

Lux junior 2001

Tagungsband

5. Forum für den lichttechnischen Nachwuchs

21. bis 23. September 2001
Dörfeld/Ilm

Veranstalter:

Technische Universität Ilmenau
Fakultät Maschinenbau
Fachgebiet Lichttechnik
PF 100565, D-98684 Ilmenau
Tel. (03677) 8469-0, Fax (03677) 842463

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

**Die Veranstalter danken allen,
die diese Veranstaltung finanziell unterstützt haben:**

Zumtobel Staff GmbH, Dornbirn
Heraeus Noblelight GmbH, Hanau
Hella KG Hueck & Co., Lippstadt
Städtische Werke AG, Kassel
LICHTDESIGN GmbH, Köln
BEGA Gantenbrink Leuchten, Menden
BLV Licht- und Vakuumtechnik, Steinhöring
Energie-Aktiengesellschaft Mitteldeutschland, Kassel
LMT Lichtmeßtechnik GmbH, Berlin
Thorn Licht GmbH, Dortmund
Reiher GmbH, Braunschweig
Handwerkskammer, Erfurt
Ingenieurbüro Dr. Roessler, Hamburg

**Der Druck des Tagungsbandes wurde vom
Verein zur Förderung des Fachgebietes Lichttechnik e. V.
finanziert.**

Inhalt

Schulungsvorträge

Lightintrusion Dr. D. Schreuder, Leidschendam (NL)	5
Dr. habil. H.-D. Witzke, Hanau (D) IR- und UV-Strahlungsquellen für industrielle Anwendungen	22
Zur Entwicklung des Wirkungsgradverfahrens A. Stockmar, Celle (D)	31
Aktive Light - die sinnvolle Veränderung des Lichts P. Dehoff, B. Junghans, Dornbirn (A)	35
Die Beleuchtung des Reichstages und der Bundeskanzleramtes Dr. W. Roddewig, Berlin (D)	43
Lighting and Crime Prevention W. van Bommel, Eindhoven (NL)	44
Lichtlenksysteme mit Tageslichteinkopplung Prof. H. Kaase, A. Rosemann, Berlin (D)	50

Tagungsbeiträge

Elektronik Ballast's Evaluating and Choosing Criteria W. Kedziora, M. Pelko, Poznan (PL)	57
Grundlagenuntersuchungen und erste Ergebnisse bei der Verbesserung technischer Eigenschaften von Hochspannungsleuchtröhren (HSLR) C. Blankenhagen, D. Gall, J. A. Schäfer, G. Hartung, J. Sommer, Ilmenau (D)	63
Method of Measurement of the Ignition Time of a Fluorescent Lamp Connected to an Electronic Ballast A.-D. Constantinescu, M.-G. Caracas, I. Costea-Marcu, B. Grad Bukarest (RO)	73
Computer Aided Design of Reflectors for Lighting Fixtures S. Platikanov, P. Tzankov, R. Vasilev, Gabrovo (BG)	77
Zustand und Tendenz der Entwicklung der lichttechnischen Software in Bulgarien K. Velinov, Sofia (BG)	84
Funktionalität von Lichtplanungsprogrammen - Anforderungen der Zukunft B. Junghans, K. U. Dingeldein, Dornbirn (A)	93
Planung der Beleuchtung nach DIN – Nur langweilig? J. Minnerup, Arnsberg (D)	98
Steuerung der Displayleuchtdichte bei Tunneldurchfahrten und Schlagschatten T. Weiß, Ilmenau (D)	102
Operational Changes of Road Lighting Luminaires M. Zalesinska, A. Gandecki, Poznan (PL)	109

Blendungsbewertung in der Außenbeleuchtung H. Kschischenk, Dresden (D)	113
Vergleichende Beurteilung des Blendungsverhaltens von adaptiven Kfz- Scheinwerfersystemen in Kurven S. Wolf, D. Gall, Ilmenau (D), F. Ewerhart, Hildesheim (D)	117
Vergleich unterschiedlicher Kriterien für die Bestimmung der Sichtweite von Kfz- Scheinwerfern S. Völker, Lippstadt (D)	129
Untersuchungen zum Kontrasterinnerungsvermögen P. Bodrogi, Veszprém (H), R. Nolte, D. Gall, Ilmenau (D)	137
Electronic Cinema - zu lösende Probleme, Perspektive und optische Aufgabenstellungen T. Q. Khanh, P. Geissler, München (D)	147
Farbmanagement in der Digitalen Filmproduktion A. Kraushaar, Ilmenau (D), T. Q. Khanh, P. Geissler, München (D),	153
Die Untersuchung der Eigenschaften der Entladungslichtquellen bei nichtnominalen Parametern in Zusammenhang mit der Dimmung der Straßenbeleuchtung A. Smola, D. Gasparovsky, F. Krasnan, P. Polak, D. Siskova, S. Tabisova, Bratislava (SK)	163
Warschau Opera House Floodlighting M. Gorezewska, M. Lagiewka, Poznan (PL)	173
Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes D. Polle, A. Picklein, Lüdenscheid (D)	179
Legato Langzeitmessung - Energieeinsparpotentiale von Stehleuchten R. Lickert, Villingen-Schwenningen (D)	189
Innovative Lichtquellen durch LED-Technologie R. Heinz, Hamburg (D), K. Wachtmann, Münster (D)	199
Keine halben Sachen - Einsatz von LED's als Leuchtmittel in Rettungszeichenleuchten A. Willing, Schesslitz-Burgellern (D)	208
 Postervorträge	
Metamorphosen des Lichts in der Meß- und Simulationspraxis W. Jordanow, Ilmenau (D)	211
Variability Ellipses for Memory Colour Matching P. Bodrogi, T. Tarczali, Veszprém (H)	219
Mathematical Models for the Colorimetric Characterisation of AM LDT Flat Panel Monitors P. Bodrogi, B. Sinka, T. Ondro, Veszprém (H)	223
Einsatz genauerer CCD-Kameras für die Erfassung von Ausstrahlcharakteristiken und Farbabweichungen an Scheinwerfersystemen F. Schmidt, U. Krüger, Ilmenau (D)	231

Light intrusion

Dr. D. A. Schreuder
Leidschendam, The Netherlands

1. Introduction

1.1. Preface

The goal of this paper is to provide an introduction to the subject areas of intrusive light and light pollution. Although the principles of the phenomena as well as the general approach to solve the problems is quite clear, there is not always consensus about the numerical values of the acceptable limits for intrusive light. In many cases, the discussion in national and international committees is far from finished. It is not always clear in which way the discussions will develop. Thus, the recommended values quoted in this paper are the responsibility of the author.

1.2. Outdoor lighting

All outdoor lighting is functional, its function being the enhancement of the visibility and/or of the aesthetics. The judgement whether the lighting installation fulfills its purpose is made on the basis of cost/benefit considerations (Schreuder, 1998; CIE 2001). The effectiveness of the lighting is the degree to which the function is fulfilled; the efficiency the degree to which the benefits surpass the costs. The benefits are two of a kind: monetary and non-monetary, and so are the costs. The monetary benefits are primarily the costs of (avoided) accidents, traffic jams, criminal offenses and the related economic losses. Secondly the monetary benefits that are related to the economic activities, enhanced by good, beautiful and effective lighting (a.o. City Beautification; Schreuder 2001a). Thirdly, the non-monetary benefits: avoiding personal loss and grievance from traffic accidents and reducing fear for crime (Schreuder, 2000). The beneficiaries are usually individual persons or companies. The costs include firstly the direct monetary costs of the lighting equipment: installation, maintenance and energy use, and the indirect costs like the waste of energy and materials in manufacturing the equipment, the toxic waste from discarded lamps and ballasts, etc. These costs are usually carried by the authorities. Further, the non-monetary costs (use of energy, scarce natural resources etc.). And finally, the negative environmental influences, causing discomfort and annoyance - what we have termed 'light intrusion'.

Good lighting design ensures that the light comes where it is needed, and does not fall elsewhere. If not, the light is 'spilled', which may cause considerable economic and environmental losses (Schreuder, 1995). The light, the money and the energy are simply wasted. Furthermore, spill light from outdoor lighting installations usually is a major cause of disturbance and discomfort for many persons, also for those that have nothing to do with the activities for which the lighting is installed. The light invades into the private sphere of people; it intrudes into the living space of people who do not have any interest in the lighting in the first place. This is 'intrusive light' or 'light trespass'. The overall effects are termed 'light pollution'.

2. Intrusive light

Intrusive light has victims. A 'victim matrix' is given in table 1, which includes both the victims as well as the major types of lighting installations that may cause the intrusive light.

Lighting for:	sport	industry	floodlight	roads	advertising	greenhouses
residents	x	x	x	x	x	x
astronomers	x	x	x	x		x
nature life	x	x	x	x	x	x
road users	x		x		x	x
shipping	x	x			x	

Table 1. The 'victims' matrix. The relevant areas are marked by X.

In Table 1, the term 'industry' is supposed to include 'general area lighting' as well. The two groups of 'victims' that receive most attention are the residents and the astronomers. Residents suffer most when the light invades their private life, when it falls directly into the living space. In many cases it relates to light falling into bedrooms, but also to light intruding into living rooms or private gardens. Astronomers are restricted in their possibilities to make accurate observations. Astronomers include both the professionals and the amateurs, but also the much larger group of persons who enjoy the darkness. Their main concern is the more diffuse type of light pollution that arises from light emitted upwards and scattered in the atmosphere. This scattered light causes the diffuse 'urban sky glow'. The light may be emitted upwards directly from the luminaires or indirectly by reflection from the lighted surfaces like e.g. roads. A third important group of 'victims' is termed 'nature life' in Table 1. It includes plants but mainly insects, birds and mammals. The term 'road users' speaks for itself. For brevity the heading might be considered to include rail transportation as well. See for details of this matrix and the way in has been used in drafting the recommendations for the Netherlands: NSVV (1999); Schreuder (1999).

This paper deals with outdoor lighting. One might discern three major classes of outdoor lighting, viz.:

- the purely utilitarian lighting like e.g. road traffic lighting, lighting of industrial complexes or sports facilities etc. Their purpose is to ensure adequate visibility for the tasks to be performed in those situations. The main aspects are the promotion of safety and security. The characteristics are described under the heading 'functional lighting' (Schreuder, 1970, 1974, 1994, 2001; Van Bommel & De Boer 1980)
- amenity lighting like e.g. the lighting of pedestrian malls, residential streets, floodlighting of public buildings etc. where visibility aspects are important but the promotion of the feeling of well-being ('amenity') is equally important. Crime prevention and the reduction of criminal acts are prevalent, more in particular the promotion of feeling secure (the subjective crime aspects). Apart from the functional requirements as indicated earlier, a major goal of amenity lighting is to enliven the surroundings (Schreuder, 1989, 2000, 2001).
- decorative lighting like e.g. illumination of Christmas trees, laser beam displays, floodlighting of fountains and trees. Their function is exclusively to enliven the scene. In this respect, the lighting is 'functional' as well, but its function is rather different from the

safety and security aspects mentioned earlier. Details on this type of lighting may be found in the proceedings of recent lighting conferences like e.g. CIE (1999), Anon. (2000). See also Coho (1967).

Because outdoor lighting is essentially functional, 'switching out the lot' is never a good solution to fight intrusive light, as it might conflict with the primary functions of lighting. Quality lighting is the obvious answer. The requirements for quality lighting are considered by the International Lighting Commission CIE (CIE, 1997; 2000; 2001a).

3. The environmental approach towards reduction of light intrusion

The consequences of light pollution are not equally severe at all places in the world; this implies that the light intrusion restriction measures do not need to be equally stringent for all places. For this, 'the world' is divided into zones. Zoning is a well-established practice to establish a base for environmental regulations. Zones are defined as areas where specific activities take place or are planned and where specific requirements are recommended for the restriction of obtrusive light. The International Lighting Commission CIE has proposed a zoning system that is specifically focussed on this purpose (CIE, 1997). Zoning does not stop environmental pollution, but it may serve as a frame of reference for anti-pollution legislation and regulation.

CIE has proposed a Zoning System for general purposes (CIE, 1997, 2001a). The system is closely related to the system of zoning that is in use in many countries. The zones are characterized by their Zone rating (E1 ... E4). A description is given in Table 2.

surroundings	lighting	environment	examples
E1	natural	intrinsically dark	national parks or protected sites
E2	rural	low district brightness	agricultural or residential rural areas
E3	suburban	medium district brightness	industrial or residential suburbs
E4	urban	high district brightness	town centres or commercial areas

Table 2. Description of the environmental zones according to the CIE Zoning System (adapted from CIE, 2001a, table 2.1).

It should be noted that the original CIE publication gives a different and less concise description (CIE 1997). In the newer CIE draft, industrial or residential rural areas have been given as examples of Zone E2 (CIE 2001a). Agricultural rural areas seem to be a more relevant example.

Similar to the location aspects, the consequences of light pollution are not equally severe at all times of the day and night; this implies that the light intrusion restriction measures do not need to be equally stringent at all times. To accommodate this idea, the concept of 'curfew' is introduced. The period of darkness is subdivided in the 'evening' and the 'night'. Often, the transition is chosen at about midnight; usually, however, the exact time is set down in national legislation.

In general terms it is recommended to operate after 'curfew' only the light that is directly related to safety and security and to switch off the rest. This would imply that the road traffic lighting will operate also at night as well as the street lighting as far as pedestrian safety and crime prevention is concerned. Decorative lighting should, however, be switched off. It should be noted that many recommendations for road and street lighting include provisions to reduce the lighting level for the night time operation as a result of changes in traffic vol-

ume and composition. As an example, see CEN (1998); CIE (1977, 1995); NSVV (1999).

4. Recommendations for the reduction of light intrusion

4.1. The present state of affairs

As mentioned earlier, there is general consensus about the recommendations for the reduction of intrusive light. There is, however, still considerable discussion about the numerical values that represent the limits of disturbance by light intrusion. The reason is that usually there are three points of view that each represent important currents within society but that each have quite different interests. At the first place - not because they are the most important but because they were the first to bother about lighting - is the group of manufacturers of lighting equipment. Their goal is to make products that allow efficient, good looking, even spectacular lighting installations. At the second place follow the authorities whose interest is to have cost-efficient lighting installations, but whose primary task is to spend public money in a frugal fashion. At the third place, finally, come the interest groups that want to protect the environment. They are the most recent of the three, but usually the most assertive and the best-spoken.

In this paper, a number of recommendations is given. As has been indicated earlier, in many cases the discussion in national and international committees is far from finished, because there is not always consensus about the numerical values of the limits for intrusive light. Several, but not all, of the recommendations given here are based of present drafts like those from The Netherlands and from CIE (NSVV, 1999, 2001; CIE, 2001a, 2001b). It is to be expected that the final recommendations that will be published in the future in the reports of these bodies might look quite different. As far as relevant, the precise quotations are given in the text. What is presented here, agrees to some extent with earlier CIE and other publications (Anon., 1978; Asmann et al., 1987; CIE, 1993, 1993a, Cohu, 1967; Fisher & Turner, 1977; Hartmann, 1984; Hartmann et al., 1984).

4.2. Recommendations regarding direct light intrusion - residents

In this section, recommendations are given that are relevant for those cases where the intrusive light falls directly into the living space of the 'victims'. These conditions are referred to under the heading 'residents' in Table 1.

a. Sports and general outdoor lighting

In Table 3, recommendations are given to avoid undue intrusive light from sports and general outdoor lighting, industry area lighting included.

zone	E1	E2	E3	E4
illuminance (lux)				
evening	2	5	10	2
night	1	1	2	4
luminous intensity (cd)				
evening	2500	7500	7500	7500
night	0	500	1000	2500

Table 3. Recommendations for intrusive light restriction from sports and general outdoor lighting

The recommendations given in Table 3 relate to the illuminance on the plane of the facade of living quarters - particularly bedrooms - as well to the luminous intensity of fittings in the direction of the windows in those facades. The illuminance is measured in the centre of the façade under consideration at a height of 1,8 m over the ground level. In multi-store buildings, the measurement is to be repeated for each floor. The luminous intensity is measured from the same spots in the direction of each luminaire visible from that spot. All values have to be below the limiting value of Table 3. The data relate to the lighting of sport facilities and industrial lighting (NSVV 1999, 2001). They may be used for other types of outdoor lighting as well, like e.g. city beautification lighting (Schreuder, 2001a). It should be noted that the recommended values in Table 3 have no relevance for the illuminance on other planes nor for the luminous intensity in other directions. These cases are covered by other recommendations, e.g. CIE (1976, 1992, 1995). In most cases, the lighting designer is, up to these limits, free to use the fittings that are needed for a good installation. Following Table 3, usually implies that screens are needed on the fittings to avoid stray light ('spill light').

b. Floodlighting

In Table 4, recommended limiting values for the luminance of facades to restrict undue light intrusion into the living space of neighboring residents. The requirements are related primarily to 'floodlighting', as referred to in Table 1. The disturbance is the result of the light from the floodlighting equipment that is reflected by the facades into the living area of the residents. The values refer to the average of the facade area of the building under consideration. They are based on a draft for the recommendations of the Netherlands (NSVV, 2001).

zone	E1	E2	E3	E4
evening	5	5	10	25
night	0	5	10	25

Table 4. Recommendations for obtrusive light restriction for the luminance of facades (Floodlighting; in cd/m^2)

c. Road lighting

Road lighting is a major cause for disturbance by light intrusion for sub-urban and rural areas. In Table 5, recommendations are given to avoid undue intrusive light from road lighting.

zone	E1	E2	E3	E4
illuminance (lux) evening + night	5	10	10	15
luminous intensity (cd) evening + night	200	400	400	1000

Table 5. Recommendations for intrusive light restriction from road lighting

The measurement of the illuminance and of the luminous intensity must be done in the same way as is described for Table 4. The recommendations in Table 5 show considerable differences from those given in Table 4, because the disturbance is related to the road type and thus to the road lighting class, but also to the general lighting conditions in the area and thus to the zone. The limiting values of the luminous intensity are much lower because road lighting fittings usually are much closer and much lower than the fittings for

general area lighting. Finally, usually there is no distinction between evening and night time lighting.

d. Advertising signs

Advertising signs ('billboards') proliferate heavily in industrialized countries. The main problem is that they are set up and equipped by private persons or companies. The problems arise from three facts: first, the free market ideology prevents public authorities from prohibiting even the most abject forms of advertising. Secondly, an apparent lack of knowledge of the principles of advertising entices many companies to do just one thing: make their signs more conspicuous (bigger, brighter, more colorful) than that of their neighbours or competitors. And thirdly, an equally apparent lack of lighting skills entices them to select the lighting that is cheapest to install irrespective of the quality or of the running costs. This does not mean that advertising signs should be prohibited. It means that prominent advertising signs, particularly the flashing ones, should be restricted to the urban environment and they should be permitted only if they fit in within the overall picture. Obviously, this calls for a close co-operation between all the parties involved, private enterprises and public authorities alike (Schreuder, 2001a).

National and international bodies have proposed limiting values for the photometric characteristics of advertising signs. As indicated earlier, there is no consensus about these values, mainly because of the wide variety of advertising signs and the area of their application. Table 6 include preliminary suggestions for limiting values based on discussions in the Netherlands. As was indicated earlier, the decisions in the relevant committees still need to be made. The values refer to the average luminance over the entire surface area of the sign, irrespective of its colour.

zone	size (m ²)	recommended values (cd/ m ²)	recommended values (cd/ m ²)
E1, E2	no advertising signs		
E3, E4	< 0,5	600	2000
	0,5 - 2	600	1500
	2 - 5	600	1200
	5 - 10	300	500
	> 10	100	100

Table 6. Recommended and limiting values of the luminance of advertising signs.

It is assumed that advertising signs are not placed in the zones E1 and E2. Furthermore, no distinction is made between 'evening' and 'night time' conditions, because it is not feasible to have special night-time signs. If they are too much of a pollutant, they should be switched off. It should be realised that the luminance of a sign for optimal readability is considerably lower than the limiting values given in the last column of Table 6. Therefore, another column is added to Table 6 that gives recommended luminance values for optimal readability. It is recommended to restrict the sign luminance to those values because readability is the main purpose of the sign and to stay away from the limiting values that serve only to attract some more attention.

e. Greenhouses

Although greenhouses are the greatest contributors to light pollution in the Netherlands, at present there are no recommendations for the restriction of light intrusion from these es-

establishments. The reason is that the current legislation calls for restriction of light emission, but the legislation is aimed at the interference of adjoining greenhouse establishments and not at the reduction of light intrusion into buildings.

4.3. Light intrusion for animal and plant life and for traffic participants

a. nature life

Until recently, it was customary to consider only human beings as 'victims' of light pollution. The majority of studies was made by astronomers and most pressure was made to protect the sites of astronomical observatories. To a lesser extent, also the public health aspects have been investigated. These seem to be relatively minor as followed from a major literature survey sponsored by the Ministry of Public Health of the Netherlands (Van den Berg, 2000). However, studies have shown that many animals, like e.g. insects and birds, suffer from light at night. Also other animal like sea turtles may suffer considerably from light pollution. From the older surveys we mention Schanowski & Späth (1994) and Verheijen (1985).

More recently, an ever increasing number of studies are published. In the wake of the studies made in the Netherlands related to the lighting of rural motorways in natural settings (see Anon., 1997), a large number of literature studies and a number of experimental studies have been made. A compilation of the literature may be found in Van den Berg (2000) and Molenaar et al (1997). As an example, one of the many experimental studies is described in De Molenaar & Jonkers (1997); the results have just been published De Molenaar et al., 2000). This study on gruttos might be considered as a methodological example of how such

studies ought to be made. Another example is the influence of stray light on the behaviour of sea turtles (Irvine & Belalidis, 1999).

It is difficult to summarize the various studies, most of them being focussed on individual species of animals or plants. In general it was found that an increase in ambient lighting shifts the growing and procreation periods in spring towards earlier months, therewith increasing the risk for damage or death because of the lower temperatures. This trend may be found in most animal and plant studies. One specific result is that a preference list of lamp-types (lamp colours) may be established, that runs from most to least preferred types:

- low-pressure sodium lamps
- high-pressure sodium lamps
- compact fluorescent lamps
- high-pressure mercury lamps (including metal halide lamps).

b. traffic participants

It is likely that road, rail and water traffic participants will have quite different requirements as regards the limiting values of intrusive light. The main reason is that road traffic (cars etc.) carry their own lights; therefore, drivers are never in complete darkness, contrary to rail and water traffic participants. However, data regarding rail and water traffic are not available. For road traffic (car drivers) some preliminary recommendations are given in Table 7. The values are based on the recommendations for the limitation of the effects on transport systems (CIE, 2001a, table 2.4).

parameter	road classification	M5	M4/M3	M2/M1
Equivalent adaptation luminance (cd/m ²)	0,1	1	2	5
Threshold increment	15%	15%	15%	15%

Table 7. Maximum values of threshold increment from non-road lighting installations

In Table 7, the road classification is according to CIE (1995). The equivalent adaptation luminance' is the luminance that is to be used in assessing TI. The Threshold Increment (TI) is defined in CIE (1976); see also Schreuder (2001). It should be noted that the TI cannot be calculated according the CIE method for irregular lighting installations. It is suggested to apply in those cases the limiting values for the luminous intensity that are given in Table 3.

4.4. Urban sky glow

There is another type of light pollution that must be considered. Even when the fittings are well-placed, well-adjusted and well-screened, they direct some of their light into the sky above. Furthermore, the light that is reflected from the surfaces that have to be lit, will end up into the sky as well. The result is what is commonly known as 'sky glow': a diffuse haze that stretches over the sky or at least a large part of it, making the observation of astronomical objects hard or even impossible. It is not only the professional astronomers with their large telescopes that suffer from it; also the thousands or even hundred-thousands amateur astronomers who marvel about the wonders of the sky, are the victims. One might argue that there are more important things in life to bother about than the fact that some stars are a little less clear; considerations of philosophers, religious leaders and teachers suggest otherwise. If humanity loses contact with the cosmos, it may lose contact with some of its most profound spiritual fundaments. This has been expressed in many different places in the Holy Books of many religions but also in the scientific literature (Crawford, 1991, 1994; Murdin, 1994; Percy 1998, 1999; Schreuder, 1987).

4.4.1. The origin and effect of sky glow

Sky glow presents itself as a background luminance over the sky, against which the astronomical objects are to be observed. The interference of astronomical observations is caused by the resulting reduction in luminance contrast. The glow is caused by non-directional scatter of light by particles in space and in the atmosphere. Part of the light, and part of the particles are natural, and part is man-made. The '(natural) background radiation' is defined as the radiation (luminance) resulting from the scatter of natural light by natural particles. For earth-bound observatories, the natural background luminance is the absolute limit for observations. Further explanations may be found in Levasseur-Regourd (1994) and Leinert & Mattila (1998).

To understand the effect of the (diffuse) sky glow, one must realise that all observations, both visual, photographic and electronic, of light emitting objects is essentially an observation of contrast. The overall stray light causes a light veil that extends over the field of observation. This veil has a luminance as well. All contrasts will be reduced. The effect can be observed as an increase in 'brightness' of the stars that just can be seen. Derivation of the so-called 'sky glow formula' is given in CIE (1997). Another, mathematically more stringent, derivation is given in Fellin et al. (2000). They have presented a relation that allows to determine the increase of the threshold magnitude for just visible stars as a result of lighting parameters :

$$dM = -2.5 \log (1 + R_n / [r (1 - R_n)])$$

with:

dM: the increase of the threshold magnitude for just visible stars;

R_n: the total upward flux of a whole town;

r: area average of the reflection factor.

(after Fellin et al., 2000, eq. 9).

Sky glow is the result of light that is projected upwards, and then scattered back to the surface of the Earth. Part of the stray light is projected directly upwards. Usually this results from poorly designed, or maladjusted lighting; it may, however, also occur when the light is aimed upwards on purpose. Another major contribution to the stray light is the light that is well-directed to objects, but reflected by them. Road surfaces, grass, and buildings reflect a fair amount of the incident light, and the reflected light usually goes upwards. It should be stressed in this respect that light only serves its purpose if it hits the eye of the observer. In some cases, like signalling, it is the light source itself but in almost all cases it is the light that is reflected from a surface that is 'useful'. So, the suggestion that may be heard at places, to make all surfaces black so that there is no reflected light, really is nonsense as if when doing so - even if it were possible in the first place - was to make the lighting installation useless. This is particularly true for road surfaces.

All sources of man-made sky glow have one thing in common: they all represent an economic loss. Crawford calculated on the basis of a number of 'rule of thumb' assumptions the loss of one billion dollars annually in the US alone (Crawford, 1991, 1997a). Isobe has given similar data but then more detailed for specific towns and locations (Isobe, 1999). See also Cinzano (2000()) and Cinzano et al, (1999).

These calculations include the reflected light. According the Italian data, only a small part of the sky glow results from direct light and the major part from the reflected light that cannot, as indicated earlier, avoided without compromising the function of the lighting itself (Fellin et al., 2000). The result is that the calculation over-estimate the energy losses quite considerably. Nevertheless, the losses are unacceptably high!

4.4.2. The efforts to reduce obtrusive light.

a. Upward Light Output requirements

The current CIE report uses the maximum permissible value of ULR (the Upward Light Output Ratio - installed) as one of the major parameters in which the recommendations for the limitation of sky glow are expressed. The abbreviation ULR is used in stead of the earlier notation ULOR_{inst}; the two mean the same.

The ULR-values that are given in the present CIE report are given in Table 8. expressed as percentage of the luminous flux of the luminaire for each zone. Some astronomical activities that might be performed in the different zones are included in Table 9 as well. They are derived from the descriptions of Murdin (1997). They should be regarded as examples only.

Zone	ULR (%)	astronomical activities
E1	0	observatories of (inter)national standing
E2	0 - 5	postgraduate and academic studies
E3	0 - 15	undergraduate studies, amateur observations
E4	0 - 25	casual sky viewing

Table 8. Recommendations for Upward Light Output Ratio ULR to limit the sky glow. After CIE (1997, Table 2)

This limit holds for each individual luminaire in that zone. The value of ULR can be measured only if the manufacturer or provider indicates precisely how the luminaire must be mounted. The values of Table 8 are limiting values. Lighting designers should aim at meeting the lowest specifications for all designs unless the specific installation requires higher values. Still, the values are considered by astronomers and naturalists as too high. At present, efforts are made to reduce the values. As examples of what might be achieved, the work in Italy and Spain might be quoted. In Italy, a Standard has been introduced recently (UNI, 1999, quoted by Fellin et al., 2000).

The Standard does not address national parks, as in those parks all outdoor lighting is prohibited (Fellin et al., 2000, sec. 5). The Italian Standard gives the following restrictions for the upward flux (UNI, 1999 as quoted by Fellin et al., 2000, sec. 3):

- UNI-zone 1 (CIE-zone E2): 1%
- UNI-zone 2 (CIE-zone E3): 5%
- UNI-zone 3 (CIE-zone E4): 10%

For the transition towards the implementation of the standard, the requirements are more lenient. The data are given in Table 9.

type of installation	Uni-zone 1 CIE-zone E2	Uni-zone 2 CIE-zone E3	Uni-zone 3 CIE-zone E4
Road lighting	1%	3%	3%
Other installations	1%	9%	23%

Table 9. Recommendations for Upward Light Output Ratio ULR to limit the sky glow. Values from UNI, 1999 as quoted by Fellin et al., 2000, Table I.

Also in Spain upward flux values are prescribed. They are considerably lower than the CIE values. For the night time conditions (after 'curfew') the following values are recommended for the different zones: zone E1: 0%; zone E2: 1%; zone E3: 3%; zone E4: 5%. (Diaz-Castro, 2000).

b. The colour of the light

In the current CIE document, the colour of the light is treated in some detail (CIE, 1997, sec. 10). It is generally accepted that the most effective way available at present to reduce interference with astronomical observations is the use of low-pressure sodium-vapour lamps. Because these lamps emit (quasi)monochromatic light, observations in other spectral regions are hardly affected (Budding, 1993; Sterken & Manfroid, 1992). Because the yellow line of the light is close to the

maximum of the sensitivity of the eye, the luminous efficacy of low pressure sodium lamps is high - they are the most efficient light sources available at present (Schreuder, 2001;

Van Bommel & De Boer, 1980). On these grounds it is recommended to apply low-pressure sodium lamps for outdoor lighting near astronomical observatories. Moreover, monochromatic light can be used safely and effectively on roads outside built-up areas that carry motorized traffic only. See e.g. De Boer, ed. (1967); Van Bommel & De Boer (1980) and Schreuder (2001). For roads and streets with a high crime risk, however, the monochromatic light is less suitable, both to prevent and to fight crime (Schreuder, 2000, 2001). The second reason is more subjective. Monochromatic light is ugly and looks insecure. For amenity reasons, white light is to be preferred in residential areas (Schreuder, 1989, 2001a).

c. The Maximum Installed Lumen per unit Area.

It is not enough to consider only the relative upward flux per luminaire. Although this is an important parameter, it does not give an indication about the actual effect of the artificial lighting on the sky glow. Even when the requirements of the upward flux are fulfilled, the size of the lamp in the luminaire and the total number of lamps that contribute to the sky glow, must be taken into account. In Table 10 some suggestions are given. It should be noted that these suggestions have not yet been accepted by CIE, nor are they supported as yet by extensive field experience.

Zone	area lighting (lumen/m ²)	
	before curfew	after curfew
E1	0,02 - 0,18	0
E2	0,75	0,15
E3	3 - 12	0,8 - 2
E4	20 - 50	7 - 15

Table 10. Suggestions for ranges of values for the Maximum Installed Lumen per unit Area for different zones

Table 10 contains ranges of values for the different zones. The reason is that for a more detailed lighting design, the zones as given in Table 2 need to be split up in sub-zones. Details of this procedure can be found in Murdin (1997) and Schreuder (1994a, 2000a). It might also be noted that, on the basis of further considerations, the requirements given here are somewhat more stringent than the values suggested earlier (Schreuder 2000a).

d. The distance relations for zoning

The light pollution in a point in a specific zone (the 'reference point', e.g. astronomical observatories, natural parks etc.) is determined not only by the lighting in that zone but also by the lighting in neighboring zones, as well as by the dimensions of these zones. The lighting requirements in zones around that specific location should to be taken into account. As has been shown by Cinzano et al. (1999), this spill-over of light pollution may be quite significant. The influence of the lighting in neighboring zones onto the overall sky glow at the reference location (reference point) depends upon the distance between the zone borderlines and the reference point.

Two aspects that seem to be conflicting, must be taken into account. At the one hand, it seems to be wise to make the zones as wide as possible. Thus, the influence of the sky glow from light sources in adjoining zones is restricted to a minimum. In this fashion, the recommended values given in Table 11 should be interpreted. This point of view is particularly valid for countries or regions where distances are large and the population is scarce or non-existing. Those are the countries where the major international or world-class as-

tronomical observatories are located. The fact that a major portion of those countries may be classified as 'developing countries', makes it sometimes more easy to fulfill these requirements. See Batten, ed. (2000) and Schreuder (2000b). The classification of countries according to the Gross National Product is discussed in Schreuder (1995a, 1997, 1998)). The values of Table 11 may be used in the selection process for a site for a world-class observatory.

zone of reference point	surrounding zones recommended values of the distance (km) to borderline to surrounding zones		
	E1-E2	E2-E3	E3-E4
E1	1	10	100
E2		1	10
E3			1
E4		no limits	

Table 11. Recommended values of the minimum distance (in km) between the zone borderlines and the reference point. Based on data of CIE (1997, table 5)

At the other hand, however, very wide zones make it difficult or even impossible to realise small-scale natural reserves, or to establish observatories with a didactical function in densely populated regions or countries. It would also mean that, because a major city - say corresponding to class E3 - is at a certain location, for wide surroundings it would be very difficult to enforce restrictions regarding obtrusive light. It would mean that amateur astronomy would have no protection at all. With this in mind, another table is added to the table from CIE (1997), designated as 'minimum permissible distance'. This additional table should be regarded as a first suggestion. As in Table 11, the corresponding values in Table 12 are given for the minimum distance between a zone borderline and the reference point (the point of the observatory). The data are derived from data that are given in the Italian standard (Fellin et al., 2000, sec. 3). The Italian standard requires that for international observatories, the first zone must be 5 km and the second zone 5, 10, 15 or 15 km, depending on the importance of the observatory. In Table 12, the least stringent requirements from the Italian standard are used.

zone of reference point	surrounding zones recommended values of the distance (km) to borderline to surrounding zones		
	E1-E2	E2-E3	E3-E4
E1	1	5	10
E2		1	5
E3			1
E4		no limits	

Table 12. Minimum permissible distance (in km) between the zone borderlines and the reference point. Based on data from UNI (1999)

References

- * Anon. (1978). Report and recommendations of IAU Commission 50 (Identification and protection of existing and potential observatory sites) - published jointly by CIE and IAU in 1978. (Reproduced as Appendix 4.1. in McNally, ed., 1994, p. 162 - 166).
- * Anon. (1997). Richtlijn openbare verlichting in natuurgebieden (Guideline for road lighting in nature reserves). Publicatie 112. Ede, CROW/NSVV, 1997.
- * Anon. (1997a). Control of light pollution Measures, standards and practice. Conference organized by Commission 590 of the International Astronomical Union and Technical Committee 4.21 of the Commission Internationale de l'Eclairage. The Hague, 20 August 1994. The Observatory, 117 (1977) 10-36.
- * Anon. (2000). Proceedings, 3rd National Lighting Congress, held at 23-24 November 2000 at Taskisla-Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
- * Assmann, J.; Gamber, A. & Muller, H.M. (1987). Messung und Beurteilung von Lichtmissionen, Licht 7 (1987) 509-515
- * Batten, A., ed. (2000). Proceedings, Special Session: "Astronomy for developing countries" held at the 24th General Assembly of the IAU, Manchester, UK, 7 - 16 August 2000 (to be published).
- * Budding, E. (1993). An introduction to astronomical photometry. Cambridge UP, 1993
- * CEN (1998). Road lighting. European Standard. prEN 13201-1..4. Draft, June 1998. Central Secretariat CEN, Brussels, 1998.
- * CIE (1976). Glare and uniformity in road lighting installations. Publication no 31. Paris, 1976.
- * CIE (1977). International recommendations for the lighting of roads for motorized traffic. Publication 12/2. CIE, Paris, 1977.
- * CIE (1992). Guide for the lighting of urban areas. Publication No. 92. 1992.
- * CIE (1993). Urban sky glow, A worry for astronomy. Publication No. X008. 1993.
- * CIE (1993a). Guide for floodlighting. Publication No. 94. CIE, Vienna, 1993.
- * CIE (1995). Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic. Technical Report. Publication No. 115-1995. Vienna, CIE, 1995.
- * CIE. (1995a). 23rd Session of the CIE, 1-8 November 1995, New Delhi, India. Volume 1. Publ No. 119. CIE, Vienna, 1995.
- * CIE (1997). Guidelines for minimizing sky glow. Publication No. 126-1997. Vienna, CIE, 1997.
- * CIE (1999). Proceedings, 24 the Session of the CIE, 24 - 30 June 1999, Warsaw, Poland. Vienna, CIE, 1999).
- * CIE (2001). Criteria for road lighting. Proceedings of three CIE Workshops, CIE Vienna (in press).

- * CIE (2001a). Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations; 5th draft (January 2001); CIE TC 5-12: Obtrusive light.
- * CIE (2001b). Guidelines for minimizing sky glow; A CIE Technical Report. Draft revision of CIE Publication No 126, fourth draft 27 March 2001.
- * Cinzano, P. (2000). Paper presented at the IAU Session of Commission 50, held at the 24th General Assembly of the IAU, Manchester, UK, 7-16 August 2000.
- * Cinzano, P.; Falchi, F.; Elvidge, C.D. & Baugh, K.E. (1999). The Artificial Sky Brightness in Europe Derived from DMSP Satellite Data. Pag 95 in: Cohen & Sullivan, eds., 2001.
- * Cohen, R.J. & Sullivan, W.T., eds. (2001). Preserving the Astronomical Sky, IAU Symposium No. 196, held in Vienna, Austria, 12-16 July 1999. PASP, San Francisco, USA, 2001 (in preparation).
- * Cohu, M. (1967). Floodlighting of buildings and monuments. Chapter 10 in: De Boer, ed., 1967.
- * Crawford, D.L. (1991). Light pollution: a problem for all of us; p. 7 - 10 in: Crawford, ed., 1991.
- * Crawford, D.L. (1997). Terminology and units in lighting and astronomy. In: Anon., 1997a.
- * Crawford, D.L., ed. (1991). Light pollution, radio interference and space debris. Proceedings of the International Astronomical Union colloquium 112, held 13 to 16 August, 1989, Washington DC. Astronomical Society of the Pacific Conference Series Volume 17. San Francisco, 1991. * Crawford, D.L. (1994). Light pollution - Theft of night. pg 27-33, in: McNally, ed., 1994.
- * De Boer, J.B., ed. (1967). Public lighting. Eindhoven, Centrex, 1967. * De Molenaar, J.G.; Jonkers, D.A. & Henkens, R.J.H.G. (1997). Wegverlichting en natuur I. Een literatuurstudie naar de werking en effecten van licht en verlichting op de natuur (Road lighting and nature I. A literature study on the action and effects of light and lighting on nature). DWW ontsnipperingsreeks deel 34. Delft Dienst Weg- en Waterbouw, 1997.
- * De Molenaar, J.G. & Jonkers, D.A. (1997). Wegverlichting en natuur II; haalbaarheidstudie aanvullend onderzoek (Road lighting and nature II; A feasibility study for additional research). No 144. Delft Dienst Weg-en Waterbouw, 1997.
- * De Molenaar, J.G.; Jonkers, D.A. & Sanders, M.E. (2000). Wegverlichting en natuur III; lokale invloed van wegverlichting op een gruttopopulatie (Road lighting and nature III; local influence of road lighting on a population of gruttos). DWW ontsnipperingsreeks deel 38. Delft Dienst Weg- en Waterbouw, 2000.
- * Fellin, L.; Iacomussi, P.; Medusa, C.; Rossi, G. & Soardo, P. (2000). Compatibility between public lighting and astronomical observations; An Italian Norm. Draft 2000-08-28.
- * Fisher, A.J. & Turner, H.J. (1977). Outdoor lighting and observatories. IES Lighting Review (1977) (Febr.) 25-32.
- * Hartmann, E. (1984). Untersuchungen zur belästigende Wirkung von Lichtimmissionen. LIS-Berichte, 51, 33-57, 1984.

- * Hartmann, E.; Schinke, M.; Wehmeyer, K. & Weske, H. (1984). Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. München, Institut für medizinische Optik, 1984.
- * Irvine, C. & Belalidis, T. (1999). Sea turtles and light pollution on the nesting beaches of Crete. pg 37-38 .In: Metaxa, ed., 1999.
- * Isobe, S. (1999). Paper presented at the IAU Symposium No. 196, "Preserving the Astronomical Sky", Vienna, Austria, 12-16 July 1999; in Cohen & Sullivan, eds., 2001.
- * Isobe, S. & Hirayama, T. eds. (1998). Preserving of the astronomical windows. Proceedings of Joint Discussion 5. XXIIIrd General Assembly International Astronomical Union, 18-30 August 1997, Kyoto, Japan. Astronomical Society of the Pacific, Conference Series, Volume 139. San Francisco, Cal, 1998.
- * Levasseur-Regourd, A.C. (1992). Natural background radiation, the light from the night sky. In: McNally, ed., 1994
- * Leinert, Ch. & Mattila, K. (1998). Natural optical sky background. p 17-20 in: Isobe & Hirayama, eds., 1998.
- * McNally, D. ed., (1994). Adverse environmental impacts on astronomy: An exposition. An IAU/ICSU/UNESCO Meeting, 30 June - 2 July, 1992, Paris. Proceedings. Cambridge University Press, 1994.
- * Metaxa, M. ed. (1999). Proceedings of 'light pollution' symposium, Athens, Greece, 7-9 May 1999. Greek Ministry of Education and Religion. Athens. 1999.
- * Murdin, P. (1994). The aims of astronomy in science and the humanities: Why astronomy must be protected. Pag 16-19 in: McNally, ed., 1994.
- * Murdin, P. (1997). Zones of light pollution control. In: Anon. 1997a. * NSVV (1999). Algemene richtlijnen voor lichthinder in de openbare ruimte. Deel 1, Lichthinder door sportverlichting (General directives for light intrusion in public areas. Part 1, Light intrusion by lighting of sports facilities). Arnhem, NSVV, 1999.
- * NSVV (2001). Algemene richtlijnen voor lichthinder in de openbare ruimte. Deel 2. Eerste editie. Ontwerp maart 2001 (General rules for light disturbance in the public area. Part 2; First edition. Draft March 2001). Arnhem. NSVV, 2001.
- * Percy, J.R. (1998). Preserving the astronomical 'window' by/for education and culture. pp 7-12 in Isobe & Hirayama, eds. (1998).
- * Percy, J.R. (1999). Preserving the astronomical window by/for education and culture. 28-34. In: Metaxa, ed., 1999.
- * Schanowski, A. & Späth, V (1994). Überbelichtet; Vorschläge für eine umweltfreundliche Außenbeleuchtung. Naturschutzbund Deutschland (NABU), Bühl/Baden, 1994.
- * Schreuder, D.A. (1970). A functional approach to lighting research. In: Tenth International Study Week in Traffic and Safety Engineering. OTA, Rotterdam, 1970.
- * Schreuder, D.A. (1974). De rol van functionele eisen bij de wegverlichting (The rol of functional requirements in road lighting).

In: Wegontwerp en verlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid (Road design and lighting in view of road safety); Preadviezen Congresdag 1974, blz. 111 t/m 137. Vereniging Het Nederlandsche Wegencongres, 's-Gravenhage, 1974.

* Schreuder, D.A. (1987). Road lighting and light trespass. *Vistas in Astronomy* 30 (1987) (3/4) : 185-195.

* Schreuder, D.A. (1989). Bewoners oordelen over straatverlichting (Residents judge street lighting). *PT Elektronica- Elektrotechniek* 44(1989)5:60-64.

* Schreuder, D.A. (1992). Roads safety problems in developing countries. Introduction. *Transportation and road engineering in developing countries (TREND)*. May, 1992. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, the Netherlands, 1992

* Schreuder, D.A. (1994). Kosten-Nutzen Ueberlegungen für Straßenbeleuchtung (Cost-benefit considerations in road lighting). Paper presented at LICHT94, Interlaken, Switzerland, 14.9 - 16.9.1994. Leidschendam, Duco Schreuder Consultancies, 1994.

* Schreuder, D.A. (1994a). Comments on CIE work on sky pollution. Paper presented at 1994 SANCI Congress, South African National Committee on Illumination, 7 - 9 November 1994, Capetown, South Africa.

* Schreuder, D.A. (1995). Quality lighting - The need to cry over spilled milk. Paper presented at 3rd European Conference on Energy-Efficient Lighting, 18th-21st June 1995, Newcastle upon Tyne, England. Leidschendam, Duco Schreuder Consultancies, 1995.

* Schreuder, D.A. (1995a). Road lighting in developing countries. Paper PP 160. Leidschendam, Duco Schreuder Consultancies, 1995. In: CIE, 1995a.

* Schreuder, D.A. (1997). Theory and background for road lighting in developing countries. Paper to be presented at the Symposium on 'Road Lighting for Developing Countries' held in the SANCI-CIE International Conference on 'Lighting for Developing Countries'; Durban, South Africa, 1-3 September 1997.

* Schreuder, D.A. (1998). Road lighting and accidents in developing countries. Based on a paper presented at 14th Bi-annual Symposium on Visibility, April 20-21 Washington, DC, USA. Leidschendam, Duco Schreuder Consultancies, 1998.

* Schreuder, D.A. (1999). Lichtvervuiling: de invloed van stoorlicht op astronomische waarnemingen (Light pollution: the influence of intrusive light on astronomical observations). Paper presented at NSVV Nationale Lichtcongres, Arnhem, 25 November 1999.

* Schreuder, D.A. (2000). The role of public lighting in crime prevention. Paper presented at the workshop "The relation between public lighting and crime", held on 11 April 2000 at Universidade de Sao Paulo, Instituto de Eletrotecnica e Energia.

* Schreuder, D.A. (2000a). Obtrusive light audits: A method to assess light pollution. Paper presented at The 3rd National Lighting Congress Special session on "Light Pollution" held on 23-24 November 2000 at Taskisla-Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey. Leidschendam, Duco Schreuder Consultancies, 2000.

* Schreuder, D.A. (2000b). Pollution-free road lighting. Paper presented at the Special Session: "Astronomy for developing countries" held at the 24th General Assembly of the IAU, Manchester, UK, 7 - 16 August 2000. In: Batten, ed., 2000.

- * Schreuder, D.A. (2001). Strassenbeleuchtung für Sicherheit und Verkehr. Aachen, Shaker Verlag, 2001 (see also Road lighting for safety. London, Thomas Telford, 1998 and Openbare verlichting voor verkeer en veiligheid, Kluwer Techniek, Deventer, 1996).
- * Schreuder, D.A. (2001a). Pollution free lighting for city beautification; This is my city and I am proud of it. Paper presented at the International Lighting Congress, Istanbul, Turkey, 6-12 September 2001
- * Sterken, C. & Manfroid, J. (1992). Astronomical photometry. Dordrecht, Kluwer, 1992.
- * UNI (1999). Illuminazione pubblica - Requisiti per la limitazione della dispersione del flusso luminoso diretto verso il cielo. (Road lighting Prescriptions on the limitation of the luminous flux emitted towards the sky). UNI Norm 10819, 1999.
- * Van Bommel, W.J.M. & De Boer, J.B. (1980). Road lighting. Kluwer, Deventer, 1980.
- * Van den Berg, M.M.H.E. (2000). Signalement gevolgen van verlichting voor mens en natuur (survey of effects of lighting on humans and on nature). Den Haag, Gezondheidsraad, 2000.
- * Verheijen, F.J. (1985). Photopollution: Artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causation, remedies. Experimental biology (1985) no. 44: 1-18.

IR- und UV-Strahlenquellen für industrielle Anwendungen

Hans-Dieter Witzke

Heraeus Noblelight GmbH, Bereich Entwicklung

63450 Hanau

Einleitung

Das Gebiet der Speziallampen innerhalb der Lichttechnik, die nur die UV- und IR-Anteile des elektromagnetischen Spektrums nutzen, hat sich in den letzten Jahren zu einem beachtlichen Markt mit stark untergliederten Anwendungsfeldern entwickelt. So erstreckt sich der Bereich, in dem IR- und UV-Anteile des Spektrums heute intensiv genutzt werden, auf die Medizin, auf die Messtechnik und besonders auf viele industrielle Anwendungen in den unterschiedlichsten Branchen. Nachfolgend soll vor allem diese Seite in ihrem Zusammenhang zwischen Produktentwicklung, Produktcharakterisierung und Anforderungen des Marktes an Beispielen belegt werden.

Heraeus- ein kurzer Rückblick

Zu Beginn sei es gestattet, aus besonderem Anlass - dem 150-jährigen Firmenjubiläum des traditionsreichen Familienunternehmens Heraeus im Jahre 2001 - einen kurzen Rückblick auf die erfolgreiche Geschichte des heute weltweit tätigen Hanauer Technologiekonzerns zu nehmen.

Der Ursprung des heutigen Weltkonzerns geht zurück auf den innovativen Weitblick und Unternehmergeist des Apothekers und Chemikers Wilhelm Carl Heraeus, dem 1851 - dem Firmengründungsjahr - und in der Folgezeit zum ersten Mal das Erschmelzen von Platin in größerem Umfang bei hohen Temperaturen gelang. Mit dieser technischen Pionierleistung war der Grundstein für ein dynamisches Firmenwachstum und für neue Geschäftsfelder gelegt.

Weitere Meilensteine für die Entwicklung des Unternehmens Heraeus waren 1899 das erfolgreiche Schmelzen von Bergkristall im Knallglasgebläse zu relativ blasenfreiem Quarzglas höchster Reinheit durch den Physiker und Chemiker Dr. Richard Küch und 1906 durch den gleichen Forscher die Herstellung der ersten Quecksilberdampf-Hochdrucklampe. Damit war das Tor aufgestoßen zur Entwicklung der „künstlichen Höhensonne- Original Hanau“, der in den nachfolgenden Jahrzehnten eine wichtige Rolle bei der Prophylaxe zum Schutz vor Infektionskrankheiten und zur Erzeugung von Vitamin B im Körper im Kampf gegen Rachitis zukam.

Nach der Ausweitung der Anwendungen der UV-Entladung in Richtung Beleuchtungstechnik und Lichttechnik im Weltmaßstab ist es heute Anliegen der Heraeus Noblelight GmbH als führender Speziallampenhersteller, die Entwicklung, Herstellung und Anwendung von UV- und IR-Strahlenquellen zu betreiben und zu forcieren und damit die Tradition im Unternehmen Heraeus erfolgreich fortzusetzen.

Heraeus Noblelight- die Gegenwart

Die Heraeus Noblelight GmbH als jüngste operative Führungsgesellschaft des Heraeus-Konzerns wurde 1992 unter Übernahme verschiedener Lampen produzierender Abteilungen des Unternehmens gegründet. Sie hat sich durch eine moderne Organisationsstruktur mit eigenen Produkt- und Vertriebslinien auf die verschiedenen Marktanforderungen eingestellt und so auf die unterschiedlichen Kundengruppen spezialisiert, dass ein flexibles und schnelles Reagieren möglich wird. Diese Produktgruppen werden nachfolgend mit ihren typischen Erzeugnissen, ihren Hauptanwendungsfeldern und ihren jüngsten Innovationen vorgestellt.

Lampen für die Analytik

UV-Strahlenquellen für die Analytik - wie etwa die Deuteriumlampe - werden bereitgestellt für Hersteller analytischer Geräte auf dem Gebiet UV-Spektroskopie und Flüssigchromatographie. Das UV-Licht wird dabei zur Analyse von geringsten Substanzmengen (u.a. auch Dopingmitteln) ebenso eingesetzt wie beim Nachweis von Schadstoffen in der Umwelt oder bei der Qualitätskontrolle von Lebensmitteln. Deuteriumlampen (Abb.1) zeichnen sich durch hohe Lichtstabilität und ein linienfreies Kontinuum im ultravioletten Spektralbereich aus.



Abb. 1: Deuteriumlampe vom Typ DO 651 MJ für Einsatz in HPLC-Detektoren und Spektralphotometer

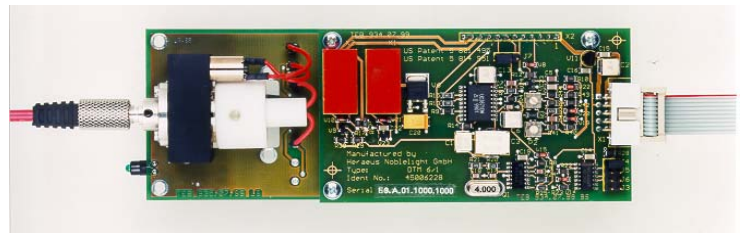


Abb. 2: Miniatur UV-vis-Lichtquelle Fiber-Light für Anwendungen u.a. in fasergekoppelten Mini-spektrometern

Entsprechend den Forderungen nach einer kleinen Lampe mit geringer Leistungsaufnahme für den Einsatz in tragbaren Spektrometern hat Heraeus Noblelight kürzlich eine neue Miniatur-Deuteriumlampe vorgestellt, die sog. Fiberlight.(Abb. 2). Die Lampe, deren Entladung elektrodenlos durch Hochfrequenz angeregt wird, hat kleine Abmessungen, eine Leistungsaufnahme von ca. 3 Watt und bietet gute Voraussetzungen für neue Konzepte in der UV-Optik und Analytik. Fiberlight ist eine komplette UV-vis-Lichtquelle (Deuterium- und Wolframlampe in Durchscheinanordnung) mit Zubehör, SMA Lichtleiteranschluss und Vorschaltgerät und eignet sich besonders für fasergekoppelte UV-vis-Spektrometersysteme mit Anwendungen z.B. in der Wasseranalyse Diagnose und im Umweltbereich, für tragbare und batteriebetriebene Spektrometersysteme zur Analyse vor Ort und für die On-line-Prozessanalyse.

Lampen für den Bereich Oberfläche und Umwelttechnik

Schwerpunkt der für diese Anwendung entwickelten und produzierten UV-Lampen sind das Entkeimen von Oberflächen und Packstoffen sowie die Wasser- und Luftentkeimung. Besonders in der Lebensmittelindustrie wird durch den Einsatz von UV-Entkeimungsmodulen bei der Verpackungsentkeimung (Lebensmittel selbst dürfen in Deutschland nicht bestrahlt werden!) eine Erhöhung der Haltbarkeit des Gutes erzielt. Ausgenutzt wird dabei die Hg-Resonanzlinie bei 254 nm der Hg-Niederdruckentladung. So wird beispielsweise die Haltbarkeit von Joghurt durch die Bestrahlung von Deckelfolie und Becher von 2 auf 6 Wochen heraufgesetzt (Abb. 3). Benutzt werden dazu die Heraeus UV-C Hochleistungsstrahler, die durch Ausnutzung der Amalgambildung eine höhere Strahlungsleistung (hö-

here Entkeimungsrate) bieten und vor allem weniger empfindlich in ihrer Leistung auf schwankende Umgebungstemperaturen sind und bis 60 Grad Celsius einsetzbar sind.



Abb. 3: Beispiel für Verpackungsentkeimung bei Joghurtbechern mit Hilfe eines UV-Entkeimungsmodus von Heraeus Noblelight

Durch den hohen Wirkungsgrad, die lange Lebensdauer und günstige Betriebskosten sind z.B. Heraeus Goldspot Amalgam-Strahler eine kostengünstige Alternative zu UV-Mitteldruckstrahlern, die natürlich auch ihren Platz auf dem Gebiet der Entkeimung haben.

Die keimtötende Wirkung der physikalischen Methode UV-Bestrahlung beruht im wesentlichen auf der Zerstörung der Informationsablesbarkeit vom DNS-Molekül. Damit erreicht man eine Abtötungsrate bis zu 99.99 %.

Ein weiteres wichtiges Gebiet mit zunehmender Bedeutung ist der Einsatz von UV-Strahlern zur Wasserentkeimung (Hg-Niederdruck und Hg-Mitteldruckstrahlern) und auf dem Gebiet der präparativen Photochemie. Dazu werden in den meisten Fällen maßgeschneiderte Tauchlampensysteme eingesetzt, die in ihrer Emission auf das Wirkungsspektrum der jeweiligen Substanz optimiert sind.

Bei der Abwasserreinigung ist man zum Einsatz von UV-Modulen in Kläranlagen übergegangen, wiederum unter Einsatz von Hg-Niederdruck-Amalgam-Strahlern (bis 350 Watt) in Form von Hängemodulen mit einem Schutzrohr aus Quarzglas bis 1,5 m Länge, die in das offene Gerinne einer Kläranlage installiert werden, oder unter Anwendung von UV-Einheiten, die mit Hg-Mitteldruckstrahlern bestückt sind (Leistung 3 kW), aber auf Grund der Strahlerlänge von 30 cm einen geringeren Platzbedarf ergeben und so den Vorteil kompakterer Anlagen bieten.

Die Anwendung der Wellenlänge 222 nm des KrCl-Excimerstrahlers beschränkt sich auf die Entkeimung von Luft oder die von Reinstwasser. Bei Abwasser ist unterhalb 240 nm keine UV-Eindringung gegeben.

Ein weiteres hochaktuelles Anwendungsfeld ist die Oberflächenreinigung und -modifizierung mit Hilfe von 172 nm -Xenon -Excimerstrahlern in der Halbleiterindustrie. Im Ergebnis einer dielektrisch behinderten Entladung wird eine inkohärente energiereiche Strahlung von 7,2 eV mit einer Halbwertsbreite unter 15 nm emittiert. Auf Grund seiner Bauart liefert der Heraeus 172 nm Excimerstrahler sehr hohe Photonenflüsse und kann dort vorteilhaft eingesetzt werden, wo solche hohen Photonenflüsse gefordert sind (Abb. 4). Dies ist z.B. in der Halbleiterindustrie der Fall, wo zur Waferoberflächenreinigung und zum Aufbrechen von Kohlenwasserstoff und anderen organischen Bindungen hohe Energien erforderlich sind. Da das Entfernen der Kontaminationen auf der Waferoberfläche nach jedem Prozessschritt erforderlich ist und der Trend zu größeren Wafern geht, haben die leistungsstarken Heraeus-Excimerstrahler mit der Möglichkeit einer großflächigen Bestrahlung hier ein wichtiges Einsatzgebiet. Ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld ist die Modifizierung von Oberflächen mittels der 172 nm UV-Strahlung.

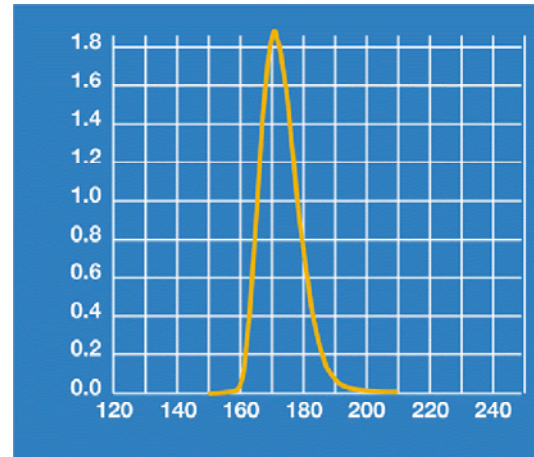


Abb. 4: Excimerbestrahlungseinheit Typ 172/300 für hohe Photonenflüsse und Verlauf der schmalbandigen Emissionslinie bei 172 nm

Industrielle Prozesstechnik: Anwendung von UV und IR

Auf Grund von Trends in der Technologieentwicklung eine Reihe von Branchen (Druckindustrie, Pulverbeschichtung) ist zukünftig der kombinierte Einsatz von IR und UV (UV-Powdercoating) oder neuerdings in stärkerem Maße neben IR der von UV-Strahlern gegeben. Deshalb konzentriert sich diese Produktlinie neben der Bearbeitung des Gebietes Infrarot-Wärmetechnik auch auf aktuelle Marktentwicklungen, die den Einsatz von IR und UV erfordern. Dies ist in der Druckindustrie der Fall, wo zunehmend UV-Systeme zum Trocknen und Härten eingesetzt werden (Druckfarbenhärtungsstrahler, Excimerstrahler 308 nm)

Die UV-Trocknung hat gegenüber thermischen Trocknungsverfahren wichtige Vorteile. Durch UV-Strahlung ausgelöste Vernetzungsreaktionen sind schnell wie Druckprozesse, sie benötigen keine Wärme und es entstehen keine Abluftprobleme, da die verwendeten Farben und Lacke nahezu lösemittelfrei sind.

Die Heraeus Bluelight-Bestrahlungskassetten sind mit Excimerstrahlern der Wellenlängen 308 bzw. 222 nm ausgerüstet. Diese Spektralbereiche eignen sich besonders für die Druckfarbenhärtung. Die UV-Strahlung bei 308 nm hat eine hohe Eindringtiefe bei hoher Reaktionsenergie, UV-Strahlung bei 222 nm ist besonders für schnelle Oberflächenhärtung geeignet. Diese engen Spektralbereiche sorgen für definierte und reproduzierbare Vernetzungsreaktionen. Ein großer Vorteil ist, dass diese Strahler kalt arbeiten und keine Wärme produzieren, die abgeführt werden muss.

Diese neue UV-Technologie ermöglicht ein schnelles und präzises Drucken und gewährleistet auf diese Weise eine Produktivitätssteigerung der Druckmaschinen (Abb. 5).

Die UV-Härtung als moderne Trocknungstechnik ist auch in der Holz- und Möbelindustrie ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Sie ist schnell durch kurze Belichtungszeit, sie ist umweltfreundlich durch lösemittelfreie Farben und Lacke und sie ist attraktiv durch die Möglichkeit von Oberflächeneffekten auf Holz und Möbeln.

BlueLight UV Härtings-System bestehend aus:

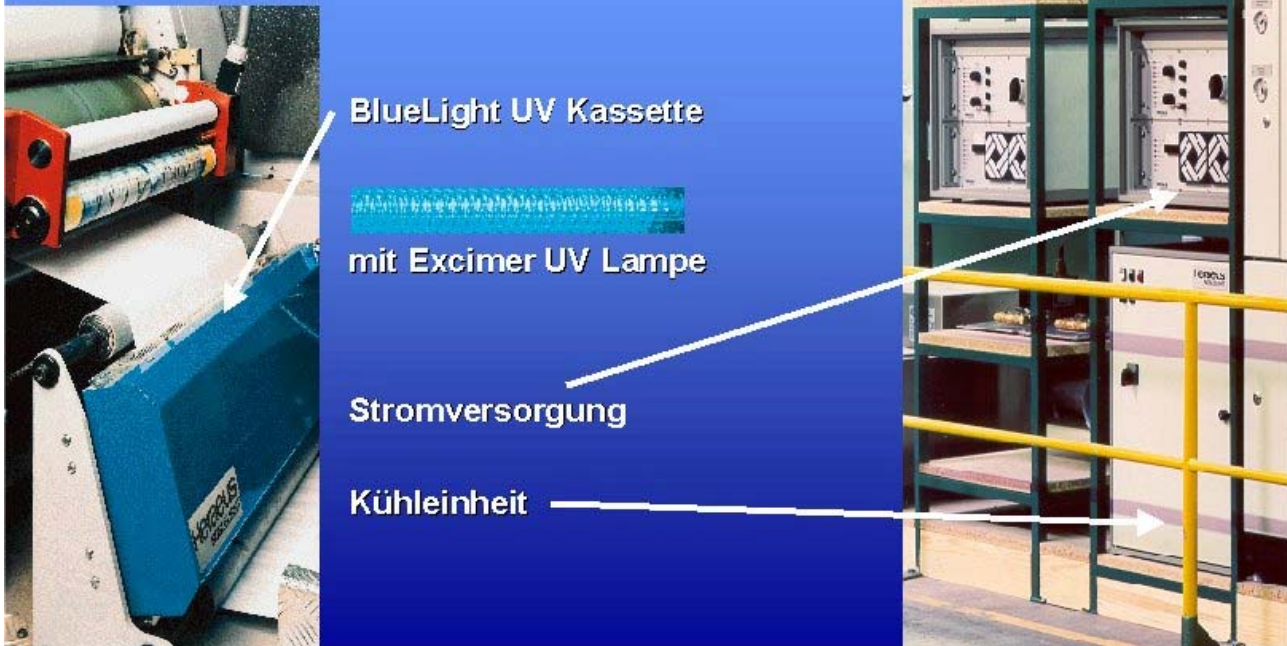


Abb. 5: Beispiel für die Anwendung eines BlueLight UV Härtings-System in der Druckindustrie

Für diese Anwendungen bietet Heraeus Noblelight UV-Kassetten und Hg-Mitteldruckstrahler verschiedener Leistungsklassen (120 bis 250 W/cm) an durch Wahl geeigneter Dotierungen zur Modifizierung des emittierten Spektrums und durch die Tatsache, dass die UV-Technologie das Substrat thermisch nicht belastet, wird das Thema Trocknung und Härtung mit UV für viele Bereiche (Papier-, Druckindustrie, Telekommunikation, Medizinbereich, Möbelindustrie, UV-Powdercoating u.a.) zunehmend interessanter. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass dotierte Hg-Mitteldruckstrahler (Fe- und Gajodide) ein wichtiges Anwendungsfeld in der Reprographie gefunden haben bei Leiterplattenherstellern zum Belichten von Photoresist.

Eine wichtige Aufgabe der Produktlinie Industrielle Prozesstechnik ist die Erarbeitung kundenspezifischer und maßgeschneiderter Lösungen unter Einsatz von IR- und UV-Strahlern für solche Prozessschritte, die neben der klassischen IR-Erwärmung für Trocknen, Kleben, Formen sich aus neuen und weiter entwickelten Technologien ergeben (Beispiele wie IR-Anwendung beim Schneiden von Sicherheitsglas, Verformen in der Kunststoffindustrie, u.a.). Dabei bietet das Spektrum der IR-Strahler von Heraeus vom NIR- bis zum MW-Bereich alle Voraussetzungen für energiewirtschaftliche Lösungen je nach der Art des zu erwärmenden oder zu trocknenden Materials (Abb. 6 u. 7).

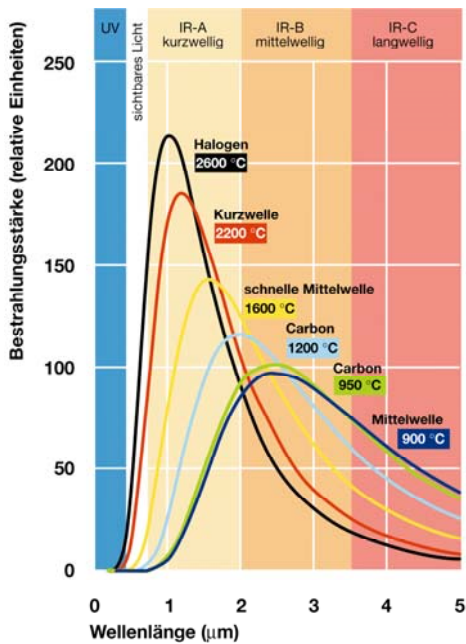


Abb. 6



Abb. 7

- Abb. 6: Spektrale Strahlungsverteilung von IR-Strahlern bei gleicher elektrischer Leistung: Mit steigender Farbtemperatur des Heizleiters Verschiebung des Emissionsmaximums zu kürzerer Wellenlänge.
- Abb. 7: Übersicht über die Palette von IR-Strahlern von Heraeus Noblelight mit Angaben zur maximalen Flächenleistung, Heizwendeltemperatur und Reaktionszeit

Bei der ständigen Suche nach innovativen Lösungen wurde bei Heraeus ein klassisches Prinzip im neuen Gewand und mit bisher nicht gekannter Leistungsdichte präsentiert: der Infrarot-Hochleistungs-Carbonstrahler (Abb. 8), mit einem Carbonband als Heizleiter. Unter Ausnutzung der schon von Edison erkannten vorzüglichen Eigenschaften der Carbonfaser wurde als spektakuläre Neuerung ein mittelwelliger Infrarotstrahler entwickelt, der eine maximale Flächenleistung von 190 kW/m² erreicht und eine willkommene Ergänzung zu der bereits vorhandenen Palette von verschiedenen Strahlertypen bildet.



Abb. 8: Ansicht des neuen Hochleistungs-Zwillingsrohr-Carbonstrahlers von Heraeus Noblelight

Der entscheidende Vorteil mit Carbon als Heizleiter ist die Kombination von emittiertem Strahlungsspektrum im mittelwelligen Bereich (und damit bestens angepasst an die Ab-

sorptionsbande des zu trocknenden Gutes) mit der Möglichkeit einer schnellen Reaktionszeit des Strahlers (1-2 sec). Dadurch bietet dieser Strahler viele Vorteile beim Einsatz des Trocknens von Papier oder Kunststoffen wie Trockenzeitverkürzung, Energieeinsparung, geringere thermische Belastung des Substrates u.a.

Weitere Beispiele (Abb. 9 - 13) sollen verdeutlichen, wie der Einsatz der industriellen Trockentechnik mittels IR (und neuerdings auch UV) alle Branchen umfasst, in denen es auf eine schnelle Oberflächentrocknung/-härtung ankommt, wie etwa Lackierprozesse, metallverarbeitende Industrie, Holz- und Möbelindustrie, Kunststoffindustrie, Glasindustrie, Kfz-Industrie u.a.

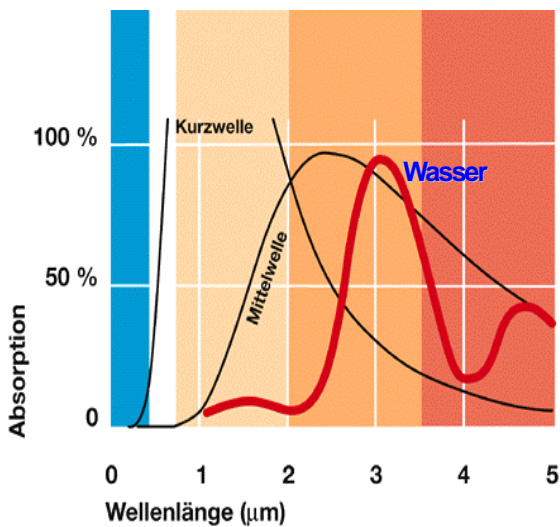


Abb. 9



Abb. 10

Abb. 9: Verlauf des Absorptionsspektrums von Wasser und zum Vergleich die Emissionskurven von kurzwelligen und mittelwelligen IR-Strahlern

Abb. 10: Trocknung von wasserlöslicher Stärke auf Seidenpapier als Beispiel für die industrielle Anwendung von Carbonstrahlern

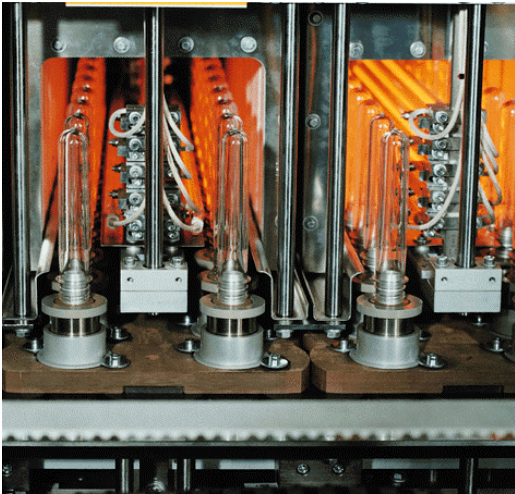


Abb. 11

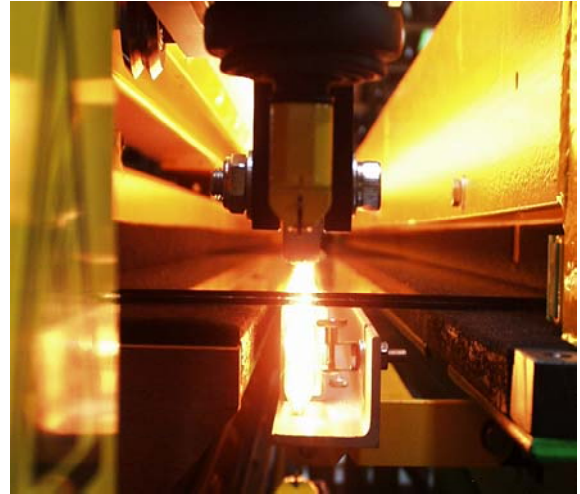


Abb. 12

Abb. 11: Einsatz kurzwelliger Hallogen-IR-Strahler in der Kunststoffverarbeitung: Erwärmung von PET Preforms vor dem Streckblasformen von PET-Flaschen

Abb. 12: Einsatz schneller mittelwelliger Zwillingsrohrstrahler für die Erwärmung bei der industriellen Glasbearbeitung: Schneiden großer Verbundglasscheiben

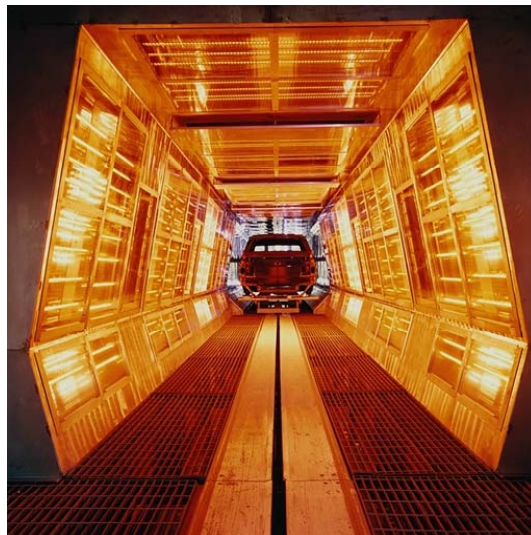


Abb.:13: IR-Tunnel mit mittelwelligen Zwillingsrohrstrahlern zum Trocknen von wasserlöslicher Farbe auf PKW-Karosserien

Suncare – Lampen für Kosmetik und Medizin

Eine weitere wichtige Anwendung von UV-Strahlern in Richtung Medizin und Photobiologie sei hier nur erwähnt. Dies sind UV-Strahler und -röhren für Anwendungen in Solarien und Sonnenbänken sowie für die Phototherapie. Auf diesem wie eingangs erwähnt traditionsreichen Gebiet hat Heraeus Noblelight naturgemäß auch eine starke Marktposition und eine reichhaltige Palette hochwertiger Produkte.

Laseranregungslampen

Abschließend seien noch die Laseranregungslampen aufgeführt, die von der Heraeus Noblelight-Tochter in Cambridge entwickelt und gefertigt werden. Das Sortiment dieser Lampen findet seinen Einsatz bei medizinischen und industriellen Lasern (Abb. 14).



Abb. 14: Kontinuierliche Hochleistungslaserlampen zum Pumpen von Schweiß.- und Schneidlasern

Schlussbemerkung

Diese kurze Übersicht sollte eine Vorstellung vermitteln, über welche Vielzahl an Produktvarianten der Speziallampenmarkt (UV und IR) verfügt und welches breitgefächertes Branchenspektrum und Marktpotential dahintersteht. Durch Marktnähe und eine hohe Innovationsrate sollten auch für die Zukunft für Spezialstrahlungsquellen im UV und IR günstige Wachstumschancen bestehen.

Ergänzende Literatur

1. Broschüre Heraeus: 1851-2001
150 Jahre Heraeus- Aus Tradition innovativ.Heraeus Holding 2001
2. H.Tober:Glastech.Ber.65,50(1992)
3. E. Arnold:Int. Conf.LightSources LS8 (1998)Greifswald
4. H.-D.Witzke:Int.Conf.LightSourcesLS9(2001) Ithaca N.Y.
5. K.Brieden:6.Symposium DafP 14./15. Mai 2001 Stuttgart
6. Heraeus Teamwork, Ausg.91,Hanau, Juni 20017
7. W. Dieudonne u. T.Schulze, OP Druckmagazin 6/1999

Anschrift des Autors:

Dr. rer. nat. habil. H.-D. Witzke
Heraeus Noblelight GmbH
Bereich Entwicklung
Heraeusstraße 12 – 14
D-63450 Hanau
e-mail: hans-dieter.witzke@heraeus.com

Zur Entwicklung des Wirkungsgradverfahren für die Innenraumbeleuchtung

Dipl.-Ing. Axel Stockmar
LCI Light Consult International
Lindenallee 21 A
D-29227 Celle

Einleitung

Die Frage nach der benötigten Anzahl Leuchten zur Erzielung eines gegebenen Beleuchtungsniveaus auf einer Fläche bekannter Abmessungen ist so alt wie die angewandte Beleuchtungstechnik. Mit der Verbreitung elektrischer Beleuchtung im Sinne der Allgemeinbeleuchtung von Arbeitsstätten in Büros, Industrie und Gewerbe wuchs der Wunsch nach einem geeigneten Planungsverfahren. Bereits im Jahr 1920 wurden Vorschläge zur Ermittlung von Beleuchtungswirkungsgraden veröffentlicht /1/; und schon Mitte der 30iger Jahre war die Verwendung einfacher Beleuchtungswirkungsgrad-Tabellen zur Planung von Innenraumbeleuchtungsanlagen weit verbreitet /2/. Heute kommen in Europa verschiedene Verfahren zum Einsatz, deren Ergebnisse zum Teil erhebliche Abweichungen aufweisen. Im Rahmen der Harmonisierung lichttechnischer Normen für das Gebiet der Europäischen Gemeinschaft werden derzeit Vorschläge für ein europäisches Wirkungsgradverfahren diskutiert /3/.

Allgemeine Annahmen und Einflußgrößen

In allen betrachteten Wirkungsgradverfahren werden die Innenräume als leere Quader betrachtet. Die Nutzebene wird als die den Raum nach unten abschließende Ebene angenommen - mit einem Reflexionsgrad, der dem effektiven Reflexionsgrad der unteren Raumhöhle entspricht. Alle Raumbegrenzungsflächen (Decke, Wände und Nutzebene) werden als vollkommen diffus und gleichmäßig reflektierend angenommen. Die Leuchten, angeordnet in regelmäßigen Rastern, werden in einer der Nutzebene parallelen Leuchtenebene angenommen. Der Indirektanteil der Beleuchtungswirkungsgrade wird nach der allgemeinen Theorie des Lichtstromaustausches in einem Parallelepipiped ermittelt. Die hierbei in Anrechnung zu bringenden Interflexionswirkungsgrade weisen praktisch keine Unterschiede auf in bezug auf die Annahme eines Raumes mit quadratischem oder rechteckigem (Seitenverhältnis 1.6:1) Grundriß.

Unterschiede zwischen den verschiedenen Wirkungsgradverfahren sind also bedingt durch die Methoden, die zur Berechnung der Beleuchtungswirkungsgrade für direkte Beleuchtung verwendet werden. Die wesentlichen Einflußgrößen sind dabei die Leuchtenanordnungen, am besten beschrieben durch das Abstands-zu-Höhen-Verhältnis und durch den Wandabstand der jeweils ersten respektive letzten Leuchten, sowie die Art und Weise, mit der der Direkt-Lichtstrom auf die Nutzebene berechnet wird - zonale Multiplikatoren, Streifenverfahren, Punkt-für-Punkt-Berechnungen etc.

Die frühen Wirkungsgradverfahren

Eine gute vergleichende Zusammenfassung der frühen Wirkungsgradverfahren kann der Literatur /4/ entnommen werden. Die den verschiedenen Verfahren zugrundeliegenden Methoden zur Berechnung der Direkt-Lichtströme weisen schon große Ähnlichkeiten mit den später üblichen Methoden auf. Problematisch und nach heutigen Vorstellungen, auch bedingt durch die Lichtstärke-Verteilungen moderner Leuchten, unvereinbar mit gängigen Genauigkeitsforderungen waren die Ansätze zur Beschreibung von Lichtstärke-Verteilungen durch analytische Funktionen.

