at 30° respectively 47 cd/m<sup>2</sup>. During the test, the subject sat in the middle of the test room, looking at a computer screen, which was positioned 4.2 m in front of him. After the lighting situation was set, the subject had 15 seconds to complete a moderate math task. Then he stated the result of the math task and gave his rating of the discomfort glare. This procedure was repeated until all 71 lighting situations were finished. All in all on experiment took 25 minutes.

In additional experiments, we changed the angle between glare source and viewing direction (0°, 15°), the ambient luminance (190 cd/m<sup>2</sup>) and the task difficulty (easy task). Each test was conducted by 30 subjects.

At the conference, the main results of the study will be presented as well as a proposal for the extension of the UGR formula for non-uniform LED luminaires.

## References

- [1] International Commission on Illumination (ed.) (1995). Discomfort Glare in Interior Lighting. Technical report no. 117. 1995.
- [2] International Commission on Illumination (ed.) (2002): CIE collection on glare. Technical report no. 146, 147. 2002.
- [3] Kasahara, Tappei et al. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Sources. In: Journal of Light and Visual Environment 30 (2), p. 49–57.
- [4] Lee, Chang-Mo; Kim, Hoon; Choi, Dai-Seub (2007): A Study on the Estimation of Discomfort Glare for LED Luminaires. In: CIE (ed.): Proceedings of the 26th CIE Congress 2007. Proceedings of the 26th CIE Congress 2007. Beijing, China, 04. bis 07. Juli 2007. CIE, p. D3-33 - D3-36.
- [5] Hara, Naoya; Hasegawa, Sanae (2012): Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. In: Journal of Illuminating Engineering Institute Japan 96 (2), p. 81–88.

# Erweiterung des UGR-Blendungsbewertungsverfahrens für strukturierte LED-Leuchten

Carsten Funke, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau, carsten.funke@tu-ilmenau.de

In der Innenbeleuchtung hat sich das Unified Glare Rating Verfahren (UGR-Verfahren) zur Bewertung der psychologischen Blendung durchgesetzt. Es wurde für Blendquellen entwickelt, die einen Raumwinkel zwischen 0,0003 und 0,1 sr einnehmen [1]. Da sich LED-Lichtpunkte meist unterhalb dieses Größenbereichs befinden, können Leuchten mit direktstrahlenden LED nicht mit dem UGR-Verfahren bewertet werden. Obwohl die CIE-Schrift 147 [2] eine Erweiterung des UGR-Verfahrens für kleine und komplexe Lichtquellen einführt, zeigen zahlreiche Untersuchungen [3; 4; 5] Widersprüche bei der Blendungsbewertung von LED-Leuchten.

Im Rahmen von umfangreichen psychometrischen Untersuchungen wurde untersucht, inwiefern Leuchtdichteunterschiede innerhalb der Blendquelle einen Einfluss auf die Blendungsbewertung bei psychologischer Direktblendung haben. Dafür wurde ein Versuchsraum mit einer veränderbaren Testleuchte ausgestattet, mit der folgende Parameter verändert werden können:

- Leuchtdichte und Lichtstrom der sichtbaren LED
- Leuchtdichte der unmittelbaren Umgebung
- Anzahl der sichtbaren LED
- Größe der homogenen leuchtenden unmittelbaren Umgebung

Die Umgebungsleuchtdichte des Untersuchungsraums wurde im ersten Versuch auf 47 cd/m<sup>2</sup> und im zweiten Versuchsteil auf 190 cd/m<sup>2</sup> eingestellt. Außerdem wurden verschiedene Blickwinkel zur Blendquelle eingestellt (30°, 15° und direkter Blick in die Leuchte).

Neben der Herstellung des Bewertungsmodells sollen auch Parameter bei der Bestimmung des Blendwerts mit Leuchtdichtemesskameras in Betracht gezogen werden. Abschließend werden die Ergebnisse der Vermessung den Probandenurteilen gegenübergestellt.

## Literatur

- [1] Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (Hrsg.) (2003): Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen. Berlin: Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG-Publikation 20).
- [2] International Commission on Illumination (Hrsg.) (2002): CIE collection on glare. 2002. Vienna: CIE Central Bureau (Technical report no. 146, 147).
- [3] Kasahara, Tappei et al. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Sources. In: Journal of Light and Visual Environment 30 (2), S. 49–57.
- [4] Lee, Chang-Mo; Kim, Hoon; Choi, Dai-Seub (2007): A Study on the Estimation of Discomfort Glare for LED Luminaires. In: CIE (Hrsg.): Proceedings of the 26th CIE Congress 2007. Proceedings of the 26th CIE Congress 2007. Beijing, China, 04. bis 07. Juli 2007. CIE, S. D3-33 - D3-36.
- [5] Hara, Naoya; Hasegawa, Sanae (2012): Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. In: Journal of Illuminating Engineering Institute Japan 96 (2), S. 81–88.

Keywords:

daylighting master plan, urban density, daylighting design, spectral sky models, colorimetric characterization

Bibliography:

United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division (2011): World

Population Prospects: The 2010 Revision and World Urbanization Prospects: The 2011 Revision.

# **Daylight as a design tool to create sustainable urban forms**

*Aicha Diakite, Technische Universität Berlin [DE], aicha.diakite@tu-berlin.de*

In line with the UN report "World Urbanization Prospects: The 2011 Revision" more than half of the world's population already lives in cities. Within the next few years the urban population will increase dramatically. According to the United Nation's estimates the number of city dwellers will nearly double in 2050. The rapid demographic change, the fast growing urbanization and the expeditious densification of the cities form new spatial and social framework conditions for urban planning. Therefore there is among other a growing need for research on lighting master planning with daylight. Up to date, in the consideration of daylighting master planning as a sustainable urban design strategy, energy optimization is typically the only guideline and main purpose. Yet, considering biological, psychological and physiological needs of the citizens, the performance criteria indicate that colorimetric characteristics play an essential role. Hence the need to factor in the spectral information of daylight, next to the illuminance level and the emphasis on the interdependence between the performance criteria, in order to realize healthy and sustainable urban environments.

This dissertation aims at developing a parametric design tool, in particular to outline the dynamic range for non-visual effects of daylight including spectral sky models and consequently to allow a better impact assessment of designing the urban space with daylight. The study investigates the relevant performance criteria and design parameters in the urban planning and presents a novel approach describing sky models based on the spectral information. Furthermore it examines how to implement the spectral data in the spatial design and how to translate the results into a design tool.

The significant performance criteria and design parameters are determined based on literature survey and case studies. The implemented spectral sky models are based on the spatially resolved spectral power distribution measurements data generated at the Technical University of Berlin. The analysis of the data sets has three goals: to create, to verify and to simplify the spectral sky models. The main emphasis thereby is the practical applicability of the sky models in an urban planning process.

The findings of this study are meant to supports the design of sustainable daylighting master plans for cities, by defining the colorimetric characterization of the daylight in the urban structure and subsequently assessing the impact of daylight on non-visual aspects in urban settings.



# **Optimizing Lighting Energy Savings in Public Buildings through Maximal Use of Daylight**

*Iva Petrinska, Valchan Georgiev, Dilian Ivanov*  
*Technical University of Sofia*

User satisfaction and energy savings are the two major design considerations for contemporary lighting systems. Maximizing the share of the daylight entering the building envelope offers an increase of user satisfaction, because of the positive biological and psychological effects of the natural light on people, and the possibility to reduce energy consumption for electric lighting. Thus the availability of glare-free natural light in a building's interior in order to create spaces of high visual quality and the reduction of the energy demand for lighting have to be optimized. This is not possible without effective daylighting and electric lighting control systems.

The current research represents a new approach for lighting energy consumption optimization and automation of indoor lighting systems. The basic idea is to minimize the electrical energy consumption of the lighting system by effectively using the natural light. The approach proposed uses new evolutionary algorithms as optimization tool for the lighting control strategy. Further reduction of the energy consumption for lighting and improvement of the system's performance is realized by utilizing experimental results for daylight coefficient's values for rooms with west and east geographical exposure, thus reducing the number of sensors needed for correct operation of the system.

## Keywords:

daylighting, energy savings optimization, lighting control strategy

# DALEC - Concept analysis tool for integrated lighting design - Study for artificial light parameters at Erfurt location

Oliver Ebert, Bert Junghans, Zumtobel Lighting GmbH  
David Geisler-Moroder, Bartenbach GmbH  
Matthias Werner, Universität Innsbruck

DALEC is a design tool for the calculation of energy saving potential for rooms with daylight and artificial lighting systems. The development took place within the framework of the research project K-Licht "Integrated Day-and Artificial Light", where research was carried out in the context of an integral control approach for lighting and facade systems.

DALEC is implemented as an online service and is available under:  
[www.zumtobel.com/DALEC](http://www.zumtobel.com/DALEC) and [www.dalec.net](http://www.dalec.net)

The façade system influences the energy requirement of a building significantly. Above all, the facade system determines the daylight entry and solar impact into a building. Depending on the daylight availability in the interior artificial light must be added.

On the one hand the artificial light requirement is generating additional power requirement, on the other hand the internal load must be cooled down in case of overheating phases. Therefore an assessment of facade and artificial lighting systems is only reliable, if coupled to a light and thermal simulation.

To combine and evaluate these mentioned aspects is the challenge of a concept analysis tool for facade and artificial lighting systems.

In this paper the tool and its' calculation method is presented as well as results of a parameter study which was carried out with the aid of the tool. In this study varying artificial light parameters and their effect on heating and cooling requirements are examined for particular room and façade setups in Erfurt.



Figure 1. DALEC user interface webtool

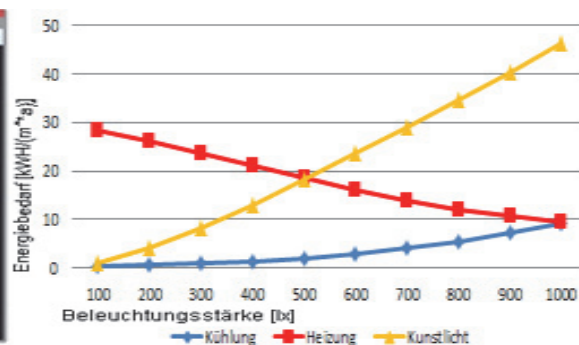


Figure 2. Varying parameter: maintained illuminance

# DALEC - Konzeptanalysetool für ganzheitliche Lichtplanung - Kunstlichtparameterstudie am Standort Erfurt

Oliver Ebert, Bert Junghans, Zumtobel Lighting GmbH  
David Geisler-Moroder, Bartenbach GmbH  
Matthias Werner, Universität Innsbruck

DALEC ist ein Konzeptanalysetool für frühe Entwurfsphasen zur Ermittlung des Energiebedarfs von Räumen mit Tages- und Kunstlichtsystemen. Die Entwicklung fand im Rahmen des Forschungsprojektes K-Licht „Integrated Day- and Artificial Light“ statt, in dem an einem integralen Steuerungsansatz für Fassadensysteme geforscht wurde. DALEC wurde als Online Service umgesetzt und steht unter [www.zumtobel.com/dalec](http://www.zumtobel.com/dalec) sowie [www.dalec.net](http://www.dalec.net) zur Verfügung.

Die Fassade beeinflusst sehr stark den Energiebedarf eines Gebäudes. Vor allem das Fassadensystem bestimmt den Tageslichteintrag aber auch den solaren Eintrag in ein Gebäude. Abhängig von der Tageslichtverfügbarkeit im Innenraum muss Kunstlicht zugeschaltet werden. Der notwendige Kunstlichtbedarf erzeugt zum einen zusätzlichen Strombedarf und zum anderen eine interne Last, die bei Überhitzungsphasen zusätzlich herausgekühlt werden muss. Somit kann eine realitätsnahe Beurteilung von Fassaden- und Kunstlichtsystemen nur mit einer gekoppelten lichttechnischen und thermischen Simulation erfolgen.

Diese genannten Gesichtspunkte vereinen und bewerten zu können stellt die Herausforderung eines Konzeptanalyseprogramms für Fassaden- und Kunstlichtsysteme dar.

In diesem Beitrag wird das Tool und seine Berechnungsmethodik vorgestellt, sowie Ergebnisse einer Parameterstudie, die mit Hilfe des Tools durchgeführt wurde. In der Studie wird die Auswirkung von variierenden Kunstlichtparametern auf den Heiz- und Kühlbedarf eines bestimmten Raum- und Fassadensetups am Standort Erfurt untersucht.



Abbildung 1. DALEC Benutzeroberfläche Webtool

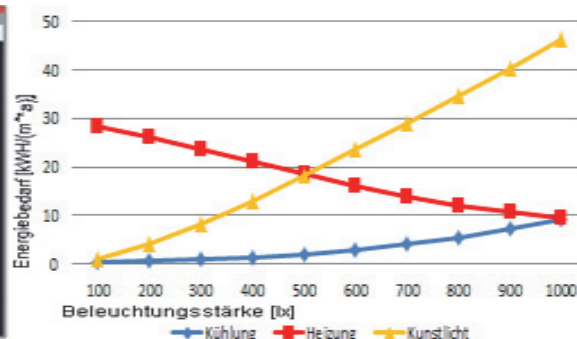


Abbildung 2. Parametervariation : Wartungsbeleuchtungsstärke



## **Einfluss des Lichts auf die Aufmerksamkeit des Menschen am Tag**

*Inga Rothert, Mathias Niedling, Prof. Dr. Stephan Völker, Technische Universität Berlin  
Fachgebiet Lichttechnik, Einsteinufer 19, 10587 Berlin  
inga.rothert@tu-berlin.de*

Viele Untersuchungen zu nicht-visuellen Wirkungen von Licht haben gezeigt, dass spektral angepasstes Licht die Leistungsfähigkeit im Büro steigern (Smolders und de Kort 2014), Schüler beim effektiven Lernen unterstützen (Wessolowski et al. 2014) oder im Seniorenheim die kognitiven Fähigkeiten von Demenzpatienten positiv beeinflussen kann (Riemersma-van der Lek et al. 2008). Doch darüber, wie genau das spektral angepasste Licht aussehen sollte, gibt es verschiedene Ansichten. Aufgrund unterschiedlicher Versuchsdesigns sind wenige Ergebnisse direkt miteinander vergleichbar und es fehlt an einer breiten Datenbasis.

In der DIN SPEC 67600 wird die spektrale Empfindlichkeit der für die nicht-visuellen Wirkungen verantwortlichen Rezeptoren (ipRGCs) mit dem Maximum bei 480 nm angegeben. Diese wurde jedoch mit schmalbandigen (farbigen) Lichtreizen abends und nachts für die Melatoninsuppression aufgenommen. Sie kann nicht ohne weiteres auf polychromatisches (weißes) Licht und andere nicht-visuelle Wirkungen, wie z.B. die Aufmerksamkeit am Tag, übernommen werden (Schierz und Vandahl 2012). Durch die Verschaltung der Zapfen und Stäbchen mit den ipRGCs wird auch ein Einfluss dieser Rezeptoren auf die anderen nicht-visuellen Wirkungen erwartet (Lucas et al. 2014).

Im BMBF-geförderten Verbundprojekt NiviL (Nicht-visuelle Lichtwirkungen) werden daher erstmals verschiedene nicht-visuelle Wirkungen wie z.B. Aufmerksamkeit, Wohlbefinden, Cortisol-konzentration, Schlafqualität und Melatoninsuppression bei verschiedenen Altersgruppen gleichzeitig erforscht. Dabei werden die lichttechnischen Parameter und die Versuchsmethodik aller Verbundpartner kontrolliert und vergleichbar gemacht, um die Untersuchungsergebnisse miteinander vergleichen zu können. Ziel ist es, eine große repräsentative Datenmenge zu schaffen, auf deren Grundlage ein Modell zur Vorhersage nicht-visueller Wirkungen erstellt werden soll.

Dieser Beitrag stellt einen gemeinsamen Laborversuch der TU Dresden und der TU Berlin vor, in dem der Einfluss des Spektrums auf die Aufmerksamkeit und die Cortisolausschüttung unter induziertem Stress untersucht wird. Den Probanden werden dabei in einem homogenen Umfeld mit 2-Pi-Geometrie über 90 Minuten verschiedene Spektren bei gleicher Photonendichte dargeboten, die jeweils unterschiedliche Photorezeptoren stimulieren. Ziel der Untersuchung ist es, den Einfluss des Spektrums auf die Verbesserung der Aufmerksamkeit und die Cortisolkonzentration zu charakterisieren und eine Grundlage für die Modellbildung zu generieren.

Lucas, Robert J.; Peirson, Stuart N.; Berson, David M.; Brown, Timothy M.; Cooper, Howard M.; Czeisler, Charles A. et al. (2014): Measuring and using light in the melanopsin age. In: Trends in neurosciences 37 (1), S. 1–9.

Riemersma-van der Lek, Rixt F.; Swaab, Dick F.; Twisk, Jos; Hol, Elly M.; Hoogendijk, Witte J G; Van Someren, Eus J W (2008): Effect of bright light and melatonin on cognitive and noncognitive function in elderly residents of group care facilities: a randomized controlled trial. In: JAMA 299 (22), S. 2642–2655.

## **Influence of Light on human attention during the day**

*Inga Rothert, Mathias Niedling, Prof. Dr. Stephan Völker, Technische Universität Berlin  
Fachgebiet Lichttechnik, Einsteinufer 19, 10587 Berlin  
inga.rothert@tu-berlin.de*

Many studies about non-visual effects of light have shown, that spectral modified light can enhance performance in offices (Smolders und de Kort 2014), support students with effective learning (Wessolowski et al. 2014) or positively influence the cognitive skills of dementia patients (Riemersma-van der Lek et al. 2008). But there are different views on how this spectral modified light should look like. Because of different experimental settings few results are truly comparable and a broad data base is missing.

DIN SPEC 67600 uses the spectral sensitivity of the intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) with its maximum at 480 nm as a measure for the circadian impact of a spectrum. But this function was developed with monochromatic light (colors) at evening and night for melatonin suppression. It cannot automatically be applied to polychromatic light (white) or other non-visual effects during the day like attention (Schierz und Vandahl 2012). There is an influence of the rods and cones on the other non-visual effects expected due to the connection of these receptors with the ipRGCs (Lucas et al. 2014).

The BMBF-funded project NiviL (non-visual effects of light) studies different non-visual effects like e.g. attention, well-being, cortisol concentration, sleep quality and melatonin suppression for the first time in different age groups at the same simultaneously. The lighting parameters and the experimental designs will be comparable and controlled, to be able to compare the study results with each other. The aim is to create a large representative data set and to build a model which explains non-visual effects.

This article presents a joint laboratory experiment of TU Dresden and TU Berlin that examines the effect of different spectra on attention and cortisol concentration under induced stress. Different spectra with equal photon density, which each stimulates different photo receptors, are presented in a homogeneous area with 2-pi-geometrie over 90 min to test persons. The aim of the study is to characterize the influence of the spectrum on attention improvement and cortisol concentration and to develop a basis for the model.

Schierz, Ch.; Vandahl, C. (2012): Biologische Wirkung von Licht. Literaturübersicht. TU Ilmenau, FG Lichttechnik.

Smolders, Karin C.H.J.; de Kort, Yvonne A.W. (2014): Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. In: Journal of Environmental Psychology 39, S. 77–91.

Wessolowski, Nino; Koenig, Heiko; Schulte-Markwort, Michael; Barkmann, Claus (2014): The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school. In: Journal of Environmental Psychology 39, S. 101–108.

## **Shadow characteristics of indoor lighting influence visuomotor performance**

*Jan Krüger, Federal Institute for Occupational Safety and Health, Dresden*

*Armin Windel, Federal Institute for Occupational Safety and Health, Dortmund*

*krueger.jan@baua.bund.de*

In a series of preliminary tests the influence of lighting direction and cast shadows on visuomotor performance in the industrial workplace was investigated. Subjects were asked to place small pins into a pegboard, and put together an assembly of pins, collars and washers (Purdue Pegboard Test (Tiffin and Asher, 1948)). Eleven subjects underwent the task at different lighting conditions in which shadow characteristics were varied.

In addition to the lighting conditions the depth perception was manipulated by using an eye patch (binocular vision vs. monocular vision). Due to the fact that shadows contain important information for the execution of motor actions (Bonfiglioli and Pavani, 2004), a model was developed, which explains the importance of cast shadows and shading for visuomotor performance. The results demonstrate that motor performance can decrease during diffuse lighting conditions in comparison to direct lighting. Furthermore it was found that lighting conditions which produce harsh multi-shadows impair motor performance. The results are of particular importance for lighting of assembly workstations in the industry.

Bonfiglioli C. & Pavani F. (2004) Differential effects of cast shadows on perception and action. *Perception*, 33: 1291-1304.

Tiffin J. & Asher E. I. (1948) The Purdue Pegboard: Norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology*, 32: 234-247.

## **Lichtrichtung und Schattigkeit beeinflussen visuomotorische Leistung**

*Jan Krüger, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dresden*

*Armin Windel, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund*

*krueger.jan@baua.bund.de*

Im Rahmen einer Vorversuchsreihe wurde der Einfluss von Lichtrichtung und Schattigkeit auf die visuomotorische Leistung bei industriellen Arbeitsaufgaben untersucht. In einer Serie von vier Teilaufgaben wurden Versuchspersonen gebeten, kleine Stifte in vorgefertigte Löcher eines Steckbrettes platzieren sowie Baugruppen aus Stiften, Hülsen und Unterlegscheiben zusammenzustecken (Purdue Pegboard Test (Tiffin and Asher, 1948)). Elf Versuchspersonen durchliefen die Arbeitsaufgabe bei unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen, in denen Lichtrichtung und Schattigkeit verändert wurden.

Zusätzlich zur Beleuchtung wurde die räumliche Tiefenwahrnehmung mit Hilfe einer Augenklappe variiert (binokulares Sehen vs. monokulares Sehen). Aufgrund der Tatsache, dass Schatten wichtige Informationen für die Planung motorischer Handlungen beinhalten (Bonfiglioli and Pavani, 2004), wurde ein Modell entwickelt, welches die Wirkung von Schatten auf die visuomotorische Leistung erklären soll. Im Ergebnis zeigte sich verminderte motorische Leistung bei diffuser Beleuchtung sowie bei gerichtetem Licht mit Mehrfachschatten. Die Ergebnisse sind von Relevanz für die Beleuchtung von Montagearbeitsplätzen in der Industrie.

Bonfiglioli C. & Pavani F. (2004) Differential effects of cast shadows on perception and action. *Perception*, 33: 1291-1304.

Tiffin J. & Asher E. I. (1948) The Purdue Pegboard: Norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology*, 32: 234-247.

## **Reconstruction of historical illuminated advertising systems at specific examples**

*Dipl. Ing. Danny Büchel, Dr. Rüdiger Hennig  
NEL Leipzig, Deybestraße 6, 04329 Leipzig  
d.buechel@nel.de, r.hennig@nel.de*

The history of light advertisement is nearly as old as the history of electricity. Shortly after the big breakthrough of electricity the industry paid attention to light installations as a medium for its trademarks. In 1896 the first basic systems with different configurations of light bulbs were brought on line in Germany. The development of the fluorescent tube at the beginning of the 20th century allowed the design of neon tube systems for advertising purposes in varied colors and shapes. Just today such fluorescent systems enjoy regained popularity especially in the area of light art.

In this lecture the reconstruction and restoration of two major light advertisement installations in Leipzig, finished in 2014 and the early 2015, will be presented. This is first the so called „Kunst am Bau“ from James Turrell at Verbundnetz Gas AG Leipzig and the neon sign of Leipziger Kommissions- und Großbuchhandel including company name, logo and slogan.

Therefore the company faced the task to retain the light artwork or at least to replicate the remaining parts as far as possible with resources and opportunities available today.

## **Rekonstruktion von historischen Lichtwerbeanlagen an ausgewählten Beispielen**

*Dipl. Ing. Danny Büchel, Dr. Rüdiger Hennig  
NEL Leipzig, Deybestraße 6, 04329 Leipzig  
d.buechel@nel.de, r.hennig@nel.de*

Die Geschichte der Lichtwerbung ist beinahe genau so alt wie die Geschichte der Elektrizität. Schon kurz nach dem großen Durchbruch der Elektrizität wurde die Industrie auf Lichtinstallationen als Werbeträger ihrer Marken aufmerksam. So gingen bereits 1896 die ersten einfachen Lichtwerbeanlagen mit verschiedenen Anordnungen von Glühlampen in Deutschland in Betrieb. Die Entwicklung der Leuchtstoffröhre zu Beginn des 20. Jahrhunderts ermöglichte schließlich die Gestaltung von Lichtröhrensystemen zu Reklamezwecken in den vielfältigsten Farben und Formen. Heute erfreuen sich derartige Leuchtröhrenanlagen wieder zunehmend einer größeren Beliebtheit insbesondere im Bereich der Lichtkunst.

Im Zuge des Vortrages wird an zwei anschaulichen Beispielen die Rekonstruktion und Sanierung von zwei großen Lichtwerbeanlagen in Leipzig berichtet, die im vergangenen bzw. diesem Jahr abgeschlossen werden konnten. Hierbei handelt es sich zum einen um die „Kunst am Bau“ von James Turrell bei der Verbundnetz Gas AG Leipzig sowie der Lichtreklame des Leipziger Kommissions- und Großbuchhandels mit Logo, Firmenname und Werbeslogan.

Dabei stand das Unternehmen vorrangig vor der Aufgabe, das jeweilige Lichtkunstwerk mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln und Möglichkeiten zu erhalten bzw. soweit als möglich getreu den noch vorhandenen Vorbildern nachzuempfinden.

## **Development of a test facility to determine the luminance of bicycle headlight with the LMK in accordance with DIN 33958 (2013)**

*Ingo Herzog, Oliver Dannberg, Richard Roeder, Benjamin Rudolf, Alexander Behr  
Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau  
ingo.herzog@tu-ilmenau.de*

Bicycle lights are getting brighter during progressive development of LED. For headlamps with light bulbs were 20 Lux illuminance generally used in the brightest spot (measured at 10m distance to the headlight). Nowadays it is not impossible to have 40-50 Lux or higher with the modern light bulbs.

According to DIN 33958 9 measuring points and 1 zone to characterize the luminance distribution and the admissibility of the spotlight on public roads are used. In a distance of 10m the maximum size of measuring points are 65x65mm. These Fields are equal allocated over an area of 4,09 m<sup>2</sup> (2,80 m x 1,46 m). The complete luminance distribution of the headlights is ignored in this characterization.

With the measuring method using a LMK (Imaging luminance measuring device) a characterization of the entire beam pattern is possible because not only the measured values of each field, but rather space-resolved values of the entire beam pattern are being determined.

This poster will present the project work of 4 students who designed and built a test rig, which makes it possible to measure spatial resolution by bicycle lighting illuminance and evaluate this. With this method it is possible to characterize the entire light image of a headlight. At the same time the 10 measuring fields, demanded by the DIN 33958, were introduced to assess the admissibility of the bicycle headlight on public roads in the evaluation.

## **Entwicklung eines Versuchstandes zum Ermitteln der Leuchtdichten von Fahrradscheinwerfer mit der LMK nach DIN 33958 (2013)**

*Ingo Herzog, Oliver Dannberg, Richard Roeder, Benjamin Rudolf, Alexander Behr  
Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau  
ingo.herzog@tu-ilmenau.de*

Durch die fortschreitende Entwicklung der LED werden Fahrradscheinwerfer immer heller. Waren bei Scheinwerfern mit Glühlampen als Leuchtmittel im hellsten Punkt noch 20 Lux Beleuchtungsstärke (gemessen in 10m Entfernung zum Scheinwerfer) üblich, sind heute mit den modernen Leuchtmitteln 40-50 Lux oder höher keine Seltenheit.

Nach DIN 33958 werden 9 Messpunkte und 1 Zone zur Charakterisierung des Leuchtdichtebildes und die Zulässigkeit des Scheinwerfers im Bereich der STVZO benutzt. Die einzelnen Messpunkte dürfen in 10 m Entfernung eine maximale Ausdehnung von 65 x 65 mm haben. Diese sind über eine Fläche von 4,09 m<sup>2</sup> (2,80 m x 1,46 m) relativ gleichmäßig verteilt. Die gesamte Lichtstärkeverteilung des Scheinwerfers wird bei dieser Charakterisierung völlig außer Acht gelassen.

Mit dem Messverfahren mit der LMK (Leuchtdichtemesskamera) ist eine Charakterisierung der gesamten Leuchtdichteverteilung möglich, da nicht nur die Messwerte der einzelnen Felder ermittelt werden, sondern orts aufgelöst die Werte der gesamten Fläche.

In diesem Poster wird die Projektarbeit von 4 Studenten vorgestellt, welche einen Versuchstand entworfen und gebaut haben, der es ermöglicht die Beleuchtungsstärke von Fahrradleuchten orts aufgelöst zu messen und auszuwerten. Mit diesem Verfahren ist es möglich, die gesamte Lichtstärkeverteilung eines Scheinwerfers zu charakterisieren. Gleichzeitig wurden in die Auswertesoftware die von der DIN 33958 geforderten 10 Messfelder implementiert, um die Zulässigkeit des Fahrradscheinwerfers im Bereich der STVZO zu beurteilen.





# **Road Surface Reflection Properties of Typical for Bulgaria Pavement Materials**

*Dimitar Pavlov, Iva Petrinska, Dilian Ivanov*  
*Technical University of Sofia*

The luminance of asphalt road surfaces is a function of the horizontal illuminance and the reflection properties of the surface at any point. The reflection properties of the road surfaces depend on their physical condition, age and type (components and roughness of the surface). The current standards and recommendations are based basically on the luminance of the road surface and its distribution along the road. This distribution depends to a great degree on the reflection properties of the road. The existing standard tables of reflection of the road surfaces are not valid for all the road conditions. The cracked and old surfaces are typical for Bulgaria, which means that the reflection tables, given by the standard will not lead to a proper design of the reflection characteristics of the surface.

The aim of the current investigation is description of the real reflectance characteristics of typical for Bulgaria road surfaces, according to their age, fracture of the materials and condition. Analysis of the results is made for different observation angles and angles of light incidence.

## Keywords:

road surface reflectance properties, reflection characteristics of surfaces

## **Die Bestimmung der Adaptationsleuchtdichte bei inhomogenen Umfeldern über die Messung der Schwarzschwelle**

*Felix Börner Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau  
felix.boerner@tu-ilmenau.de*

### **Nothing's in mind, which hasn't been perceived before.**

(Arabic saying)

The mentioned saying above create's the question „how can our mind understand and describe visual perception to find a way of measuring or calculating it?

Many attempts have been made to describe visual adaptation of the human eye. Approaches and methods as well as conclusions drawn of them have shown comparable but non uniform results.

At the moment there is no generally scientific proven model to calculate or forecast the luminance adaptation of the human eye for any given luminance distribution in the field of view. It is rather accepted to use averaged scene luminances although this doesn't describe the niveau of adaptation sufficiently enough. The evaluation of a research made in Ilmenau focusing on this topic shows more tendencies then a simple averaging of scene luminance's. Several luminance distributions were presented while changing their size, form and luminance surrounding a point of fixation as well as its peripheral areas.

Using only defined areas of luminance's within the field of view surrounding a point of fixation and its periphery it is now possible to make predictions towards the niveau of adaptation in a scene.

This new model will be tested under random surroundings in a laboratoy setup. Results will be presented during the conference.

## **Determination of the adaptation luminance under non - homogenous luminance distributions while measuring the luminance of subjective black**

*Felix Börner Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik  
Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau  
felix.boerner@tu-ilmenau.de*

**Nichts ist im Verstand, was nicht zuvor in der Wahrnehmung wäre.**

(Arabisches Sprichwort)

Das o.g. Sprichwort lässt allerdings die Frage aufkommen, wie kann unser Verstand z.B. die visuelle Wahrnehmung beschreiben und z.B. messtechnisch erfassbar machen?