Das CIBSE Wirkungsgradverfahren

In Großbritannien werden Beleuchtungswirkungsgrade berechnet nach der Methode, die im CIBSE Technical Memoranda No 5 /5/ beschrieben ist. In der Standardtabelle werden die Beleuchtungswirkungsgrade für maximal 9 Raumindizes (zwischen 0.75 und 5.00) und 10 Reflexionsgrad-Kombinationen angegeben. Die Leuchten werden als in quadratischen Rastern angeordnet angenommen mit unterschiedlichen nominalen Abstands-zu-Höhen-Verhältnissen bei einem Abstand der wandnächsten Leuchten, der dem halben Leuchtenabstand entspricht. Sie werden als punkthafte rotationssymmetrische Lichtquellen betrachtet; zur Ermittlung des nominalen Abstands-zu-Höhen-Verhältnisses werden linienartige Lichtquellen jedoch gesondert behandelt. Die Beleuchtungswirkungsgrade für direkte Beleuchtung werden mit Hilfe tabellarisch gegebener zonaler Multiplikatoren berechnet. Für die Standard-Raumindizes sind diese zonalen Multiplikatoren durch Aitken-Lagrange-Interpolation ermittelt worden aus den mittleren zonalen Multiplikatoren, wie sie für eine Reihe von quadratischen Rastern von 1, 4, 9, 16 etc. Leuchten für alle nominalen Abstands-zu-Höhen-Verhältnisse (zwischen 0.50 und 2.50 in Schritten von 0.25) berechnet worden waren.

Das LiTG-Wirkungsgradverfahren

Eine genaue Beschreibung des deutschen Wirkungsgradverfahrens befindet sich in der LiTG-Publikation 3.5 /6/. Im Standardformat werden die Beleuchtungswirkungsgrade tabelliert für 10 Raumindizes (zwischen 0.6 und 5.0) und 15 Reflexionsgrad-Kombinationen. Die Standardräume weisen rechtwinklige Grundrisse auf, wobei das Längen-zu-Breiten-Verhältnis 1.6 zu 1 beträgt. Die Leuchten werden als in speziellen rechteckigen Rastern (den LiTG-Anordnungen) angeordnet angenommen. Sie werden entweder als punkthafte rotationssymmetrische Lichtquellen betrachtet oder als linienartige Lichtquellen mit relativen Lichtstärke-Verteilungen in den Längsebenen, die durch die Summe zweier cosinus-Funktionen beschrieben werden können. Die Leuchten werden als an der Decke montiert oder an Pendeln aufgehängt angenommen. Dabei wird der Abstand zwischen Decke und Leuchtenebene als halb so groß wie der Abstand zwischen Leuchtenebene und Nutzebene gesetzt. Die Beleuchtungswirkungsgrade für direkte Beleuchtung werden mit Hilfe zonaler Multiplikatoren für punkthafte und mit Hilfe von Streifenfaktoren für linienartige Lichtquellen berechnet.

Das UTE Wirkungsgradverfahren

Die französische Methode zur einfachen Vorherbestimmung von Beleuchtungsstärken ist beschrieben in der französischen Norm C71-121 /7/. Dieses Verfahren gestattet die Berechnung mittlerer Beleuchtungsstärken für Leuchten, die in regelmäßigen Rastern mit gegebenen Leuchten- und Wandabständen angeordnet sind. Die 10 Standardräume (Raumindizes zwischen 0.6 und 5.0) haben einen rechteckigen Grundriß mit einem Län-

gen-zu-Breiten-Verhältnis von 1.6 zu 1. Die Leuchten werden als punkartige rotations-symmetrische Lichtquellen betrachtet. Sie können als an der Decke montiert oder aber an Pendeln aufgehängt behandelt werden. Dabei ist die Pendellänge halb so groß wie der Abstand zwischen Leuchten- und Nutzebene. Die Koeffizienten zur Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärken werden für 13 Reflexionsgrad-Kombinationen angegeben. Die Raumwirkungsgrade und somit die Beleuchtungswirkungsgrade können aus diesen Koeffizienten durch einfache mathematische Operationen abgeleitet werden. Der gesamten Methode unterliegt ein Leuchtenklassifikations-System, welches auf der Verteilung des akkumulierten Leuchtenlichtstroms aufgebaut ist. Die Leuchten werden klassifiziert in Abhängigkeit von ihren akkumulierten Lichtströmen im unteren Halbraum für Raumwinkel von $\pi/2$, π , $3\pi/2$ und 2π sr.

Das 'Nordische' Wirkungsgradverfahren

Das 'Nordische' Wirkungsgradverfahren ist als Teil der NB-Leuchtendokumentation beschrieben im Report NBD0C /8/. In dieser Standard-Leuchtendokumentation werden die Beleuchtungswirkungsgrade für 10 Raumindizes zwischen 0.6 und 5.0 und 9 Reflexionsgrad-Kombinationen tabelliert. Die Leuchten werden als in quadratischen Rastern mit einem Abstands-zu-Höhen-Verhältnis von 0.50 angeordnet angenommen. Sie werden als punkartige Lichtquellen betrachtet. Die Beleuchtungswirkungsgrade für direkte Beleuchtung werden durch Berechnung von Beleuchtungsstärken nach dem Punkt-für-Punkt-Verfahren ermittelt.

Das CIE Wirkungsgradverfahren

Das CIE Verfahren zur Berechnung von Innenraum-Beleuchtungsanlagen ist veröffentlicht worden in den CIE Publikationen No 40 /9/ und No 52 /10/. In diesem Verfahren werden die Leuchten als punkartige rotationssymmetrische Lichtquellen betrachtet. Es wird angenommen, daß der von einer Leuchte in einen Kegel (Kegelachse entspricht der Leuchtenachse) ausgestrahlte Lichtstrom als Funktion des Raumwinkels durch ein Polynom 4. Grades ohne konstanten Term beschrieben werden kann. Die Koeffizienten des Polynoms werden so bestimmt, daß die akkumulierten zonalen Lichtströme für die vier Zonen mit Raumwinkeln von $\pi/2$, π , $3\pi/2$ und 2π sr exakt wiedergegeben werden. Unter diesen Voraussetzungen ist der von einem Rechteck - mit Eckpunkt senkrecht unter einer Lichtquelle - empfangene Lichtstrom durch eine lineare Funktion der vier zonalen Lichtströme gegeben. Die Wichtungsfaktoren, die als geometrische Multiplikatoren bezeichnet werden, sind selbst Funktionen der Längen-zu-Höhen- und Breiten-zu-Höhen-Verhältnisse der Rechteckseiten. Es werden in diesem Verfahren 12 Standardräume (Raumindizes zwischen 0.6 und 20) mit rechteckigem Grundriß (Längen-zu-Breiten-Verhältnis 1.6 zu 1) angegeben. Das Abstands-zu-Höhen-Verhältnis der rechteckigen Leuchtenraster steigt mit dem Raumindex von etwa 0.8 auf 1.35 an. Für die Standard-Leuchtenklassen werden die Raumwirkungsgrade für 22 Reflexionsgrad-Kombinationen angegeben.

Das Europäische Wirkungsgradverfahren - ein Vorschlag

Ein europäisches Wirkungsgradverfahren sollte so weit als möglich die gängige Praxis widerspiegeln. Umfangreiche Vergleichsrechnungen /11/ haben gezeigt, daß die nach dem CIE-Verfahren berechneten Beleuchtungswirkungsgrade etwa in der Mitte der Bandbreite der mit den anderen Verfahren ermittelten Beleuchtungswirkungsgrade liegen. Einem europäischen Verfahren sollte daher die CIE-Methode zur Berechnung der Beleuchtungswirkungsgrade für direkte Beleuchtung zugrunde gelegt werden. Um ausgeprägten Lichtstärke-Verteilungen Rechnung tragen zu können, sollten Leuchtenanordnungen mit

unterschiedlichen Abstands-zu-Höhen-Verhältnissen möglich sein (vorzugsweise zwischen 1.00 und 2.00 in Stufen von 0.25). Für diese nominalen Abstands-zu-Höhen-Verhältnisse müssen Leuchtenanordnungen in realen rechteckigen Räumen definiert werden. Neben den Beleuchtungswirkungsgraden für Deckenmontage sollten auch solche für Pendelmontage ermittelbar sein. Die Standard-Reflexionsgrad-Kombinationen sollten auch höhere Werte der Reflexionsgrade aufweisen - für Beleuchtungssysteme mit größeren Indirektanteilen.

Literatur:

- /1/ Anderson,E.A. Coefficients of utilization. Trans. Ill. Eng. Soc., New York, Harrison,W. 15 (1920), No 2, p. 97-123
- /2/ Köhler,W. Lichttechnik, Leipzig, 1937
- /3/ Stockmar,A. Proposal for a European utilization factor method. Tagungsband ILLUMINAT 2001, paper no. 4, p.1-4
- /4/ Stolzenberg,K. Messung und Berechnung der Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht. Dissertation TU Berlin, 1963
- /5/ The calculation and use of utilisation factors. CIBSE Technical Memoranda No 5, 1980
- /6/ Projektierung von Beleuchtungsanlagen nach dem Wirkungsgradverfahren. LiTG-Publikation 3.5, 1988
- /7/ Méthode simplifiée de prédéter mination des éclairément
dans les espaces clos et classification correspondante des luminaires. NF C71-121, UTE, 1993
- /8/ A computer program for NB-documentation of luminaires. NBDOC LTLI Notat 248, 1987
- /9/ Calculations for interior Lighting, Basic method. CIE Publication No 40, 1978
- /10/ Calculations for interior lighting, Applied method. CIE Publication No 52, 1982
- /11/ Stockmar,A. Comparison of Utilization Factor Methods. CEN TC169/W2 document N184, 2001

Active Light – die sinnvolle Veränderung des Lichts

Dipl. Ing. Peter Dehoff¹

Zumtobel Staff GmbH, Schweizerstr. 30, A - 6851 Dornbirn
dehoff@zumtobelstaff.co.at, <http://www.zumtobelstaff.co.at>

1 Einleitung

Künstliche Beleuchtung kann heute mit neuen Qualitäten versehen werden. Sie muß nicht mehr alleine als statische Lösung geplant werden, sondern kann dynamische Elemente enthalten. Die Art und Weise, wie sich Licht im Raum verändert, sollte einer gewissen Sinnhaftigkeit folgen. Dabei sind die ursprünglichen Seherfahrungen des Menschen durch das Tageslicht geprägt. Tageslicht verändert sich permanent. Diese Veränderungen sind dem Menschen intuitiv vertraut und bekannt. Im Gegensatz dazu sind Veränderungen der künstlichen Beleuchtung eine Errungenschaft der modernen Technologie. Denn erst durch die Elektronik und die Verbreitung von Lichtmanagementsystemen ist es leichter geworden, auch die künstliche Beleuchtung fast nach Belieben zu verändern. Bei der Planung kann ein Story Board oder Drehbuch helfen. Darin ist festgehalten, was sich in einem Raum tut, und wie die Beleuchtung damit zusammenspielt. Künstliche Beleuchtung wird zum dynamischen Element eines Raumes. Active Light beschreibt dabei die sinnvolle Veränderung des Lichts.

2 Aufs Tageslicht schauen

Die Veränderung von Tageslicht wird von jedem Lebewesen intuitiv akzeptiert. Noch nie hat sich jemand über die Sinnhaftigkeit der Art oder Veränderung von Tageslicht beschwert. Die in der Evolution gewachsenen Erfahrungen sind durch das natürliche Licht bestimmt. Daher betrachtet jeder den Wechsel von Tag und Nacht, die Veränderungen durch das Wetter und überraschende Effekte wie z.B. einen Regenbogen oder Blitz und Donner als etwas ganz „natürliches“. Diese Ereignisse werden sogar erwartet.

¹ Vorstandsmitglied der LTG, Vorsitzender des Fachnormenausschusses FNA 047 "Licht und Optik", Präsident des ÖNK der CIE, Österr. Vertreter in CEN TC 169, Vorsitzender des FGL – Ausschusses im ZVEI, Leiter der LiTG AG „Qualität von Beleuchtungsanlagen“

- Der Tagesverlauf läßt sich insofern vorhersagen, als daß die Zeit des Sonnenaufgangs und des Sonnenuntergangs für jeden Tag des Jahres feststeht; er kann verlässlich für jeden Ort der Welt berechnet werden.
- Die Tagessituation ist hingegen unterschiedlich, je nach Wetterlage. Hier können langsame Veränderungen oder auch überraschende Effekte auftreten.
- Die Tagesüberraschung ist immer durch unvorhersagbare Ereignisse wie z.B. Blitze oder das unvermutete Auftreten eines Regenbogens gekennzeichnet

Diese Eigenschaften des natürlichen Lichtes sind immer mit einem Erlebnis verbunden, dem der Mensch emotionale Qualität beimisst.



Bilder 1 bis 3: Der Tagesverlauf ist mit absoluter Genauigkeit vorherzusagen. Die Helligkeit nimmt am Vormittag zu und am Nachmittag ab.



Bild 4: Tagesüberraschung ist unvorhersehbar, wie ein Blitz aus heiterem Himmel

2.1 Aktivierung durch Tageslicht

Das natürliche Licht erlebt der Mensch als einen Prozeß, nicht als statische Situation. Ein Sonnenaufgang ist verbunden mit der Erwartung, daß es in den nächsten Minuten heller wird, daß das Leben erwacht. Die Menschen werden aktiv und beginnen das Tageswerk. Ein Sonnenuntergang bedeutet den Abschluß des Tageswerkes und führt in den Abend, in die Entspannung hin zur Nacht, hin zur Ruhe.

Fotografien der tiefstehenden Sonnen können das nicht vermitteln. Ist es morgen oder ist es abend? Es ist zwar für den Moment romantisch, aber das Bild hat keine Zukunft und keine Vergangenheit.

Ähnliches passiert in der Natur, wenn dicke Wolken und Nebel ein Einerlei aus richtungslosem und gleichförmigem Licht erzeugen. Langeweile und mangelnde Motivation sind die Folge. Wie motivierend ist dagegen ein Waldspaziergang, bei dem durch unterschiedlichen Lichteinfall und wechselnde Farben durch den Prozeß der Veränderung sehr starkes positives Empfinden ausgelöst wird.



Bild 5: Ein Waldspaziergang mit seinem wechselnden Licht und den wechselnden Farben ist ein unvergleichbares Erlebnis

2.2 Die Wirkung des Lichts auf den biologischen Rhythmus des Menschen

Die Natur gibt auch durch den Wechsel von Tag und Nacht seit Jahrtausenden einen Rhythmus vor. Der menschliche Organismus hat sich auf diesen 24-Stunden-Takt eingestellt, mit den Aktivphasen am Tage und den Ruhephasen in der Nacht. Die Chronobiologen sprechen vom circadianen Rhythmus. Chronobiologie ist die Wissenschaft, die sich mit zeitlich gesteuerten Funktionen im Organismus befasst. In zahlreichen Experimenten wurde nachgewiesen, daß Licht der Zeitgeber der inneren Uhr des Menschen ist. Das Licht hat einen gravierenden Einfluß auf das vegetative System [1] [2] [3].

Fällt Licht durch das Auge auf die Empfänger in der Netzhaut, leiten die Sehnerven Signale zum Hirn. Dort, wo die Sehnervenbahnen sich kreuzen, liegt der suprachiasmatische Nucleus, eine Nervenverdickung, die mit der Zirbeldrüse in Verbindung steht. Die Zirbeldrüse produziert in der Nacht bei Dunkelheit das Hormon Melatonin, das für Schlafbedürfnis und Müdigkeit zuständig ist.

Wird der Zirbeldrüse also über den Sehnerv Helligkeit und Licht signalisiert, unterdrückt sie die Produktion von Melatonin, ist wenig oder gar kein Licht vorhanden, läuft die Produktion des Hormons auf vollen Touren. Erfrischender, gesunder Schlaf ist der Lohn.

Wir haben unsere Nächte hell gemacht durch die Erfindung des elektrischen Lichts, wir jetten durch Zeitzonen, arbeiten in Schichten und stören so unseren natürlichen Tag-/Nacht rhythmus. Es ist erwiesen, dass zwischen drei und fünf Uhr am Morgen die meisten Unglücke durch menschliches Versagen passieren. Dramatisch waren der Reaktorunfall von Tschernobyl, die Tankerkatastrophe der Exxon Valdez vor Alaska und das Giftgasunglück von Bhopal in Indien. Viele „kleinere“ Unglücke und auch Unfälle im Straßenverkehr passieren ebenfalls zu dieser Zeit. Ursache ist, dass der Mensch als „Tagtier“ zu dieser Zeit auf dem Minimum seiner biologischen Leistungsfähigkeit angelangt ist.

Es ist heute möglich, durch helles Licht z.B. während der Schichtarbeit in den Tagesrandzeiten oder in der Nacht den Wachheits- oder Munterkeitszustand der Menschen positiv zu beeinflussen [4] [5].

Aber auch am Tage kann durch gezielt eingesetzte veränderliche Beleuchtung die Munterkeit des Menschen positiv unterstützt werden.

2.3 Das Munterkeitsniveau

Das Munterkeitsniveau des Menschen schwankt über den Tag. Der Körper sucht sich seine Phasen der Aktivität und löst sie mit Phasen der Ruhe ab. Wir sind keineswegs morgens um acht Uhr fit, gleichbleibend bis 17 Uhr, um dann nach Hause zu gehen und uns auszuruhen. Gleichwohl, die Beleuchtung in Büros sieht häufig so aus: morgens ein, abends aus.

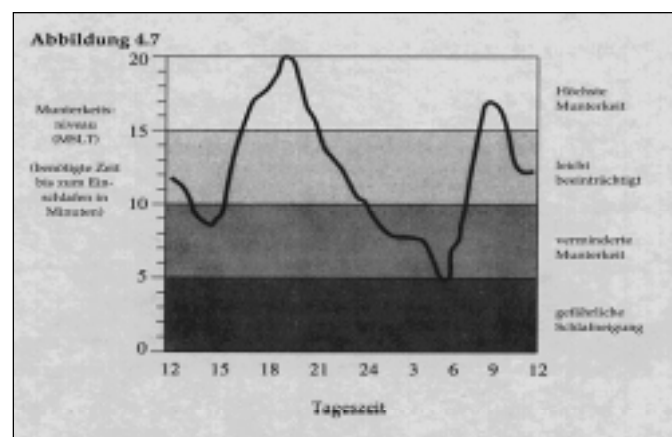


Bild 6: Das Munterkeitsniveau schwankt über die 24-Stunden des Tages [6]

So fordern denn auch die Chronobiologen, künstliche Lichtquellen als attraktive, nicht blendende, großflächige Leuchten auszuführen [2].

Mit den Mitteln des Lichtmanagements können die Lichtverhältnisse in einem Raum dynamisch verändert werden, um den Menschen Abwechslung und Aktivierung zu bringen. Eine Steigerung der Motivation gilt als sicher, da die Akzeptanz des Arbeitsumfeldes höher wird.

Voraussetzung für eine gelungene Aktivierung durch dynamisierende Beleuchtung ist eine gute, mit dem Nutzer abgestimmte Lichtplanung. Maßgabe ist die Sinnhaftigkeit der Veränderung, die zu einer sinnvollen Veränderung des Lichts führt.

3 Planung von Beleuchtungsanlagen mit sinnvoller Veränderung des Lichts

Die sinnvolle Veränderung hebt sich ab von einer rein spielerischen, effekthaschenden oder zufälligen Veränderung von Licht. Im Grunde muß jeder Planung eine Nutzungsanalyse der Räume über die Zeit vorangehen, um so auf Basis eines Story Boards die Lichtplanung durchführen zu können. Auf diese Art eingesetztes Licht aktiviert, stimuliert und inszeniert. Es spielen die Elektronik der Lichtsteuerung mit der Lichttechnik von Leuchten perfekt zusammen. Gute Planung inszeniert das Licht. Anwendungen sind z.B. die Beleuchtung von Shops, von Schaufenstern, von Foyers, von Freizeit- und Wellnessbereichen, aber auch die Beleuchtung von Arbeitsplätzen. Sinnvoll, um Mitarbeiter zu aktivieren und zu stimulieren.

Wesentlich bei der zeitlichen Veränderung ist eine Annäherung an Effekte des Tageslichts. Das ist nicht zu verwechseln mit einer Simulation des Tageslichts durch das Kunstlicht. Vielmehr geht es um eine bessere Beachtung der Tagesdynamik bei der Gestaltung des Kunstlichts. Aus der Sicht einzelner Autoren wirkt eine Beleuchtungsanlage, von der Effekte der biologischen Stimulierung ausgehen, als präventive Medizin zur Erhaltung der Gesundheit der Menschen am Büroarbeitsplatz [2] [3] [7] [8] [9].

3.1 Veränderung des Lichts in lichttechnischen Begriffen

Krueger hat eine wichtige physiologisch-kognitive Gestaltungsregel formuliert: Es ist wichtig: Beleuchtung nicht als statische, über einen Raum und seine begrenzenden Flächen als möglichst gleichmäßige Installation, sondern Beleuchtung als dynamisches Design eines visuellen Raumklimas aufzufassen [10].

Damit kann ein Schlüssel dafür gefunden werden, wie die Beleuchtung von Arbeitsplätzen im Büro besser auf die Bedürfnisse der Menschen eingehen kann:

Einhalten der lichttechnischen Gütemerkmale bei sinnvoller Veränderung des Lichts unter Einbeziehung des Tageslichts

Wie läßt sich die Veränderung des Lichts in Begriffe fassen, die uns aus der Lichttechnik vertraut sind?

- Veränderung des Helligkeitsniveaus = Beleuchtungsstärke
- Veränderung der Lichtfarbe
- Veränderung der Lichtverteilung = Helligkeitsverteilung, Schattigkeit, Lichtrichtung

Damit sind Begriffe gefunden, die bereits als klassische Gütemerkmale der Beleuchtung bekannt sind und in der DIN 5035 Teil 1 [11] erwähnt sind. Bisher werden diese Begriffe freilich als statische Größen aufgefaßt, die bei der Planung berücksichtigt und danach fix eingehalten werden.

3.2 Motivierendes und aktivierendes Licht im Büro

Die Arbeit im Büro stellt sich als der Verlauf von Tätigkeiten dar, die durch den Arbeitsinhalt bestimmt sind. Zwischen verschiedenen Aufgaben wie Lesen, Besprechen, Telefonieren oder Computerarbeit entsteht ein Wechsel, der den Arbeitstag charakterisiert. Unterbewußt verläuft die zeitliche Orientierung, die durch Umfeldinformationen unterstützt wird. Hier kann Beleuchtung motivieren und orientieren. Die Elemente des Verlaufs, der Lichtsituation und der Überraschung werden eingesetzt, so wie sie auch bei der Tageslichtsituation vorkommen können. Im ersten Beispiel besteht die Beleuchtungsanlage aus vier Lichtkomponenten:

1. Indirektanteil aus der Pendelleuchte mit Leuchtstofflampen, erzeugt eine helle Decke; gekoppelt mit einem Tageslichtsensor
2. Direktanteil aus der Pendelleuchte: direkt als Arbeitslicht durch den Nutzer ansteuerbar
3. Streiflicht an der Wand mit Halogenglühlampen in warmweißer Farbe: über eine Zeitautomatik angesteuert
4. Tageslicht, durch Jalousien kontrolliert

Es wurden Leuchten eingesetzt, deren Direktanteil und Indirektanteil voneinander getrennt ist. In diesem Beispiel wurden neutralweiße Lichtfarben eingesetzt. Unterschiedliche Lichtfarben für den Indirekt- und den Direktanteil (warmweiß und tageslichtweiß) wirken sich auf die Angeregtheit aus und werden derzeit untersucht [12] [13].

Im Zusammenspiel offenbaren die vier Lichtkomponenten ihre Möglichkeiten. Die Programme werden in einem „Story Board“ entwickelt, welches bereits bei der Planung der Beleuchtung geschrieben wurde. Dieses Story Board beschreibt, wie der **Verlauf** des indirekten Lichtes im Zusammenspiel mit dem Tageslicht erfolgt. Die persönliche

Lichtsituation kann sich jeder Benutzer individuell und seiner Tätigkeit entsprechend über den Direktanteil einstellen. Die **Überraschung** -nicht allerdings im aufschreckenden, sondern im unterbewußt stimulierenden Sinn- bieten die Streiflichter an der Wand, welche z.B. in den Abendstunden oder im Winter einen warmen gemütlichen Lichtschimmer erzeugen.

Durch dieses sich ändernde Lichtumfeld ist gesteigerte Akzeptanz und damit stärkere Motivation verbunden. Die befragten Nutzer, die in dieser Pilotanlage arbeiten, weisen jedenfalls darauf hin, daß sie sich durch die Beleuchtung positiv beeinflusst fühlen.



Bilder 7-9: Der Verlauf des Lichtes über den Indirektanteil, das individuelle Einstellen spezifischer Lichtsituationen wie z.B. der direkten Arbeitsplatzbeleuchtung und die überraschenden Effekte des Streiflichtes an der Wand motivieren die Mitarbeiter im Büro; der Ablauf der Lichtveränderung wird dabei in einem Drehbuch festgehalten

3.3 Stimulierende aufmerksamkeiterregende Veränderung in einem Foyer

Schließlich kann Licht auch ganz bewußt zur Aktivierung und Stimulierung in Bereichen eingesetzt werden, in denen Aufmerksamkeit erregt werden soll. Als Beispiel ist ein Foyer aufgeführt, in dem eine Lichtdecke die unterschiedlichen Elemente beherbergt. Die **Lichtmenge** kann in weiten Maßen angesteuert werden. Dabei kann die **Lichtfarbe** zwischen weiß und blau variiert werden. Besondere Effekte können durch Farbspiele erzielt werden. Die **Verteilung** des Lichtes ist zwar nur in geringerem Maße möglich, schafft aber in ihrer Dezentheit ebenfalls einladende Effekte.



Bilder 10-12: Stimulierende Beleuchtung in einem Foyer über die Veränderung von Lichtmenge, Lichtverteilung und Lichtfarbe

4 Zusammenfassende Schlussbemerkung

Active Light und Konzepte des dynamischen Lichtes markieren den Aufbruch in neue Dimensionen der Lichtplanung. Beleuchtung wird, wenn sie im Sinne des Benutzers sinnvoll veränderbar ist, neue Qualitäten erlangen und die Akzeptanz der Beleuchtung von Innenräumen erhöhen. Diese Aspekte finden Eingang in die Arbeiten der Arbeitsgruppe „Qualität von Beleuchtungsanlagen“ der LiTG unter der Leitung des Autors.

5 Literatur

- [1] Zully J., Knab B., „Unsere Innere Uhr“, 2000
- [2] Ehrenstein W. „Licht ist der stärkste Zeitgeber des Menschen“, Therapiewoche 43,21 (1993),S. 1198-1205
- [3] Brainard G. C., Bernecker C. A., „The effects of light on human physiology and behaviour“,1995 CIE Conference New Delhi
- [4] Ehrenstein W. „Circadian lighting systems“, International Lighting Review, 1995, 2, S. 64-67
- [5] Dehoff P., Mauch R.; „Sichere Arbeit durch helles Licht“, Tagungsband Licht 2000, S. 273-281
- [6] Moore-Ede, M., „Die 24-Stunden Gesellschaft, Heyne Verlag, 1993
- [7] Begemann, G.J. van den Beld, A.D. Tenner Daylight, „Artificial light and people in an office environment“, S.H.A., Advances in occupational Ergonomics and safty I (1996), S.192-198
- [8] Bürobeleuchtung: Erkenntnisstand aus Theorie und Praxis, LiTG Sondertagung „Licht im Büro“ am 24.9.97, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Tb 85 1998, S. 67 - 88
- [9] Krueger H. „Wahrnehmung und Befindlichkeit ins richtige Licht gesetzt“, Licht 94 in Interlaken, Tagungsband, S. 13-26
- [10] Krueger H. „Der Büroarbeitsplatz aus ergonomischer Sicht“, LiTG Sondertagung „Licht im Büro“ am 24.9.97, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Tb 85 1998, S. 46-64
- [11] DIN 5035 Teil 1 Beleuchtung mit künstlichem Licht: Begriffe und allgemeine Anforderungen, Normenausschuß für Lichttechnik, Juni 1990
- [12] Fleischer, S., Krueger, H., Schierz, C.: „Forschungsvorhaben Harmonisches Licht. Neue Ansätze zur Kombination von Tageslicht und Kunstlicht, Licht 98, Tagungsband
- [13] Fleischer S., , „Zeitliche und örtliche Veränderung der Helligkeitsverteilung in Büroräumen“, Tagungsband Licht 2000, S. 587 – 592

Die Beleuchtung des Reichstags und des Bundeskanzleramtes

Dr.-Ing. habil. Wolfgang Roddewig
Privatdozent an der TU Berlin

Erco Leuchten GmbH, Niederlassung Berlin
Elisabethstr. 29-31, 12247 Berlin
Email: w.roddewig@erco.com

Der Deutsche Bundestag hat am 20. Juni 1991 beschlossen, den Parlaments- und Regierungssitz von Bonn nach Berlin zu verlegen. Dies hatte zur Folge, daß zahlreiche Bauwettbewerbe ausgeschrieben wurden, um den neuen Institutionen ein entsprechendes architektonisches Umfeld bieten zu können.

Aus der Vielzahl der neuen Gebäude möchte ich mich auf zwei beschränken, die Symbolcharakter für den Umzug in die neue und alte Hauptstadt haben: der Reichstag und das Bundeskanzleramt. Beide Gebäude sind trotz der anfänglichen Kritik zu „Landmarks“ geworden, die viele Besucher anziehen aufgrund ihrer hervorragenden architektonischen Qualität.

Gebäude dieser Provenienz benötigen lichttechnische Konzepte, die maßgeschneidert auf die baulichen und inhaltlichen Anforderungen eines solchen Gebäudes eingehen. So wurde z.B. für den Einsatz im Reichstag eine komplette Downlightserie für Halogenlampen entwickelt sowie Spezialwandfluter für extrem hohe Wände. Im Bundeskanzleramt befinden sich wellenförmige Deckenkonstruktionen, die spezielle Anforderungen an den Einsatz von Downlights stellen.

In beiden Gebäuden spielt das Thema Kunst eine große Rolle. Zum Ankauf der Kunst setzte das Parlament extra eine Kunstkommission ein. Die Beleuchtung dieser Gemälde und Plastiken war eine weitere große lichttechnische Herausforderung.

Im Vortrag werden verschiedene Beleuchtungsaufgaben vorgestellt und die lichttechnischen Lösungen erläutert.

Weitere Informationen befinden sich im Erco Lichtbericht 62 (Reichstag) und im Erco Lichtbericht 66 (Bundeskanzleramt). Ein Download kann unter www.erco.com, Publikationen Printmedien durchgeführt werden.

LIGHTING AND CRIME PREVENTION

Ir. Wout van Bommel
Philips Lighting, Eindhoven
The Netherlands

INTRODUCTION

The relation between lighting and crime (prevention) can be three-fold:

- lighting may discourage a would-be criminal because of fear for detection
- lighting may lead to a feeling of personal security for residents and passers-by
- darkness may stimulate aggression [1].

Since the eighteenth century, systematic approaches to the lighting of streets have been reported [2]. The objective in those days was the reduction of the crime rate in the streets after dark. It is surprising to see that in the present century, up until the late seventies, road lighting is seen mostly in the context of motorised traffic. One of the first systematic studies into the needs of residents and pedestrians from residential street lighting, with the emphasis on personal security, was carried out by Caminada and van Bommel and published in 1980 [3].

Lighting requirements for protective security lighting for high security facilities, for industrial premises and for domestic exteriors were usually derived from those applicable to road lighting. Consequently one often sees average illuminance values of 5 lux and more. Van Bommel and van Dijk [4] therefore carried out an investigation to obtain information about the lighting levels needed on the façade, on the façade openings and on the immediate horizontal surrounds of private houses to create an effective psychological barrier against intrusion.

URBAN STREET LIGHTING TO ENSURE PERSONAL SECURITY

In urban streets streetlighting is not solely meant for motorised traffic. The "traffic" safety of pedestrians and cyclists is often very relevant. Unevennesses on their path must be easily seen from a short distance. For this, the sidewalk and the pavement must receive a sufficient amount of light. A measure for this is the horizontal illuminance. Horizontal illuminance levels of about 5 lux are for this "traffic" safety aspect required.

More and more it is realised that streetlighting in urban areas should also contribute to public security and to a feeling of security for people in the streets. Then the lighting should also enable timely recognition or identification of persons in the street. When identification is possible from a distance of some 4 meters one can usually still take a defensive or evasive manoeuvre if needed. The American anthropologist Hall has shown on the basis of studies of human behaviour that the pedestrian will then also feel more comfortable. Hall recognises four different "proximity zones" where human beings feel comfortable [5]:

- the intimate zone,
- the personal zone (family members),
- the social consultative zone (business contacts),
- and finally the public zone (people who do not know each other).

The public zone begins at a distance of some 4 meters. Urban lighting that enables identification of persons at a distance of 4 meters thus ensures a "natural" feeling and comfort for people in the street who do not know each other.

The horizontal illuminance, E_{hor} , necessary for the "road safety" of the pedestrian probably provides little information about the ability to recognize people on the street. Possibly, the vertical illuminance, E_{vert} , at face height is a more important factor in recognition. But as our faces are not "flat", light incident on a face from the side, helps identification. Thus, the so-called semi-cylindrical illuminance, E_{scyl} , or the hemispherical illuminance, E_{hsp} may be more important for recognition.

Recognition tests of persons in a number of different lighting conditions under residential street lighting conditions have been carried out to check our considerations. These lighting condition were always determined by measuring the variables: E_{hor} , E_{vert} , E_{scyl} and E_{hsp} . The tests were done by twenty people so that an average recognition distance, d_{face} was obtained in each situation. The average recognition distance was found to correlate best with the semi-cylindrical illuminance at face height. Some of the results are presented in Fig. 1. Of course the glare of the lighting system is also an important factor in recognition. Thus, Fig. 1 represents the situation for $TI < 2$ (practically no glare) and for $8 < TI < 15$ (normal glare to be expected). Fig. 1 shows that an E_{scyl} of around 0.5 - 1 lux is necessary for an identification distance of 4 m. Such value is thus required everywhere where pedestrians normally walk.

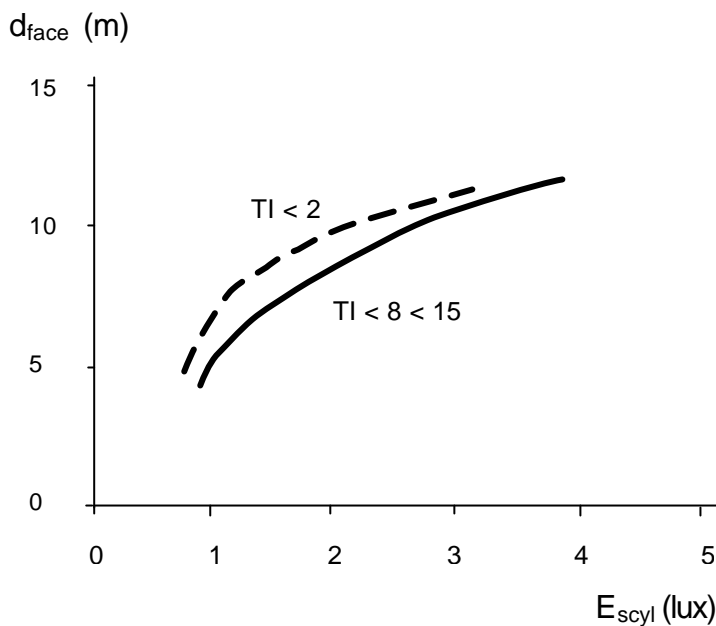


Fig.1 Average recognition distance d_{face} as a function of semi-cylindrical illuminance E_{scyl} .

This first study on this subject has been followed by many other studies carried out by researchers in Japan, France, United Kingdom, Belgium and the Netherlands [6]. The semicylindrical lighting concept is now cited for those areas where security of people is felt to be important in a number of national recommendations (Belgium, Germany, France, The Netherlands, South Africa and Switzerland) and in the CIE Guide for Urban Lighting.

PROTECTIVE SECURITY LIGHTING FOR DOMESTIC EXTERIORS

We are witnessing a boom in security lighting, especially where private homes are concerned. Until now, however, most of this security lighting has been based on intuition only, and this holds true also for the minimum lighting parameter values obtained.

Three different types of security lighting suitable for use in private homes can be distinguished.

- type I: Interior lighting of the home.
- type II: Direct lighting from the house to dazzle intruders.
- type III: Continuous, exterior lighting of house and its immediate surrounds.

Type I security lighting is meant to give an impression of there being someone at home.

Type II security lighting will not only discourage intruders (fear of detection), it will also make the situation difficult for them to survey because of the large amount of glare present. A continuously burning security lighting installation based upon this principle is not really very realistic where private homes are concerned, principally because the glare will disturb the neighbours and others, including patrolling police officers.

Type III security lighting acts as a psychological barrier because of the fear of detection it engenders in the mind of the intruder. At the same time, this lighting allows both occupants and passers-by (among which the police and other security personnel) to see anything that might be happening on the premises.

For Type III security lighting we carried out an investigation to obtain information about the lighting levels needed on the facade, on the facade openings and on the immediate horizontal surrounds of a house to create an effective psychological barrier against intrusion. This investigation consisted of two parts: a field test, in which many existing security lighting installations were inspected and evaluated, followed by some tests employing a mock-up that allowed many different lighting levels and lighting effects to be obtained in a controlled manner.

Field test

For this test a team of six lighting engineers and two crime-prevention officers from different police departments was formed. Each team member selected a number of existing domestic security lighting installations in or near to the area in which he lived. In this way, a list of some 25 widely-differing installations from different areas was obtained.

These 25 installations were then inspected by all the members of the team working independently, without them having any information regarding the actual lighting values. They were asked to give, for each installation, their opinion on different aspects of the lighting and the effects obtained. This field test clearly revealed that the quality of deliberately designed domestic security lighting installations varies tremendously. The installations encountered ranged from those giving so little light as to have virtually no protective effect, to those with so much light as to prove both disturbing the neighbours and passers-by and expensive to run. There thus seems to be a distinct need for guidance in designing domestic security lighting installations.

The field test continued with the further, detailed evaluation of seven installations selected from the original twenty-five. The illuminances on the facades and on the horizontal surrounds were measured, as were the most dominant reflectances. In order to be able to compare the different installations, the measured average illuminances were converted (knowing the actual reflectances) into illuminances that would, with a standard reflectance, produce the same luminances as in the actual installation. The standard reflectances assumed were:

- for the facade: 0.30;
- for the horizontal surrounds: 0.15.

The measurement results were compared with the assessments by the "expert group" on the effectiveness of the psychological barrier obtained with the lighting. The field test indicated that (for the standard reflectance situation) to produce security lighting that is "just sufficient" the average facade illuminance value needed must lie somewhere between 0.1 lux and 1.2 lux and the average horizontal surround illuminance somewhere between 0.7 and 1.3 lux. Where within these ranges the averages should lie, cannot be concluded from this field test, although it is of course safest to take the higher values, i.e. 1.2 lux for the facade and 1.3 lux for the horizontal surround.

To obtain confirmation of these results and to possibly narrow-down the illuminance range, an experiment employing a mock-up of a private home was subsequently set up.

Mock-up test

A mockup of a bungalow and its nearby surrounds was erected in a large hall. The hall could be completely blacked out, thus making it possible to carry out some of the experiments during daytime. The mock-up was so constructed that it could be quickly changed to represent bungalows of different designs. This made it possible to study the effectiveness of different luminaire types and different luminaire positions in different situations. The reflectance of the facade was 0.37 while the average reflectance of the horizontal surrounds (mainly natural grass) was approximately 0.08. As has been done with the Field Test, all relevant illuminances of the Mock-up test will, in the further elaborations, be converted into illuminances corresponding exactly with the standard reflectances specified earlier (facade 0.30; horizontal surrounds 0.15). The mock-up facades and horizontal surrounds were uniformly lighted with halogen incandescent floodlights. By dimming these, different lighting levels could be obtained. This was always done so that the average luminance of the facades and horizontal surrounds were very nearly the same. To obtain a realistic situation in all respects, a degree of glare that is more or less typical of exterior security lighting installations was created by placing two luminaires in the "garden" close to the house. These luminaires were so screened that they did not contribute to the lighting of the facade and horizontal surrounds.

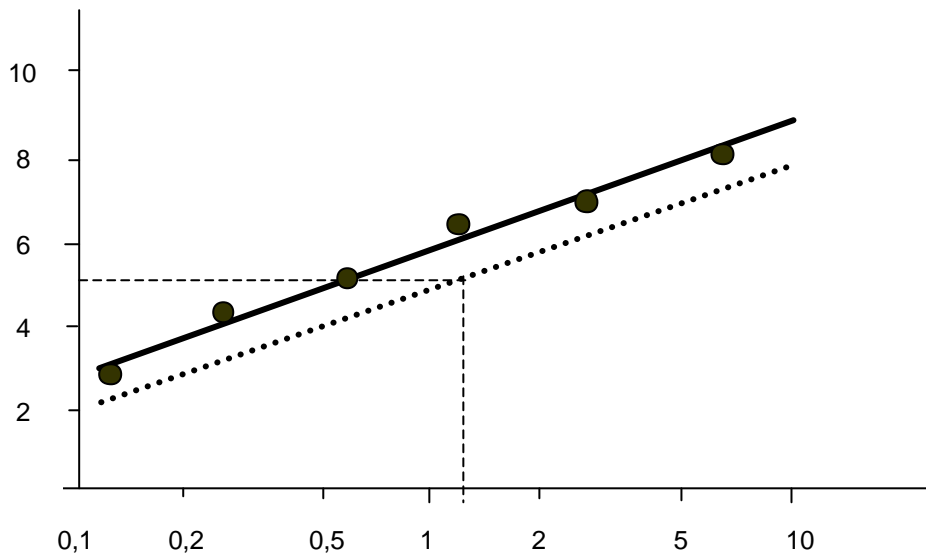
The simulated street in front of the bungalow (which contained parked cars for extra realism) could be lighted to an average road-surface luminance of 0.3 cd/m² without influencing the lighting on the facades and surrounds. This luminance level of 0.3 cd/m² corresponds roughly to an illuminance level of between 3 and 5 lux, the range often recommended for pure residential streets. Eighteen different lighting situations could be created.

The actual tests were carried out during the dark evening hours with groups of observers (all men). The observers were shown the eighteen different situations, each in an ad random sequence, and asked to judge 'how discouraging is the lighting, as seen from the point of view of an intruder?'. The assessments had to be given using as scale:

1. very bad (not at all discouraging)
- 2.
3. bad
- 4.
5. insufficient
6. sufficient
- 7.
8. good
- 9.
10. very good (very discouraging).

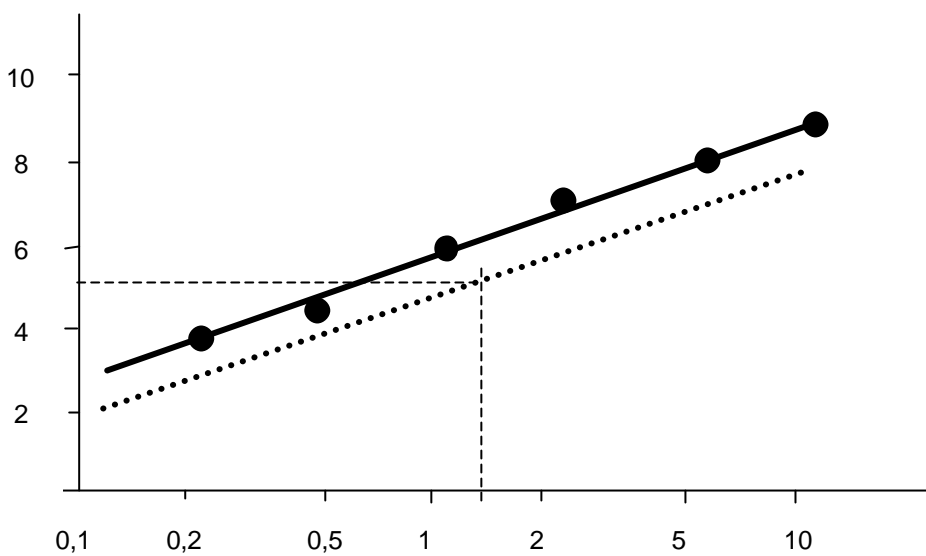
Fig. 2 gives the average assessments for each situation for both the lighting effect on the facade and that on the horizontal surrounds versus the converted illuminances. This figure is valid for only one of the investigated situations: "street lighting on, no bright window in the façade". The statistical 75 per cent confidence lower limit is calculated according to Fieller's method 6 and is indicated in the figures by dotted lines.

assessment



$E_{\text{façade}}$ (lux)

assessment



E_{hor} (lux)

Fig. 2 Average assessments given by 22 observers asked to judge the discouragement effect of the lighting (for scale of assessment see table 2) in relation to the average converted illuminance in the 'standard-reflectance' situation (façade reflectance = 0.30; horizontal surrounds reflectance = 0.15). The dotted lines represent the statistical 75 per cent confidence limit. (situation: with streetlighting, without bright window).

Fig. 2 indicates that to obtain a discouragement level of just sufficient, (i.e. 5.5 on the assessment scale) for 75 per cent of the 'population', the following lighting levels at least are needed for effective security lighting:

- average facade illuminance: 1.3 lux
- average horizontal-surround illuminance: 1.5 lux

these values are marginally higher than the values obtained from the field test.

A rounded off maintained value of 2 lux would therefore seem a sound basis for recommendation purposes (for the "standard" reflectances). This value also suits the assessment results of the other (here not described) situations.

Table1 gives illuminance values for different reflectance conditions recommended on this basis.

	material reflectance	very light 0,60	light 0,30	medium 0,15	dark 0,075
façade	E_{façade} (lux)	1	2	4	8
horizontal surrounds	E_{hor} (lux)	-	1	2	4

Table 1: Recommended average maintained lighting levels for protective exterior security lighting.

REFERENCES

- [1] Page, R.A. and Moss, M.K.; " Environmental influences on aggression: the effects of darkness and proximity of victim", Journal of Applied Social Psychology (1976).
- [2] Hargroves, R.A., "Road lighting"; IEE Proceedings, Vol. 5, p.85 (1983).
- [3] Caminada, J.F., van Bommel, W.J.M.; "New considerations for residential areas", International Lighting Review, p. 69 (1980).
- [4] van Bommel, W.J.M. and van Dijk; "Security lighting for domestic exteriors, IES of North America Annual Lighting Conference, St. Louis (1984).
- [5] Hall, E.T.; "The hidden dimension" , Anchor books, New York (1966).
- [6] van Bommel, W.J.M.; "Public lighting and the residential function", CIE 22nd Session, Melbourne (1991).

Lichtlenksysteme mit Tageslichteinkopplung

H. Kaase, A. Rosemann

TU Berlin, Institut für Energie- und Automatisierungstechnik,

FG Lichttechnik, Sekr. E6

Einsteinufer 19, 10587 Berlin

Tel: 030 / 314 22401; Fax: 030 / 314 22161; email: elli@ee.tu-berlin.de

1 Tageslichtsysteme

Tageslichtsysteme dienen zu einem dazu, das angebotene natürliche Licht in große Gebäudetiefen zu lenken. Hierzu werden verschiedene Techniken angewandt /1/ /2/ und /7/. Eine Übersicht gibt die folgende Tabelle /3/ :

Tageslichtsysteme			
starr		beweglich	
transmittierend	reflektierend	transmittierend	reflektierend
Prismen-Oberlichtband HOE-Oberlichtband Lichtwellenleiter- Oberlichtband Laser-cut-Oberlichtband	Lichtschwert Al-Reflektor Al-Vorbaukonstruktion	Prismen-Lamelle HOE-Lamelle	Al-Lamellen, lackiert Al-Lamelle, konkav Al-Lamelle, Sonderform Al-Großlamelle Al-Lamelle, teilverspiegelt
Al-Lamelle, perforiert		Glas-Lamelle Glas-Waben-Lamelle Al-Lamelle, perforiert Al-Lamelle, aufgelöst	

Um das direkte Sonnenlicht in fensterferne Zonen zu transportieren, bieten sich Heliostaten an, die der Sonne nachgeführt werden und das Licht in Hohllichtleiter zum Transport bei gleichzeitiger Auskopplung über deren Länge einkoppeln /4/. In Kapitel 2 und 3 werden realisierte Beispiele beschrieben.

Zum anderen werden Tageslichtsysteme eingesetzt, um Blendung durch direkte Sonneneinstrahlung zu verhindern.

2 Versuchsanlage der TU Berlin

Heliostaten können zweiachsig so verfahren werden, daß sie Sonnenstrahlung stets in dieselbe Richtung umlenken. Durch weitere optische Komponenten kann das eingefangene Licht dann gebündelt und z. B. in Hohllichtleiter eingekoppelt werden. Innerhalb der Forschungsarbeit für das europäische Projekt ARTHELIO /5/ ist auf dem Dach des Fachgebiets Lichttechnik ein Heliostatensystem aufgebaut worden.

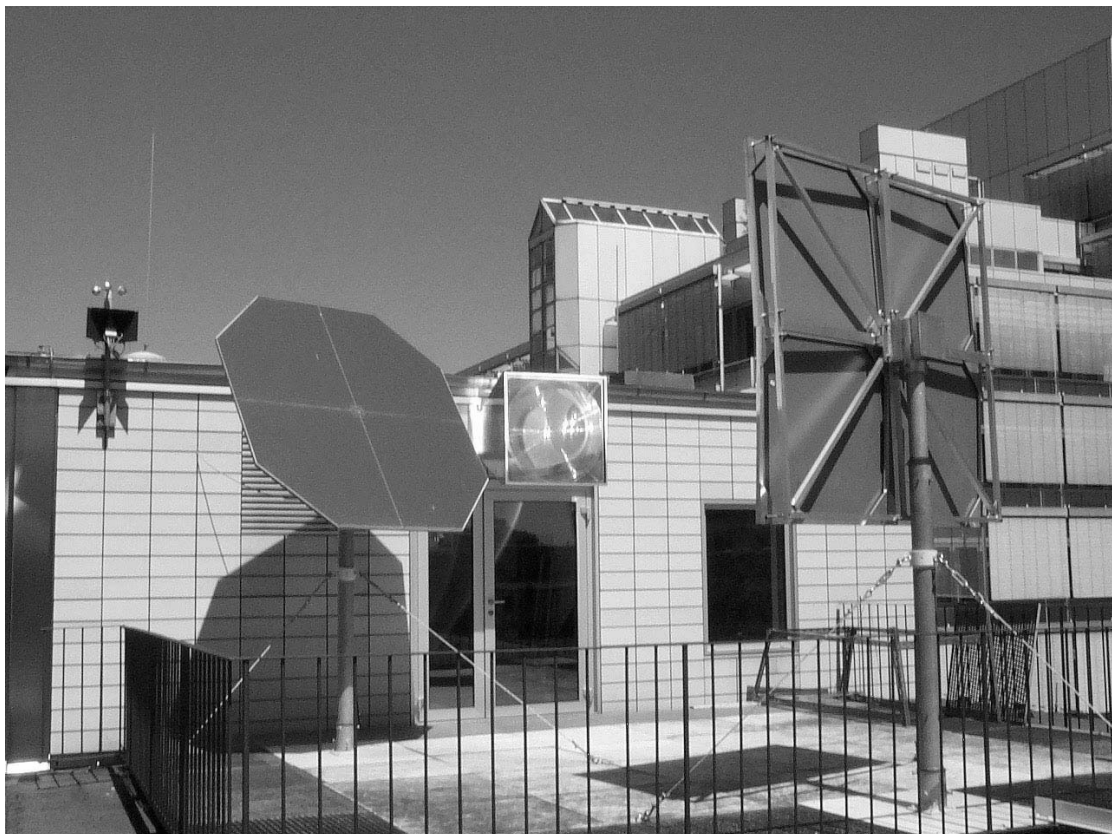


Abb. 1 Die Heliostatenanlage der TU Berlin

Ein Spiegel mit einer Fläche von 4 m^2 wird von einem Mikrocomputer gesteuerten System der Sonne nachgeführt. Durch Eingabe der geographischen Koordinaten des Aufstellungsortes und der wahren Ortszeit kann der Computer die Sonnenposition errechnen und den Spiegel zweiachsig derart verfahren, daß das auf die Spiegeloberfläche treffende direkte Sonnenlicht auf einen zweiten Spiegel reflektiert wird. Dieser zweite Spiegel besteht aus mehreren Segmenten, die unabhängig voneinander verstellt werden können. So kann jeder einzelne Spiegel das direkte Sonnenlicht auf die Einkopplungseinheit reflektieren. In dieser Einheit befindet sich eine Fresnellinse mit einem optisch wirksamen Durchmesser von $0,9 \text{ m}$. Sie ist zum Schutz vor Witterungseinflüssen in einem Gehäuse montiert und konzentriert das einfallende Licht auf den Hohllichtleiter, der sich im Gebäudeinneren anschließt.

Die Lichtleitung im Innenraum erfolgt über hohle Lichtleiter, die mit einem prismatischen Film ausgelegt sind. Trifft das Licht unter dem Akzeptanzwinkelbereich auf die Innenoberfläche, so kommt es in dem Film zur Totalreflexion. Brennweite und optisch wirksamer Durchmesser der Linse sind so dimensioniert, daß der Akzeptanzwinkel des prismatischen Films für die Totalreflexion eingehalten wird. Auf diese Weise wird eine verlustarme Einkopplung und Weiterleitung des direkten Sonnenlichts gewährleistet. Zum Auskoppeln des Lichtes entlang des Lichtrohres werden Extraktorfolien eingesetzt. Diese reflektieren das auftreffende Licht diffus. Teile des Lichtes verletzen danach die Bedingung für Totalreflexion und transmittieren durch den prismatischen Film. Dieses Licht kann zur Beleuchtung des Innenraumes verwendet werden.

Als Kunstlichtquelle wird die Schwefellampe eingesetzt. Sie hat den Vorteil, daß sie ein kontinuierliches Spektrum abstrahlt, das dem des Sonnenlichts ähnlich ist. Die Dimmbarkeit von 25% bis 100% des Lichtstroms ermöglicht den Einsatz in tageslichtabhängigen Kunstlichtbeleuchtungssystemen.

Sowohl Tages- als auch Kunstlicht muß in das hohle Lichtleitrohr eingekoppelt werden. Dazu ist in dem System eine Lichtmischeinheit installiert, die Licht von zwei Quellen in zwei Richtungen aufteilt und dabei das Licht zu gleichen Anteilen zusammenmischt. Bei der Demonstrationsanlage wird Licht aus zwei orthogonal zueinander stehenden Richtungen in die Mischeinheit geleitet. Eine Hälfte des

Lichtstroms jeder Quelle geht geradeaus in die sich anschließenden hohlen Lichtleiter; die andere Hälfte wird um 90° in den anderen Lichtleiter umgelenkt.

Die in diesem Beitrag vorgestellte Demonstrationsanlage an der TU Berlin ermöglicht die simultane Nutzung von Tageslicht und dem Kunstlicht der Schwefellampe in einem Hohllichtleitersystem. Die Beleuchtungsqualität im Hinblick auf die Farb- und Farbwiedergabeeigenschaften reicht zur Nutzung des Tageslichtes in Büroräumen und den nahezu allen allgemeinen Räumen aus.

3 Demonstrationsanlagen des ARTHELIO-Projektes

Zwei Prototypen einer Beleuchtungsanlage mit Hohllichtleitern wurden aufgebaut. Bei der Berliner Firma Semperlux soll das System ein fensterloses Treppenhaus beleuchten. Kunstlicht wird in Abhängigkeit vom Tageslichtangebot in das Hohllichtleitersystem eingespeist /6/. Dazu wird die dimmbare Schwefellampe eingesetzt, die über ein Bussystem von einem Computer gesteuert werden kann.

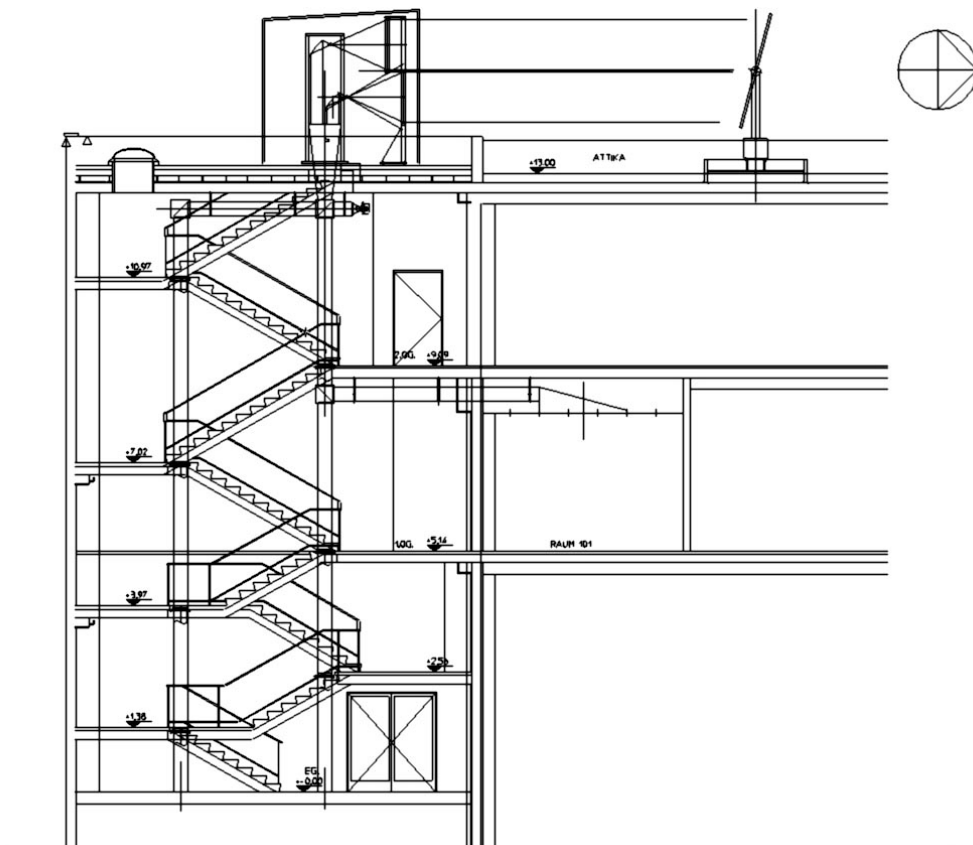


Abb. 2 Skizze der Demonstrationsanlage bei Semperlux

Über einen 6,2 m² großen, der Sonne nachgeführten Primärspiegel wird das direkte Sonnenlicht auf eine Linsenanordnung umgelenkt. Vier Fresnellinsen decken eine relativ große Fläche ab, die vom Heliostatenspiegel angestrahlt wird. Sie konzentrieren das Licht auf parabolische Reflektoren. Von dort wird das Licht in einen Trichter aus hochreflektierendem Material und anschließend in das Lichtrohrsystem eingekoppelt. Bei der Entwicklung des Heliostatensystems wurde die Zahl der optisch wirksamen Elemente im Strahlengang (dazu zählen Spiegel, Linsen und auch Glasscheiben, die zum Wetterschutz benötigt werden) minimiert. So kann der Wirkungsgrad des gesamten Systems auf einem verhältnismäßig hohen Wert gehalten werden.



Abb. 3 *Der Dachaufbau des ARHELIO-Prototypen bei Semperlux*



Abb. 4 *Hohllichtleiter im Treppenhaus bei Sonnenlichteinspeisung*

In einer weiteren Demonstrationsanlage in der Nähe von Mailand, Italien, wird eine Lagerhalle mit Tages- und Kunstlicht versorgt. Ein einachsiger nachgeführter Heliostat lenkt das direkte Sonnenlicht so um, daß es senkrecht durch die Gebäudedecke nach unten geführt werden kann. Über ein langes Hohllichtleitertransportmodul gelangt das Licht auf die Auskopplungseinheit. Von dort wird das Licht im Raum verteilt. Zwei Hohllichtleiter, die jeweils mit einer Schwefellampe gespeist werden, liefern die Kunstlichtversorgung.



Abb. 5 *Der Heliostat (links) und die Auskopplungseinheit (rechts) des italienischen ARHELIO-Prototypen bei 3M*

Literatur

- /1/ Aizenberg, J. B., Korobko, A. A., Pjatigorskij, W. M., Buob, W., Signer, R.; Ein Beleuchtungssystem mit hohlen Lichtwellenleitern für das richtige Licht zum Lernen - Teil 1; Licht 6 / 97
- /2/ Aizenberg, J. B., Korobko, A. A., Pjatigorskij, W. M., Buob, W., Signer, R.; Ein Beleuchtungssystem mit hohlen Lichtwellenleitern für das richtige Licht zum Lernen - Teil 2; Licht 10 / 97
- /3/ Ehling, K.; Tageslichtsysteme: Lichttechnische Bewertung und Wirtschaftlichkeit; Dissertation TU Berlin, VDI Verlag, 2000, ISBN 3-18-316504-X
- /4/ Müller, T., Kloss, S.-H., Rosemann, A., Kaase, H.; ARHELIO - Ein Europäisches Forschungsprojekt zur kombinierten Nutzung von Tageslicht und dem Kunstlicht der Schwefellampe in Gebäuden; Tagungsband OTTI - Fünftes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, 1999, S. 34-40
- /5/ Müller, T.; Kloss, S.-H.; Rosemann, A.; Kaase, H.; Arthelio; Licht & Architektur, 1999
- /6/ Rosemann, A. Hohllichtleiterbeleuchtungsanlagen mit Tageslichteinkopplung, Dissertation TU Berlin 2001, Pflaum Verlag, (im Druck)
- /7/ Whitehead, L. A., Scott, J. E., Lee, B., York, B.; Large-Scale Core Daylighting by Means of a Light Pipe; International Daylighting Conference - Proceedings I, 1986

Electronic ballast's Evaluating and Choosing Criteria

Dr inż. Waław Kędziora
Mgr inż. Marcin Pelko
Poznań, Polska

The objective of this presentation is to discuss quality and use of electronic ballast and parameters, which should be used for describing these devices. We also refer to the problem of variety of existing regulations in different areas of the world, using different names for the same parameters and creating manufacturer internal symbols. The presentations indicate the fact of high increase in electronic ballast production, growing application level of electronic ballasts, adding extra features to it, and also to the harmful electromagnetic interference, which they are the source of.

In conclusion we evaluate different solutions and try to present a useful tool for lighting designers to easy choose a solution with lamp-ballast capability mostly by judging most important parameters of ballast and lamp as well.

I. Introduction

Progressing development in the field of electronic did not miss the lighting technology. Among many innovations in that area huge development is attributed to electronic ballast which ignite and operate fluorescent lamps. Variety of types, manufacturers and applications created a problem of evaluating and choosing criteria for these devices.

II. Parameters and symbols

For understanding and describing ballast performance features it is necessary to introduce characteristic parameters and their meanings.

1. Electrical parameters

Complex group consisting of many subgroups deals with purely electrical features. Further division in that group creates a wall between input and output parameters, performance and other but there is no bottom line between these groups.

- supply voltage (U_n) with it's tolerance
- supply voltage frequency or range of frequency (f_n)

The second group is much bigger and is more important for creating proper lamp-ballast circuit (ballast output parameters):

- ballast operating frequency (f_r) which really influences lamp performance
- ignition voltage (U_s): value of the voltage that starts the discharge
- ignition method: describes the way of starting a discharge used in certain ballast

Generally three main starting methods can be pointed:

- rapid start where preheating of electrodes is applied for at least 0,4 s before ignition and is not disconnected afterwards, preheating could be driven with current or voltage
- cathode disconnect ballast : preheating is applied only before ignition
- instant start, so called cold ignition with high voltage and no preheating at all

It is also sensible to create a subgroup with electrical parameters describing ballast's features as an electric device:

- circuit active power (P): indicates a value of power consumed by lamp and ballast together
- power factor, if it is low there is a big phase differences between the current and voltage or high current distortion
- total harmonic distortion (THD): describes how far the current shape escapes from sinusoidal shape, high THD value gives a bad power quality, THD is closely connected to the power factor:
- current crest factor (CCF), which is closely depended on the ballast quality
- preheating voltage, related to the electrode temperature - right voltage means right electrode temperature, for further investigation we can point out minimum and maximum value of preheating voltage before ignition and after it as well
- preheating current (only for preheating driven with current)
- glowing current - current among electrodes during preheating, it influences a lamp life a lot due to emitter evaporating
- open circuit voltage - voltage applied between lamp electrodes
- controlling voltage range - applies to ballasts devoted for intelligence building systems, generally there are ballast controlled by AC and DC
- electromagnetic interference (EMI) – describes the level of electromagnetic noise transmitted in defined range of frequency (usually 30-1000 MHz)

2. Photometrical parameters

This group consists of parameters especially important for lighting designers. These parameters can influence a number of luminaries in the lighting system; it's efficiency and life.

- ballast factor (BF): defined as a luminous flux of a lamp connected with certain ballast divided by luminous flux of the same lamp connected with reference ballast; BF depends on the lamp type used in certain solutions what makes it possible for one device to have many ballast factors. Lighting designers should realize that with low BF lamps will give less light than nominal and that high BF will reduce lamp life
- ballast efficiency factor: describes the effectiveness of lamp - ballast circuit. ($BEF = \frac{BF}{P} \cdot 100\%$). Good quality circuits have BEF higher than 2.
- dimming range: if dimming is possible minimum dimmed level should be defined, (usually [3 –1] % of the nominal light output)

3. Others

From what was not mentioned above there are many others that should be considered.

- number of lamps to be connected with the ballast for proper loading
- lamp type to be connected with the ballast
- ballast life defined in hours of proper working under defined conditions (temperature, humidity)
- acoustic noise emitted by the ballast: usually described by one of the six classes (from A to F) for which proper noise level is defined
- temperature range necessary for proper ballast performance defined by manufacturer, Temperature influences the lamp-ballast effectiveness and power consumption as well

III. Requirements

Apart from national standards there are independent organizations that create their own quality rules for electronic ballast (for example CELMA, CBN). Generally all defined requirements are divided in to two groups: performance and safety. Most countries in Europe participate in creating and following IEC standards but still there are many exceptions. In existing standards it is really hard to find a clear points attributed to

possible influences that electronic devices could have with each other when operate side by side. It is also necessary that documents should be upgraded with checking methods for devices armed with new elements like thermal fuses or active filters. More focus should be attributed to dimming electronic ballast. Defined value of THD and electrode preheating voltage (rapid start) change in that ballast in the allowed range of regulation.

Extra attention must be paid to defining clear requirements concerning ballast included in integrated compact fluorescent lamps. Another huge problem appears when whole lighting systems with electronic ballast are installed. Electromagnetic interferes and THD is much more meaningful and so should be formally regulated in these cases. Small differences in the field of norms can not be avoided for example due to specific solutions in electrical system but still a lot of work can be done to continuos upgrading and unifying.

IV. Optimal set-up of lamp - ballast circuit.

For lighting system designers it is very important to get a proper lamp-ballast circuit so the efficiency of the system is optimal and all system parameters meet specification. To create compatible lamp – ballast circuit some criteria have to be defined. To go further with designing lighting systems first we have to make sure that separate lamp and ballast meet all requirements (performance and safety).

In final lamp-ballast compatibility check we have to follow some possibly clear rules. Characteristic parameters can be divided into two groups:

- describing ignition characteristic:
 - ignition method, ignition voltage, preheating voltage, preheating time, glowing current
- describing stable performance
 - current crest factor, lamp current, ballast factor, electrode-heating voltage, life time, ambient temperature

Following such a division a table can be created in which we will point out mentioned values for lamp and ballast separately (when possible) and compare them.

	parameter	unit	lamp parameters	ballast parameters	compatible		Remarks
					Yes	No	
ignition	starting method	[-]					
	ignition voltage U_s	[V]					
	preheating voltage U_p	[V]					
	preheating time t_p	[s]					
	glowing current I_g	[mA]					
operating	current crest factor CCF	[-]					
	heating voltage U_h	[V]					
	lamp current I_L	[A]					
	ballast factor BF	[-]					
	life time τ	[h]					
	ambient temp. range	[°C]					
Lamp Type:			Ballast Type:				

In case of expected deviations we should note the remark, so that we are aware of the decision that we take and consequences that may emerge.

Usually manufacturers define lamp types to work with certain ballast but for people who create lighting systems on their own it is very important that they use some criteria to get the best solution in the matter of economic and technology. Increasing offer of ballast types force us to be aware of how should we easily evaluate them and implement in to specific destinations. It can be helpful for ballast quality improvements and client satisfaction as well.

V. Summary

As we know customers do not select products by measuring them but only by information provided with them, so it is very important to have valid regulations suitable for what is available on the market, prosecute, and standardize them all over the world.

On the other hand people who are involved in the issue by profession should follow some rules for judging electronic ballast. Everyone should be aware of totally new problems connected with ballast performance, which may appear as a consequence of the progress in the data transferring technology. Electromagnetic noise emitted by electronic

ballast at the high frequency may influence telecommunication transfer signals from the range of 50-500 kHz in electrical systems.

Creating standard forms for lighting design engineers would be a step forward to systematic way of moving in that area. Second important issue is that requirements will always catch up with changes in ballast construction and features. As access to the information technology is getting more and more popular maybe ballast manufacturers will provide customer with the standard format of database "on line" with all necessary information.

Literature

1. American National Standards Institute: High-frequency fluorescent lamp ballast, ANSI C82.11-1993. New York, NY: ANSI
2. Brożyna M.: Układy elektroniczne w sprzęcie oświetleniowym. Światło i Środowisko. 1996. Nr 1: str.16-18
3. EN61000: Electromagnetic Compatibility (EMC). 1995
4. IEC921: Ballasts for tubular fluorescent lamps- Performance requirements.1988
5. IEC923: Auxiliaries for lamps – Ballasts for discharge lamps (excluding tubular lamps) – Performance requirements.
6. IEC 929 A.C. supplied electronic ballasts for tubular fluorescent lamps – Performance requirements. 1990
7. Magdziak R.: Elektroniczne układy zasilające świetlówek. Elektronika praktyczna 1988. Nr 6; str. 61-67
8. Siwik M.: Energooszczędne lampy wyładowcze jako źródło zakłóceń w sieciach niskich napięć. Światło i Środowisko. 1998. Nr 2: str. 5-10
9. Specifier Reports: Electronic ballasts (Yunfen J). National Lighting Product Information Program. 200. V.2, No 1.
10. Specifier Reports: screwbase Compact Fluorescent lamp Product. National Lighting Product Information Program. 1999. V. 7, No 1.
11. Teri E.: Effect of dimming on lamp life of fluorescent lamps. CIE 24th Session. Warsaw, Jun 1999

Dr inż. Waław Kędziora

Mgr inż. Marcin Pelko

E-mail address: pelko@man.poznan.pl

Phone number: (48)-608-17-49-38

Politechnika Poznańska
Wydział Elektryczny
Instytut Elektrotechniki Przemysłowej
Zakład Techniki Świetlnej
ul. Piotrowo 3a
60-956 Poznań
Polska

Faculty of Electrical Engineering
Poznan University of Technology
3a Piotrowo Street
60-956 Poznań
Poland

Grundlagenuntersuchungen und erste Ergebnisse bei der Verbesserung technischer Eigenschaften von Hochspannungsleuchtröhren (HSLR)

Prof. Dr.-Ing. habil. D. Gall, Dipl.-Ing. Carsten Blankenhagen
TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, Unterer Berggraben 10, 98684 Ilmenau

Prof. Dr. rer. nat. habil. J. A. Schäfer, Dr. rer. nat G. Hartung
TU Ilmenau, Fachgebiet Technische Physik, Weimarer Str. 32, 98693 Ilmenau

Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Sommer
NEON-Böhm GmbH & Co. KG, Friedrich-Ebert-Str. 20, 98693 Ilmenau

1. Stand der Technik und erste sondierende Untersuchungen

Die bereits aus den 30er Jahren bekannte Technologie der Anwendung von Hochspannungsleuchtröhren für Lichtwerbeanlagen hat durch untergegangenes Grundlagenwissen aus dieser Zeit sowie vielfältige aber oft unverstandene Änderungen des physikalisch-chemischen Regimes im Entladungsrohr in den letzten Jahren deutlich an Attraktivität verloren. Demgegenüber steht die rasante Entwicklung der LED-Halbleitertechnologie in den letzten Jahren sowie das Hineindrängen dieser Technik auch in bisher der HSLR vorbehaltene Anwendungsbereiche. Die Schwierigkeiten bei der Fertigung von HSLR stellen sich in einer die Wirtschaftlichkeit der Produktion stark beeinträchtigenden Reklamationsquote dar. Konkret bestehen die Probleme in einer starken Verschlechterung der elektrischen und lichttechnischen Parameter der HSLR sowie in einer zu geringen Lebensdauer dieser Röhren insgesamt.

Jüngstes Beispiel solcher vorzeitigen Röhrenauffälle sind z.B. in einer internen Studie untersuchte HSLR zur Kantenbeleuchtung von ARAL-Tankstellen. Diese Röhren stammten von verschiedenen Herstellern und zeigten charakteristische Zerstörungen durch vorzeitigen Zerfall der becherförmigen Kaltkathoden in ein Zylinderstück und ein an den elektrischen Zuleitungen verbleibendes halbkugelförmiges Bodenstück (Bild 1).



Bild 1 Typische Zerstörungsbilder ausgefallener Hochspannungsleuchtröhren

Diese Ausfallerscheinungen wurden an verschiedenen, speziell präparierten Becherelektroden u.a. mittels optischer Spektralanalyse untersucht und Rückschlüsse auf im Plasma freigesetzte Elemente gezogen. Dabei variierten die Röhrenparameter und die geometrischen Abmessungen der Elektroden, welche mit 1mm breiten Schlitzen bzw. Löchern versehen waren. Diese beeinflussen die Feldverteilung und den Potentialverlauf innerhalb der Elektrode und damit die Entladungsvorgänge nur unwesentlich.

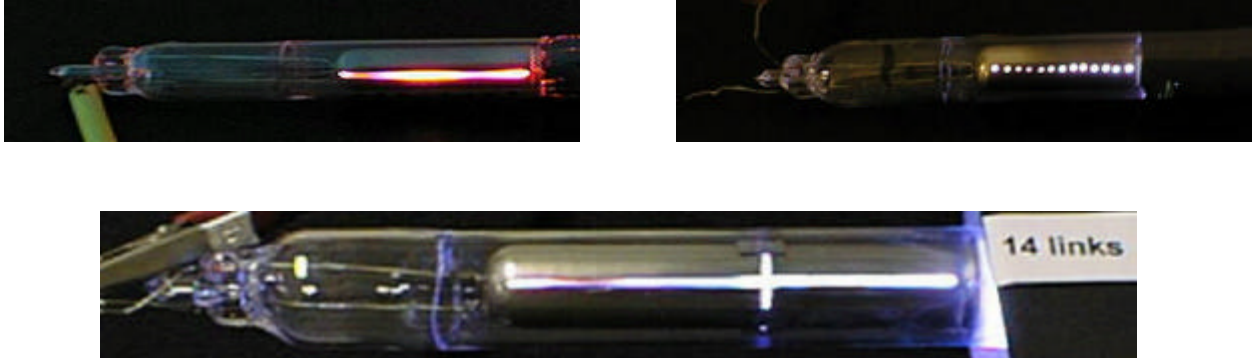


Bild 2 Modifizierte Becherelektroden zur Plasma-Spektraluntersuchung in ihrem Inneren

In den Fotos erkennbare Inhomogenitäten der Leuchtdichterscheinungen deuten auf die Lage des Katodenfalls (Dunkelraum) hin. Dort werden die Ionen stark beschleunigt und bombardieren die Elektrodeninnenfläche in Richtung des halbkugelförmigen Bodenstücks. Als wesentliches Ergebnis dieser Voruntersuchung konnten falsch dimensionierte Elektroden selektiert werden und es wurde nachgewiesen, daß die Feldverteilung innerhalb des Elektrodenbechers von dessen Länge unabhängig ist (gleiche Lage des Dunkelraums). Vielmehr bestimmt die Elektrodenlänge in Kombination mit dem Becherdurchmesser die zum Ionenbombardement real genutzte Innenoberfläche.

Weitere Schwierigkeiten ergeben sich durch die veränderte Zusammensetzung der Leuchtstoffe im Sinne ungiftiger bzw. umweltverträglicherer Substanzen, welche die Langzeitstabilität dieser negativ beeinflussen und zu schnellerer, bei Tag deutlich sichtbarer Vergraung und damit verbundenem Lichtstromabfall der Röhren führen. Sowohl die Qualität der Leuchtstoffe als auch die der Rohrbeschlämmung und die äußere Temperaturverteilung am Entladungsrohr sind für eine gleichmäßige Ausleuchtung verantwortlich, welche in der Praxis heute leider selten anzutreffen ist.

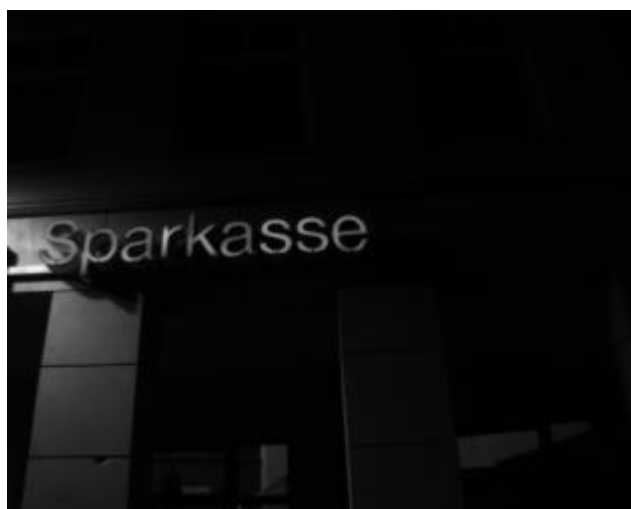


Bild 3 Leuchtdichtebild einer Lichtwerbeanlage bei 21°C Außentemperatur

Im Gegensatz zur Leuchtenindustrie, wo bereits seit längerer Zeit HF-Vorschaltgeräte zum effizienteren Lampenbetrieb eingesetzt werden, steht der Umstieg vom konventionellen Streufeldtrafo zur Hochfrequenz bei den HSLR noch bevor und ist auch von einigen Schwierigkeiten begleitet, welche später näher erläutert werden. Nachfolgende Abbildung zeigt in zwei Oszillogrammen qualitative Kurvenverläufe von Röhrenspannung und -strom sowie eine FFT der Röhrenspannung bei NF-Betrieb (50 Hz) mit einem konventionellem Streufeldtrafo.