An Versuchen die visuelle Adaptation des Menschen zu beschreiben und vorhersagen zu können, hat es nicht gemangelt. Die hierzu verwendeten Methoden und Ansätze sowie daraus gezogene Schlüsse zeigten ähnliche aber nicht einheitliche Ergebnisse auf.

Bis heute fehlt es an einem allgemeinen, wissenschaftlich begründeten Modell um die Adaptationsleuchtdichte aus einer Leuchtdichteaufnahme berechnen zu können. Angenommen werden derzeit mittlere Leuchtdichten, wobei diese Annahmen den Zustand der Adaptation nicht hinreichend genau beschreiben.

Die Auswertung der in Ilmenau zu dieser Thematik durchgeführten Probandenuntersuchungen bei Darbietung unterschiedlicher Sehfeldgrößen, Formen und Leuchtdichten um den Fixationspunkt sowie der Peripherie zeigen klare Tendenzen, die über eine einfache Mittelung der Szenenleuchtdichten hinausgehen.

Unter Einbeziehung definierter Sehfeldbereiche und Leuchtdichten um einen Fixpunkt und seiner Peripherie lassen sich reproduzierbare Aussagen zum Adaptationsniveau der vorliegenden Szene treffen.

Das erarbeitete Modell soll unter beliebigen Umfeldern im Labor verifiziert und die Ergebnisse während der Tagung präsentiert werden.

# **Effiziente Lichtlösungen für Anwendungen in der Industrie mit Leuchtstoff- und LED – Lampen**

*Sebastian Hesse, Frank Hofmann  
NARVA Lichtquellen GmbH + Co. KG  
Frank.Hofmann@narva-bel.de*

In der Allgemeinbeleuchtung ist die LED als effiziente Lichtquelle inzwischen bereits Standard. Allerdings dringt die LED mittlerweile auch in Sonderapplikationen mit speziellen Anforderungen ein. Viele Anwendungsfelder können bereits heute mit LED abgedeckt werden.

In den folgenden Abschnitten werden einige spezielle Applikationen vorgestellt, die sowohl bereits heute mit LED – Technologie realisiert werden können als auch solche, bei denen derzeit ein Einsatz von LED noch nicht wirtschaftlich sinnvoll möglich ist.

## **I Implementierung von Leuchteigenschaften in die Lampe**

Klassische Lichtquellen bedürfen für ihren optimalen, bestimmungsgemäßen Betrieb stets einer auf sie angepassten Leuchte. Die Funktion dieser Leuchte besteht in der Lichtlenkung gemäß den gestalterischen Vorgaben.

Mit der Entwicklung neuer LED-Lichtquellen, wurden diese als sog. Retrofitlösungen in die bestehenden Leuchtensysteme eingebracht. Dadurch wurden die lichtlenkenden Eigenschaften der Leuchten obsolet, da die LED Lampen einen signifikant anderen Lichtstärkeverteilungskörper als die klassischen Lampen besitzen.

Dank des modulareren Aufbaus neuester LED – Lichtquellen ist es nun möglich geworden, einige der Leuchteigenschaften (Lichtlenkung) bereits in die Lampe zu integrieren.

## **II Normlicht**

Die internationale Beleuchtungskommission (CIE) definiert verschiedene sog. Normlichtarten, die bei bestimmten Anwendungen bzw. Aufgaben (z.B. Farbabmusterungen) zum Einsatz kommen sollen. Von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung sind dabei die Normlichtarten Dxx (z.B. D50 - 5.000K oder D65 - 6.500K), die jedoch theoretische Lichtfarben sind, die in der Praxis nur schwer angenähert werden können.

Neue technologische Verfahren ermöglichen nun die Fertigung von Leuchtstofflampen, die sich bzgl. der CIE – Normlichtarten durch sehr geringe Metameriindizes auszeichnen. Mit diesen Leuchtstofflampen können die CIE-Normlichtarten energie- und kosteneffizient realisiert werden.

### **III Reduzierung kurzwelliger Spektralanteile**

Für bestimmte Anwendungen (z.B. Fotolithografie, Druckindustrie) gibt es spezielle Anforderungen, dass möglichst keine kurzwellige Strahlung von der Beleuchtungsanlage emittiert werden soll, um die Fertigungsprozesse nicht zu stören oder zu behindern. Die Sehfunktion für die dort arbeitenden Fachkräfte muss dabei jedoch gewährleistet werden.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Filtertechnologien verwendet, um die störenden kurzwelligen Anteile ( $<500\text{nm}$ ) zu blockieren. Mittels eines neuartigen Verfahrens werden nun die kurzwelligen Spektralanteile in nutzbare Anteile ( $>500\text{nm}$ ) konvertiert. Dadurch verdoppelt sich die Gesamlichtausbeute des Systems annähernd.

### **IV Human Centric Lighting**

Überall dort, wo sich Menschen länger aufhalten, spielt neben der visuellen auch die nichtvisuelle Perzeption von Strahlung eine wichtige Rolle. Diese beeinflusst u.a. die Chronobiologie des Menschen und somit auch dessen Wohlbefinden. Neben der sichtbaren Strahlung ist es deshalb weiterhin notwendig auch definierte Mengen an UV-Strahlung zur Verfügung zu stellen.

Eine Realisierung einer derartigen Lichtquelle mit SSL – Produkten ist derzeit nicht wirtschaftlich möglich, da geeignete UVED nicht an die Lebensdauern konventioneller LED heranreichen. In Leuchtstofflampen wird auf Grund der Niederdruck – Gasentladung prinzipiell immer UV – Strahlung zur Anregung des Leuchtstoffes erzeugt. Dieser UV – Anteil ist über die Lebensdauer der Leuchtstofflampe konstant im Spektrum enthalten und stellt photobiologisch keine Gefährdung dar (RG0).

## Towards a new realization of the SI-base unit “Candela”

Schneider, P., Sperling, A., Saffner, K., Nevas, S.

Fachbereich 4.1 Photometrie und angewandte Radiometrie

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany

Philipp.Schneider@ptb.de

The realization of the SI-base unit “Candela” for luminous intensity at PTB is achieved through a traceability chain to the radiometric national standard of PTB. On detector side the radiant power of a monochromatic source is in the first step compared to an electrical power with a cryogenic radiometer and then, the spectral responsivity of a Si-trap-detector is determined with the help of the cryogenic radiometer. In subsequent calibration steps this value is transferred to the photometric responsivity of a photometer. The relative spectral distribution of a source is measured traceable to the national primary standard for spectral irradiance, a high temperature blackbody radiator. In parallel a realization of the unit “Candela” from 1979 is maintained and updated through an ensemble of luminous intensity standard incandescent lamps.

The unit distributed by PTB is based on a network consisting of several groups of standard lamps and photometers. This network was built to ensure an excellent continuity of the distributed unit [1]. The annual realization of the “Candela” is done with lamps out of the network which represents the maintained and updated unit realized in 1979. The photometric responsivities regarding Illuminant A (2856 K) of the used photometers are traced back to the cryogenic radiometer via several transfer steps as described above. These photometers are measured against the incandescent lamps who maintain the luminous intensity, amongst others, at 2856 K, to detect differences between the realized and the maintained unit.

The realization of the unit using this traceability route results in an uncertainty of about  $u(1) \geq 2,5 \cdot 10^{-3}$  ( $k=2$ ) and a stability of  $| \Delta I / I | = 1 \cdot 10^{-3}$ . The maintenance via the ensemble of incandescent lamps results in an uncertainty of only about  $u(1) \geq 5 \cdot 10^{-4}$  ( $k=2$ ) and a stability of  $| \Delta I / I | = 2 \cdot 10^{-4}$ .

Goal of the new realization of the unit is to achieve a lower uncertainty and higher stability of the realized unit in comparison to the maintained unit. For this purpose a  $V(\lambda)$ -trap detector is build. The detector will enable a shorter traceability chain without the necessity of additional transfer standards and calibrations. The trap-detector can be calibrated directly with the cryogenic radiometer and then be directly used to realize the luminous intensity unit. In addition during the design of the  $V(\lambda)$ -trap-detector all known contributions to the uncertainty budget have been evaluated to find possibilities to reduce the influence of each contribution.

To specify the requirements for the detector components, simulations are carried out in order to calculate their properties. Additionally, characterization measurements of several  $V(\lambda)$ -filters and trap-detectors are done. Based on the simulation and measurement results the manufacturing process will be optimized.

- [1] W. Erb and G. Sauter, “PTB network for realization and maintenance of the candela,” *Metrologia*, vol. 34, pp. 115–124, 1997.

## Grundlagen einer neuen Realisierung der SI-Basiseinheit „Candela“

Schneider, P., Sperling, A., Salfner, K., Nevas, S.

Fachbereich 4.1 Photometrie und angewandte Radiometrie

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Germany

Philipp.Schneider@ptb.de

Die SI-Basiseinheit „Candela“ wird in der PTB über eine Rückführungskette zum radiometrischen Normal der PTB realisiert. Auf der Empfängerseite wird hierzu zunächst die Strahlungsleistung einer monochromatischen Quelle über ein Kryoradiometer mit einer elektrischen Leistung verglichen und anschließend mit Hilfe des Kryoradiometers die Strahlungsempfindlichkeit eines Si-Trap-Empfängers bestimmt. Nachfolgende Kalibrierschritte übertragen diese Größe auf die photometrische Empfindlichkeit eines Photometers. Die Messungen der relativen spektralen Verteilung einer Lichtquelle werden auf die spektrale Bestrahlungsstärke des nationalen Normal, eines schwarzen Strahlers, rückgeführt. Parallel hierzu wird zur Bewahrung und Weitergabe die 1979 realisierte Einheit „Candela“ durch ein Ensemble von Lichtstärkenormallampen bewahrt und fortgeschrieben.

Die Einheit, die von der PTB weitergegeben wird, basiert auf einem Netzwerk aus Gruppen von Lichtstärkenormallampen und Photometern. Dieses Netzwerk wurde aufgebaut um eine bestmögliche Kontinuität der weitergegeben Einheit zu gewährleisten [1]. Die jährliche Realisierung der „Candela“ wird mit der Lampengruppe durchgeführt, die den 1979 realisierten Wert bewahrt und fortschreibt. Die photometrische Empfindlichkeit bezüglich Normlichtart A (2856 K) der verwendeten Photometer geht hierbei, wie oben beschrieben, über mehrere Transferstufen zum Kryoradiometer zurück. Diese Photometer werden gegen die Lampen, die die Lichtstärke unter anderem bei 2856 K bewahren, gemessen, um Abweichungen zwischen der so realisierten Einheit und der mit den Lampen bewahrten Einheit festzustellen.

Die Realisierung der Einheit über diesen Weg hat eine Unsicherheit von etwa  $u(1) \geq 2,5 \cdot 10^{-3}$  ( $k=2$ ), mit einer Stabilität von  $|\Delta I/I| = 1 \cdot 10^{-3}$ , während die Bewahrung der Einheit durch das Lampenensemble nur eine Unsicherheit von etwa  $u(1) \geq 5 \cdot 10^{-4}$  ( $k=2$ ) und eine Stabilität von  $|\Delta I/I| = 2 \cdot 10^{-4}$  aufweist.

Ziel der neuen Realisierung der Einheit ist es eine kleinere Messunsicherheit und eine höhere Stabilität der realisierten Einheit gegenüber der bewahrten Einheit zu erreichen. Zu diesem Zweck wird ein  $V(\lambda)$ -Trap-Detektor aufgebaut. Dieser Detektor ermöglicht es die Rückführungskette zu verkürzen, ohne die Verwendung zusätzlicher Transfernormale und Kalibrierschritte. Der Trap-Detektor kann sowohl direkt gegen das Kryoradiometer kalibriert werden, als auch bei der Messung der bewahrten Einheit eingesetzt werden. Weiterhin sind beim Entwurf des Detektors alle bekannten Beiträge des Messunsicherheitsbudgets bis hin zur bisherigen Realisierung betrachtet worden um Wege zu finden den Einfluss der jeweiligen Beiträge zu reduzieren.

Um die gewünschten Anforderungen an die Baugruppen des Detektors zu bestimmen, werden Simulationen durchgeführt, um deren Eigenschaften zu berechnen. Ebenfalls werden Messungen zur Charakterisierung unterschiedlicher  $V(\lambda)$ -Filter und der Trap-Detektoren durchgeführt. Auf der Basis dieser Simulationen und Messungen werden die Fertigungsschritte optimiert.





# **Spectral Correction of Photoelements for Measurement of Radiation in the Blue Light Spectrum**

*Kamelia Nikolova<sup>1</sup>, Bojana Florian<sup>2</sup>, Nikolina Yaneva<sup>1</sup>, Petya Djanovska<sup>1</sup>, Iva Petrinska<sup>1</sup>,  
Dimitar Pavlov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Technical University of Sofia*

<sup>2</sup> *National Metrology Center*

The use of different sources of optical radiation and the photobiological effect they cause on humans is a contemporary problem. Investigations in the field are basically aimed to estimation of the photobiological risk from radiations in the blue part of the spectrum.

Quantitative estimation of the influence of radiations from the blue light spectrum can be conducted by:

- a) radiometrical measurements of the spectral intensity of the radiation of a source and estimation of the latter by means of the function of spectral sensitivity of the eye to blue light  $B(\lambda)$ ;
- b) direct measurement of integral quantities through photoreceivers with relative spectral sensitivity suited to  $B(\lambda)$ .

Currently there are special equipment for direct measurement of irradiance from sources, emitting in the blue part of the spectrum, EB, WB/m<sup>2</sup> and radiant luminance of the emitting surfaces, considering the blue component of the radiation, LB, (WB/m<sup>2</sup>)/sr. The spectral sensitivity of the equipment is close to  $B(\lambda)$ , but it differs from it in some spectral ranges.

The current paper presents theoretical and experimental results from spectral correction of photoelements according to  $B(\lambda)$  by means of filtering elements, aiming refinement of their spectral sensitivity.

**Keywords:**

photobiological risk from blue light, spectral correction of photoelements, filters

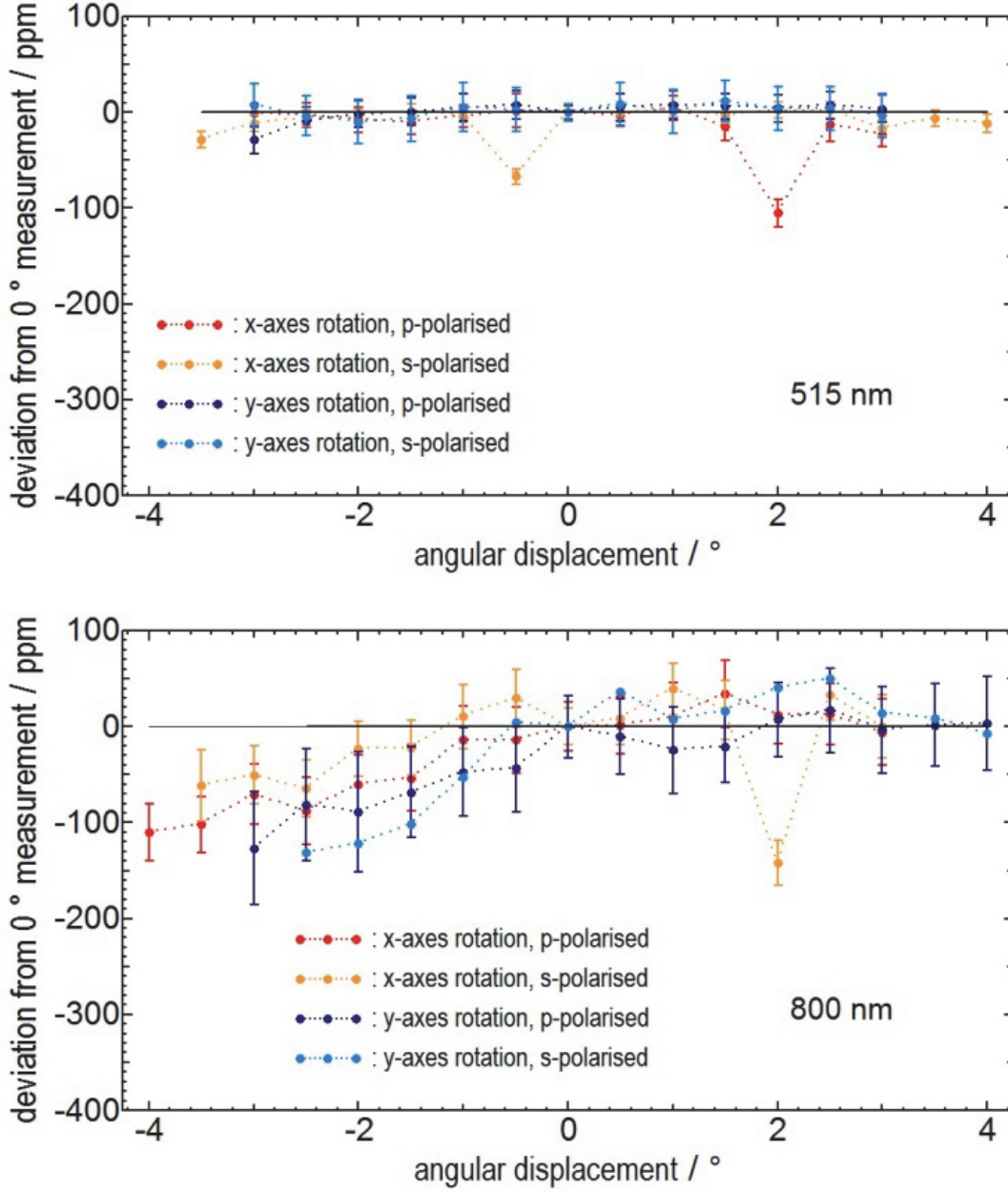


Figure 1: Angular responsivity of the RT-PQED normalised to the measurements at the incidence angle of  $0^\circ$ . The relative deviations are provided in part-per-million (ppm). The measurements were carried out in two orthogonal planes (rotation around x- and y-axis) with s- and p-polarised laser beams. The uncertainty bars represent the respective expanded uncertainties of these measurements.

# Characterisation of a room temperature quantum efficient detector for application as primary standard for radiometry

Katharina Saffner, Philipp Schneider and Saulius Nevas  
PTB, Bundesallee 100, 38114 Braunschweig

A predictable quantum efficient detector (PQED) based on induced-junction silicon photodiodes has been developed lately<sup>1,2</sup> which can be used as a novel primary standard for optical power, thus, providing an alternative to cryogenic radiometers. The goal of the EMRP NEWSTAR project<sup>3</sup> is an improved silicon detector primary standard for radiometry having approximately the same cost and functionality as present transfer standard detectors. Modeling and characterisations at selected wavelengths have shown that the spectral responsivity of a room temperature predictable quantum efficient detector (RT-PQED) can be predicted with an uncertainty at the level of 100 ppm. The implementation of the RT-PQED as a primary standard for radiometry, though, requires experimental validation by characterising its performance with respect to the relevant characteristics over the whole spectral range of applications. The aim of the presented measurements was to validate the angular response of the RT-PQED, which is important to know for applications with non-collimated beams. Characterisations of the polarisation dependence are carried out at the moment as well. Results will be shown at the conference.

Figure 1 shows results of the angular dependence measurements at 515 nm and 800 nm for the incidence angle between  $\pm 4^\circ$ . In some cases shadowing by the RT-PQED's aperture appeared for larger angular displacements, so that these data points are masked in the graphs. The results for the studied RT-PQED show minor variations that are well within the measurement uncertainties and significantly less than 100 ppm in the mid-visible spectral range. The measurements at 800 nm wavelength revealed angular dependencies slightly exceeding the 100 ppm level. Comparison with the respective scans of the spatial uniformity of the photodiode's responsivity indicates a possible correlation with the results of the angular dependence measurements which, thus, could be caused by inhomogeneities of the photodiodes.

<sup>1</sup> Sildoja et al. "Predictable quantum efficient detector: I. Photodiodes and predicted responsivity," Metrologia 50, 385 (2013).

<sup>2</sup> Müller et al. "Predictable quantum efficient detector: II. Characterization and confirmed responsivity," Metrologia 50, 395 (2013).

<sup>3</sup> <http://www.inrim.it/Newstar/project.html>



## **Mesopic Illuminance Meter Based on CCD Fibre-Optics Spectroradiometer**

*Roman Dubnicka, Dionyz Gasparovsky*

*Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic, roman.dubnicka@stuba.sk*

Mesopic photometry is nowadays hot topic in the field of lighting engineering. It is mainly focused on exterior lighting system e.g. roadlighting, public lighting etc. where using of photometric system for mesopic photometry based on visual performance is reasonable due to level of luminances on the illuminated surface. Also assumption of mesopic photometry approach in such situations promotes using of luminaires with installed so-called rich-blue light sources with regard to Purkinje effect in visual process by human eye i.e. dynamic change of human sensitivity with maximum shift towards blue region.

Practical implementation of CIE recommended system according to document CIE 191:2010 of photometric quantities is still waiting from research work for determination of adaptation luminance what some institutions and universities solve in their research work. At the present the investigation about assessment of the adaptation luminance, visual field is undergoing in the frame of work joined technical committee JTC-001 in CIE.

Furthermore measurement in the mesopic region is also limited to this requirement. Some models of assessment of visual field for determination of adaptation luminance exist at the present. However the validation process it still needed to use these models in the practice. Instruments used for measurement in the mesopic photometry have to follow model from recommendation. Therefore using of spectroradiometers in this range is valueable because besides knowing value of photometric quantity can be measured also spectral power distribution of measured light what can be used for other processing e.g. colorimetric information etc. Even more using of spectroradiometers for the measurement avoiding spectral mismatch error what the measurement with filter devices shall be assumed. CCD spectroradiometers provide full spectrum information in the range of interest in real time and for all wavelengths without needing to measure spectrum wavelength by wavelength scanning what is needed in the measurement by traditional desktop spectroradiometers. In the outdoor applications the illuminance level is important for some cases to verify lighting calculations mostly performed at the present by software tools.

The paper deals with construction of illuminance meter based on CCD fibre-optics spectroradiometer to measure illuminance level in the practice. Moreover using of this type of spectroradiometer is shown in some particular situations for outdoor lighting situations by assuming existing models about determination of the adaptation luminance.

# **Development of a Hyperspectral Camera Using Optical Filters with Strong Angular Dependent Transmittance**

*Benjamin Ruggaber, Udo Krüger, Franz Schmidt (Ilmenau)*  
*TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau*  
*benjamin.ruggaber@technoteam.de*

The present study deals with the development of a hyperspectral camera. The hyperspectral camera is primarily intended for reliable spatially resolved colour measurements (chromaticity coordinates CIE<sub>xy</sub>).

Hyperspectral cameras generally consist of an optical imaging system, some variation of an electrically tunable filter in addition to a detector array. The tunable bandpass shaped transmittance of the electrically tunable filter in conjunction with the imaging system, enables the spatially resolved reconstruction of spectra, if the calibration of the system is appropriate (determination of spectral-radiometric characteristics). The spectra is sequentially sampled by varying what is referred to as nominal wavelength, which characterizes the position of the bandpass of the tunable filter. The reconstructed spectra can be used to calculate colorimetric quantities.

The spectro-radiometric properties of the hyperspectral camera can be characterized by spectral responsivity. The spectral responsivity consists of the transmittance of the filter used, the transmittance of the lens and the spectral responsivity of the detector array.

In the present study two hyperspectral camera systems are compared. Therefore, the spectral responsivity is determined and measurements are performed.

# **Entwicklung einer Hyperspektralkamera unter Verwendung von Filtertechnologien mit stark vom Einfallswinkel des Lichts abhängigem Transmissionsverhalten**

*Benjamin Ruggaber, Udo Krüger, Franz Schmidt (Ilmenau)  
TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ilmenau  
benjamin.ruggaber@technoteam.de*

Die vorliegende Arbeit dokumentiert den Entwicklungsprozess einer Hyperspektralkamera, mit der Zielsetzung diese als zuverlässiges Messmittel zur orts aufgelösten Bestimmung farbmatischer Größen (z.B. Normfarbwertanteile) einzusetzen.

Hyperspektralkameras bestehen im betrachteten Fall aus einem abbildenden optischen System, einem elektrisch durchstimmbaren Filter zur spektralen Zerlegung des Lichts sowie einem Matrixdetektor. Aufgrund dieses Aufbaus kann, bei entsprechender Kalibrierung (Ermittlung der radiometrischen Eigenschaften des Systems), das Spektrum einer Lichtquelle orts aufgelöst ermittelt werden. Die orts aufgelöste Messung des Spektrums einer Lichtquelle erfolgt bei der vorliegenden Hyperspektralkamera nach dem Monochromatorprinzip, das heißt das Spektrum der Lichtquelle wird sequenziell abgetastet, man spricht hierbei von der Zerlegung des Spektrums in sogenannte Kanäle. Die Kanäle der Hyperspektralkamera besitzen Bandpasscharakter und sind quasi kontinuierlich (große Kanalanzahl) über den spektralen Arbeitsbereich des Systems verteilt. Die Bestimmung von farbmatischen Größen erfolgt über das Spektralverfahren.

Die radiometrischen Eigenschaften einer Hyperspektralkamera können durch die spektrale Empfindlichkeit beschrieben werden. Diese setzt sich aus der Transmission der verwendeten Filtertechnologie, der Transmission des Objektivs und der spektralen Empfindlichkeit des Matrixdetektors zusammen.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Hyperspektralkamerasysteme miteinander verglichen. Hierzu werden die spektralen Empfindlichkeiten beider Systeme bestimmt und Messungen durchgeführt.



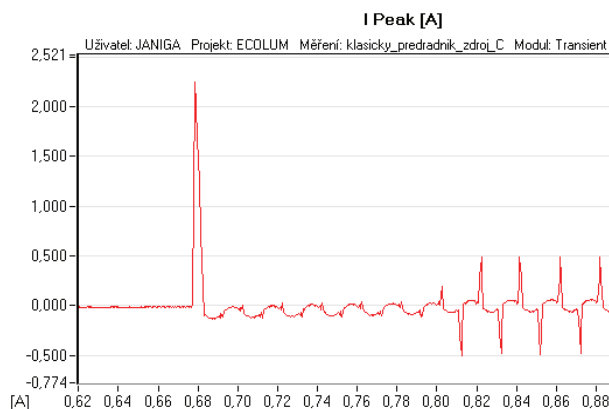
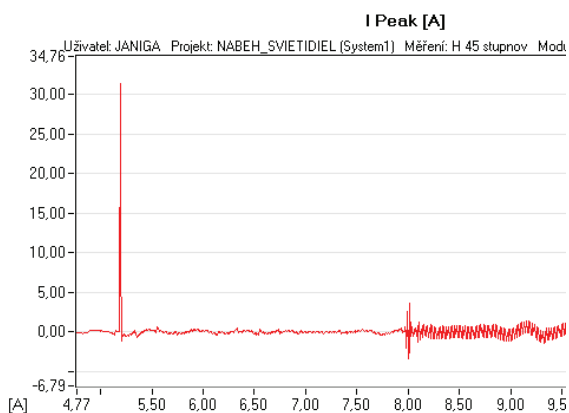


## Inrush current of lamp

*Peter Janiga, Lukáš Lipnický, Dionýz Gašparovský, Anton Beláň, Michal Barčík  
Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic, peter.janiga@stuba.sk*

Lighting systems pass through big change in terms of light source recently. LED replace discharge lamp and this change represent change of electrical parameters and influence to installations. Lighting systems with discharge lamp use inductive ballasts with choke and starter or electronic ballasts. Lamps with LED use drivers which are switching sources. The drives include rectifier, high frequency oscillator, transformer and capacitors. Typically rectifier has impact to distortion of luminaire current and capacitor has impact to inrush current. Over the last years, problem increases with inrush current. Public lighting networks reconstruct with LED luminaires. Often increase inrush current and circuit-breaker have to be changed for stronger. This change cause increasing of payment for energy distribution and sometime is necessary change installation.

Aim of this paper is describe difference between luminaires from point of view inrush current. Size and duration of inrush current depends on construction of driver and also on phase of supply voltage. In paper are analysed amplitudes, durations and behaviour of electrical parameters various LED luminaires.



Inrush current of LED with driver (left) and HPS with electronic ballast (right)

## **Creation and implementation of a lighting concept for a satellite observation unit**

*Oliver Maak*

*Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik*

*Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau*

*oliver.mak@tu-ilmenau.de*

The development process of a lighting concept is the main topic in the bachelor thesis presented in the presentation. The light is for the SBG, an historical tool of the astronomic. With the SBG it was possible to observe the orbits of satellites.

The first step is the creation and evaluation of three light concepts and the production of five test-circuit boards. Those circuit boards were served to find the appropriate LED-Type. After choosing a matching LED-module, the expiration and results of the measurement are described in the following chapter. After different tests, with a positive result, the author constructed a light by the final concept. Part of construction is the creation of an electrical circuit board, a design of a heatsink, the realization of an adjustment and the shaping of all items.

## **Erstellung und Umsetzung eines Lichtkonzeptes für ein Satellitenbeobachtungsgerät**

*Oliver Maak*

*Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik*

*Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau*

*oliver.mak@tu-ilmenau.de*

Die vorgestellte Bachelorarbeit beschäftigt sich mit dem Entstehungsprozess einer Beleuchtung. Die Leuchten werden für das Satellitenbeobachtungsgerät SBG, einem historischen Werkzeug der Astronomie zur Bestimmung der Umlaufbahnen von Satelliten, ausgelegt.

Nach der Erstellung und Auswertung von drei Beleuchtungskonzepten wurden Testplatten erstellt. Diese Platten dienen dazu den geeigneten LED-Typ zu ermitteln. Nachdem ein passendes LED-Modul ausgewählt wurde, sind in dem darauffolgenden Kapitel der Ablauf und die Ergebnisse der Messung beschrieben. Als sich das Modul durch verschiedene Tests als geeignet erwiesen hat wurde eine Leuchte aus dem fertigen Konzept damit konstruiert. Zu der Konstruktion gehört die Erstellung des elektrischen Schaltplans, der Entwurf eines geeigneten Kühlkörpers, die Realisierung eines Justierprinzips und die Gestaltung aller Einzelteile.

## Subjective appraisal criteria of low-beam distributions

*M. de Wille<sup>1</sup>, Dr.-Ing. C. Jebas<sup>1</sup>, Prof. Dr. rer. nat. C. Neumann<sup>2</sup>;*

*<sup>1</sup> BMW Group, EK-711, Knorrstraße 147, 80788 München;*

*<sup>2</sup> Karlsruher Institut für Technologie, LTI, Engesserstr.13, 76131 Karlsruhe*

There has been a rapid change going on in automotive lighting technologies for the past few years. New light sources allow the engineers to adjust the light-distributions even more unfettered. But not only according to the regulations is important for the development and design of light-distributions. It is also important to take physiological and psychological factors into account. A physiologically optimized head-light setup supports the driver in his viewing tasks. Depending on the situation the area of interest is illuminated without glaring the driver causing a negative influence on the contrast viewing performance. Furthermore a psychologically optimized distribution shall help to support the drivers' and passengers' perceived feeling of safety.

Due to the incredibly fast development of the headlight systems there is a lot of work to be done in the field of evaluating low-beam distributions with the eyes of a customer. The lack of these evaluations leads to a lot of room for interpretation and the experts' judgment can differ from the opinion of the drivers in some cases. To avoid these differences it is necessary to collect objective factors representing the opinion of most of the drivers.

Usually knowledge about these criteria is gained with the help of one or several research studies. Light-distributions used in such studies need to be comparable and the single factors need to be changed in a reproducible style. Production processes of headlight lamps are not precise enough and lead to highly visible differences in the light-distribution. Therefore the study needs to be performed in a night-drive simulator.