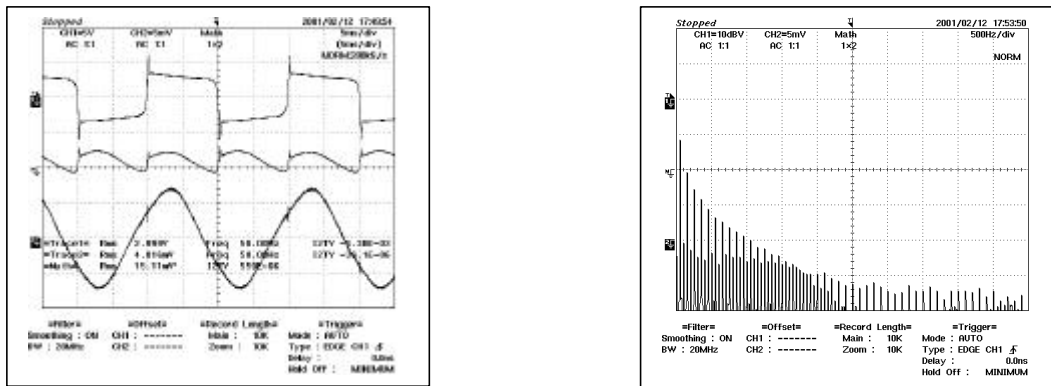


Bild 4 Röhrenspannung, Lampenleistung, Röhrenstrom und FFT der Röhrenspannung bei konventionellem 50Hz - Betrieb mittels Streufeldtrafo

2. Aufgaben für weitere Untersuchungen und Forschungen

Wie im ersten Abschnitt ausgeführt wurde, ist die Beherrschung der Technologie zur Herstellung qualitativ hochwertiger HSLR ein sehr komplexes und weitreichendes Gebiet, welches zu seiner zufriedenstellenden Bearbeitung umfangreiche und ineinandergreifende Aufgabenstellungen fordert. Diese lassen sich in physikalische, elektrisch/elektronische und lichttechnische Meßaufgaben einteilen, welche derzeit in einem Forschungsprojekt zur Verbesserung der technischen Eigenschaften der HSLR bearbeitet werden. Die zu erfassenden Einflußgrößen zur umfassenden Beschreibung der HSLR-Parameter werden im folgenden dem Rahmen der Forschung entsprechend angegeben:

physikalische Messungen:

- massenspektroskopische Untersuchungen und Restgasanalyse beim Evakuierungs- und Gasfüllprozess der HSLR direkt am Pumpstand
- Glasoberflächenanalysen (UV- und Plasmaangriff) (Röntgendiffraktometrie und Röntgen-Photoelektronenspektroskopie)
- Rohr- und Elektrodentemperatur im Betriebsfall
- Verhalten der Röhren bei geringen Umgebungstemp.

elektr./elektron. Messungen:

- Strom, Spannung, Leistung (Lampen- und Netzseite)
- Zündspannung, Frequenz, Oberwellenanalyse

lichttechnische Messungen:

- Lichtstrom, Leuchtdichte (auch L-Verteilung)
- Normfarbwertanteile (x,y), ähnl. Farbtemperatur (CCT)
- Spektralverteilung der Leuchtstoffe
- evtl. Farbwiedergabeindex (CRI)

- Langzeitverhalten vorgenannter Werte bei konstanter Umgebungstemperatur
- Spektralanalyse des Plasmas im Elektrodeninnern speziell bei HF-Betrieb gegenüber NF-Betrieb

danach zu variierende
Fertigungsparameter:

- Auswahl des Leuchtstoff-Schichtmaterials
- Auswahl des Beschichtungsverfahrens
- Optimierg. von Evakuierung und Gasfüllung der HSLR
- evtl. Einsatz anderer Elektrodenkonfigurationen

Auch wenn die Vielzahl der zu bewältigenden Aufgaben in diesem Bericht nicht umfassend dargestellt werden kann, so sind sie doch notwendig, um dem Produkt HSLR in den nächsten Jahren reale Chancen und Beständigkeit auf dem Markt einzuräumen. Eine unwissenschaftliche und punktuelle Herangehensweise an die Lösung der Probleme birgt die Gefahr, kurzfristige Scheinerfolge zu erzielen und wertvolle Zeit für den Anschluß an eine moderne, wissenschaftlich fundierte Technologie zu verlieren. Im nächsten Abschnitt erfolgt eine kleine Auswahl einiger wichtiger Messungen bzw. Meßverfahren.

3. Einige Meßgeräte und Versuchsaufbauten

Eine sehr wesentliche Größe zur Beschreibung der Kennwerte einer HSLR ist der Lichtstrom, welcher von ihr erzeugt wird. Er ist abhängig vom fließenden Röhrenstrom und wird durch den Leuchtstofftyp, die Beschichtungsstärke (Belagsgewicht) und natürlich die Länge des beschichteten Glasrohrs bestimmt. Seine Messung erfolgt üblicherweise in raumgreifenden Goniophotometern oder kugelförmigen Integratoren. Für die HSLR-Untersuchungen wurde ein würfelförmiger Integrator (Volumen 1m^3) für HSLR mit definierter Geometrie & Abmessung gebaut und mit einem weißen, aselektiv reflektierenden Latexinnenanstrich versehen. Dieser Anstrich wurde auf Proben des Kistenmaterials aufgebracht und mittels harter UVC-Strahlung künstlich gealtert. Nachfolgende Spektralmessungen zeigten die gute Beständigkeit dieser Beschichtung. Weiterhin befindet sich eine Glühlampe im Innern des Integrators, welche bei definiertem Lampenstrom auch über Jahre hinweg genaue Aussagen zur Vergrauung der Integratorbeschichtung gestattet. Aufgrund der mechanischen Aufhängung der HSLR ist deren Lage im Inneren des Integrators nicht millimetergenau definiert, aber es wurde sichergestellt, daß kein direktes Licht auf den Meßkopf fallen kann. Weiterhin wurde der Einfluß des Elektrodenflimmerns in Abhängigkeit von der Position des Meßkopfes (längs oder quer zur HSLR-Achse) auf das Meßergebnis untersucht. Es ergab sich keine negative Beeinträchtigung der Meßergebnisse, weshalb der Sensor in der Längsachse der HSLR (Meßöffnung 2) positioniert wurde, da dort der notwendige Shutter und sein Fehlereinfluß (gegenüber der Querachsenposition → Meßöffnung 1) am kleinsten ist. Die ermittelten Meßwerte in diesem Integrator sind durch die Einflüsse der mechanischen Positionierung bei mehrmaligem Hineinhängen, Herausnehmen, Drehen und Schalten der HSLR mit einem Fehler von max. 6,8% reproduzierbar. Hinzu kommt ein Fehler durch die Vergrauung der Innenbeschichtung, welcher nach 1 Jahr in weitgehend staubfreier Umgebung mit 0,5% ermittelt wurde. Der Gesamtfehler dieser Meßeinrichtung ohne Kalibrierung beträgt somit ca. 7,5%.

Mit diesem Integrator ist nach einer möglichst genauen Kalibrierung auf verschiedene Leuchtstoffe (Bestimmung-Umrechnungsfaktor) mittels Goniophotometer eine sehr schnelle Lichtstrommessung für HSLR mit definierten Abmaßen möglich. Durch die

Proportionalität zwischen Lichtstrom und beschichteter Rohrlänge ist dann eine Umrechnung der Lichtströme auf andere Rohrlängen (Voraussetzung: gleiche Herstellungstechnologie!) problemlos möglich.



Bild 5 Integratorkiste mit Sensor, Überwachungs Lampe und Versuchsröhre bei Vermessung mittels Spektralmeßgerät und Leuchtdichtekamera

Eine weitere, die Lebensdauer einer HSLR entscheidend mitbestimmender Einflußfaktor ist die elektrische Ansteuerung der Röhren. Grundlegende Voraussetzung für eine schonende Betriebsweise ist die Einhaltung der maximalen Grenzströme bezüglich der Elektrodenbelastung. Im Sinne eines effizienten Röhrenbetriebes sind HF-Vorschaltgeräte sehr empfehlenswert, welche gegenüber dem 50 Hz - Betrieb durch die Trägheit der Leuchtstoffe bis zu 10% Lichtstromsteigerung und flimmerfreien Betrieb nebst Dimmung, reduzierten Vorschaltgeräteeverlusten etc. ermöglichen. Diese EVG's haben aber teilweise noch erhebliche Probleme mit einer sinusförmigen Ansteuerung der Röhren. Neben der Oberwellenproblematik wird vermutet, daß starke Abweichungen von der Sinusform (Spitzen etc.) die Ionen im Plasma unterschiedlich stark beschleunigen, zu hohe Energien bei der Wechselwirkung mit der Emitterschicht der Elektroden entstehen und diese daher wesentlich schneller zerstört wird. Aus diesem Grund wurde eine Reihe Vorschaltgeräte bezüglich Strom, Spannung und Oberwellengehalt sowohl auf der Lampen- als auch auf der Netzseite untersucht und parallel dazu eine spektrale Vermessung des Plasmas im Elektrodeninnern (Becher mit 1mm breiten Schlitzen) vorgenommen.

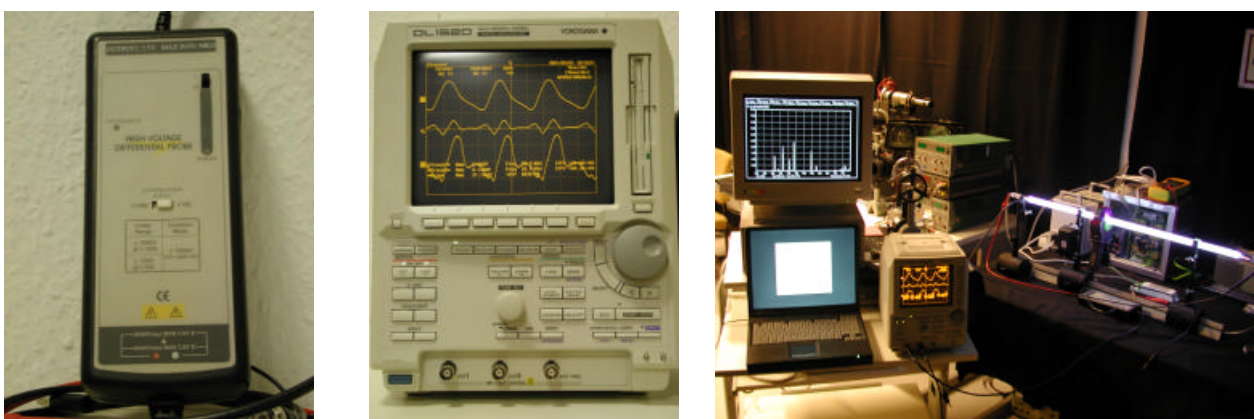


Bild 6 HF-Differentialteiler ($\pm 7\text{KV}$, galvan. Trennung), Digitalspeicher-OSZ, Laboraufbau zur Spektralmessung mit Kurvenformanalyse und FFT

Bei der Anwendung von Meßgeräten zur Erfassung elektrischer Parameter von HSLR ist strikt darauf zu achten, daß diese Geräte Echteffektivwerte anzeigen („True RMS“). Die

Verwendung anderer Geräte birgt nachweislich Meßfehler bis zu 65% in sich. Auch der sinusförmige Röhrenstrom eines Streufeldtrafos enthält geringe Verzerrungen, deren Ursachen in der Plasmaphysik liegen.

Weiterhin bekannt ist die Problematik der Kabelkapazitäten, welche bedingt durch den konstruktiven Aufbau einer Lichtwerbeanlage bis zu einigen Nanofarad betragen können. Durch die unvermeidbaren Schaltimpulse im Zusammenwirken mit räumlich verteilten Induktivitäten und Kapazitäten ist die Grenzstromüberschreitung (bemerkenswerte Stromspitzen) verbunden mit einer beachtlichen Sputterwirkung an den Elektroden nicht zu vernachlässigen. Diese Effekte sind in der Praxis nicht generell zu beseitigen, man kann ihnen derzeit nur mit einer höheren Sicherheitsauslegung der Elektroden sowie einer optimalen Leitungslängenverkürzung begegnen. Verschärft wird dieses Problem noch beim Einsatz von HF-EVG's, deren Ausgangsschwingkreis für sinusförmige Röhrenströme definierte Leitungslängen benötigt. Eine Längenmodifikation der Anschlußleitungen eines angepaßten HF-EVG's hat zwangsläufig eine Verstimmung des Ausgangsschwingkreises mit einer Verzerrung des Röhrenstromes zur Folge. Daraus kann eine drastisch reduzierte Lebensdauer der Elektroden resultieren. Obwohl nicht primärer Forschungsgegenstand, hoffen die Autoren zum Projektabschluß dazu eine befriedigende Lösung vorstellen zu können.

4. Erste Ergebnisse und Hinweise zum effizienten Betrieb von HSLR

Wie bereits im letzten Abschnitt angeführt wurde, ist zum energieeffizienten Betrieb von HSLR in jedem Falle der HF-Betrieb gegenüber dem konventionellem Betrieb mit 50 Hz vorzuziehen. Die wesentlichen Vorteile liegen bei einem gemessenen Lichtstromgewinn von ca. 7...8,5% und das bereits bei einer Frequenz von 16 KHz. Eine weitere Steigerung bis zu 1,5% ist durch die Erhöhung der Frequenz auf ca. 40 KHz erzielbar.

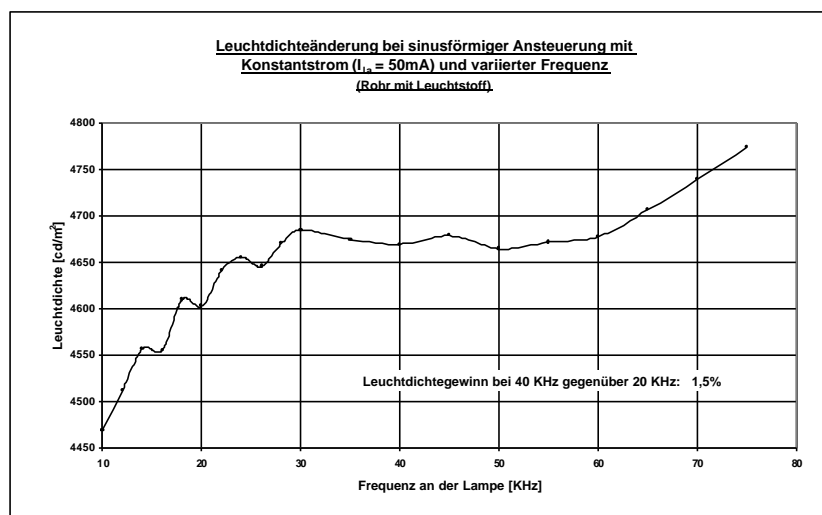


Bild 7 Leuchtdichteänderung einer HSLR bei variierter Frequenz

Diese Frequenz ist als optimale Betriebsweise anzusehen, da im Lichtstromgewinn bereits eine sichere Sättigung zu verzeichnen ist und die EMV-Problematik in diesem Frequenzbereich noch keine großen Komplikationen verursacht. Außerdem sollte mit Rücksicht auf unsere Umwelt (z.B. Tiere) die Frequenz nicht geringer gewählt werden. Zwar liegt sie jenseits der Hörschwelle des Menschen, aber Hunde, Fledermäuse etc.

besitzen einen erweiterten Hörbereich und werden durch Frequenzen um die 30 KHz beeinträchtigt. Ein weiterer Vorteil des HF-Betriebes liegt neben den geringeren Vorschaltgeräteverlusten, der Dimm- und Steuerbarkeit in einer verbesserten Zündfreudigkeit der Röhren. Diese äußert sich bei Frequenzsteigerung in einer Zündspannungsabsenkung, welche bei den Messungen bei $\Delta f = 20\text{KHz}$ mit ca. 2% ermittelt wurde. Die anfänglichen Schwingungsvorgänge sind auf Resonanzen des Versuchsaufbaus zurückzuführen und wurden nicht in die Approximation einbezogen.

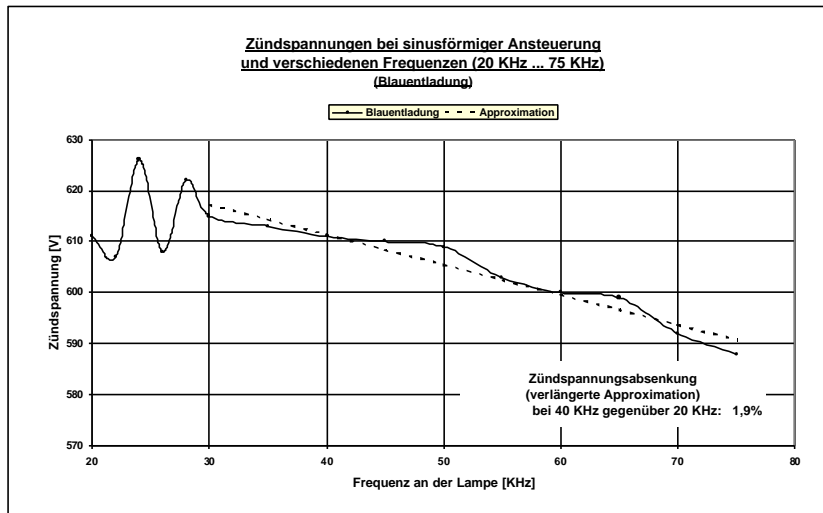


Bild 8 Zündspannungsabsenkung einer HSLR bei variiert Frequenz

Generell ist beim Betrieb von HSLR mit HF-EVG's aber sehr darauf zu achten, daß im Interesse einer langen Elektrodenlebensdauer Geräte eingesetzt werden, welche eine möglichst sinusförmige Ansteuerung der Röhren erlauben. Die noch unbekanntenen Auswirkungen der im letzten Abschnitt angesprochenen Spannungs- und Stromspitzen ungeeigneter Geräte werden derzeit untersucht. Die folgenden Bilder zeigen sowohl ein untaugliches als auch ein sehr geeignetes EVG, dessen Betriebsparameter beispielhaft sind.

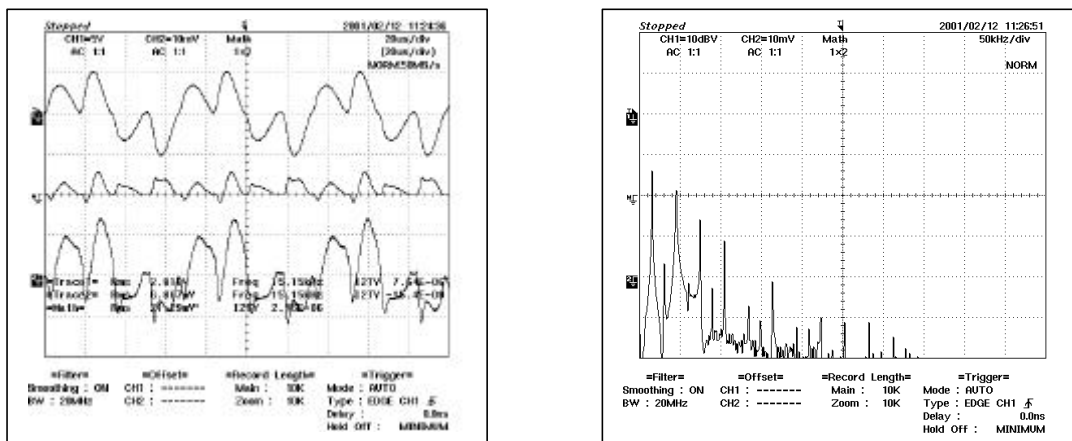


Bild 9 Röhrenspannung, Lampenleistung, Röhrenstrom und FFT der Röhrenspannung eines marktüblichen, aber sehr ungeeigneten HF-EVG's

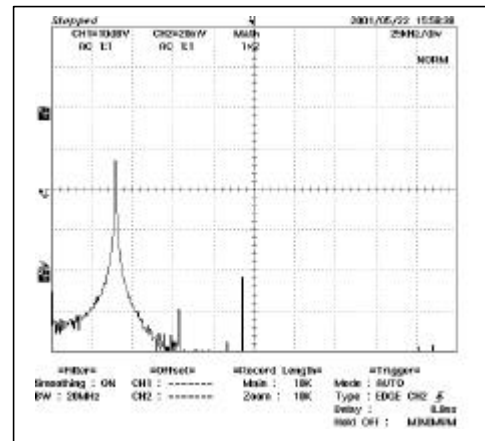
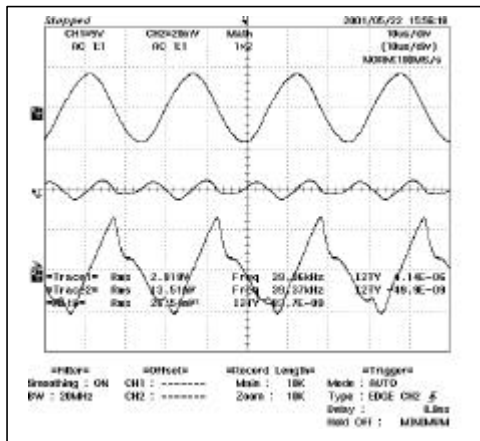


Bild 10 Röhrenspannung, Lampenleistung, Röhrenstrom und FFT der Röhrenspannung eines sehr empfehlenswerten HF-EVG's mit ausgezeichneten Betriebsparametern

Zwecks Optimierung der Beschichtungstechnologie und Beurteilung der Leuchtstoffe wurden einige Versuchsröhren einer Langzeitmessung bis zu 800 Stunden unterzogen und dabei verschiedene lichttechnische Parameter gemessen.

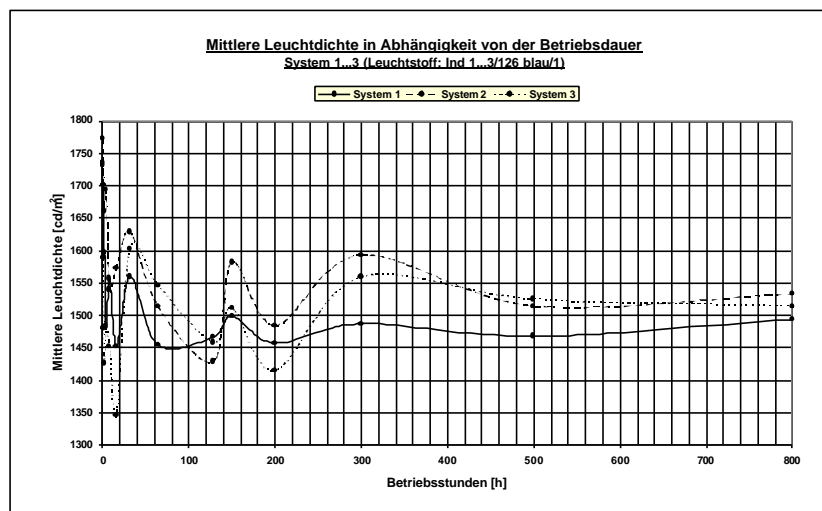


Bild 11 Abfall der mittleren Leuchtdichte über der Röhrenbetriebsdauer

Die deutlich sichtbaren Einschwingvorgänge sind nach derzeitigem Erkenntnisstand auf Umgebungstemperaturschwankungen von 2...3°C zurückzuführen. Um den Alterungsprozeß mathematisch genauer approximieren zu können, werden diese Messungen mit identischen Röhren in einem thermostatisierten Wasserbad liegend wiederholt. Gleichfalls vorgenommene Farbortmessungen mittels Präzisions-Spektralmeßgerät ergaben eine gute Farbstabilität der Leuchtstoffe in den ersten 800 Betriebsstunden. Charakteristisch für die Alterung einer HSLR ist neben dem Anstieg der Elektrodentemperatur um ca. 5...10°C auch eine Erhöhung der Brennspannung, selbst wenn der Röhrenstrom konstant gehalten wird.

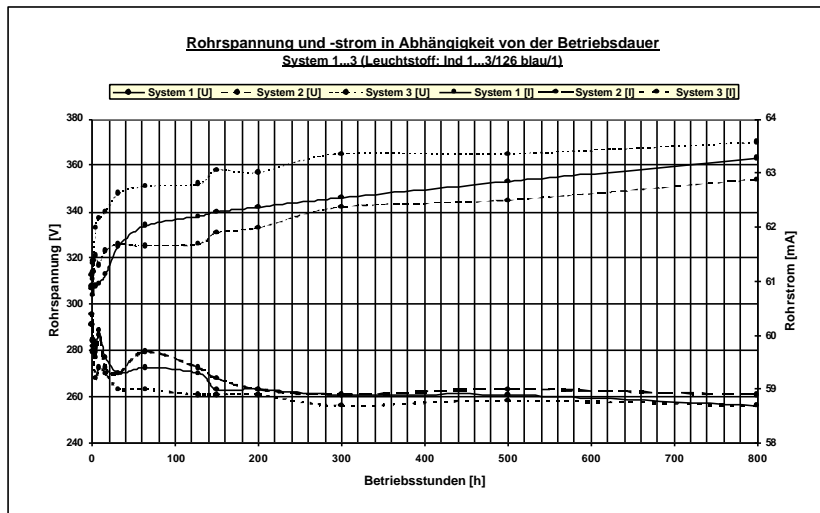


Bild 12 Brennspannungsanstieg bei konstantem Strom über der Röhrenbetriebsdauer

In der Praxis eingesetzte HSLR sind im Außenbereich nebst Vorschaltgerät oft in geschlossene Gehäuse eingebaut und unterliegen somit dem Temperaturprofil im Inneren dieser Gehäuse. Wie an dieser Stelle nicht weiter dokumentierte Messungen belegen, wirkt sich dieses Temperaturgefälle deutlich auf die Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte aus. Entgegen der in der Literatur weit verbreiteten Meinung, daß die kälteste Stelle der Lampe den gesamten Dampfdruck der Entladung bestimmt, wurde durch einfache Experimente (lokale Abkühlung) nachgewiesen, daß der Partialdruck an verschiedenen Stellen im Innern der Lampe eben nicht gleich ist, woraus sich die Leuchtdichteungleichmäßigkeiten erklären. Generell ist es sinnvoll, die Becherelektroden von HSLR in geschlossenen Gehäusen möglichst unten anzuordnen, da sich der thermische Auftrieb günstig auf das angesprochene Temperaturprofil auswirkt. Weiterhin können die Gehäuse an geeigneten Stellen mit Löchern versehen werden, wodurch die gesamte innere Thermik begünstigt und sichtbare Leuchtdichtedifferenzen reduziert werden.

Sicherlich stellt sich im Vergleich zum Betrieb herkömmlicher Leuchtstofflampen die Frage, warum nicht auch HSLR statt der Becherelektroden aus den 30-er Jahren mit Wendeelektroden ausgerüstet werden. Die Wendeelektroden haben in der Tat einige wesentliche Vorteile wie z.B. deutlich geringere Katodenfälle von ca. 40V gegenüber den Bechern mit ca. 150V. Damit würden sich die Hochspannungsprobleme (Installations- und Sicherheitsvorschriften bei Anlagen bis 1000V) bei jeder Röhre mit 2 Elektroden um ca. 220V reduzieren. Weiterhin besitzen die Wendeln bei richtiger Auslegung eine wesentlich höhere Lebensdauer als die Becherelektroden. Der grundlegende Unterschied zwischen den Elektrodentypen besteht darin, daß entsprechend der charakteristischen Strom-Spannungs-Kennlinie der Gasentladung die Becherelektroden mit vergleichsweise geringen Elektrodentemperaturen stets im Bereich der Glimmentladung arbeiten. Wendeelektroden haben wesentlich höhere Betriebstemperaturen, arbeiten im Gebiet der Bogenentladung und bilden einen Brennfleck aus.

Bild 13 zeigt das Zündverhalten einer speziellen Wendeelektroden-HSLR, wobei das große Schwingungspaket den Bereich der Glimmentladung kennzeichnet, der Bereich der Bogenentladung ist im rechten Teil des Oszillogramms sichtbar. Die Unsymmetrien der Spannungsüberhöhungen an den „Eckpunkten“ der Schwingungspakete bezüglich der X-Achse resultieren aus dem Aufbau der speziellen Versuchsröhren, welche auf einer Seite mit einer herkömmlichen Becherelektrode und auf der anderen Seite mit einer Wendel ausgestattet waren. Dadurch wurde eine eventuelle unübersichtliche Überlagerung des Verhaltens zweier Wendeln welches kaum absolut identisch ist, eliminiert.

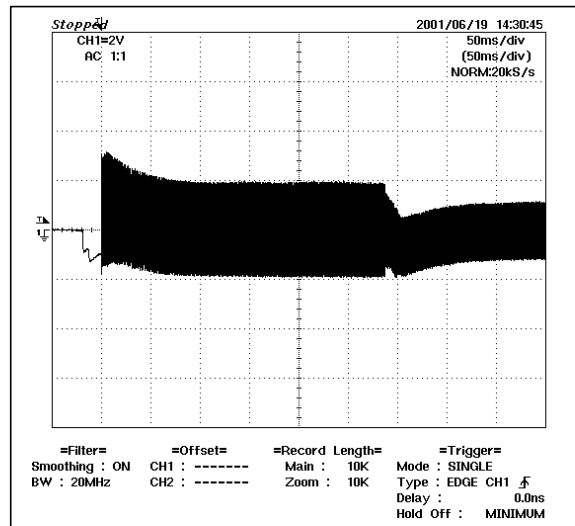


Bild 13 Zündverhalten einer HSLR mit Wendelelektrode

Wichtig ist neben einer geeigneten Auslegung der Wendeln für die entsprechenden Rohrströme die Schaffung eines optimalen Zündregimes um eine lange Lebensdauer der Elektroden zu gewährleisten. Diese umfassenden Untersuchungen mit verschiedenen Wendeltypen sind ebenfalls Gegenstand des laufenden Forschungsprojektes zur Verbesserung der technischen Eigenschaften von HSLR.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die anfangs beschriebenen technologischen Probleme bei der Herstellung qualitativ hochwertiger HSLR heute durchaus beherrschbar sind. Zwar wurden im Laufe vieler Jahre z.B. im Zuge eines stärkeren Umweltbewußtseins wesentliche Veränderungen bezüglich Leuchtstoff, Evakuierungsprozeß und Gasfüllung vorgenommen, deren fehlende, fachlich korrekte und vollständige Dokumentation im heutigen Technologiedefizit münden, jedoch hat sich im Laufe dieser Zeit auch die zur Verfügung stehende Meßtechnik erheblich verbessert. So ist es heute beispielsweise mittels Massenspektroskopie und moderner Rechentechnik möglich, eine genaue Gasanalyse bei der Herstellung der HSLR direkt bei der Fertigung am Pumpstand durchzuführen und schädliche Einflußfaktoren (Wassergehalt der Luft, Verunreinigungen etc.) zu lokalisieren und auszuschließen. Die Entwicklung der HF-EVG's verbunden mit der Möglichkeit der Datenerfassung mit dem Digitalspeicheroszilloskop ist ein weiterer Meilenstein auf dem Weg zur modernen HSLR. Nicht zuletzt wird auch die Änderung der Elektrodenkonfigurationen ihren Beitrag dazu leisten, energieeffizientere Röhren zu bauen, welche eine erhöhte Lebensdauer besitzen. Durch komplexe Anwendung der zur Verfügung stehenden modernen Meßmittel und Werkzeuge wird es möglich sein, der „alten“ HSLR verbesserte Eigenschaften zu geben und ihr auch angesichts anderer Techniken einen festen Platz bei der energieeffizienten Ausleuchtung großer Werbeflächen zu sichern.

METHOD OF MEASUREMENT OF THE IGNITION TIME OF A FLUORESCENT LAMP CONNECTED TO AN ELECTRONIC BALLAST

Constantinescu Adrian-Daniel - ICPE Bucharest, Caracas Mircea-Gheorghe, Costea-Marcu Ioan, Grad Bogdan - ICPE-ME Bucharest

1. Introduction

The light emitted by a fluorescent lamp connected to an electronic ballast has no perceptible stroboscopic effect and the ignition of the lamp is realized without flickering.

These subjective effects must be objectively demonstrated by measuring the electric and lighting parameters. If there is no problem to do the measurements when the frequency is 50 Hz, the frequency of the network, we may have problems to find the necessary apparatus to do the measurements when measuring the high frequencies of the electronic ballast.

2. Method of measurement

The method consists in the conversion in an electric pulse, that can be observed on an oscilloscope, of the moment when the voltage, electric current or light appears. The prime moment is considered the moment of switching on the power source. The other moments sequence is presented in figure 1.

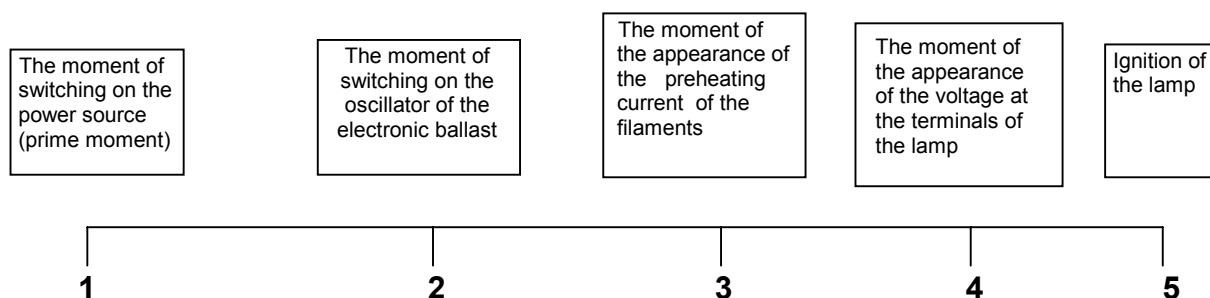


Figure 1

For successive measurements the lamp must be, each time, in the same thermal situation (cold lamp). That is why, between the successive measurements, a long enough brake it's necessary.

The periods of time that can not be directly measured are obtained as differences between the periods that are directly measured.

For getting accurate results there have been used light couplers generating very low interference capacities and a command circuit that connects the alternating voltage at its bypassing through zero. At the same time, the circuit that detects the filament preheating current and the one that detects the voltage at the terminals of the lamp has to accomplish a very low capacity to the earth.

After the ignition of the lamp the circuit used to detect the light can be used to detect the frequency of the luminous flux which has twice the value of the frequency of the ballast.

To do the same measurement for an electronic ballast that has a higher frequency of the preheating current in respect with the functioning one it can be used a magnetic field transducer (a magnetic inductor coupled to the supply wires of the lamp)

3. Schemes used for the measurements

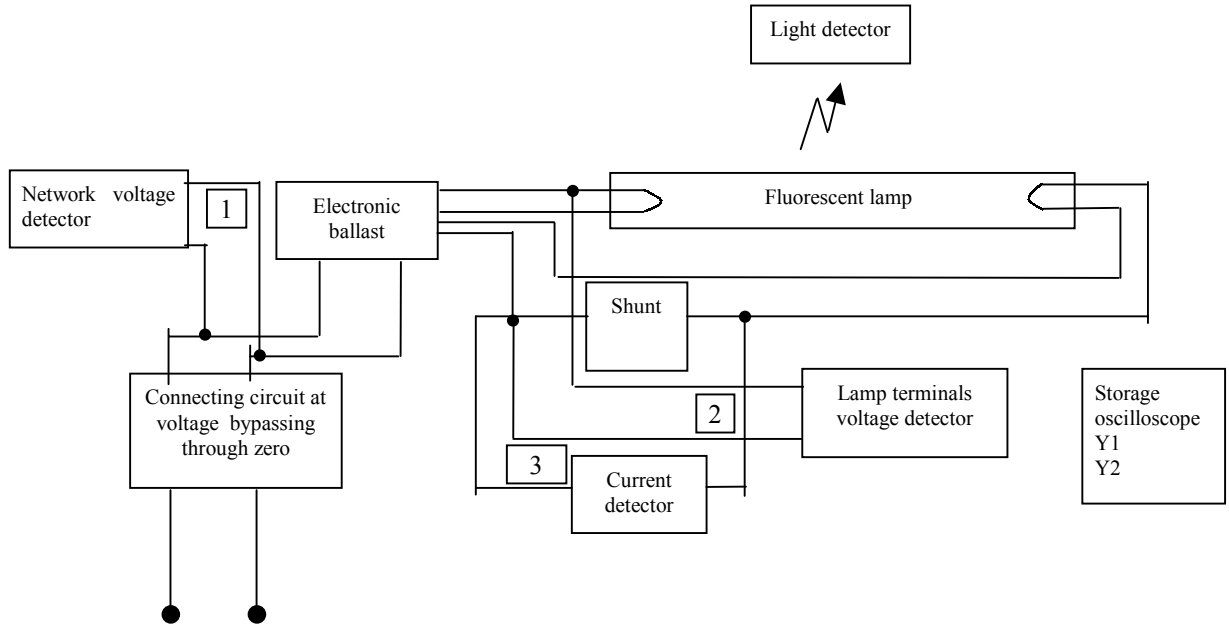


Figure 2 Block scheme of the measure circuit

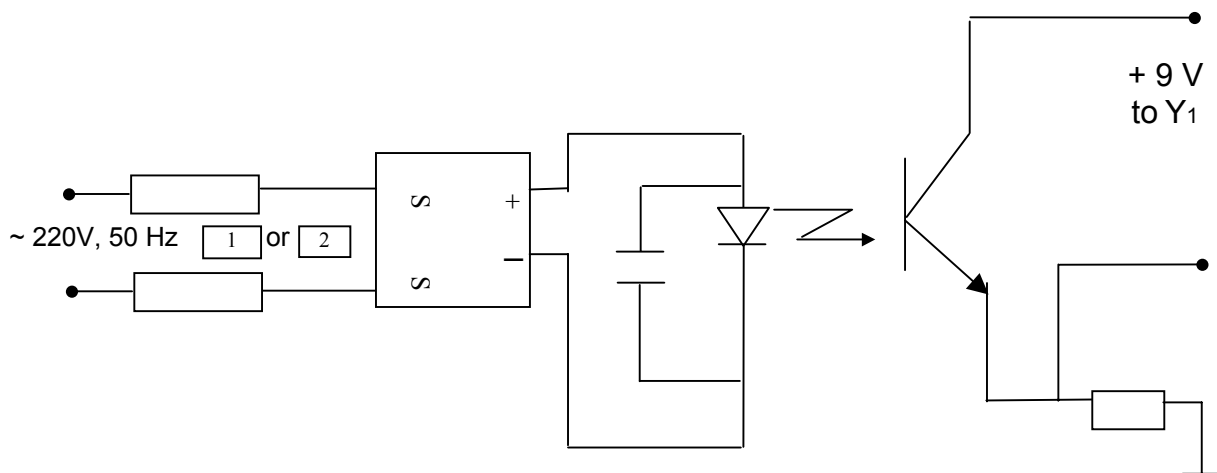


Figure 3. The principle scheme used to mark the appearance of the voltage at the terminals of the lamp and of the network

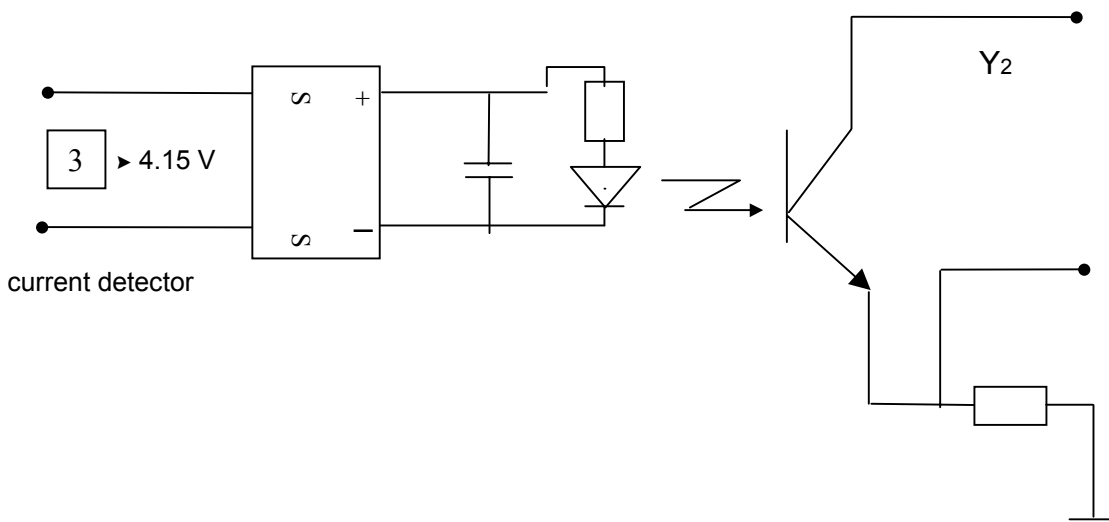
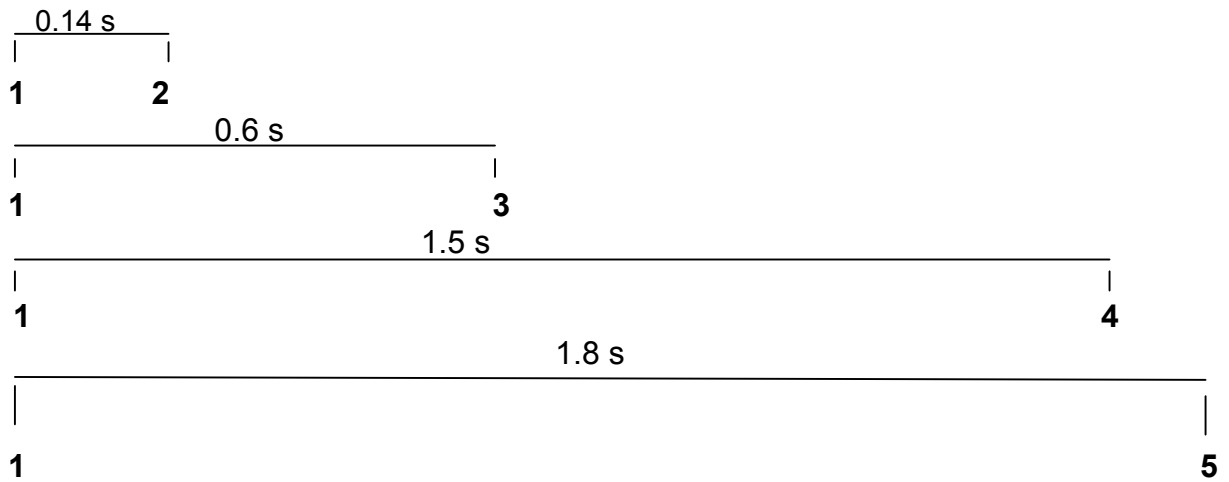


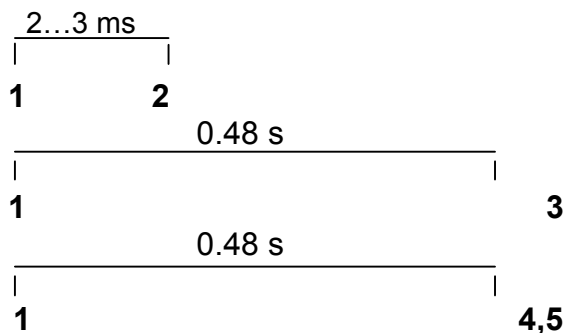
Figure 4. The principle scheme used to detect the appearance of the current through the lamp

4. Experimental results

For an electronic ballast 1x58W, supplying a tubular fluorescent lamp of 58W and 26mm diameter, the results, according to figure 1, are the following:



For an integrated fluorescent lamp of 22W, modified to correspond to IEC 1000-3-2, the results, according to figure 1, are the following:



According to cap.2, the oscillating frequencies of the ballast have been determined by calculation. Being the double of the frequency of the luminous flux they are :

- for the 58 W lamp 25 kHz;
- for the 22 W lamp 38 kHz.

5. Conclusions

The method helps to establish the values of the periods that are parts of the global ignition time as it is presented by the manufacturers of electronic ballast and fluorescent lamps. That offers the opportunity to analyze if the lamp is correctly preheated. As it is known, preheating is a very important element that contributes to a longer life time of the lamp.

Comparing to the results in cap.3, the most frequent values for the ignition time presented by the manufacturers are 1.5s , 2s for the fluorescent lamps connected to an electronic ballast with or without adjustment of the light intensity.

COMPUTER AIDED DESIGN OF REFLECTORS FOR LIGHTING FIXTURES

Dr. Eng. Stoyo Platikanov, M.Sc. Eng. Plamen Tzankov, Dr. Eng. Roumen Vasilev

Laboratory of Light Technic, Technical University of Gabrovo
4, H. Dimitar str., 5300 Gabrovo, Bulgaria
e-mail: plamen_tzankov@yahoo.com

Over the last few years the design of lighting fixtures has been developing very successfully due the possibilities of modern computer technology. The existing methods for design and construction of optical systems of luminaires have been implemented into specialized light engineering software products and CAD systems. [1, 2, 3]

The paper presents the research done on reflectors for optical systems of street lighting luminaires. It deals with 3D models of two types of street lighting luminaires that are used in Bulgaria:

Type I – with a reflector made up of separate elements enclosed in a canopy;

Type II – with a monolithic aluminum reflector-canopy (the reflector itself serves as a canopy).

The research has done through the following stages:

- constructing a 3D model of the reflector in CAD software;
- analysis of the 3D model in specialized software for luminaire optical analysis;
- comparative calculations with a street lighting design programme.

The reflector is constructed in AutoCAD 2000. An import of 3D CAD model for the lamp is done and it is placed in its location and orientation within the optical system being developed. Afterwards macros are used providing a method to construct two-dimensional (2D) curved reflector shapes that direct the reflected rays in an adequate manner to a specific point or a specific angle of reflection – Fig. 1. and Fig. 2.

A 3D reflector is modeled from the separate 2D curved reflector shapes, using the AutoCAD tools for drawing 3D surfaces – Fig. 3a, 3b, 4a, and 4b.

Software products for 3D luminaire design and analysis use the DXF and DWG formats of AutoCAD. [1]

The 3D model of the reflector is imported into the Photopia software product (Lighting Technologies). Photopia assigns the reflection characteristics of the reflector material according to measured bi-directional reflectance distribution function (BRDF) data. Calculations are performed following the probabilistic raytracing method, using real lamp geometries and measured intensity distributions, as well as measured directional reflectance data for used elements in the optical system. The main raytracing settings are:

Initial source rays – 100 000;

Number of lamp shadowing retries – 500;

Number of reflections – 5.

The graphic stage of the raytracing analysis is shown in Fig. 5.

Light distribution curves for the two types of street lighting luminaires are presented in Fig. 6. through Fig. 8. – Type I, and Fig. 9. and Fig. 10. – Type II.

The light distribution curves of actual luminaire models are presented in Fig. 8a, 8b – for Type I, and Fig. 10a, 10b - for Type II.

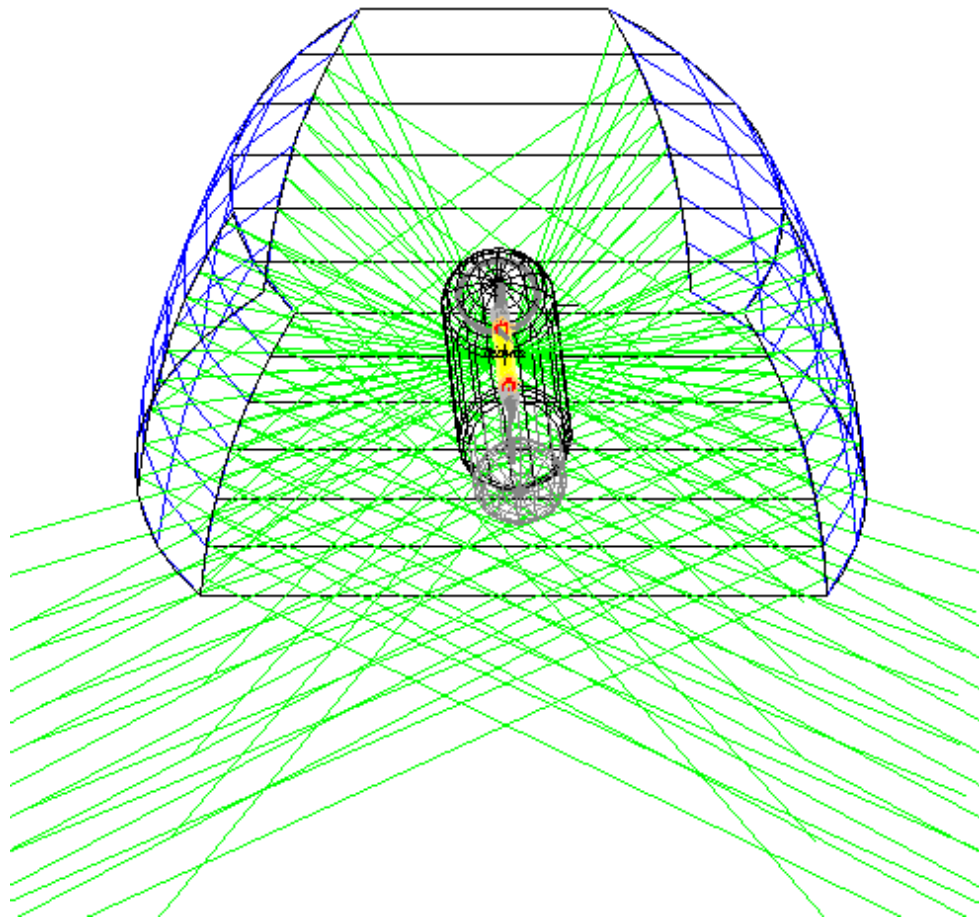


Fig. 1.
Street lighting luminaire
with a reflector made up of separate elements enclosed in a canopy

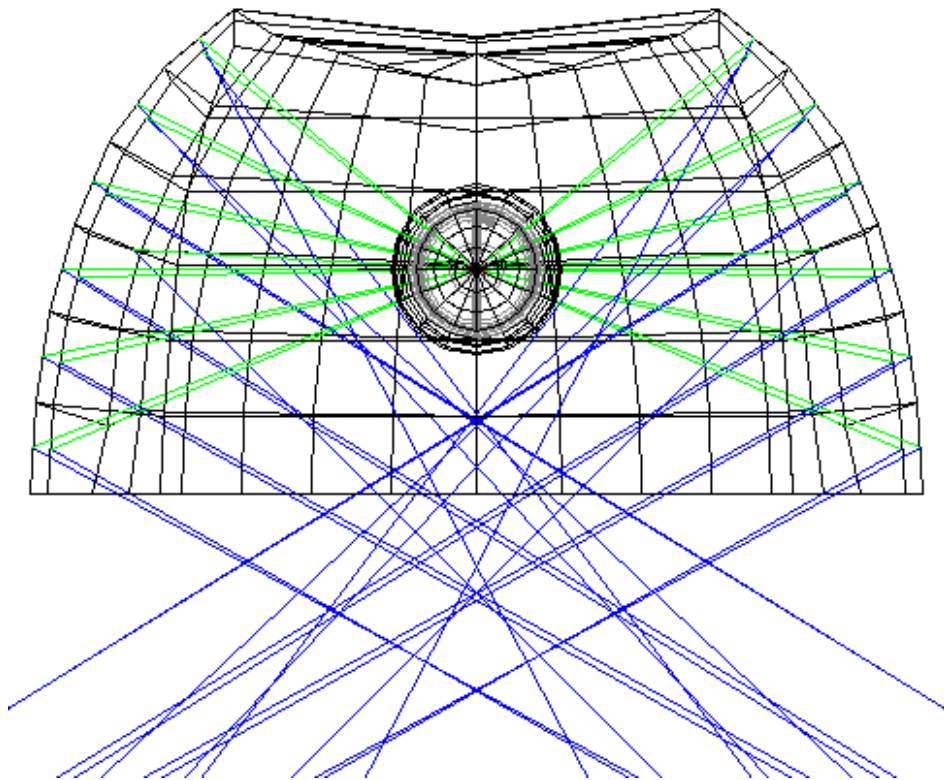


Fig. 2.
Street lighting luminaire with a monolithic aluminum reflector-canopy

Type I - Street lighting luminaire with a reflector made up of separate elements enclosed in a canopy

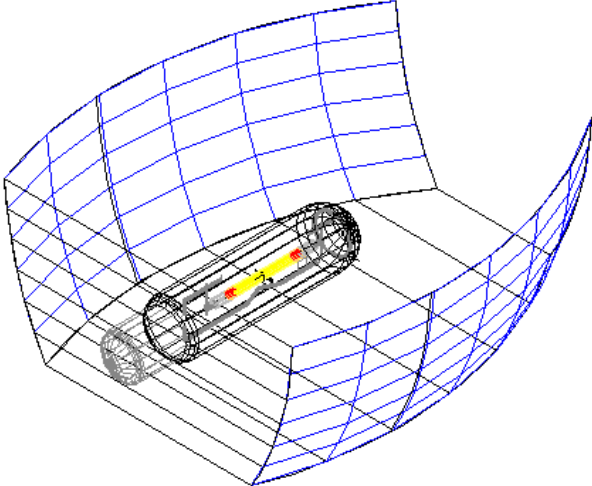


Fig. 3a. Tubular lamp SON-TP 150 W

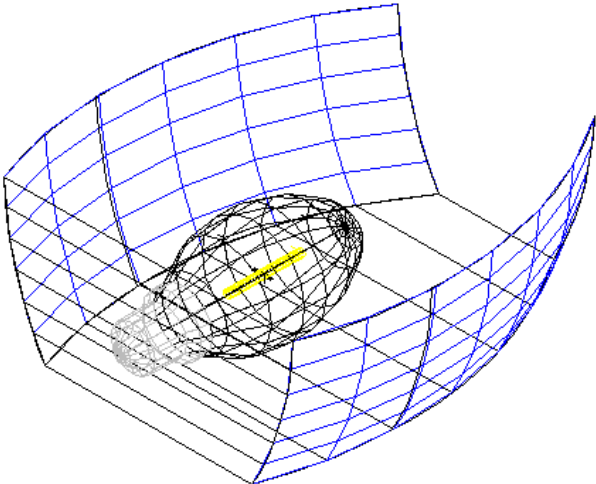


Fig. 3b. Elliptical lamp SON-P 150 W

Type II - Street lighting luminaire with a monolithic aluminum reflector-canopy

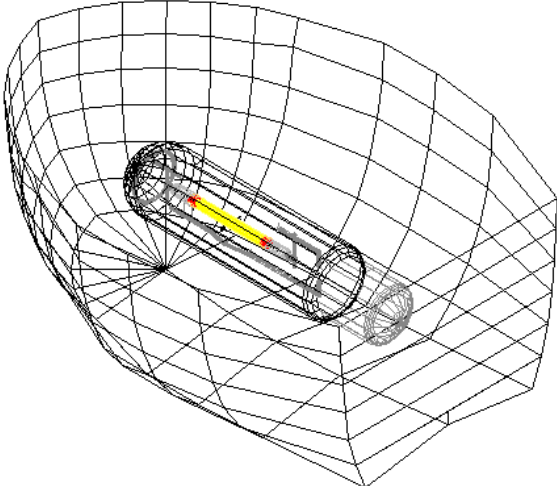


Fig. 4a. Tubular lamp SON-TP 150 W

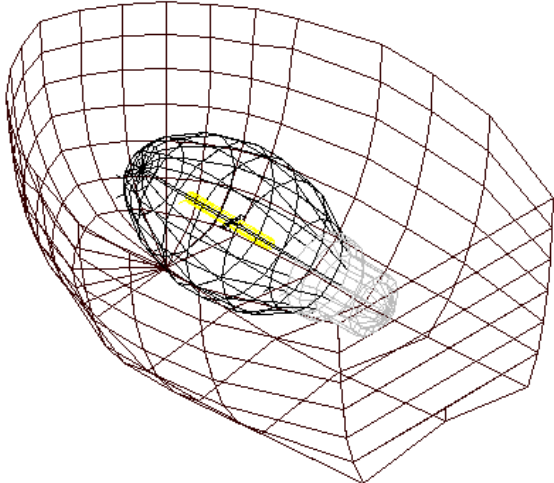


Fig. 4b. Elliptical lamp SON-P 150 W

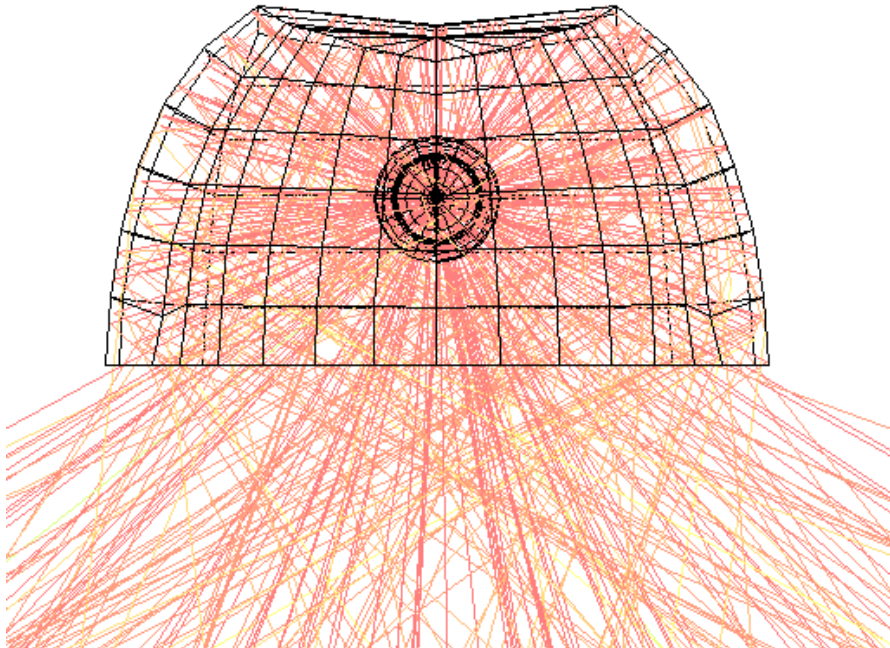


Fig. 5. Ray posting to geometry view

Light distribution curves of street lighting luminaire with reflector from separate elements closed in canopy – Type I

Luminaire with reflector constructed in AutoCAD

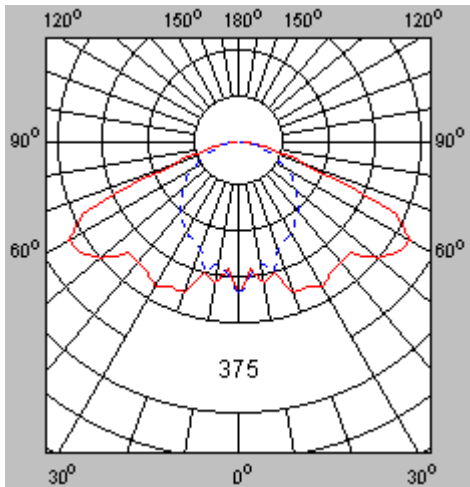


Fig. 6a. Tubular lamp SON-TP 150 W reflector material – stucco textured aluminum “Stucco-G” (Alanod)

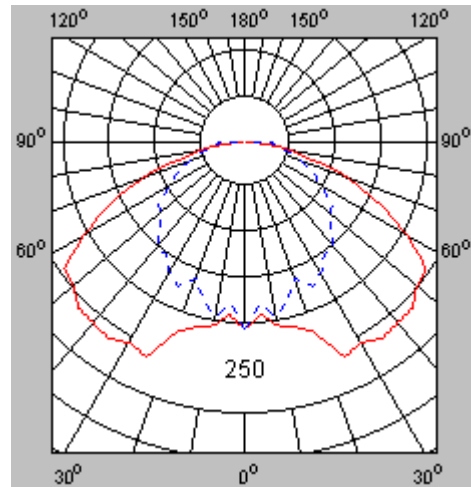


Fig. 6b. Elliptical lamp SON-P 150 W reflector material – stucco textured aluminum “Stucco-G” (Alanod)

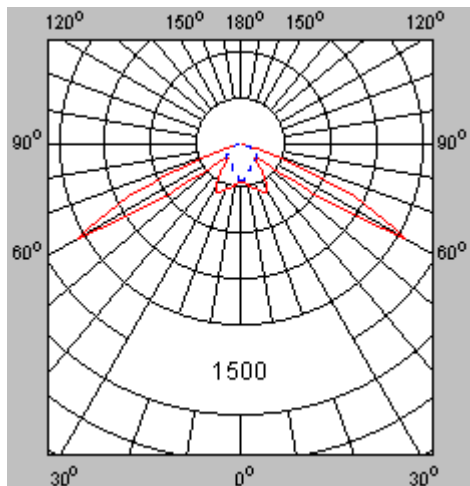


Fig. 7a. Tubular lamp SON-TP 150 W reflector material – semi-specular aluminum w/dial. coat “Miro 8” (Alanod)

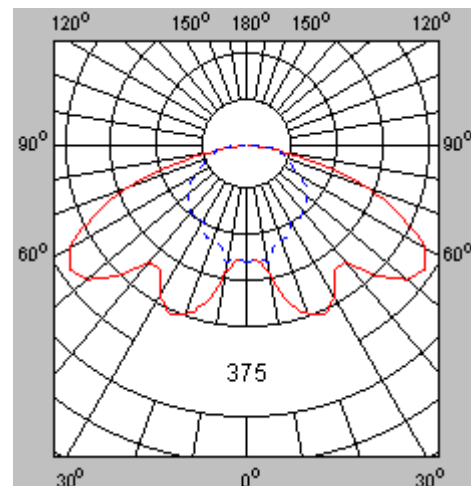


Fig. 7b. Elliptical lamp SON-P 150 W reflector material – semi-specular aluminum w/dial. coat “Miro 8” (Alanod)

Actual luminaire luminaire

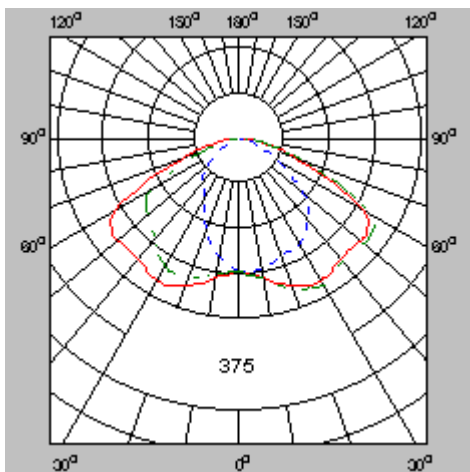


Fig. 8a. Tubular lamp SON-TP 150 W reflector material – stucco textured aluminum “Stucco-G” (Alanod)

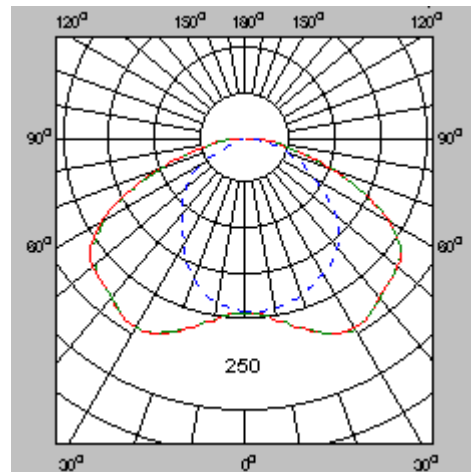


Fig. 8b. Elliptical lamp SON-P 150 W reflector material – stucco textured aluminum “Stucco-G” (Alanod)

Light distribution curves of street lighting luminaire with a monolithic aluminum reflector-canopy – Type II

Luminaire with reflector constructed in AutoCAD

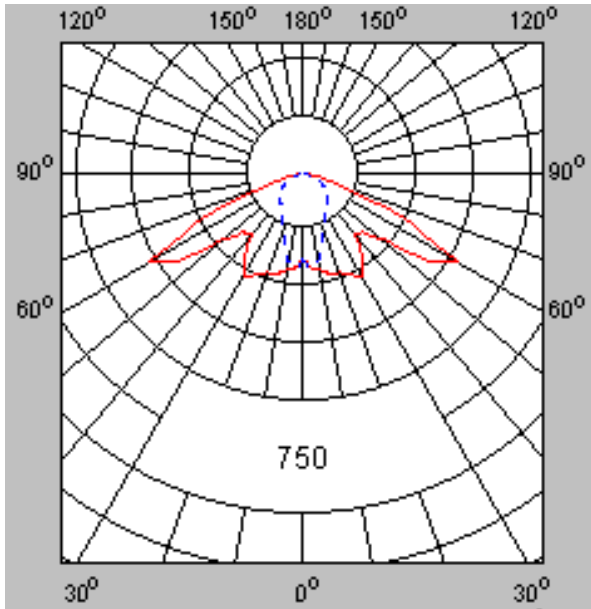


Fig. 9a. Tubular lamp SON-TP 150 W reflector material – semi-specular aluminum “1500 G/3” (Alanod)

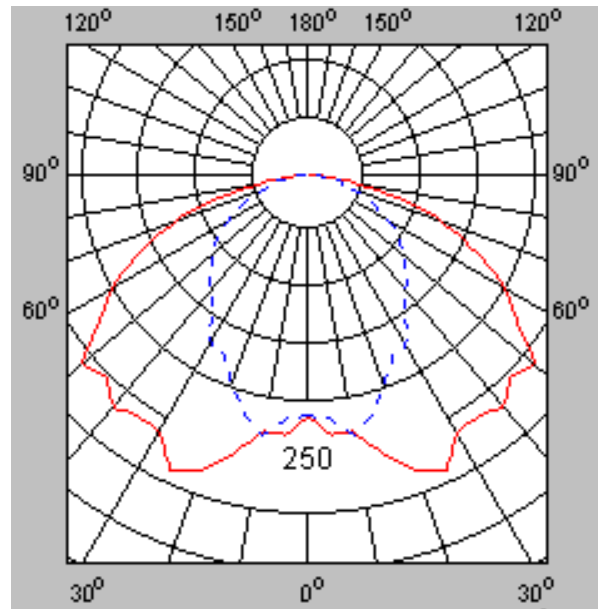


Fig. 9b. Elliptical lamp SON-P 150 W reflector material – semi-specular aluminum “1500 G/3” (Alanod)

Actual luminaire

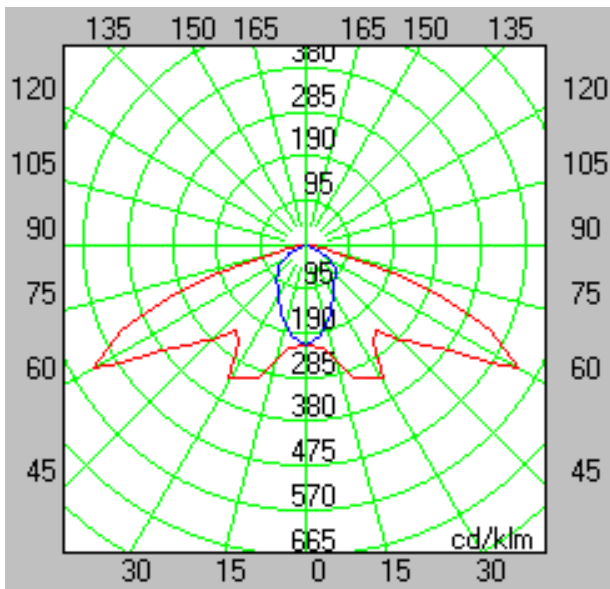


Fig. 10a. Tubular lamp SON-TP 150 W

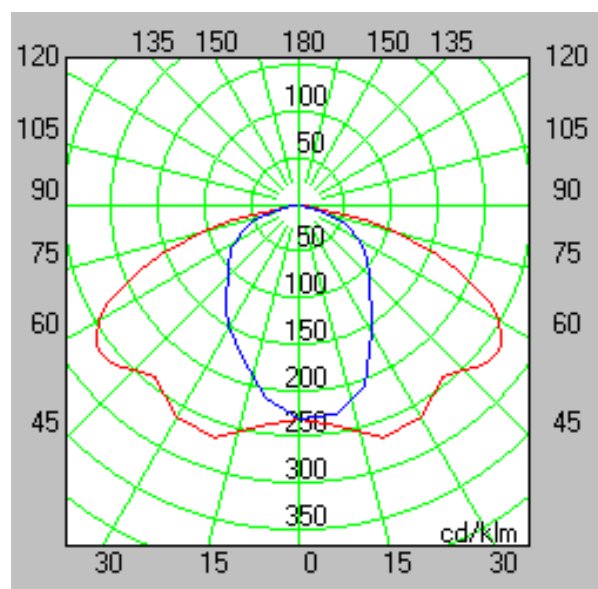


Fig. 10b. Elliptical lamp SON-P 150 W

Table1.

Computer model of street lighting luminaire				Total Luminaire Optical Efficiency	IES Roadway Classification	Maximum candela
Type	Lamp type	Reflector material	Light distribution curve			
I	SON-P 150W	Stucco-G	Fig.6b	79.7%	Type V, semicutoff	264 at 35.00v and 90.00h
		Miro 8	Fig.7b	87.9%	Type V, short, cutoff	358 at 55.00v and 90.00h
	SON-TP 150W	Stucco-G	Fig.6a	84.0%	Type V, short, cutoff	326 at 60.00v and 90.00h
		Miro 8	Fig.7a	91.5%	Type V, short, cutoff	1251 at 60.00v and 90.00h
II	SON-P 150W	1500 G/3	Fig.9b	81.3%	Type V, cutoff	288 at 25.00v and 90.00h
	SON-TP 150W	1500 G/3	Fig.9a	86.7%	Type V, short, cutoff	469 at 60.00v and 90.00h

Table2.

Street lighting luminaire					Calculation results				
Type	Lamp type	Model	Reflector material	Light distribution curve	L ave	U ₀	U _l	TI (%)	Eh ave
I	SON-P 150W	Computer	Stucco-G	Fig.6b	1.10	0.70	0.79	5.8	19.3
			Miro 8	Fig.7b	1.40	0.60	0.75	5.6	22.3
		Actual	Stucco-G	Fig.8b	1.03	0.68	0.81	8.1	18.4
	SON-TP 150W	Computer	Stucco-G	Fig.6a	1.32	0.68	0.75	5.2	22.4
			Miro 8	Fig.7a	1.83	0.42	0.27	3.5	26.7
		Actual	Stucco-G	Fig.8a	1.22	0.65	0.82	7.3	22.1
II	SON-P 150W	Computer	1500 G/3	Fig.9b	1.16	0.69	0.80	4.7	20.9
		Actual	1500 G/3	Fig.10b	1.00	0.70	0.89	4.7	18.0
	SON-TP 150W	Computer	1500 G/3	Fig.9a	1.40	0.54	0.53	3.1	24.3
		Actual	1500 G/3	Fig.10a	1.40	0.56	0.63	8.4	21.0

Table 1 shows the total luminaire optical efficiency, IES roadway classification and maximum candela data for the constructed optical systems.

Table 2 shows the results of the light engineering calculations of a standard installation for street lighting used in Bulgaria for streets with a trolleybus transport. The average road luminance L ave [cd/m²], overall uniformity U₀, uniformity lengthwise - U_l, relative threshold increment - TI (%) and average road Illuminance - Eh ave [lux] have been calculated. The calculations are performed for the two types of luminaries Type I - with a reflector made up of separate elements enclosed in a canopy and Type II - with a monolithic aluminum reflector-canopy. Results are given for the two models – actual model and computer model. The computer models of the optical systems have been developed for two types of light sources – tubular and elliptical high-pressure sodium lamps.

The comparison of light distribution curves (Fig. 6. through Fig. 8.) and the results of the calculations (Table 1 and Table 2) for the street lighting luminaire Type I lead to the following conclusions:

- When using stucco-textured aluminum (Stucco G) as a reflector material, adequate light distribution curves Fig. 6. and Fig. 8. are obtained for both types of lamps;
- When using semi-specular aluminum (Miro 8) as a reflector material, adequate light distribution curve is only obtained when the light source is an elliptical lamp – Fig. 7b;
- When using an elliptical lamp as a light source, higher optical efficiency=87.9% is obtained with the Miro 8 reflector material than the efficiency obtained with the Stucco G reflector material=79.7% - Table 1;
- The conclusions drawn about the shape of the light distribution curves are confirmed by Table 2 – Calculation results: L ave, U_0 , U_1 , TI (%) fall within the values recommended by the standard, except for the computer model with the Miro 8 reflector material and a tubular SON-TP lamp (Fig. 7a), for which $U_0=0.42$ and $U_1=0.27$ are inadmissibly low.

It can be concluded from the results of the calculations for both types of street luminaires that the calculation results for the computer models have admissible differences in values.

The conclusions stated above confirm the expediency and the accuracy of the method used in the paper of computer aided design and analysis of optical systems for lighting fixtures.

References

1. LD+A, Luminaire design software survey, IESNA, 1998.
2. AutoCAD 2000 Users Guide.
3. Photopia 1.5 Users Guide.
4. A. A. Korobko, Ways of Increasing the Efficiency of Light-engineering Calculations Using the Monte Carlo Method (Survey), Svetotehnika, issue 9, 1993 (in Russian).
5. O. K. Kusht, Optical Calculations of Light and Emmission Devices Using PC, Moscow, 1991 (in Russian).

Stand und Entwicklungstendenzen der lichttechnischen Software in Bulgarien

Dr. Ing. Krassimir Velinov - TU-Sofia

Abstrakt

Die Prüforgane fordern von den bulgarischen Planern die Durchführung vollständiger lichttechnischer Berechnungen zu den Beleuchtungsanlagen. Das bewirkt die relativ gute Verbreitung der lichttechnischen Software im Land.

Im Vortrag wird eine Übersicht der im Land verbreitetsten lichttechnischen Software dargestellt. Es werden auch Entwicklungstendenzen und Anforderungen an der lichttechnischen Software in Zusammenhang mit den neuen Möglichkeiten des Internet - Weltnetzes vorgestellt.

Einleitung

Die Leistungsfähigkeit der Personalcomputer ist in den letzten 10 Jahren explosionsartig gestiegen. Der Fortschritt im Computerbereich hat auch Auswirkung auf die Entwicklung der Lichttechnik. Die Vorbereitung eines lichttechnischen Projektes ist mit umfangreichen Berechnungen verbunden. Es ist undenkbar bei dem gegenwärtigen Technikstand sie manuell durchzuführen. Andererseits fordern die Prüforgane von den Planern in Bulgarien für jedes Projekt vollständige lichttechnische Berechnungen. Deshalb müssen die Planer bei der Projektvorbereitung Rechentechnik einsetzen.

Welche Probleme werden gelöst?

Zwei Aufgabengruppen sind definiert: - Systeme für Projektierung von Beleuchtungsanlagen und Systeme für Projektierung von Leuchten /Abb. 1/.

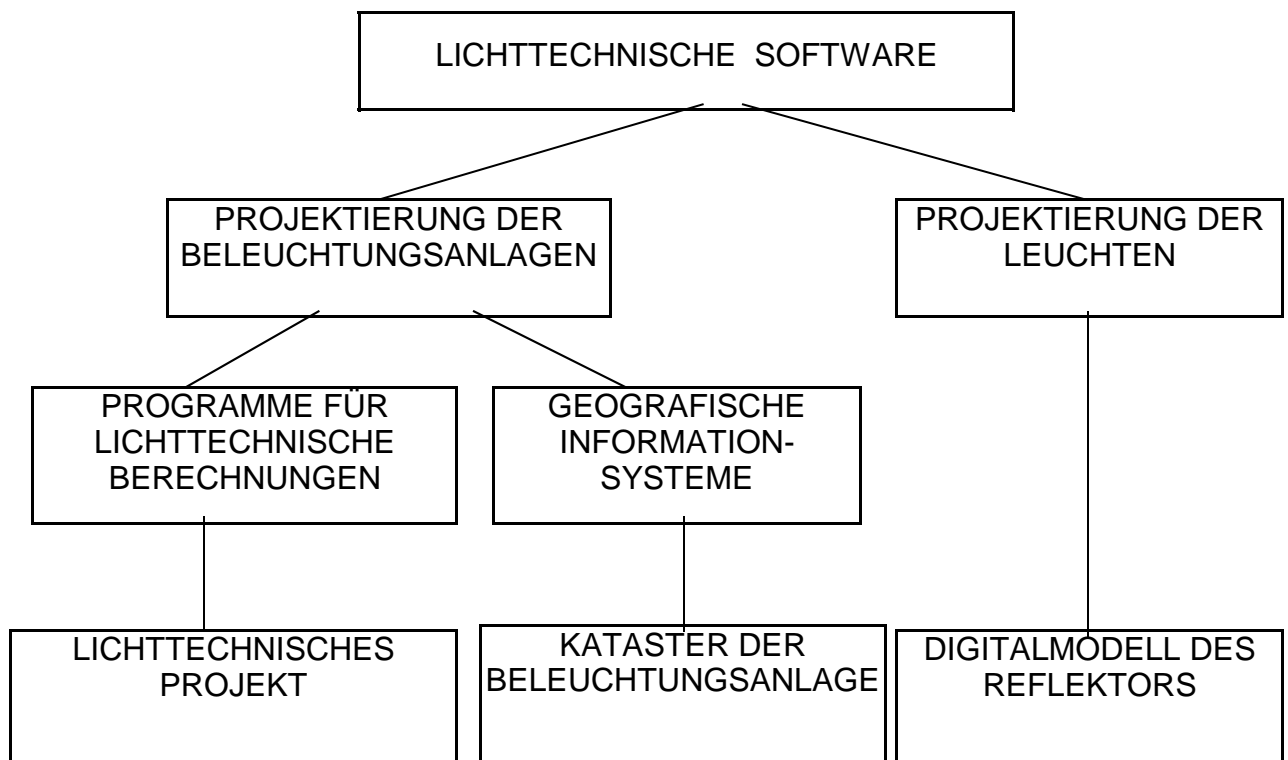


Abb. 1

Die lichttechnischen Berechnungsprogramme bilden die Grundlage für die lichttechnische Projektierung. Es gibt vier Programmklassen für die Projektierung folgender Beleuchtungsanlagen:

- Innenräume;
- Straßen;
- Sportanlagen;
- Straßentunnel.

Welche Programmprodukte werden in Bulgarien benutzt?

Der Einsatz der Rechentechnik für lichttechnische Planungsaufgaben hat in Bulgarien langjährige Tradition. Schon im Jahre 1976 sind die Programme für eine Projektierung von Innen-, Außen- und Sportanlagen im regelmäßigen Betrieb. Eine Voraussetzung dafür ist die große Anzahl der neu gebauten Gebäuden und Anlagen sowie auch die Möglichkeit Rechenzeit auf den vorhandenen Rechnern Typ IBM 370 zu mieten. Im Jahre 1982 begann nach einer Vereinbarung mit Apple II eine massenhafte Herstellung von Personalcomputern in Bulgarien. Ihre große Verbreitung unter den Planern von Beleuchtungsanlagen bewirkte eine große Nachfrage nach lichttechnischer Software. Für diesen Computertyp wurden die Projektierungsprogramme für Innen-, Straßen-, und Sportbeleuchtungsanlagen sowie für Straßentunnel entwickelt. Mit dem Beginn der Herstellung von IBM kompatiblen XT-Personalcomputern im Land im Jahre 1986 wurden die o.g. Programme für diesen Computertyp angepaßt. Ein schlechtes Userinterface der lichttechnischen Berechnungsprogramme war charakteristisch für diese Periode wegen den kleinen graphischen und rechnerischen Computermöglichkeiten, wie auch wegen der fehlenden Bereitschaft der Softwarehersteller mehr Arbeit darin zu investieren.

Inzwischen war das auch für mehrere ähnliche Produkte, die in dieser Zeit aus Europa eindringen, charakteristisch. Sie haben aber keine große Verbreitung wegen dem Unterschied in den Normanforderungen bei uns gefunden.

Eine richtige Entwicklung der lichttechnischen Software in Bulgarien begann nach dem Jahre 1992. Die Ursachen dafür sind folgende:

- die Verfügbarkeit von Computern mit höherer Rechen- und Graphikleistung;
- der Wechsel des politischen und wirtschaftlichen Systems im Land und die Möglichkeit private Firmen zu gründen;
- die Möglichkeit Autorenrechte zu schützen;
- eine große Verbreitung des graphischen Operationssystems WINDOWS im Land.

Die in dem Zeitraum 1992 - 1996 entwickelten Programme arbeiteten vorwiegend unter DOS und hatten eine sehr nutzerfreundliche Interface, graphische Visualisierung der Rechenergebnissen und eine Ausgabe von Vektorzeichnungen für die Anwendung in den gegenwärtig genutzten graphischen CAD-Systeme. Ein Beispiel der Berechnungsergebnisse von den in Bulgarien verbreitetsten Produkten entnimmt man den Abb. 2, 3 und 4. Eine kurze Beschreibung dazu ist unter der Web-Adresse: <http://web.hit.bg/krasiv/> => Software zu finden.

Die Stagnation im Land erreicht in den letzten Jahren einen solch hohen Stand, daß alle Ausgaben bis auf das Wesentlichste reduziert werden müssen. Die Beschaffung von lichttechnischer Berechnungssoftware wird damit zum Ausnahmefall. Das wirkt sich auch auf die Hersteller solcher Software aus. In dieser Situation haben nur zwei Firmen in einer Firmensoftware investiert und vertreiben sie kostenlos, allerdings nur mit den eigenen Leuchtendaten. Auf dieser Weise ist nach 1997 unter WINDOWS das DENI – Programm [1] für Projektierung von Innenbeleuchtungsanlagen ent-

standen. Das DENI-Programm ist kostenlos und hat ein außerordentlich nutzerfreundliches graphisches Interface sowie gute Bearbeitungsmöglichkeiten der Eingangsdaten /Abb. 5/.

Die Projektierung von Beleuchtungsanlagen beinhaltet nicht nur die lichttechnischen Berechnungen. Der Planer muß eine Zeichnung der Anlage erstellen oder sie in die vorhandene Kataster der Ortschaft eintragen. Zu diesem Zweck werden gewöhnlich graphische CAD-Programme angewandt. Eine große Verbreitung haben das AutoCAD – Programm sowie einige ähnliche Produkte gefunden. Wenn ein Objekt zu einer Ortschaft angebunden werden soll, werden geographische Informationssysteme als MapInfo, AutoCAD Map u.a. angewandt. In Bulgarien hat das geographische Informationssystem ACSTRE, das von einem Arbeitskollektiv der Technischen Universität Sofia [2] erarbeitet wurde, eine große Verbreitung gefunden /Abb. 6/. Von großem Interesse ist die Einbindung dieses geographischen Systems in den Programmen für Straßenbeleuchtung und Planung elektrischer Kabelnetze sowie auch die Zeichnung elektrischer Leitungen und die Berücksichtigung anderer unterirdischen Leitungen - Wasserversorgung, Abwasserleitungen, Fernheizung, Telefon, Gas u. a. [3]. Ein Problem entsteht analog auch bei der Planung elektrischer Anlagen für Innenbeleuchtung, Industriehallen und Büros. Zweifellos ist eine gute lichttechnische Lösung wichtig, aber schließlich wird sie zusammen mit allen anderen Elementen wie z.B. elektrische Anlagen in einer Zeichnung dargestellt.

Für die Erstellung dieser Zeichnung ist ein graphisches Programm, in Bulgarien meist AutoCAD, erforderlich. Zur Zeit existieren einige Erweiterungsmodule für AutoCAD, mit deren Hilfe schnell die Zeichnungen elektrischer Anlagen und eine quantitative Beurteilung der Anlage angefertigt werden können.

Ein selbständiger Zweig der lichttechnischen Software ist der Entwurf optischer Leuchtensysteme. Ohne die Hilfe des Computers ist die Entwicklung des Leuchtenreflektors eine sehr mühsame Aufgabe. In Abb. 7 ist eine Bildschirmdarstellung der Anwendung des in Bulgarien entwickelten REFLEKTOR- Programms zu sehen. Die Eingabe der Eingangsdaten ist sehr einfach. Das Programm zeigt die berechnete Lichtverteilung der Leuchte und generiert eine AutoCAD -Zeichnung[4].

Welche sind die weiteren Aussichten für die lichttechnische Software in Bulgarien?

Eine Besonderheit des Landes ist sein kleiner und armer Markt, was für die Entwicklung hoher Technologien nicht fördernd ist. Die Erstellung einer qualitativen Software benötigt viele Mannjahre Arbeit hochqualifizierter Spezialisten. Die Investitionen in diesem Bereich rechnen sich nicht, was einen technologischen Rückstand auf dieser Strecke verursachen wird. Eine Perspektive eröffnet die Anwendung der Internet-Technologien für die Zusammenarbeit von internationalen Arbeitsgruppen [5].

Die Erstellung einer Datenbank für die lichttechnischen Produktion in Bulgarien und ihre online-Veröffentlichung im Internet steht bevor.

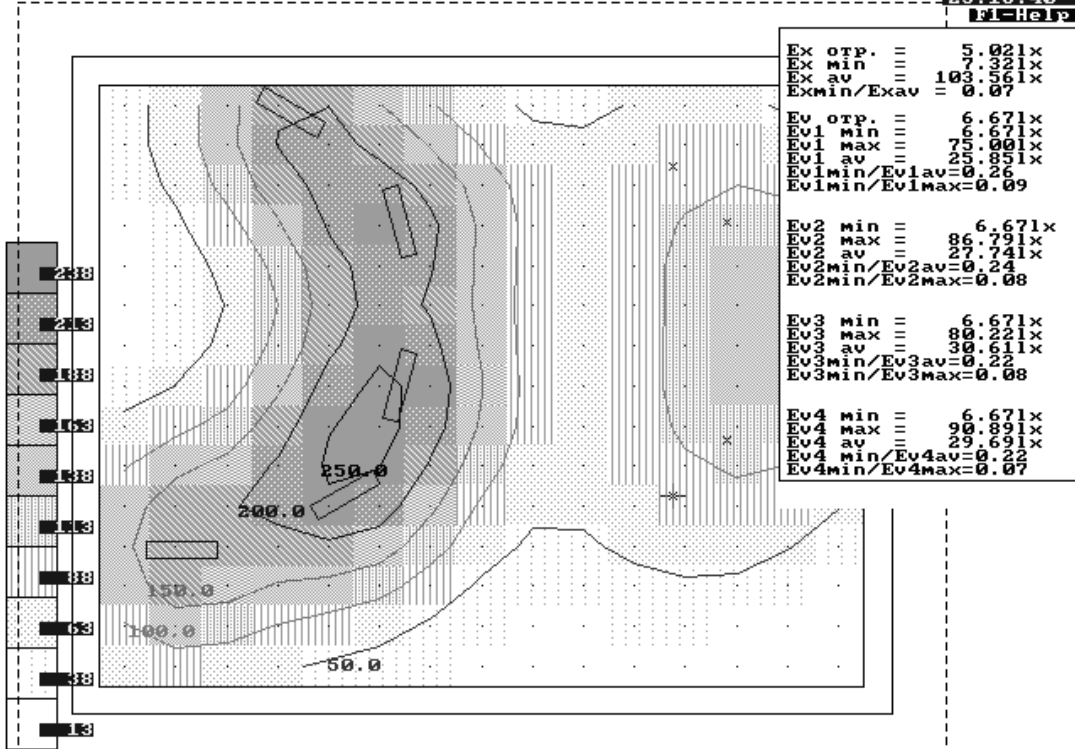
Zur Zeit laufen die meisten Rechner im Land unter WINDOWS. Die schnelle Verbreitung des Linux-Betriebssystems kann dies schnell ändern. Eine Anpassung bestehender lichttechnischer Software für dieses Operationssystem wird damit erforderlich.

Въведете координатите на осветителя!

горизонтална осветеност

23:16:40

F1-Help



X= 11.00 Y= 4.00 H= 2.90 N=12 Step= 1.00 No 1/1 Fi=150° фаза N

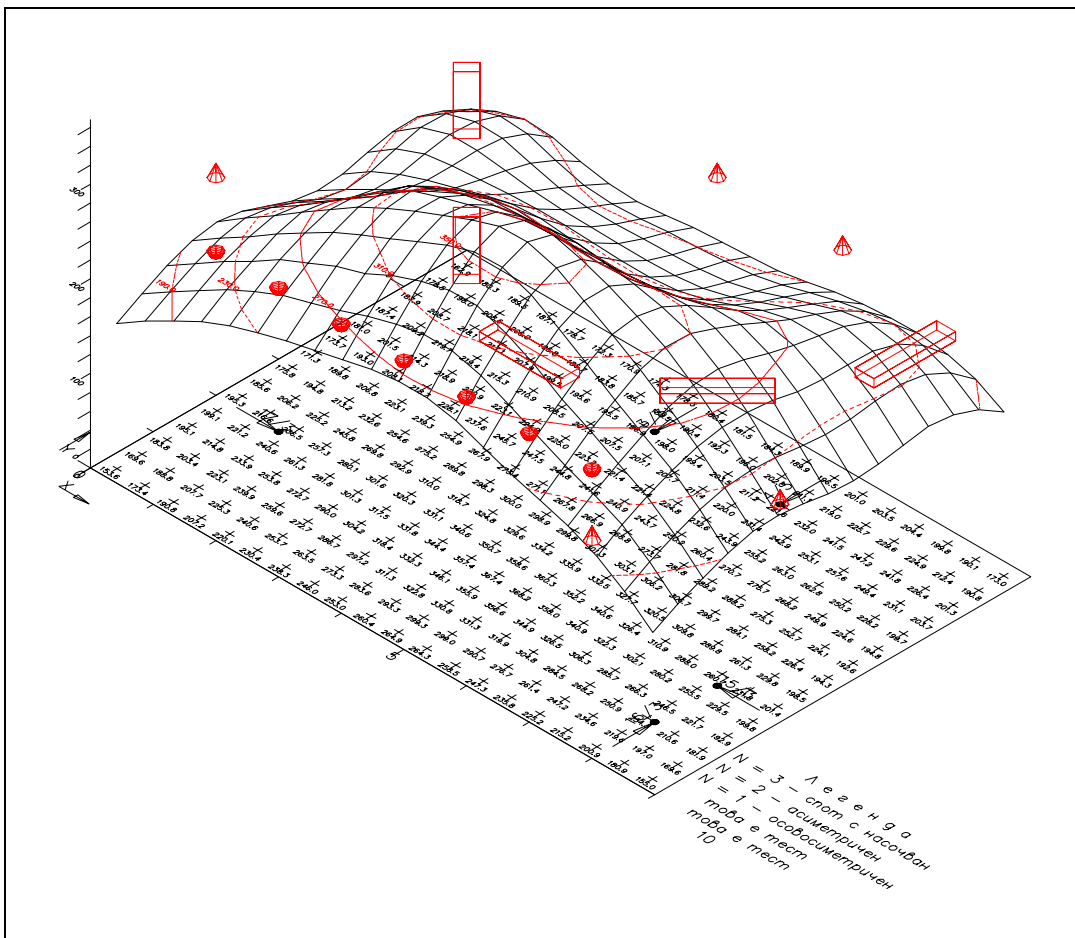
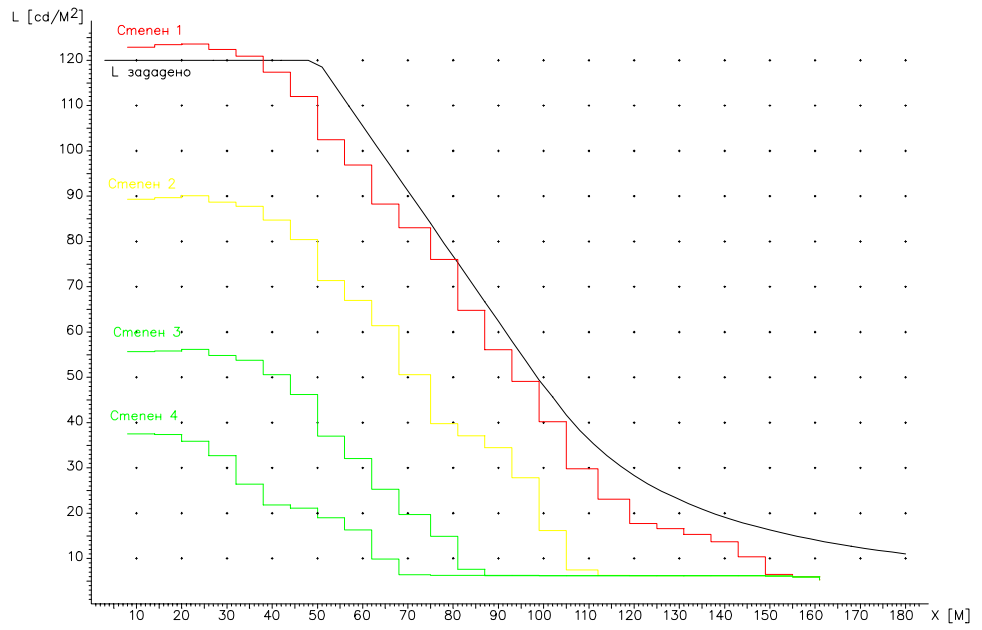


Abb. 2.



Въведете координати на осветителя!

1415248

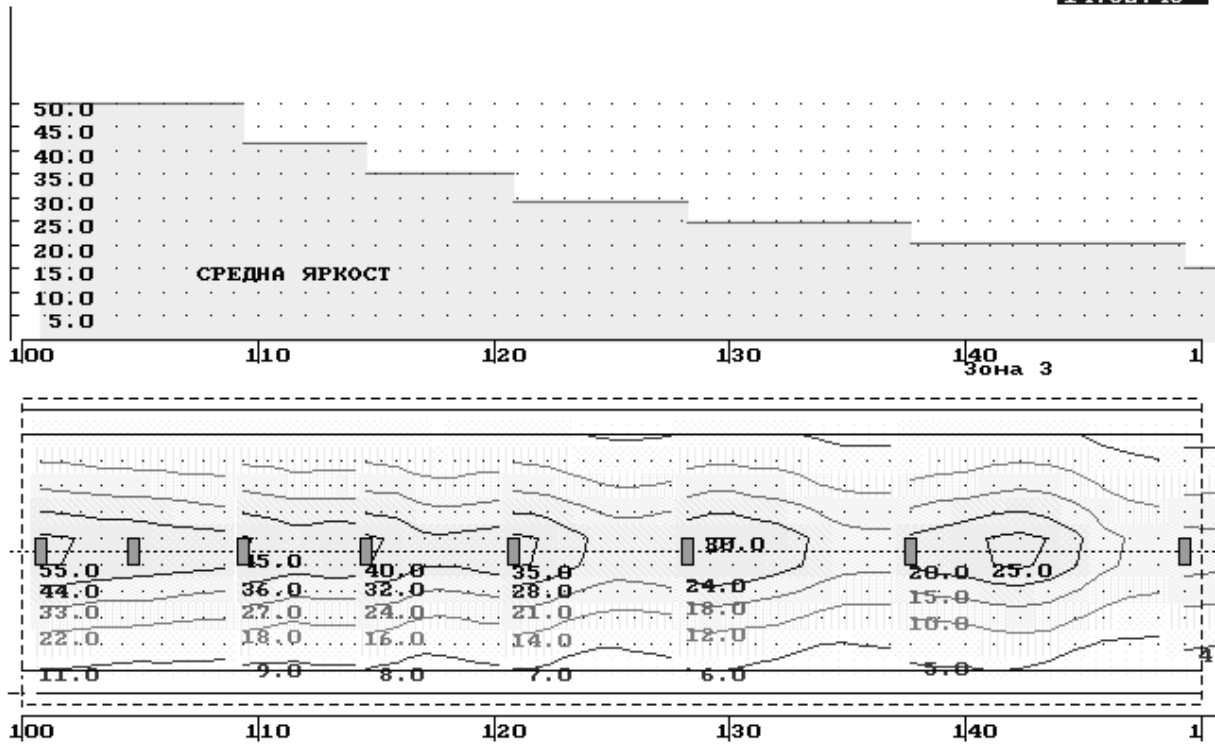


Abb. 3.

Обект: **Тестов пример**
 Подобект: **Тестов пример**
 Осветител: **16 НЛВН 70W mod-2 Денима HIT 70**
 Разполож.: **Двуредово-шахматно**
 Вид конзола: **Едностранна**
 Настилка: **R111**
 ярк. коэф. = **0.12**
 Брой ленти = **3.0**
 К. запаса = **1.30**

22.48.23

F1 - Help
 F3 - Смята
 F4 - Яркос
 F5 - Освет

Средна яркост на пътно платно [cd/m²] 1.95
 Средна осветеност на пътно платно, lx 13.25
 Воалираща яркост [cd/m²] 0.195
 Показател на заслепяване (TI), % 0.252
 Показател на дискомфорт 0.72
 Обща неравномерност
 Надлъжна неравномерност
 за лента № 1 0.49
 за лента № 2 0.76
 за лента № 3 0.76
 Специфична мощност, W/m² 0.50
 Специфична мощност, W/cd 0.26

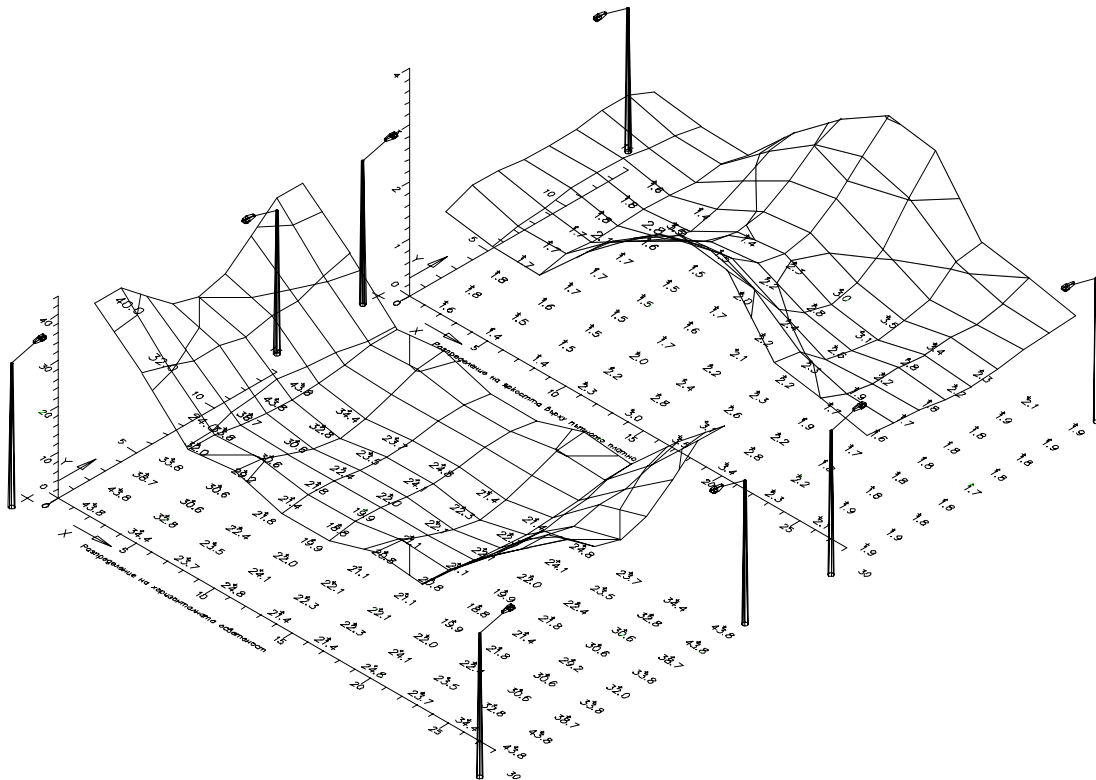
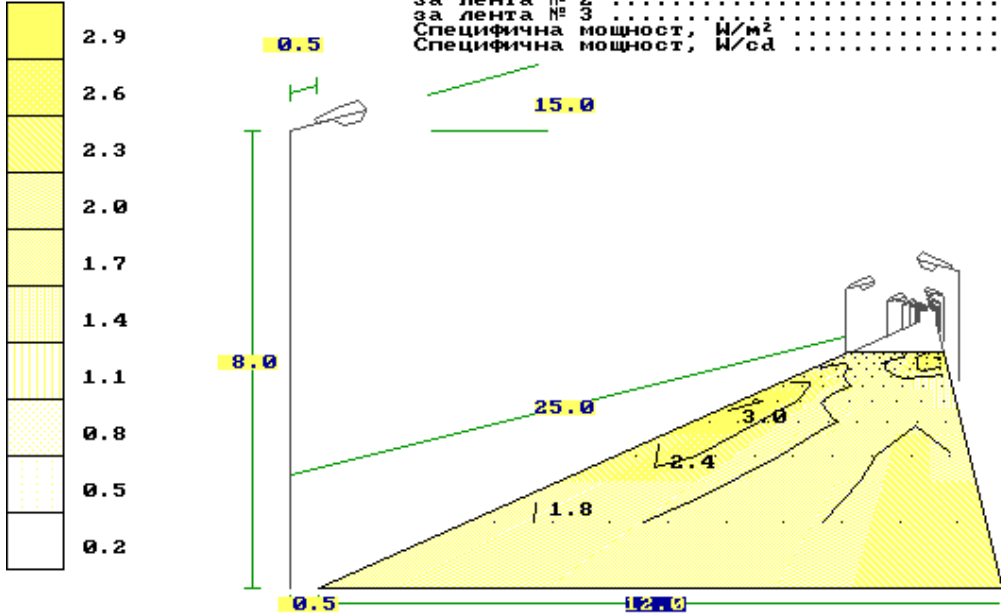


Abb. 4.

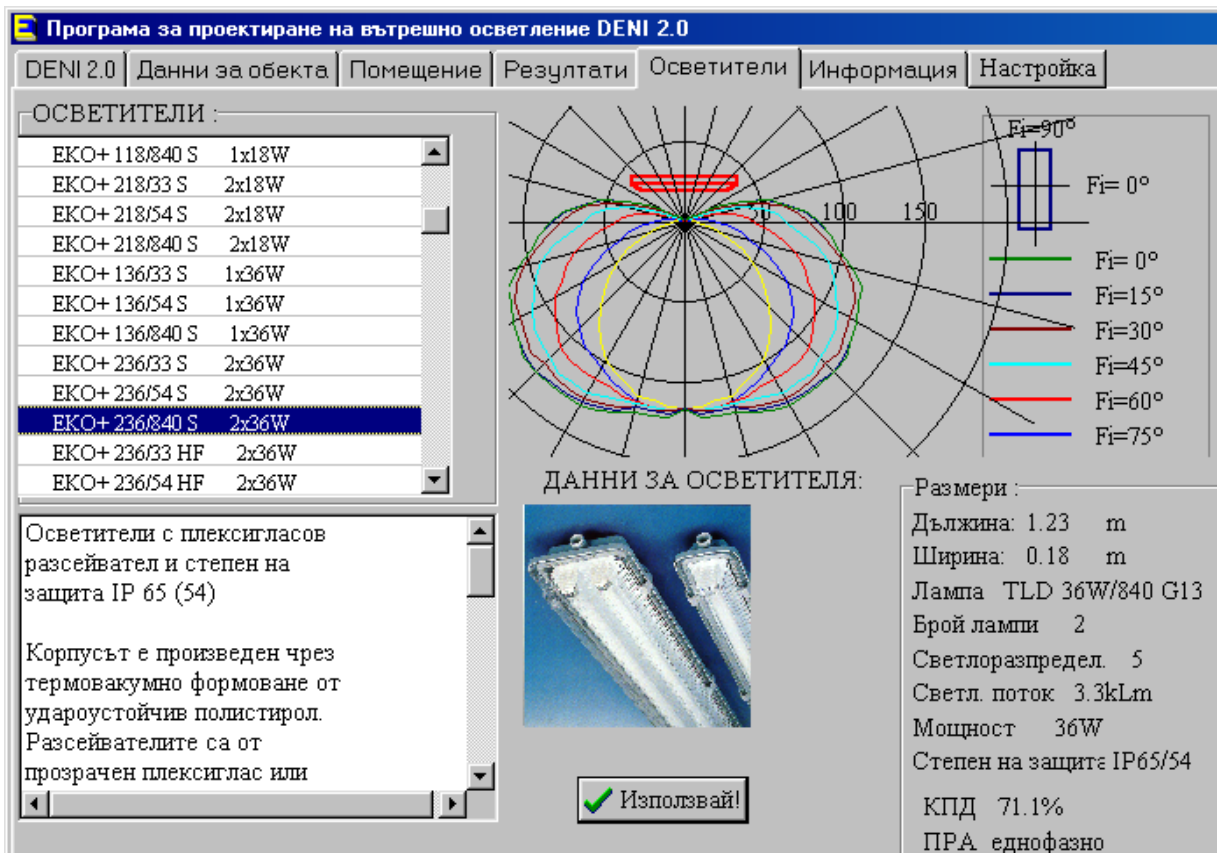
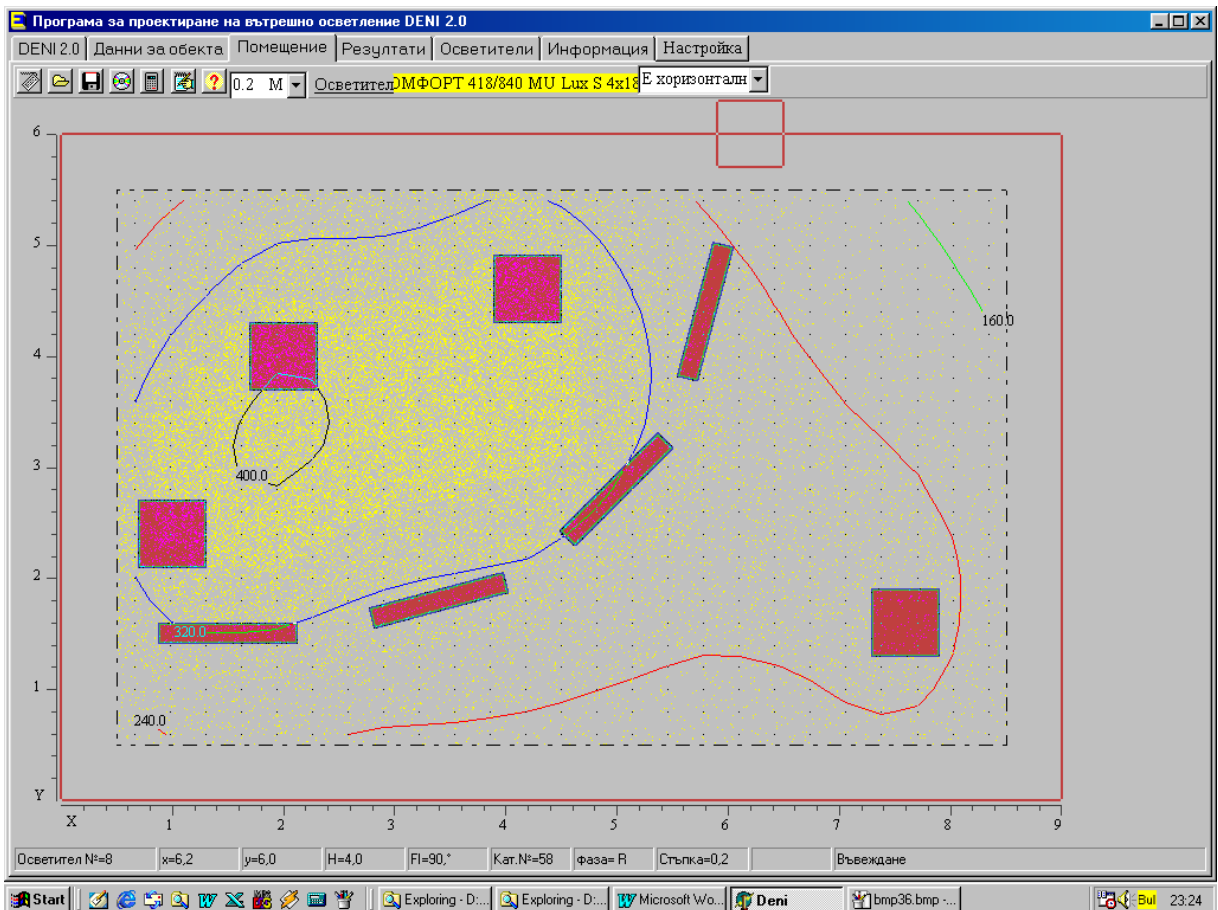


Abb. 5.

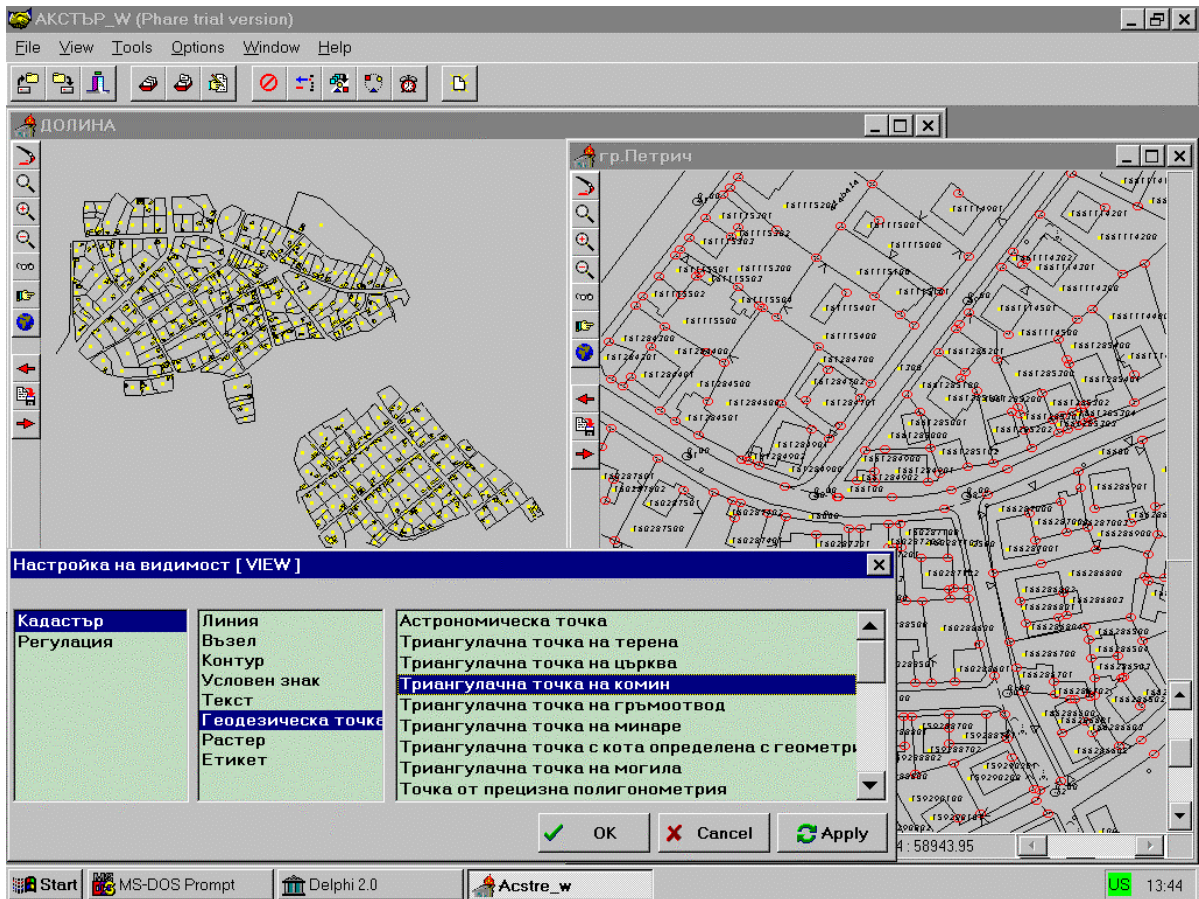


Abb. 6.

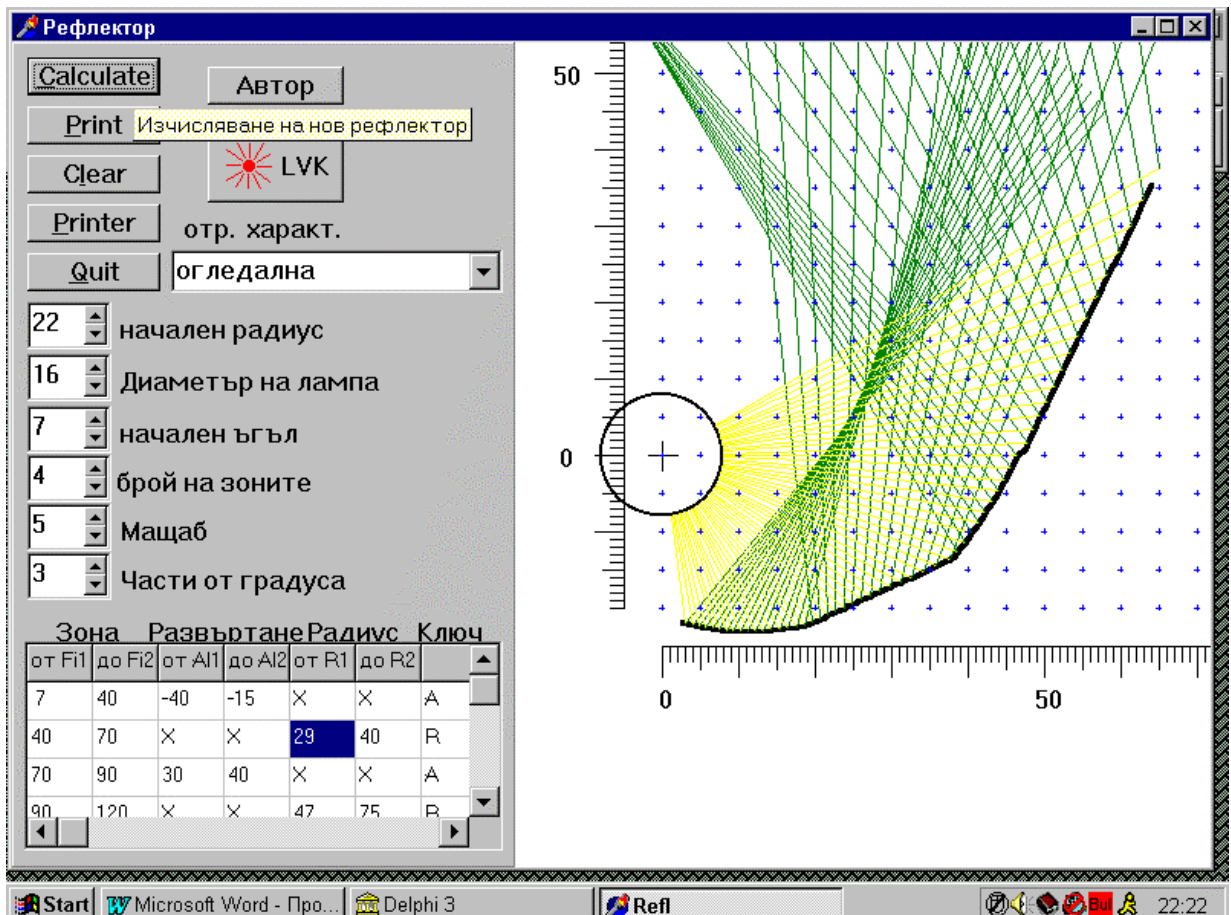


Abb. 7.

Literatur

1. Velinov Krassimir, Lighting calculation program for interior lighting installations DENI 2.0, XI -th national conference on lighting "LIGHT-2001", 13 - 15 June 2001, Varna, Bulgaria, Collection of Papers, p 199-210
2. Aladjem Mosko, <http://acstre.vmei.acad.bg/>
3. Velinov Krassimir, Sahatchiev Nikolaj, Application of the geographic information system ACSTRE for the design of street lighting installations. The Ist Balkan Junior Conference on Lighting. 15 - 16 June 2000, Varna, Bulgaria, Collection of Papers, p 85-94
4. Velinov Kr., Jordanow Wl., Dontcev St., DESIGN OF THE REFLECTORS BY PC, The Ist Balkan Conference on Lighting, 6-8 October 1999, Varna, Bulgaria, Collection of Papers, p 273-277
5. Velinov Kr., Application of Internet technologies in lighting, XI -th national conference on lighting "LIGHT-2001", 13 - 15 June 2001, Varna, Bulgaria, Collection of Papers, p 33-38

Dr. Ing. Krassimir Velinov
- TU-Sofia, Senior - Research
- SD ELEKTRO PROGRAMM –Sofia, Anleiter

Hausadresse:
Sofia 1505
g.k. Suha reka, Bl. 219A, Ap 214
Phone/fax (+359 2) 44-63-74
E-Mail KLWEL@vmei.acad.bg
<http://web.hit.bg/krasiv/>



Funktionalität von Lichtplanungsprogrammen – Anforderungen der Zukunft

Dipl. Ing. Bert Junghans / Dipl. Ing. Kay-Uwe Dingeldein

Zumtobel Staff GmbH, Schweizerstr. 30, A-6851 Dornbirn / <http://www.zumtobelstaff.co.at>

junghans@zumtobelstaff.co.at / dingeldein@zumtobelstaff.co.at

1 Einleitung

Zielstellung des Beitrages ist es, übersichtsartig den heutigen Stand von Standardlichtplanungsprogrammen zu erfassen. Dies erfolgt herstellerunabhängig und schließt nicht aus, dass es bereits spezifische Lichtplanungsprogramme gibt, die bereits angesprochene Themenbereiche teilweise abdecken. Weiterhin ist es nicht Aufgabe dieser Betrachtung Genauigkeitsangaben zu den einzelnen Programmen zu machen, da dies bereits von anderen Institutionen untersucht wurde und wird. Es geht vielmehr darum, zu sensibilisieren, in welche Richtung sich die Lichtberechnung (welche selbst ja keine Lichtplanung darstellt) geht, und wo zukünftig Schwerpunkte zu setzen sind. Es werden Wünsche implementiert, Möglichkeiten aufgezeigt und neue Wege angedacht.

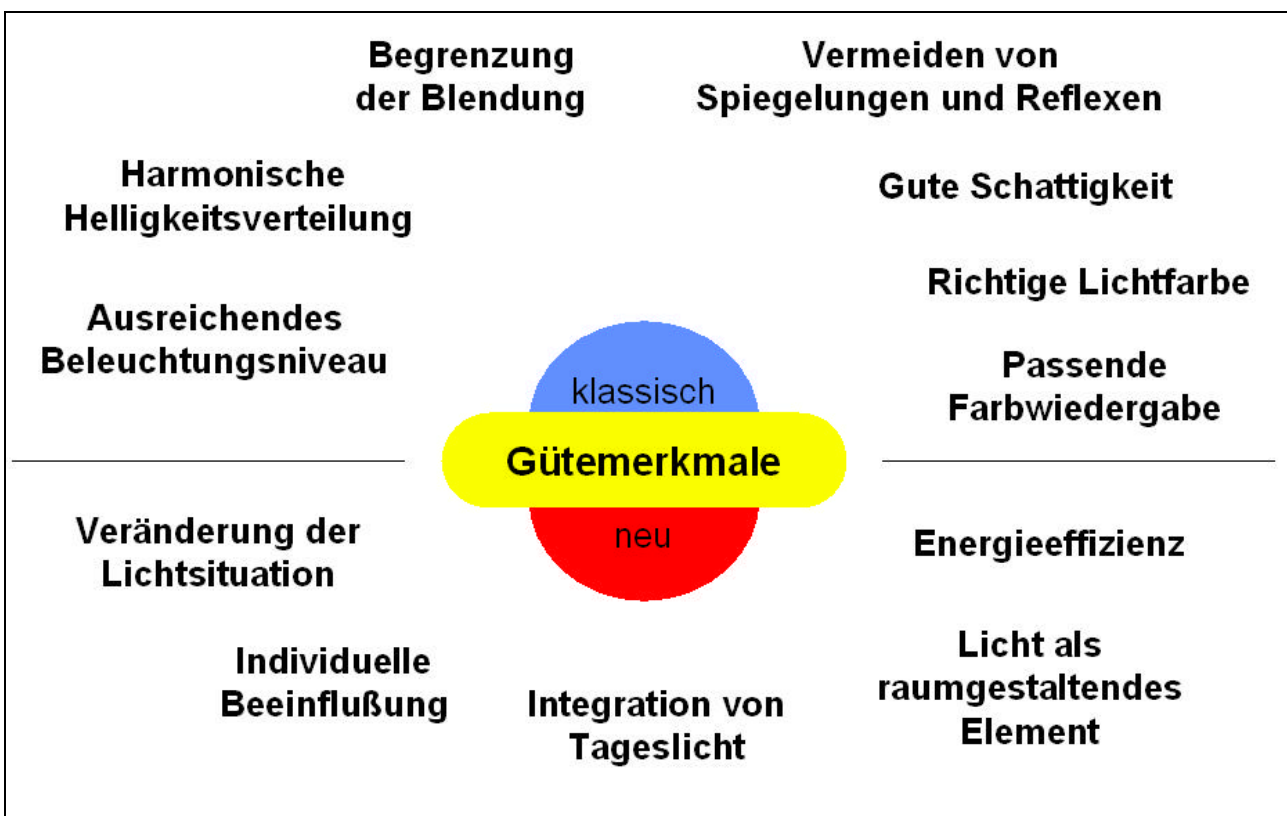
2 Lichtplanungsprogramme - derzeitiger Stand

Dank der hardwareseitigen Entwicklung von Rechnern der letzten Jahre, haben Standardprogramme heute eine beachtliche Plattform, durch welche Sie relativ schnell in den Ergebnissen und komfortabel im Handling sind. Durch einzelherstellerunabhängige Konsortien gibt es Programme, welche das gleichzeitige Arbeiten mit Produkten verschiedener Hersteller aus gut organisierten Leuchtendatenbanken heraus ermöglichen. Dies ist gegenüber Zeiten, wo jeder Hersteller (teils noch mit eigenem Datenformat für die Leuchten) ausschließlich mit eigenem Programm am Markt vertreten war, ein großer Vorteil, den der unabhängige Anwender mit Sicherheit zu schätzen weiß.

Drag & Drop - Funktionalität, 3D - Bearbeitung und berücksichtigte Möbel im Raum sind nur einige Aspekte die heute mehr und mehr Standard werden. Weiterhin gibt es Schnittstellen zur CAD-Programmanbindung, welche die Arbeit erleichtern können. Insbesondere in Bezug auf die Programmoberfläche und die Qualität der Ausgaben, hat sich in den letzten Jahren viel getan. Gängige Ergebnisparameter heutiger Programme sind: Beleuchtungsstärke- bzw. Leuchtdichteverteilungen in verschiedenen Ausführungen

(Isolux-, Graustufendiagramm, Werte-Tabellen, Reliefdarstellung). Hinzu kommen Minimal-, Maximal- und Gleichmässigkeitsangaben auf definierten Ebenen bzw. Flächen, als auch Falschfarbendarstellungen in 3D und Renderings. Wobei hier unterschieden werden muß, ob es sich um ein Programm zum Erhalt exakt berechneter lichttechnischer Parameter handelt, oder ob das Programm seine Kernausrichtung im Erhalt eines möglichst photorealistischen Bildes hat.

Gerade durch die immer professionellere Gestaltung der Programme und Ausgaben besteht die Gefahr, dass der Anwender sich in eine zu starke „Technikgläubigkeit“ hineinmanövriert. Eingabefehler, aber auch programmspezifische „Stolpersteine“ können einen jedoch schnell in die Irre mit erheblichen Fehlern und somit Konsequenzen führen. Als Anwender sollte man daher nie vergessen, dass die Lichtplanung nach wie vor im Kopf eines Teams stattfinden sollte und primär mit der Berechnung „nur“ noch die Verifizierung von geforderten Gütekriterien einzuholen ist.



„Basispaket“ von Gütemerkmalen die bei einer Lichtplanung einfließen sollten

Ein entsprechender praktischer Erfahrungsschatz, aber auch die Beherrschung „alter“ Methoden wie dem Wirkungsgradverfahren haben sich daher in der Vergangenheit als äußerst hilfreich erwiesen.

3 Zukünftige Anforderungen bzw. Möglichkeiten

Seit langem besteht die Erkenntnis, dass eine gute Lichtplanung weit mehr als nur eine rein normungstechnisch definierte Einhaltung von vorgegebenen Parametern ist. Dies stellt erheblich weitergehende Anforderungen an solche Programme, welche in Zukunft den Planungsprozess wesentlich unterstützen könnten. Im folgenden seien in nicht prioritär gereihter Folge wichtige Aspekte aus Sicht der Verfasser genannt:

- Tageslichtfunktionalität: Es ist heute noch nicht selbstverständlich, dass Tages – und Kunstlicht im Programm gemeinsam betrachtet werden können. Wenn man die Architekturentwicklung verfolgt, so wird klar, dass eine gemeinschaftliche gewerkeübergreifende Betrachtung von Kunst – und Tageslicht immer unumgänglicher wird. Bedeutend ist dabei, dass dies auch für die verschiedenen Himmelsmodelle möglich sein muss und nicht ausschließlich durch das diffuse Himmelsmodell abgedeckt werden sollte. Seiten- und Oberlichter in verschiedensten Ausführungsformen, Außen- und Innenjalousien, Lichtmanagement als auch thermische Aspekte sollten eingebunden sein.
- Automatismen: Viele Erfahrungen, die ein Planer oft erst schmerzhaft durch Praxiserfahrung machen muss, könnten durch Programmoptionen abgefangen werden. (Angabe von blendungs- und reflexgefährdeten Zonen, grafische Unterstützung bei Gleichmäßigkeitsuntersuchungen, Umfeldanalysen für Kontrastverhältnisse in bestimmten Blickbereichen)
- Manuell skalierbare Falschfarben: Diese Darstellungen haben den Vorteil, dass Sie nicht fehlgeleitet die Assoziation einer „realistischen“ Helligkeitsbezogenen Verteilung im Raum hervorrufen (wie ein normales Rendering). Für eine Vergleichbarkeit von verschiedenen Lösungen ist dabei eine manuelle Skalierung auf gleichem Niveau bindend.
- Voraussichtliche erweiterte Anforderungen durch Inkrafttreten von EN 12464: Flexible Berechnungszonen auch hinsichtlich der Form werden erforderlich und müssen bei Ausgrenzung der anderen Bereiche exakte Werte ausgeben. Dies betrifft neben der Arbeitszone insbesondere die Umfeldzone, welche meistens die Arbeitszone umschließt und somit nicht deren Werte mit einrechnen darf. Weiterhin werden Aspekte wie UGR (aus Standardtabellen) als auch eine detaillierte Betrachtung von Wartungsfaktoren einfließen.
- Objektverschneidung mit Berechnungsebenen: Objekte (Möbel) die derzeit in eine Berechnungsebene hineinragen, führen zu falschen Ausgaben für MIN-, MAX- und

Mittelwerte. Eine automatische Verschneidungserkennung vermeidet Fehlinterpretationen und macht aufwendige Tricks zur Umgehung dieses Effektes unnötig.

- UGR für konkrete Anlagen: Das Standardverfahren mittels Tabellen berücksichtigt nur symmetrische Anordnungen eines Leuchtentyps. Reale Anlagen mit mehreren Leuchtentypen in unsymmetrischer Anordnung (womöglich kombiniert mit Raumobjekten wie Dachkonstruktionen, die Einfluss auf die Sichtbarkeit der Leuchten haben) können so nicht erfasst werden.
- Contrast Rendering Factor (CRF): Eine Größe, die früher aufgrund des nicht unerheblichen rechentechnischen Aufwandes wenig berücksichtigt wurde, aber wertvolle Aussagen über die Qualität der Kontrastwiedergabe in der Arbeitszone liefert. Es gibt Messtechnik dafür, warum sollte man nicht auch rechentechnisch Werte vorhersagen können. Dabei sind die CRF – Grob- und Feinplanung zu unterscheiden.
- Vertikale Beleuchtungsstärken entlang einer horizontalen Linie: Eine Anforderung, die zwar nicht oft vorkommt, jedoch gerade bei Sport- und Kulturräumlichkeiten durch kameratechnische Anforderungen verifiziert werden muss. Heutzutage muss man sich oft durch „Aufstellen“ einer Vielzahl von vertikalen Berechnungsflächen behelfen.
- Halbzylindrische Beleuchtungsstärken und Berechnung von Schattigkeiten Schattigkeit und Wiedergabequalität von Gesichtern ist in unserer heutigen kommunikativen Arbeitsumwelt ein wichtiger Aspekt und sollte auch gerade bei den vielen verschiedenen Beleuchtungskonzepten mit Ihren Stärken und Schwächen (siehe z.B. besondere Eigenschaften von Werferspiegelanlagen) Berücksichtigung finden.
- Berücksichtigte Eigenverschattung der Leuchten: Bisherige Programme behandeln die Leuchten selbst intern zumeist als „unsichtbare“ Objekte, die einfach nur Ihr Licht in den Raum verteilen. Gerade bei Systemen mit vorrangigem Indirektanteil und arbeitsplatzorientierter Anordnung kann dies zu empfindlichen Abweichungen von der Realität führen.
- Nahfeldthematik : Nach wie vor behandeln fast alle Berechnungsprogramme diese Thematik mit „stiefmütterlichen“ Kompromissen („zerhacken“ der Leuchte in mehrere Teilleuchten bei geringen Abständen der Leuchten zu Flächen) Eine saubere Lösung geht offensichtlich nur bei Einführung anderer Messverfahren und photometrischer Formate für die Leuchten.

- Ausgabe von Zwischenergebnissen: Gerade bei zu optimierenden Berechnungen ist es sehr hilfreich, nicht erst das Endergebnis (was durchaus erst nach Stunden verfügbar sein kann) abwarten zu müssen. Mit Standardberechnungsmethoden ist diese Funktionalität nicht direkt realisierbar.
- Ablösung rein diffuser Materialbeschreibungen: Immer öfter führt diese Einschränkung zu markanten Problemen, die sich durch diesen Kompromiss der Materialbeschreibung in Theorie und Praxis ergeben. Nicht nur der umfangreiche Einsatz von gerichtet reflektierten Materialien in der Architektur (Glas, Deckenmodule mit Glanzanteil, transluzente Materialien) , sondern auch der verstärkte Einsatz diffus hinterleuchteter Flächen (Lichtdecken, Vouten, Lichtwände) sprechen für die Einführung dieser Funktionalität. Es gibt bereits Materialbeschreibungsformate als auch Berechnungsalgorithmen, die dies richtig können und heute noch in „High End“- Programmen etabliert sind.
- Erweiterte Freiheitsgrade in der Geometrieingabe: Die heutigen Fähigkeiten der Bautechnologie räumen der Architektur immer mehr Möglichkeiten ein. Die Zeiten wo horizontale Decken und polygonale Räume den Bedarf im Berechnungsprogramm ausreichend abdeckten, sind somit nicht mehr gegeben. „Tricks“ helfen heute zwar behelfsweise, führen aber durchaus auch zu kritischen internen Berechnungseffekten bei den derzeitigen Programmen.

Zusammenfassende Schlussbemerkung:

Gute Beleuchtungskonzeptionen bedeuten heute mehr Komplexität in der Lichtplanung. Die Werkzeuge mit denen die Lichtplaner arbeiten, müssen sich diesen Herausforderungen stellen.

Die Einführung der vorweg genannten Aspekte birgt mit Sicherheit die Gefahr in sich, dass sich wieder in Summe „Spezialistenprogramme“ herausbilden könnten, welche es heute durchaus schon mit verschieden hohem Qualitätsniveau gibt. Dies wiederum würde dem Anspruch von Standardlichtplanungsprogrammen mit einer leichten Handhabung und schnell erzielbaren Ergebnissen widersprechen. Daher ist wichtig bei der Implementierung solcher Funktionalitäten entsprechende Priorität auf Bedienerergonomie und Hardwareanforderung zu legen. Es bleibt abzuwarten wie die Entwickler der heutigen stark im Markt verankerten Lichtplanungsprogramme auf derartige Anforderungen eingehen werden.

Planung der Beleuchtung nach DIN – Nur langweilig?

Dipl.-Ing. Jörg Minnerup
Arnsberg

Die oft vertretenen Meinungen über lichttechnische DIN – Planung:

- Planungen nach DIN sind langweilig
- Planungen nach DIN lassen Kreativität nicht zu
- Planungen nach DIN sind mit Architektur nicht vereinbar

Stimmen diese Thesen? Nein, vielmehr gilt dies:

- Planungen nach DIN müssen keine Pauschalplanungen sein
- Planungen nach DIN erlauben Kreativität
- Planungen nach DIN sind mit der Architektur vereinbar

Woher kommen diese Erkenntnisse?

Eine wertfreie Durchsicht der DIN-Normen zeigt, dass es einen wesentlichen Ermessungsspielraum gibt, der bis heute bei weitem nicht ausgeschöpft wird.

Beispielinhalte der umfassendsten Beleuchtungsnorm DIN 5035 Teil 1 „Beleuchtung mit künstlichem Licht – Begriffe und allgemeine Anforderungen“:

- Allgemein:
Die Beleuchtung ist so auszuführen, dass sie ihre jeweilige Aufgabe erfüllt und sich harmonisch in den Raum einfügt.
- Hinweis auf stimmungsbetonte, Verkaufs- oder Ausstellungsräume:
In stimmungsbetonten Räumen spielen in besonderem Maße gestalterische Gesichtspunkte und solche der Behaglichkeit eine Rolle.
In Verkaufs- oder Ausstellungsräumen besteht die Aufgabe der Beleuchtung vor allem darin, eine günstige Verkaufsatmosphäre zu schaffen ...
- Gleichmäßigkeit:
Zur Erzielung einer ausgewogenen Leuchtdichteverteilung sollte für die horizontale Nutzenebene im Raum bzw. in der einer bestimmten Tätigkeit dienenden Raumzone eine Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke $g_1 = E_{\min}:E_m$ von etwa 1:1.5 eingehalten werden.
- Arbeitsplatzorientierte Allgemeinbeleuchtung:
Weichen die Anforderungen für einzelne Zonen eines Raumes stark voneinander ab, kann es zweckmäßig sein, die Allgemeinbeleuchtung den für jede Zone notwendigen Anforderungen anzupassen.

Dies sind nur einige Beispiele, bei denen die Frage der Definition offen ist.

- Harmonisch in den Raum einfügen
- gestalterische Gesichtspunkte
- einer bestimmten Tätigkeit dienende Raumzone
- Allgemeinbeleuchtung den für jede Zone notwendigen Anforderungen anzupassen

Diese Begriffe erlauben schon heute bei Bedarf und entsprechender Definition auch kreative Planungen für Räumlichkeiten oder Flächen.

Ähnliches gibt es auch in anderen Beleuchtungsnormen. Dies betrifft die Innen- und Außenbeleuchtung gleichermaßen.

Fazit „Stand heute“:

Normen schränken Planungen nicht ein, sondern dienen als Informationshinweise und somit in gewisser Weise der Planungssicherheit.

Die aufgeführten Begriffe sind nur einige, auf die der Planer sich bei kreativen Beleuchtungsplanungen berufen kann. Kreative Planungen bedeuten jedoch eine spezielle Auseinandersetzung mit den notwendigen Anforderungen an die jeweilige Sehaufgabe an bestimmten Orten. Dies wird heute in der Praxis leider aus zeitlichen und finanziellen Gründen nur in viel zu wenigen Einzelfällen durchgeführt.

Soweit der „Stand heute“. Wie wird die Zukunft aussehen?

Für die Innenbeleuchtung befindet sich der Schlussentwurf der pr EN 12464 „Licht und Beleuchtung; Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“ derzeit in der Schlußabstimmung. Ein positives Ergebnis vorausgesetzt, könnte diese in Deutschland im Jahr 2002 umgesetzt werden.

Auch hier gibt es einige wichtige Punkte, die kreative Planungen ermöglichen:

- Diese Norm legt weder spezielle Lösungen fest, noch schränkt sie die Freiheit der Planer ein, neue Techniken zu erkunden oder innovative Anlagen einzusetzen.
- Arbeitsbereich: Der Bereich der Arbeitsstätte, in dem die Sehaufgabe ausgeführt wird. Ist die Größe und/oder die Lage des Arbeitsbereiches nicht bekannt, muß der Bereich als Arbeitsbereich angenommen werden, in dem die Sehaufgabe auftreten kann.
- Unmittelbare Umgebung: Die den Arbeitsbereich umgebende, sich im Gesichtsfeld befindende, Fläche von mindestens 0,5 m Breite.
- Der Wert der Beleuchtungsstärke kann um wenigstens eine Stufe der Beleuchtungsstärke-Skala angepasst werden, wenn die Sehbedingungen von den normalen Annahmen abweichen.
- Lichtrichtung: Gerichtetes Licht kann eingesetzt werden, um Objekte hervorzuheben, Oberflächenstrukturen hervortreten zu lassen sowie das Aussehen der Menschen im Raum zu verbessern. Dies wird mit dem Begriff "Modelling" beschrieben. ... Die Beleuchtung sollte nicht zu stark gerichtet sein, weil sich sonst zu harte Schatten bilden. Sie sollte auch nicht zu diffus sein, da sonst der Modellingeffekt verlorengeht und sich ein unattraktives Lichtklima ergibt.

- Tageslicht kann die Beleuchtung einer Sehaufgabe ganz oder teilweise übernehmen. Es ändert sich im Lauf des Tages in seiner Beleuchtungsstärke und seiner spektralen Zusammensetzung und sorgt so im Raum für Veränderungen. Aufgrund des seitlichen Lichteinfalls durch die Fenster kann das Tageslicht eine besondere Leuchtdichteverteilung im Raum sowie ein typisches Modelling erzeugen.

Diese Punkte werden auch in Zukunft kreative Planungen erlauben. Der Planungsaufwand gegenüber heute wird sich bei konsequenter Anwendung erhöhen, da die angegebenen Wartungsbeleuchtungsstärken für die Arbeitsbereiche gelten. Im näheren Umgebungsbereich kann dann in der Regel eine um eine Stufe geringere Beleuchtungsstärke niedriger sein, wobei 200 lx nicht unterschritten werden sollen.

Es wird aber auch weiterhin einige einschränkende Punkte geben, die für den Sehkomfort durchaus sinnvoll sein können. Aber auch diese wurden gegenüber den bisherigen Anforderungen dem Stand der Technik angepaßt. Dies betrifft insbesondere die Arbeit an Bildschirmarbeitsplätzen. So gibt es beispielsweise in der seit März 2001 gültigen DIN EN ISO 9241-6 „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 6: Leitsätze für die Arbeitsumgebung“ für den Bereich Büroräume neue Leuchtdichtegrenzen für Leuchten mit nach unten gerichtetem Lichtstrom. Diese wurden in den Entwurf pr EN 12464 übernommen. Dort werden die Grenzen für die Leuchtdichte von Leuchten festgelegt, die sich bei normaler Blickrichtung im Bildschirm spiegeln könnten. Die Tabelle legt für Arbeitsplätze mit Bildschirmen, die senkrecht oder bis zu 15° geneigt sind, die Grenzen der mittleren Leuchtdichte der Leuchten fest. Die angegebenen Leuchtdichten dürfen für Ausstrahlungswinkel rundum, ab 65° und darüber, gemessen gegen die nach unten gerichtete Vertikale, nicht überschreiten.

Tabelle: Grenzwerte der Leuchtdichte von Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln könnten

Bildschirmklasse nach ISO 9241-7	I	II	III
Bildschirmgüte	Gut	Mittel	Schlecht
Mittlere Leuchtdichte von Leuchten die sich im Bildschirm spiegeln	≤ 1000 cd/m ²		≤ 200 cd/m ²

Eine weitere Differenzierung der Bildschirmklassen findet sich im Entwurf DIN 5035 Teil 7 „Beleuchtung mit künstlichem Licht – Beleuchtung von Räumen mit Bildschirmgeräten“, der die bisherige DIN 5035 Teil 7 ersetzen soll. In diesem Entwurf sind relevante Bildschirmmerkmale (Bildschirmpolarität positiv/negativ) sowie leuchtende Raumflächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln, in die obige Tabelle eingearbeitet.

Neuere Bildschirmgeräte entsprechen in der Regel mindestens Bildschirmklasse II da die Reflexschutzmaßnahmen dieser Geräte deutlich über denen von älteren Geräten liegen. Als unkritisch gelten TFT-Bildschirme. Für diese Bildschirme sind hohe Hintergrundleuchtdichten und gute Oberflächenentspiegelung typisch. Für sie gelten in der Regel zulässige mittlere Leuchtdichten von Leuchten die sich im Bildschirm spiegeln können von ≤ 1000 cd/m².

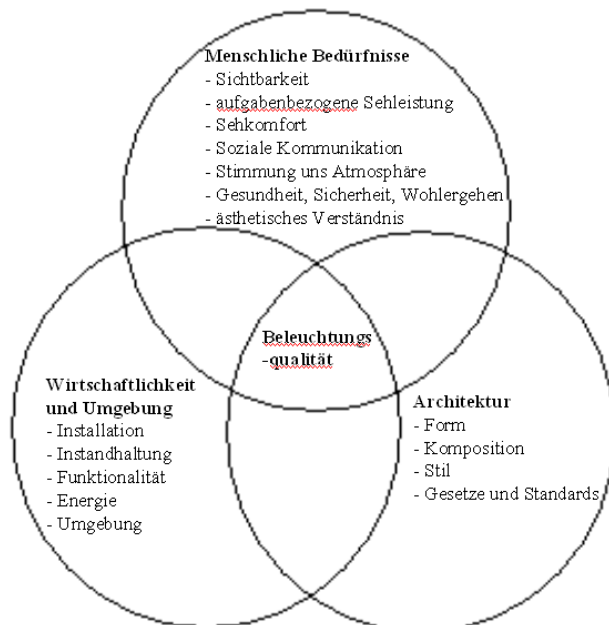
Deutlich ist jedoch zu erkennen, daß durch den Fortschritt in der Bildschirmentwicklung auch im Bereich von Bildschirmarbeitsplätzen höhere Leuchtdichten für Leuchten oder Raumflächen, die sich auf dem Bildschirm spiegeln können, zugelassen werden.

Unter der Berücksichtigung der derzeitigen Normtätigkeit wird deutlich, daß es u.a. aufgrund der oben genannten verschiedenen Normentwürfe unter der Voraussetzung ihrer jeweiligen Umsetzung eine deutliche Zunahme der individuell zu planenden Beleuchtungsanlagen geben wird. Deutlich zeigt dies die schon seit November 1999 geltende DIN EN 12193 „Sportstättenbeleuchtung“. Dort gibt es für verschiedene Sportflächen Angaben zu den Größen der Hauptflächen (PA) und der Gesamtflächen (TA). Damit wird selbst in Sporthallen oder Außenbereichen eine immer individuellere Planung notwendig, zumal hier meist auch noch die Bestimmungen der jeweiligen Sportverbände berücksichtigt werden sollten.

Fazit für die Zukunft: Planung nach DIN – nur langweilig?

Davon kann keine Rede sein. Nach in Kraft treten der derzeitigen Normentwürfe sind bezüglich der Planung von Arbeitsplätzen Änderungen in größerem Ausmaß zu erwarten. Sie müssen in Zukunft sicherlich individueller werden, da die Forderungen der Normen auf den Arbeitsplatz bezogen sein werden. Das heißt, die zu beleuchtenden Bereiche müssen eingehender betrachtet werden als bisher.

Dies ist gleichzeitig eine Chance für eine kreative Planung, die nach Ansicht des Verfassers derzeit noch stark vernachlässigt wird, obwohl sie durch Normen nicht wesentlich eingeschränkt wird. Wichtig ist dabei jedoch, daß unter der Kreativität die Beleuchtungsqualität nicht leidet, über die es bereits eine Vielzahl von Veröffentlichungen gibt. Daher wird an dieser Stelle nur auf das im Jahr 2000 erschienene IES Lighting Handbook verwiesen:



Die Beleuchtungsqualität ist die Integration der menschlichen Bedürfnisse, der Architektur, der Wirtschaftlichkeit und der Umgebung.

Damit bleibt die Hoffnung, daß die Kreativität und die Beleuchtungsqualität durch die neuen Normen in Verbindung mit weiteren Veröffentlichungen, z.B. dem IES Lighting Handbook gesteigert werden.

Steuerung der Displayleuchtdichte bei Tunneldurchfahrten und Schlagschatten

Tim Weis, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, Unterer Berggraben 10, 98684 Ilmenau

In der heutigen Zeit werden im Kraftfahrzeug immer mehr Displays verwendet. Diese sind im Sichtbereich des Fahrers auf oder in dem Armaturenbrett angeordnet. Der Fahrer möchte Verkehrssituationen vor dem Kraftfahrzeug und die Displaydarstellung möglichst gut wahrnehmen können.

Die Verkehrs- und Beleuchtungssituationen außerhalb des Kraftfahrzeuges ändern sich ständig. Bei gleich bleibender Leuchtdichte der Displays kann die darin angebotene Information entweder nicht erkannt oder es kann zur Blendung des Fahrers führen. Um dies zu vermeiden, ist eine dynamische Steuerung der Leuchtdichte der Displays erforderlich. Diese Steuerung der Displays muss abhängig von der jeweiligen Beleuchtungssituation sein, die sich dem Fahrer darbietet. Zu besonders schnellen Änderungen der Beleuchtungsbedingungen kommt es bei Tunneldurchfahrten und bei der Fahrt entlang von Schlagschatten, die z.B. durch Baumreihen entstehen.

Um die Displayleuchtdichte in Abhängigkeit von der Beleuchtungssituation steuern zu können, muss zuerst ein geeignetes Steuerungssystem entwickelt werden (siehe Abbildung 1).

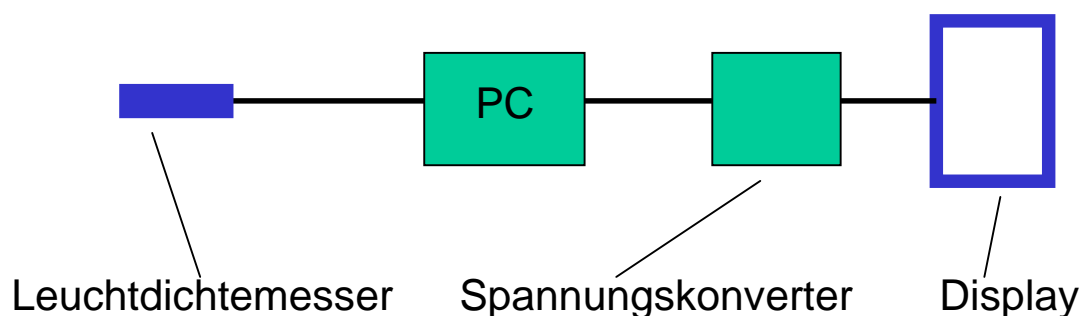


Abbildung 1: System zur Displaysteuerung

Hinter dem Display befindet sich eine Kaltkathodenröhre, über die sich die Leuchtdichte verändern lässt. Über einen PC lässt sich ein Spannungskonverter ansteuern der die Leuchtdichte der Kaltkathodenröhre und damit der Displayleuchtdichte steuert. Bei diesem System lässt sich damit die Displayleuchtdichte alle 0,5s verändern.

Da der Fahrer zum grössten Teil durch die Heckscheibe den Verkehr beobachtet, ist er zumeist auf die sich vor ihm befindliche Leuchtdichte adaptiert. Nach Kokoschka [1] adaptiert das menschliche Auge auf eine durchschnittliche Leuchtdichte unter einem Winkel von 10° bis 30° . Daher wurde ein Leuchtdichtemesser mit einem Öffnungswinkel von 30° (L_{vorne}) verwendet.

Nach Diem, Schmidt-Clausen, Löwenau und Bernasch [2] ist der häufigste Fixationspunkt des Fahrers im Bezug zur mittleren Fahrzeugachse während einer Fahrt auf einer geraden Strecke am Tage $2,2^\circ$ und in der Nacht $2,4^\circ$. Der häufigste Fixationspunkt liegt dabei am Tage bei 95,8m und in der Nacht bei 47,9m vom Fahrerrauge entfernt. Die auftretenden Blickwinkel bei einer Rechts-

bzw- Linkskurve haben den gleichen Absolutwert mit unterschiedlichem Vorzeichen. Somit kann als Näherungswert der Mittelwert der durchschnittlichen Blickwinkel und Entfernungen zum Fixationspunkt bei Tag- und Nachtfahrten auf geraden Strecken verwendet werden. Damit ergibt sich ein horizontaler Blickwinkel von $2,3^\circ$. Unter zusätzlicher Berücksichtigung der Anbringungsmöglichkeiten des Leuchtdichtemessers im Armaturenbrett erhält man einen vertikalen Blickwinkel von $0,77^\circ$.

Auf weitere Erfassung von Beleuchtungsbedingungen wie z.B. die Innenraumbeleuchtung wird in dieser Arbeit nicht eingegangen.

In lichttechnischen Tests mit Probanden konnte der in Abbildung 2 dargestellte Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Leuchtdichte in Fahrtrichtung L_{vorne} und der Displayleuchtdichte L_{Display} herausgefunden werden. Genauere Angaben dazu enthält die noch nicht veröffentlichte Dissertation von Weis [3].

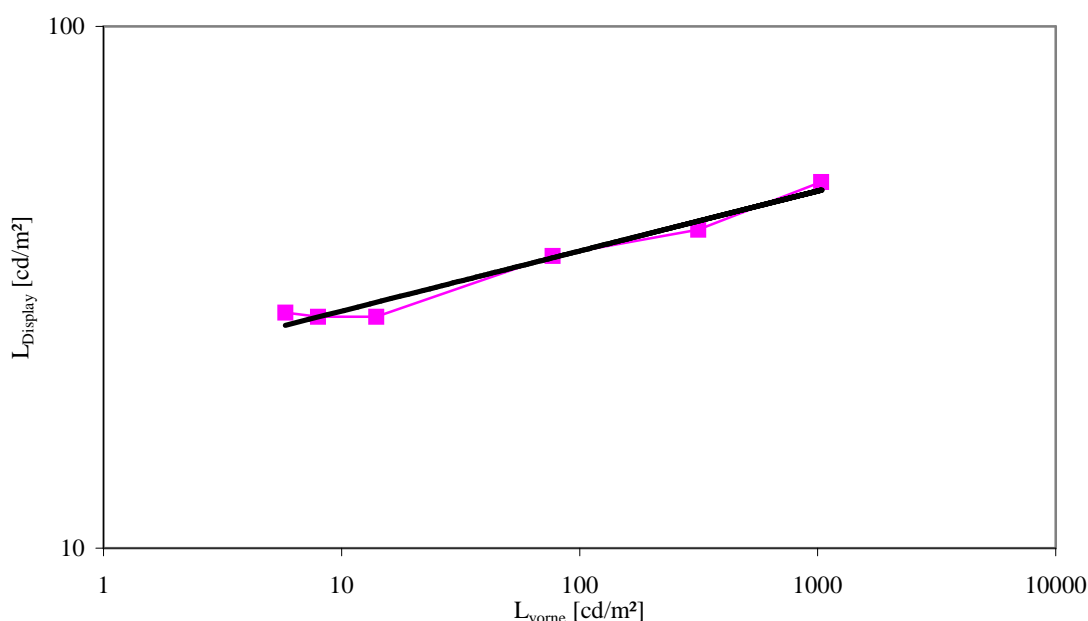


Abbildung 2: Displayleuchtdichte L_{Display} in Abhängigkeit von L_{vorne}

Wichtig für die Erstellung einer geeigneten Steuerung ist es die Wünsche der Probanden zu erfassen. Da die meisten Fahrer noch nicht mit leuchtdichtegesteuerten Displays vertraut sind, mußten zuerst Fahrversuche mit Probanden stattfinden. In diesen Fahrversuchen sollte den Probanden eine stufenweise Leuchtdichtesteuerung der Displays vorgestellt und erläutert werden.

Dieser Versuch wurde mit 10 Probanden bei Tageslichtverhältnissen durchgeführt. Die Probanden hatten die Aufgabe eine definierte Teststrecke in einem PKW mit eingebauter stufenweiser Steuerung der Displayleuchtdichte zu durchfahren.

Die Teststrecke enthielt dabei unter anderem Fahrten entlang von Baum- und Häuserreihen und eine Tunneldurchfahrt. Die Aufgabe der Probanden war es diese Steuerung nach einigen Testfahrten zu beurteilen und anschliessend die Wünsche an die Steuerung mitzuteilen. Von den 10 Probanden empfanden 8 die Steuerung als zu unruhig. 7 Probanden wünschten sich für die Steuerung möglichst keine sichtbaren Leuchtdichtesprünge.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurde eine Steuerung in nicht wahrnehmbaren Leuchtdichtestufen realisiert (siehe Weis [3]).

Ein Nachteil der Steuerung in nicht sichtbaren Leuchtdichtestufen ist (auf Grund der feinen Auflösung der Leuchtdichtestufen) die relativ lange Zeitdauer, welche die Steuerung für das Erreichen des Sollwertes in Extremfällen, wie z.B. bei einer Tunneleinfahrt bzw. -ausfahrt benötigt. In Abbildung 3 wurde das Zeitverhalten der Steuerung graphisch dargestellt. Nach dem Erreichen der Tunnelausfahrt benötigt die Steuerung ca. 20 Sekunden, um den Sollwert zu erreichen.

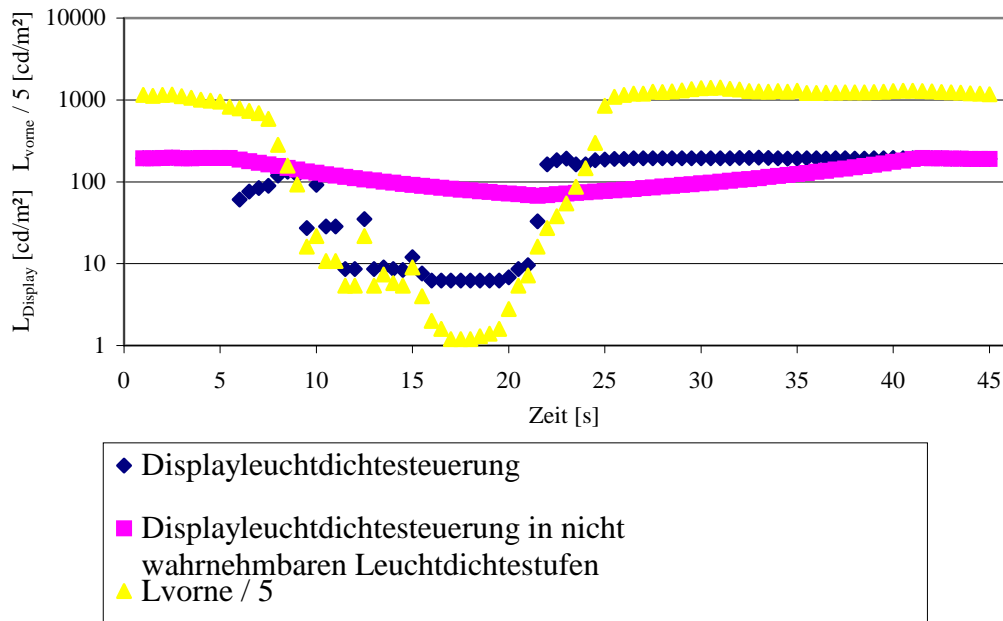


Abbildung 3: Displayleuchtdichtesteuerung ohne Tunnelerkennung und Schlagschattenausblendung

Die Steuerung muss um eine weitere Funktion erweitert werden, die in der Lage ist, die Tunnelein- und -ausfahrt zu erkennen. Im Falle einer Tunnelerkennung soll somit die Steuerung in nicht sichtbaren Leuchtdichtestufen kurzzeitig ausgeschaltet werden. Des Weiteren wurde die Steuerung so konzipiert werden, dass Schlagschatten, z.B. durch eine Baumreihe erzeugt, nicht als eine Tunneleinfahrt interpretiert werden.

Ziel der Tunnelerkennung ist es, Tunnel mit höchst möglicher Sicherheit zu erkennen und Fehlerkennungen wie z.B. bei Baumreihen zu vermeiden. Aus diesem Grund müssen die im Straßenverkehr vorhandenen Tunnel untersucht und herausgefunden werden, ob und wie mit dem vorhandenen Leuchtdichtemesser eine Tunnelerkennung möglich ist. Falls der vorhandene Sensor eine Tunnelerkennung nicht ermöglicht, müssen geeignete zusätzliche Sensoren eingesetzt werden.

Zur Realisierung einer Tunnelerkennung muss zuerst einmal die Tunnelbeleuchtung betrachtet werden. Im CIE "Guide for Lighting of Road Tunnels and Underpasses" (CIE 88) von 1990 [4] unterscheidet man zwischen kurzen und langen Tunnels. In diesem CIE Leitfadenschema wurde ein Schema aufgenommen, das als Grundlage für die Entscheidung dient,

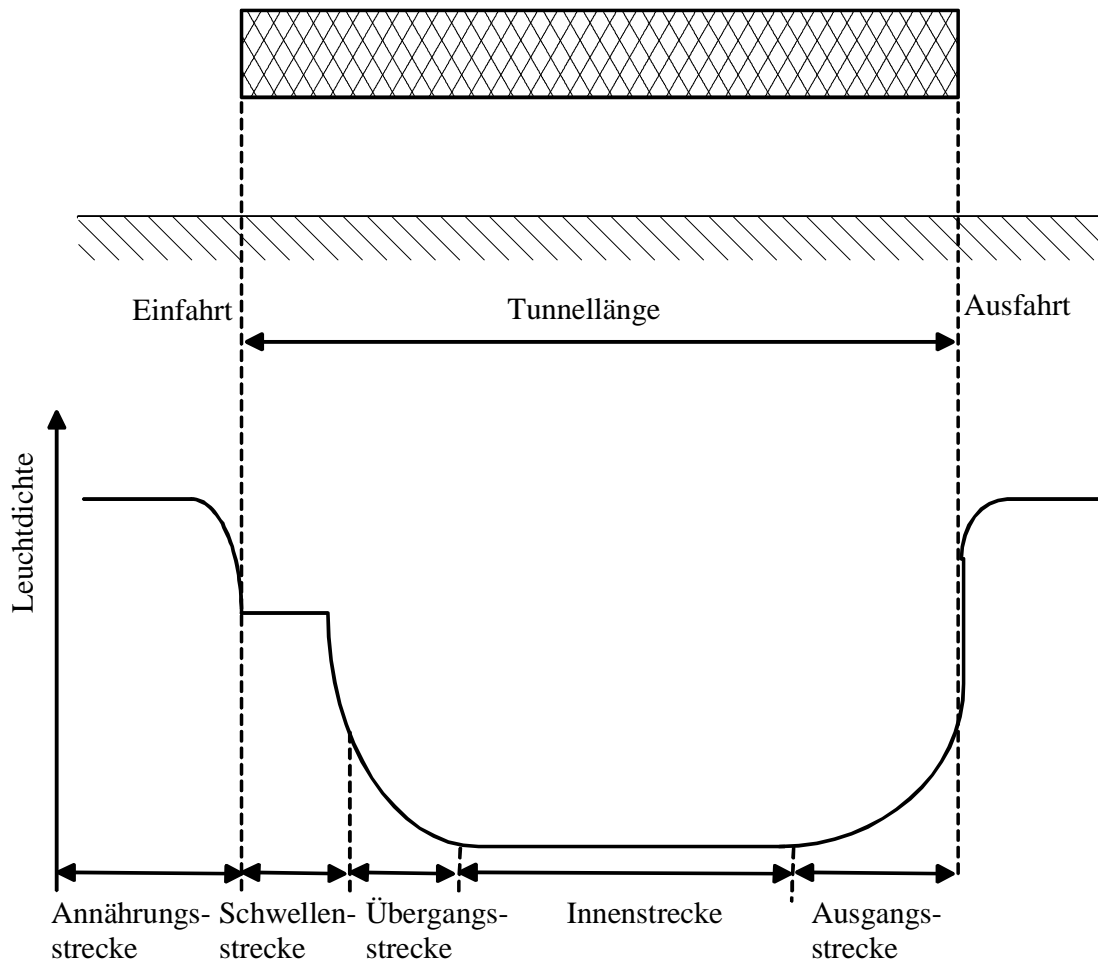


Abbildung 4: Empfohlener Verlauf der Leuchtdichte bei einer Tunneldurchfahrt nach der CIE 88 [4]

ob ein Tunnel oder eine Unterführung am Tage zu beleuchten ist. Ein Tunnel gilt als lang, wenn aus der Haltesichtweite vor der Tunneleinfahrt die Tunnelausfahrt für den Kraftfahrer nicht sichtbar ist oder wenn das Verhältnis der Tunnelstrecke zur Tunnelbreite größer als 5:1 ist. Anderenfalls gilt der Tunnel aus lichttechnischer Sicht als kurz. In der Regel haben kurze Tunnel eine Länge von 50 bis 200m. Der von der CIE empfohlene Verlauf der Tunnelbeleuchtung wird in Abbildung 4 gezeigt.