This work results in a Matlab-tool enabling the simulative design of low-beam distributions on the road and in the 10m-wall-view. Several factors like the distribution of the illumination, the homogeneity of the distribution as well as the gradient of the cut-off line can be changed with this tool.

A low-beam distribution is changed with that tool and acts as a foundation for the research study. The question is which areas have to be illuminated in order to make the driver feel safe. There are different options to project the chips of the LED-light source onto the street. These options are also part of the investigation as well as the color temperature of the light-distribution. Some of the factors can only be improved by decreasing the quality of other factors. In a last step there is a ranking of the factors that influence the study participants' judgment.

# **Subjektive Bewertungskriterien von Abblendlichtverteilungen aus der Sicht von Fahrzeugführern**

*M. de Wille<sup>1</sup>, Dr.-Ing. C. Jebas<sup>1</sup>, Prof. Dr. rer. nat. C. Neumann<sup>2</sup>;*

*<sup>1</sup> BMW Group, EK-711, Knorrstraße 147, 80788 München;*

*<sup>2</sup> Karlsruher Institut für Technologie, LTI, Engesserstr.13, 76131 Karlsruhe*

In der automobilen Lichttechnik findet seit einigen Jahren ein rasanter Wandel statt. Neue Leuchtmitteltechnologien ermöglichen es den Ingenieuren, die Lichtverteilungen noch freier anzupassen. Neben der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben sind aber bei der Entwicklung von Scheinwerfersystemen vor allem physiologische und psychologische Faktoren zu berücksichtigen. So soll eine physiologisch optimierte Scheinwerfereinstellung den Fahrer in seiner Sehaufgabe unterstützen. Das geschieht durch situationsabhängiges Ausleuchten der area of interest (AOI) ohne negative Beeinflussung des Kontrastempfindens des Fahrers durch Eigenblendung zu verursachen. Darüber hinaus soll eine psychologisch optimierte Verteilung das Sicherheitsempfinden der Fahrzeuginsassen unterstützen.

Angesichts der rasanten Weiterentwicklung der Scheinwerfersysteme stehen detaillierte Untersuchungen zu subjektiven Qualitätskriterien von Abblendlichtverteilungen noch aus. Somit bleibt viel Raum für Interpretationen und die Bewertung durch die Experten kann in einigen Fällen von der Bewertung durch die Fahrzeugführer differieren. Um diese Abweichungen zu vermeiden, braucht man objektive Faktoren, die die mehrheitliche Fahrermeinung repräsentieren.

Üblicherweise werden solch kundennahe Kriterien mithilfe einer oder mehrerer Probandenstudien ermittelt. Dazu müssen die Lichtverteilungen notwendigerweise vergleichbar sein und die einzelnen Faktoren müssen reproduzierbar verändert werden können. Da bei realen Scheinwerfern zu viele Variablen im Produktionsprozess einen deutlich sichtbaren Einfluss auf das Ergebnis haben, muss die Studie an einem Nachtfahrsimulator durchgeführt werden.

In dieser Arbeit wird ein Matlab-Tool entwickelt, mit dem es möglich wird, Abblendlichtverteilungen auf der Straße simulativ zu bearbeiten und individuell zu gestalten. Dadurch kann man mehrere Faktoren, wie zum Beispiel die Helligkeitsverteilung (Vorfeld, Seitenbereiche, etc.), die Homogenität und Farbtemperatur der Lichtverteilung oder den Gradienten der Hell-Dunkel-Grenze, frei verändern.

Darauf aufbauend kann dann eine ausgewählte Abblendlichtverteilung beliebig verändert werden und wird so als Basis für eine Probandenstudie dienen. Im Mittelpunkt steht dabei, welche Parameter der Abblendlichtverteilung für den Fahrer wichtig sind. Bereiche der Lichtverteilung für den Fahrzeugführer wichtig sind. Da viele Faktoren nur zu Lasten anderer Faktoren optimiert werden können, ist eine Gewichtung der Faktoren extrem wichtig. Auch eine Untersuchung darüber, welche Bereiche der Lichtverteilung stärker ausgeleuchtet werden sollen, wird durchgeführt. Weiterhin besteht vor allem durch die LED Technologie die Möglichkeit, die Farbtemperatur der Lichtverteilung freier zu gestalten. Tiefergehende Untersuchungen zum Einfluss der Lichttemperatur auf den Fahrer stehen derzeit ebenfalls noch aus und werden Teil dieser Studie sein.

## **Investigation on Deglare Spots of Adaptive Front-lighting Systems**

*B. Sc. Robin Hofner; Dr. –Ing Steffen Michenfelder; Prof. Dr. rer. nat Cornelius Neumann;  
B. Sc. Iulia Cristea, Karlsruhe Institut of Technology (KIT), Light Technology Institute (LTI)  
Engesserstraße 13, Geb. 30.34, 76131 Karlsruhe Tel. 0721-608 46735  
iulia.cristea@student.kit.edu, www.lti.kit.edu*

The basic problem in automotive lighting consists in providing optimal visibility for the driver in low light conditions. The main challenge is to illuminate the road in a convenient way without glaring other traffic participants. Active headlamp systems offer the possibility to generate different light distributions for specific traffic situations. The glare-free high beam shields out oncoming and preceding cars by turning off the corresponding spots and slices of the high beam pattern. Thus, good visibility is provided to the driver while glare for the other traffic participants is avoided. The matrix beam allows pixel accurate control over the dimensions, form and brightness of the shaded area.

A deglare area consists of several components: the main part (defined by the height and width of the object to be shielded), the safety region and a possible gradient.

A compromise between the dimensions and the characteristics of the shaded area has to be found. The difference between various deglare spots is analysed using the subjective evaluation of test subjects in a case study. The subjects evaluated the light situation both from the perspective of the driver of the vehicle fitted with the glare-free main beam, and from the perspective of the driver of the preceding vehicle. The results of the study show that a shaded area with a smooth transition from light to dark is favoured with regard to glare, visibility range and visual comfort.

## **Ausblendungsstrategien von adaptiven Scheinwerfersystemen**

*B. Sc. Robin Hofner; Dr. –Ing Steffen Michenfelder; Prof. Dr. rer. nat Cornelius Neumann;  
B. Sc. Iulia Cristea, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)  
Engesserstraße 13, Geb. 30.34, 76131 Karlsruhe Tel. 0721-608 46735  
iulia.cristea@student.kit.edu, www.lti.kit.edu*

Eine hinreichende Ausleuchtung der Fahrbahn im nächtlichen Straßenverkehr ohne dabei die anderen Verkehrsteilnehmer zu blenden, stellt weiterhin eine zentrale Herausforderung für die automobilen Lichttechnik dar. Zum gegenwärtigen Stand der Technik ist es möglich mit adaptiven Scheinwerfersystemen eine der Verkehrssituation angepasste Lichtverteilung zu erzeugen. Das blendfreie Fernlicht beispielsweise blendet vorausfahrende und entgegenkommende Fahrzeuge aus und garantiert so dem Fahrer eine gute Ausleuchtung des Verkehrsraums, ohne die anderen Verkehrsteilnehmer zu blenden. Bei einem Matrix-beam ist es möglich, die Größe, Form und Helligkeit des Ausblendungsbereichs pixelgenau zu kontrollieren und zu manipulieren.

Zur Erzeugung einer Ausblendung gehören mehrere Komponenten: die Hauptausblendung (Höhe und Breite des auszublendenden Objektes), einen Sicherheitsbereich und einen möglichen Gradienten.

Gesucht wird nach einer geeigneten Kombination zwischen den Dimensionen und Charakteristiken der Ausblendung. Mittels einer Probandenstudie wird der subjektive Unterschied zwischen verschiedenen Ausblendungsstrategien untersucht. Dabei variieren die Breite, der Gradient und der Sicherheitsbereich der erzeugten Kanten. Die Probanden müssen sowohl aus Sicht des ausgeblendeten, vorausfahrenden Fahrzeugs, als auch aus der Perspektive des ausblendenden Fahrzeugs, die jeweilige Lichtsituation bewerten. Dabei wurde eine Ausblendung mit einem weichen Hell-Dunkel Übergang hinsichtlich der Blendung, Sichtweite und dem visuellen Komfort bevorzugt.



## **Glare free dynamic low beam light distribution for automotive head-lamps – Requirements and validation**

*Werner, Ch., TH Nürnberg*

*Kleinert, B., Marutzky, M., Bogdanow, S., IAV GmbH, Rockwellstr. 16, 38518 Gifhorn*

*Schierz, Ch., TU Ilmenau, FG Lichttechnik*

*benedikt.kleinert@iav.de*

A questionnaire published by Neumann [1] shows that a low beam system for adverse weather conditions (e. g. rainy road surface) is considered highly relevant. Currently available systems only modify the light distribution statically. Research conducted by Rosenhahn [2] indicates however, that a reduction of glare cannot be achieved by this alone. Dynamic adjustments during the passing process using suitable sensor technology would be necessary.

The following article is therefore concerned with the requirements of a glare free dynamic low beam light distribution for mirror-reflective road surfaces as well as means of validating such a system.

The main requirement of a dynamic low beam light distribution is minimizing reflected glare during a passing process as suggested by investigations of Schmidt-Clausen and Schwenkschuster [3] as well as Kleinert [4]. Hence different strategies of minimizing reflected glare are investigated under laboratory conditions using a digital projector. The simulated luminous intensity distribution of a head lamp is herein adapted to respective encounter situations.

To validate the glare caused by head lamps during a passing situation, IAV developed the software CAGE (Computer Aided Glare Evaluation). It enables the evaluation of the indirect glare potential of automotive head lamps. For that reason the software is used to verify the effectiveness of the strategies mentioned above.

Parameters and boundary conditions of the software are based on ample laboratory and free field studies currently conducted. Because of this no final results are yet available at the time of submission of this abstract. These will be published at the conference along with a résumé.

- [1] Neumann, R., Advanced Lighting Technology: Vision and Strategy between customer perception, Styling Opportunities and safety features, Vision 2008
- [2] Rosenhahn, E. O.; Entwicklung von lichttechnischen Anforderungen an Kraftfahrzeug-scheinwerfer für Schlechtwetterbedingungen; Dissertation 1999
- [3] Schmidt-Clausen, H.-J., Schwenkschuster, L.; Einfluss der Helligkeit und des Reflexions-verhaltens von nassen Fahrbahnoberflächen auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen von Kraftfahrern bei Nacht; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 812, 2001
- [4] Kleinert, B.; Schierz, Ch.; Glare evaluation of automotive head lamps – what's measured, what's not?; Presentation, LuxJunior 2013, Dörnfeld

## **Blendfreie dynamische Abblendlichtverteilung für Kfz-Scheinwerfer – Anforderungen und Validierung**

*Werner, Ch., TH Nürnberg*

*Kleinert, B., Marutzky, M., Bogdanow, S., IAV GmbH, Rockwellstr. 16, 38518 Gifhorn*

*Schierz, Ch., TU Ilmenau, FG Lichttechnik*

*benedikt.kleinert@iav.de*

Eine von Neumann [1] publizierte Umfrage ergab, dass einem Abblendlichtsystem für widrige Witterungsumstände (z.B. regennasse Fahrbahn) eine hohe Relevanz beigemessen wird. Derzeit erhältliche Systeme modifizieren die Lichtverteilung lediglich statisch. Untersuchungen von Rosenhahn [2] zeigen jedoch, dass eine Reduzierung der Blendung nicht allein dadurch erreicht wird. Eine dynamische Anpassung mit geeigneter Sensorik während des Passiervorgangs wäre notwendig.

Der nachfolgende Beitrag beschäftigt sich daher mit den Anforderungen an eine blendfreie dynamische Abblendlichtverteilung bei spiegelnden Fahrbahnoberflächen sowie mit Möglichkeiten der Validierung eines derartigen Systems.

Die wesentliche Anforderung an eine dynamische Abblendlichtverteilung ist die Minimierung der Reflexblendung während des Passiervorgangs. Dies ergibt sich aus Untersuchungen sowohl von Schmidt-Clausen und Schwenkschuster [3], als auch von Kleinert [4]. Folglich werden verschiedene Strategien zur Minimierung der Reflexblendung unter Laborbedingungen mit einem Digitalprojektor untersucht. Hierbei wird der simulierte Lichtstärkeverteilungskörper eines Scheinwerfers an die jeweilige Begegnungssituation adaptiert.

Zur Validierung der durch das Scheinwerferlicht verursachten Blendung während des Passiervorgangs wurde bei IAV die Bewertungssoftware CAGE (Computer Aided Glare Evaluation) entwickelt. Mit dieser ist es möglich das indirekte Blendpotenzial eines Scheinwerfers zu bewerten. Aus diesem Grund wird die Software eingesetzt, um die Effektivität der oben angeführten Strategien zu verifizieren.

Die in der Software angesetzten Parameter und Randbedingungen beruhen auf umfangreichen experimentellen Untersuchungen im Labor und Freifeld, die zur Zeit unternommen werden. Zur Zeit der Einreichung dieses Abstracts lagen somit noch keine endgültigen Ergebnisse vor. Diese werden zusammen mit einem Fazit im Rahmen der Tagung publiziert.

- [1] Neumann, R., Advanced Lighting Technology: Vision and Strategy between customer perception, Styling Opportunities and safety features, Vision 2008
- [2] Rosenhahn, E. O.; Entwicklung von lichttechnischen Anforderungen an Kraftfahrzeugscheinwerfer für Schlechtwetterbedingungen; Dissertation 1999
- [3] Schmidt-Clausen, H.-J., Schwenkschuster, L.; Einfluss der Helligkeit und des Reflexionsverhaltens von nassen Fahrbahnoberflächen auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen von Kraftfahrern bei Nacht; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 812, 2001
- [4] Kleinert, B.; Schierz, Ch.; Glare evaluation of automotive head lamps – what's measured, what's not?; Vortrag, LuxJunior 2013, Dörnfeld

## ASSIST – The first self-adjusting headlamp generation

*Dr. Sören Schäfer – HELLA KGaA Hueck & Co.*

In 2014, the “Lichttest” showed a facile improvement of the headlamp settings. The quota of lacks of wrong adjusted headlamps decreased by 0.8 percent at all [LICHT2014]. Unfortunately, this stand only for the vertical direction of adjustment that has influences to the perception of glare on one hand and on the other hand on the illumination range for the driver. For newer adaptive driving beam systems (ADB) the horizontal headlamp setting get a more significant role than for non-segmented systems this days.

With a more detailed view, a correct headlamp adjustment can't be guaranteed without the situation of the first mounting in the car at the end of fabrication. Tool shops and other audit stations don't have exact possibilities (e.g. digital headlamp adjustment devices, processes, infrastructure) to detect the cut-off-line (CoL) and the headlamp adjustment is done by hand. [Röper 2014, Dominsky 2013, Dominsky 2014]

With the aspects named above there exists the claim to support a continuous and exact adjustment of headlamp systems in both directions in future. Additional we have the aim to develop and realize such a system with the use of implemented car components (e.g. camera systems, adjustment marks etc.) and without the raise of complexity.

Inside the ASSIST-Project (Aktorbasierte Systeme für eine selbstjustierende intelligente Scheinwerfertechnologie) of the excellence cluster „it's OWL“ the interdisciplinary team developed a complete self-adjusting headlamp system. This concept identifies some all-day use cases (wall, street, rearend of a car) automatically. After that the system searches and detects the CoL's as adjustment marks and as a result the calculation of correction angles is possible. This information is used by other data processing processes to control the movement unit and therefore the headlamp. Furthermore the chosen concept eliminates the manual-setting elements and this leads in smaller construction spaces. To support the ADB-functions and additionally the headlamp adjustments, a development of an innovative movement concept was done. This dynamic unit characterizes a position angel determination (CIPOS sensors) in all dynamic axes (swivel and inclination) and a new rotatoric-rotatoric actuator-transmission concept as a first of its kind. Now it is possible with the usage of the Cyclo-Akbar-Units to mount an ultra-flat actuator in each rotatory axis and participate from the construction advantages of the whole system. Key figures are the improvement of the torque from 0.066 Nm to ca. 5.6 Nm, an angel accuracy of 0.04° per full step and the self-locking feature.