Bisher existieren in den meisten Ländern keine normativen Regelungen für die Beleuchtung kurzer Tunnel. Das führt dazu, dass es heutzutage noch einige schlecht oder gar nicht beleuchtete kurze Tunnel gibt. Kurze Tunnel zeichnen sich meist durch kompliziertere Wahrnehmungsbedingungen als lange Tunnel aus. Bei den kurzen Tunnels sind die Leuchtdichtesprünge am Ein- und Ausgang meistens wesentlich größer als bei langen beleuchteten Tunnels. Auf Grund dieser Tatsache lässt sich hierfür sehr leicht eine Entscheidungsschwelle für den Sensorwert L_{vorne} finden.

Bei Tunnels, die aus lichttechnischer Sicht als "lang" angesehen werden, ist eine Tunnelbeleuchtung nach der CIE "Norm Guide for Lightning of Road Tunnels and Underpasses" [4] geregelt.

Aus der Empfehlung für Tunnelbeleuchtung lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- "Lange" Tunnel mit Beleuchtung lassen sich in den meisten Fällen schwerer erkennen als kurze Tunnel, was an den nicht so groß ausfallenden Leuchtdichtesprüngen am Ein- und Ausgang der "langen" Tunnel liegt.
- Die betrachteten Leuchtdichten beziehen sich auf die horizontale Leuchtdichte in Fahrtrichtung bei einem Öffnungswinkel von 20°. Der Öffnungswinkel des verwendeten Leuchtdichtemessers liegt im Vergleich dazu bei ca. 30° und zeigt ungefähr in die gleiche Richtung. Er eignet sich somit vorraussichtlich sehr gut zur Tunnelerkennung.
- Innerhalb der Schwellenstrecke (siehe Abbildung 4) dürfen nach der CIE 88 [4] Leuchtdichtesprünge bis 3:1 auftreten. Die Steuerung muss daher so gestaltet werden, dass in einem solchen Fall der Tunnelerkennungsmodus nicht verlassen wird.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird der Sensorparameter L_{vorne} zur Tunnelerkennung verwendet.

Es wurden daraufhin je 25 Tunnel und Schlagschatten mit dem Versuchsträger durchfahren und mittels eines Fahrtenschreibers die Sensorwerte festgehalten. Die Auswertung dieser Werte ergibt die Bedingung zur Tunnelerkennung und Schlagschattenausblendung (siehe Gleichung 1).

$$\text{Tunneleinfahrt:} \quad \frac{1}{5} \sum_{t=t_0}^{5t_0} L_{vorne} < 70 \text{ cd / m}^2$$

$$\text{Tunnelausfahrt:} \quad \frac{1}{5} \sum_{t=t_0}^{5t_0} L_{vorne} > 70 \text{ cd / m}^2$$

Mit t =Zeit in Sekunden [s] und $t_0=0,5\text{s}$

Gleichung 1: Leuchtdichteparameter zur Tunnelerkennung

Um Schlagschatten nicht als Tunnel zu interpretieren, wird der Sensorparameter L_{vorne} über die letzten 5 Werte gemittelt (siehe Gleichung 1). Das heißt, es wird ein gleitender Mittelwert über die letzten 2s verwendet. Handelt es sich z.B. um eine Baumreihe, so treten kleine und große Leuchtdichtewerte nacheinander auf. Auf Grund der großen Leuchtdichtewerte liegt der gleitende Mittelwert zumeist oberhalb der Entscheidungsschwelle. Damit wird die Beleuchtungssituation nicht als Tunnel gedeutet.

Erprobungsfahrten zeigen, dass allein die Schaltbedingungen aus der Gleichung 1 für eine sichere Tunnelerkennung nicht ausreichend sind. Fehler traten hauptsächlich bei Dämmerung oder vollständig bedecktem Himmel auf. In diesem Fall ist der Unterschied zwischen der Leuchtdichte inner- und außerhalb des Tunnels recht klein. Ein Ignorieren eines Tunnels durch die Steuerung kann somit akzeptiert werden. Die Einführung einer Erkennung eliminiert ein Fehlschalten der Steuerung bei Dämmerung oder bei vollständig bedecktem Himmel. Der Wert L_{vorne} wird zu diesem Zwecke über die 25 letzten Werte gemittelt, um einen relativ konstanten Verlauf von L_{vorne} zu erzeugen. Es wurde experimentell der Wert 300 cd/m² festgelegt. Wenn dieser Wert unterschritten wird, bleibt die Tunnelerkennung inaktiv. Ist dieser Wert größer

als 300 cd/m^2 , werden die Bedingungen aus der Gleichung 1 zur Tunnelerkennung verwendet. Im Falle einer Tunnelerkennung wird die Steuerung in nicht wahrnehmbaren Leuchtdichtestufen kurzzeitig überbrückt. Anschließend wird die Steuerung in nicht wahrnehmbaren Leuchtdichtestufen fortgesetzt.

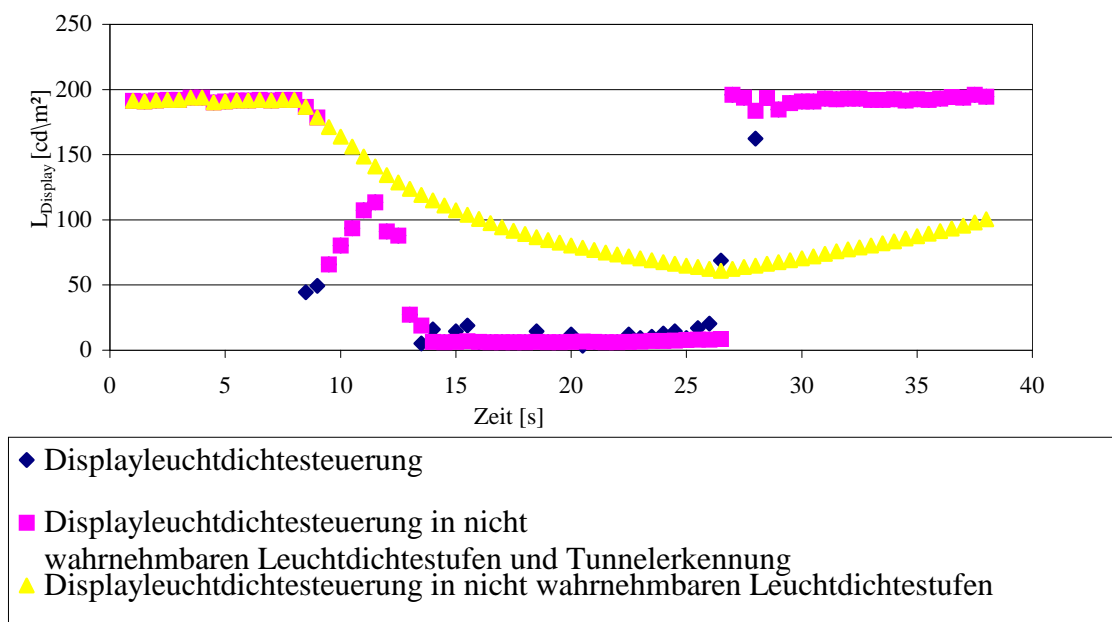


Abbildung 5: Tunneldurchfahrt mit Displaysteuerung mit Tunnelerkennung und Schlagschattenausblendung

Das Verhalten der Steuerung, die durch die Funktion "Tunnelerkennung" erweitert wurde, zeigen Abbildung 5 für eine Tunneldurchfahrt und Abbildung 6 bei einer Fahrt entlang einer Baumreihe. Anhand von Abbildung 5 erkennt man, dass sich die Steuerung mit Tunnelerkennung schnell an die Situation anpasst und gleichzeitig die Leuchtdichtespitzen der Deckenleuchten ignoriert. In Abbildung 5 zeigt sich, dass eine Baumreihe nicht als Tunnel erkannt wird und die starken Leuchtdichteschwankungen durch die Steuerung in nicht wahrnehmbaren Leuchtdichtestufen ausgeglichen werden.

Die Steuerung wurde mit Hilfe der Referenzdaten von je 25 Tunnels und Schlagschatten überprüft. Die Fehlerquote bei der Tunnelerkennung betrug zunächst 52 %. Nach Optimierung der Tag-Nacht-Erkennung konnte die Fehlerhäufigkeit bei der Tunnelerkennung auf 8% gesenkt werden. Die Fehlerhäufigkeit bei Schlagschatten lag bei 4%.

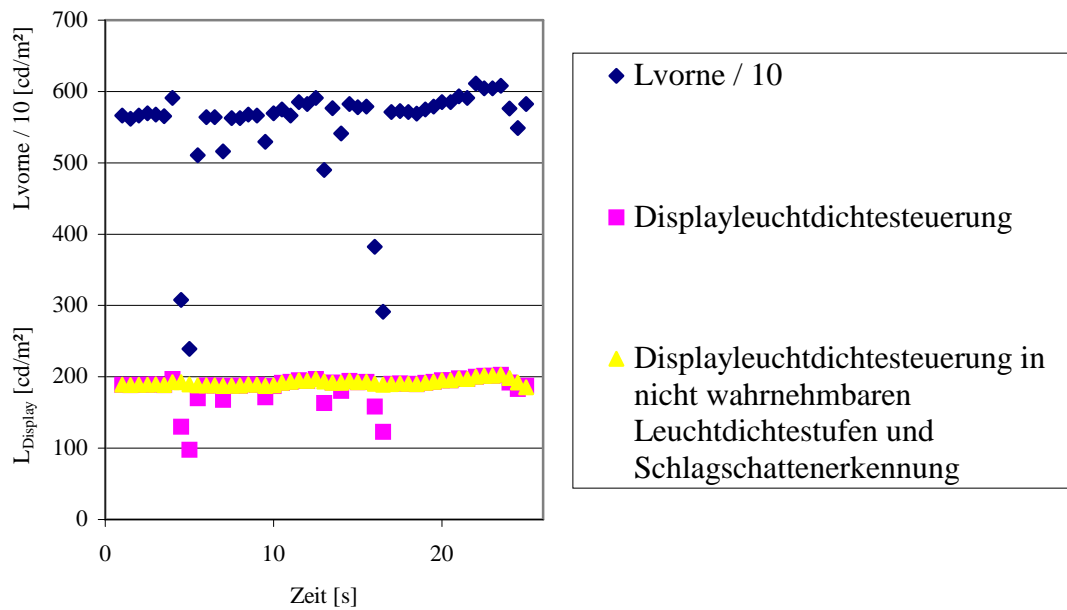


Abbildung 6: Schlagschattenausblendung bei der Fahrt entlang einer Baumreihe

Literatur- bzw. Quellenhinweise

- [1] S. Kokoschka; Vorlesungsskript Physiologie des Sehens; Lichttechnisches Institut der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1997
- [2] C. Diem, H. J. Schmidt-Clausen, Löwenau, J. Bernasch; Analysis of Eye-Movement Behaviour Using Moveable Headlamps; PAL 1999, Darmstadt 1999
- [3] T. Weis; Leuchtdichte- und Kontraststeuerung von Displays bei Verwendung als elektronische Spiegel; Forschungsbericht (unveröffentlicht), Wolfsburg 2001
- [4] Guide for the lighting of road tunnels and underpasses; CIE, Technical Report, 1990

OPERATIONAL CHANGES OF ROAD LIGHTING LUMINAIRES

M. Sc. Eng. Małgorzata Zalesińska
Dr Eng. Aleksander Gandecki
Poznan University of Technology
Lighting Division
Piotrowo Street 3a
PL - 60-965 Poznan
e-mail: rozycka@sol.put.poznan.pl

I. Introduction

All over the world drivers having to travel long distances expect that their trip will be safe, comfortable and fast. Fast moving traffic can be described as a movement free of any overloads or disturbances, thus carried out under conditions enabling a driver to reach high speeds. A comfortable traffic is understood as a movement not requiring from the driver constant strain as well as ensuring reliable and easy perception. Safe traffic means a movement free of any collisions and accidents. The studies conducted in various countries indicate close relationships between the quality of lighting and road safety. Proper road lighting may contribute to the reduction of accidents occurring at night by approximately 30% in relation to the state where there is no stationary road lighting or it is switched off or incorrectly designed and the costs of road lighting equipment operation pay off as savings which the society may gain thanks to the traffic accidents prevention. One of the factors ensuring proper road lighting is maintaining the correct level of the photometric parameters of the lighting equipment, such as luminaire efficiency, luminaire luminance in a given direction, photometric solid of luminous intensity decisive as regards the luminance distribution on a road. Knowledge of real operational changes of the basis photometric parameters of a luminaire and maintenance thereof at a proper level during the entire period of the road lighting equipment operation have an influence on determining maximum operating hours of the luminaires and, consequently, on establishing the adequate process of maintenance procedures.

II. Causes of luminaires luminous flux changes

During operation of the lighting equipment, the luminous flux of the luminaire decreases as a result of:

- reduced light source flux while glowing

- - dirty parts of the luminaire such as a reflector, globe, light source
- - aging of materials applied in the photometric part of the luminaire
- - changes connected with the lamps feeding conditions, lower supply voltage
- - changes connected with the ambient conditions (ambient temperature changes) that may affect the value of the light source luminous flux.

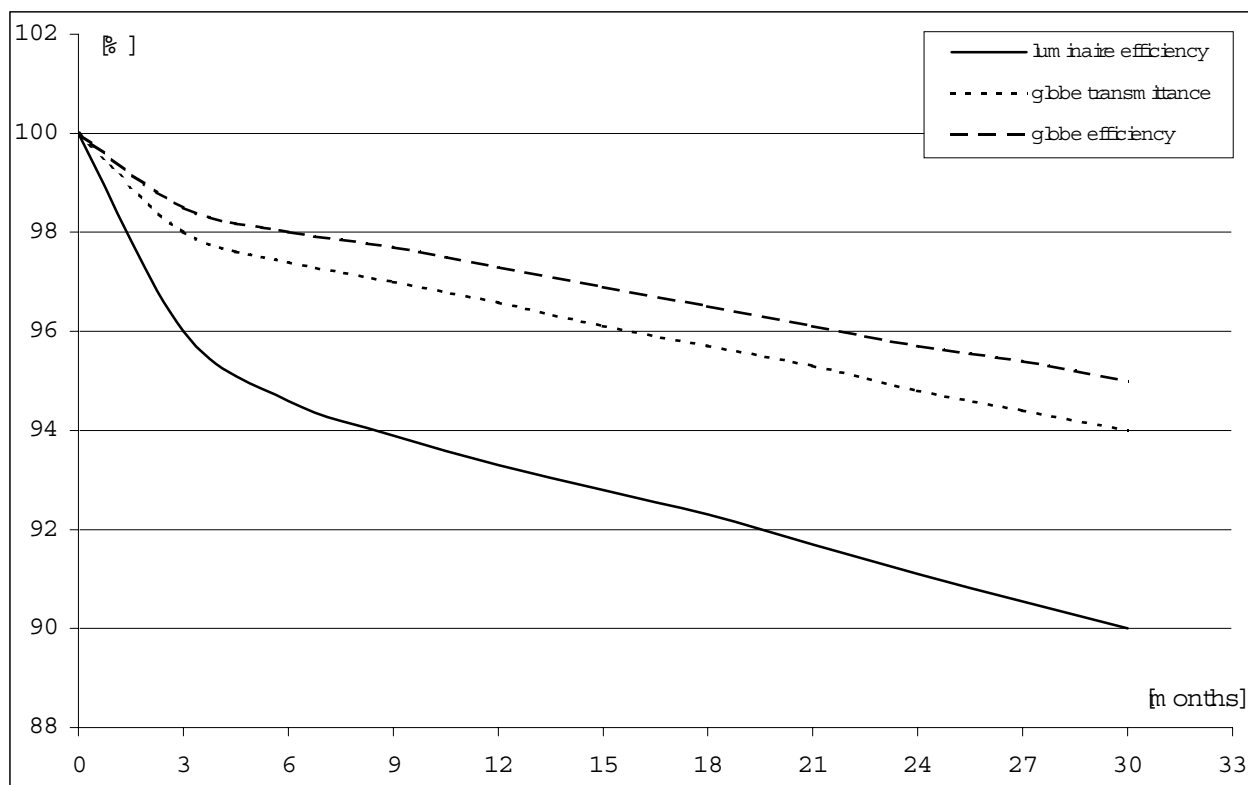
The aforementioned causes of the luminous flux drop shall be taken into consideration while designing the lighting equipment by correctly selecting the maintenance factor, which has a direct impact on the investment and operating costs of the road lighting. Generating detailed data required for the determination of the maintenance factor presents great difficulties. While the luminous flux drop of the light source during operation can be assumed on the basis of the data obtained from the manufacturer, the processes of aging and getting dirty of materials used in reflectors and globes, usually assumed with a rough approximation, depend on the luminaire design and its operating environment. The maintenance factors pertaining to the supply voltage variations and ambient temperature have usually a small value and the luminaire luminous flux drop is not constant in nature, i.e. it may occur or not.

III. Laboratory tests

In order to determine the operational changes of the road lighting luminaires connected mainly with the fact that the materials and structural elements of the luminaires become dirty and are subject to the aging process, laboratory tests of luminaires operating in real conditions were conducted. The above tests aimed at determining the following changes:

- luminous flux and luminaire efficiency
- - shape of the photometric solid of luminous intensity
- - globe efficiency
- - globe transmittance
- - reflectance of the reflector.

All the measurements were made on new luminaires, on luminaires after three months and two and a half year of operation. Furthermore, the luminaires, which have been operated for two and a half year undergone maintenance procedures. The measurement results are shown in diagrams.



Operational changes of materials and structural elements of road lighting luminaires.

IV. Summary

The luminaires operating under real conditions are subject to constant environmental impact. Operational changes of such luminaires depend strongly on the place of installation thereof and on the atmospheric state. All tests were conducted for luminaires operating within the city of Poznan. The conducted measurements showed a 4% drop of the utilization factor after three months of operation and approximately a 10% drop of the utilization factor after thirty months of operation. The applied maintenance procedures consisting in globe cleaning improved the value contemplated hereby by approximately 8%. Furthermore, it has been found that the globe efficiency changed by 2% and the globe transmittance by approximately 1.5% as regards the first measurement period while as regards the second measurement period the globe efficiency changed by 6% and the globe transmittance by 5%. In this case, the applied maintenance procedures improved the globe efficiency by 3.5% and the globe transmittance by 1.5%. Measurements of the reflectance of a reflector conducted during the aforementioned measurement periods showed no changes of the said transmittance. This fact may be explained by the high quality of materials used in the reflectors as well as by the high level of protection of the optical parts of the luminaires under tests - IP65. The measurements

showed no change in the nature of photometric solid. Only the maximum luminous intensity drooped, which is obviously connected with the globe itself being dirty. The tests and works conducted so far indicate that regular maintenance procedures are necessary. The nature of such maintenance procedures and the respective intervals should be precisely determined on the basis of the measurements conducted under real conditions. Changes of the operating parameters of road lighting luminaires are continued to be surveyed. Precise determination of changes occurring in the luminaires will make it possible to determine the minimum investment and operating costs due to correctly selected maintenance factor.

Literature:

1. W. J. M. van Bommel, J. B. de Boer: Road Lighting. Technical Library Kluwer Technische Boeken B. V.-Deventer – Antwerpen.
2. Lighting Manual. Philips Lighting, Fifth Edition 1993.
3. Gandecki A., Zalesińska M.: Zmiany eksploatacyjne opraw oświetlenia drogowego. IX Konferencja Oświetleniowa, 8-9.11.2000. Warszawa.
4. Baranowski P.: Zmiany strumienia świetlnego urządzeń oświetleniowych w czasie. Poradnik – Informator Technika Świetlna'98.

Blendungsbewertung in der Außenbeleuchtung

Dipl.-Ing. Holger Kschischenk, Hermannstädter Str. 47, 01279 Dresden

Arten der Blendung

- Die **physiologische Blendung** bewirkt eine Verminderung der Sehleistung. Der Wirkungsmechanismus beruht auf dem im Auge durch Lichtstrahlen entstehenden Streulicht.
- Die **psychologische Blendung** verursacht das unangenehme Gefühl des Geblendetseins.

Blendungsformeln

	Bezeichnung	Kennziffer	Formel	Blendungsart	
1.	Threshold increment	TI	$\approx 65 \frac{L_{säq}}{L_u^{0,8}} \%$	Physiologische Blendung	räumliche Anordnung berücksichtigt
2.	Blendindexklassen (DIN EN 13201)	D0 – D6	$I \cdot A^{-0,5}$	Psychologische Blendung	ein Leuchtkörper wird betrachtet
3.	Lichtstärke-Intensitätsklassen (DIN EN 13201)	G1 – G6	Auswahl aus Tabelle	Physiologische Blendung	ein Leuchtkörper wird betrachtet
4.	G - Wert	G	$1384 - 3,31 \lg I_{80} + 1,3 \left(\lg \frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{0,5} - 0,081 \lg \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1,29 \lg A_L + 0,97 \lg L_m + 4,41 \lg h - 1,46 \lg n + C$	Psychologische Blendung	räumliche Anordnung berücksichtigt
5.	Klasse der Blendungsbegrenzung (DIN 5044)	KB	Auswahl aus Tabelle	Physiologische Blendung	ein Leuchtkörper wird betrachtet



Blendindexklasse D nach DIN EN 13201


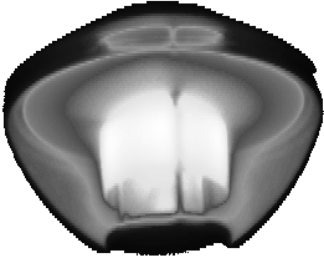
Klasse	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Maximaler Blendungsindex		7000	5500	4000	2000	1000	500

Lichtstärke-Intensitätsklasse G nach DIN EN 13201

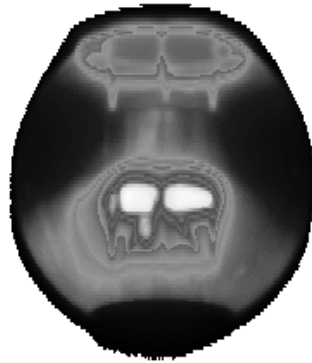
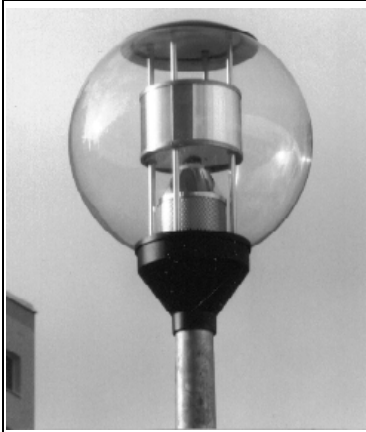
Klasse	Lichtstärkewerte (Höchstwerte) [cd/klm]			Andere Anforderungen
	70°	80°	90°	
G1		200	50	
G2		150	30	
G3		100	20	
G4	500	100	10	I = 0 cd oberhalb 95°
G5	350	100	10	I = 0 cd oberhalb 95°
G6	350	100	0	I = 0 cd oberhalb 90°

Bewertete Beleuchtungsanlagen

Leuchte 1	
	 <p> Lichtpunktabstand = 27,60m Lichtpunkthöhe = 3,20m Fahrbahnbreite= 5,20m Anordnung einseitig Bestückung NAV/E 50W </p> <p> $L_m = 0,35 \text{ cd/m}^2$ $U_0 = 0,17$ $E_m = 4,8 \text{ lx}$ $g_1 = 0,08$ </p> <p> TI= 47,0 D5 (540) G= 3,9 G ?? KB ?? </p>

Leuchte 2	
	 <p> Lichtpunkthöhe = 4,50m Lichtpunktabstand = 34,70m Fahrbahnbreite= 6,00m Anordnung einseitig Bestückung QL 85W </p> <p> $L_m = 0,37 \text{ cd/m}^2$ $U_0 = 0,23$ $E_m = 4,1 \text{ lx}$ $g_1 = 0,18$ </p> <p> TI= ca. 42 D5 (871) G= 4,3 G ?? KB ?? </p>

Leuchte 3



Lichtpunkthöhe = 3,75m
 Lichtpunktabstand = 13,50m
 Fahrbahnbreite= 4,80m
 Anordnung einseitig
 Bestückung NAV/E 50W

$L_m = 0,40 \text{ cd/m}^2$ $U_0 = 0,40$
 $E_m = 4,2 \text{ lx}$ $g_1 = 0,41$

TI= ca. 13 D4 (1016)
 G= 6,5 G3
 KB 2

Leuchte 4



Lichtpunkthöhe = 8,00m
 Lichtpunktabstand = 42,50m
 Fahrbahnbreite= 7,50m
 Anordnung einseitig
 Bestückung HQL 125W

$L_m = 0,36 \text{ cd/m}^2$ $U_0 = 0,31$
 $E_m = 5,2 \text{ lx}$ $g_1 = 0,23$

TI= 9,0 D3 (3379)
 G= 7,2 G3
 KB1

Zusammenfassung

- Blendungskennziffern führen bei gleicher Leuchte und gleichbleibender Beleuchtungsgeometrie z.T. zu gegensätzlichen Aussagen.
- Die leuchtende Fläche lässt sich schwer ermitteln und scheint als Kriterium der Blendungsbewertung nicht vorrangig geeignet.
- Bei Bewertung der Leuchten nach $D = I * A^{-0,5}$ (DIN EN 13201) liegen die D-Werte vieler Leuchten in den Blendindex-Klassen D6-D5. Eine feinstufige Einschätzung ist dadurch nicht gegeben.
- Die Anforderungen der Lichtstärke-Intensitätsklassen mit 0 cd oberhalb 90° bzw. 95° verhindern die Einstufung einiger Leuchten und liefern keinen Beitrag zur Blendungsbegrenzung.

Ausblick

- Es besteht die Notwendigkeit die Blendungsbewertung zu vereinheitlichen und neue, in der Praxis anwendbare Gütekennziffern zu finden. Besondere Bedeutung kommen dabei der Leuchtdichteverteilung und dem Raumwinkel zu.
- Mit Einführung der DIN EN 13201 wird die Leuchtenindustrie Aussagen zu leuchtenden Flächen und ggf. Leuchtdichten unter bestimmten Winkeln ihrer Leuchten treffen müssen. Die Ermittlung dieser Parameter ist in der Praxis zu aufwendig.

Darstellung im Internet unter www.candela-data.de

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer browser window. The title bar reads "candela-data - Startseite - Microsoft Internet Explorer". The address bar contains "http://www.candela-data.de". The browser's menu bar includes "Datei", "Bearbeiten", "Ansicht", "Favoriten", and "Extras". The toolbar contains icons for "Zurück", "Vorwärts", "Abbrechen", "Aktualisieren", "Startseite", "Suchen", "Favoriten", "Verlauf", "E-Mail", "Drucken", and "Links".

The main content area is divided into three sections:

- Left sidebar:** Titled "Informationen für die Licht- und Beleuchtungstechnik". It contains a vertical list of buttons: "Hauptseite", "Software", "Informationen", "Ausschreibungen", "Berechnungen", "Werbung", and "Impressum". Below the buttons is a small logo and the text "Copyright candela-data".
- Middle sidebar:** A vertical list of menu items: "Blendungsbev in der Außenbeleuch", "Arten der Bler", "Blendungsform", "Blendungsform", "Blendungsform", "Blendungsform", "Blendindexkla nach DIN EN 13201", "Lichtstärke- Intensitätsklas nach DIN EN 1", "Leuchten", "Lichtstärke- Intensitätsklas Einordnung Le", "Leuchten", and "Leuchten".
- Main content area:** Features a dark background with the title "Blendungsbewertung in der Außenbeleuchtung" in large white text. Below the title is the author's name "Dipl.-Ing. Holger Kschischenk". There is a logo for "TU Dresden" (a square with a stylized 'U') and a "candela-data" logo (a light bulb). A mouse cursor is visible over the main content area.

The status bar at the bottom of the browser window shows "Fertig" on the left and "Internet" on the right. In the center of the status bar, it says "Notizen" and "Folie 1 von 27".

Vergleichende Beurteilung des Blendungsverhaltens von adaptiven Kfz-Scheinwerfersystemen in Kurven

Stefan Wolf, TU Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau
Dietrich Gall: Fachgebiet Lichttechnik, PF 100565, 98684 Ilmenau

Frank Ewerhart: Robert Bosch GmbH, Abt. FV/SLH, PF 777777, 31139 Hildesheim

1 Einleitung

Das Fahren eines Kraftfahrzeuges ist bei Nacht mit einem deutlich höheren Unfallrisiko verbunden als bei Tag. Eine der wesentlichen Ursachen ist die verringerte Fahrersicht und damit verbunden ein zu spätes Erkennen von Fahrbahnverläufen und Objekten im Verkehrsraum. Mit der Einführung der Gasentladungslampe in den Automobilbereich gelang eine deutliche Verbesserung der Fahrersicht durch Erhöhung des Lichtstromes. Eine weitere Steigerung des Lichtstromes würde zu einer Verschärfung der Blendungsproblematik führen. Deswegen versucht man, das Licht „intelligent“ zu machen: Ziel zukünftiger Beleuchtungssysteme ist es, die Lichtverteilung an die Umfeldbedingungen im nächtlichen Straßenraum anzupassen.

In der Literatur sind verschiedene Lösungsansätze für dieses Problem beschrieben, die sich in der Art der Anpassung und in der genutzten Sensorart unterscheiden.

In einem gemeinsamen Projekt von der Robert Bosch GmbH und dem Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Ilmenau galt es für kurvenreiche Landstraßen ein vorausschauendes Scheinwerfersystem (Kurvenlichtsystem) zu entwickeln und zu evaluieren. Dabei wird die Lichtstärkeverteilung der Scheinwerfer selbst nicht verändert, sondern der gesamte Abblendlicht-Scheinwerfer um eine horizontale und vertikale Achse drehbar gelagert. Besonderes Augenmerk lag auf der Art der verwendeten Sensortypen. Während alle Sensortypen, die Meßgrößen am Fahrzeug selbst ermitteln (Lenkwinkel-, Raddrehzahldifferenz- oder Beschleunigungssensoren), den Straßenverlauf nur unmittelbar am bzw. hinter dem Fahrzeug bestimmen können, die Scheinwerfer aber bis über 60 m vor dem Auto wirksam sind, verspricht hier eine Videosensorik neue Möglichkeiten der vorausschauenden, exakten Ansteuerung der Scheinwerferschwenkwinkel.

Demzufolge wurden 2 Kurvenlichtsysteme entwickelt, die auf unterschiedlichen Sensortypen basieren. Als Sensoren kamen ein Lenkwinkelsensor und eine Videosensorik zum Einsatz. Die Videosensorik hat die wesentliche Eigenschaft, daß sie Fahrbahnkrümmungen vor dem Fahrzeug, also vorausschauend, bestimmen kann.

Ausgehend von einem statischen Modell, bei dem die optimalen Schwenkwinkel durch Standversuche bestimmt wurden, erfolgte eine Optimierung der Systeme unter dynamischen Bedingungen. Dabei wurden Fragen zur Güte der Fahrbahnausleuchtung subjektiv und durch Messung der Erkennbarkeitsentfernung von Sehobjekten am Straßenrand untersucht. Sowohl die subjektive Bewertung als auch die Messung der Erkennbarkeitsentfernung zeigen wesentliche Vorteile der Kurvenlichtsysteme vor allem in Linkskurven.

Mit dem lenkwinkelbasierten System, und noch deutlicher mit dem Videosystem wird eine entscheidende Vergrößerung der Erkennbarkeitsentfernung erreicht. In Rechtskurven sind diese Verbesserungen auch vorhanden und auch statistisch signifikant nachweisbar, fallen aber wegen der asymmetrischen Gestaltung der Scheinwerfer und des Straßenraums und den daraus resultierenden geringeren Scheinwerferschwenkwinkeln kleiner aus als in Linkskurven.

Eine weitere wesentliche Komponente der Beurteilung waren subjektive Bewertungen zur Akzeptanz bzw. Annehmlichkeit durch Versuchspersonen. Von diesen Versuchspersonen wurden die

Kurvenlichtsysteme als angenehmer und sicherer empfunden als das starre System, die Bewertungen für das Videosystem fielen deutlich positiver aus als für das Lenkwinkelsystem.

Dieser Beitrag beschäftigt sich vorrangig mit der Bewertung der Kurvenlichtsysteme aus der Sicht des Gegenverkehrs. Hier steht die Frage, ob die Vorteile für den Fahrzeugfahrer eventuell durch eine erhöhte Blendung des Gegenverkehrs erkaufte werden müssen, oder ob durch das Kurvenlicht sogar eine Blendungsreduzierung möglich ist. Es werden die Bewertungsverfahren und die Ergebnisse für einen Scheinwerfertyp präsentiert.

2 Bewertungsverfahren

Die Blendung des Gegenverkehrs stellt in der Praxis einen doppelt dynamischen Vorgang dar, da sich sowohl das Versuchsfahrzeug (die potenzielle Blendquelle) als auch der Beobachter (der Geblendete) bewegen. Schon die geometrischen Verhältnisse sind äußerst komplexer Natur. Während für die Begegnung zweier Fahrzeuge auf gerader Strecke nur der Abstand zwischen den Fahrzeugen als Variable zu betrachten ist, kommt bei einer Fahrt auf einer Straße mit konstanter Krümmung (also eine Kreisfahrt, Abbildung 1, links) noch der Kurvenradius hinzu.

Reale Straßen bestehen aber aus Geraden, Abschnitten mit konstanter Krümmung, Bereichen mit variabler Krümmung und den Übergängen zwischen allen Varianten (Abbildung 1, rechts). Der für die Blendung wichtige geometrische Parameter, der Blendwinkel Θ ist somit eine Funktion von

- der Position des Versuchsfahrzeuges,
- dem Abstand der beiden Fahrzeuge und
- dem Verlauf des Kurvenradiuses zwischen beiden Fahrzeugen, welcher wiederum von der Position der Fahrzeuge relativ zur Kurve abhängt.

Eine vollständige experimentelle Blendungsbewertung durch subjektive Beurteilung oder direkter Messung ist somit nicht mit vertretbarem Aufwand durchführbar. Es wurde deshalb eine Situation mit stehendem Versuchsfahrzeug und sich bewegenden Beobachter ausgewählt, für die alle drei, im folgenden beschriebenen Bewertungsverfahren angewandt wurden, und die Ergebnisse untereinander verglichen. Die Bewertungen der realen Kurvendurchfahrten unter Berücksichtigung des doppelt dynamischen Charakters erfolgte dann nur durch eine Simulationsrechnung.

Die drei Bewertungsverfahren waren:

- subjektive Bewertung mittels psychometrischer Skala
- Messung der Blendbeleuchtungsstärke & Blendwinkel und Berechnung der Schwellenleuchtdichteerhöhung aus den Meßdaten
- Simulation des Begegnungsvorganges basierend auf realen Geometriedaten und Berechnung der Blendbeleuchtungsstärke und Blendwinkel aus den Simulationsergebnissen und den lichttechnischen Scheinwerferdaten.

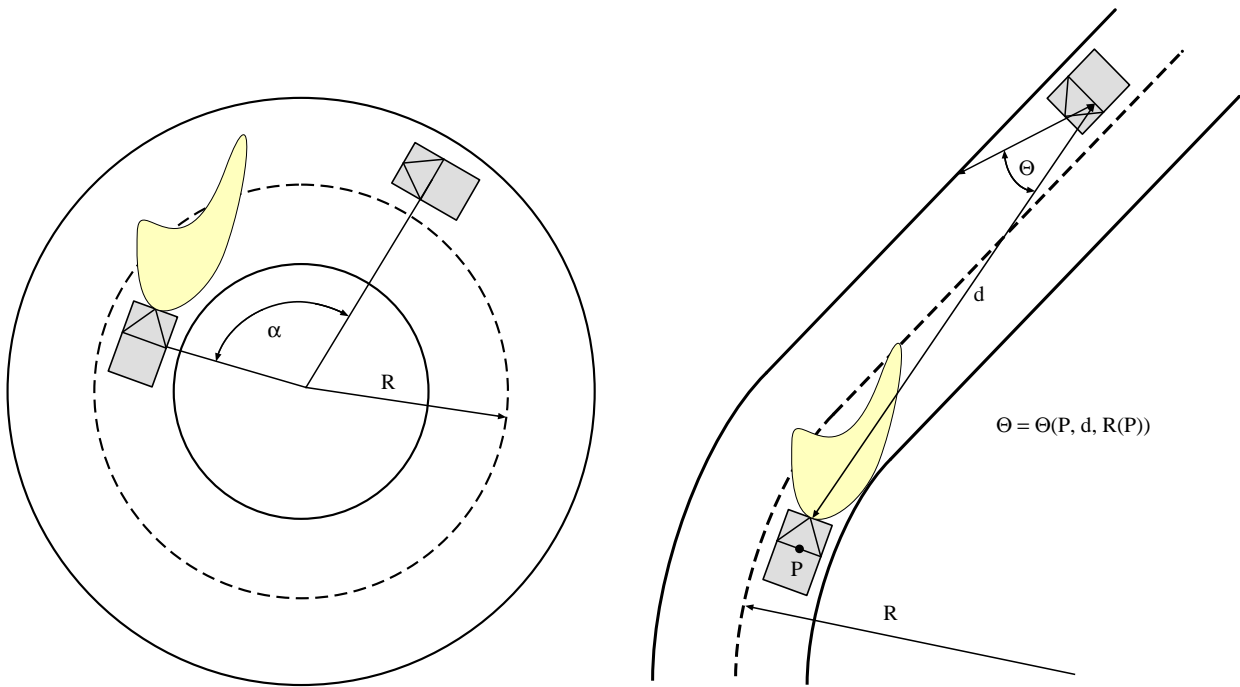


Abbildung 1: Geometrische Verhältnisse bei der Begegnung zweier Fahrzeuge während einer Kreisfahrt und auf realen Straßen

2.1 Subjektive Bewertung

Bei der subjektiven Bewertung wird die psychologische Blendung bestimmt. Die Messung erfolgt mittels einer psychometrischen Skala durch Befragung von mehreren Versuchspersonen. Die hier verwendete psychometrische Skala besteht aus 5 Werten (Noten 1 bis 5), wobei den einzelnen Werten die Urteile „Blendung nicht vorhanden“, „gering“, „erträglich“, „störend“ und „unerträglich“ zugeordnet sind. Die Versuchspersonen werden gebeten, ihren Blendeindruck auf dieser Skala zu notieren.

2.2 Messung

Für die meßtechnische Blendungsbewertung ist ein Kriterium notwendig, das die Höhe der Blendung beschreibt. Ein mögliches Meßkriterium ist die relative Schwellenleuchtdichteerhöhung. Man geht davon aus, daß ein Sehobjekt eine Mindestleuchtdichte haben muß, um gesehen zu werden. Diese Mindestleuchtdichte ist u.a. von der Sehobjektgröße und dem Kontrast zum Umfeld abhängig und soll an dieser Stelle von ihrem Absolutwert her nicht interessieren. Wird ein Beobachter von einer Lichtquelle geblendet, erhöht sich diese Mindestleuchtdichte um den Betrag ΔL_S . Die Zusammenhänge zwischen der Blendbeleuchtungsstärke E_B , dem Blendwinkel Θ und der Schwellenleuchtdichte ΔL_S sind in [1] und [2] beschrieben und sollen hier benutzt werden.

Abbildung 2 zeigt den funktionellen Zusammenhang zwischen der Schwellenleuchtdichteerhöhung ΔL_S und der Blendbeleuchtungsstärke. Für den blendfreien Fall ($E_B \rightarrow 0$) beträgt $\Delta L_S = \Delta L_{S0}$ und für große Blendbeleuchtungsstärken wird ΔL_S direkt proportional zu E_B . Der allgemeine Fall läßt sich durch die Gleichung

$$\Delta L_S = \Delta L_{S0} \cdot (1 + E_B/C_E) \quad (1)$$

beschreiben. Der Wert C_E stellt die Blendbeleuchtungsstärke dar, bei der die Schwellenleuchtdichteerhöhung gerade 100 % erreicht hat.

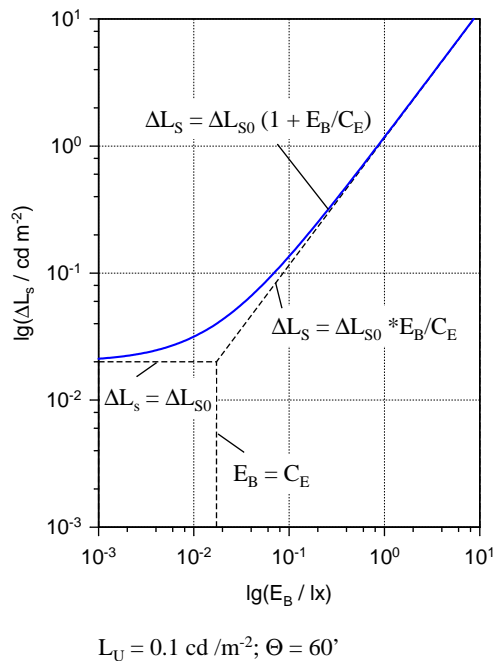


Abbildung 2: Schwellenleuchtdichteerhöhung als Funktion der Blendbeleuchtungsstärke (aus [2])

2.3 Simulation

Ziel der Simulation ist es, den zeitlichen Verlauf der Schwellenleuchtdichteerhöhung für eine Vielzahl von Beobachtern (Gegenverkehr) bei der Begegnung mit dem Versuchsfahrzeug, welchen mit den adaptiven Scheinwerfersystemen (Kurvenlichtsystemen) ausgerüstet ist, in realen Kurvenverläufen zu berechnen. Dazu müssen der Straßenverlauf und die aktuellen Scheinwerferschwenkwinkel erfaßt werden. Der zeitliche Verlauf der Positionen der Beobachter auf der Gegenfahrbahn können dann unter Vorgabe einer Beobachtersgeschwindigkeit und der Startpositionen berechnet werden. Mit Hilfe der Lichtbündelquerschnitte der Scheinwerfer und der Schwenkwinkel kann dann die Blendbeleuchtungsstärke berechnet werden. Die Blendwinkel werden durch Annahme einer Blickrichtung des Beobachters und aus den Positionen der beiden Fahrzeuge auf der Straße bestimmt.

Der Straßenverlauf wird durch eine Rekonstruktion des gefahrenen Weges des Versuchsfahrzeugs bestimmt. Dazu werden die Fahrzeuggeschwindigkeit, der Lenkwinkel und die Einzelradgeschwindigkeiten jeweils als Funktion der Zeit während einer Meßfahrt auf einer kurvenreichen Versuchsstrecke erfaßt. All diese Informationen sind auf einem fahrzeuginternen Bus-System (CAN-Bus) verfügbar, ebenfalls sind die aktuellen Scheinwerferschwenkwinkel als CAN-Botschaften vorhanden. Die relevanten CAN-Botschaften werden durch einen Meßrechner mitgeschrieben und stehen als Grundlage für die Simulation zur Verfügung.

Die gesamte Simulation läuft in 4 Schritten ab:

1. Erfassung der CAN-Daten in Echtzeit während einer Versuchsfahrt
2. Analyse der CAN-Daten (im Labor)
3. Berechnung von zweidimensionalen (2D) Geometriedaten für die gesamte Testfahrt
4. Animation und Berechnungen von Beleuchtungsstärken und Blendungskennzahlen in einem dreidimensionalen (3D) Modell

Der C_E -Wert ist abhängig vom Blendwinkel Θ zwischen der Blickrichtung und der Blendlichtquelle und der Umfeldleuchtdichte L_U . Die Winkelabhängigkeit wird nach [1] durch die Gleichung

$$C_E = C_{E0}(L_U) \cdot \Theta^{2,2} \quad (2)$$

beschrieben.

Der Wert für C_{E0} wurde aus [2] für eine Umfeldleuchtdichte $L_U = 0,1 \text{ cd/m}^2$ entnommen und beträgt $C_{E0} = 4.8 \cdot 10^{-6} \text{ lux/min}^{2,2}$.

Der Blendwinkel wird unter der Annahme einer Blickrichtung auf den rechten Fahrbahnrand in 30 m Entfernung bestimmt und die Blendbeleuchtungsstärke E_B gemessen. Mit diesen Werten läßt sich die relative Schwellenleuchtdichteerhöhung als Blendungsmaß bestimmen.

Nach der Erfassung und Analyse der CAN-Daten sind die Fahrbahnkrümmung und die Scheinwerferschwenkwinkel der beiden Kurvenlichtsysteme als Funktion der gefahrenen Wegstrecke vorhanden. Aus dem Verlauf der Fahrbahnkrümmung läßt sich durch numerische Integration die gefahrene Wegstrecke rekonstruieren.

Für die Berechnung der Positionen der anderen Objekte (Straßenmarkierungen, Scheinwerferpositionen, Beobachteraue) werden Annahmen für die relativen Positionen zum Versuchsfahrzeug benötigt. Im einzelnen sind das folgende Festlegungen:

- Das Versuchsfahrzeug fährt immer in der Mitte der rechten Fahrspur.
- Die Fahrspurbreite (FSB) beträgt 3,0 m.
- Der Abstand der Scheinwerfer am Versuchsfahrzeug (ASW) beträgt 1,20 m.
- Der Gegenverkehr fährt in der Mitte der Gegenfahrspur.
- Der Fahrer sitzt 35 cm versetzt zur Fahrzeugmitte (OFB).

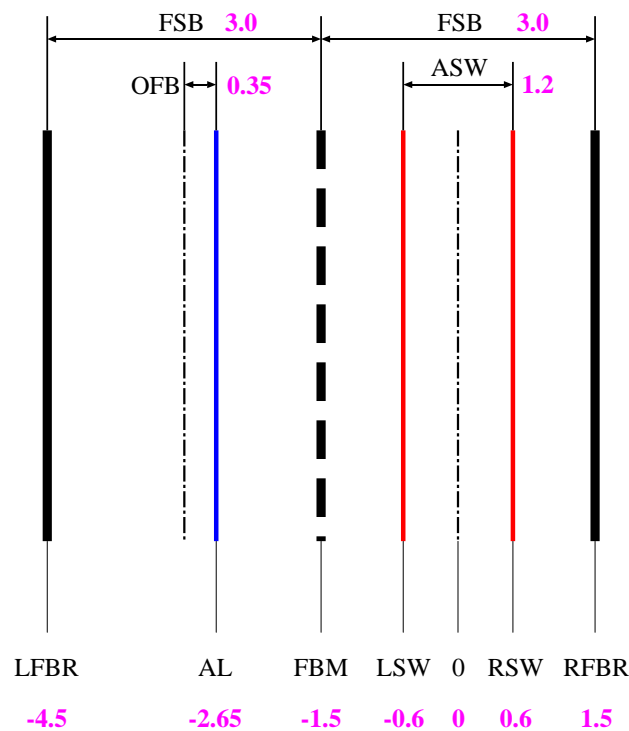


Abbildung 3: Annahmen zur Fahrbahngeometrie

Daraus ergeben sich folgende Offsets zur Längsachse des Versuchsfahrzeugs:

Mitte Versuchsfahrzeug	±0,00 m	Rechter Fahrbahnrand (RFBR)	+1,50 m
Linker Fahrbahnrand (LFBR)	-4,50 m	Fahrbahnmitte (FBM)	-1,50 m
Rechter Scheinwerfer (RSW)	+0,60 m	Linker Scheinwerfer (LSW)	-0,60 m
Augenlinie (AL)	-2,65 m		

Abbildung 3 zeigt noch einmal die Annahmen zur Fahrbahngeometrie.

Als Ergebnisse der gesamten Simulation liegt eine Tabelle und eine animierte Grafik vor. In der Ausgabetablelle werden für jeden berechneten Zeitpunkt und jeden Beobachter folgende Ergebnisse gesichert:

- Zeit t (für alle Beobachter gleich)
- direkter Abstand zwischen Scheinwerfermitte Versuchsfahrzeug und Beobachter
- Abstand zwischen Versuchsfahrzeug und Beobachter als zu fahrende Wegstrecke
- vertikaler Beleuchtungswinkel
- mittlerer Blendwinkel
- Blendbeleuchtungsstärke der starren Scheinwerfer
- Schwellenleuchtdichteerhöhung der starren Scheinwerfer
- Blendbeleuchtungsstärken der Kurvenlichtsysteme
- Schwellenleuchtdichteerhöhungen der Kurvenlichtsysteme

Ein Beispiel der grafischen Ausgabe ist in Abbildung 4 zu sehen. Dafür wurde eine Chart Publishing Software („Xact“ der Firma Scilab GmbH Hamburg) verwendet, die eine Programmierschnittstelle besitzt, über welche alle benötigten Funktionen „ferngesteuert“ werden können. Diese Schnittstelle wird vom eigentlichen Berechnungsprogramm benutzt um Daten in Tabellen einzutragen und die Grafiken darzustellen.

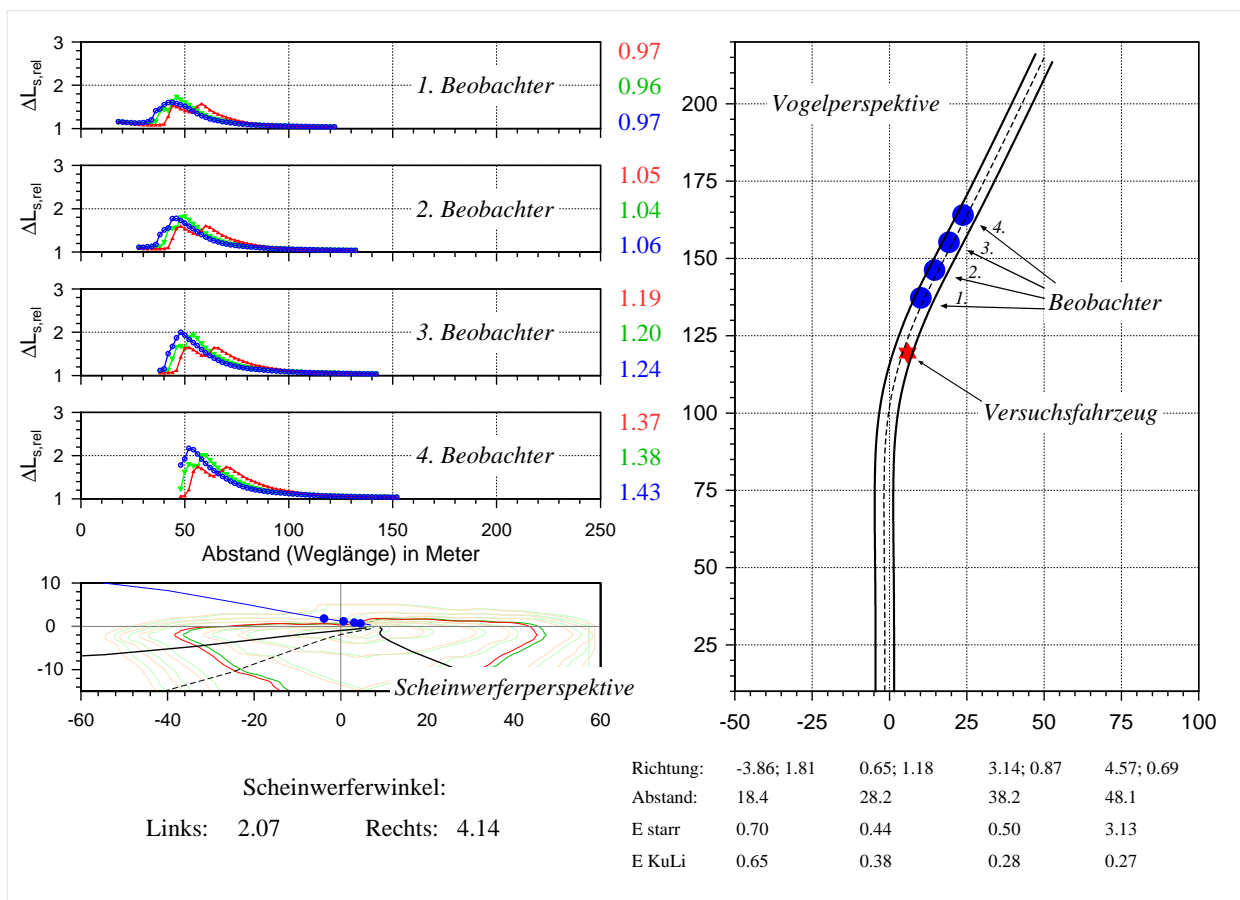


Abbildung 4: Grafische Ausgaben der Animation und Berechnungen im 3D-Modell

Die in Abbildung 4 dargestellte Ausgabe ist eine Xact-Grafik die mehrere Diagramme und Textfelder enthält. Auf der rechten Seite ist die Vogelperspektive zu sehen. Diese besteht aus einem

x-y-Diagramm, in welchem die Fahrbahnmarkierungen als Linien und die Positionen des Versuchsfahrzeugs und der Beobachter als Marker eingetragen sind. Die Daten der Fahrbahnmarkierungen liegen von der 2D-Berechnung komplett vor und werden während der 3D-Animation nicht verändert. Die Positionen der Fahrzeuge werden laufend aktualisiert. Ebenfalls zu jedem berechneten Zeitpunkt werden die Daten unterhalb der Vogelperspektive aktualisiert. Dort sind für jeden der vier Beobachter die relative Lage gegenüber dem Versuchsfahrzeug, der Abstand zu diesem und die Blendbeleuchtungsstärken für das starre und ein Kurvenlichtsystem (hier Video) zu sehen.

Das Diagramm links unten stellt die Scheinwerferperspektive dar. Der Punkt (0, 0) entspricht der verlängerten Fahrzeuglängsachse des Versuchsfahrzeugs auf Höhe der Scheinwerfer. Dargestellt sind die Lichtbündelquerschnitte (Beleuchtungsstärkeverteilung auf einer vertikalen Wand in 25 m Entfernung) des rechten und linken Scheinwerfers als 3D-Höhenliniendiagramme. Diese werden um die aktuellen Scheinwerferschwenkwinkel horizontal verschoben. Die 1 lux-Linie ist durch eine größere Linienbreite hervorgehoben. Ebenfalls zu sehen ist die Lage der Fahrbahnmarkierungen und die Augenlinie. Die gefüllten Kreise kennzeichnen die aktuellen Positionen der Beobachter.

Die vier Diagramme links oben zeigen den Verlauf der Schwellenleuchtdichteerhöhung als Funktion des Abstandes (als Fahrweg) der Beobachter vom Versuchsfahrzeug. Da sich beide Fahrzeuge mit konstanter Geschwindigkeit bewegen, kann diese auch als zeitlicher Verlauf interpretiert werden. Das Integral der Schwellenleuchtdichteerhöhung über der Zeit (Abschnitt 2.4) ist für die drei verwendeten Scheinwerfersysteme rechts neben den Diagrammen $\Delta L_{S,rel}(s)$ zu sehen.

Diese gesamte Grafik wird zu jedem berechneten Zeitpunkt als Bitmap gespeichert. Nach Abschluß der Berechnungen können die Einzelgrafiken, die ja den zeitlichen Verlauf des Begegnungsvorgangs beschreiben, zu einer Filmsequenz (.avi) zusammengefaßt werden.

2.4 Integrale Blendwerte

Für die Bildung eines globalen, zeitunabhängigen Blendungsurteils aus der Sicht der Beobachter (Gegenverkehr) sind entsprechende Maßzahlen erforderlich. Über die Thematik der dynamischen Blendung liegen bisher aber keine umfassenden, gesicherten Erkenntnisse vor. Es ist bekannt, daß die Belichtung unter bestimmten Voraussetzungen eine blendungsbeschreibende Größe ist [3]. Für die Auswertung der Beleuchtungsstärke- und Schwellenleuchtdichteerhöhungsverläufe werden an dieser Stelle 4 Maßzahlen definiert:

- integrierte Schwellenleuchtdichteerhöhung
- Belichtung
- maximale Schwellenleuchtdichteerhöhung
- Blendungsdauer

Die Berechnung der *integrierte Schwellenleuchtdichteerhöhung* erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\Delta L_{S,int} = \int (\Delta L_{S,rel} - 1) dt \quad (3)$$

Dabei bleiben Schwellenleuchtdichteerhöhungen unter 5% ($\Delta L_{S,rel} < 1,05$) unberücksichtigt.

Bei der Berechnung der *Belichtung*

$$H = \int E_{Bl} dt \quad (4)$$

werden ebenfalls die Einzelsituationen mit $\Delta L_{S,rel} < 1,05$ nicht mit einbezogen.

Die *maximale Schwellenleuchtdichtererhöhung* $\Delta L_{S,rel,max}$ bedarf keiner weiteren Erläuterung und als Kriterium für die *Blendungsdauer* wurde $\Delta L_{S,rel} \geq 1,25$ festgelegt. Diese 4 Kennziffern sollen im weiteren als **integrale Blendwerte** bezeichnet werden.

3 Ergebnisse

3.1 Vergleich der Bewertungsverfahren

Der Vergleich der Bewertungsverfahren wird mit einer Situation nahe dem Kurvenausgang einer Rechtskurve durchgeführt.

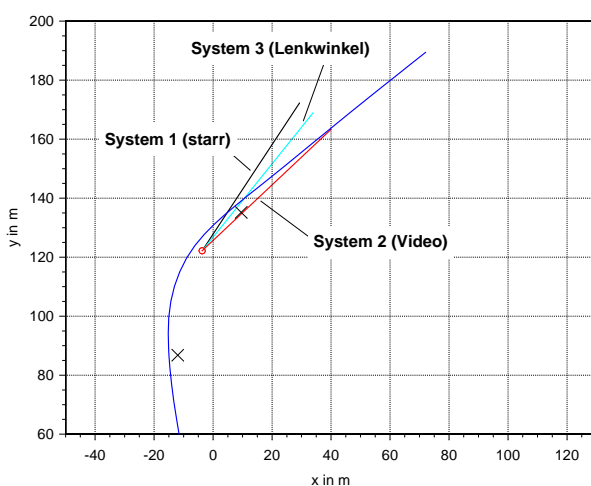


Abbildung 5: Position des Versuchsfahrzeuges und Scheinwerferrichtungen in Kurve 8 ($R = 39$ m, Rechtskurve)

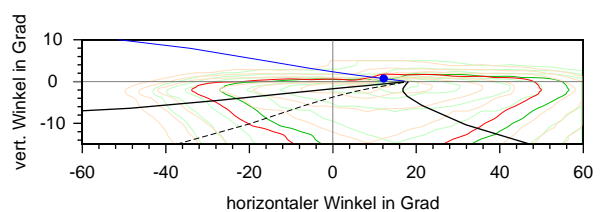


Abbildung 6: Lichtbündelquerschnitt und Augenlinie für die in Abb. 5 gezeigte Situation mit starren Scheinwerfern (Beobachterabstand zum Versuchsfahrzeug $a = 45$ m)

Die Abbildungen 5 und 6 veranschaulichen die betrachtete Situation. Abbildung 6 zeigt die LBQ's der geschwenkten Scheinwerfer mit dem videobasierten System 2. Der eingezeichnete Beobachter befindet sich in 45 m Entfernung zum Versuchsfahrzeug.

Diese Situation verdeutlicht auch die Probleme bei der Messung der Blendbeleuchtungsstärke. Der Beobachter befindet sich direkt an der Hell-Dunkel-Grenze von einem der beiden Scheinwerfer, wo jede geringe Abweichung der Scheinwerfersollrichtung und jede Fahrbahnunebenheit gravierende Meßfehler verursacht.

Die gemessenen Blendbeleuchtungsstärken und die daraus berechneten Schwellenleuchtdichtererhöhungen sind in Abbildung 7 dargestellt. Zu erkennen ist eine Reduzierung der Blendung im Bereich bis 45 m Fahrzeugabstand für beide Kurvenlichtsysteme gegenüber dem starren System. Bei größeren Fahrzeugabständen verursachen die Kurvenlichtsysteme eine höhere Blendung in dieser Situation. Auffällig ist auch, daß das videobasierte System fast immer bessere Blendungswerte erreicht als das lenkwinkelbasierte System 3.

Abbildung 8 zeigt die nach dem in Abschnitt 2.3 beschriebenen Verfahren berechneten Blendbeleuchtungsstärken und Schwellenleuchtdichtererhöhungen. Dabei stand das Versuchsfahrzeug fest

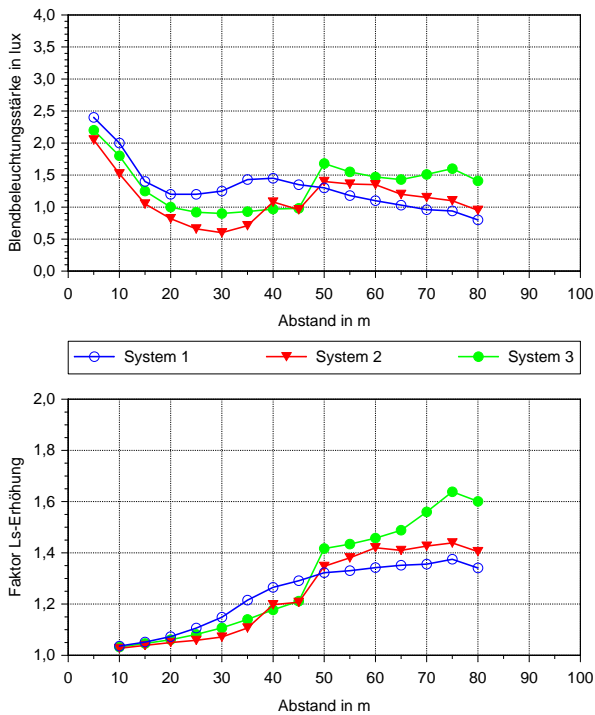


Abbildung 7: Gemessene Blendbeleuchtungsstärken und daraus berechnete Schwellenleuchtdichteerhöhungen für die in Abb. 5 gezeigte Situation

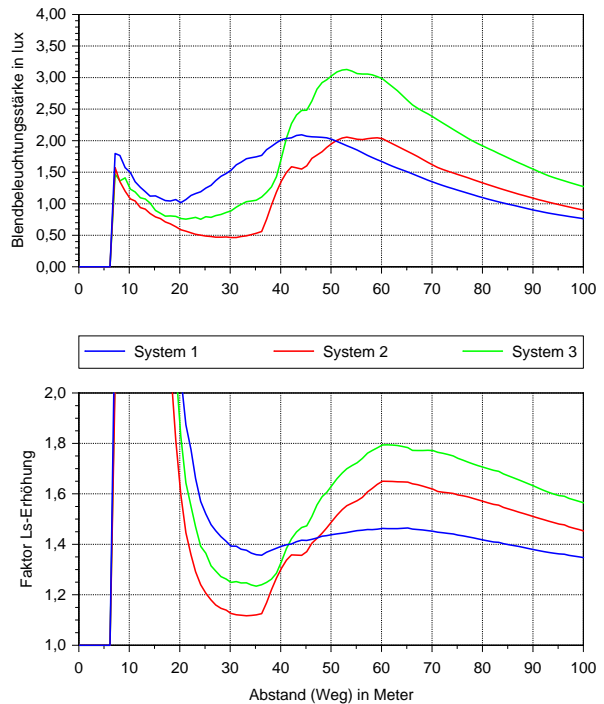


Abbildung 8: Berechnete Blendbeleuchtungsstärken und Schwellenleuchtdichteerhöhungen für die in Abb. 5 gezeigte Situation

an der angegebenen Position, während der Beobachter sich entlang des Straßenverlaufs bewegte. Die Annahmen über das Blickverhalten sind in Abschnitt 2.3 beschrieben (30 m Entfernung, rechter Fahrbahnrand).

Der Vergleich der Absolutwerte der Blendbeleuchtungsstärken zeigt eine zufriedenstellende Übereinstimmung von den berechneten und gemessenen Werten im Bereich bis 35 m Fahrzeugabstand. Danach gibt es deutliche Abweichungen, welche vorwiegend der Messung aus o.g. Gründen zugeordnet werden müssen.

Die Aussagen über das Blendungsverhalten der Systeme untereinander sind mit den auf Meßwerten basierten Daten insofern identisch, daß bis ca. 45 m eine Blendungsreduzierung mit den Kurvenlichtsystemen erreicht wird. Bei größeren Entfernungen kehren sich die Verhältnisse auch hier um. Ebenfalls sind die Rangfolgen der Scheinwerfersysteme bei beiden Entfernungsbereichen zwischen berechneten und gemessenen Werten identisch.

Die aus den Simulationsdaten berechneten Schwellenleuchtdichteerhöhungen zeigen im Entfernungsbereich bis 30 m unrealistisch hohe Werte. Ursache hierfür ist die unterschiedliche Annahme der Blickrichtung bei der Simulation und Messung. Bei der Messung wurde für diesen Entfernungsbereich der Fixationspunkt auf dem rechten Fahrbahnrand (aus Sicht des Beobachters) in Höhe des Versuchsfahrzeugs angenommen. Bei der Simulation wird von einer festen Entfernung Beobachter – Blickpunkt von 30 m ausgegangen. Da nach dem Versuchsfahrzeug, aus der Sicht des Beobachters, eine Linkskurve folgt, verschiebt sich auch die Blickrichtung nach links, wodurch sehr kleine Blendwinkel entstehen. Diese sind für die extrem hohen Schwellenleuchtdichten verantwortlich.

Für Entfernungen größer als 30 m gelten die gleichen Aussagen für die Schwellenleuchtdichteerhöhung wie für die Blendbeleuchtungsstärke, der Vergleich der Systeme untereinander liefert

bei den messungsbasierten und rein rechnerischen Daten identische Aussagen. Die Ursachen für die Abweichung der Absolutwerte wurden genannt.

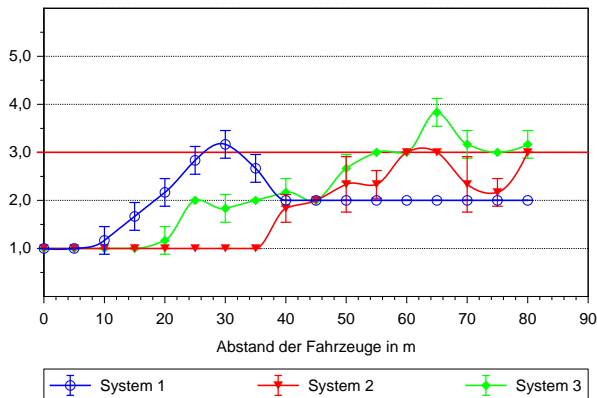


Abbildung 9: Subjektives Beobachterurteil für die in Abb. 5 gezeigte Situation

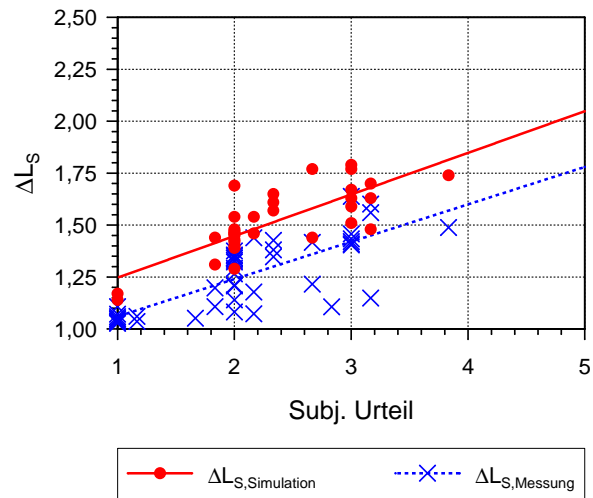


Abbildung 10: Aus den Meßdaten und den Simulationsergebnissen berechneten Schwellenleuchtdichteerhöhungen als Funktion des subjektiven Blendungsurteils

Die Ergebnisse des dritten Bewertungsverfahrens, der subjektiven Bewertung durch Versuchspersonen, sind in Abbildung 9 dargestellt. Der mögliche Wertebereich liegt hier zwischen 1 („Blendung nicht vorhanden“) und 5 („Blendung unerträglich“). Auch hier teilt sich der Entfernungsbereich bei ca. 45 m in zwei Bereiche: Bei kürzeren Abständen der Fahrzeuge wird mit Kurvenlichtsystemen eine Blendungsreduzierung erreicht und bei größeren erhält das starre System die bessere Bewertung. Auch hier wird das Videosystem immer besser oder gleich gut zum Lenkwinkelsystem beurteilt.

3.2 Vergleich der Blendungsbewertungsverfahren

Auch wenn die Schwellenwerterhöhung und die Messung mittels psychometrischer Skala (subjektive Bewertung) unterschiedliche Blendungsarten beschreiben, ist eine Korrelation zwischen beiden Ergebnissen zu erwarten. Abbildung 10 zeigt die Schwellenleuchtdichteerhöhungen, die aus den gemessenen und berechneten Daten bestimmt wurden, als Funktion des subjektiven Blendurteils (Mittelwert von 3 Probanden). Dabei wurden die unrealistischen Werte der Simulation für Abstände < 30 m nicht berücksichtigt. Eingezeichnet sind außer den Einzelwerten jeweils eine lineare Regression. Die Korrelationskoeffizienten betragen 0,78 (Simulation) bzw. 0,77 (auf Messung basierend). Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist in beiden Fällen kleiner als 0,1%. Die beiden Regressionsgeraden verlaufen fast parallel, wobei die Messung geringere Schwellenleuchtdichteerhöhungen ergibt. Eine mögliche Ursache könnte die Art der Messung der Blendbeleuchtungsstärke sein. Hier kann nur die Gesamtbeleuchtungsstärke beider Scheinwerfer gemessen, und ein mittlerer Blendwinkel angenommen werden. Bei der Simulation werden die Einzelbeleuchtungsstärken mit den dazugehörigen Blendwinkel verwendet. Außerdem ergab die Simulation geringfügig höhere Blendbeleuchtungsstärken als die Messung.

Die Korrelation der Schwellenleuchtdichteerhöhung (Simulation) und der subjektiven Urteile lassen folgende Zuordnung zwischen beiden Bewertungen zu:

subjektives Urteil	relative Schwellenleuchtdichteerhöhung
Blendung nicht vorhanden	$\leq 25\%$
Blendung gering	$\approx 40\%$
Blendung erträglich	$\approx 60\%$
Blendung störend	$\approx 80\%$
Blendung unerträglich	$\geq 100\%$

Der direkte Vergleich aller 3 Bewertungsverfahren zeigt, daß die Annahmen für die Berechnung der Schwellenleuchtdichteerhöhung (zulässige Schwellenleuchtdichteerhöhung 100 %, Umfeldleuchtdichte $L_U = 0,1 \text{ cd/m}^2$ und Blickrichtung auf rechten Fahrbahnrand in 30 m Entfernung) berechtigt sind.

3.3 Blendungsverhalten der Kurvenlichtsysteme in Rechtskurven

Mit Hilfe der Simulationsrechnung wurden die Verläufe der Schwellenleuchtdichteerhöhungen und der Blendbeleuchtungsstärke für 20 Beobachter bei der Begegnung mit einem Kurvenlichtfahrzeug berechnet. Der Abstand der Beobachter beträgt jeweils 10 m. Untersucht wurden Kurven mit den Radien $R = 39 \text{ m}$, $R = 103 \text{ m}$, $R = 300 \text{ m}$ und $R = 450 \text{ m}$. Alle Ergebnisse mit Vogel- und Scheinwerferperspektive und den Diagrammen können an dieser Stelle nicht dargestellt werden, es erfolgt eine Zusammenfassung der wichtigsten Aussagen.

Dazu erfolgte ein Paarvergleich (Wilcoxon-Test) der 4 integralen Blendwerte zwischen den Systemen 1 (starr) \leftrightarrow 2 (Video), 3 (Lenkwinkel) \leftrightarrow 1 (starr) und 2 (Video) \leftrightarrow 3 (Lenkwinkel).

Die Ergebnisse für Rechtskurven sind in der Abbildung 11 dargestellt. Dabei wurde jeder Beobachter und jede Kurve als ein Fall betrachtet. Daraus ergeben sich 20 Beobachter \times 4 Kurven = 80 Fälle. Die positiven Ränge in Abbildung 11 entsprechen also der Anzahl von Fällen, in denen das erste System besser ist als das zweite. Negative Ränge bedeuten den umgekehrten Sachverhalt.

Wie man sehen kann, sind beide Kurvenlichtsysteme bezüglich Blendung besser als das starre System. Ebenfalls zeigt das videobasierte System eindeutig ein geringeres Blendungsverhalten als das lenkwinkelbasierte Kurvenlichtsystem. Dabei spielt es keine Rolle, welchen der 4 integralen Blendwerte man betrachtet, alle liefern das gleiche Ergebnis. Alle Vergleiche sind mit einer Ausnahme mindestens sehr signifikant. Die Ausnahme bildet der Vergleich der Blendungsdauer vom lenkwinkelbasierten System zu den starren Scheinwerfern, dieser ist nicht signifikant. Nach diesem Kriterium wären beide als gleichwertig einzustufen.

3.4 Blendungsverhalten der Kurvenlichtsysteme in Linkskurven

Die Ergebnisse der Berechnungen in Linkskurven sind in Abbildung 12 gezeigt. Hier treffen die gleichen Aussagen wie für die Rechtskurven zu. Beide Kurvenlichtsysteme erhalten eine bessere Blendungsbewertung als die starren Scheinwerfer, wobei das videobasierte System wieder besser als das lenkwinkelbasierte System bewertet wird. Hier sind alle Paarvergleiche höchst signifikant.

Für Linkskurven erscheint das Ergebnis zunächst paradox, da die Scheinwerfer nach links, also in Richtung des Gegenverkehrs, geschwenkt werden. Trotzdem werden geringere Blendbeleuchtungsstärken berechnet. Die Ursache dafür ist in der Lichtstärkeverteilung des untersuchten Scheinwerfertyps zu finden. Diese Scheinwerfer weisen eine sehr gute Ausleuchtung des linken Fahrbahnrandes auf, wozu die Lichtstärke zwischen -2° und -20° horizontalem Winkel (links von der Scheinwerferhauptachse) leicht ansteigt. Für den Gegenverkehr in Linkskurven bedeutet

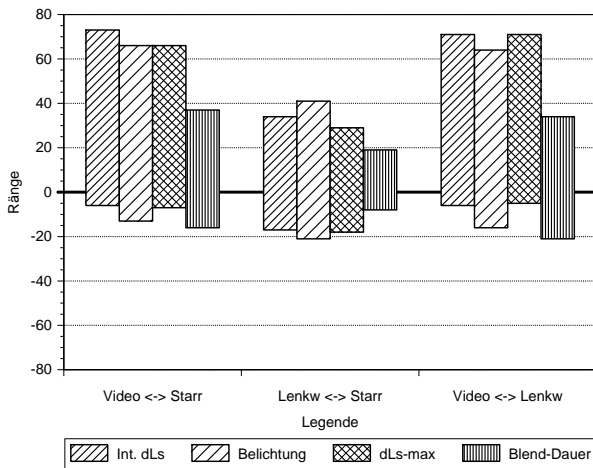


Abbildung 11: Paarvergleich der Scheinwerfersysteme für Blendungsverhalten in Rechtskurven

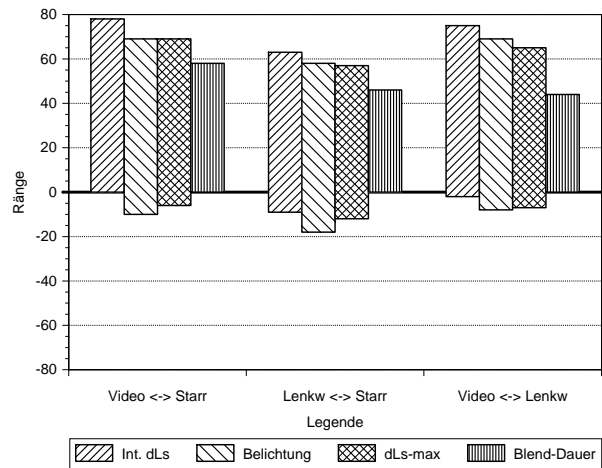


Abbildung 12: Paarvergleich der Scheinwerfersysteme für Blendungsverhalten in Linkskurven

das eine geringfügig höhere Blendung als auf gerader Straße. Die Kurvenlichtsysteme kompensieren dieser Effekt und so wird eine Blendungsreduzierung erreicht. Bei anderen Scheinwerfertypen mit anderen Lichtstärkeverteilungen ist diese signifikante Blendungsreduzierung gegenüber den starren Scheinwerfer in Linkskurven möglicherweise nicht nachweisbar.

4 Zusammenfassung

Aus allen durchgeführten Blendungsuntersuchungen kann geschlußfolgert werden, daß die vorliegenden Kurvenlichtsysteme keine höhere Blendung des Gegenverkehrs verursachen als die starren Scheinwerfer. In Abhängigkeit von der Lichtstärkeverteilung der Scheinwerfer kann sogar eine Blendungsreduzierung erreicht werden.

Literatur

- [1] Schmidt-Clausen, H. J.; Bindels, J. T. H. Die Schwellenleuchtdichteerhöhung als Blendungsbewertungskriterium, Lichttechnik 23. Jahrgang Nr. 10/1971, S. 547ff.
- [2] Schmidt-Clausen, H. J. Die Schwellenleuchtdichte-Erhöhung als Blendungsbewertungskriterium, DIE FARBE 26 (1977), Nr. 3/6, S. 115ff.
- [3] Rosenhahn, E.-O. Entwicklung von lichttechnischen Anforderungen an Kraftfahrzeugscheinwerfer für Schlechtwetterbedingungen, Dissertation TU Darmstadt 1999, Herbert Utz Verlag GmbH, München

Vergleich unterschiedlicher Kriterien für die Bestimmung der Sichtweite von Kfz-Scheinwerfern

Stephan Völker, Hella KG

stephan.voelker@hella.de

st.voelker@t-online.de

Einleitung

Die Sichtweite stellt ein wichtiges Gütemerkmal der Kfz – Beleuchtung dar. Im allgemeinen wird heute von niemandem bezweifelt, dass eine hohe Sichtweite entscheidend zu einer hohen Verkehrssicherheit beiträgt. Zusätzlich vermittelt eine hohe Sichtweite dem Fahrer das Gefühl von Komfort und Sicherheit. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sich Lichttechniker bereits sehr früh mit den Einflussfaktoren der Sichtweite beschäftigt haben.

Z. B. ist das Erkennen von Fußgängern ein sehr komplexer Prozess. Eckert /Ec93/ entwickelte ein Modell, wobei er elf charakteristische Messpunkte auf einem Fußgänger festlegte. Fischbach /Fi99/ zeigte auf dem letzten PAL Symposium (PAL 99) wie nach diesem Modell die Sichtweite von Fußgängern mit Hilfe des bildauflösenden Leuchtdichteanalysators zu messen ist. Da sehr viele Modelldaten in diesem Verfahren stecken und eine Validierung bisher noch aussteht, soll dieser Ansatz zunächst zurückgestellt werden.

Zur Berechnung der Sichtweite von Sehtafeln gibt es dagegen deutlich mehr Untersuchungen und Veröffentlichungen /Bo56/, /Kr86/, /Mü72/, /Ad69/, /Fr78/, /SAE82/, /CIE81/, /CIE92/, /Ko00/ u. a. Schmidt-Clausen stellte die bis dahin erschienenen in /SC82/ zusammen und zeigte die Abhängigkeit der Sichtweite sowohl von der Größe, der Position und dem Reflexionsgrad der Sehtafel, als auch die Abhängigkeit von der Scheinwerferbauart und ob das Sehobjekt von der Versuchsperson erwartet oder nicht erwartet wird. Hamm /Ha99/ vertiefte die Frage der Positionsabhängigkeit und stellte anhand der äquivalenten Erkennbarkeitsentfernung die Vorzüge von Gasentladungsscheinwerfern gegenüber Halogenscheinwerfern vor.

In dem vorliegenden Beitrag soll nun auf die Abhängigkeit der Sichtweite von unterschiedlichen Lichtverteilungen eingegangen werden.

Versuchsaufbau

Im Lichtkanal bei Hella (140 m) wurden unterschiedliche Lichtverteilungen von Projektions- und Reflexionssystemen untersucht, die mit Halogenlampen bestückt waren. Eine Übersicht gibt Tabelle 1.

	Halogenlampen		
	H1 (1550 lm)	H4 (1000 lm)	H7 (1500 lm)
Bei 13,2 V:			
Reflexionssystem	-	3	7
Projektionssystem	1	-	-

Tabelle 1: Untersuchte Systeme mit unterschiedlichen Lichtverteilungen

Die so erzeugten Lichtverteilungen wurden 7 Versuchspersonen sechs mal dargestellt. Im ersten Versuchsteil sollten die Versuchspersonen auf einer unipolaren Skala den Gesamteindruck der Sichtweite zwischen ungenügend bis sehr gut einschätzen, siehe Tabelle 2. Die 18-stufige Skala wurde anschließend in eine 9-stufige Skala überführt.

Ungenügend	OOOOOOOOOOOOOOOOOO	Sehr gut
------------	--------------------	----------

Tabelle 2: Bewertungsskala der subjektiv empfundenen Sichtweite

Im zweiten Versuchsteil bewegte sich eine Sehtafel (30 mal 30 cm) mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0,6 m/s auf die Versuchspersonen zu. Sobald die Versuchsperson die Sehtafel sah, sollte sie einen Taster drücken. Das Sichtbarkeitskriterium, welches bekanntermaßen bei solchen Untersuchungen sehr entscheidend ist, lautete: **Das Sehobjekt ist gerade wahrnehmbar**. Neben dem subjektiven Meßkriterium (Ich empfinde die Sichtweite ...) liegt somit auch ein objektives Meßkriterium vor.

In einem dritten Teil des Versuches wurde sowohl die Größe der Tafel, als auch ihr Reflexionsgrad geändert. Auf eine Darstellung der Ergebnisse muss allerdings an dieser Stelle verzichtet werden.

Ergebnisse

Subjektive Bewertung der Sichtweite als Kriterium für die Erkennbarkeitsentfernung

Zunächst wurde die subjektive Empfindung der Sichtweite ausgewertet. Es zeigen sich je nach Lichtverteilung und Leuchtdichteniveau deutlich unterschiedliche Bewertungen. Stellt man diese Bewertungen den objektiv vorhandenen Sichtweiten gegenüber, so ergibt sich Abbildung 1.

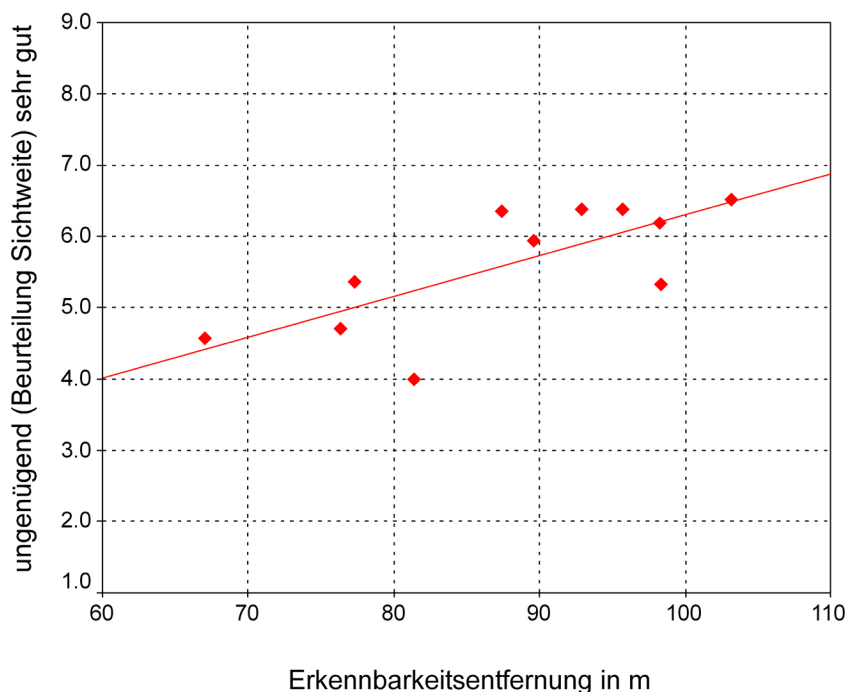


Abbildung 1: Vergleich zwischen der Beurteilung der Sichtweite und der Erkennbarkeitsentfernung

Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, korreliert die subjektiv empfundene Sichtweite mit der für psychometrische Skalen üblichen Streuung von +/- einer Bewertungsstufe mit dem gewählten Schwellenkriterium.

Radiale Beleuchtungsstärke als Kriterium für die Erkennbarkeitsentfernung

In der Literatur findet man eine ganze Reihe Sichtweitenberechnungen, die aus Fahr- und Simulationsversuchen gewonnen wurden. Üblicherweise wurde in diesen Versuchen die radiale Beleuchtungsstärke am Fuße des Sehobjektes gemessen (gegebenenfalls auch in

Lichtstärke umgerechnet) und diese als Schwellenkriterium für die Erkennbarkeit des verwendeten Sehzeichen angegeben. Je nach Literaturquelle handelt es sich dabei um die ein, zwei oder gar vier Lux – Linie, welche als Sichtweite in einer ISO-Lux Darstellung angegeben wird.

Wie verschiedene Autoren (z. B. /SC82/) bereits hingewiesen haben, ist mit diesem Schwellenkriterium keine exakte Berechnung der Erkennbarkeitsentfernung möglich. Dennoch bleibt offen, ob man dieses Kriterium für einen Vergleich unterschiedlicher Lichtverteilungen bei gleichen Versuchsbedingungen nutzen kann.

Abbildung 2 gibt die vertikale Beleuchtungsstärke (in Richtung des Fahrzeuges) am Fuß der Sehtafel als Funktion der Erkennbarkeitsentfernung wieder.

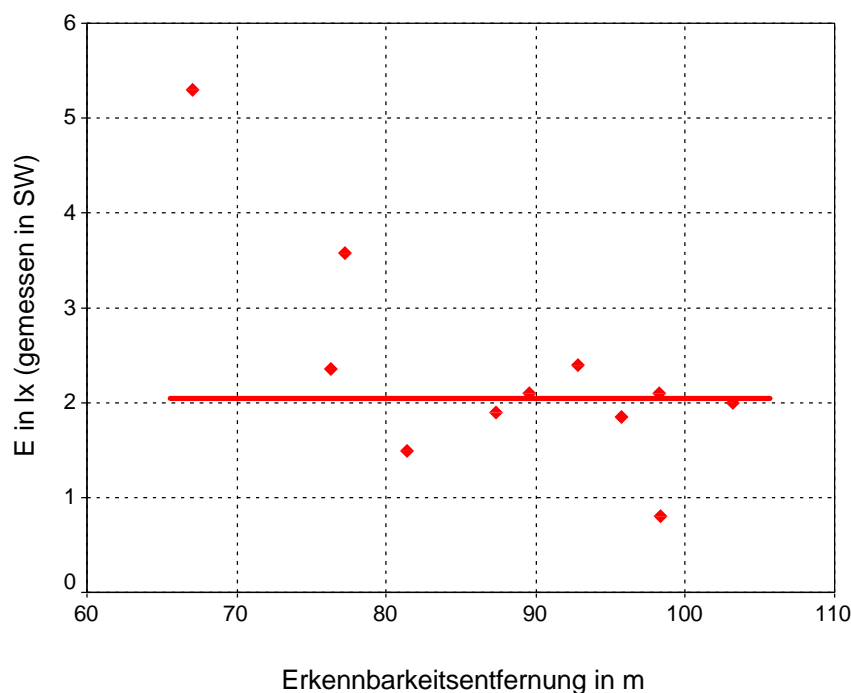


Abbildung 2: Beleuchtungsstärke als Funktion der Erkennbarkeitsentfernung

Die Beleuchtungsstärke betrug am Fuße der Sehtafel bei 2/3 der dargebotenen Lichtverteilungen etwa 2 Lux. Wie die dargestellten Streuungen aber auch zeigen, kann eine generelle Anwendung der 2 Lux Linie zu fehlerhaften Angaben der Erkennbarkeitsentfernung führen. Abbildung 3 zeigt die Lichtverteilung, welche eine Erkennbarkeitsweite von 67 m erreichte ($E = 5,3 \text{ lx}$). Die 2 Lux Linie schneidet den rechten Fahrbahnrand in einer Entfernung von 92 m, was für diese Lichtverteilung nachweislich nicht der Erkennbarkeitsentfernung entsprach.

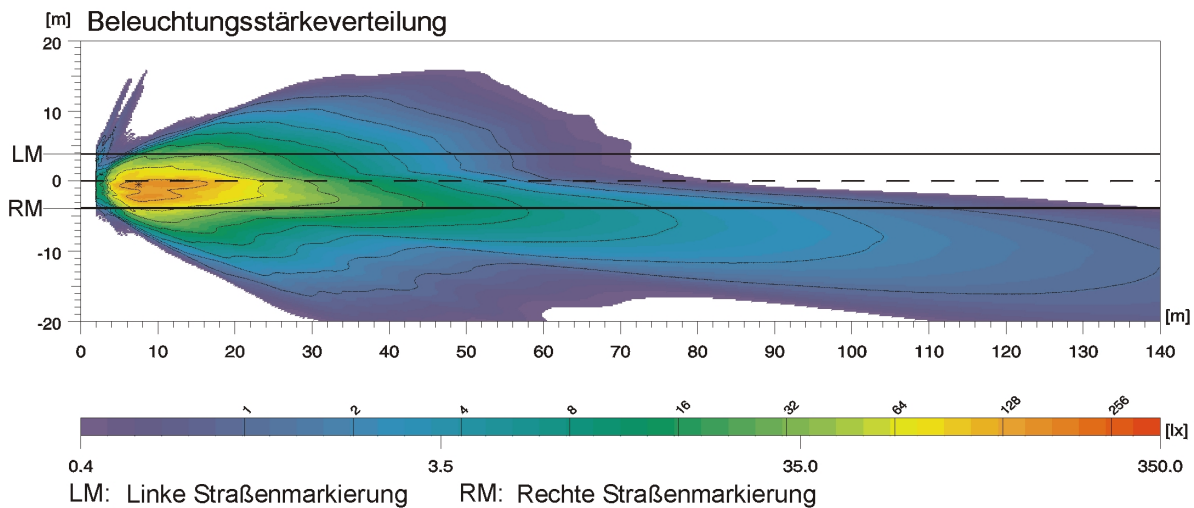


Abbildung 3: Iso-Lux eines Abblendlichtscheinwerfers

Die Abweichungen von einem Drittel aller untersuchten Lichtverteilungen weist da drauf hin, dass die 2 Lux Linie nicht als allgemein gültige Erkennungsschwelle gelten kann.

Als vergleichende Darstellung für ein System mit unterschiedlichen Einstellungen ist die Beleuchtungsstärke allerdings durchaus verwendbar. So können z.B. unterschiedliche Beladungszustände simuliert oder das Schwenkverhalten von Kurvenscheinwerfern getestet werden.

Kontrast als Kriterium für die Sichtweite

Ein anderer Ansatz beruht auf der Grundlage von Schwellenleuchtdichten. Die Berechnung realer Leuchtdichteszenen erweist sich auf Grund vieler Unbekannter (Reflexionsgrad des Fahrbahnrandes, der Fußgängerbekleidung usw.) als unmöglich. Will man vergleichende Untersuchungen durchführen, so bieten sich verschiedene Modelle an.

Kokoschka/Gall zeigten mit einem entsprechenden Modell, dass der Kontrast als Kriterium für die Berechnung der Sichtweite dienen kann /Koko00/. In umfangreichen Fahrversuchen wurde dieses Modell anhand einer Abblendlichtverteilung validiert.

Ohne das Modell an dieser Stelle wiederholen zu wollen, soll hier gezeigt werden, welchen Einfluss verschiedene Abblendlichtverteilungen auf den Schwellenkontrast als Kriterium der Sichtweite haben.

Für die Bestimmung der Umfeldleuchtdichte, der Objektleuchtdichte und Leuchtdichtedifferenz wurde der Leuchtdichteanalysator der Fa. Technoteam verwendet. Will man nun aus diesen Angaben den Sehobjektkontrast berechnen, muss zunächst geklärt werden, wie man den Kontrast von einem inhomogen ausgeleuchteten Objekt in einem inhomogenen Umfeld bestimmt. Kokoschka schlug die Ermittlung eines mittleren Randkontrastes vor,

der bereits bei der Validierung des von ihm entwickelten Fahrersichtweitenmodells erfolgreich angewendet wurde /Koko00/.

$$C = \frac{\sum_i g \frac{|L_{u,i} - L_{z,i}|}{L_{u,i} + L_{s,\ddot{a}q}}}{\sum_i g}$$

C mittlerer Randkontrast, $L_{z,i}$ Leuchtdichte eines Seheobjektdetails i , $L_{u,i}$ Leuchtdichte eines dazugehörigen Untergrundelementes, $L_{s,\ddot{a}q}$ äquivalente Schleierleuchtdichte der Szene, γ_i Winkelausdehnung des Seheobjektdetails

In Anlehnung an dieses Mo-

dell wurde der mittlere Randkontrast über die obere, die rechte und die linke Seite gebildet. Die untere Seite wurde nicht mit in die Berechnung einbezogen, da hier die Halteverrichtung der Sehtafel war, die mit schwarzem Stoff umkleidet war.

Bei einer entsprechenden Berechnung ergibt sich aus den Leuchtdichtebildern ein mittlerer Randkontrast zwischen 1 und 2. Dieser ist notwendig, damit das verwendete Seheobjekt gerade wahrgenommen wird.

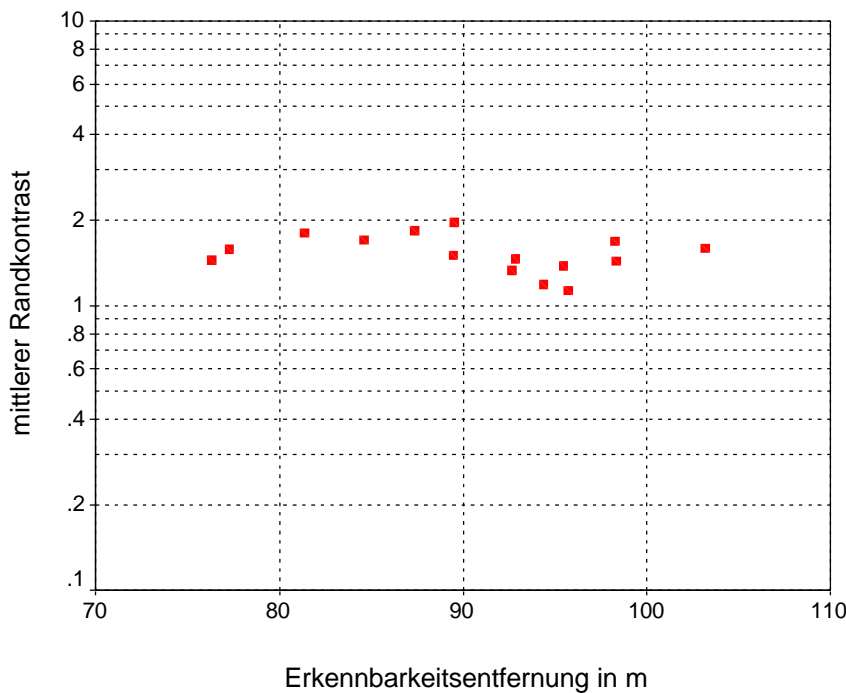


Abbildung 4: mittlerer Randkontrast über der Erkennbarkeitsentfernung

Da die Abweichung hier relativ gering sind, stellt der mittlere Randkontrast ein sicheres Schwellenkriterium für die Ermittlung der Sichtweite auch für unterschiedliche Lichtverteilungen dar.

Offene Fragen

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass Relativvergleiche mit unterschiedlichen Verfahren möglich sind. Am problematischsten erwies sich die Verwendung der vertikalen Beleuchtungsstärke. Hier wäre zu klären, warum 1/3 der gezeigten Systeme nicht mit diesem Kriterium beschreibbar sind. Des Weiteren wurden bisher nur ähnliche Systeme miteinander verglichen. Welche Ergebnisse zeigen beispielsweise Gasentladungsscheinwerfer? Hier sind zusätzliche Versuche notwendig.

Eine zweite Frage, die sich stellt, ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Sehobjekte. Zu prüfen sind hier insbesondere Fußgängerpuppen, die unterschiedlich bekleidet sind.

Ein dritter Punkt ergibt sich aus der Frage der Machbarkeit von Fahrersichtweitenimulationen. Das beschriebene Modell von Kokoschka zeigt den weitesten Ansatz in dieser Frage. Es liefert absolute Sichtweiten für definierte Versuchsbedingungen. Eine Überprüfung mit den von uns verwendeten Lichtverteilungen sollte weiteren Aufschluss über die Allgemeingültigkeit dieses Fahrersichtweitenmodells geben.

Natürgemäß gelten aber auch die so berechneten Sichtweiten nur für die beschriebenen Sehobjekte in der definiert dargebotenen Umgebung.

Zusammenfassung

Wie aus den vorliegenden Untersuchungen deutlich wird, stellt die subjektive Beurteilung der Sichtweite ein Kriterium für die Erkennbarkeitsentfernung dar. Ohne aufwendige Messverfahren ist mit diesem Kriterium zwar keine absolute Angabe einer Sichtweite, wohl aber eine tendenzielle Aussage über das Gütemerkmal Sichtweite möglich. Die vorgestellte Methode für einen Relativvergleich mittels vertikaler Beleuchtungsstärke lässt nur bedingt Rückschlüsse auf die Erkennbarkeitsentfernung zu. Auch wenn für die meisten Systeme eine gute Übereinstimmung der 2 Lux Linie gefunden wurde, so führt die Übertragung dieses Wertes bei einigen Systemen zu Fehlern in der Angabe der Sichtweite von bis zu 50 %. Für die Überprüfung der Erkennbarkeitsentfernung beim Verschwenken des Scheinwerfers sowohl in der Vertikalen (unterschiedliche Beladungszustände) als auch in der Horizontalen (Kurvenlicht) kann die 2 Lux Linie verwendet werden.

Gute Ergebnisse liefert die Angabe eines notwendigen Randkontrastes. Es zeigte sich, dass etwa ein mittlerer Randkontrast zwischen 1 und 2 erforderlich ist, um die 30 mal 30 cm große Sehtafel mit einem Reflexionsgrad von 7,3 % gerade zu sehen.

Literatur

- /Ad69/ Adrian, W.: Die Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung. Lichttechnik, Berlin 21 (1969), H 1, S. 1A – 7A
- /Bo56/ De Boer: Berechnung der Sehweite aus der Lichtverteilung von Automobilscheinwerfern, Lichttechnik 8 (1956) H. 4 S. 433-437
- /CIE81/ CIE Publication No. 19/2.1, 19/2.2: An analytical model for describing the influence of lighting Parameters upon visual performance, 1972, 1981
- /CIE92/ CIE Publication No. 95: Contrast and Visibility, p. 15, 1992
- /Ec93/ Eckert, Martin: Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr, Verlag Technik Berlin 1993, ISBN 3-341-01072-6
- /Fi99/ Fischbach, Ingo: Evaluation of luminance scenes on road traffic using Luminance Analyzer. PAL-Pogress in Automobile Lighting Vol. 5. Symposium Proceedings Darmstadt University of Technology, 1999, Darmstadt
- /Fr78/ Frederiksen, E., Rotne, N.: Calculation of visibility in road lighting. Report Nr. 17. Lyngby: Dänisches lichttechnisches Laboratorium 1978
- /Ha99/ Hamm, M.: Xenon Light and its Impact on Traffic Safety Aspects. PAL - Pogress in Automobile Lighting Vol. 5. Symposium Proceedings Darmstadt University of Technology, 1999, Darmstadt
- /Ko00/ Kokoschka, S; Gall, D.: Projekt FASIVAL – Entwicklung und Validierung eines Sichtweitenmodells zur Bestimmung der Fahrersichtweite, Abschlussbericht 2000, Uni Karlsruhe, TU Ilmenau
- /Kr86/ Kronesser, H.: Beitrag zur Untersuchung der physiologischen Blendung im nächtlichen Straßenverkehr unter dynamischen Bedingungen. Dissertation A, TH Ilmenau, 1986
- /Mü72/ Münch, W.: Wickert, G.: Sichtweitenermittlung. Technisch -wissenschaftliche Abhandlung der Osram-Gesellschaft, 10. Band, S. 293-302. Springer Verlag
- /SC82/ Schmidt-Clausen, H. J.: Das lichttechnische Gutachten bei Dunkelheitsunfällen. Zts. DAR 1/82, S. 3-12

Untersuchungen zum Kontrasterinnerungsvermögen

P. Bodrogi, Lab. Farbmeterik u. Multimedia, Universität Veszprém, Egyetem u. 10, H-8200 Veszprém
R. Nolte, D. Gall, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, PF 100565, D-98684 Ilmenau

1. Einführung

Obwohl in der Lichnanwendung der überschwellige Kontrast die Regel ist, wird in der Literatur der Schwellenkontrast öfter erörtert. Es liegen besonders wenige Arbeiten vor zur Änderung der Kontrastempfindung von überschwelligen Kontrasten wenn verschiedene Parameter im Sehfeld verändert werden. Unter diesen Parametern spielt in der Praxis der Einfluss der Blendquellen eine besondere Rolle. Wird im Sehfeld eine Blendquelle eingeschaltet, dann ist der gleichzeitige Paarvergleich mit dem Sehfeld ohne Blendquelle experimentell unmöglich. Man ist dann auf das Erinnerungsvermögen der Versuchsperson (VP) angewiesen.

In diesem Fall hat die VP die Aufgabe, sich einen vorgegebenen Graukontrast (einen sog. Originalkontrast) ohne Blendquelle im Sehfeld zu merken, und die gemerkte Kontrastempfindung bei Anwesenheit der Blendquelle wieder einzustellen. In diesem Verfahren unterscheidet sich der - mit Blendquelle - eingestellte Kontrast vom Originalkontrast. Der Unterschied hängt von der Art der Blendung und vom Originalkontrast ab[1]. Um mit diesem Verfahren eine zuverlässige überschwellige Kontrastmetrik für Blendquellen aufbauen zu können, muß man zuerst das Kontrasterinnerungsvermögen alleine studieren d. h. ohne Blendquelle oder andere Störparameter im Sehfeld. In einem früheren Experiment[1] wurde schon darauf hingewiesen, dass die VP die Fähigkeit hat, einen einmal vorgegebenen Originalkontrast immer wieder zu reproduzieren, und nicht unbedingt den gerade gesehenen Kontrast. Diese Erscheinung ist mit dem Farbgedächtniss vergleichbar, wo statt der gerade gesehenen Farbe eine "Langzeit"-Gedächtnisfarbe oder Prototyp hervorgerufen wird[2]. Laut [1] ergeben sich im Durchschnitt Kontrast - Abweichungen (als Leuchtdichteunterschiede) von ca. 3% selbst dann, wenn der Originalkontrast nur einmal dargeboten wird. Ziel dieser Arbeit ist das Studium des Kontrasterinnerungsvermögens, insb. der Existenz des "Langzeit"-Gedächtniskontrastes.

2. Experimentelle Methode

Versuchsaufbau und Monitor-Kalibrierung. Jedes Experiment wurde in einem lichttechnisch kontrollierten Raum durchgeführt. Das Außenlicht wurde durch schwarze Vorhänge ausgeschlossen. Um "normale" Büro-Verhältnisse nachzuahmen, wurde der Raum von oben durch 5 Leuchtstofflampen beleuchtet. Der Monitor stand vor einer schwarz bedeckten Wand auf einem schwarz bedeckten Tisch, s. Bild 1. Alle Leuchtdichten wurden mit einem SpectraScan PR705-Meßgerät gemessen. Der Monitor wurde mit einem selbstentwickelten Meßprogramm am PC angesteuert.

Bild 1. Monitor, Blendquelle, und Versuchsperson



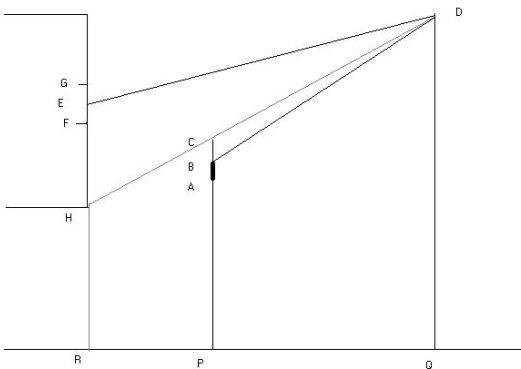
Zur photometrischen Kalibrierung wurden zwei Funktionen $L(w)$ gemessen: einmal auf "dunklem" Hintergrund ($L_D(w)$) und dann auf "hellem" Hintergrund ($L_H(w)$). w ist die digitale Grau-Stufenzahl im Grafikspeicher des Rechners mit dem der Monitor angetrieben wurde, und L ist die Leuchtdichte der entsprechenden Graufäche am Monitor. Wenn der Hintergrund hell war, dann war die Maximalleuchtdichte kleiner als beim dunklen Hintergrund. Die Ursache ist die sogenannte "Flächenabhängigkeit" des CRT-Monitors[3]. Folgende Funktionen wurden an $L_D(w)$ bzw. $L_H(w)$ angepaßt: $L'_D(w)=5,1 + 10^{2,2014 \log(w) - 1,4209}$ und $L'_H(w)=7,75 + 10^{2,5435 \log(w) - 2,4569}$.

Aufbau mit Blendquelle. Im Versuch 6 (s. unten) gab es eine Blendquelle, eine Halogenglühlampe mit konstantem Strom. 6 Leuchtdichte-Werte wurden am Glühfaden nach einem Neutralglas NG10 mit dem SpectraScan PR705 gemessen, im Durchschnitt ergab sich 62000 cd/m^2 vor dem Neutralglas. Der Monitor wurde mit schwarzem Karton von der Blendquelle getrennt (s. Bild 2 und die graue Linie DHR im Bild 3). Das Auge des Beobachters war im Punkt D. Mit einer geringen Bewegung des Kopfes konnte die VP entweder den Bildschirm (s. Beschreibung des Versuches 6), oder die Blendquelle, oder beide zusammen beobachten.

Bild 2. Versuchsperson, schwarzer Karton, Blendquelle, und Monitor.



Bild 3. Versuchsaufbau mit Blendquelle. Skizze. Erklärung: s. Text.



Im Bild 3, Punkte F, E, und G zeigen ein Kontrastfeld (d. h. ein graues Rechteck, s. Bild 4) am Monitor (Seitenansicht). Punkt E ist in der Mitte des Feldes. H ist die untere Kante des Monitors, R ist der darunter auf dem Tisch liegende Punkt. Die Blendquelle AB hing am Stativ PC. Das schwarze Kartonblatt RHD lag auf dem Stativ PC und auf dem Stativ QD. Wenn die VP in die Blendquelle schaut, dann ist zur Berechnung der Schleierleuchtdichte der Winkel EDB wichtig. Einfache geometrische Berechnungen am Bild 3 ergeben $\text{EDB}=11,7^\circ$. Die Beleuchtungsstärke E_{Bl} wurde im Punkt D senkrecht auf BD mit einem Minolta Chroma Meter gemessen. $E_{Bl} = 150 \pm 3 \text{ lx}$,

$x=0,491$; $y=0,408$, $T_{\text{korrel.}}=2360$ K. Somit eine Abschätzung der Schleierleuchtdichte: $L_v = 10 \times 150 / 11,7^2 = 11 \text{ cd/m}^2$.

Versuchspersonen (VP) und ihre Aufgaben. 7 VP mit gutem Farbsehen haben an allen Versuchen teilgenommen. Männer: AM, BP, MM, RN; Frauen: CV, ST, VL.

Versuch 1. Der Hintergrund war dunkel, mit $L_H=24 \text{ cd/m}^2$. Die VP musste sich dazu adaptieren (1 Minute). Dann musste sie sich den dargebotenen Kontrast (den sog. "Originalkontrast", s. Bild 4) merken, und die Taste "*" am Computer drücken, wenn sie fertig war. Nach 1 Sekunde erschien nur das linke Feld vom Originalkontrast. Das rechte Feld hatte jetzt die gleiche Leuchtdichte wie der Hintergrund d. h. $L_H=24 \text{ cd/m}^2$, s. Bild 5.

Bild 4. Originalkontrast.

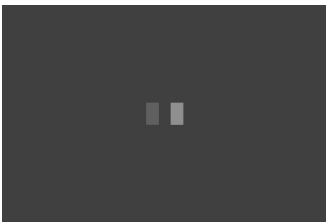


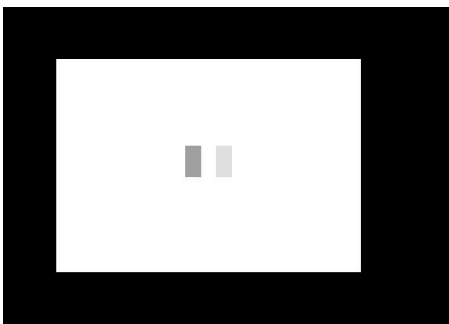
Bild 5. Es erscheint nur das linke Graufeld.



Die VP musste jetzt den gemerkten Originalkontrast herstellen indem sie die Leuchtdichte des rechten Feldes mit Hilfe der "+" und "-" Tasten am Computer änderte. Wenn die VP fertig war, dann drückte sie die Taste "*", und der Computer speicherte die eingestellte Leuchtdichte auf dem rechten Feld und somit den vom Gedächtnis hergestellten Kontrast. Im Versuch 1 musste sich die VP 22 Originalkontraste merken und wiederherstellen. Kontraste No. 1-6 waren alle gleich, der sog. "Grundkontrast" $50 \text{ cd/m}^2 : 100 \text{ cd/m}^2$. Unser Ziel war den Grundkontrast ins Langzeitgedächtnis der VP einzuprägen. Kontraste No. 7-18 waren verschieden. Sie dienten auch als "Störkontraste" nach dem 6-maligen Merken des Grundkontrastes, um zu testen ob danach die Wiedergabe der weiteren 4 Grundkontraste (No. 19-22) genauer wird.

Versuch 2. Dieser Versuch war ähnlich wie Versuch 1, der Hintergrund war aber "hell", d.h. $L_H=125 \text{ cd/m}^2$, s. Bild 6. Am Ende gab es nicht 4, sondern 5 Grundkontraste (No. 19-23).

Bild 6. Versuch 2, auf hellem Hintergrund.



Versuch 3. In diesem Versuch war der Hintergrund wieder dunkel. Die VP musste sich zuerst, wie im Versuch 1, 6 Grundkontraste (50:100) merken und wiedergeben (No. 1-6). Dann wurden 11-mal wieder "Störkontraste" dargeboten (No. 7-17). Jetzt mußte sich aber die VP den "Störkontrast" nur anschauen und dann mit der Taste "*" zum nächsten "Störkontrast" weitergehen. Danach wurde 4-mal (No. 18-21) *nur das linke Feld* des Grundkontrastes 50:100 dargeboten wobei das rechte Feld schwarz ($L=5,2 \text{ cd/m}^2$) war. Nach dem Drücken der Taste "*" wurde das linke Feld des

Grundkontrastes weiter dargeboten und die VP mußte sich - vom Langzeit-Gedächtnis - an den bisher mehrmals gesehenen und eingprägten Grundkontrast 50:100 erinnern und ihn mit Hilfe der Tasten "+" und "-" vom Langzeit-Gedächtnis wiederherstellen.

Versuch 4. Dieser Versuch ist ähnlich wie Versuch 3. Der Unterschied besteht darin, daß es im Versuch 4 nach dem 6-maligen Darbieten des Grundkontrastes (No. 1-6) nur 3 "Störkontraste" gibt (No. 7-9), und danach die Wiederherstellung des eingprägten Grundkontrastes (No. 10-13).

Versuch 5: Untersuchung des äquivalenten überschwelligen Kontrastes auf hellem Hintergrund. Zuerst musste sich die VP 6-mal den Originalkontrast $40 \text{ cd/m}^2 : 80 \text{ cd/m}^2$ auf dunklem Hintergrund merken und Wiederherstellen, wie am Beginn von Versuch 1 (No. 1-6). Der Originalkontrast war diesmal nicht der Grundkontrast 50:100. Dann wurden 3-mal sog. "Störkontraste" dargeboten (No. 7-9) die die VP nur anschauen musste. Dann musste sich die VP an den Originalkontrast 40:80 erinnern und ihn 4-mal vom Langzeit-Gedächtnis wiederherstellen (No. 10-13), ohne ihn noch einmal zu sehen. Danach wurde der helle Hintergrund eingeschaltet. Die VP mußte eine Minute auf ihre Hell-Adaptation warten, und dann 8-mal den Originalkontrast 40:80 vom Langzeit-Gedächtnis wiedergeben (No. 14-21), und danach - nach 1 Minute Dunkeladaptation - fünfmal wieder den Originalkontrast vom Langzeit-Gedächtnis, jetzt wieder auf dunklem Hintergrund (No. 22-26).

Versuch 6: Untersuchung des äquivalenten überschwelligen Kontrastes mit Blendung. Zuerst musste sich die VP 6-mal den Grundkontrast 50:100 auf dunklem Hintergrund merken und wiedergeben, wie am Beginn von Versuch 1 (No. 1-6). Dann musste sich die VP an den Grundkontrast 50:100 erinnern und ihn 4-mal vom Langzeit-Gedächtnis wiedergeben (No. 7-10), ohne ihn noch einmal zu sehen. Danach wieder diese letzte Aufgabe 4-mal (No. 11-14), jetzt musste aber die VP vor jeder Einstellung kurz - 1 Sekunde - in die Blendquelle schauen, und dann auf den Bildschirm, s. Bild 3. Zum Schluss hat die VP diese Aufgabe noch 4-mal wiederholt (No. 15-18), so dass sie im Laufe der Einstellung des Grundkontrastes sowohl den Bildschirm als auch die Blendquelle gleichzeitig gesehen hat.

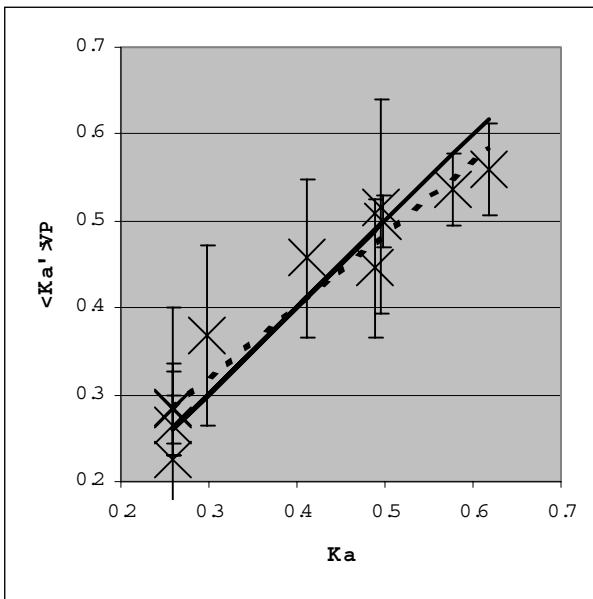
3. Ergebnisse

In jedem Versuch, K_a bezeichnet den Originalkontrast, und K_a' bezeichnet den von der VP eingestellten Kontrast. $K_a = (L_R - L_L) / L_R$; L_R ist die Leuchtdichte des rechten Feldes, und L_L ist die Leuchtdichte des linken Feldes, s. z. B. Bild 4.

Versuch 1

Der Wert $\langle K_a' \rangle_{VP}$, d. h. der Durchschnitt der K_a' -Werte der 7 VP, wurde für jeden Originalkontrast berechnet. In der ersten Darbietung (No. 1-6) war der Mittelwert von $\langle K_a' \rangle_{VP}$ 0,48, beim Grundkontrast von $K_a=0,50$. Dann, im Laufe der Wiederholung des Grundkontrastes (No. 19-22) wurde der Mittelwert von $\langle K_a' \rangle_{VP}$ ein wenig kleiner (0,47). Ein T-Test hat aber gezeigt, daß diese Unterschiede nicht signifikant waren ($\alpha > 0,1$). Der wiederhergestellte Kontrast K_a' ändert sich unter 1-6 und 19-22 nicht signifikant. Dies hat auch eine Einfach-Varianzanalyse für abhängige Stichproben ($df_m=9$, $df_n=54$, $F=1,2$; $F_{krit}=2,76$) bestätigt. Die *interindividuelle* Streuung (σ_{VP}) von K_a' war im Durchschnitt 0,05. Die *intraindividuelle* Streuung von K_a' war für No. 1-6 im Durchschnitt 0,04; für No. 19-22 0,05. Für die verschiedenen Originalkontraste No. 6-18 zeigt Bild 7 die $\langle K_a' \rangle_{VP}$ -Werte sowie die $\sigma_{VP}(K_a')$ - Werte als Konfidenzintervalle, ausser No. 7 und 12. No. 7 war der einzige negative Kontrast, wo das linke Feld (Ankerreiz) größere Leuchtdichte hatte, als das rechte Feld mit einstellbarer Leuchtdichte. Das hat offensichtlich dazu geführt, daß rechts alle VP eine noch kleinere Leuchtdichte eingestellt haben. No. 12 hatte rechts $L_1=340 \text{ cd/m}^2$. Das ist nicht wesentlich kleiner als das Bildschirmweiß. Die VP haben vielleicht deshalb nach dem Merken des Kontrastes $K_a = 0,47$ oft kleinere Leuchtdichten als 340 cd/m^2 für L_1 eingestellt.

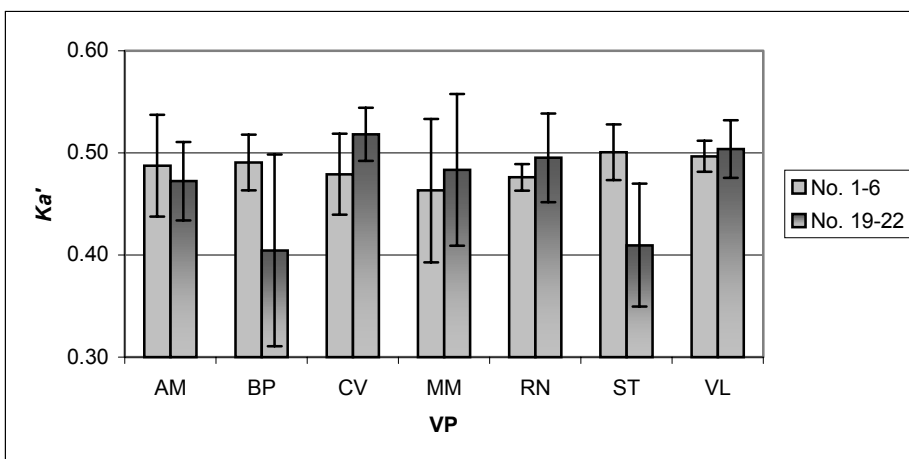
Bild 7. $\langle K_a \rangle_{VP}$ mit 95%-Konfidenzintervall in Abhängigkeit von K_a . Punktlinie: Tendenz von $\langle K_a \rangle_{VP}(K_a)$ mit $R^2=0,92$; schwarze Linie: $\langle K_a \rangle_{VP} = K_a$. No. 7 und 12 sind nicht im Diagramm.



Aus Bild 7 geht hervor, dass die Unterschiede zwischen $\langle K_a \rangle_{VP}$ und K_a nicht signifikant sind. Folgende Tendenz ist aber sichtbar: mit Kurzzeit-Kontrastgedächtnis werden kleine und mäßige ($K_a < 0,50$) Kontraste als größere, und große ($K_a > 0,50$) Kontraste als kleinere eingestellt. Eine Erklärung kann die Adaptation zum dunklen Hintergrund ohne rechtes Feld bei der Einstellung sein (vgl. Bilder 4 und 5). Eine andere Erklärung besteht darin, dass die VP ihre Einstellung in die Richtung des am Beginn 6-mal eingepprägten Grundkontrastes verschiebt.

Die Unterschiede der Ergebnisse der verschiedenen VP sind im Bild 8 dargestellt.

Bild 8. Versuch 1, dunkler Hintergrund. Unterschiede der VP beim Grundkontrast $K_a=0,50$, vor (No. 1-6) und nach (No. 19-22) den "Störkontrasten" (No. 7-18).

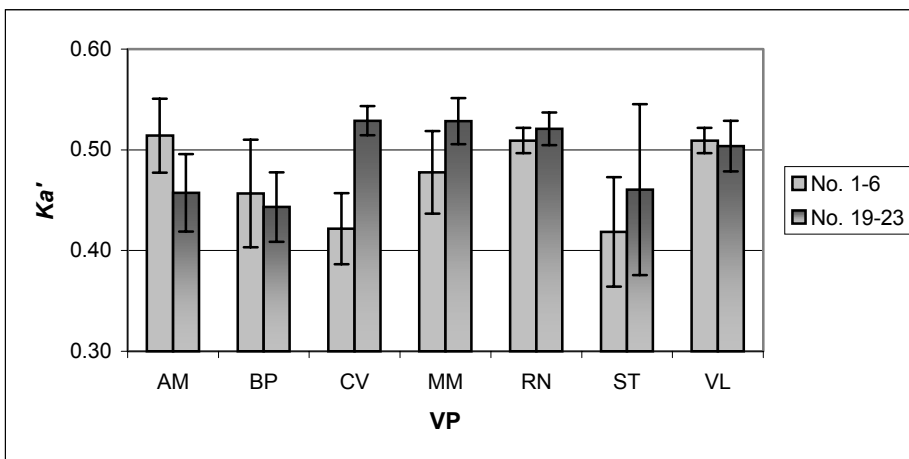


Aus Bild 8 geht hervor, dass zwei VP (BP und ST) bei No. 19-22 kleinere Kontraste gefunden haben. Dies ist wahrscheinlich ein Ermüdungseffekt, oder das Einfallen eines anderen Kontrast-Prototyps der während der Einstellung der 12 Störkontraste entstand. Es gab nämlich unter den 12 "Störkontrasten" (No. 7-18) 8 Originalkontraste mit $K_a < 0,50$, und 5 Originalkontraste mit $K_a < 0,31$.

Versuch 2

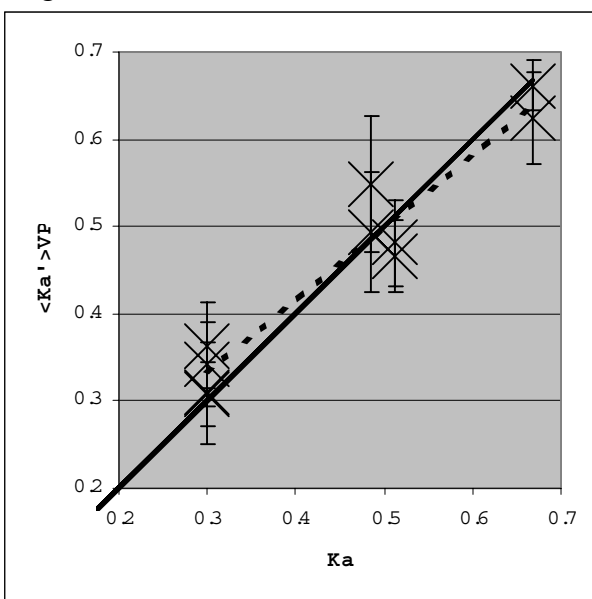
Am Beginn (No. 1-6) war K_a' im Durchschnitt 0,47. Im Laufe der Wiederholung des Grundkontrastes (No. 19-23) war K_a' zuerst kleiner (No. 19, Mittelwert: 0,44) als der Grundkontrast (auf hellem Hintergrund war - wegen der digitalen Natur der Monitor-Stufenzahlen nur $K_a=0,51$ erreichbar). Dann wurden (No. 20-23) nähere Mittelwerte von CV, MM, RN, und VL eingestellt, s. Bild 9. Es ist interessant, dass die VP BP und ST hier wieder niedrigere K_a' -Werte erreicht haben, vgl. Bilder 8 und 9. Die *interpersonale* STD von K_a' war im Durchschnitt 0,05. Die *intrapersonale* STD von K_a' war für No. 1-6 im Durchschnitt für die 7 VP 0,04; für No. 19-23 auch 0,04.

Bild 9. Versuch 2, heller Hintergrund. Unterschiede der VP beim Grundkontrast (wegen der digitalen Stufenzahlen war auf hellem Hintergrund $K_a=0,51$); vor (No. 1-6) und nach (No. 19-23) den "Störkontrasten" (No. 7-18).



Für die *positiven* Kontraste der Serie No. 7-18 zeigt Bild 10 $\langle K_a' \rangle_{VP}$ in Abhängigkeit von K_a . Die negativen Kontraste No. 10, 12, und 13 hatten grössere interindividuelle Streuungen (0,65; 0,25; und 0,33), als die positiven Kontraste (Durchschnitt: 0,07). No. 12 war ein großer negativer Kontrast ($K_a=-2,01$), wo die VP rechts viel größere Leuchtdichten eingestellt haben, und damit einen kleineren Absolutwert (im Durchschnitt $K_a'=-1,37$).

Bild 10. $\langle K_a' \rangle_{VP}$ mit 95%-Konfidenzintervall in Abhängigkeit von K_a . Punktlinie: Tendenz von $\langle K_a' \rangle_{VP}(K_a)$ mit $R^2=0,94$; schwarze Linie: $\langle K_a' \rangle_{VP} = K_a$. Negative Originalkontraste sind nicht im Diagramm.



Aus Bild 10 geht eine ähnliche Tendenz hervor wie beim dunklen Hintergrund (Reihe 1): kleine und mäßige Kontraste werden als größere, und große Kontraste als kleinere gespeichert und eingestellt. Die Unterschiede zwischen $\langle K_a' \rangle_{VP}$ und K_a waren aber i. a. statistisch nicht signifikant.

Versuch 3

Der eingestellte Kontrast war i.a. grösser als der Grundkontrast ($K_a=0,50$). Das war aber statistisch nicht signifikant, s. Bild 11. Selbst nach den "Störkontrasten" No. 7-17, wann der Originalkontrast nicht mehr sichtbar war, blieb der Grundkontrast verhältnismässig genau im Gedächtnis gespeichert, s. No. 18-21 im Bild 11. Die *interpersonale* STD von K_a' war im Durchschnitt 0,06, für No. 18-21 kleiner: 0,05. Die *intrapersonale* STD von K_a' war für No. 1-6 im Durchschnitt für die 7 VP 0,05; für No. 18-21: nur 0,03! Bild 12 zeigt die durchschnittlichen K_a' -Werte der einzelnen VP für den Grundkontrast; vor (No. 1-6) und nach (No. 18-21) den Störkontrasten (No. 7-17). Für die VP AM, BP, RN, und VL ist der Konfidenzintervall des vom Langzeit-Gedächtnis wiederhergestellten Grundkontrastes (dunkle Balken) kleiner oder gleich wie beim gerade gesehenen Grundkontrast (helle Balken). Bei No. 18-21 haben die VP AM, BP, und VL grössere, RN aber kleinere Kontraste als der Grundkontrast eingestellt.

Bild 11. $\langle K_a' \rangle_{VP}$ - Werte mit 95%-Konfidenzintervallen (inter-individuelle Streuungen) für die Kontraste No. 1-6 und 18-21. Versuch 3. Bei No. 18-21 war der Grundkontrast abwesend, d.h. die VP musste den bei No. 1-6 eingprägten Grundkontrast vom Gedächtnis herstellen.

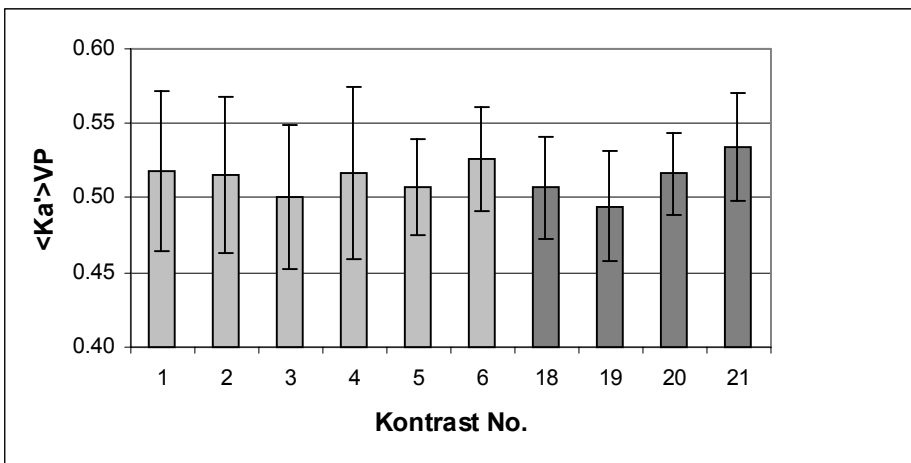
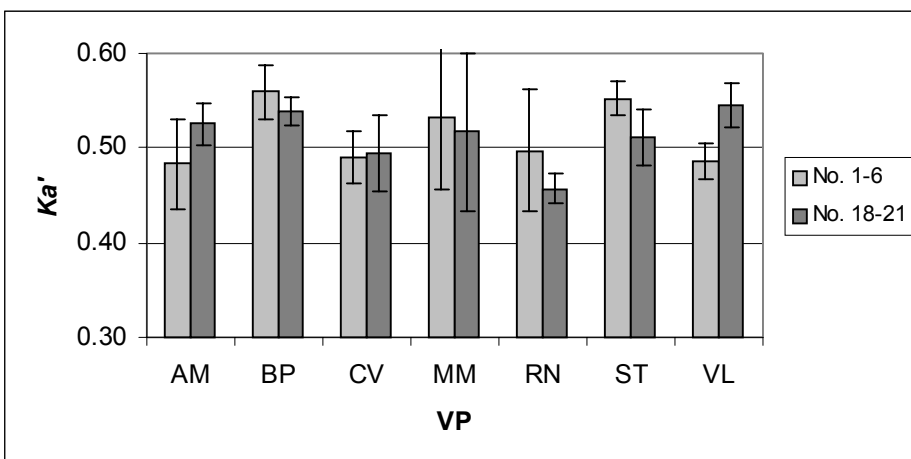


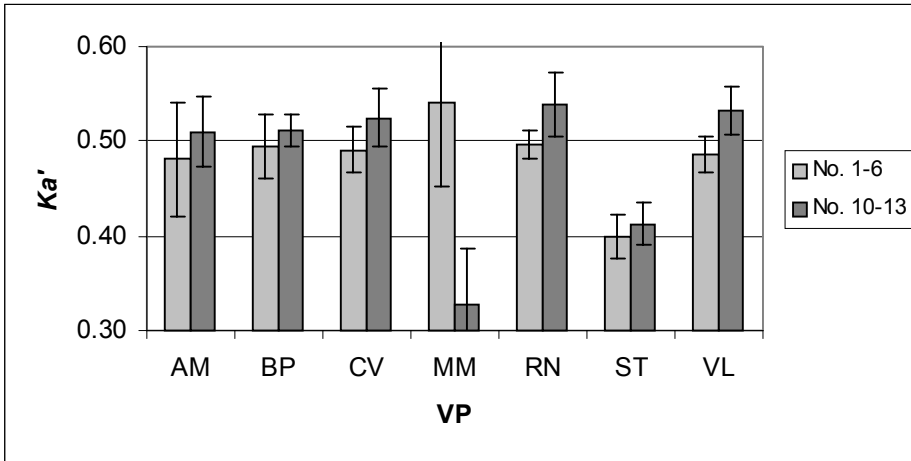
Bild 12. Versuch 3, dunkler Hintergrund. Hier musste die VP die "Störkontraste" (No. 7-17) nur anschauen. Durchschnittliche K_a' -Werte der einzelnen VP für den Grundkontrast $K_a'=0,50$ vor (No. 1-6) und nach (No. 18-21) den Störkontrasten (No. 7-17). Die 95%-Konfidenz-Intervalle stellen intra-individuelle Streuungen dar.



Versuch 4

Die Kontraste No. 10-13 werden - in diesem Fall, wo nur drei "Störkontraste" (No. 7-9) dargeboten wurden - vom Langzeit-Gedächtnis i. a. genauer eingestellt. *Das weist darauf hin, dass die VP den am Beginn eingprägten Kontrast später wiedergeben kann.* Die Ergebnisse No. 10-13 der VP MM waren sehr niedrig, s. Bild 13. Es ist interessant, dass ST hier wieder niedrige Werte produziert hat, vgl. Bilder 8, 9, und 13, aber nicht im Versuch 3 (s. Bild 12).

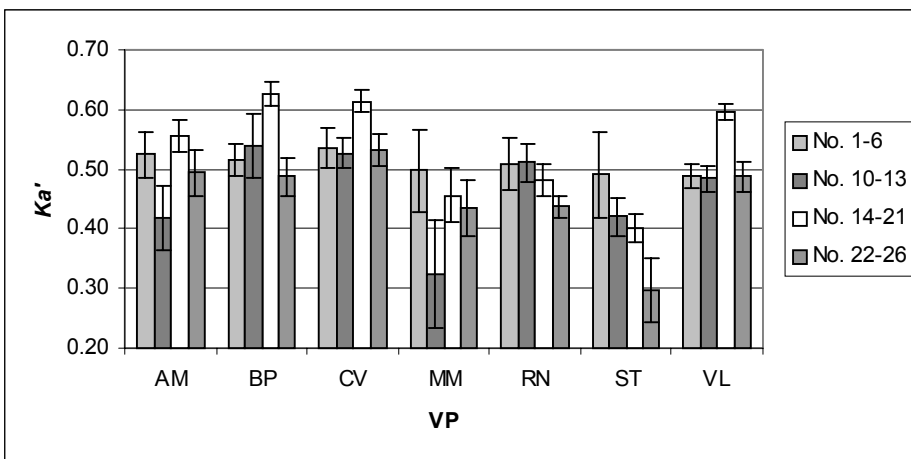
Bild 13. Versuch 4. Durchschnittliche K_a' -Werte der einzelnen VP für den Grundkontrast vor (No. 1-6) und nach (No. 10-13) den "Störkontrasten" (No. 7-9). Die 95%-Konfidenz-Intervalle stellen intra-individuelle Streuungen dar.



Versuch 5.

Bild 14 zeigt die durchschnittlichen K_a' -Werte der einzelnen VP für den Kontrast $40\text{cd/m}^2 : 80\text{cd/m}^2$ vor (No. 1-6) und nach (No. 10-13) den Störkontrasten (No. 7-9), auf weissem Hintergrund (No. 14-24), sowie danach wieder auf dunklem Hintergrund (No. 22-26).

Bild 14. Versuch 5. Durchschnittliche K_a' -Werte der einzelnen VP für den Originalkontrast $40\text{cd/m}^2 : 80\text{cd/m}^2$. Die 95%-Konfidenz-Intervalle stellen intra-individuelle Streuungen dar.



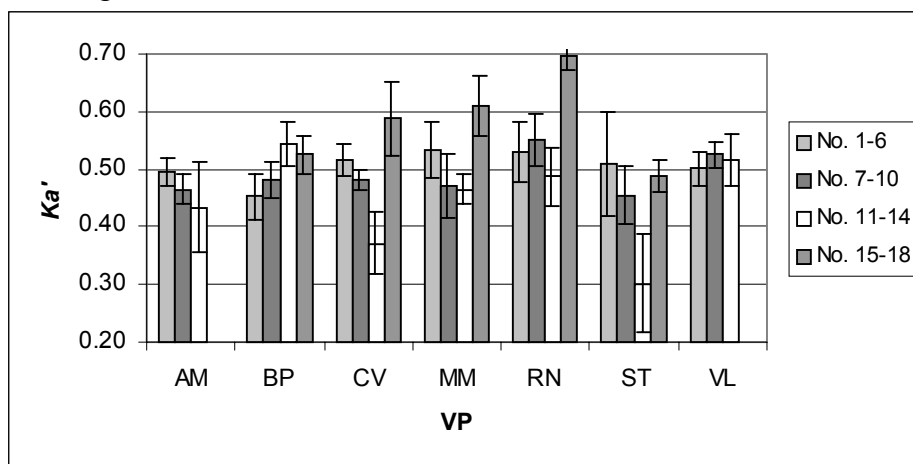
Aus Bild 14 geht folgendes hervor: Bei No. 1-6 wird der Originalkontrast 40:80 recht genau eingestellt, und auch vom Gedächtnis (No. 10-13), nach den drei "Störkontrasten" (7-9), ausser AM, MM, und ST. Letztes ist wahrscheinlich ein Ermüdungseffekt, da die VP die 6 Versuche i.a. unmittelbar nacheinander gemacht haben. ST hat wieder niedrige K_a' -Werte eingestellt. Der äquivalente Kontrast auf weissem Hintergrund (No. 14-21) unterscheidet sich für die VP AM, BP,

CV, MM, und VL signifikant vom auf dunklem Hintergrund vom Gedächtnis wiedergegebenen Kontrast. *Das weist auf die Möglichkeit der Anwendung der überschwelligen Kontrastmetrik zur Charakterisierung der Änderung der Sehverhältnisse hin.* Bei No. 22-26 wird der Kontrast auf dunklem Hintergrund - ausser MM, RN, und ST (Ermüdungseffekt) - richtig wiedergegeben.

Versuch 6.

Bild 15 veranschaulicht die durchschnittlichen K_a' -Werte der einzelnen VP für den Grundkontrast $50\text{cd/m}^2 : 100\text{cd/m}^2$ beim wiederholten Merken (No. 1-6), bei der Einstellung des Grundkontrastes aus Erinnerung ohne Blendquelle (No. 7-10), mit Blendquelle, kurzes Hineinschauen (No. 11-14), und mit Blendquelle, langes Hineinschauen (No. 15-18). Letztes haben die VP AM und VL - wegen unerträglicher Blendung - nicht gemacht.

Bild 15. Versuch 6. Durchschnittliche K_a' -Werte der einzelnen VP für den Originalkontrast $50\text{cd/m}^2 : 100\text{cd/m}^2$, mit und ohne Blendung. Die 95%-Konfidenz-Intervalle stellen intra-individuelle Streuungen dar.



Aus Bild 15 geht folgendes hervor: Der Grundkontrast wird am Beginn (No. 1-6) gut wiedergegeben. Danach, ohne Blendquelle (No. 7-10), gibt es Schwankungen, bestimmt wegen Ermüdung. Die Ergebnisse der No. 11-14 ergeben keine sichere Tendenz. Offenbar ist es nicht genug, nur kurz in die Blendquelle zu schauen. Als die VP CV, MM, und RN beim Einstellen der No. 15-18 die Blendquelle und den Monitor gleichzeitig gesehen haben, haben sie einen wesentlich erhöhten Kontrast für ihren gespeicherten Grundkontrast eingestellt. *Das weist auch auf die Anwendbarkeit der überschwelligen Kontrastmetrik zur Charakterisierung der Änderung der Sehverhältnisse hin.*

4. Schlußfolgerung

In dieser Arbeit wurde das Kontrasterinnerungsvermögen für Graukontraste in 6 psychophysikalischen Versuchen studiert. Diese Versuche bekräftigen die Aussage, dass die VP den am Beginn eingprägten Originalkontrast später - nachdem sie viele anderen Kontraste gesehen hat - wiedergeben kann. Das ist aber nur der Fall, wenn die Sehverhältnisse beim Merken und bei der Wiedergabe gleich sind. Wenn sich die Sehbedingungen ändern, dann wird der empfindungsgemäß äquivalente Kontrast eingestellt, der sich oft signifikant vom Originalkontrast unterscheidet. Das weist auf die Anwendbarkeit der überschwelligen Kontrastmetrik zur Charakterisierung der Änderung der Sehverhältnisse hin.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes und das Bolyai János Forschungsstipendium unterstützt.

Literaturverzeichnis

- [1] Dietrich Gall, Die Kontrastempfindung als Ausgangspunkt für die Beleuchtungsplanung, Dissertation zur Erlangung des akad. Grades Dr. sc. techn., Ilmenau, 1983.
- [2] P. Bodrogi, T. Tarczali, Colour Memory for Various Sky, Skin, and Plant Colours: effect of the Image Context, Color Research and Application 26/4, pp. 278-289, 2001.
- [3] P. Bodrogi, J. Schanda, Testing a calibration method for colour CRT monitors. A method to characterize the extent of spatial interdependence and channel interdependence, Displays 16/3, pp. 123-133, 1995.

Electronic Cinema- zu lösende Probleme, Perspektive und optische Aufgabenstellungen

Dr. Peter Geissler, Dr. Tran Quoc Khanh , Fa. Arnold & Richter AG, Türkenstr. 89, 80799 München

1. Einleitung

Bis heute erlebt der Kinozuschauer jeden Film im Kinosaal, der ein Produkt der Filmkette von der Filmkamera mit dem Filmnegativ als bildaufnehmendes Medium, über die Kopieprozesse im Kopierwerk mit vielen Intermedzwischenschritten bis zum Filmprojektor und Bildwand (s.Bild 1).

Das ist das sogenannte klassische Cinema, wie wir es in der heutigen Generation lieben und mögen.

Seit einigen wenigen Jahren wird über das elektronische Kino viel diskutiert. Der Inhalt der Diskussion ist zum einen die ökonomische Betrachtung, der Finanzierungsplan, die Vermarktung, ökonomische Kinomodelle von der Vermietung bis zur Finanzierung der Distributionskanäle, bevor der Film in elektronischer Form zum Kino kommt. Zum anderen wird über technische Problemstellungen diskutiert, die unter anderem folgende Aspekte beinhalten:

- Welche digitale Kameras kommen in Betracht? Die Entscheidungsgrundlage dazu ist zum einen die ökonomische Überlegung, aber auch die Dominanz und die Marktdurchdringung der Konzerne (Kamerahersteller wie Sony, Panasonic...). Andererseits ist es die technische Seite wie Auflösung (Pixelanzahl, Optikanordnung), Dynamik (S/N), Farbraum, Bewegungsparameter, Benutzeroberfläche.
- Wie sieht es aus mit der elektronischen Kette der Bildauswertung, Bildabspeicherung, Bildübertragung?. Da eine Menge Bildinformation pro Sekunde zu übertragen ist, ist das Problem der maßvollen Bildkompression theoretisch und gerätemäßig zu lösen.
- In welcher Form kommen die elektronischen Bilder zu uns ins Kino, per Satellit, per Kabel oder auf Tapes? Wie sieht dabei die Datenstruktur aus?
- Welcher Projektionstechnologien werden sich in Zukunft durchsetzen? Neben den Aspekten fertigungstechnologischer Art spielt auch Überlegung wie die Auflösung der Bilder, Dynamik sowie die Größe des darstellbaren Farbraumes eine große Rolle.

Die vorliegende Arbeit erhebt nicht den Anspruch, alle Probleme der Elektronischen Cinema im Rahmen der Licht-Tagung darzustellen. Es ist auch nicht die Absicht der Autoren, umfassend ökonomische Aspekte dazu zu liefern. Die Arbeit beschränkt sich in einem kleinen Rahmen auf die optisch-lichttechnischen Aspekte der „Elektronic Cinema“. Das entspricht nicht ganz der klassischen Lichttechnik, es sollte aber den lichttechnischen Rahmen der Tagung bereichern.

1. Beschreibung der möglichen Produktionsketten der elektronischen Cinema

Um das elektronische Cinema zu ermöglichen, müssen die beweglichen Bilder in digitaler Form vorhanden sein. Die erste mögliche Lösung ist eine hochauflösende digitale Kamera zu verwenden, die speziell für Kinozwecke entwickelt wird. Die digitalen Bilder werden aufgenommen, formatiert, farbkorrigiert und gegebenenfalls komprimiert und dann ins Kino distribuiert.

Die zweite Lösung ist die Verwendung einer Filmkamera. Nach der Entwicklung des Filmnegativs wird dieses mit einem hochauflösenden Filmscanner gescannt, wobei der Film Bild für Bild auf die CCD-Sensoren abgebildet ist. Die Ergebnisse sind Filmbilder in digitaler Form, die nach der digitalen Weiterverarbeitung ins Kino kommen können. Bild 1 stellt schematisch diese zwei oben geschilderten Lösungen dar (blaue Linien).

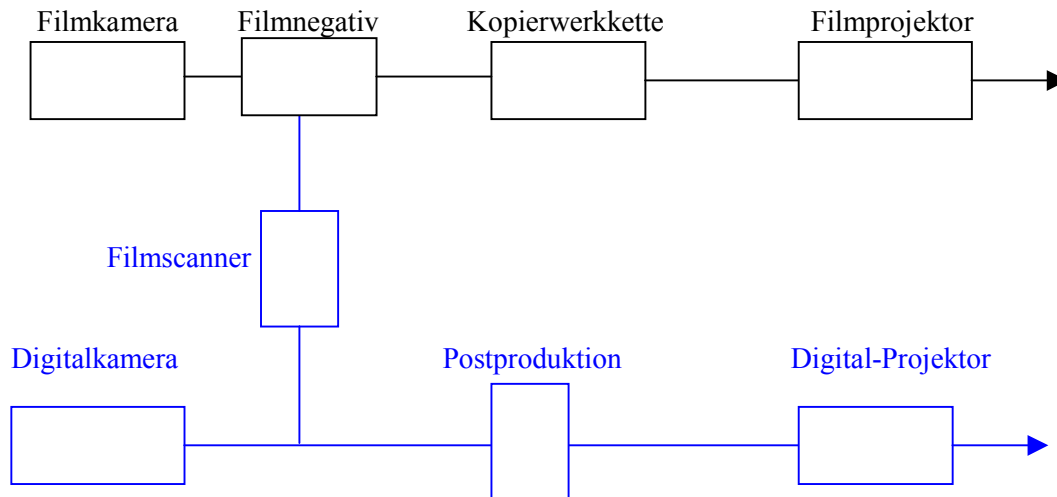


Bild 1: Filmkette und die digitale Kette

2. Optisch-lichttechnische Anforderungen an die allgemeinen Kinobetrachtungsbedingungen

2.1. Anforderung an die Auflösung oder wieviele Pixel braucht der Kinozuschauer

Im Kino mit einer Bildwand der Höhe h und Breite $b=1,777 h$ (16:9) soll im Normalfall der Zuschauerabstand d das Dreifache der Bildwandhöhe h betragen ($d=3h$).

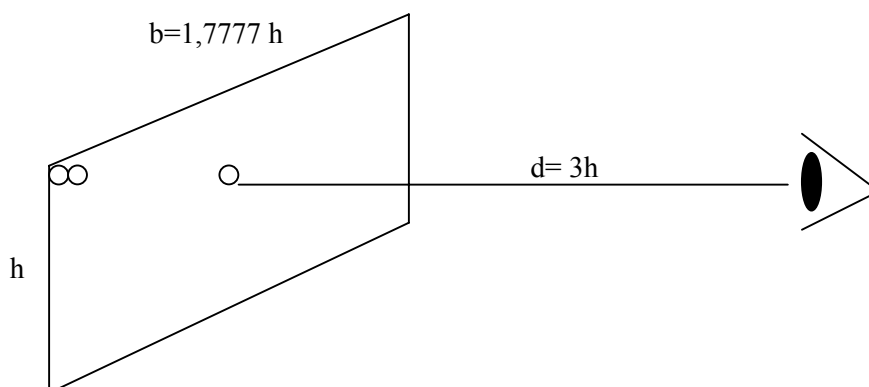


Bild 2: Geometrische Sehbedingung im Kino

Von der physiologischen Optik ist es bekannt, daß zwei Punkte gleicher Helligkeit nicht mehr voneinander unterscheidbar sind, wenn diese beiden vom Betrachterstandpunkt aus einen Winkel von maximal $0,3 \text{ mrad} = 1'$ bilden.

Hat die Kinowand in der Breite b eine Pixelzahl von n Punkten, dann ist die Größe eines Punktes $\delta = b/n = 1,777 h/n$.

Der Winkel, unter dem der Zuschauer den Punkt sieht, beträgt daher:

Winkel = $\delta/d = \delta/3h = 1,777 h/(n \cdot 3h) = 0,592/n \leq 0,3 \text{ mrad} = 0,0003$ Daraus folgt:

$$n \geq 0,592 : 0,0003 = 1975$$

Das bedeutet, daß der Kinozuschauer ein Bild braucht, das in der Breite wenigstens 1975 Pixel (Bildpunkte) und in der Höhe 1110 Pixel hat (Format 16:9).

2.2. Anforderung an den Kontrastumfang

In der amerikanischen Norm ANSI/ SMPTE 196M-1995 wird vorgeschrieben, einen Kontrastumfang für Kinos erster Klasse von 600:1 und für Standardkino von 400:1 zu gewährleisten.

2.3. Anforderungen an die Leuchtdichte und Farbtemperatur

In der gleichen Norm wird vorgeschrieben, für Kinos eine nominelle Bildwandleuchtdichte von 55 cd/m² zu gewährleisten. Die maximale und minimale Leuchtdichte beträgt 41 cd/m² und 75 cd/m². Die minimale Leuchtdichte ist deshalb angegeben, da der menschliche Sehprozeß im Kino unterhalb diesem Niveau beeinträchtigt wird. Bei einer Bildrate von 24 Bilder/s ist eine Leuchtdichte von mehr als 75 cd/m² auch nicht förderlich, da Flickererscheinungen sichtbar werden.

Die Farbtemperatur der Bildwandbeleuchtung soll 5400 K ± 600 K betragen.

4. Untersuchung der Komponenten der klassischen Cinema und der digitalen Komponenten der elektronischen Cinema

4.1. Auflösung, Schärfe /1/

Für die Filmkamera werden hier 2 Produktionsketten behandelt. Die eine ist die optimale Filmkette, beinhaltet das beste Filmobjektiv Typ Planar (Carl Zeiss Oberkochen), 50 D-Negativ, das beste Kopieobjektiv von Nikon, Fine grain Positivfilm und das beste Projektionsobjektiv von Fa.Schneider Optik. Das ist die Version, wenn der Film auf einem Filmfestival präsentiert würde.

Die 2. Filmkette (Standardkette) beinhaltet die ganze übliche Kette vom Filmkameraobjektiv über die vielen Intermedprozesse im Kopierwerk bis zum Filmprojektor. Das setzt trotzdem voraus, daß die Vorgänge optimal durchgeführt werden und das Endprodukt Filmpositiv noch frisch und noch nicht vom Filmprojektor abgenutzt werden.

Für die digitale Kette der elektronischen Cinema wird die Sony HDTV- Kamera 24p benutzt, deren digitale Bilder von einem LCD-Projektor (zur Zeit als Prototyp mit 2000 Bildpunkten in der Breite, Hersteller: Kodak/USA) auf die Bildwandprojiziert wird.

Die Kontrastübertragungsfunktion (MTF, KÜF) der drei Produktionsketten zeigt das Bild 3.

Während die MTF der digitalen Kette mit der Sony-HDTV-Kamera und LCD-Projektor sowie die Standardfilmkette bei 40 Linienpaare/mm auf den Schwellenwert 5% abgefallen ist, unter dem keine Bilderkennung möglich ist, ist die optimale Filmkette bei 40 Lp/mm noch bei 30% und bei 80 Lp/mm noch beim Schwellenwert von 5%. Daraus ergibt sich die Tabelle 1:

Beste Filmkette	80 lp/mm = 4000 Bildpunkte bei Filmbreite 24,89 mm
Standardfilmkette	40 Lp/mm = 2000 Bildpunkte bei Filmbreite 24,89 mm
Sony-Kamera +LCD-Projektor	40 Lp/mm = 2000 Bildpunkte

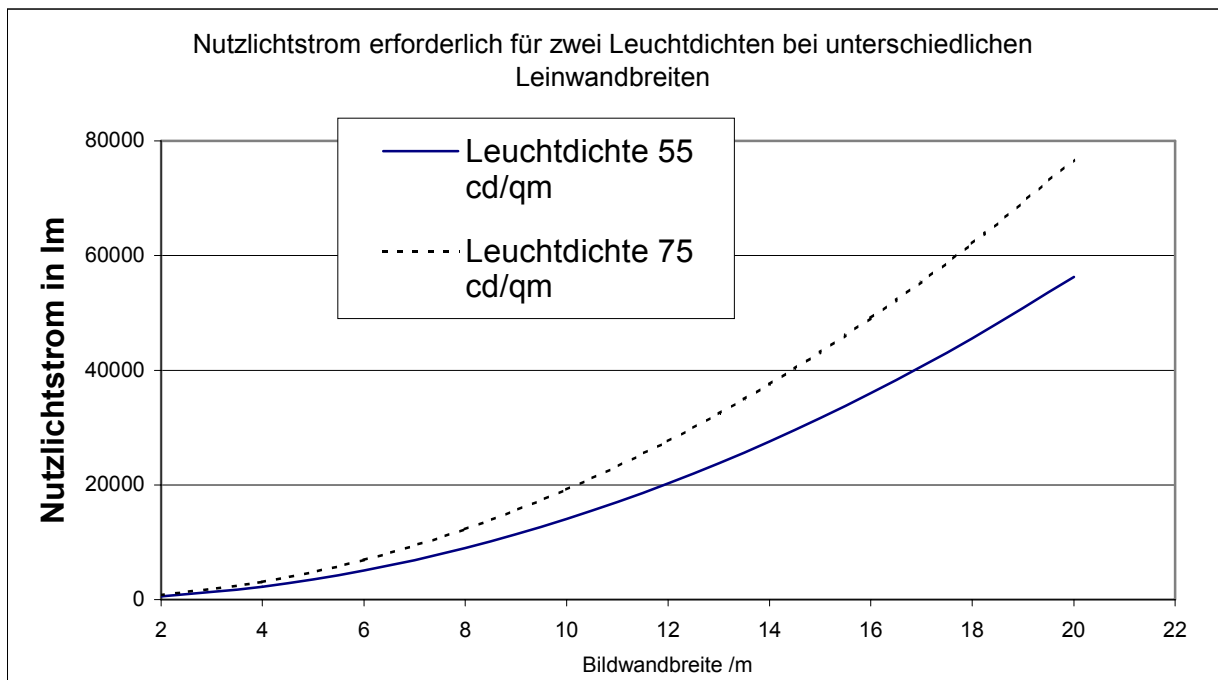


Bild 3: Vergleich der 3 Produktionsketten

4.2. Kontrastumfang

Im Rahmen der Untersuchung der Zukunft der elektronischen Cinema wurden im ARRI-Kino im März 1999 einige Digitalprojektoren miteinander und mit dem Filmprojektor verglichen. Die Messungen wurden von Mitarbeitern des Instituts für Rundfunktechnik (IRT) und ARRI-Mitarbeitern durchgeführt. Die Digitalprojektoren sind:

- BarcoReality 9200 (LCD-technologie)
- Digital Projektion 7gv (DMD/DLP-Technologie)
- AmPro AE3 (Lichtventil)

Die Messbedingungen sind wie folgt:

Projektionsfläche: 7,65 m*4,2 m
 Entfernung der Projektionsapparate zur Leinwand: 21 m

Für den Kontrastumfang wurden folgende Ergebnisse (Tabelle 2) ermittelt:

Projektortyp	Kontrastumfang
Filmprojektor	1870:1
Lichtventil	71:1
DLP	340:1
LCD	300:1

Was den Kontrastumfang anbetrifft, konnte kein Digitalprojektor zur damaligen Zeit die Anforderung für ein Standardkino erfüllen (s. Abs. 3.2.). Im Imaging Technology-Center von Eastman Kodak in Los Angeles /USA wurde kürzlich ein LCD-Projektor mit 1000:1 Kontrastumfang vorgeführt.

Für die Leuchtdichte wurden folgende Ergebnisse (Tabelle3) realisiert:

Projektortyp	Leuchtdichte /cd. m ⁻²
Filmprojektor	59
Lichtventil	12,4
DLP	43,5
LCD	17,32

Was die Leuchtdichte anbetrifft, konnte kein Digitalprojektor zur damaligen Zeit die Anforderung für ein Standardkino erfüllen (s. Abs. 3.3.).

Um die notwendige Leuchtdichte zu errechnen, verwendet man den Begriff ANSI-Nutzlichtstrom (ANSI-Lumen) /2/. Mit einer Leinwand vom Format 4:3 erhält man die Formel:

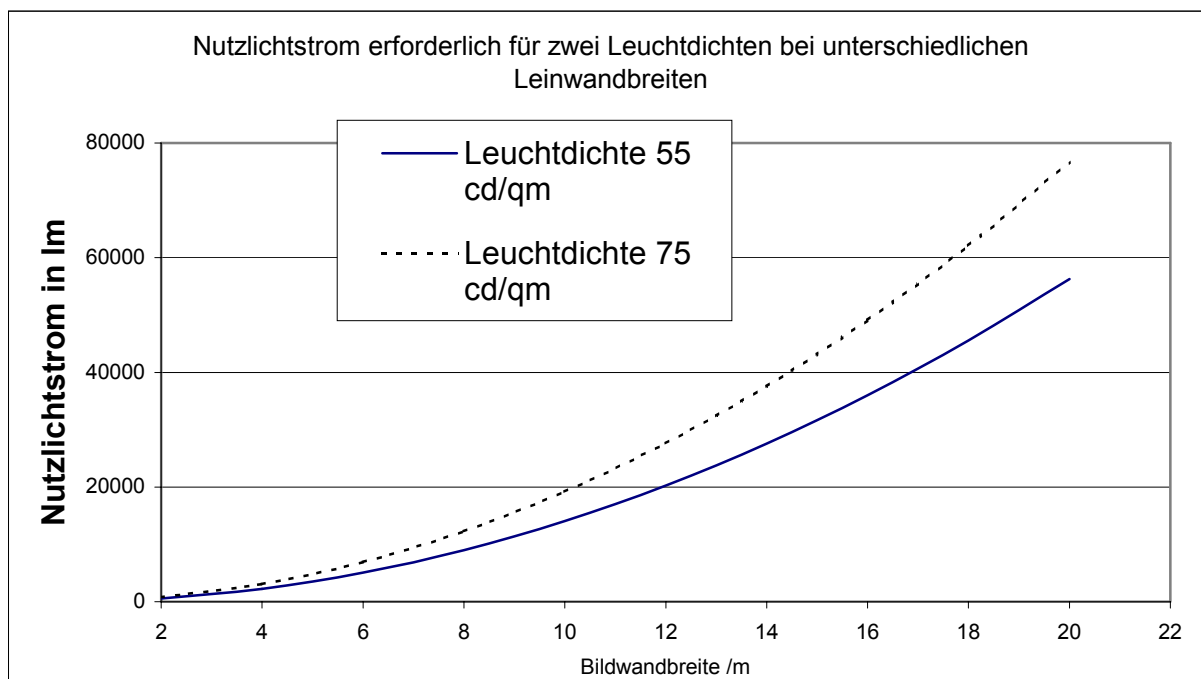
$$L = \rho \cdot \phi \text{ (ANSI)} / (2,355 \cdot b^2)$$

Mit ρ : Reflexionsgrad der Leinwand

ϕ (ANSI): Nutzlichtstrom des Projektors

b: Leinwandbreite

Mit $\rho = 0,92$ erhält man die Graphik im Bild 4:



Für eine Leinwandbreite von etwa 9 m kann das momentan größte DLP-Hochleistungsprojektorsystem mit 12 000 ANSI Lumen genau 55 cd/m² erzeugen.