The realized and integrated ASSIST-Prototype finalized the first step to the way of self-adjusting headlamp systems within the automotive sector. Now we have the possibility to test and evaluate the complete system.

*Research in the "it's OWL-ASSIST" project is sponsored by the German Federal Ministry of Education and Research as part of the "it's OWL" cluster competition.*

Licht-Test (2015). [www.Licht-test.de](http://www.Licht-test.de).

Röper, B.: "Der „selbsteinstellende Scheinwerfer“ der HELLA KGaA Hueck & Co. als Produktinnovation", University of applied Science Münster, 2014.

Dominsky, S.: „Kein Licht am Ende des Tunnels“, Kfz-Betrieb, Nr. 35, 2013.

Dominsky, S.: „Lichttechnik: Neue Prüfvorschriften für alle“, Kfz-Betrieb, 2014.

## **ASSIST – Die erste Generation selbstjustierender Scheinwerfer**

*Dr. Sören Schäfer – HELLA KGaA Hueck & Co.*

Im „Lichttest 2014“ wurde eine leichte Verbesserung des Punktes „Scheinwerfereinstellung“ festgestellt. Insgesamt sank die Mängelquote bei falsch eingestellten Scheinwerfern um 0,8 Prozentpunkte [LICHT 2014]. Leider wird nur die vertikale Einstellung geprüft, welche Einfluss auf die Blendwirkung und die Ausleuchtungsweite hat. Für neuartige ADB-Systeme (Adaptive Driving Beam) spielt die horizontale Einstellung von Scheinwerfern und somit schaltbaren Segmenten eine besondere Rolle.

Bei einer detaillierten Betrachtung der Situation, kann eine korrekte Justage der Scheinwerfer, außer beim Ersteinbau in das Fahrzeug (am Bandende des Fahrzeugherstellers) kaum garantiert werden. Hier fehlen bislang exakte Möglichkeiten in den Werkstätten, wie beispielsweise digitale SEGs (Scheinwerfereinstellgeräte), exakte Einstellprozessbeschreibungen oder die, insbesondere für komplexe Scheinwerfereinstellungen, nötige Infrastruktur. [Röper 2014, Dominsky 2013, Dominsky 2014]

Aus o.g. Gründen resultiert der Anspruch, zukünftig bei der Entwicklung und Realisierung neuer Lichtsysteme eine dauerhafte und präzise Justage der Scheinwerfer sicherzustellen. Dabei besteht das Ziel dies mittels vorhandener Sensorik zu erreichen und das mechatronische Gesamtsystem den resultierenden Anforderungen anzupassen.

Im ASSIST-Projekt (Aktorbasierte Systeme für eine selbstjustierende intelligente Scheinwerfertechnologie) des Spitzenclusters „it's OWL“ wurde ein Gesamtsystem entwickelt, welches mittels vorhandener Kamerasensorik im Fahrzeug alltägliche Use-Cases (Wand, Straße, Fahrzeugheck) automatisch identifiziert, die Szenen analysiert und mittels der Ausprägung von Hell-Dunkel-Grenzen (HDGs) als Justagemarken, in Korrekturwinkel der Scheinwerfereinstellung umwandelt. Dabei verzichtet der getroffene Ansatz komplett auf manuell-mechanische Einstellelemente, was zu einer Bauraumersparnis führt. Damit zusätzlich zu den ADB-Funktionen die Selbstjustagefunktion unterstützt wird, wurde ein innovatives Bewegungskonzept entwickelt, welches sich neben einer erstmaligen Lagebestimmung aller Schwenkachsen über CIPOS-Sensoren durch ein neues Aktor-Getriebe-Konzept auszeichnet. Die integrierten Cyclo-Akbar-Getriebe unterstützen ein rotatorisch-rotatorisches Antriebskonzept mit einem ultraflachen Aktuator, was mittels einer Drehmomentübertragung in den Drehachsen zu konstruktiven Vorteilen führt. Mittels der genannten Einheit ist eine Drehmomentsteigerung des Aktors von 0,066 Nm auf ca. 5,6 Nm, bei einer Winkelschrittgenauigkeit von 0,04° je Vollschrattansteuerung möglich.

Mittels des realisierten ASSIST-Demonstrators und der Integration in einen Versuchsträger ist die Implementierung eines selbstjustierenden Scheinwerfers abgeschlossen und eine erste Gesamtsystemgeneration steht zum Test und für empirische Versuche bereit.

*Die Forschung zum Projekt „it's OWL-ASSIST“ wird im Spitzencluster „it's OWL“ durch das Bundesministerium für Forschung und Entwicklung gefördert.*

Licht-Test (2015). [www.Licht-test.de](http://www.Licht-test.de).

Röper, B.: "Der „selbsteinstellende Scheinwerfer“ der HELLA KGaA Hueck & Co. als Produktinnovation", University of applied Science Münster, 2014.

Dominsky, S.: „Kein Licht am Ende des Tunnels“, Kfz-Betrieb, Nr. 35, 2013.

Dominsky, S.: „Lichttechnik: Neue Prüfverfahren für alle“, Kfz-Betrieb, 2014.

## Ambient interior lighting and attention control in vehicles

*Maximilian Barthel<sup>1</sup>, Sebastian Thomschke<sup>1</sup>, Dr. Gunnar Koether<sup>1</sup>,  
Prof. Dr. Cornelius Neumann<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Volkswagen AG; <sup>2</sup>Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)*

In current vehicles, the importance of the ambient interior lighting is increasing. With every new generation of vehicles the number of installed illuminants rises, and proportionally does the number of production sites of installed interior lighting. So far, this kind of permanent lighting only has a restricted function and thus few supporting benefits for the vehicle driver. At the moment, the ambient interior lighting mainly serves the interior design. Only a small part fulfills other functions, such as a better orientation in the interior and an increase of the adaption level of the vehicle driver. Currently, this kind of functional lighting is only analysed and evaluated in manually driven and assisted vehicles.

In future automatically driven vehicles totally new functions can be assigned to the ambient interior lighting. Automatic driving conditions are subdivided into different categories. This work focuses on the conditional automation, where some secondary tasks are allowed during the ride. This driving mode covers every driving task in both vertical and horizontal control. The vehicle does not have to be monitored in the active automation. In-depth literature research and manifold brainstorming identified new concepts to expand the range of functions. These concepts are intended to visualize the automatic driving manoeuvre and should thereby support the driver. By attracting and directing driver's attention, the transparency between driver and vehicle should be increased

In a first study with test persons in the driving simulator, an ambient interior light that surrounds the driver by 180° will be investigated. The attention attraction will be analysed by examining three light change modalities and their respective interaction with different secondary tasks. The three light change modalities are colour changes, brightness changes and movement change of the ambient interior light. They will be analysed for their peripheral perception in the automotive context and compared to general assumptions of perceptual psychology. In order to simulate realistic outside influences and distractions of the driver, three different secondary tasks have been selected. They comprehend a visual, a motoric and a cognitive task. The study design follows a current, in series produced ambient interior lighting. Study results will be used as a reference and for further development of lighting functions.

# Ambiente Innenraumbeleuchtung und Aufmerksamkeitslenkung in Fahrzeugen

Maximilian Barthel<sup>1</sup>, Sebastian Thomschke<sup>1</sup>, Dr. Gunnar Koether<sup>1</sup>,  
Prof. Dr. Cornelius Neumann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Volkswagen AG; <sup>2</sup>Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)

Die ambiente Innenraumbeleuchtung erfährt in aktuellen Fahrzeugen eine immer größere Bedeutung. Die Anzahl der verbauten Leuchtmittel steigt mit jeder Fahrzeuggeneration an, gleichermaßen erhöht sich auch die Anzahl der Orte, in denen sie im Interieur verbaut wird. Diese Art der dauerhaften Beleuchtung besitzt aktuell eine sehr begrenzte Funktion und somit nur eine geringe Unterstützungsleistung für den Fahrzeugführer. Momentan dient die ambiente Innenraumbeleuchtung in großen Teilen dem Interieur Design. Lediglich in kleinen Teilen übernimmt sie weitere Funktionen, wie zum Beispiel eine bessere Orientierung im Innenraum und das Anheben des Adaptationsniveaus des Fahrzeugführers. Gegenwärtig ist diese Art der Beleuchtung nur in manuell gefahrenen und assistierten Fahrzeugen analysiert und evaluiert worden.

In zukünftigen automatisch fahrenden Fahrzeugen kann die ambiente Innenraumbeleuchtung mit vollkommen neuen Funktionen belegt werden. Die automatischen Fahrzustände sind in verschiedene Kategorien unterteilt. Der in dieser Arbeit zu betrachtende Zustand ist der hochautomatische Modus, in welchem bestimmte Nebenaufgaben während der Fahrt gestattet sind. Der Fahrmodus deckt dabei jegliche Fahraufgaben ab, sowohl in Längs- als auch Querführung. Das Fahrzeug muss in der aktivierten Automation nicht überwacht werden. Zur Erweiterung des Funktionsumfanges sind nach Literaturrecherchen und vielfältigem Brainstorming Konzepte ausgearbeitet worden. Automatische Fahrmanöver sollen mithilfe dieser Konzepte zur weiteren Fahrerunterstützung anschaulich erläutert werden. Mittels einer solchen Lichtfunktion soll die Aufmerksamkeit des Fahrers gewonnen und richtungsabhängig gelenkt werden, um die Transparenz zwischen Fahrzeug und Fahrer zu erhöhen.

In einer ersten Probandenstudie im Fahrsimulator soll eine 180° den Fahrer umgebene ambiente Innenraumbeleuchtung betrachtet werden. Dabei soll die Aufmerksamkeitsgewinnung mithilfe drei verschiedener Lichtänderungsmodalitäten untersucht und deren Zusammenspiel mit unterschiedlichen Nebenaufgaben analysiert werden. Als Lichtänderungsmodalitäten werden Farbänderungen, Helligkeitsänderungen und Bewegungsänderungen in der ambienten Innenraumbeleuchtung auf deren periphere Wahrnehmung im automobilen Kontext untersucht und mit allgemeinen Annahmen aus der Wahrnehmungspsychologie verglichen. Um möglichst viele und später realistische Nebenaufgaben betrachten zu können, werden drei verschiedene Einflüsse auf den Fahrer gewählt. Diese unterteilen sich in eine visuelle Aufgabe, eine motorische Aufgabe und eine kognitive Aufgabe. Der Aufbau orientiert sich dabei an einer aktuell in Serie verbauten ambienten Innenraumbeleuchtung. Die Ergebnisse der Studie werden zur Weiterentwicklung der Lichtfunktion herangezogen.

## **Concept development and realization of a broad-band laser light source using non-linearities**

*Julien Hansen – L-LAB, Benjamin Willeke – L-LAB, Dr. Sören Schäfer – L-LAB*  
*Julien.Hansen@l-lab.de*

A broad-band laser light source, which (in contrast to the currently used laser light modules) emits white, spatial coherent light, is introduced. Research should show if this system is a useful alternative to the currently used laser modules in the automobile.

The development of the system should be realized by using an active glass fiber. In order to generate a broad spectrum, a pump source in the near-infrared region is used to reach different spectral lines (including RGB) by an upconversion process. A concept is introduced which shows the realization of the system and which proves the parameters of the emitted radiation.

In order to characterize the broad-band laser light, a MATLAB program, showing the colour position of a spectrum, has been developed. It was shown that the fiber lengths and the pump intensity are influencing the colour position. In addition to this the polarization properties of the system have been under investigations, pointing out that the degree polarization follows a Fourier Term. The colour positions which have been reached by the system are in the red spectral area and do not reach the ECE white area. The intensities reached by the system are not high enough in order to be used as a headlamp system. Therefore further investigations and optimizations need to be realized. Further possible applications for this type of broad-band laser light system are garnish mouldings or interior lighting.

## **Konzeptentwicklung und Realisierung einer breitbandigen Laserlichtquelle unter Ausnutzung von Nichtlinearitäten**

*Julien Hansen – L-LAB, Benjamin Willeke – L-LAB, Dr. Sören Schäfer – L-LAB  
Julien.Hansen@l-lab.de*

Vorgestellt wird eine breitbandige Laserlichtquelle, welche (im Gegensatz zu den aktuell verwendeten Laserscheinwerfer Modulen) weißes, räumlich kohärentes Licht emittiert. Es wird untersucht, ob diese eine nutzbare Alternative zu den vorhandenen Laser Modulen im Automobil darstellen kann.

Die Entwicklung eines solchen Systems wird mit Hilfe einer aktiven Glasfaser realisiert. Um ein breites Spektrum zu generieren, wird eine Pumpquelle im nahinfraroten Bereich durch einen Aufkonversionsprozess zu verschiedenen Spektrallinien konvertiert, welche u. a. auch RGB beinhaltet. Es wird ein Konzept zur Realisierung dieses Systems aufgezeigt und die Parameter der emittierten Strahlung spezifiziert.

Im Zuge der Charakterisierung dieser Strahlung ist ein MATLAB Programm entwickelt worden, welches die Farbposition im CIE Diagramm definiert und das gegebene Spektrum insofern anpasst, dass es eine gewünschte Farbposition erreichen könnte. Es wurde gezeigt, dass die Faserlänge und die Pumpintensität einen Einfluss auf diese Farbposition haben. Die erreichten Farbpositionen der breitbandigen Laserlichtquelle liegen überwiegend im Roten und erreichen nicht den ECE Bereich. Auch die Intensitäten, die mit dem aktuell genutzten Aufbau erzielt wurden, reichen bei Weitem nicht aus, um in einem Scheinwerfer genutzt zu werden. Für diese Anwendung müssten weitere Untersuchung und Optimierungen vorgenommen werden. Weitere denkbare Anwendungen für diese Art des Systems wären beleuchtete Zierleisten oder die Ambiente Innenbeleuchtung.



## **Measurement systems analysis on a luminance camera-based test bench for headlamps**

*Schwanz, B., Marutzky, M., Kleinert, B., Bogdanow, S., IAV GmbH, Rockwellstr. 16, 38518 Gifhorn*

Luminance camera-based measurement methods are a fast alternative for common measurements on a far-field photo-goniometer. Dynamic headlamps are able to realize more and more complex variable light distributions. Thus, this alternative becomes more and more attractive, especially for comprehensive light evaluations or the evaluation of scenarios, e.g. a passing, situation, cornering, or marking light. But it has to be proven that the accuracy is sufficient to make e.g. evaluation referring to the regulations of CIE, and that the measurability of the test bench is given.

We built up a test bench in IAV's Light and Driver-Assistance Hall the for luminance camera-based collection of the light intensity distribution on a screen. The working distance is variable and can be e.g. 25m (recommended by CIE or e.g. 10m (in order to enable a larger angle range).

In the first step the error budget for the test bench in the light hall is stated. The uncertainties in the light intensity and in goniometric angles are estimated. The result is that for the working distance 25m the accuracy is sufficient to conduct evaluations referring to CIE

In order to prove the measurability of the test bench, in the next step several test series were done to state the stability, the reproducibility, and the repeatability.

The last part of this contribution contains a detailed comparison on the results collected in 25m and in 10m working distance. This was examined on a "halogen", a "xenon", and a LED headlamp system. While the light intensity distribution is not significantly affected above and below the cut-off when reducing the working distance, the cut-off itself is visible affected. In order to conclude, for measurements with high requirements on the accuracy, e.g. to evaluate the sharpness of the cut-off, a working distance of 25m is suitable. For lower requirements on the accuracy, e.g. to evaluate the performance of the headlamp, a working distance of 10m is sufficient.

## **Messsystemanalyse eines Leuchtdichtekamera-basierten Scheinwerferprüfstands**

*Schwanz, B., Marutzky, M., Kleinert, B., Bogdanow, S., IAV GmbH, Rockwellstr. 16, 38518 Gifhorn*

Leuchtdichtekamera-basierte Messverfahren zur Erfassung von Lichtstärkeverteilungskörpern sind eine schnelle Alternative zu Messungen auf dem Fernfeld-Goniophotometer. Da dynamische Scheinwerfer zunehmend mehr und komplexere Lichtverteilungen erzeugen können, wird diese schnelle Alternative für eine umfassende Lichtbewertung und die Bewertung von Szenarien (z.B. Passiervorgänge, Kurvenfahrten, Markierungslicht) zunehmend attraktiv. Hierbei ist zu klären, ob die Genauigkeit ausreichend ist, um z.B. Bewertungen nach den Regelungen der CIE durchzuführen und ob die Messfähigkeit des Prüfstands besteht.

In der Licht- und Fahrerassistenzhalle der IAV bauten wir einen Prüfstand auf, an dem der Lichtstärkeverteilungskörper Leuchtdichtekamera-basiert am Messschirm erfasst wird. Dabei ist die Messentfernung variabel und kann z.B. 25m (von der CIE vorgegebene Messentfernung am Fernfeld-Goniophotometer) oder 10m (zur Ermöglichung eines größeren Winkelbereichs) betragen.

Zunächst wird das Fehlerbudget für den Prüfstand in der Lichthalle zusammengetragen. Es werden die Messungenauigkeiten für die Lichtstärke und die goniometrischen Winkel ermittelt. Dabei zeigt sich, dass die Genauigkeit für die 25m Messentfernung ausreichend ist, um eine Bewertung gemäß der Regelungen der CIE durchzuführen.

Um die Messfähigkeit des Prüfstands zu beweisen, werden im nächsten Schritt verschiedene Messreihen zur Ermittlung der Stabilität, der Wiederholbarkeit und Nachvollziehbarkeit durchgeführt.

Im letzten Abschnitt dieser Studie werden die Messentfernungen 10m und 25m im Detail miteinander verglichen. Dieses geschieht an einem „Halogen“- , „Xenon“- und LED-Scheinwerfersystem. Während die Bereiche oberhalb und unterhalb der Hell-Dunkel-Grenze nicht deutlich von der Reduktion der Messentfernung betroffen sind, wird die Hell-Dunkel-Grenze selbst beeinflusst. Somit bleibt man für sehr hohe Anforderungen an die Genauigkeit bei der Messung des Lichtstärkeverteilungskörpers auf die 25m Messentfernung angewiesen, um z.B. die Schärfe der Hell-Dunkel-Grenze festzuhalten. Für abgeschwächte Anforderungen, um etwa die Performance des Scheinwerfers zu bewerten, ist die 10m Messentfernung durchaus adäquat.



# **Estimation of the Reflectance Properties of Real Materials Used for Buildings' Facades**

*Iva Petrinska, Dimitar Pavlov, Kamelia Nikolova, Dilian Ivanov*  
*Technical University of Sofia*

For better understanding of the behavior of light it is necessary to investigate the different interactions between light and the surface of the matter. These interactions can be described by means of spectral and directional reflectance properties of materials. Investigations of these properties for real surfaces, used for buildings' façades are made in the current paper.

The incoming light is taken as a known quality (daylight and artificial light with known spectrum are used). The variation of the reflectance properties with the change of viewing direction or illumination geometry are estimated. The reflectance properties of the considered materials are obtained both for new facades and old ones. For investigation of the spectral reflectance of the surfaces both a radiometer and a spectrophotometer are used. Both CCD camera and radiometer are used for estimation of the directional reflectance. For description of the appearance of the materials by their interaction with light at a surface point the Bidirectional Reflectance Distribution Functions (BRDF) are used.

Keywords:

reflectance properties of real surfaces, bidirectional reflectance distribution functions



## **Application of Modern Street Lighting with COB LED's**

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

In recent years, the application of LED's in street lighting has increased significantly. At the same times are looking for ways to cut the costs of construction of street lighting fixtures for increasing they competitive in the proposed solutions for street lighting. The usage of COB LED's gives such an alternative.

The report presents the application of the developed street illuminator with COB LED's for street lighting. Lighting calculations are made for some typical lighting situations. There are made energy-economic comparison between conventional street lighting and LED street lighting with LED and COB LED. There are evaluated the advantages and disadvantages of various options. It was also stated application developed for a specific street lamp, and the parameters that are implemented.

Keywords: Street lighting; COB LED; LED Lighting

## Optics in Aerospace

*M. Sc. Christian Schön, Goodrich Lighting Systems GmbH  
Bertramstrasse 8, 59557 Lippstadt, Germany  
Christian.Schoen@utas.utc.com  
www.utcaerospacesystems.com*

In aerospace lighting there are a lot of unique requirements and challenges, compared to other transportation lighting. Especially the environmental conditions, vibration and shocks up to 20g, -55°C to 80°C, different pressure zones, lightning, sand & dust, smog, rain and hail at a cruise speed up to 920 Km/h are challenging.

A major cost driver in running an airplane is weight. 1Kg weight saving results in saving 3000 liters of kerosene. Another cost driver is maintenance, especially unexpected stops to replace broken light bulbs. Lighting is the commodity with the most maintenance on a commercial aircraft. Therefore the major targets for new developments are light weight solutions with increased durability, often in combination with a near end of life (NEOL) detection to allow scheduled replacements of lights.

Depending on light type and platform there is a wide range how many units are produced. With a frequency of 1 to 500 produced airplanes serial production varies from 1 to 100 000 units per year. This can have a major impact on the possible production methods since, for example, injection molding of optics is preferred for high quantities.

Life cycle of an aircraft is far above 25 years and parts need to be delivered up to 25 years after last series production, or as long as 3 aircrafts are still in service. Compared to the life cycle of electronic components of just a few years it's obvious that obsolescence management becomes more and more important. Not only obsolescence, even the continuously increasing performance of LEDs can become an issue since a constant light output for a product, for example a reading light, is required over decades.

By changing over to all LED lighting it is possible to reduce maintenance and power consumption and increase lifetime and performance. In addition new features like NEOL and color control can be integrated and safety can be increased due to improved visibility and light control.

## Optik in der Luftfahrt

*M. Sc. Christian Schön, Goodrich Lighting Systems GmbH  
Bertramstrasse 8, 59557 Lippstadt, Germany  
Christian.Schoen@utas.utc.com  
www.utcaerospacesystems.com*

Im Bereich der Beleuchtung für die Luftfahrt gibt es einige besondere und einzigartige Herausforderungen. Vor allem die Umweltbedingungen, Vibrationen und Schocks bis 20g, -55°C bis 80°C, hohe Luftdruckunterschiede, Blitzschlag, Sand & Dust, Smog, Regen und Hagel bei Fluggeschwindigkeiten bis 920 Km/h sind eine große Herausforderung.

Ein großer Kostentreiber für den Betrieb eines Flugzeuges ist Gewicht. Eine Einsparung von einem Kilogramm spart 3000 Liter Kerosine. Daneben können unplanmäßige Wartungen, z. B. das Ersetzen einer defekten Leuchte, zu hohen Kosten führen. Aktuell benötigt die Beleuchtung die meiste Wartung an einem Flugzeug. Daraus resultierend ist das Ziel in Zukunft leichtere Leuchten mit einer höheren Lebensdauer zu entwickeln. Diese können zusätzlich noch mit einer near end of life (NEOL) Detektion ausgestattet werden um einen geplanten Austausch zu ermöglichen.

Abhängig vom Flugzeug- und Leuchten-typ kann die Zahl der produzierten Leuchten stark variieren. Bei 1 bis 500 pro Jahr produzierten Flugzeugen variiert die produzierte Stückzahl von 1 bis 100 000. Die Herstellungsmethoden und damit verbunden das Optische System müssen dabei immer an die Stückzahlen angepasst werden, so rentiert sich Spritzgießen für Optiken vermutlich nur für hohe Stückzahlen.

Die Nutzungsdauer eines Flugzeuges ist weit über 25 Jahre und Teile müssen bis zu 25 Jahre nach Ende der Serienproduktion, bzw. bis nur noch 3 Flugzeuge in Serie sind, geliefert werden. Dies steht im Gegensatz zu den immer kürzer werdenden Produktionszyklen von elektronischen Komponenten von wenigen Jahren und zeigt das Obsoleszenz Management in Zukunft immer wichtiger wird. Dabei stellt nicht nur die obsoleszenz von Bauteilen ein Problem dar sondern auch die kontinuierlich steigende Lichtausbeute von LEDs, wenn damit über Jahrzehnte z. B. eine Leseleuchte mit konstanter Helligkeit produziert werden soll.

Der Wechsel zu einer reinen LED Beleuchtung ermöglicht es die Wartung und den Stromverbrauch zu reduzieren und gleichzeitig die Lebensdauer und die Performance der Leuchten zu verbessern. Zusätzlich können neue Funktionen wie NEOL und Farbort-Regelung integriert und die Sicherheit durch verbesserte Sichtbarkeit und reduzierte Blendung verbessert werden.





## **Proposal for standardization of switching and control profiles in public lighting**

*Michal Barčík, Dionýz Gašparovský*

*Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic, [michal.barcik@stuba.sk](mailto:michal.barcik@stuba.sk)*

At the present, it is in the interest of the majority of most developed countries to reduce the power consumption. Great emphasis is placed on the use of efficient electrical equipment. The European Union started the implementation of the political and economic actions, leading to reduce the use of inefficient products and replacing them with more efficient. Lighting is one of the areas which consumes a lot of energy, but also offers a high potential for savings. Therefore, product- and system-oriented limitations are implemented through European directives into national legislation of the European countries aimed to gradually reduce the use of inefficient products. One of such system tool is the energy performance of buildings introduced several years ago, and now it is time to establish the platform for benchmarking the public lighting systems. In the new draft the standard prEN 13201-5 introduces the compound numerical indicators PDI and AECI. Examples of calculation of the PDI and AECI are in annexes of the draft standard, indicating the typical values for different road profiles, taking into consideration different lighting classes of roads and usage of different technologies available for the public lighting. In annexes are showed typical values of the lighting operation coefficient for different operational profiles. This paper deals with the typical values of AECI for different operational profiles and with calculating of the lighting operation coefficient. The main aim of the paper is to propose additional typical values of the lighting operation coefficient, taking into consideration different detection probability.

## **The LEDLaufsteg in Berlin - Research and innovations on a unique demonstration road**

*Sandy Buschmann, Stephan Völker  
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik  
Einsteinufer 19, 10587 Berlin  
sandy.buschmann@tu-berlin.de*

As in many other areas, the LED gradually penetrates the market in street lighting and increasingly replaces conventional thermal radiators and gas discharge lamps. Due to extensive support programs, a large number of installations with LED technology were realized in Germany. Without subsidies, the barrier to innovation in local communities is still high, as there are too few and sometimes contradictory experiences with this new technology, even though CO<sub>2</sub> reduction of up to 50 % and a substantial increase of lighting quality through the exchange of light sources and adjusting the lighting concept is possible. The recently built LEDLaufsteg (LEDwalkway) in Berlin shows how optimized lighting concepts can look like with the help of different lighting scenes. This demonstration route at the site of the German Museum of Technology Berlin has been realized with the help of public funding and sponsoring from industry. The photometric planning and implementation was carried out by the chair of lighting technology at the TU Berlin. In addition, there is a research route equipped with movable masts which allows research looking into a large number of lighting related issues, such as user acceptance, visibility and glare.

This article describes the planning and realization of the LEDLaufsteg from a scientific perspective. It presents the design and validation of the existing and planned lighting solutions, which are adapted to the reflective properties and geometries of the road and the surrounding area. Additionally to that, it describes what specific research projects will be carried out on the research route. The article concludes with proposals for extended use of the research route by other global research institutions and industry.

## **Der LEDLaufsteg in Berlin - Forschung und Innovationen auf einer einzigartigen Demonstrationsstrecke**

*Sandy Buschmann, Stephan Völker  
Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik  
Einsteinufer 19, 10587 Berlin  
sandy.buschmann@tu-berlin.de*

Wie in vielen anderen Bereichen durchdringt die LED auch in der Straßenbeleuchtung sukzessive den Markt und verdrängt damit zunehmend herkömmliche Temperaturstrahler und Gasentladungslampen. Dank umfangreicher Förderprogramme konnten in Deutschland bereits viele Neuinstallationen mit der LED Technologie vorgenommen werden. Da aber zurzeit zu wenige und teilweise widersprüchliche Erfahrungen mit dieser neuen Technologie vorliegen, sind die Innovationshemmnisse in den Kommunen ohne Fördermittel noch hoch. Dabei könnten nicht nur durch den Tausch des Leuchtmittels sondern zusätzlich durch eine Anpassung des Beleuchtungskonzeptes weitere CO<sub>2</sub>-Einsparungen von bis zu 50 % erzielt und die Beleuchtungsqualität wesentlich erhöht werden. Wie optimierte Beleuchtungskonzepte aussehen können, zeigt der neu aufgebaute LEDLaufsteg in Berlin mit Hilfe verschiedenster Lichtszenen. Diese Demonstrationsstrecke auf dem Areal des Deutschen Technikmuseums Berlin wurde mit Hilfe öffentlicher Fördergelder und Sponsoren aus der Industrie finanziert. Die lichttechnische Planung und Realisierung erfolgte durch das FG Lichttechnik der TU Berlin. Zusätzlich werden durch eine mit verfahrbaren Masten ausgestattete Forschungsstrecke Untersuchungen im Hinblick auf Nutzerakzeptanz, Sichtbarkeit, Blendung und vieles mehr möglich.

Der vorliegende Artikel beschreibt die Planung und Realisierung des LEDLaufstegs aus wissenschaftlicher Sicht. Es werden die vorhandenen und geplanten Beleuchtungskonzepte, angepasst an die Reflexionseigenschaften und Geometrien der Straße und Umgebung, erläutert, die am LEDLaufsteg gezeigt und validiert werden. Außerdem wird gezeigt, welche speziellen Forschungsprojekte auf Grundlage der Forschungsstrecke durchgeführt werden sollen. Der Artikel schließt mit Vorschlägen zur erweiterten Nutzung des Areals durch weitere weltweite Forschungseinrichtungen und der Industrie ab.



## Calculation of the photometric parameters in public lighting

*Lukáš Lipnický, Dionýz Gašparovský*

*Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic, lukas.lipnicky@stuba.sk*

Calculation of performance parameters of public lighting are performed in a grid of points defined by the CIE publication 140 and European standard EN 13201-3. Calculation grid defined in these documents was created at a time of low powerful computers and less precise measuring technology. Distance between two adjacent calculating points may be a 3 m, depending on the geometry of the road. This arrangement is sparse view of the fact that the present used computer can cope with much more denser grid in a short time and the measurement can be performed by the luminance analysers. Between the results of the calculation with different grid densities of calculation points may be significant differences. This fact may influence the new optical systems and some LED luminaires which as found by measurement may contain various local extremes in the luminous intensity distribution curve. In calculating of performance parameters of public lighting and given the current used grid density these extremes may fall between calculation points and thus may not be included in the calculation. The solution is to propose a new density of calculation points which would be designed with respect to current possibilities of computer technology.

The paper deals with the influence of grid density to the resulting photometric parameters of public lighting. In computing software will be used calculation grid of points according to EN 13201-3 and calculation grid with half and 2-10-times densification of calculation points in order to capture impact given local extremes to the resulting parameters using luminaires with different optical systems. The results of calculations will be used in the preparation of future revisions of normative documents, which provide a method for determining points of calculation and measurement grid.

# Light Distributions in Road Lighting – Conflict of Traffic Safety and Energy Efficiency

*Sebastian Schade (Berlin)*

Since the introduction of street lighting, there has been a trade-off between the desire to lower operating costs and the demand for appropriate lighting quality to maintain road safety. Ever-increasing energy costs demand the dimensioning of lighting systems limited to a minimum luminance or illuminance level. From a technical perspective, this conflict can be mitigated by an optimally matched distribution of light on the road surface. However, the requirements of existing planning and evaluation approaches are still based on comparatively inflexible conventional lighting technologies.