5. Prognosen für die nächste Zukunft

Für die Zukunft gehen die Autoren von der Durchsetzung der LCD-Technik (Kodak/JVC-Hughes) aus, da sie gegenüber der DLP-Technik einen besseren Kontrastumfang (1000:1) und bessere Auflösung (2000 Bildpunkte in der Bildbreite) verspricht. Kodak arbeitet mit dem System bereits an Themen wie Farbmanagement, Komprimierungstechnik, die für die Bildwiedergabequalität wichtig sind. Umfangreiche Messungen an einem DLP-Projektor 1280*1024 Meßpunkte für die Ausarbeitung des Farbmanagements werden bei Fa. ARRI AG /München in Kürze durchgeführt.

Experten-Umfrage zufolge sieht die Entwicklung der digitalen Cinema, gemessen an der Anzahl der digitalen Kinos, wie folgt aus:

2001: ca. 200 Kinos

2002: ca. 1250 Kinos

2003: ca. 2800 Kinos

Das werden die Kinos in den großen Industrienationen sein. Weltweit gibt es 130 000 Kinos.

Um die Auflösung der digitalen Kette zu erhöhen, ist es erforderlich, hochauflösende digitale Kameras zu entwickeln. Um auch Bilder mit guter Qualität übertragen zu können, wird an einem neuen Kompressionsstandard gearbeitet, an dem Wissenschaftler von ARRI, vom Institut für integrierte Schaltungen (Erlangen) u.a.m. mitwirken.

Literaturverzeichnis

/1/: Khanh, T.Q.: Interner ARRI-Bericht zur Qualität der Projektionstechnik

/2/: ANSI IT7.215-1992: data projection Equipment and Large Screen Data Displays- Test Methods and Performance Characteristics

Andreas Kraushaar (TU Ilmenau, Diplomand)
Dr. T. Q. Khanh (ARRI AG, Entwicklungsabteilung)
Dr. Peter Geissler (ARRI AG, Entwicklungsabteilung)

Farbmanagement in der Digitalen Filmproduktion

1. Der Ablauf der digitalen Filmproduktion

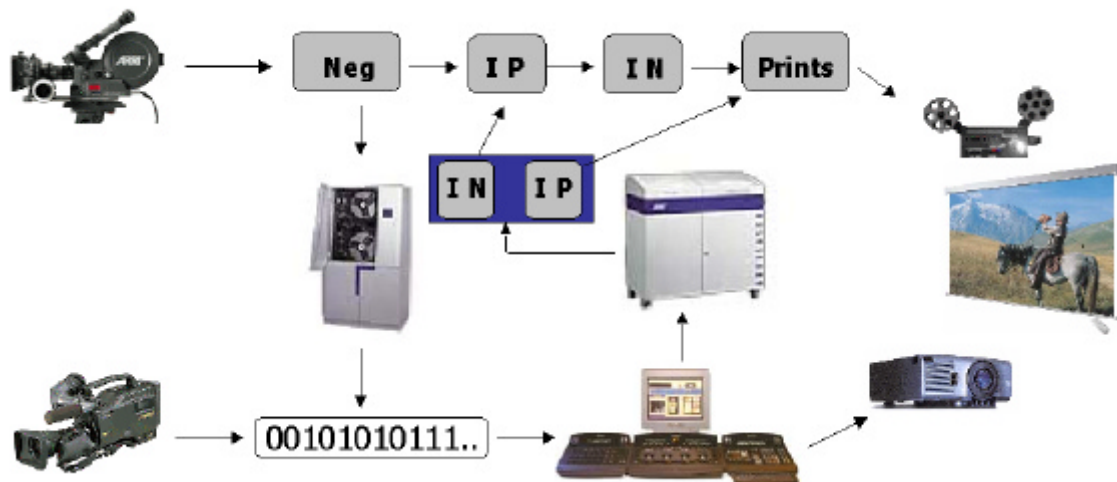


Abbildung 1: Der Ablauf der digitalen Filmproduktion

Die traditionelle Filmbearbeitung hat sich verändert. Wo bisher in geschlossenen Produktionskreisläufen Farbinformationen von der Erfassung bis zur Vervielfältigung rein verfahrensspezifisch und geräteabhängig gearbeitet wurde, trifft man heute auf offene, modulare und volldigitale Systeme. Das Ziel, Farbe verbindlich zu reproduzieren und Farbinformationen in allen Prozessstufen vorhersehbar und konstant zu halten, gewinnt durch den technologischen Wandel starke Bedeutung und erfordert neue Methoden zu seiner Erreichung.

Der umfangreiche Filmstock bietet heutzutage für jede Situation das entsprechend sensibilisierte und feinkörnige Material. Die digitale Nachbearbeitung verdrängt Stück für Stück die Arbeit im Kopierwerk und an den optischen Trickmaschinen. Im Mittelpunkt steht aber nach wie vor das Medium Film.

Der erste Schritt in dieser Bearbeitungskette ist die Digitalisierung. Der Filmabtaster überführt die Farbstoffdichten in die digitalen Codeworte. Das Ergebnis bezeichnet man als digitale Filmkopie. Da die erforderlichen Datenmengen¹ noch nicht in allen Bearbeitungsschritten bewältigt werden, erfolgt die weitere Bearbeitung in einen standardisierten Videoformat. Neuerdings bietet auch das hochauflösende Fernsehen² eine Alternative für einige Einsatzbereiche, die bisher dem Film vorbehalten waren. In der anschließenden Postproduktion werden diese Bilder so verändert bis sie den Wünschen des Kameramanns oder des Regisseurs entsprechen. Die fertige digitale Filmkopie kann nun über die verschiedensten Distributionskanäle vertrieben werden. Eine komplette digitale Bearbeitung mit anschließender Rückbelichtung auf den Film ist ebenfalls oft anzutreffen. Hierbei kommt es häufig vor, dass nur Teile des Filmmaterials digitalisiert werden, um sie nach der Bearbeitung wieder in den Film einzufügen. Der zunehmende Datenaustausch, die Mehrfachnutzung und -auswertung von Farbdaten sowie unvorhersehbare Produktionswege zwingen zu medienneutralen Farbverarbeitungskonzepten.

2. Motivation

Bei dieser Arbeitsweise treffen Farbinformationen unterschiedlichen Ursprunges aufeinander. Das folgende Diagramm stellt den Wiedergabefarbkörper im Druck und eines Monitors mit EBU Phosphoren im CIELab System gegenüber.

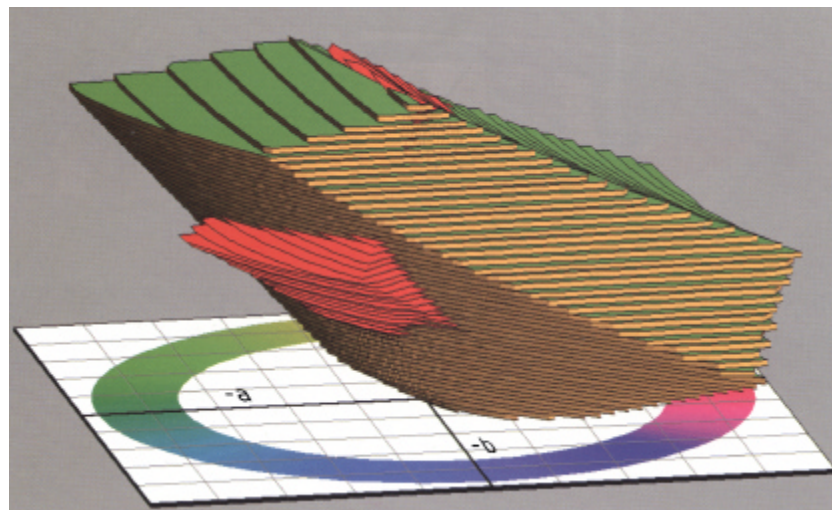


Abbildung 2 Farbkörper Bildschirm und Druck (verdeckt)³

Die unterschiedlichen Komponenten haben einen individuellen Farbraum, im Weiteren Gamut bezeichnet. Grundsätzlich kann man

¹ 2048x1536Pixel * 10Bit * 3 (RGB) * 24 Bilder/s = 270 Mbyte/s

² alle Formate die eine höhere Zeilenauflösung als 625 Zeilen/Vollbild haben

³ aus H. Lang, „Farbwiedergabe in den Medien“, 1995

feststellen, dass jedes Synthesystem einen prinzipbedingten maximalen Gamut hat. Verknüpft man nun diese unterschiedlichen Medien miteinander, so stellt man fest, dass es Farbörter gibt, die nicht von allen Komponenten darstellbar sind. Die Transformation dieser Farbörter in den jeweiligen Zielfarbraum ist Aufgabe des Gamut Mappings. Hierbei gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, die später kurz erläutert werden. Weiterhin besitzen die am Reproduktionsprozess beteiligten Komponenten eine individuelle und sehr charakteristische Übertragungsfunktion. Diese unterliegt prozessbedingten Streuungen.

Bisher werden diese Schwankungen durch iterative Lösungen mit Hilfe von individuellen LUT (look-up-tables) ausgeglichen. Im gesamten Prozess kann das endgültige Ergebnis jedoch erst am Film selber beurteilt werden. Daraus erwächst die dringende Notwendigkeit einer reproduzierbaren Farbwiedergabe innerhalb der gesamten Produktionskette. Ein in der Praxis nutzbares, gleichzeitig auf solider mathematischer Grundlage stehendes Verfahren steht dabei im Vordergrund.

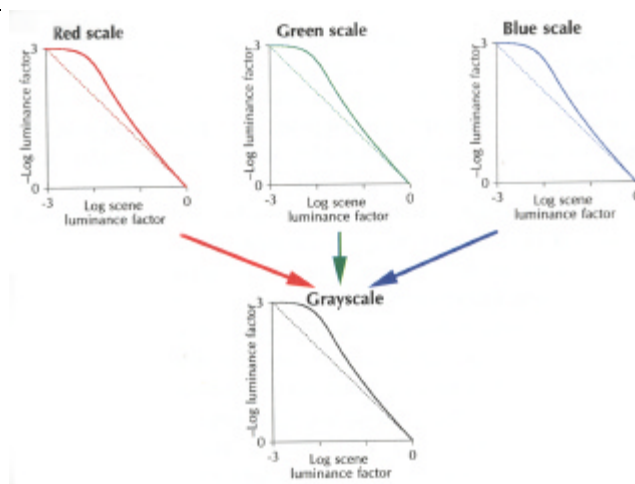


Abbildung 3: Die Abweichung von der Graubalance (RGB)

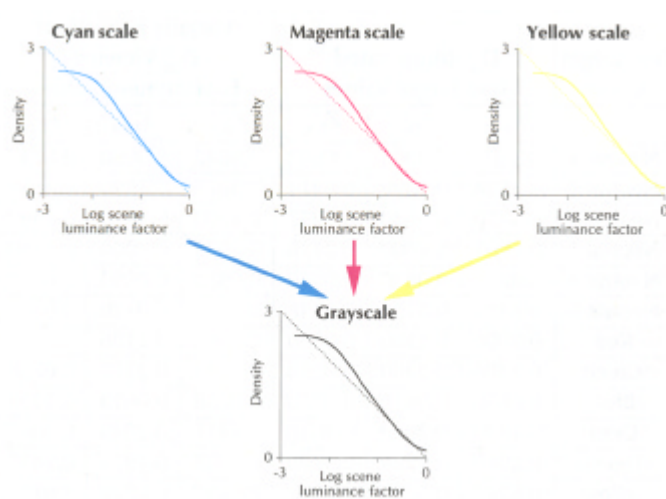


Abbildung 4: Die Abweichung von der Graubalance (CMY)

Die beiden Grafiken veranschaulichen, dass durch eine separate Modifikation der einzelnen Primärvalenzen nicht nur die Graubalance sondern auch der gesamte Farbraum beeinflusst wird.

3. Grundlagen

Die DIN 6169 (Teil 1) definiert die Farbe als Sinneswahrnehmung eines Menschen auf einen Farbreiz. Da diese Wahrnehmung nicht mit physikalischen Größen beschrieben werden kann hat die CIE 1931 einen Normalbeobachter definiert auf den sich alle Messungen beziehen. Dies ist nötig, da das Auge keinen zahlenmäßigen Vergleich von Farbempfindungen zulässt, aber hervorragend zur Feststellung von Farbunterschieden geeignet ist.

Geht man vom ersten Grassmannschen Gesetz aus, so kann man mit 3 beliebigen Farben jede andere beschreiben. Dies gilt jedoch nur in der additiven Synthese und nur wenn sich eine der Farben nicht durch die anderen ermitteln lässt. Diese 3 Farben werden Primärvalenzen genannt und sind notwendigerweise linear unabhängig. Dabei spannen sie einen 3D Vektorraum auf. Durch die äußere Farbmischung sind auch Farbörter mit negativen Primäranteilen erlaubt.

Um eine Vereinheitlichung der resultierenden Messwerte zu gewährleisten, legte die CIE virtuelle, physikalisch nicht realisierbare, Primärvalenzen XYZ fest. Diese erlauben einerseits positive Normfarbwerte und andererseits eine Trennung von Chrominanz und Luminanz. Die zu den virtuellen Primärvalenzen gehörenden Wichtungsfunktionen $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ werden Normspektralfunktionen genannt, wobei $y(\lambda)$ der Hellempfindung des Menschen entspricht.

Die vielfach so genannte *subtraktive* oder *multiplikative* Farbmischung ist keine Farbmischung im eigentlichen Sinn, sondern eine multiplikative Beeinflussung der spektralen Durchlässigkeit der Filter oder Lösungskombination. Die Gesetzmäßigkeiten sind hier völlig anders (LAMBERT-BEERSches Gesetz, KUBELKA-MUNK-Theorie).

Möchte man nun Farbempfindungen quantifizieren, verlässt man die niedere Farbmeterik und stößt auf die höhere Farbmeterik. Das Ziel dieser Vorgehensweise ist die Reduzierung der Ambivalenz zwischen Farbempfinden und berechneten Farbunterschieden.

Während in der niederen Farbmeterik als Kriterium nur das Gleichheitsurteil des menschlichen Auges gilt, werden in der höheren Farbmeterik darüber hinaus Urteile über Ähnlichkeit oder Farbabstand gefällt. Die Farbvalenz kennzeichnet diejenige Wirkung des Farbreizes auf das Auge, die für sein Verhalten in der additiven Mischung der Farben maßgebend ist. Die Farbvalenz ist erfahrungsgemäß durch drei Maßzahlen darzustellen. Sie ist der alleinige Gegenstand der Farbmessung.

Für die Auswahl des jeweiligen Farbraumes gibt es verschiedenste Motivationen. Wichtig hierbei ist die Unterscheidung zwischen geräteunabhängigen und geräteabhängigen Farbräumen. Geräteunabhängige Farbräume haben einen farbmeterischen Bezug zu der jeweiligen Farbvalenz während geräteabhängige Farbräume nur Anteile der Primärvalenzen des jeweiligen Systems darstellen.

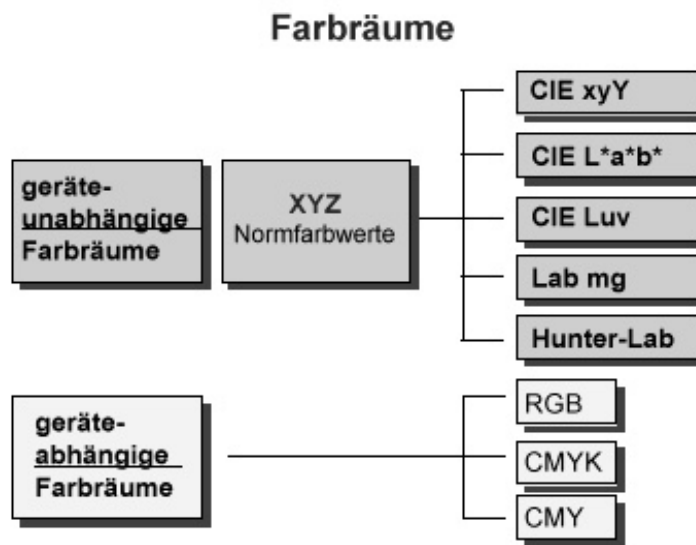


Abbildung 5: Übersicht häufig verwendeter Farbräume

In der höheren Farbmeterik haben sich empfindungsgemäß gleichabständige⁴ Farbräume wie z.B. CIELab oder CIELuv bewährt. Dort entsprechen die euklidischen Abstände in etwa den wahrgenommenen.

⁴ diese Gleichabständigkeit ist nach wie vor noch nicht 100% realisiert und Schwerpunkt aktueller Untersuchungen

Die Transformation von XYZ nach CIELab:

- wichtig ist das Bezugsweiss (X_w, Y_w, Z_w)
- nichtlineare Transformation von Y

$$L^* = \begin{cases} Y/Y_w \geq 0,008856 : 116 * (Y/Y_w)^{1/3} - 16 \\ Y/Y_w \leq 0,008856 : 903,3 * (Y/Y_w) \end{cases}$$

$$L^* \in \{0, \dots, 100\}$$

- Transformation von Rot-Grün und Gelb-Blau Differenzsignalen

$u' = 4X / (X + 15 * Y + 3 * Z)$ $v' = 9Y / (X + 15 * Y + 3 * Z)$ $u^* = 13 * L(u' - u_w')$ $v^* = 13 * L(v' - v_w')$	$a^* = 500 * L[f(X/X_w) - f(Y/Y_w)]$ $b^* = 500 * L[f(Y/Y_w) - f(Z/Z_w)]$ $f(x) = \begin{cases} x \geq 0,008856 : x^{1/3} \\ x \leq 0,008856 : 7,787 * x + 16/116 \end{cases}$
---	--

Für den Vergleich nicht zu großer Abweichungen hat sich das Farbabstandsmaß E^5 weitestgehend durchgesetzt. In der Praxis werden die Farbattribute Buntton, Helligkeit und Sättigung noch unterschiedlich gewichtet.

Der Farbabstand ΔE

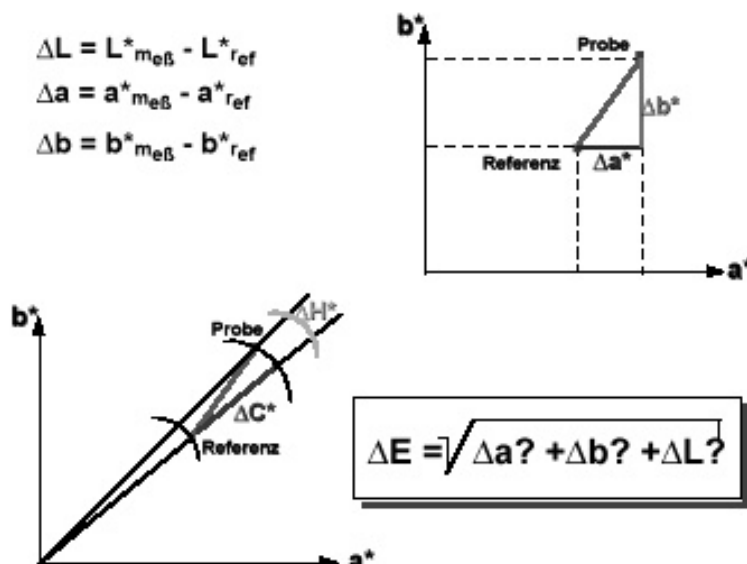


Abbildung 6: Der Farbabstand Delta-E (aus: www.icc.org)

⁵ Vgl: Delta-E 2000 Formel, CIE Publikation 142-2001

4. Messung

Um nachvollziehbare und verbindliche Messergebnisse zu erzielen, kommt nur die spektrale Messmethode in Frage. Sowohl das Gleichheitsverfahren als auch das 3-Bereichsverfahren ermöglicht keine Bewertung der spektralen Transmission oder Remission.

Für die Bestimmung der Farbreizfunktion ϕ_λ wird ein scannendes Spektroradiometer⁶ eingesetzt. Die Einkoppeloptik realisiert die Abbildung des Messfleckes auf das Faserbündel. Dazu wird ein Achromat verwendet. Das Messgerät ist in einer Entfernung von 1m auf Strahldichte kalibriert.

Bei Körperfarben kann die Farbvalenz - im Gegensatz zu Selbstleuchtern - nur in Verbindung mit der spektralen Verteilung der beleuchtenden Lichtart definiert werden. Die Farbvalenz soll bei Körperfarben im Allgemeinen auf die Normlichtart D 65 als eine natürliche Tageslichtart oder auf die Normlichtart A als Vertreter der künstlichen Beleuchtung mit Glühlampenlicht bezogen werden. In der Filmindustrie ist es jedoch üblich die Kinoprojektion als Referenz heranzuziehen. Dort beträgt die ähnlichste Farbtemperatur ca. 5400K. Bei den zur Normierung der Komponenten benutzten Farbproben wurde auf Glanzfreiheit und Fluoreszenzinvarianz großen Wert gelegt. Die auch mit Glanzfalle⁷ nicht zu vermeidende Oberflächenreflektion wird in der späteren Berechnung berücksichtigt.

5. Farbmanagement mit ICC

In der Praxis trifft man überwiegend auf geschlossene proprietäre Lösungen die für eine bestimmte Aufgabe entwickelt worden sind. Daraus resultieren erhebliche Probleme und Einschränkungen für die digitale Filmproduktion, da die angebotenen Teillösungen nur unzureichend untereinander kombinierbar

Die Notwendigkeit eines offenen Standards veranlasste 1993 eine Gruppe von Hard- und Softwareherstellern, die Möglichkeiten für geräteunabhängige Lösungen zu untersuchen. Aus dieser Initiative bildete sich das 'ColorSync-Consortium', das später in 'International Color Consortium' (ICC) umbenannt wurde. Aus den Aktivitäten dieses Consortiums entstand das sogenannte ICC-Farbmanagement. Dabei findet zunächst eine Profilierung statt, bei der alle am Reproduktionsprozess beteiligten Geräte anhand einheitlicher Kriterien charakterisiert werden. Anschließend werden die ermittelten Profile mit Hilfe einer Transformationseinheit so verknüpft, dass die am Ausgabemedium zu messenden

⁶ Spekto 320 der Firma IS

⁷ hierbei wird nur der Spiegelglanz eliminiert

Farbvalenzen den Werten des Eingabemediums weitgehend entsprechen.

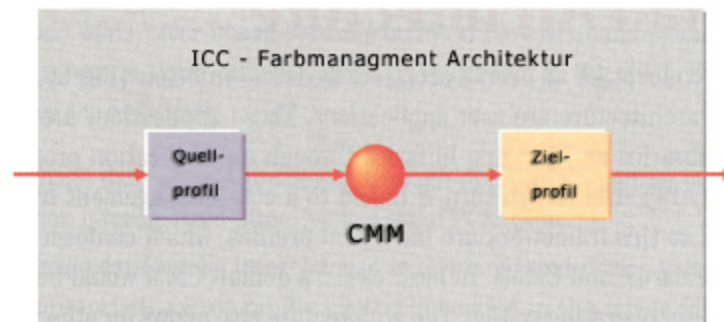


Abbildung 7: ICC Farbmanagement Architektur

In der Profilierung werden die geräteabhängigen Koordinaten der zu charakterisierenden Komponenten in einen geräteunabhängigen Farbraum, dem sogenannten PCS (Profile Connection Space), transformiert. Umrechnungsalgorithmen die beschreiben wie ICC-Profile aus PCS-Koordinaten und Gerätefarbraum zu erstellen sind werden nicht vorgeschrieben. ICC-Profile sind somit individuell erstellte konstante Datensätze die nicht an Veränderungen der Geräteparameter angepasst werden können. Ihre Verwendung ist deshalb da sinnvoll, wo die Farbwiedergabeeigenschaften nur geringfügig schwanken. Mit der 'ICC Profile Format Specification' hat das ICC eine einheitliche, plattformunabhängige Struktur festgelegt, welche die Ausgangsbasis für ein innovatives Farbmanagement bildet.

Im ICC gibt es grundsätzlich drei Herangehensweisen an die Problematik des Gamut Mappings. Darunter versteht man die Notwendigkeit, nicht darstellbare Farben durch darstellbare bzw. druckbare zu ersetzen. Hierbei hat man allerdings das Problem, dass eine Abbildung nur der außerhalb liegenden Farben auf die Oberfläche des darstellbaren Farbbereichs (Farbkörper = engl. color gamut) zu einem Strukturverlust führt ("Clipping"). Alternativ kann man auch den gesamten Farbumfang eines Bildes linear soweit komprimieren, dass alle Farben druckbar werden. Nachteil hierbei: alle Farben werden entsättigt. Wie immer liegt der Kompromiss irgendwo in der Mitte. Und hier kommen die verschiedenen „Rendering intents“ zum Tragen.

Colorimetrisch: Alle darstellbaren Farben sollen so exakt wie möglich wiedergegeben werden. Die nicht darstellbaren (out-of-gamut) werden notwendigerweise auf die Oberfläche geclippt.

Fotografisch: perceptual = wahrnehmungsbezogen: Es kommt nicht auf die einzelne Farbe, sondern auf die Gesamterscheinung des Bildes an. Hierbei findet normalerweise ein gewisser Grad an (nicht-)linearer Kompression statt.

Sättigung: "Geschäftsgrafiken": Hierbei ist die genaue Farbe nicht wichtig, sondern eher, dass ein leuchtendes Gelb auch auf dem Druck leuchtend ist (es darf dabei ruhig ein bisschen orange werden).

Dieser Ansatz wird in unterschiedlicher Weise auf den ersten Teil dieser Reproduktionskette angewendet.

Im ersten Ansatz wird der Filmabtaster im Zusammenspiel mit einem Sony HDTV Monitor mit ein im Kino projiziertem Positiv profiliert. Die Transformationseinheit läuft auf einem Macintosh und hat einen Datendurchsatz von ca. 1Mio Pixel/s. Damit ist natürlich bisher nur ein Offlinebetrieb möglich. Ausgewertet werden die Farbvalenzen im Kino parallel zu denen am HDTV Monitor.

Der zweite Ansatz charakterisiert den Filmabtaster erneut in Kombination mit dem Monitor. Doch diesmal wird ein Kameranegativ als Testvorlage verwendet. Dieses wurde in einer extra für diesen Zweck entwickelten Farbabmusterkabine⁸ mit einer Filmkamera aufgenommen. Die Auswertung erfolgt hier zwischen dem HDTV Monitor und der Farbprobe in der Kabine.

6. Zusammenfassung

Das Colormanagement in der digitalen Filmproduktion ist ein komplexes Zusammenspiel aus vielen unterschiedlichen Komponenten. Die Beschränkung auf den kleinsten gemeinsamen Farbraum des gesamten Systems führt nicht zu befriedigenden Resultaten. Vielmehr muss jedes am Gesamtprozess beteiligte System individuell farbmetrisch untersucht werden. Letztendlich ist jedoch die individuelle Empfindung des Betrachters ausschlaggebend für den Erfolg des Color Managements.

In weiteren Untersuchungen werden Parameter analysiert, die mit in die Transformation zu integrieren sind. Hierzu zählen der Adaptationszustand des Benutzers, sein Vorwissen, der Einfluss individueller Betrachtungsbedingungen u.v.a. mehr.

Literatur:

Lang, Heinwig: Farbwiedergabe in den Medien
Giorgianni, E.J.; Madden, T.E.: Digital Color Management

⁸Diplomarbeit Andreas Kraushaar "Farbmanagement in der digitalen Filmproduktion", 2001

Die Untersuchung der Eigenschaften der Entladungslichtquellen bei nichtnominalen Parameter in Zusammenhang mit der Dimmung der Strassenbeleuchtung

D.Gasparovsky, F.Krasnan, P.Polak, D.Siskova, S. Tabisova
FEI-STU, Ilkovicova 3, 812 19 Bratislava, Slowakische Republik, 00421260291774

Einleitung

In der heutigen Zeit kommt immer mehr in Vordergrund die Frage der Strassenbeleuchtung. Die Strassenbeleuchtung ist fuer viele draussen ausuebten Tätigkeiten notwendig und deswegen ist das Streben um die optimalste und oekonomisch angenehmste loesung zu finden, und das so, dass die Beleuchtung den Bedingungen des Sehens bei kuenstlicher Beleuchtung entspricht.

Das Streben ist immer in groesseren Mass um die Regulation der Strassenbeleuchtung, hauptsächlich in späteren Nachtstunden, wo niedrigere Bewegung der Menschen an den Strassen und auch nicht mehr so viele Autos an den Strassen erwartet werden. Solche Regulation koennte die Betriebskosten bei relativ niedrigen Investitionskosten helfen zu senken. Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss der langfristigen Regulation auf die lichttechnische Parameter und auf die Länge des Lebens der Lichtquellen, die fuer die Strassenbeleuchtung benutzt werden in Form von gesenkter Spannung.

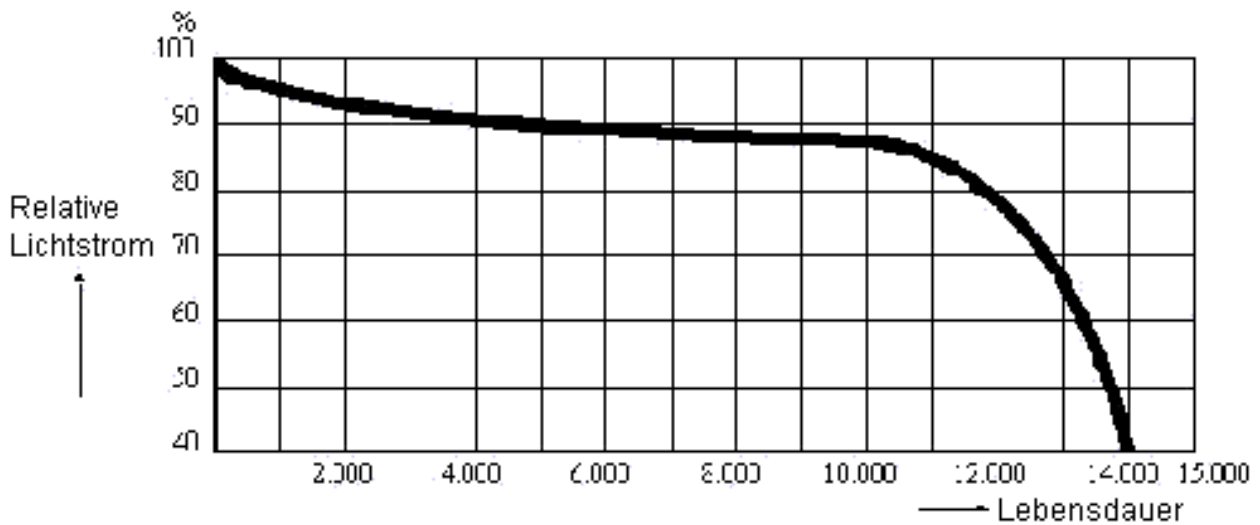
1. Die Methodik der Bewertung der Lichtquellen

Bei der Beurteilung der Eigenschaften der Lichtquellen orientieren wir uns an diese Parameter:

- Lichtstrom
- Nennleistung
- Bogenspannung
- Loeschspannung

Der Lichtstrom der Lichtquellen ändert sich mit der Lebensdauer der Lichtquellen. Diese Abhängigkeit koennen wir auf dem folgendem Diagramm

sehen.



Lichtstrom zu Wenn der wert des Lichtsromes auf 80% des Ausgangswertes sinkt wird das Leben der Lichtquelle als beendet betrachtet.

Nennleistung ist ein wichtiger Parameter bei der Bestimmung der Sparsamkeit der Lichtquelle. Die Groesse der Nennleistung von Lichtquellen wird auch durch die Aenderung des Lichtstromes beeinflusst. Die zugehoerige Leistung ändert sich mit der Lebenszeit der Lichtquellen nicht, oder nur sehr wenig. Die Aenderung der Nennleistung ist proportional der Aenderung des Lichtstromes.

Bogenleistung bestimmt den Zustand der Lichtquelle. Die Beendung der Lebensdauer von Entladungslampen wird durch die Anwachsung der Bogenleistung charakterisiert.

Loeschspannung ist durch den Wert der minimalen Spannung, bei dem die Entladung noch verläuft gegeben.

2. Benutzte Lichtquellen

Bei unseren Messungen haben wir Metalldampfentladungslampen der Firma Phillips benoetigt und auch den Lampen zugehoerige Vorschaltgeräte. Die Lichtquellen haben wir gleichmässig in 2 Gruppen geteilt. Jede Gruppe enthält:

3 Stueck SON-E70W

3 Stueck SON-I 70W

1 Stueck HPL-N 125W

In dieser Zeit haben wir Natriumdampf-Hochdrucklampen der Firma General Electric zur Disposition. Diese Entladungslampen haben wir gerade gebrennt und in das Zyklusverfahren eingeleitet.

3.Messung der Parameter der Lichtquellen

Für die Feststellung des Einflusses des Betriebes bei gesenkter Speisespannung müssen wir die Eigenschaften in Betrieb gesetzter gleichen Lichtquellen bei Nennspannung während der gleichen Zeit des Leuchtens kennen. Deswegen haben wir die Lichtquellen in 2 gleiche Gruppen mit gleicher Zahl von jedem Typ geteilt.

Die Gruppen werden an die Spannung gleichzeitig beigefügt, wobei die erste Gruppe bei Nennspannung in Betrieb sein wird, was dem klassischen Betrieb der Strassenbeleuchtung entspricht. Die zweite Gruppe repräsentiert die Möglichkeit der Rationalisation der Strassenbeleuchtung mit Gebrauch von den Regulatoren und diese Gruppe ist im Betrieb bei gesenkter Spannung und Nennspannung.

Nach vorwärts festgesetzter Zeit, messen wir lichttechnische Parameter der beiden Gruppen, auf Grund dessen werten wir den Einfluss der gesenkten Spannung auf die Entladungslampen aus.

Lichtquellen werden vor den Einleitungsmessungen erst gebrennt, um sie zu stabilisieren. Nach den Messungen der Einleitungsparameter der Entladungslampen werden sie an die Zyklus-Anlage beigefügt. Mit dieser Anlage werden wir das Leben der Entladungslampen künstlich erschöpfen. Ihre Parameter werden in regelmäßigen Intervallen nach dem Messen festgestellt. Jede Entladungslampe hat ihre Reihenfolgenummer, durch diese Nummer wollen wir der Verwechslung von Daten vorzuegehen. Durch die Befügung an Nennspannung werden die Entladungslampen für eine Zeit gebrennt, wie es die Norm vorschreibt. In der Norm steht, dass die Zeit für die Brennung von Entladungslampen 100 Stunden sein soll. Es wird empfohlen, sie in horizontaler Lage in Betrieb zu halten. Auf Grund dieser Vorschriften haben wir alle Entladungslampen gebrennt und haben die Einleitungsmessungen aller lichttechnischen Parameter jeder Lampe durchgeführt.

Die Messungen der lichttechnischen Parameter wurden in Kugelintegratorrealisiert. Vor den Messungen müsste aber zuerst eine Konstante des Integrators festgestellt werden. Wir haben dies durch einen Normal des Lichtstromes verwirklicht. Wir haben die Speisespannung schrittweise erhöht, bis zum Zeitpunkt, wo der Lichtbogen entstanden ist. Wir haben die Größe der Zündspannung abgelesen und dann haben wir sie auf

230V erhöht. Vor jeder Messung ist notwendig, die Parameter der Lichtquelle für 15 Minuten stabilisieren lassen. Nach dieser Zeit haben wir einzelne Parameter abgelesen. Die Spannung haben wir schrittweise auf 210, 190 und 180V gesenkt und bei jedem Wert haben wir die Parameter des Lichtbogens stabilisieren lassen. Diese Zeit war wichtig, weil nach der Senkung von Speisespannung, die Spannung auf dem Bogen weiter gesenkt ist und hat sich erst nach 2 Minuten stabilisiert. Für einzelne Werte der Speisespannung haben wir die Parameter der Lichtquelle abgelesen. Nach der letzten Ablesung haben wir die Spannung gesenkt bis der Bogen ausgelöscht ist. Den Wert der Löschspannung haben wir notiert. Die Ergebnisse der Messung sind in Kapitel: Tabellen angeführt.

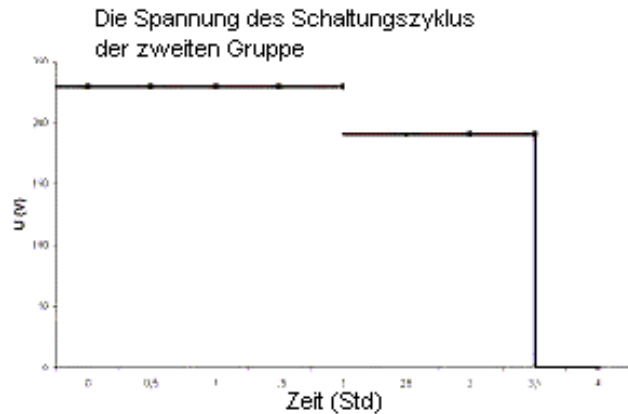
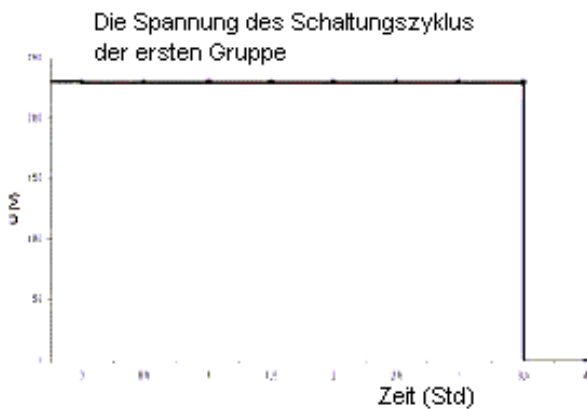
4. Der Betrieb von Lichtquellen

Für die Feststellung der realen Eigenschaften der Entladungs-Lichtquellen bei Verwendung in der Straßenbeleuchtung ist wichtig, gleiche Bedingungen wie im Betrieb, auch bei Messungen zu sichern.

Bei der Einhaltung von wirklicher Zeit des Zyklus, wurden die Ergebnisse bei der Praxis übereinstimmen, aber die Zeit der Messung wäre zeitlich nicht überwindbar. Deswegen ist die Zeit für die künstliche Erschöpfung der Entladungslampen eines Zyklus zu verkürzen. Die Schalteruhr in dem Regulator, den wir benutzt haben, ermöglicht uns maximal sechs Zyklen täglich zu realisieren.

Angesichts dieser Tatsache haben wir die Zeit von Einschalten und Ausschalten folgend angepasst:

Ein Zyklus dauert 4 Stunden. Entladungslampen werden für 3,5 Stunden an die Speisespannung angeschlossen und für 0,5 Stunde sind sie von der Speisespannung abgeschaltet. Die erste Gruppe der Lampen ist durch die ganze Zeit an die Nennspannung 230V angeschlossen. Die zweite Gruppe ist für 2 Stunden an die Nennspannung angeschlossen, dann wird sie mit Hilfe von Regulatoren an 190V für 1,5 Stunde angeschlossen. Die zweite Gruppe leuchtet auch wie die erste 0,5 Stunde nicht. Die Zeit 30 Minuten, in der die Entladungslampen nicht leuchten, genügt um die völlige Auskühlung der Brenner zu erreichen. Durch diese Auskühlung versichern wir die gleichen Bedingungen für ihren nachfolgenden Start.



Fuer die Senkung der Spannung haben wir den Regulator fuer die Spannung EKO watt120 von der Firma HIS SENZOR Presov verwendet. Dieser Regulator bestimmt fuer die Regulation der Spannung in Strassenbeleuchtung. Er umgibt in sich auch Sicherungselemente, Schalteruhr, diese Uhr wird durch die Automatik und eigenen Regulator gesichert. Die Regulation der Spannung wird durch die Umschaltung von Abzweigungen der Wicklung des Transformator mit Hilfe von Leistungsrelais realisiert.

5. Tabellen

Alle Werte, die in diesem Kapitel eingefuehrt werden , sind Durschnittswerte der Parameter von gegebenen Typ der Entladungslampen und Art ihres Betriebes. In den Tabellen „Mittelwerte“ befinden sich percentuelle Abweichungen einzelnen Parameter der Entladungslampen.

SON E:betrieben bei Nominalspannung-Einleitungsmessungen

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	Uvyb (V)
230	0,966667	86,5	4293,333	6982,2	80,64333	93,96667
210	0,853333	70	3130	5090,283	72,60333	87,4
190	0,756667	55,33333	2130	3463,997	62,45	79,03333
180	0,716667	49	1680	2732,163	55,64667	74,26667

SON E:betrieben bei Nominalspannung-Messung nach 365 Zyklen

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	Uvyb (V)
230	1	83,33333	4016,667	6532,259	78,31217	88,23333
210	0,89	63,83333	2606,667	4239,192	66,32573	77,06667
190	0,786667	51	1680	2732,165	53,53865	69,23333
180	0,736667	45,66667	1400	2276,804	49,79003	66,46667

SON E betrieben bei gesenkter Spannung– Einleitungsmessung

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	0,95	84,33333	4150	6749,1	80,00667	93,13333
210	0,843333	68,33333	3020	4911,39	71,84667	86,7
190	0,756667	52,66667	1906,667	3100,793	58,81333	74,93333
180	0,71	46,66667	1510	2455,697	52,56667	71,2

SON E betrieben bei gesenkter Spannung – Messung nach 365 Zyklen

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	0,983333	81,66667	3923,333	6380,473	78,10881	88,33333
210	0,876667	62,16667	2496,667	4060,301	65,321	76,1
190	0,773333	49,66667	1653,333	2688,797	54,15652	68,63333
180	0,726667	44,33333	1320	2146,701	48,42452	65,76667

Abweichungen in %

SON E gesenkte Spannung

P (%)	Φ (%)	η (%)	U _{vyb} (%)
-5,72066	-12,1651	-6,81316	-8,35463

SON E Nominalspannung

P (%)	Φ (%)	η (%)	U _{vyb} (%)
-6,77611	-15,2394	-9,08285	-10,2068

SON I betrieben bei Nominalspannung-Einleitungsmessung

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	0,92	79,33333	3690	6001,005	75,63459	94,03333
210	0,838333	61,33333	2406,667	3913,935	63,75277	80,3
190	0,746667	48,66667	1576,667	2564,115	52,66013	71,73333
180	0,7	44	1286,667	2092,491	47,55376	68

SON I betrieben bei Nominalspannung- Messung nach 365 Zyklen

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	0,95	84,33333	4150	6749,1	80,00667	93,13333
210	0,843333	68,33333	3020	4911,39	71,84667	86,7
190	0,756667	52,66667	1906,667	3100,793	58,81333	74,93333
180	0,71	46,66667	1510	2455,697	52,56667	71,2

SON I betrieben bei gesenkter Spannung– Einleitungsmessung

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	0,926667	79,33333	3733,333	6071,478	76,53808	93,43333
210	0,838333	61,66667	2443,333	3973,565	64,38226	82,8
190	0,746667	48,66667	1593,333	2591,22	53,22481	73,3
180	0,696667	44	1296,667	2108,754	47,92337	68,33333

SON I betrieben bei gesenkter Spannung – Messung nach 365 Zyklen

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	0,99	77	3516,667	5719,115	74,2168	84,1
210	0,876667	59,33333	2276,667	3702,517	62,23856	73,16667
190	0,77	47,33333	1490	2423,17	51,1019	66,9
180	0,72	43	1163,333	1891,916	43,96393	64,1

Abweichungen in %

SON I Nominalspannung

P (%)	Φ (%)	η (%)	U _{vyb} (%)
-3,04454	-5,85922	-2,992	-7,37344

SON I gesenkte Spannung

P (%)	Φ (%)	η (%)	U _{vyb} (%)
-2,93435	-7,34825	-4,65327	-9,13753

HPL – N betrieben bei Nominalspannung-Einleitungsmessung

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	1,26	160	4440	7220,72	45,13	128,5
210	1,05	130	3520	5724,54	44,03	127,1
190	0,805	98	2500	4065,72	41,49	128
180	0,73	83	2070	3366,42	40,56	123,5

HPL – N betrieben bei Nominalspannung-Messung nach 365 Zyklen

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	1,3	162	3800	6179,89	38,15	125
210	1,04	134	3000	4878,86	36,40	127
190	0,91	104	2350	3821,78	36,75	120
180	0,87	90	1980	3220,05	35,78	121

HPL - N betrieben bei gesenkter spannung– Einleitungsmessung

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	1,12	142	3880	6310,00	44,44	128,6
210	0,91	112	2990	4862,60	43,42	127,5
190	0,69	84	2100	3415,21	40,66	129,8

HPL – N betrieben bei gesenkter - Messung nach 365 Zyklen

U (V)	I (A)	P (W)	E (lx)	Φ (lm)	η (lm/W)	U _{vyb} (V)
230	1,15	142	3280	5334,23	37,56	125,3
210	0,92	114	2500	4065,72	35,66	128
190	0,66	82	1650	2683,37	32,72	132

Abweichungen in %

HPL - N nominal Spannung

P (%)	Φ (%)	η (%)	U _{vyb} (%)
-0,19841	-17,7602	-17,6207	-0,15967

HPL - N gesenkte Spannung

P (%)	Φ (%)	η (%)	U _{vyb} (%)
4,720777	-9,88379	-14,4695	-2,10791

6. Diskussion

In diesem Teil werden die Ergebnisse der Einleitungsmessungen eingefuehrt und die Ergebnisse, die wir durch das Messen der elektrischen und lichttechnischen Parameter getesteter Lichtquellen nach 365 Messungszyklen verschafft haben.

Einleitungsmessung

Schon bei Messen der gebrennter Entladungslampen haben wir uns mit bedeutenden Abweichungen in den Parametern der einzelnen Stuecke des gegebenen Typ getroffen, diese Abweichungen koennen durch diese Faktoren verursacht werden:

-durch Produktionsabweichungen die durch die Technologie der Produktion gegeben sind, der Hersteller lasst 10%-tige toleranz zu

-verschiedene Fehler bei Messungen und unpassend ausgewaehlter Methode der Messung

Die Fehler bei Messungen konnten durch Vorwiderstände oder durch nicht genaue Ablesung von Messungsapparaten verursacht werden. Die Ergebnisse der Messung

umgeben die Korrektion fuer eigenen Verbrauch der benutzten Messungsapparate. Bei

Messung von jeder Quelle haben wir die zu ihr gehoerende Vorschaltgeraet und Zuendgeraet (Zubehoer mit dem die Quelle gebrennt wurde) benutzt. Die Unterschiede in gemessenen

Werten koennten durch moegliche Streungen der Parameter der Vorschaltgeraete

verursacht worden. wenn wir fuer die Messung des gleichen Typs der Entladungslampem

das selbe Vorschaltgerät benutzt wurden, koennten Abweichungen in Folge ungleicher Temperatursverhältnissen des Vorschaltgeräts und Zuendgerät entstehen.

Messung nach 365 Zyklen

Nach dem Vergehen der vorgeschriebener Zeit der Messungszyklen haben wir die Blocks der Lichtquellen von Nennleistung abgeschaltet und haben jede Entladungslampe der Messung unterworfen. Bei der Messung haben wir die gleiche Bedingungen wie bei der Einleitungsmessung eingehalten.

Hochdruckentladungslampen, die das schwerpunkt unserer Messung sind, weisen eine lange Lebensdauer , bis zum 28 000 Stunden vor. Entladungslampen haben bis heute 1278 Stunden geleuchtet, was ungefähr 5% ihrer Lebensdauer vorstellt. Diese Periode ist zu kurz um verbindliche Ergebnisse dazustellen. Wenn wir aber in Ueberlegung nehmen, dass diese Lichtquellen 365 Schalterprozessen absolviert haben, und die Wirklichkeit, dass die Entladungslampen schneller altern. Auf Grund der häufigen Schaltung ist diese Periode von Standpunkt der Erschoepfung ihrer Lebensdauer vernachlässigbar.

Aus der graphischen Darstellung der Ergebnissen der Messungen sind wir zu folgenden Schluessen gekommen:

-bei allen Typen der Lichtquellen haben wir groessere Senkung der Werten der beobachteten Parameter, in den Gruppen von Lichtquellen die durch die gesenkte Nennleistung gespeist wurden vermerkt

-die Unterschiede in den Werten von zugefuehrter aktiver Leistung sind wesenthlich geringer, alsdie Unterschiede der Werten des Lichtstromes und darausfolgende Unterschiede von Nennleistung.

Sehr wichtig ist auch zu bemerken, dass die Ergebnisse der Messung nicht sehr representativ sind, insofern die Stueckzahl der Muster der Entladungslampen niedrig ist. Das hat sich bei Quecksilberdampflampen gezeigt, wo wir ziemlich unterschiedliche Ergebnisse gemessen haben.

Von bisherigem Betrieb ergibt sich aber, dass Quecksilberdampflampen ist nicht gut zu dämmern bis auf 190V, weil sie hoehe Loeschspannung haben. Quecksilberdampflampen sind durch veränderliche Spannung gespeist, bei gesenkter Spannung flimmern sie. Bei der Messung hat sich diese Eigenschaft nicht direkt an verschiedenen gemessenen Werten bei diesem Typ von Entladungslampen gezeigt. Die Bewertung der Dimmerung und seine Folgen auf die Eigenschaften der Q erwirbt deswegen ausschliesslich informativen Charakter. Von angefuehrten urteilen wir, dass so im Betrieb gehaltene

Quecksilberdampflampen werden sehr kurze Lebensdauer haben und es ist also nicht passend sie zu dimmern.

7. Der Schluss

Fuer die Verschaffung der Ergebnisen, bei der Speisung durch gesenkte Spannung, die zusätzlich die Eigenschaften der Entladungslichtquellen charakterisieren wurden, muessen wir mehrere Schalterzyklen verwirklichen, um nicht nur den definitiven Zustand zu beurteilen, sondern auch den Trend der Entwicklung dieser Eigenschaften. Das Zyklen werden wir weiter vortsetzen, bis zur vollständiger Erschoepfung der Lebensdauer der Lichtquellen. Auf grund dass wir dem Messen die Produkte von verschiedenen Herstellern uterworfen haben,haben wir die Moeglichkeit die Kvalität der Produkte dereinzeln Hersteller vergleichen.

8.Literatur

1. Katalog der Firmen PHILIPS, OSRAM, TUNGSRAM
2. Multimediales CD – Svetelné zdroje a prehradné prístroje
3. HABEL J. : Světelná technika a osvětlení,Praha, FCC Public, 1995
4. SMOLA, A.: Technické prostriedky racionalizačných opatrení vo verejnom osvetlení. In: Elektroenergetika '98. Košice: Academic Press Elfa, 1998. s. 347-350.
5. SMOLA, A.: Rationalisierung des Verbrauches der elektrischen Energie in der öffentlichen Beleuchtung. In: 3. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs. Ilmenau: TU, 1997. - s. 68-73.
6. GAŠPAROVSKÝ, D. - SMOLA, A. - KUMA, J.: Zásady návrhu verejného osvetlenia. In: EE - odborný časopis pre elektrotechniku a energetiku. - Roč. 3, č.5 (1997), s. 15-19.

Der Ausbilder: Doc. Ing. Alfonz SMOLA, CSc.

Warsaw Opera House Floodlighting

Górczewska Małgorzata, Dr. Ing.

Marcin Łagiewka M.Sc.

Poznań University of Technology
Institute of Industrial Electric Engineering
Lighting Division
ul. Piotrowo 3A
60-965 Poznań, Poland

Introduction

The night panorama of contemporary cities is dominated by bright street lighting, lights of shop windows, and advertisements. The light of street lamps is directed downwards and partially sideways. In such a situation, unilluminated object, especially higher object, are less visible and no more act by their symbolics. The aim of night illumination is to recall the whole object image, as it is in the daylight city panorama.

The Opera House - Great Theatre in the Warsaw centre is a very beautiful building of historic importance and a monument of national culture. This building is illuminated since 2000 year.

In recent years there has been a considerable interest in the illumination of the historic buildings in Poland. The illuminated structures may be found in many cities and towns. These structures include historic churches, town halls, castles, palaces, etc. The illumination of such structures becomes an attraction for tourists visiting Poland.

The illumination is also a method to single out the structure and to emphasise its significance. Here, the illumination of the theatre buildings, the national theatres in particular, means the importance of such theatres for the national culture.

Great opera and theatre stages constitute significant cultural symbols of the nations in the whole world. The stages are set in outstanding structures of an architectural distinguishable form and beauty, and first of all of a grandeur expressed by the magnitude and scale of such buildings.

Opera House in Warsaw has been one of the most monumental classicistic structures of architecture in Warsaw. It epitomises the most developed artistic composition of the theatre edifices of the first half of the 18th century in Europe.

Opera House in Warsaw was established on Wojciech Bogusławski's own initiative. The building of Opera House was designed by an Italian architect Antonio Corazzi and constructed in the years 1825-1833. Since that time, the history of Opera House has inseparably intertwined with the history of Warsaw and Poland as well as with the history of the Polish national culture. Thus, the tasks of the illumination of Opera House touch

upon the issues being of great importance to the Polish national culture. The actions aim at creating a rich illuminating vision of Opera House lighting which would be appropriate for the image of this building.

The structure of Opera House designed by Corazzi consists of three parts: the trunk – (the proper theatre) and two wings – the building with columns and the analogical building opposite the trunk. The solid of the edifices of Opera House can be characterised by the consistent emphasis of vertical elements of the architecture, gradually growing towards the centre of the complex. The highest building containing the opera stage crowns the whole silhouette of the edifices set towering over the other Belvedere parts. Therefore, the illumination of such a large structure resulted in an adequately great design and execution problems.

The edifice of Opera House is perfectly located within the area of a more intimate Theatre Square (developed also according to the design of Corazzi) – Fig.1 and within the broad perspective of Piłsudski Square – Fig.2.

Due to the rich architecture of the building of Opera House presented in the pictures, the illumination designer faces dilemmas as to the selection of illumination means and methods.

Presently, both Opera House and its surroundings – the Theatre Square and Piłsudski Square, are located in the centre of Warsaw and are often visited by tourists. They are also a place of ceremonies and artistic events. The ceremonies performed in the Theatre Square always made it necessary to highlight certain parts of the Opera House façade with light or to light up occasional artistic installations (posters, charts, etc.). However, these illuminations were limited only to the events and were changed. Undoubtedly, the considerable power of glowing sources of light usually applied so far increased the costs of such occasional illumination.

In the year 2000, the permanent illumination of Opera House in Warsaw was brought into operation. This illumination includes the lighting of the external elevations of the whole set of Opera House buildings, i.e., the façade from the Theatre Square as well as other elevations.

The illumination effects durably changed the night picture of the building Opera House. As a result of the illumination, the impressive frontage of Opera House presents the majesty of its monumental architectonic forms against the night sky – Fig.1a. The illumination of the back elevation of Opera House from Piłsudski Square – Fig.2a, constitutes a new artistic image of this part of Opera House, dominating in the North end

of Piłsudski Square. This structure is well seen against the broad space of the square by the Cenotaph.

Bearing in mind the historic meaning of Opera House as the architectonic structure and the magnitude of particular facades, the design undertaking in the field of the lighting technology and the performance project in the field of the lighting installation were a difficult task requiring not only experience in the selection of the concept of lighting but also difficult decisions in the selection of the lighting methods of such wide elevation surfaces and the details of architecture at the same time.

The concept assumed that the illumination lighting of Opera House was to be permanent lighting with the possibility to use full or economical lighting depending on the functional needs (premieres, ceremonies in Opera House) or on the operational needs (switching off some lights after midnight), etc.

The illumination lighting must function independently from the existing lighting of Opera House, used occasionally, which performs the role of the lighting adding splendour to special artistic events and ceremonies.

This made it necessary to apply economical and efficient sources of light in the designed illumination lighting, as well as modern lighting fittings, guaranteeing operation without the necessity to frequently carry out maintenance works.

The fundamental concept connected with the artistic meaning of Opera House illumination assumed the avoidance of the application of the pouring lighting and replacing it with the architectonic lighting locally emphasising more clearly the details of the architecture. The colour of the light is also used to differentiate or distinguish the elements of the building architecture or its parts.

These conceptual assumptions resulted in the execution of the illumination lighting by the appropriate selection of fittings and light sources, as well as their placement and direction.

The technical aspects of the illumination of Opera House were also included in the concept recommended in references as the illumination lighting parameters.

As an example, the garish street lighting in the cities imposes the necessity to adopt higher levels of lighting intensity on the elevations of the illuminated structures. Thus, the parameters of the illumination lighting adjusted to the surrounding lighting were adopted adequately to particular elevations of Opera House.

Due to the fact that the Theatre Square has a more intimate character than Piłsudski Square and to emphasise the authenticity of the front elevation of the building preserved

from the war period, the application of the “white sodium” source was assumed for this elevation as well as the warm white fluorescent and metal halide light sources.

The fittings of different power and light stream distribution were applied to achieve the effect of the carved front elevation. The light tangent to the columns and bas-reliefs of the elevation brought out and stressed the traces of the close and distant past, often tragic and destroying preserving, at the same time, the authenticity of the lighted structure. The higher parts of the building façade of Opera House – walls and roofs over the main stage and over the chamber stage are lighted up by the cool “moonlike” light stressing the three-dimensional structure of solids creating the edifice of Opera House.

The side elevation illumination of Opera House constitutes the main light creating a monotonous rhythm of lighted window spaces among the column pilasters.

To emphasise the historic separation of Opera House elevation from Piłsudski Square and due to the considerable open space against which the building is exhibited from that side, the white and cool white lighting is applied – stressing the vertical systems of colonnades and the composition of the structure solids.

As far as the technical aspect is concerned, about 230 projectors ranging from 18W to 400W have been used in the designed illumination of Opera House. Their total power amounts to about 28kW (front elevation – 18kW, back elevation – about 7.5kW, side elevations – about 2.5kW).

These data constitutes the best indicator of progress in the field of generating economical power sources and lighting fittings applied for illumination at the moment.

The illumination effects are in harmony with the architecture placing Opera House forever in the night panorama of Warsaw lights.

References

Lighting Manual Fifth Edition Philips Lighting B.V., Eindhoven 1993

Fig.1. Opera House - view from the Theatre Square
Fig.1a. Opera House floodlighted - view from the Theatre Square

Fig.2. Opera House - view from the Piłsudski Square
Fig.2a. Opera House floodlighted - view from the Piłsudski Square

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes

Eine Untersuchung im DIAL
im Auftrag der Industrie [Trägersgesellschaft DIAL e.V.]

DIAL
light. building. software.

Dipl.-Ing. Dieter Polle
Dipl.-Ing. Andreas Picklein

1. Warum diese Untersuchung?

Qualität der heutigen Bürobeleuchtung / Mindestbeleuchtungsstärke

Jeder Fachmann der Lichtplanung weiß, wie schlecht es um Lichtlösungen bestellt ist. Insbesondere im Massenbereich wie zum Beispiel Büroetagen oder Verwaltungsbauten, ist es weit verbreitet, nichts weiter als die preiswerteste Lösung zu verwenden, mit der günstigstenfalls die geforderte Mindestbeleuchtungsstärke der Norm auf der Nutzebene erfüllt werden kann. Jeder qualifizierte Lichtplaner weiß auch, dass Licht viel mehr leisten müsste, als eine Standardlösung leisten kann:

Anforderungen aus den Normen?

Es gilt Anforderungen zu berücksichtigen, die sich aus der ganz unterschiedlichen und nicht einmal während der gesamten Tageszeit und Tätigkeit gleichbleibenden Nutzung ergeben. Eine Besprechung erfordert beispielsweise ganz anderes Licht als eine Buchhaltungstätigkeit oder das Programmieren einer Web-page. Architektonische Strukturen müssen beachtet werden, Bereiche wollen erkannt werden und Materialien müssen als solche Materialgerecht wahrnehmbar sein.

Wohlbefinden der Nutzer?

Der Mensch, der sich an seinem Arbeitsplatz befindet will Orientierung erhalten, möchte sich sicher fühlen, Funktionsbereiche erkennen und mit Freude und ohne vorzeitige Ermüdungserscheinungen seiner Tätigkeit nachgehen.

Was bedeutet das eigentlich?

Es wird auf der Welt ganz viel unternehmerisches Kapital, nämlich die Mitarbeiter eines Unternehmens, damit verschwendet, dass nicht auf die bestehenden Bedürfnisse eingegangen wird. Grund dafür sind Fachleute, die nicht ausreichend in der Lage sind, diese Vorteile einer sicherlich erheblich aufwändigeren Beleuchtungsanlage den Investoren deutlich zu machen.

Steigerung der Qualifikation der Planenden durch Argumente, Belege für besseres Licht!

Um einen konstruktiven Beitrag zur Verbesserung dieser Situation zu leisten, führt DIAL seit 1999 eine kleine Untersuchung im Auftrag unseres Gesellschafters (Trägersgesellschaft DIAL e.V.) durch. Ziel ist es, Erkenntnisse und Regeln für Planer darüber zu liefern, welche Beleuchtungsstrategie zu welchen Wirkungen führt und für Bauherren belegbare Aussagen zur Verfügung zu stellen, die dem Planer eine Argumentation beim Kunden erleichtern.

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Es soll untersucht werden:

Welche Beleuchtungsstrategien und damit verbundene Lichtverteilungen in einem Büroraum zu einer Steigerung des Wohlbefindens führen können. Welchen Einfluss haben diese auf die Sehaufgabe? Natürlich völlig losgelöst von Produkten, mit denen das Licht geeignet geführt wird. Alle eingehaltenen Parameter von den neutralen Beleuchtungskörpern bis hin zur Raumausstattung sollen allgemeine produkt-unabhängige Ergebnisse liefern. Befragt werden 50 Testpersonen.

2. Versuchsbeschreibung

Bestimmte Anforderungen gaben den Aufbau des Versuchsraumes vor, damit für die Untersuchungen reproduzierbare Rahmenbedingungen eingehalten werden konnten:

- Arbeitsstättenverordnung § 23 „Raumabmessungen und Luftraum für Arbeitsräume“
- Arbeitsstättenverordnung § 24 „Bewegungsfläche am Arbeitsplatz“
- DIN 4543 Teil 1 „Büroarbeitsplätze“
- ZH 1/535 „Sicherheitsregeln für Büro-Arbeitsplätze“
- DIN 5034 Teil 1 Abschnitt 3 „Tageslicht in Innenräumen“

Aus diesen Forderungen resultiert die Raumabmessung. Abbildung Nr.1 im Anhang zeigt die Grundriss-Ansicht des Versuchsraumes

- Die gesamte Rummöblierung soll neutral gestaltet sein
- Helle Raumbegrenzungsflächen sind erforderlich
- Die Beleuchtungseinrichtung soll anregungsarm sein, d. h. unauffällige Leuchten
- Beleuchtungsstärke auf dem Arbeitsplatz von 500 lx
- Prägnante Sehinformationen auf einer Wand einsetzen (Bilder, Pflanze, Flippchart)
- Lichtfarbe „warmweiß“ für direkt-flächige Beleuchtung und „tageslichtweiß“ für indirekt-flächige Beleuchtung (Decke und Wand)

Beleuchtungsstrategien (Lichtqualitäten) der Grundbeleuchtungstypen

Direkt-flächig:

Die Arbeitszonenbeleuchtung besteht aus zwei dimmbaren Lichtbändern mit insgesamt vier Leuchten. Die Lichtaustrittsfläche liegt 2,40 m über dem Boden. Die Leuchtdichte ist auf 200 cd/m^2 oberhalb eines Grenzausstrahlungswinkels von 60° begrenzt. Jede Leuchte ist mit zwei Lampen vom Typ T16 54W/830 bestückt. Beide Lichtbänder sind so angeordnet, dass sich der Arbeitsplatz genau zwischen diesen Leuchten befindet. (Abbildung Nr.2)

Indirekt-flächig:

Die Indirektbeleuchtung besteht aus drei dimmbaren Lichtbändern mit insgesamt sechs Leuchten. Die Lichtaustrittsfläche liegt 2,50 m über dem Boden. Jede nach oben offene Leuchte ist mit zwei Lampen vom Typ T16 54W/860 bestückt und erzeugt so über eine gleichmäßige Beleuchtung der Decke, eine diffuse, schattenarme Allgemeinbeleuchtung des Raumes. (Abbildung Nr.3)

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Wand-flächig:

Die Wandbeleuchtung des Versuchsraumes besteht aus zwei Leuchtenreihen mit je vier dimmbaren Einbauwandflutern. Der Wandabstand beträgt 1,15 m zur Leuchte. Mit dieser Strategie wird an den Wänden eine gleichmäßige Vertikalbeleuchtung von der Decke bis zum Boden erzeugt. Jede Leuchte ist mit zwei Lampen vom Typ TC-L 55W/950 und einer asymmetrisch strahlenden Optik ausgerüstet. (Abbildung Nr.4)

Direkt/ Indirekt-flächig:

Kombination der beiden Beleuchtungsstrategien. Dabei erzeugt die Beleuchtung direkt-flächig 300 lx und die Strategie Indirekt-flächig 200 lx auf der Arbeitsfläche. Die unterschiedlichen Lichtfarben der beiden Beleuchtungsstrategien schaffen ein Spannungsfeld zwischen der horizontalen und vertikalen Blickrichtung. (Abbildung Nr.5)

Direkt/ Wand-flächig:

Kombination aus der Direkt-flächigen Beleuchtung und der flächigen Wandbeleuchtung. Bei der eingestellten Kombination erzeugt die flächige Direktbeleuchtung 300 lx und die Wandbeleuchtung 200 lx auf der Arbeitsfläche. Die unterschiedlichen Lichtfarben der beiden Beleuchtungsstrategien schaffen ein Spannungsfeld zwischen der horizontalen und vertikalen Blickrichtung. (Abbildung Nr.6)

Direkt akzentuiert:

Durch den Einsatz engstrahlender Einbaurichtstrahler mit Niedervolt-Halogenglühlampen wird die horizontale Ebene akzentuiert. Die Strahler beleuchten das direkte Arbeitsfeld vor der Testperson und setzen Akzente auf die Besprechungsecke.

Wand akzentuiert:

Weitere Strahler beleuchten verschiedene Objekte wie Bilder oder Pflanzen und unterstützen dadurch die Sehinformation im Gesichtsfeld der Probanden. In Kombination mit der flächigen Wandbeleuchtung entsteht ein ausgeprägtes Spannungsfeld zwischen den verwendeten Lichtfarben.

Fenster (Tageslichtsimulation):

Das Tageslicht wird mit Hilfe von zwei „künstlichen Fenstern“ mit einer Bestückung von jeweils 18 Lampen des Typs T26 58W/865 erzeugt. Beide „künstlichen Fenster“ sind ebenfalls dimmbar. Bei zugezogenen Vertikallamellen lassen sich Beleuchtungsstärken von bis zu 2000 lx auf der Arbeitsfläche einstellen. Für alle Versuchs-Beleuchtungssituationen werden die „künstlichen Fenster“ soweit heruntergedimmt, dass eine mittlere Beleuchtungsstärke von ca. 20 lx auf der Arbeitsfläche gemessen werden kann. Die Leuchtdichte entspricht damit dem Niveau eines nach Süden ausgerichteten Fensters bei bedecktem Himmel und 11:00 MEZ. Die Versuchspersonen beurteilten die Simulation als realistisch und ließen sich von der Simulation nicht negativ beeinflussen.

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Versuchsablauf als Interviewmethode:

Vor jeder Befragung erlebt die Testperson den Versuchsraum bei einer allgemeinen Beleuchtung und macht sich mit dem Raum vertraut. Dabei herrscht eine Tageslichtsituation, die einem trüben Herbsttag entspricht. Nach einer kurzen Einweisung in die Thematik und den Ablauf des Versuches werden einige Angaben der Person zum Alter, Beruf, Sehschwäche usw. aufgenommen. Vor der ersten Beleuchtungssituation und zwischen allen nachfolgenden Lichtszenen wird die künstliche Beleuchtung bis auf das Tageslicht reduziert. Für die Testperson wird so immer eine neutrale Situation zwischen den jeweiligen Beleuchtungsszenen geschaffen, sie kann sich dann wieder auf die nächste Lichtszene einstellen. Die Befragung erfolgt in Form eines Interviews zwischen Versuchsleiter und Testperson. Es wird nach bestimmten subjektiven Kriterien (Polaritätsprofile) zum Raumeindruck und Raumwirkung gefragt. Insgesamt gibt es sieben Polaritätspaare die nach dem rein subjektiven Urteil der Personen fragen. Hinsichtlich der Beleuchtungsqualität zum Lesen einer Vorlage und Arbeiten am PC geben die Testpersonen ebenso ein Urteil ab, wie zu der Frage nach ihrer Konzentration bei der Arbeit. Für die Beantwortung der Fragen geben die Testpersonen auf einer Bewertungsskala von 1 bis 5 ihr Urteil ab.

3. Ergebnisse

3.1 Hellempfindung

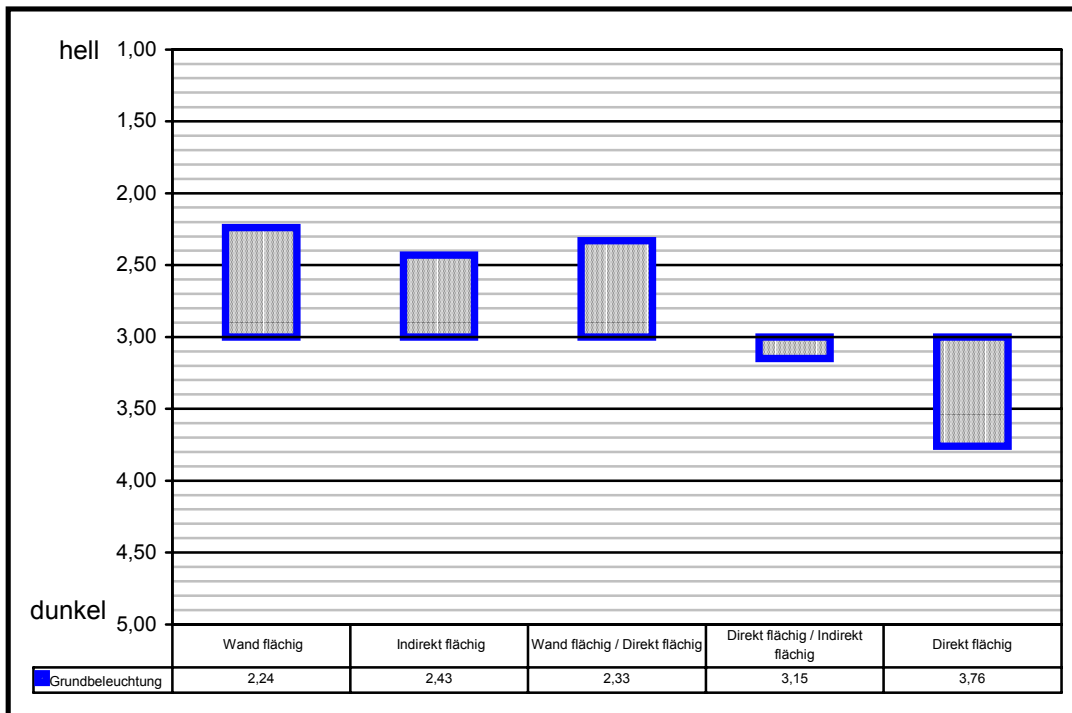


Abbildung Nr.13: Ergebnisse zur Frage wie hell empfinden Sie diesen Raum? Dargestellt sind die Urteile für die fünf Grundbeleuchtungen

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Der Helleindruck des Büroraums der bei allen Beleuchtungssituationen eine mittlere Beleuchtungsstärke von 500 Lux auf der Arbeitsfläche aufwies, wurde von den Versuchspersonen sehr unterschiedlich bewertet. Werden die 500 Lux von einer flächigen Wandbeleuchtung, von einer flächigen Indirektbeleuchtung oder von einer Kombination aus flächiger Wandbeleuchtung und flächiger Direktbeleuchtung erzeugt, so wird der Raum als recht hell empfunden. Hier liegen die Urteile zwischen den Noten 2,25 und 2,5. Die Beleuchtung über eine flächige Direktbeleuchtung führt zu einem relativ dunkel wirkenden Raum.

Den erfahrenen Planern werden diese Ergebnisse sicherlich nicht verwundern. Entscheidend für die Hellempfindung in einem Raum sind ja die Leuchtdichten (also die Helligkeit) die der Mensch in seinem Gesichtsfeld wahrnimmt. Bei dem untersuchten typischen Büroraum wird der entscheidende Raumwinkelbereich des Gesichtsfeldes durch die hinter dem Versuchsleiter befindliche Wand bestimmt. Die Beleuchtungsstrategien Wandbeleuchtung und indirekte Beleuchtung tragen zur Beleuchtung der Wand natürlich besonders bei und führen deshalb zu einem hell wirkenden Raum. Bei der reinen Direktbeleuchtung hingegen bleibt die Wand weitgehend im Dunkeln.

3.2 Wohlbefinden

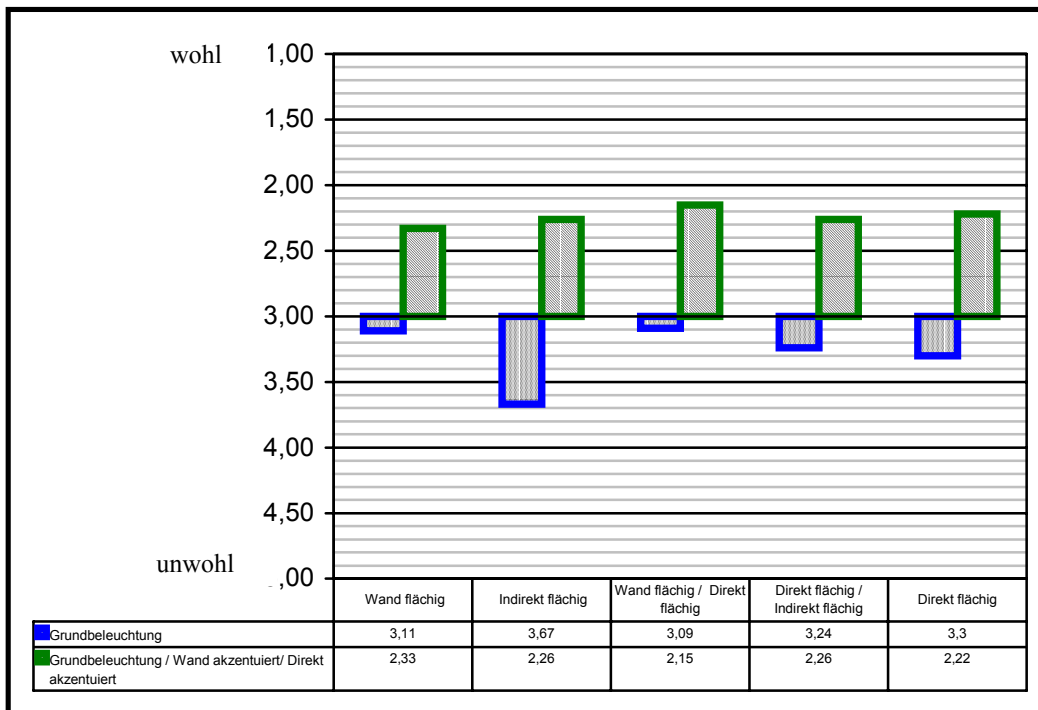


Abbildung Nr.14: Urteile zu der Frage, fühlen sie sich in diesem Raum eher wohl oder unwohl?

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Das Ergebnis zu der Befragung der Versuchspersonen danach, wie wohl sie sich in dem Büroraum fühlen, führte zu folgendem Ergebnis:
 Wurde der Raum nur durch die flächigen Grundbeleuchtungstypen beleuchtet, also flächige Wandbeleuchtung, flächige Wandbeleuchtung kombiniert mit flächiger Direktbeleuchtung, flächiger Direktbeleuchtung kombiniert mit flächiger Indirektbeleuchtung oder der flächigen Direktbeleuchtung, so fühlten sich die Versuchspersonen zufriedenstellend wohl. Die Urteile lagen zwischen 3,1 und 3,3. Lediglich die flächige Indirektbeleuchtung führe zu etwas schlechteren Ergebnissen. Betrachten wir nun was passiert, wenn das Gesichtsfeld durch eine Beleuchtung ergänzt wird, die akzentuiert. Das Wohlbefinden verbessert sich in allen Fällen um mehr als eine halbe Note. Hierbei haben Akzente an der Wand bei fast allen Grundbeleuchtungstypen den größeren Einfluss. Einzige Ausnahme stellt der Grundbeleuchtungstyp der flächigen Wandbeleuchtung dar. Optimal sind die Ergebnisse jedoch bei allen Arten der Beleuchtung bei einer Akzentuierung sowohl der Wand als auch der Direktbeleuchtung.

3.3 Arbeiten am PC

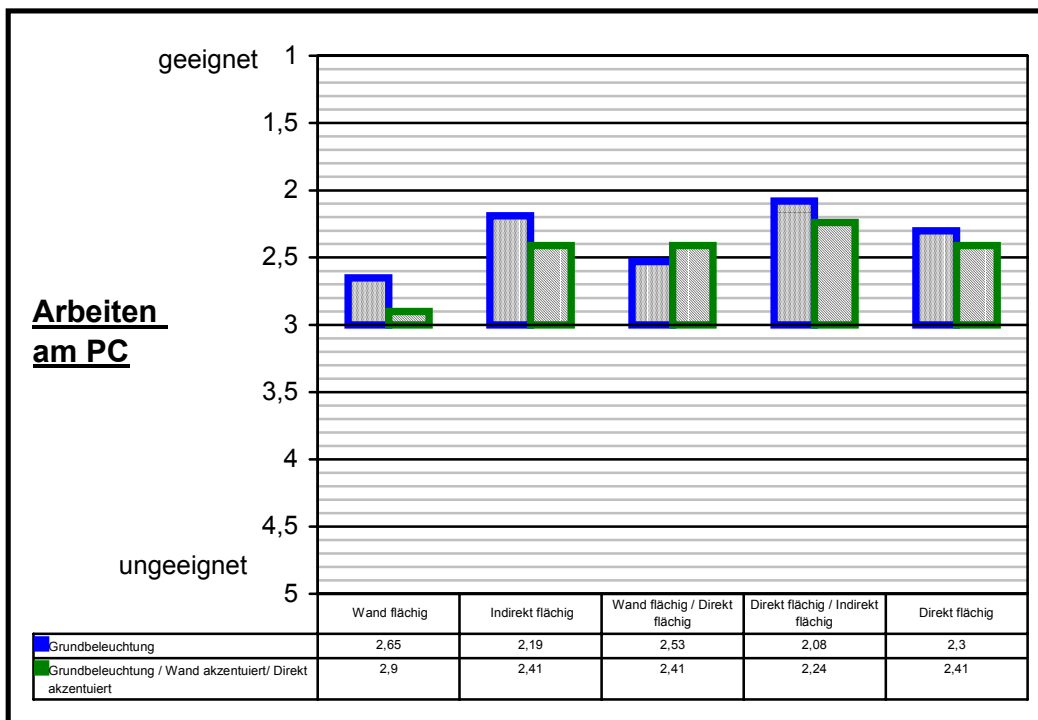


Abbildung Nr15: Urteile zu der Frage: „Ist diese Beleuchtung für die Arbeit am PC geeignet oder eher ungeeignet?“

Für das Arbeiten am PC stellte sich folgendes Bild dar: Grundsätzlich waren alle Beleuchtungssituationen geeignet für die Arbeit am PC. Die schlechteste Note war eine 2,9. Die Variationsbreite der Urteile fiel erheblich geringer aus. Auffällig ist, dass sich die flächige indirekte Beleuchtung, die bei der Frage nach dem Wohlfühlen relativ weit abgeschlagen lag, nun in der Spitzengruppe befindet.