Using flat targets visibility on the road this work clarifies, which level of security is provided by existing quality criteria when optimized using luminous intensity distributions (LID). The most common optimization approaches, illuminance, luminance, and visibility level (VL), are in the main focus of the presented research. Installation-specific LID are optimized to provide maximum luminance/illuminance uniformity or a minimum visibility level for a given average luminance/illuminance. At the same time the total luminous flux is kept to a minimum in order to avoid unnecessary energy usage. The comparative assessment of small object detection is evaluated calculating the VL of flat targets of different reflectances. Using simulations and exemplary reproduction of lighting scenes, optimized LID help to unravel dependencies between common assessment approaches. In this way the presented work helps to clarify the range of validity of previous research on different evaluation techniques and provides new insights on their application.

This paper is an excerpt of the Phd thesis “Zum Einfluss optimierter Lichtstärkeverteilungskörper auf die Erkennbarkeit bei niedrigen Beleuchtungsniveaus in der Straßenbeleuchtung“ focusing on the conflict between visibility as safety criterion in road lighting and the cost benchmark energy efficiency. As a result, a single approach providing the best visibility conditions for all lighting situations did not prove effective. The paper shows that aiming on high uniformity at an adequate lighting level alone will not guarantee good visibility. Instead, a selection of average luminance, luminance uniformity, and VL leads to more meaningful results. The outcomes of this research are combined as a catalog of recommendations, showing under which conditions the various approaches can be applied advantageously. Installation-related factors, such as the influence of the road surface or the impact of a change in pole spacing in relation to the mounting height are also discussed.

[1] S. Schade: „Zum Einfluss optimierter Lichtstärkeverteilungskörper auf die Erkennbarkeit bei niedrigen Beleuchtungsniveaus in der Straßenbeleuchtung“. Dissertation im eröffneten Promotionsverfahren. Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik. Berlin: 2015.

# Lichtverteilungen in der Straßenbeleuchtung - Konflikt von Sicherheit und Energieeffizienz

*Sebastian Schade (Berlin)*

Seit der Einführung der Straßenbeleuchtung besteht ein Zielkonflikt zwischen dem Bestreben geringer Anlagenbetriebskosten und der Forderung nach angemessen hoher Beleuchtungsqualität zur Wahrung der Verkehrssicherheit. Mit den steigenden Energiekosten nimmt der Druck, Beleuchtungsanlagen auf ein Mindestbeleuchtungsniveau hin zu dimensionieren, weiter zu. Aus lichttechnischer Sicht kann dieser Konflikt durch eine optimal dimensionierte Verteilung des Lichts auf die Verkehrsfläche entschärft werden. Allerdings orientieren sich die Qualitätsvorgaben bestehender Planungs- und Bewertungsansätze an den lichttechnischen Möglichkeiten vergleichsweise inflexibler konventioneller Beleuchtungstechnologien.

Anhand der Erkennbarkeit einfacher Sehobjekte auf der Fahrbahn klärt die vorgestellte Untersuchung auf, welche Sicherheit diese Ansätze bereitstellen, wenn sie mittels optimierter Lichtstärkeverteilungskörper (LVK) bestmöglich erfüllt werden und identifiziert mögliche Verbesserungspotentiale. Die etablierten Optimierungsansätze Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Visibility Level (VL) bilden dafür den Untersuchungsschwerpunkt. Installationsspezifisch erzeugte LVK werden im Rahmen der Untersuchungen so optimiert, dass sie für ein festgelegtes Beleuchtungsniveau eine größtmögliche Gesamtgleichmäßigkeit oder ein Mindestniveau an Erkennbarkeit bereitstellen. Gleichzeitig wird der benötigte Gesamtlichtstrom so gering wie möglich gehalten, um so unnötig hohen Energiebedarf zu vermeiden. Die vergleichende Bewertung der bereitgestellten Erkennbarkeit erfolgt mittels des VL und unter Verwendung flacher Sehobjekte unterschiedlichen Reflexionsgrades. Simulationen und exemplarische Nachstellungen von Beleuchtungsszenen decken Zusammenhänge zwischen den Bewertungsansätzen auf. So präzisiert die Untersuchung den Gültigkeitsbereich vorangegangener Forschung zu den betrachteten Methoden und liefert neue Erkenntnisse für deren zielgerichtete Anwendbarkeit. Ein einzelner Ansatz, welcher für alle Beleuchtungssituationen die besten Sichtbedingungen bereitstellt, erwies sich dabei nicht als nachweisbar. Denn, wie die Untersuchung zeigt, ist die bisher angestrebte hohe Gleichmäßigkeit bei adäquatem Beleuchtungsniveau allein kein Garant für gute Erkennbarkeit. Stattdessen ist situationsspezifisch oft eine Kombination aus Leuchtdichteniveau, Leuchtdichtegleichmäßigkeit und VL optimal.

Die Resultate werden im Rahmen der Dissertation „Zum Einfluss optimierter Lichtstärkeverteilungskörper auf die Erkennbarkeit bei niedrigen Beleuchtungsniveaus in der Straßenbeleuchtung“[1] und zu Teilen im Beitrag zur Tagung diskutiert. Sie werden in einem Katalog fundierter Empfehlungen, unter welchen Bedingungen sich die verschiedenen Ansätze vorteilhaft anwenden lassen, zusammengefasst. Installationsbedingte Einflüsse, wie der Einfluss der Straßendeckschicht auf die Optimierungen oder die Auswirkungen der Vergrößerung des Lichtpunktabstandes im Verhältnis zur Lichtpunkthöhe runden werden ebenfalls diskutiert.

[1] S. Schade: „Zum Einfluss optimierter Lichtstärkeverteilungskörper auf die Erkennbarkeit bei niedrigen Beleuchtungsniveaus in der Straßenbeleuchtung“. Dissertation im eröffneten Promotionsverfahren. Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik. Berlin: 2015



## LEDs in street lighting – the influence of the distance between them and glare perception

*Mathias Niedling, Stephan Völker (TU Berlin, Fachgebiet Lichttechnik)  
mathias.niedling@tu-berlin.de*

Due to the replacement of conventional street lights by luminaires with LED there are often complaints about higher glare sensation [1]. Therefore the question needs to be answered, whether the non-uniformity of the light-emitting surface of a LED-street light causes higher discomfort glare for road users. Previous studies have shown, that discomfort glare increases with increasing non-uniformity of the light-emitting surface [2,3]. At the same time Niedling showed, that a minimum opening angle of 8' is necessary to distinguish two single LEDs with luminances higher than 30000 cd/m<sup>2</sup> and at peripheral position of the light source [4]. Under night-time driving conditions (not looking directly in the glare source) typical distances (opening angles) between single LEDs in street lights are smaller [5]. Besides Niedling found no influence of the non-uniformity of the light-emitting surface on glare perception under such condition [5]. While the glare source was presented with a total opening angle of about 20' and the opening angle of single light spots was smaller than 10' the average luminance of the emitting surface was the right predictor for discomfort glare evaluation. In this work the glare source was presented at 5° and 10° vertical.

At the first sight this seems to be a contradiction to the results above. The explanation for the apparently inconsistent results can be found when one considers the positions of the glare source and the distances and luminances of the single light spots. While Tashiro [2] used an opening angle of about 40' between single light spots (estimated) at a position of the glare source at 8,5° vertical and Lai [3] presented the glare source at foveal position the examination parameters differ significantly from one another. That also applies for the luminances of the presented glare sources [2,3,5]. According to this the luminance and distance between single light spots (LEDs) seem to be determining factors for glare perception. With decreasing opening angles between single LEDs the influence of the non-uniformity on glare perception seems to decrease. This is also confirmed by the results of Lai [3]. For increasing distances between the subjects and the glare source and therefore decreasing distances (opening angles) between the single LEDs Lai found a decreasing influence of the non-uniformity on glare perception.

This supposition also applies apparently for increasing angles between the line of sight and the glare source. Niedling [4] figured out, that the necessary opening angle to distinguish two LEDs increases with increasing angle between the line of sight und the glare source. Consistent to that Funke [6] found no influence of the distance of LED light spots within a glare source on glare perception for angles of 15° and 30° between the line of sight and the glare source. On the other hand Yang [7] found an influence of the non-uniformity on glare rating while presenting the glare source at 10° vertical. For increasing

viewing-angles also Yang found a decreasing glare rating. Furthermore it is not clear whether Funke and Yang use the word non-uniformity in the same context.

According to this, investigations on the impact of the non-uniformity of a glare source on glare perception have to consider the position of the glare source and the degree of non-uniformity (distance between LEDs and luminance gradients) of the light-emitting surface. To answer the question, where the higher complaints about glare from LED street lights come from, a luminance-measurement of 24 luminaires (LED and conventional street lights) was done. It was revealed that the size of the emitting surface and the average luminance of both technologies were in the same range at several angles. Due to similar batwing-luminous intensity distribution of streetlights (for intended purposes) this appears comprehensible. If the average luminance predicts discomfort glare, the complaints about higher glare should come from the direct (foveal) view into the glare source. In that case the subjects can distinguish single LEDs with high luminances. Depending on the difficulty level of a driver's task it is not clear whether a car driver looks directly in the glare source while driving. This research question should be answered next to figure out, whether single light spots with extremely high luminances within a light-emitting surface causes higher distraction for a driver.

## **References:**

- [1] Abschlussbericht BMWi/AiF ZIM – LED-Straßenbeleuchtung Leipzig 2014, Technische Universität Berlin
- [2] Tashiro, T., Kimura-Minoda, T., Khoko, S., Ishikawa, T., Ayama, M. 2011. Discomfort glare evaluation to white LEDs with different spatial arrangement. CIE 27th Session, Sun City / South Africa
- [3] Lai, D., Zhu, X., Wang, L., Dermirde, H., Heynderickx, I. 2014, Influence of light source luminance on discomfort glare from LED road luminaires. CIE-Session, Kuala Lumpur / Malaysia
- [4] Niedling, M., Völker, S., Knoop, M., Böhm, M. 2014. LEDs' in der Straßenbeleuchtung – sichtbar oder nicht?, LICHT 2014, Den Haag / Netherlands
- [5] Niedling, M., Völker, S., Böhm, M. 2015. Average or maximum luminance – what is the right dimension for discomfort glare evaluating under street lighting conditions? CIE 28th Session, Manchester / United Kingdom
- [6] Funke, C., Schierz, C. 2015. Extension of the unified glare rating formula for non-uniform LED luminaires. CIE 28th Session, Manchester / United Kingdom
- [7] Yang, Y., Ma, S.N., Luo, M.R., Liu, X.Y. 2015. Discomfort glare caused by non-uniform white LED-matrices. CIE 28th Session, Manchester / United Kingdom

## **Visibility-oriented evaluation method of road lighting in the dynamic case**

*Juri Steblau, Stephan Völker, Technische Universität Berlin, FG Lichttechnik  
Einsteinufer 19, D-10587 Berlin  
j.steblau@tu-berlin.de*

The main purpose of road lighting is to support and increase the safety on roads. To give an example a car driver needs to detect obstacles at any time in front of his vehicle while driving. The detection of obstacles is possible at the threshold luminance level, i.e. the difference between luminance at the obstacle and the luminance of the surrounding area. The threshold luminance highly depends on the light-sensitivity of the eyes and as a consequence on the lighting conditions, geometric characteristics of the lighting system and many more. The evaluation of the contrast sensitivity for static road users is complicated because of a variety of influences, for conditions while moving it is almost impossible. All luminance-based characteristics for road lighting, as recommended in the European Standard EN 13201, have a proven dependency on subjective visual performance, but there is no information about the contrast sensitivity and safety conditions. The evaluation method based on the visibility of obstacles only for one reflectance under static conditions is published in the North-American Standard ANSI/IESNA RP 8-00. This evaluation method is considered as impractical and is therefore criticized.

The statistic evaluation method for road lighting proposed by Hentschel in the years 1967, 1969 and 1971 allows an evaluation of the visibility under dynamic conditions. Some reasonable assumptions allow a calculation for a probability of non-perception for a random appear of an obstacle with a given reflectance along an entire moving lane according the veiling luminance and glare. A chart, where the probability of non-perception is plotted as a function of reflectance of obstacle, defines the revealing power as an area above the function. The evaluation is even more realistic if the probability of any particular occurring reflectance is considered in the calculation of the average revealing power as a weighting function.

Based on this theory, the selected street lighting systems were examined and evaluated with the use of computer simulation tools.

## **Ein sichtbarkeitsorientierte Bewertungsverfahren von Straßenbeleuchtungsanlagen im dynamischen Fall**

*Juri Steblau, Stephan Völker, Technische Universität Berlin, FG Lichttechnik  
Einsteinufer 19, D-10587 Berlin  
j.steblau@tu-berlin.de*

Hauptziel der Beleuchtung auf Straßen mit motorisiertem Verkehr ist die Erhöhung der Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer. Kann ein Fahrzeugführer alle Hindernisse zu jeder Zeit auf der Fahrbahn vor seinem Fahrzeug rechtzeitig wahrnehmen, ist aus lichttechnischer Sicht das Ziel der Beleuchtung erfüllt. Die notwendige Objektdetektierung durch den Verkehrsteilnehmer ist dabei nur möglich, wenn der Betrag des Leuchtdichteunterschieds zwischen dem Hindernis und seinem Hintergrund einen kritischen Minimalwert überschreitet. Dieser Leuchtdichteschwellenwert ist einerseits von der Beleuchtungssituation und der Geometrie der Beleuchtungsanlage abhängig und andererseits vom lokalen und globalen Adaptationsniveau und der Sehfähigkeit des Beobachters. Die Bewertung des Kontrastsehens für alle denkbaren Fälle weist aufgrund der vielen Einflussparameter bereits für ruhende Hindernisse und Beobachter eine hohe Komplexität auf. Bewegen sich die Verkehrsteilnehmer, ist eine Bewertung praktisch unmöglich. Die auf Leuchtdichte basierenden Merkmale für die Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung, die im geltenden europäischen Standard EN 13201 zusammengefasst sind, haben einzeln einen nachgewiesenen Zusammenhang zur Wahrnehmungsleistung, geben jedoch keine direkte Information über die Sichtbarkeit. Das in dem nordamerikanischen Standard ANSI/IESNA RP-8-00 vorgeschlagene Bewertungsverfahren der Sichtbarkeit "Small Target Visibility (STV)" basiert auf einer statischen Bewertung der Hindernisse mit nur einem Reflexionsgrad. Diese Bewertung gilt als praxisfern und wird daher kritisiert.

Die Möglichkeit einer Erkennbarkeitsbewertung über die Gesamtheit aller dynamischen Fälle bietet das statistische Verfahren von H.-J. Hentschel aus den Jahren 1967, 1969 und 1971. Unter bestimmten sinnvollen Annahmen kann durch die Auswertung des Verlaufs der vertikalen Beleuchtungsstärke und der Leuchtdichteverteilung längs einer Fahrspur unter Beachtung von Schwellenwerten und der physiologischen Blendung die Tarnwahrscheinlichkeit für das zufällige Auftreten eines Hindernisses mit einem gegebenen Reflexionsgrad für die gesamte Fahrspur berechnet werden. Trägt man diese Wahrscheinlichkeiten für eine Fahrspur in Abhängigkeit von den Reflexionsgraden der Hindernisse in ein Diagramm ein, ist die Fläche über dieser Kurve als Maß für die Sicherheit des Sehens in dieser Fahrspur definiert. Zusätzlich kann den realen Bedingungen Rechnung getragen werden, wenn die Häufigkeit von Hindernissen mit einem bestimmten Reflexionsgrad als Gewichtsfunktion bei der Berechnung der mittleren Tarnwahrscheinlichkeit eingeführt wird.

Angelehnt an diese Theorie wurden ausgewählte Straßenbeleuchtungsanlagen untersucht und die Anwendung eines solchen Verfahrens mit Hilfe eines Computerprogramms ausgewertet.