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Sämtliche Urteile lassen sich über den Kontrast erklären, den die Versuchspersonen auf ihrem Bildschirm vorfanden. Kontrastmindernde Einflüsse, wie Reflexe von akzentuierender Wandbeleuchtung hinter der Versuchsperson oder eine besonders hohe Leuchtdichte der Wand hinter der Versuchsperson und somit im Spiegelungswinkel auf dem Bildschirm, führten zu einer Abwertung. Es ist wichtig festzustellen, dass hier nur Kurzzeiteinschätzungen subjektiver Art der Versuchspersonen abgegeben wurden. Eine Untersuchung über Eignung für die Arbeit am PC erfordert eine Langzeituntersuchung, wie sie von verschiedenen Institutionen an verschiedener Stelle häufig durchgeführt wurden. Entscheidend für die genannten Faktoren sind die Orientierung der Bildschirme zu Raumbegrenzungsflächen und der darauf befindlichen Leuchtdichten. Die vorliegende Untersuchung lässt keinen allgemeingültigen Schluss über die optimale Beleuchtung für die Arbeit am Bildschirm zu, sondern bezieht sich auf die speziellen geometrischen Anordnungen, die bei den Versuchen vorlagen.

3.4 Lesen einer Vorlage

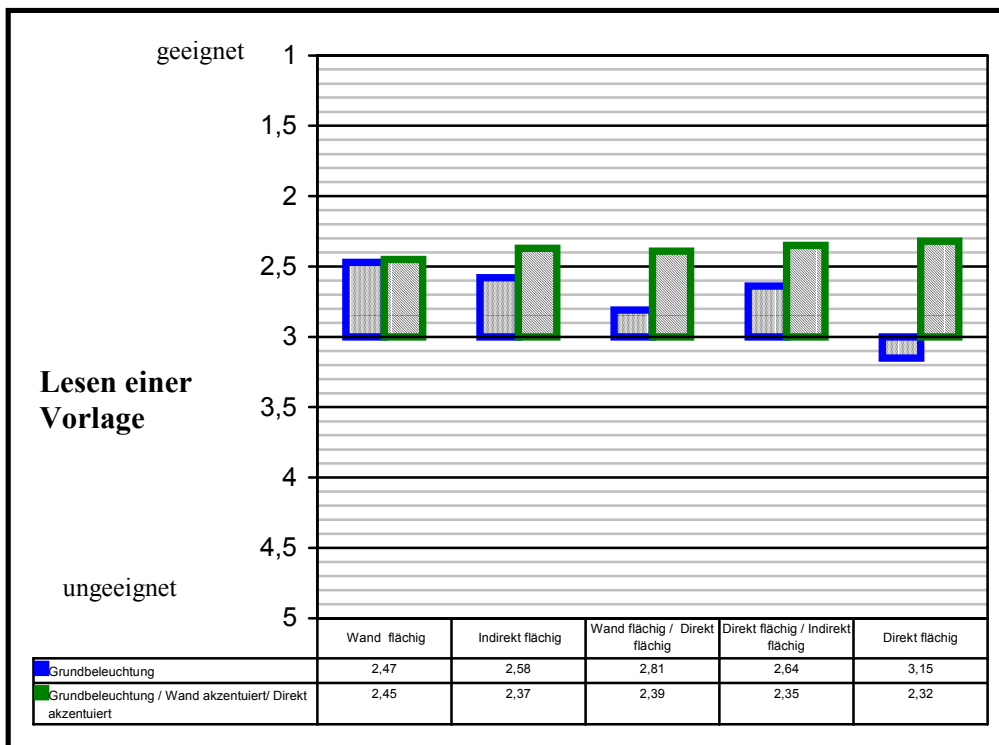


Abbildung Nr.16: Urteile der Versuchspersonen auf die Frage, wie geeignet ist die Beleuchtungssituation für das Lesen einer Vorlage?

Beim Lesen einer Vorlage ergibt sich folgendes Bild: Grundsätzlich ist das Lesen einer Vorlage, es handelte sich um die hochglänzende Zeitschrift „Licht“, bei allen Beleuchtungssituationen möglich. Sämtliche Bewertungen liegen zwischen 2,3 und 3,1, also relativ eng bei einander.

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Betrachtet man die Grundbeleuchtungen, also die jeweils linken Balken, so zeigt sich eine Systematik. Am wenigsten geeignet für das Lesen einer Vorlage ist die flächige direkte Beleuchtung. Auch hier fällt die Interpretation leicht, Reflexblendung herrührend von den relativ hohen Leuchtdichten der 16 mm Leuchtstofflampe, umgeben von einer dunklen Decke, führte zu einer relativ starken Reflexblendung auf der gewölbten hochglänzenden Zeitschrift. Mit abnehmender Leuchtdichte der Lampe und zunehmender Leuchtdichte der Decke, die das Umfeld der Leuchte bildet, verringert sich dieser Effekt. Die relativ diffusen Beleuchtungen nur über die Wand, bzw. nur über die Decke, verhindern Reflexblendung. Eine Akzentuierung des Gesichtsfeldes verbesserte das Ergebnis bei allen Beleuchtungssituationen. Hierbei liefert in fast allen Situationen die akzentuierende Direktbeleuchtung, also die Akzentuierung der horizontalen Flächen den größeren Beitrag.

4. Interpretation der Ergebnisse

In diesem Kapitel möchten wir erste konkrete Interpretationsversuche wagen. Wir möchten die Frage beantworten, was diese Ergebnisse nun konkret für die Fachleute der Beleuchtung zu sagen haben, also den Herstellern von Leuchten, den Planern von Licht und Beleuchtungsanlagen und den Nutzern in einem Büro.

In heutigen Büros werden Mitarbeiter gelangweilt.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Versuchspersonen in dem Büro, das mit nur einer flächigen Komponente beleuchtet war, relativ unwohl fühlten. Solche Beleuchtungsanlagen trifft man heute überwiegend an. Man muss sich die Frage stellen, welche Konsequenzen das hat. Wirkt sich das Wohlfühlen in einem Büro auch auf die Arbeitszufriedenheit aus? Wie produktiv ist ein Mitarbeiter, der sich nicht wohl fühlt?

Das Arbeitsumfeld muss akzentuiert werden.

Bei allen Beleuchtungssituationen stieg das Wohlbefinden deutlich mit der Akzentuierung des Arbeitsumfeldes. Solche Beleuchtungslösungen findet man in der Praxis höchstens in Büros der Chefetagen oder in besonders repräsentativen Räumen.

In „normalen“ Mitarbeiterbüros findet man sie nie.

Beleuchtung muss variabel sein.

Die Ergebnisse zeigen, dass für die unterschiedlichen Tätigkeiten nicht immer die selbe Beleuchtungssituation die optimale war. PC-Arbeit, Schreiben, Besucherempfang, Nachdenken und vieles mehr.

Diese Untersuchung beschäftigte sich nicht damit, welches Licht zu unterschiedlichen Tageszeiten wohl das optimale sei. Fachleute erwarten je nach Tageslicht und Tageszeit ein anderes Beleuchtungsoptimum. Die ideale Beleuchtung eines Büros sollte also diesen unterschiedlichen Bedürfnissen gerecht werden können.

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.

Wie sieht eine optimale Beleuchtung aus?

Der Planer steckt sein ganzes Wissen über die optimale Beleuchtung in die Anordnung von Leuchten und in Vorgaben für notwendige Lichtszenen, abhängig von den genannten Parametern. Die Schnittstelle zum Menschen muss so einfach sein, dass der Anwender Zugriff auf das jeweils optimale Licht hat, ohne darüber nachzudenken.

Unerschlossenes Marktpotential

Die Ergebnisse dieser Untersuchung geben einen ersten Hinweis darauf, welches unerschlossene Marktpotential für alle Betroffenen schon alleine bei der Beleuchtung von Büros lauert.

- Der Lichtplaner kann Systeme planen, die aus mehreren Komponenten bestehen. Beleuchtungsanlagen dürfen nicht statisch sein sondern müssen regelbar sein und sich auf Eingriffe des Nutzers und die Umgebungsbedingungen einstellen. Der Planer muss ein hohes Maß an Fachkenntnis in diesen Planungsprozess einbringen.
- Der Unternehmer, der ein Bauvorhaben realisiert, erschließt ein höheres Mitarbeiterpotential durch Mitarbeiter die sich wohler fühlen.
- Nicht zuletzt der Mitarbeiter selber findet ein Arbeitsumfeld vor, in dem er gerne arbeitet.

In diesem Sinne wünscht sich DIAL nichts mehr, als eine große Verbreitung dieser Ergebnisse und viele Untersuchungen die den Zusammenhang zwischen Licht und dem Wohlbefinden von Menschen erhärten, klären und Licht ins Dunkel bringen.

Anhang:

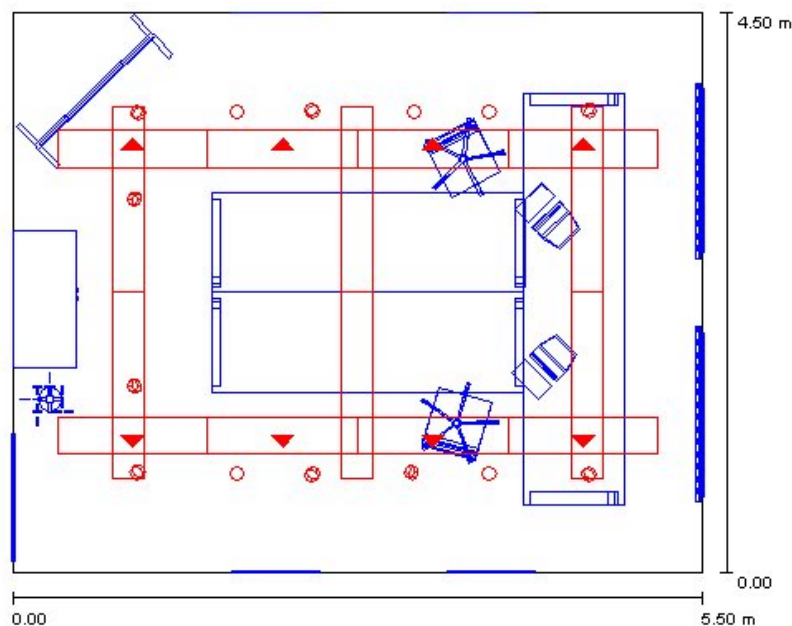


Abbildung Nr. 1: Grundrissansicht des Versuchsraumes

Die Steuerung der Lichtverteilung im Raum und die Akzeptanz des modernen Büroarbeitsplatzes.



Abbildung Nr. 2 „Direkt flächig“



Abbildung Nr. 3 „Indirekt flächig“



Abbildung Nr. 4 „Wand flächig“



Abbildung Nr. 5 „Direkt flächig + Indirekt flächig“



Abbildung Nr. 6 „Direkt flächig + Wand flächig“

DIAL
Deutsches Institut für Angewandte Lichttechnik GmbH
Gustav Adolf Straße 4
D-58507 Lüdenscheid

www.DIAL.de

LEGATO Langzeitmessung Energieeinsparpotentiale von Stehleuchten

Dipl.-Ing. Rainer Lickert
Herbert Waldmann GmbH & Co.
Peter-Henlein-Straße 5
D-78056 Villingen-Schwenningen
e-mail: r.lickert@waldmann.com



Waldmann Lichttechnik

1 Zusammenfassung

In realen Büroräumen wurde die tägliche Betriebsdauer und der tägliche Energieverbrauch von handelsüblichen Stehleuchten mit integriertem Lichtmanagementsystem gemessen. In den Räumen fand unabhängig von den Messungen gewöhnliche Büroarbeit statt. Die Auswertung berücksichtigt die Messwerte eines vollen Arbeitsjahres, so dass die tatsächliche Energieeinsparung dieser Räume im vergangenen Jahr ermittelt werden konnte. Pauschale Angaben über Energieeinsparpotentiale anderer Räume sind aufgrund der sehr individuellen Gebäudeplanungen und Nutzerverhalten kaum möglich.

2 Einleitung: Wieviel Energie spare ich?

Bei Lichtmanagementsystemen mit tageslichtabhängiger Lichtregelung wird immer wieder die Frage gestellt: „Wieviel Energie spare ich?“ Komfort und Funktionalität solcher Systeme werden darin gar nicht berücksichtigt. Der Anwender möchte aber Entscheidungshilfen zur Auswahl oder zum Kauf von Lichtmanagementsystemen und hierbei empfiehlt es sich, nicht nur auf das Sparen von Energie, was fälschlicherweise oft mit Betriebskosten gleichgesetzt wird, zu achten. Eine Kostenrechnung muss Investitionskosten, Laufzeiten, aktuelle Strompreise, Abschreibungsintervalle, Wartungs- und Umweltkosten etc. neben dem tatsächlichen Energieverbrauch berücksichtigen. Der Mensch selbst ist dabei der wichtigste Faktor in einer Rechnung [cac1] [jöd1] [jöd2]. Gesundheit und Motivation der Mitarbeiter sind wertvoller als ein paar Kilowattstunden. Eine Boykottierung des Lichtmanagementsystems aufgrund Unzufriedenheit oder gar Gesundheitsschäden (Arbeitsausfall) aufgrund schlechter Beleuchtung führen im Gegenteil sogar zu höheren Kosten.

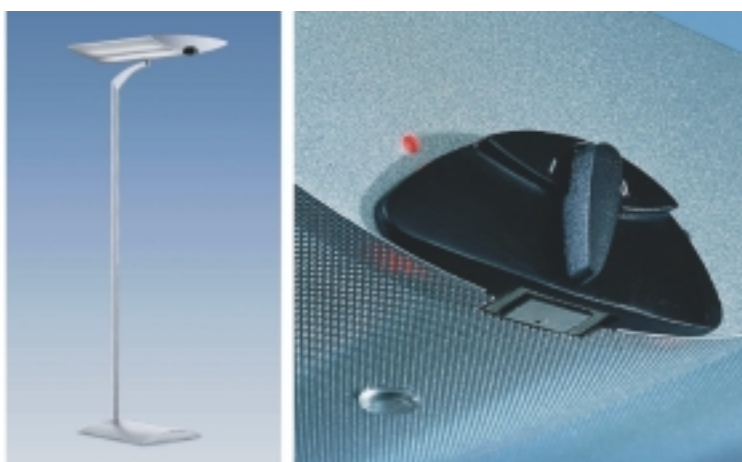


Abbildung 1: Legato P

Zur Vorausberechnung der Energieeinsparung sind die Parameter ebenfalls vielfältig: Technische Daten des Systems, Raumdaten, Geographische und Meteorologische Daten, Nutzeranforderungen und -verhalten, sowie vor allem die Daten des zu vergleichenden Systems. Bei festinstallierten Systemen, bei denen ein Eingriff des Nutzer nicht oder nur beschränkt möglich ist, kann man noch sinnvolle Mittelwerte mit Hilfe von

Standardformeln und Simulationen vorausberechnen. Je dezentraler das System wird, je mehr der Nutzer individuell einstellen kann, desto größer werden die Unsicherheiten solcher Vorhersagen und exemplarische Messungen gewinnen an Bedeutung. Im Folgenden wird eine solche exemplarische Messung des Energieverbrauchs mit dem leuchtenintegriertem Lichtmanagementsystem der Stehleuchte „Legato“ von Waldmann Lichttechnik vorgestellt.

3 Lichtmanagement-System: Legato Pulse



Abbildung 2: Lichtregelung

Die vorwiegend indirekt abstrahlende Stehleuchte „Legato“ mit 4mal 55W-Kompaktleuchtstofflampen und elektronischen Vorschaltgeräten (OSRAM DULUX L 55W und OSRAM QUICKTRONIC DE LUXE HF 2x58/230-240 DIM) ist mit einem von Waldmann Lichttechnik entwickeltem Lichtmanagement-System ausgestattet [wal1]. Zwei unterschiedliche Versionen ermöglichen die optimale Anpassung an das Gebäude (bzw. an den Raum) und an die Bedürfnisse des Betreibers (bzw. Nutzer). Die Version „Legato S“ besitzt nur einen Lichtsensor, während die Version „Legato P“ zu dem Lichtsensor noch einen Präsenzsensoren hat. Dieses dezentrale System bietet den Vorteil, dass es gebäudeunabhängig und individuell gesteuert werden kann. Beispielsweise entfallen komplett die Kosten für Baumaßnahmen, die bei der oft aufwendigen Installation von BUS-Systemen entstehen. Es ist daher eine ideale Ergänzung des 2K-Beleuchtungskonzept [cac2].

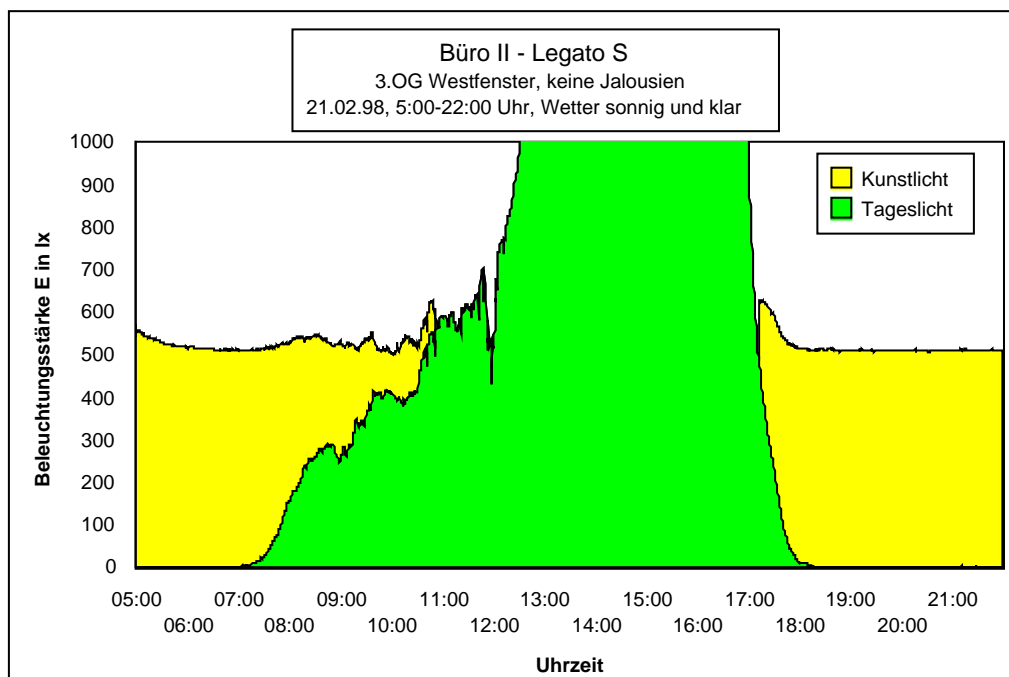


Abbildung 3: Tageslichtergänzung - Labormessung an einem sonnigen Tag

Der Lichtsensor in der „Legato S“ oder „Legato P“ mißt das vorhandene Tageslicht. Die integrierte Regelung ergänzt automatisch durch proportionale Dimmstrategie - welche prinzipiell sogar eine raumabhängige Anpassung ermöglichen könnte - die Beleuchtung auf das gewünschte Niveau (Tageslichtergänzung) oder schaltet das Kunstlicht ab, wenn das Tageslicht ausreicht [kno1] [wal2]. Zur einfachen Bedienung wurden etliche Dimmparameter, die in vielen Versuchen und Anwendungen ermittelt und getestet wurden, fest einprogrammiert. Das Prinzip der Tageslichtergänzung veranschaulichen die beiden Labormessungen „Tageslichtergänzung“ an einem sonnigen und trübem Tag.

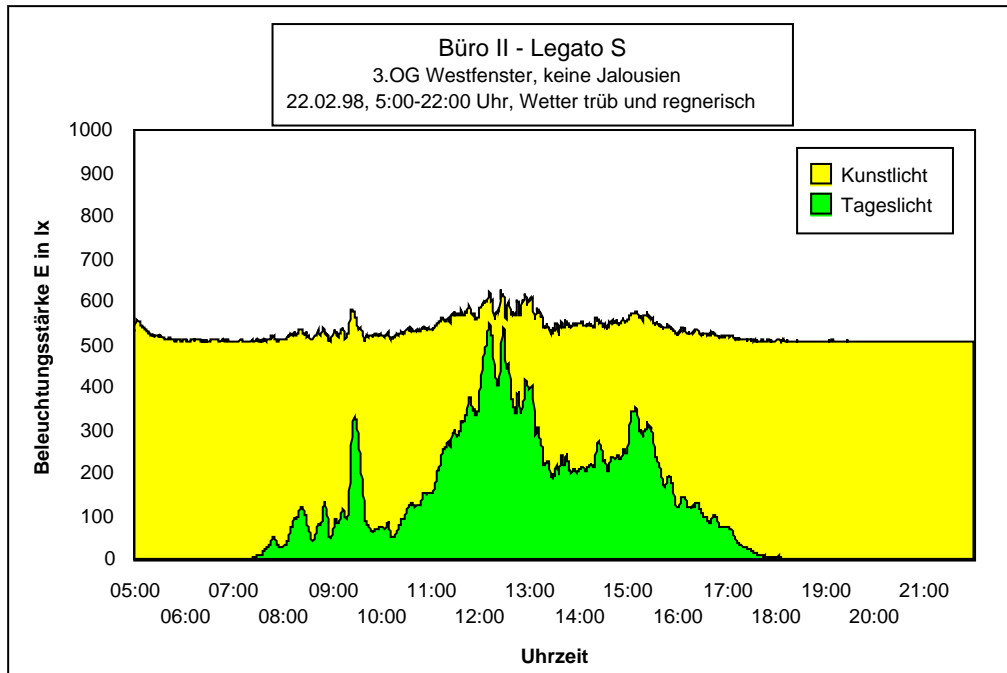


Abbildung 4: Tageslichtergänzung – Labormessung an einem trübem Tag

Das „gelbe“ Kunstlicht füllt das Licht auf ein gewünschtes Beleuchtungsniveau auf. Am sonnigen Tag übersteigt das „grüne“ Tageslicht das gewünschtes Beleuchtungsniveau und Kunstlicht wird nicht mehr benötigt. In diesem Beispiel erreicht die Beleuchtungsstärke aufgrund direkter Sonneneinstrahlung so hohe Werte, dass – wie in den folgenden Feldmessungen geschehen – üblicherweise Jalousien zur Begrenzung der Blendung und Kontrastminderung eingesetzt werden. An trübem Tagen muss das Kunstlicht die ganze Zeit über das Tageslicht ergänzen.



Abbildung 5: Legato - Erfassungsbereiche der Anwesenheitssensoren

Der zusätzliche HFMD-Präsenzsensoren in der „Legato P“ überprüft nach einem Radarprinzip die Umgebung der Leuchte auf Anwesenheit von Personen und schaltet das Licht entsprechend ein oder aus. Angenehmes, unauffälliges Regel- und Dimmverhalten wird durch angepaßte Empfindlichkeiten, Regelzeiten und Schaltschwellen (Impulsverzögerung, asymmetrisches Dimmverfahren, dynamische Nachlaufzeit) sichergestellt. Der Anwender kann sich zwei Beleuchtungsniveaus sowie einige weitere Funktionen individuell einstellen. Für übliche Bürokonfigurationen reichen die Werkseinstellungen meist vollkommen aus. Optional kann die „Legato P“ mit weiteren Anwesenheitssensoren für die Kontrolle weiter entfernter Bereiche ausgestattet werden.

4 Messung: Beleuchtung eines Bildschirmarbeitsplatzes

Die Messungen fanden in zwei Räumen der Abteilung Lichttechnik der Firma Waldmann Lichttechnik in Villingen-Schwenningen (Südwestdeutschland) statt. Die ca. 22 m² große Räume mit je einem Bildschirmarbeitsplatz befinden sich im 3. Obergeschoß mit Fenster zur Westfassade (siehe Bild „Raumgrundriss“). Die Fenster sind mit manuell bedienbaren Jalousien versehen, eine Verbauung liegt nicht vor. Beide Räume sind mit einer fensterorientierten Winkel-Tisch-Kombination, einem Besprechungstisch und Schränken an der Eingangsseite ausgestattet. Die Wände zu den Nachbarbüros sind teilweise verglast. Die Räume eignen sich aufgrund der großen Fensterflächen und der geringen Raumtiefe sehr gut für tageslichtabhängige Regelsysteme. Das Raumpotential ist hoch, das heißt, dass die hellen Räume theoretisch eine große Energieeinsparung ermöglichen [kno2] [kno3].

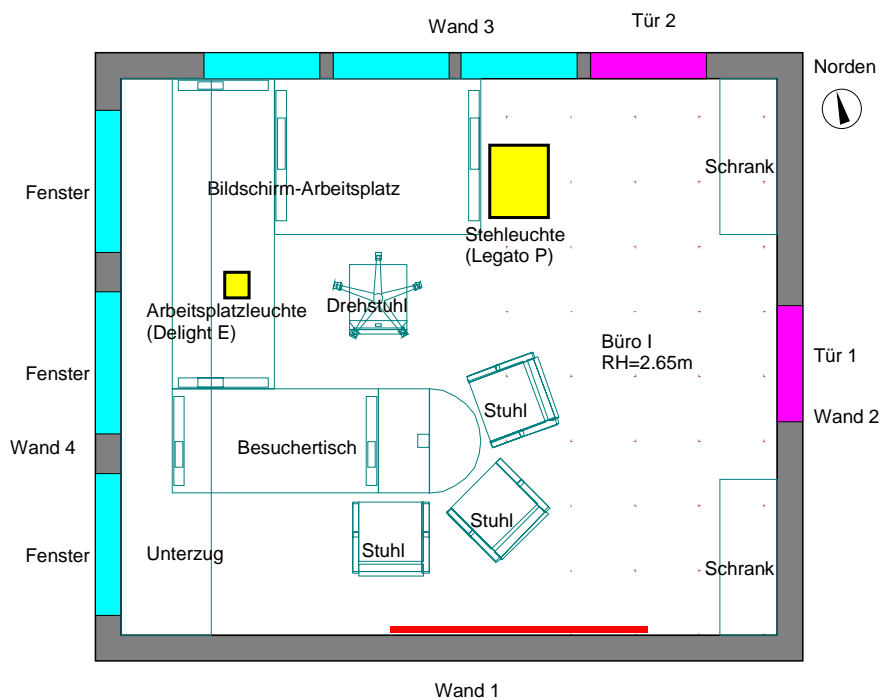


Abbildung 6: Raumgrundrisse (Büro I)

Das Systempotential beschreibt, wie gut das Raumpotential durch das mit einem Lichtmanagementsystem ausgestattete Beleuchtungssystem genutzt werden kann. Die 2K-Beleuchtung (siehe Tabelle „Messorte“) bestand aus einer Stehleuchte (1. Komponente = Grundbeleuchtung) und einer Büro-Arbeitsplatzleuchte (2. Komponente = individuelles Arbeitslicht). Die Stehleuchte „Legato P“ bzw. „Legato S“ war etwa in halber Raumtiefe aufgestellt und lieferte auf dem Schreibtisch ca. 300-400lx. Die Arbeitsplatzleuchte „Delight“ bzw. „Cirrus“ war dem fensterorientierten Tisch zugeordnet und lieferte zusätzlich 500-750lx für den Schreib- und Lesebereich. Die Stehleuchten wurden mit handelsüblichen Energiemonitoren und Zeitschaltuhren versehen. Die Zeitschaltuhren waren notwendig, da die „Legato S“ nicht über eine Präsenzkontrolle

verfügt und somit ohne manuelles Ausschalten auch nachts in Betrieb gewesen wäre. Dadurch ließen sich die beiden Systeme „Legato S“ und „Legato P“ besser miteinander vergleichen. Es wurde die Werkseinstellung mit voreingestelltem „Beleuchtungsniveau I“ ausgewählt. Lediglich die Funktion „Schreibschutz“ wurde aktiviert, um ein versehentliches Verstellen der Einstellungen zu verhindern.

Messorte	Büro I (Legato P)	Büro II (Legato S)
Grundfläche	21,9 m²	22,4 m²
Raumhöhe	2,65 m	2,65 m
Indirekt-Stehleuchte	Legato P	Legato S
Bestückung Indirekt-Stehleuchte	4 x Kompakt-Leuchtstofflampe TC-L 55W/840 2G11	4 x Kompakt-Leuchtstofflampe TC-L 55W/840 2G11
Büro-Arbeitsplatzleuchte	Delight	Cirrus
Bestückung Büro-Arbeitsplatzleuchte	2 x Kompakt-Leuchtstofflampe TC-SEL 9W/840 2G7	1 x Kompakt-Leuchtstofflampe TC-L 18W/840 2G11

Tabelle 1: Messorte

Die Büros wurden „normal“ genutzt: Die Nutzer sind Leitende Angestellte im Innendienst mit Aufgaben in verschiedenen Projektteams im Haus und gelegentlichen Aufgaben (Sitzungen, Messen, etc.) außer Haus. Je nach individuellem Bedarf der Nutzer wurden die Jalousien geschlossen oder die Arbeitsplatzleuchte zugeschaltet. Erfasst wurde der tägliche Energieverbrauch, die Extremwerte der Leistungsaufnahme und des Energieverbrauchs und die Betriebsdauer der Stehleuchten.

5 Auswertung: Energieverbrauch und –einsparung

Es wurde über ein Jahr - vom 24. November 1999 bis zum 27. November 2000 – jeweils über 9 Stunden (8:00 Uhr bis 17:00 Uhr) gemessen. Wochenenden, Feier- und einige Urlaubstage (Jahresurlaub) wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Mittelwerte	Büro I (Legato P)	Büro II (Legato S)
Stehleuchte	Legato P	Legato S
Lichtmanagement	Anwesenheits- und Lichtregelung	nur Lichtregelung
Messtage / Messdauer	225 Tage / 2019 Stunden	225 Tage / 2019 Stunden
Betriebsdauer abs. / rel.	1035 Stunden / 51 %	1722 Stunden / 85 %
maximale Leistung (max. Verbrauch)	max. 228 W (460,4 kWh)	max. 228 W (460,4 kWh)
Leistung (Verbrauch) bei „Niveau I“	ca. 160W (323,1 kWh)	ca. 160W (323,1 kWh)
Gesamt-Energieverbrauch	85,5 kWh	139,4 kWh
mittlere elektrische Leistung	42,3 W	69,1 W
relativer Verbrauch	17 %	27 %
Energiekennzahl (max. Wert)	3,9 kWh/m²a (21,0 kWh/m²a)	6,2 kWh/m²a (20,5 kWh/m²a)

Tabelle 2: Mittelwerte

Damit blieben 225 Einzelmessungen bzw. Tage, an denen die untersuchten Büros auch tatsächlich genutzt wurden. Die relativen Größen in Tabelle „Mittelwerte“ beziehen sich auf die gesamte Messdauer bzw. auf die maximale Leistung (Verbrauch) laut Lampen- und Vorschaltgeräte-Hersteller (OSRAM). Diese Bezugswerte ermöglichen den Vergleich mit einer nicht-dimmbaren Legato, welche über die gesamte Messdauer in Betrieb gewesen wäre. Die Energiekennzahlen helfen den Energieverbrauch als Qualitätskriterium zu berücksichtigen und sind Bestandteil des MINERGIE-Konzeptes [füg].

Der Unterschied der beiden Messreihen liegt vorwiegend in der Anwesenheitssensorik der „Legato P“. Die „Legato S“ war im Gegensatz zur „Legato P“ auch in Pausen und bei Abwesenheit der Nutzer (Konferenzen, Besprechungen, etc.) in Betrieb. Bezogen auf die gesamte Messdauer betrug dadurch die tatsächliche Betriebszeit 51% (Legato P) und 85% (Legato S) der gesamten Messdauer. Geht man davon aus, dass die lichttechnischen Parameter der Beleuchtung und das Nutzerverhalten bzgl. der Jalousiesteuerung in beiden Büros ähnlich waren, kann man abschätzen, wie lange die Stehleuchte – bezogen auf die gesamte Messdauer - aufgrund ausreichendem Tageslicht (ca. 15%) und aufgrund Abwesenheit (ca. 34%) nicht in Betrieb war bzw. abgeschaltet hat. Zu beachten ist hierbei, dass die Stehleuchten mit Werkseinstellung „Niveau I“ betrieben wurden, das heißt mit nur ca. 70% der maximalen Leistung, da dies auch ohne zusätzlichem Fremdlicht zum Erreichen der gewünschten Beleuchtungsstärke ausreichte. Bei höheren Beleuchtungsstärken hätten die Leuchten länger gebrannt bzw. hätten später tageslichtabhängig abgeschaltet.

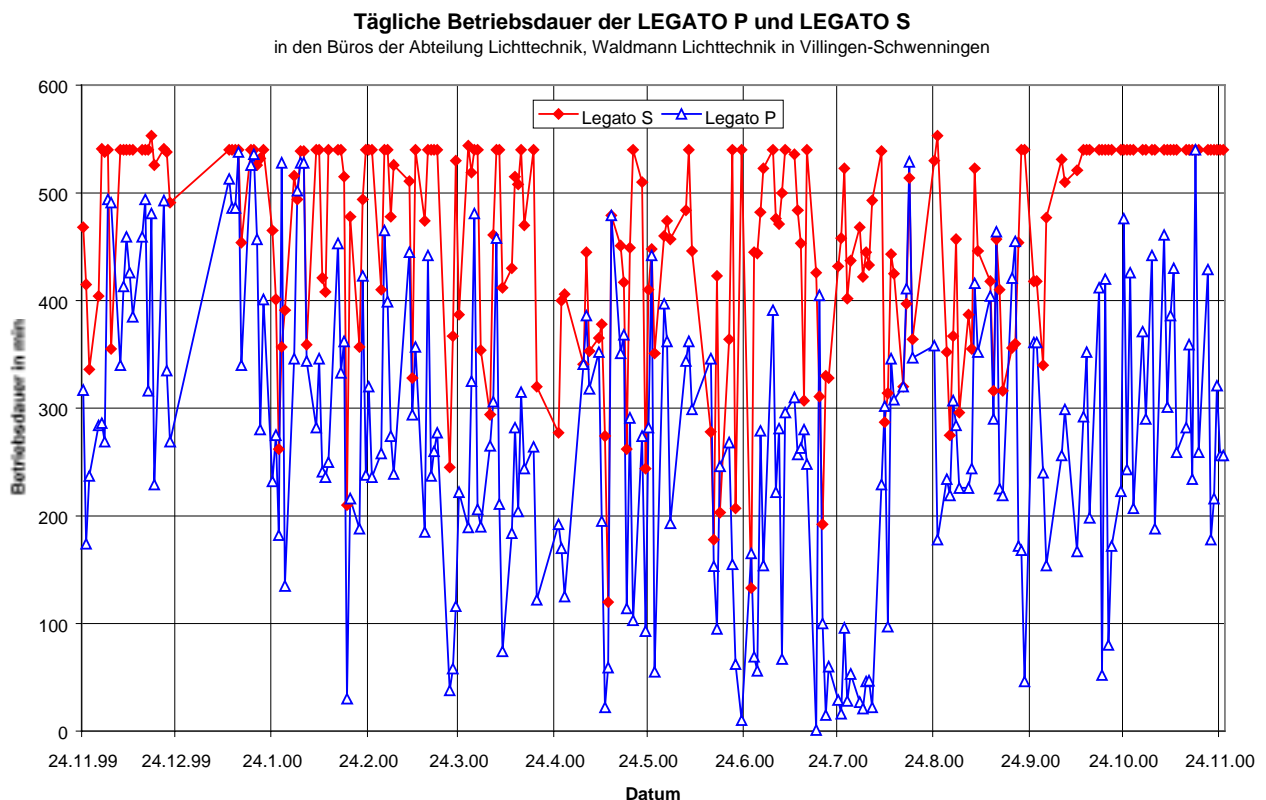


Abbildung 7: Tägliche Betriebsdauer

Die Diagramme „Tägliche Betriebsdauer“ und „Täglicher Energieverbrauch“ weisen stark unterschiedliche Tages-Messwerte auf. Der Grund hierfür sind die sich täglich ändernde Wetterverhältnisse und vor allem das Nutzerverhalten. Da die Fenster zur Westseite gerichtet sind, wurden in den Nachmittagsstunden die Jalousien je nach Tätigkeit (Bildschirmarbeit, „Papierarbeit“, Gespräche, etc.) verschieden genutzt.

Gerade bei Bildschirmtätigkeit wurden sehr früh die Jalousien runtergefahren, um Reflexe auf dem Bildschirm zu vermeiden bzw. den Kontrast der Zeichen zu erhöhen, so dass die Kunstlicht-Beleuchtung auch bei schönstem Sonnenschein-Wetter automatisch zugeschaltet wurde (siehe Messwerte im Sommer). Viele „Ausreißer“ lassen sich anhand der Messaufzeichnungen erklären. Beispiel: Nutzer war außer Haus, was bei der „Legato P“ zu einer minimalen Betriebsdauer bzw. Verbrauch führte, bei der „Legato S“ zu einer maximalen Betriebsdauer bzw. Verbrauch (weil vergessen wurde, die Jalousien hochzufahren).

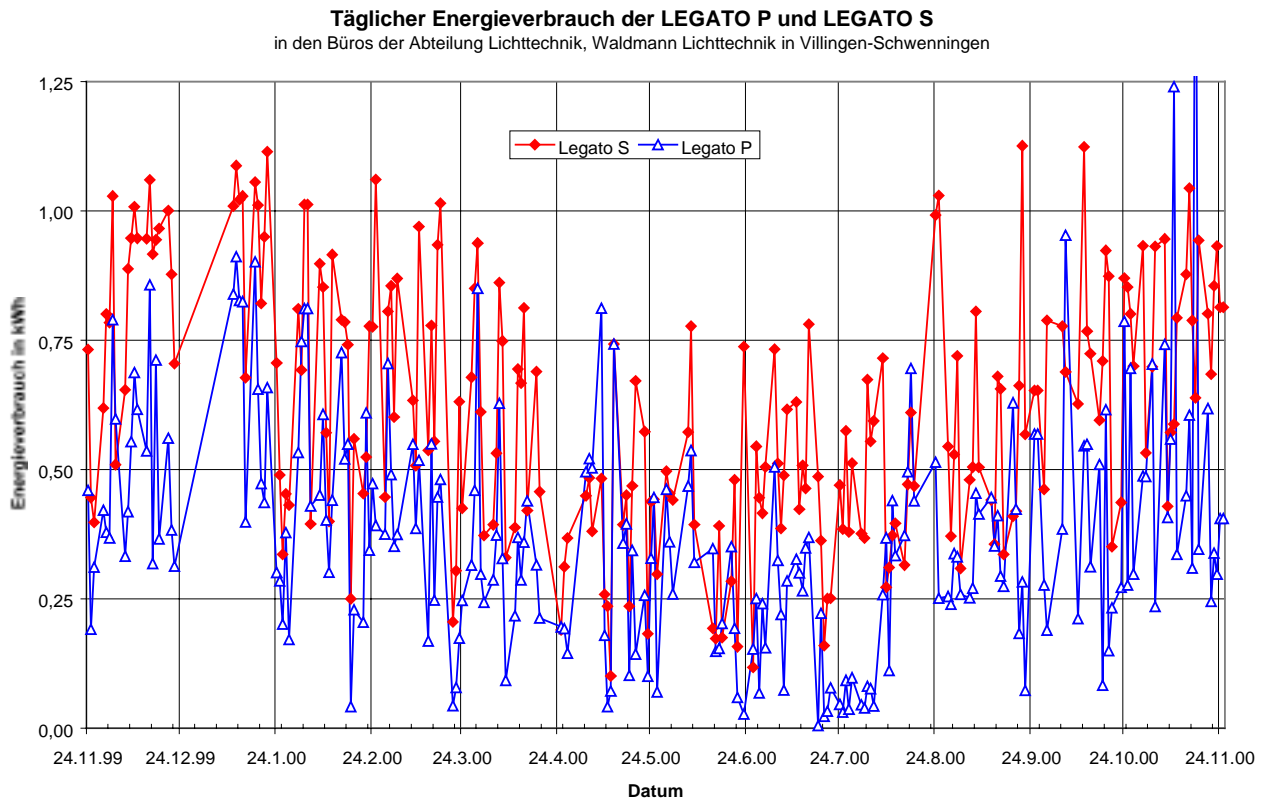


Abbildung 8: Täglicher Energieverbrauch

Anhand dieser großen Streuungen kann demonstriert werden, wie wenig sinnvoll Vorhersagen über einen Tag oder einen kurzen Zeitraums (Woche, Monat) sind. Über das Jahr betrachtet läßt sich allerdings wie erwartet ein jahreszeitlicher Trend erkennen. Im Diagramm „Jahrestrend des Energieverbrauchs“ wurde eine polynomische Näherungskurve eingefügt. An dieser sieht man, dass der Energieverbrauch im Winter etwa doppelt so hoch war wie im Sommer. Die zusätzlich präsenzabhängige Schaltung (Legato P) vermindert den Verbrauch der Leuchte mit tageslichtabhängiger Regelung (Legato S) nochmals um ein Drittel bis zur Hälfte. Zu den tageslichtreicheren Monaten fällt diese Differenz der Energieeinsparung ab, da im Sommer die Tageslichtregelung das Licht häufig abschaltete, ohne dass die Präsenzschtaltung wirksam werden konnte.

Jahrestrend des Energieverbrauchs der LEGATO P und LEGATO S
in den Büros der Abteilung Lichttechnik, Waldmann Lichttechnik in Villingen-Schwenningen

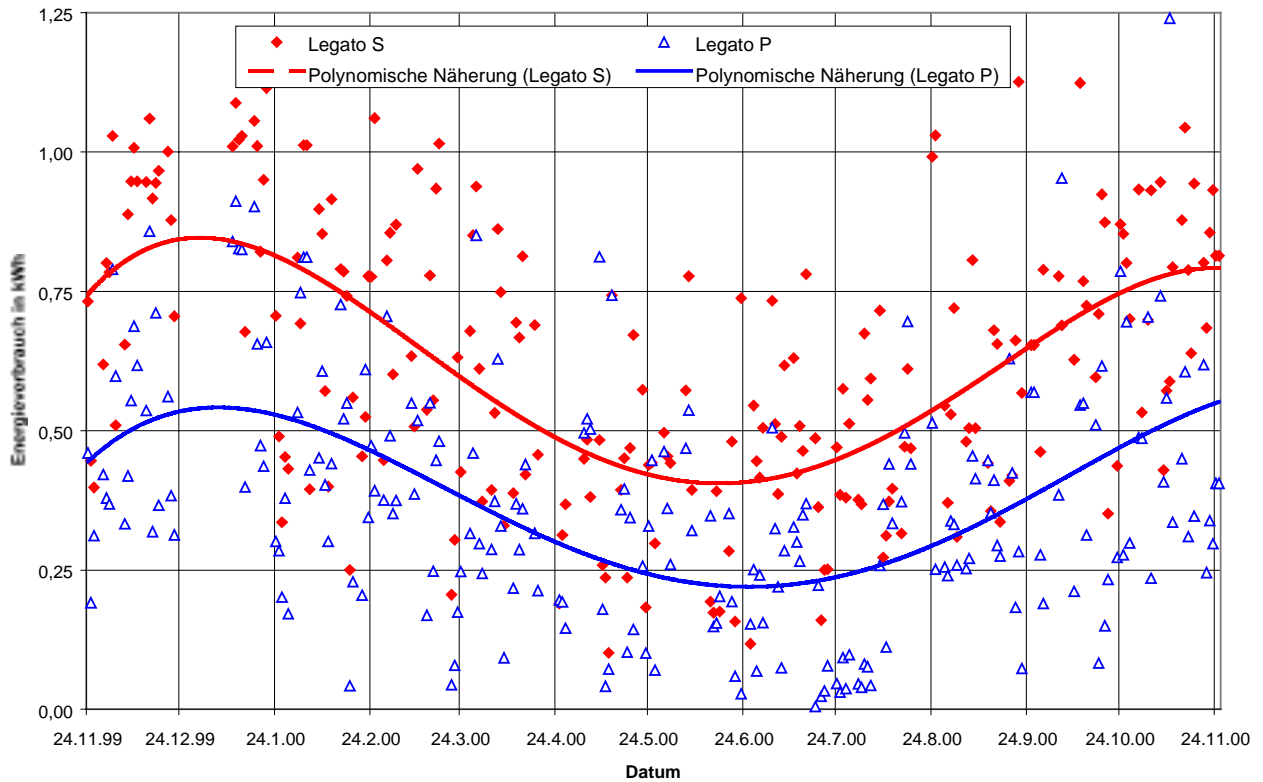


Abbildung 9: Jahrestrend des Energieverbrauchs

Relativer Energieverbrauch der LEGATO P und LEGATO S
in den Büros der Abteilung Lichttechnik, Waldmann Lichttechnik in Villingen-Schwenningen

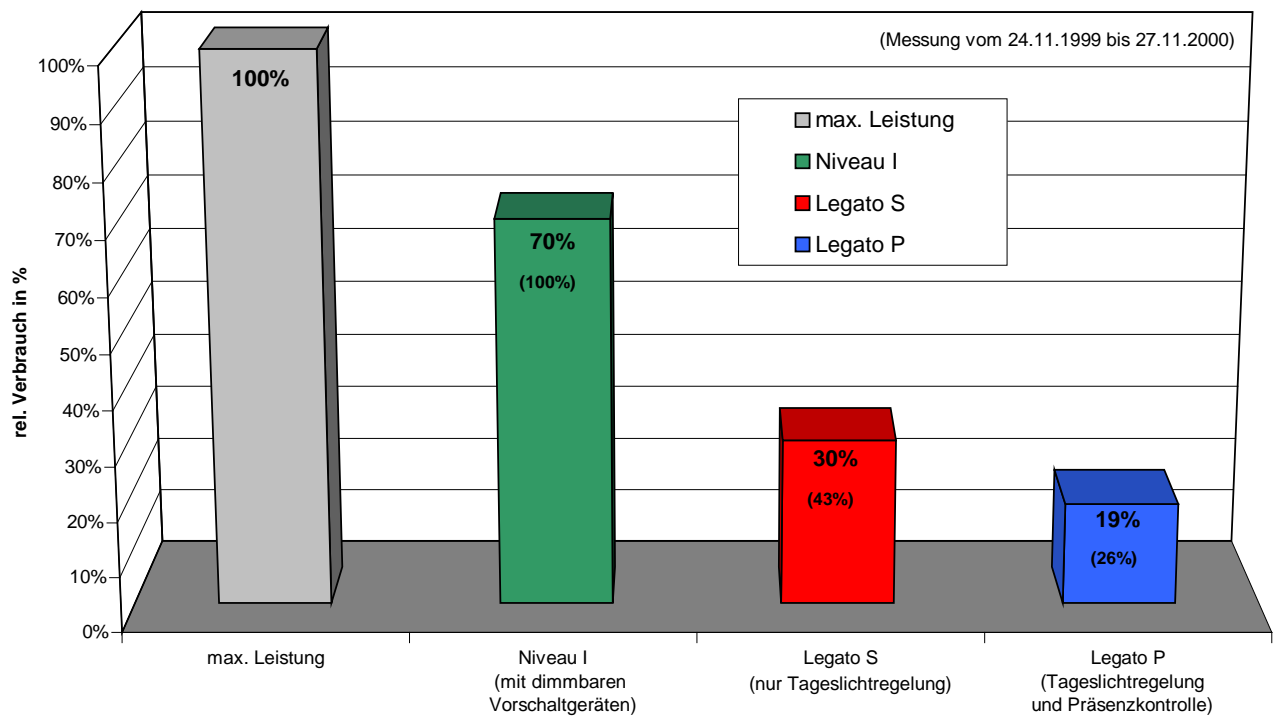


Abbildung 10: Relativer Energieverbrauch

Im Bezug zur „einfach geschalteten“ Stehleuchte ohne Lichtmanagementsystem (max. Leistung) betrug der Energieverbrauch 19% (Legato P) und 30% (Legato S). Dies entspricht einer Energieeinsparung der „Legato P“ von 81% der maximalen Energie. Bei der „Legato S“ betrug die Einsparung 70%.

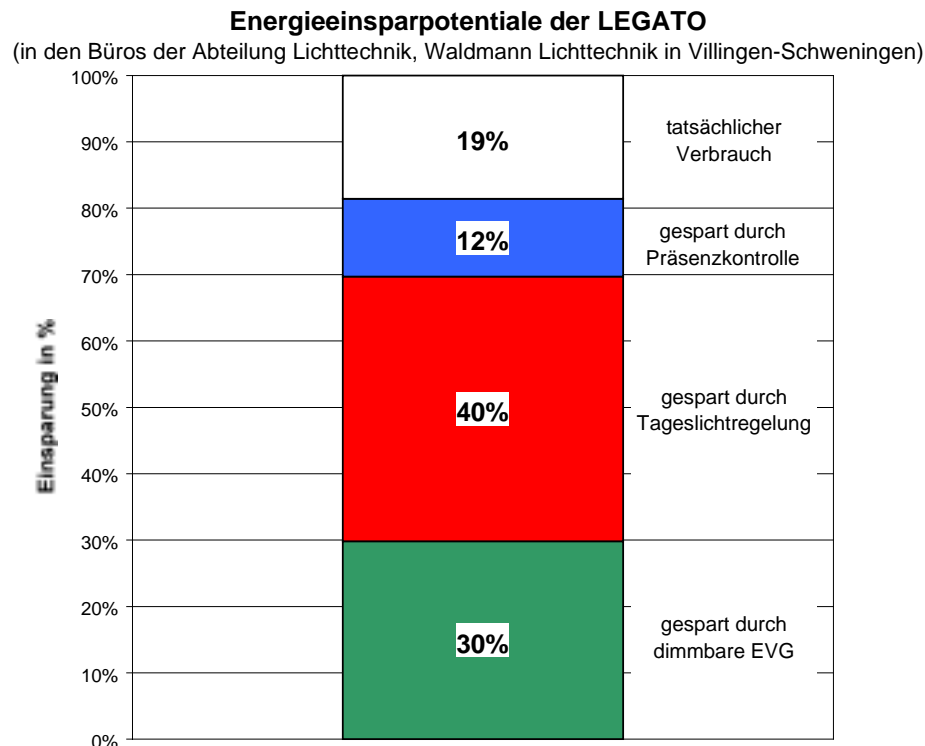


Abbildung 11: Energieeinsparpotentiale

Um abschätzen zu können, wieviel Energie speziell durch die Lichtregelung und durch die Präsenzkontrolle gespart wurde, muss als Bezugswert zusätzlich die geringere Leistung bzw. der Verbrauch bei „Niveau I“ berücksichtigt werden. Der Energieverbrauch bei „Niveau I“ – im folgenden „dimmbare“ Leuchte genannt – betrug ca. 70% der „einfach geschalteten“ Leuchte, das heißt es wurde ca. 30% des maximalen Energieverbrauchs allein durch die dimmbaren Vorschaltgeräte gespart. Unter der Annahme, dass in beiden Büroräume näherungsweise gleiche lichttechnische Verhältnisse vorlagen (gleiche Raumgeometrie und -ausstattung, vergleichbare Jalousieeinstellungen), kann man die Energieeinsparpotentiale (= Raum- x Systempotential) der Anwesenheits- und der Tageslichtregelung für diese Räume abschätzen [kno2].

6 Schlußfolgerung: Geld gespart, Komfort erhöht?

Zwei Stehleuchten vom Typ „Legato“ mit integrierten Lichtmanagement-Systemen von Waldmann Lichttechnik wurden in typischen Büros mit Bildschirmarbeitsplätzen gemessen. Das Ziel, die eigenentwickelte Tageslichtregelung und Anwesenheitsschaltung in realer Anwendung zu testen und eine Referenz über Tauglichkeit dieser Systeme zu erhalten, wurde erreicht. Wie im Diagramm „*Relativer Energieverbrauch*“ zu sehen ist, sind hohe Einsparungen an Energie, und damit auch an Energiekosten, möglich. Allein die dimmbaren Vorschaltgeräte haben einen beträchtlichen Anteil am Einsparpotential, wenn die durch „Überdimensionierung“ - aufgrund vorgeschriebener Planungsfaktoren oder sich ändernden Tätigkeiten (Beleuchtungsanforderungen) - installierten elektrischen Leistungen der Beleuchtungsanlagen nicht oder nur gelegentlich vollständig benötigt werden.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass es eine pauschale Aussage bzgl. Energieeinsparung nicht sinnvoll ist. Dem Anwender muss bewußt sein, dass jeder Raum und jedes Nutzerverhalten bedeutenden Einfluß auf den Energieverbrauch hat. Der prozentuale „Einspar-Wert“, auch wenn dieser aus vielen Messungen gemittelt wurde, reicht zur Beurteilung von Lichtmanagement-Systemen nicht aus [jöd1] [kno1]. Neben System- und Raumpotentialen spielen auch Ergonomie- und Komfortkriterien eine wichtige Rolle. Die Qualität der Beleuchtung darf nicht auf Kosten der Energieeinsparung verringert werden. Ist der Nutzer mit dem System unzufrieden oder fühlt er sich dadurch gestört, wird jede Energieeinsparung die Schäden oder zusätzliche Aufwendungen nicht decken können, da Gesundheit und Motivation der Mitarbeiter mit in die Gesamt-Kostenrechnung eingehen [cac3].

7 Quellen, Literatur

- [cac1] Dr. Çakir A., Ergonomic Institut Berlin: Lichtblicke – Intelligente Kunstlichtregelung im Büro (Vortrag zu „Lichtforum`99“)
- [cac2] Dr. Çakir A., Dipl.-Ing. Çakir G., Ergonomic Institut Berlin: Ergonomische Bewertung der Leuchte LEGATO P der Firma Waldmann im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit (Berlin 1999)
- [cac3] Dr. Çakir A., Dipl.-Ing. Çakir G., Ergonomic Institut Berlin: Licht und Gesundheit – Eine Untersuchung zum Stand der Beleuchtungstechnik in deutschen Büros (3. Auflage, Berlin 1998)
- [jöd1] Prof. Jödicke B., FH Konstanz: Lichtblicke - Energie sparen mit Licht (Vortrag zu „Lichtforum`99“)
- [jöd2] Prof. Jödicke B., FH Konstanz, Merkler M., Fa. Ökolux: Mensch - Licht – Geld, Effizientes Licht in Gebäuden (OTTI-Symposium 2001, Innovative Lichttechnik in Gebäuden“)
- [kno1] Dr. Knoop, Fa. LichtVision Berlin: Sonnenverbunden – Intelligente Kunstlichtregelung im Büro (Vortrag zu „Lichtforum`98“)
- [kno2] Dr. Knoop, Fa. LichtVision Berlin: Tageslichtabhängige Beleuchtungssysteme (OTTI-Symposium 1999, Innovative Lichttechnik in Gebäuden“)
- [kno3] Dr. Knoop, Fa. LichtVision Berlin: Lichtblicke – Intelligentes Bürolicht in der Anwendung (Vortrag zu „Lichtforum`99“)
- [füg1] E. Füglistner, Amstein+Walthert AG, Zürich: Energiekennzahlen in der Beleuchtungsplanung (OTTI-Symposium 2001, Innovative Lichttechnik in Gebäuden“)
- [wal1] Waldmann Lichttechnik: Intelligentes Indirekt-Lichtsystem LEGATO (Sonderpublikation)
- [wal2] Waldmann Lichttechnik: Sonnenverbunden – Funktionen und Vorteile des Waldmann Lichtmanagement-systems PULSE (Sonderpublikation)

Innovative Lichtquellen durch LED-Technologie

Dr. rer. nat. Roland Heinz
Philips Licht, Steindamm 94, D-20099 Hamburg

Dr. rer. nat. Klaus Wachtmann
Institut für Anorganische Chemie, Universität Münster, D-48149 Münster

1. Die Geschichte der Leuchtdiode

Elektrolumineszenzerscheinungen an SiC-Kristallen wurden 1907 durch H. J. Round erstmalig beobachtet. Eine quantenphysikalische Beschreibung des LED-Effekts als Überschussrekombination innerhalb eines in Vorwärtsrichtung gepolten pn-Übergangs (Abb. 1,2) gelang allerdings erst 1951 durch Lehovec, Accado, Jamgochian. Vorausgegangen war die systematische Erforschung des pn-Übergangs bis hin zur Entwicklung der ersten Transistoren durch Bardeen, Brittain und Shockley (1948).

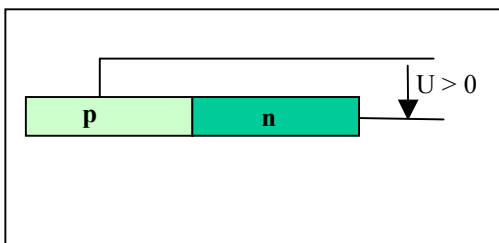


Abb. 1 Schema eines vorwärtsgepolten pn-Übergangs

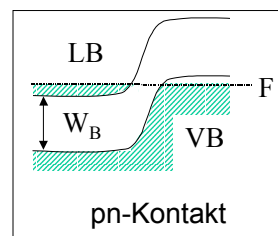
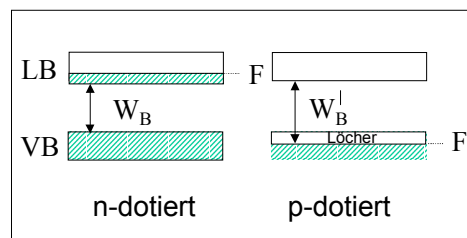


Abb. 2 Befinden sich n- und p-Bereiche im Kontakt, so diffundieren Elektronen ins p-Gebiet und Löcher ins n-Gebiet. Es entsteht eine Raumladung und eine Potentialdifferenz, die die Diffusion begrenzt.

Mit der großtechnischen Produktion von roten Lumineszenz-Dioden (LED: light emitting diode) auf Basis von dotierten III-V-Halbleitern des Typs GaAsP wurde 1962 bei General Electric begonnen. Durch systematische Erforschung von ternären und quaternären Materialsystemen, neuen Kristallzuchtverfahren (LPE, MOCVD, MBE) gelang es dann innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte LEDs im roten, orangen und grünen Spektralbereich mit hohen Emissionswirkungsgraden und hoher Lichtausbeute in Massenproduktion herzustellen. Die Synthese effizienter blauer LEDs (Bandlücke > 2,5 eV) konnte jedoch erst 1994 durch Nichia unter Verwendung von GaN-Schichtsystemen auf Saphir realisiert werden (Abb. 3)

Heutzutage werden Hochleistungs-LEDs unterhalb von 550 nm auf der Basis von AlInGaP-Halbleitern und oberhalb von 550 nm auf der Basis von InGaN-Halbleitern hergestellt. Weiße LEDs werden durch Beschichtung blauer LEDs mit Lumineszenzfarbstoffen erzeugt (Lumineszenzkonversion, Schneider et al., 1996).

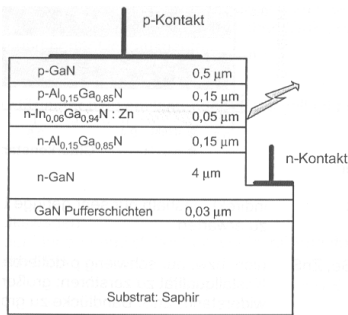


Abb. 3 Aufbau der von Nichia entwickelten blauen LED

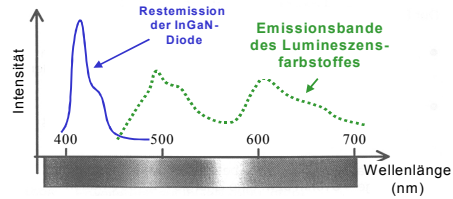


Abb. 4 Emissionsspektrum einer weißen LED mit Lumineszenzkonversion

2. Das Wirkungsprinzip der LED

Lumineszenz-Dioden senden Photonen aus, wenn nach Ladungsträgerinjektion Elektronen und Löcher strahlend rekombinieren. Die Abstrahlung ist örtlich auf die Umgebung der Raumladungszonen (RLZ, aktive Zone) beschränkt. Der Anteil der strahlenden Rekombination beträgt dabei nur ca. 1- 5%. Der weitaus größere Anteil rekombiniert hingegen strahlungslos und wird in Wärmeenergie umgewandelt, die die LED aufnimmt.

Injektionslumineszenz als Spezialfall der Elektrolumineszenz tritt auf bei der Vergrößerung der Ladungsträgerdichte im Halbleiter, also im Zustand des thermischen Nichtgleichgewichts $np > n_j^2$. Der Abbau der Überschussladungsträgerdichte der Minoritätsträger mit dem Ziel, das Thermische Gleichgewicht $np = n_j^2$ wiederherzustellen, läuft im Halbleiter über unterschiedliche Mechanismen der Rekombination ab, je nachdem, wie hoch das Maß der Abweichung vom Gleichgewicht ist.

Die wichtigste Art der strahlenden Rekombination, die bei der LED für technische Zwecke nutzbar gemacht wird, läuft über **isoelektrische Störstellen** ab, an denen **Exzitonen** unter Mitwirkung eines beliebigen **Phonons** (Gitterschwingung) strahlend rekombinieren.

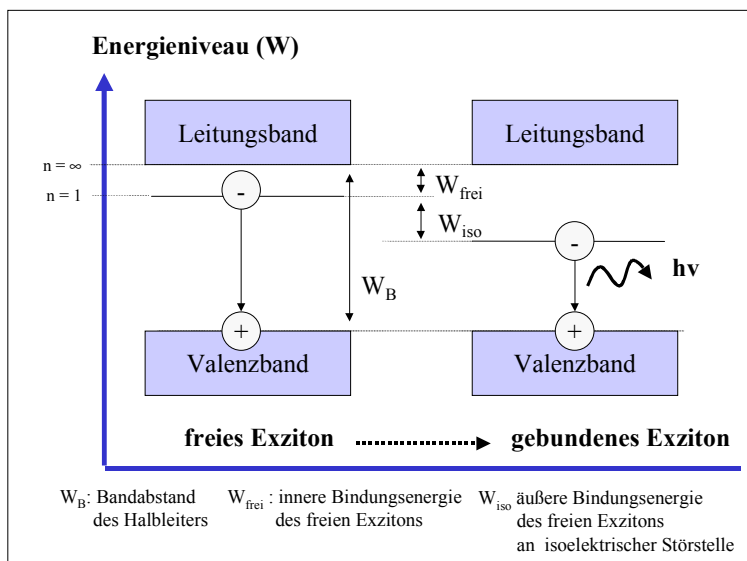


Abb. 5 Energiechema des freien und gebundenen Exzitons

Unter isoelektrischen Störstellen versteht man eine Gitterplatzsubstitution eines Atoms im Wirtsgitter durch ein anderes Gruppenelement, z. B. Al oder B am Gitterplatz eines Ga-Atoms im GaP-Halbleiter. Die unmittelbaren Folgen sind eine lokale elektrische Polarisation bzw. kurzreichweitige elektrische Dipolkräfte aufgrund der unterschiedlichen Elektronegativität des ersetzten Wirtsgitter-Atoms. Freie Exzitonen sind Anregungsteilchen, die aus einem Elektron-Loch-Paar bestehen. Aufgrund einer geringen Coulomb-Wechselwirkung innerhalb des Exzitons entspricht Ihre energetische Lage nicht dem vollen Bandabstand des Halbleiters (W_B) sondern liegt etwas unterhalb der Leitungsbandkante. Freie Exzitonen diffundieren durch den Halbleiterkristall und transportieren Energie, nicht aber Ladung. An isoelektrischen Störstellen werden freie Exzitonen festgehalten (trapping). Nach initialer Exziton-Phonon Wechselwirkung werden die Exziton-Löcher von einem isoelektrischen Donor (neg. polarisiert), die Exziton-Elektronen hingegen von einem isoelektrischen Akzeptor (pos. polarisiert) an die Energiebänder des Halbleiters abgegeben. Die Exziton-Phononen Wechselwirkung kompensiert dabei durch Übertragung von kinetischer Energie die innere (W_{frei}) und äußere (W_{iso}) Bindungsenergie des Exzitons, so daß beim Exzitonzerfall immer polychromatisches Licht enger Frequenzverteilung mit einem der Energie des Bandabstands (W_B) entsprechenden spektralen Schwerpunkt abgegeben wird. Da der Exzitonzerfall einen statistischen Prozeß darstellt, ist das emittierte Licht nicht kohärent wie z.B. beim Dioden-Laser (Abb. 6).

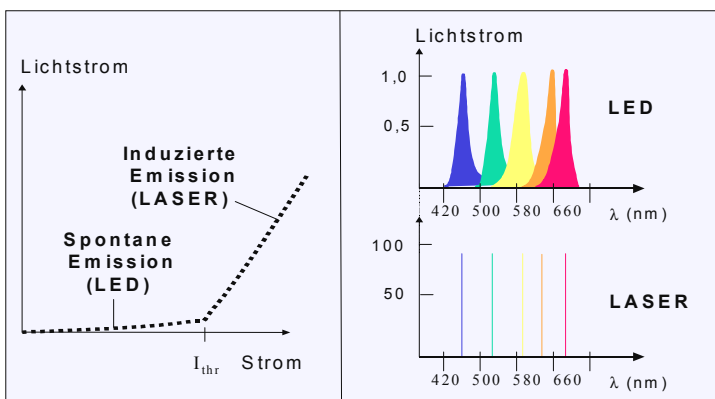


Abb. 6 Emissionsspektren von LEDs und Diodenlaser im Vergleich: das Licht einer LED ist nicht kohärent und polychromatisch bei enger Frequenzverteilung. Im Gegensatz dazu ist das Licht eines Diodenlasers kohärent und monochromatisch .

Die Energie (E_{ex}) des freien Exzitons kann mit Hilfe einer modifizierten Rydbergformel beschrieben werden (Gl. (1)). Sie entspricht der Bandlücke des Halbleiters (W_B) abzüglich einer sehr schwachen bindenden Wechselwirkung (W_{frei}) zuzüglich einer geringen kinetischen Energie (W_{kin}). Unmittelbare Folge der nur schwachen Bindungsenergie ist ein im Vergleich zu den Einheitsvektoren des Kristallgitters relativ großer Bindungsabstand. Die bindende Wechselwirkung (W_{frei}) läßt sich in Analogie zum Bindungsmodell des Wasserstoffatoms wie folgt beschreiben:

$$E_{Ex} = W_B - W_{frei} + W_{kin} = W_B - \frac{m_r q^4}{2(4\pi\epsilon_0 \epsilon \hbar)^2 n^2} + \frac{\hbar^2 k^2}{2(m_e + m_h)} \quad \text{mit } m_r = \left[\frac{m_e m_h}{m_e + m_h} \right] \quad \text{Gl. (1)}$$

q = Elementarladung

ϵ = Dielektrizitätskonstante des Exzitons

$k^2 = (k_r + k_v)^2$, Wellenzahl, die dem Energieniveau von Valenz- und Leitungsband Rechnung trägt

m_r = reduzierte Masse des Exzitons

Wie aus Gleichung (1) ersichtlich ist, entspricht die Ionisierungsenergie ($n \rightarrow \infty$) bei Vernachlässigung des dritten Summanden (Photonenterm) tatsächlich dem Bandabstand W_B des Halbleiters.

Wird auf beiden Seiten des pn-Übergang einer LED eine Dünnschicht mit niedrigerem Brechungsindex aufgebracht (Verspiegelung), so verstärkt das zurückgeworfene Licht die Energiedichte des elektrischen Feldes im pn-Übergang (optical confinement). Dies führt zu einer Verstärkung des Anteils der strahlenden Rekombination beim Exzitonzerfall. Wird nun die LED in positiver Durchlassrichtung von einem zunehmend größeren Strom durchflossen (Abb. 6), so tritt oberhalb eines von der Bauart der Diode abhängigen Schwellenstroms (I_{thr}) von ca. 100 A/cm^2 eine energetische Aufspaltung der Fermi-niveaus von Valenz- und Leitungsband auf. Wird diese Aufspaltung größer als der Bandabstand (W_B) des Halbleiters, so tritt eine Besetzungsinversion der Zustände ein, die Grundvoraussetzung für das Laserprinzip. Beim Diodenlaser erfolgt nun die Lichtemission nicht mehr spontan, sondern wird durch die stehende Lichtwelle im Resonator induziert. Das emittierte Licht ist dann im Gegensatz zur Lumineszenzdiode hochgradig kohärent, da es sich in starrer Phase mit der stehenden Lichtwelle im Resonator befindet.

3. Der Aufbau von LEDs und LED-Devices

Kommerziell verfügbare Halbleiter-Leuchtdioden bestehen aus einem Halbleiter-Chip der in eine Kunststofflinse aus Epoxyharz eingebettet ist (Abb. 7). Die Kunststofflinse bündelt das divergent abgestrahlte monochromatische Licht des LED-Chips und schützt gleichzeitig den LED-Chip vor Feuchtigkeit und Korrosion. Die Ankontaktierung erfolgt dabei meist mittels eines Anschlußdrahts (wire bonding). Neben den seit der 70er Jahre üblichen 5 mm LEDs existieren seit 1999 auch die sogenannten High-Flux LEDs. Letztere unterscheiden sich von 5 mm LEDs durch einen je nach Lichtfarbe um den Faktor 20 bis 50 höheren Lichtstrom.

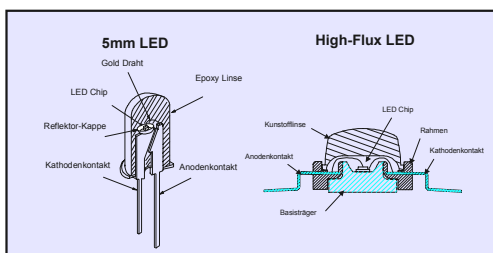


Abb. 7 Querschnitt einer 5 mm LED und einer High-Flux LED (Lumileds).

Halbleiter-Leuchtdioden sind heutzutage in den wichtigsten Lichtfarben des sichtbaren Spektrums als auch im Infrarotbereich verfügbar. Darüber hinaus sind seit Anfang 2000 weiße LEDs mit bereits annähernd wirtschaftlicher Lichtausbeute verfügbar ($>10 \text{ lm/Watt}$), die durch Beschichtung der Epoxylinse einer blauen LED mit einer Leuchtstoffschicht realisiert werden.

Der Wirkungsgrad einer Leuchtdiode, der bei Raumtemperatur je nach Lichtfarbe zwischen 0,1 und 5%, liegt hängt sehr stark von der Temperatur der aktiven Schicht im Halbleiterkristall ab. Der Lichtstrom fällt nämlich gemäß Gleichung (2) mit steigender Umgebungstemperatur. Die Wellenlänge der LED-Emission vergrößert sich dabei jedoch um nur 1 nm je 10 K Temperaturerhöhung (Gl. (3)). Der Temperaturkoeffizient k ist vom verwendeten Halbleitermaterial abhängig und beträgt ca. $1 \cdot 10^{-2}$.

$$\Phi(T_2) = \Phi(T_1) e^{-k(T_2-T_1)} \quad \text{Gl. (2)}$$

$$\lambda(T_2) = \lambda(T_1) + (T_2 - T_1) * 0,1 \left[\frac{nm}{^\circ C} \right] \quad \text{Gl. (3)}$$

Φ = Lichtstrom der LED

T_1 = Temperatur vor dem Erwärmen der LED

T_2 = Temperatur nach dem Erwärmen der LED

λ = Hauptemissionswellenlänge der LED

k = Temperaturkoeffizient

Eine Hochleistungs-LED muß eine sehr gute innere thermische Leitfähigkeit besitzen, da bei einer Selbstaufheizung der LED die Glastemperatur der Epoxylinse (ca. 140°C) überschritten werden kann, was die LED augenblicklich zerstören würde. Doch schon bei Dauerbetriebstemperaturen oberhalb von 80°C sinkt die Lebensdauer eines LED-Chips erheblich. Ursache ist die mit steigender Temperatur gemäß Gleichung (4) rasch anwachsende Festkörperdiffusion, die zu einer Vermischung der ultra-dünnen Dotierungsschichten im pn-Übergang (junction) führt. Die LED verliert hierdurch an Effizienz. Die meist mit 100.000 Stunden angegebene Betriebsdauer einer Einzel-LED wird daher nur unter optimalen Betriebsbedingungen erreicht.

$$D = D_0 e^{-\frac{E}{kT}} \quad \text{Gl. (4)}$$

D = Diffusionskoeffizient

D_0 = stoffspezifische Konstante

E = Aktivierungsenergie

T = Temperatur (K)

Um LEDs für Beleuchtungszwecke einzusetzen, werden meist mehrere Einzel-LEDs auf einen Träger montiert. Dieser besteht in den meisten Fällen aus einer vom Aufbau her einfachen FR4-Leiterplatte (PCB, printed circuit board). LED-Devices dieses Typs werden auch als LED-Boards oder LED-Prints bezeichnet. Die Montage der Einzel-LED erfolgt dabei entweder mittels Through-Hole-Technologie (THT) oder Surface-Mount-Technologie (SMT). Bei der THT werden die LEDs mit Kontaktsteckern durch die Leiterplatte gesteckt und anschließend mit dieser verlötet. Bei der SMT hingegen wird die LED von oben auf die Leiterplatte aufgelötet oder mit einem leitfähigen Klebstoff aufgebracht. Das Leiterplattendesign muß dabei eine optimale Wärmeabgabe der Einzel-LED gewährleisten. Zu beachten sind daher:

1. großflächige Metallkontakte insbesondere um den Anodenfuß der LED
2. Lüftungsschlitze zwischen LED und PCB
3. ein bei gegebener Leiterplattengeometrie maximaler Abstand der Einzel-LEDs
4. eine thermisch leitfähige Verbindung zwischen PCB und Leuchtgehäuse

Darüber hinaus sind auch Verbindungen von Einzel-LEDs durch flexible Bänder bekannt (LED-Rail, LINEARlight FLEX etc.).

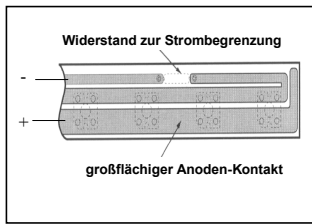


Abb. 8 Visualisierung der Design-Rules (PCB-Rückseitenansicht)

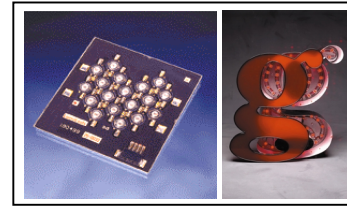


Abb. 9 Print-Modul (18 Chips) und LED-RAIL-Applikation

4. Die Klassifizierung von LEDs und LED-Devices

LEDs werden gemäß ihres Aggregationsgrades in verschiedene Klassen bzw. „level“ eingeteilt. Gemäß Abb. 10 werden in Abhängigkeit von der Zahl und Anordnung der Einzel-LEDs als auch von der Art der Ansteuerung vier LED-Klassen unterschieden:

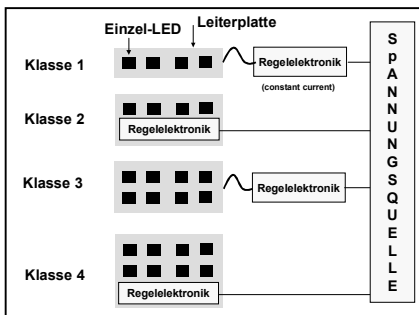


Abb. 10 Klassifizierung von LED-Prints

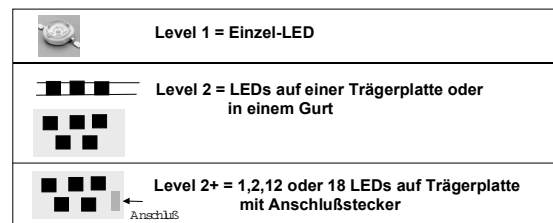


Abb. 11 Klassifizierung der Integrationsebenen (level) bei LEDs

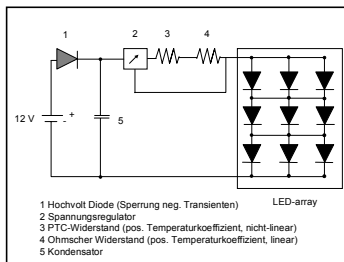
Darüber hinaus wird die Verwendung einer „level“-Bezeichnung für unterschiedliche Integrationsebenen gemäß Abb. 11 gebräuchlich:

- LEVEL 0: LED-Chip
- LEVEL 1: 1, 2 oder mehrere zusammengefügte Chips mit Anschlußverdrahtung
- LEVEL 2: Anordnung von elektrisch und thermisch miteinander verbundenen LEDs (PCB)
- LEVEL 3: PCB (wie level 2) mit Sekundäroptiken und Steuerungs-/Kontrolleinheit (Treiber)
- LEVEL 4: Ein oder mehrere Module von level 3 in einem „Gehäuse“ → komplette Leuchte

5. Die Ansteuerung von LED-Arrays

LEDs müssen mit einer für die Einzel-LED charakteristischen Betriebsspannung (V_F), die je nach Lichtfarbe zwischen 2 V und 4 V beträgt, versorgt werden. Da der absolute Lichtstrom von der Zahl der injizierten Ladungsträger abhängt, muß der Stromfluß durch die LED möglichst konstant gehalten werden (constant current mode). Abbildung 12 gibt eine preiswerte Lösung für eine Ansteuerung wieder, wie sie beim Einsatz von LEDs in der Automobilindustrie üblich ist. Der LED-Strom wird durch einen strombegrenzenden Vorwiderstand konstant gehalten. Ein zusätzlicher PTC-Widerstand, der im Vergleich zu einem Ohmschen Widerstand mit steigender Temperatur sehr viel schneller ansteigt, stellt einen effektiven Schutz gegen Überhitzung der aktiven Zone des LED-Chips dar: Ab einer von der Dimensionierung des PTC-Widerstand abhängigen Maximaltemperatur wird der

Strom durch die LED drastisch reduziert. Die Dimensionierung des strombegrenzenden Ohmschen Widerstandes ist vor allem von der internen Schaltung des LED-Arrays, der Sekundärspannung und der notwendigen Betriebsspannung der Einzel-LED bestimmt (Gl. (5)).



$$R_{Ohm} = \frac{V_{in} - yV_{in}(I_F) - V_D}{xI_F} \quad \text{Gl. (5)}$$

V_{in} = Sekundärspannung
 V_F = Betriebsspannung der LED beim Strom I_F
 V_D = Spannungsabfall der Hochvoltodiode
 x = Zahl der parallelen Verzweigung im LED-Model
 y = Zahl der in Reihe geschalteten LEDs

Abb. 12 Schema einer LED-Ansteuerung auf der Basis passiver Bauelemente

Alle großen LED-Hersteller bieten mittlerweile eigene Einheiten zur Spannungsversorgung und Regelung von LED-Modulen an. Meist kommen dabei constant-current-Regelungen auf Basis aktiver Bauelemente zum Einsatz, die eine noch präzisere LED-Ansteuerung zulassen. Als Sekundärspannungen setzten sich immer mehr 10 V, 24 V und 48 V am Markt durch.

6. LED-Produkte und Applikationsfelder

LEDs kommen heutzutage vor allem dort zum Einsatz, wo eine einfarbige Lichtquelle großer Lebensdauer benötigt wird. Dabei stehen aufgrund des im Vergleich zu Entladungslampen noch immer um den Faktor 5-10 kleineren LED-Lichtstroms Applikationen im Bereich Signaltechnik, Automotive, Kontur- und Hintergrundbeleuchtung im Vordergrund.



Abb. 13 Moderne Einsatzgebiete für LEDs
 Automobilindustrie: Bremslichter, Armaturen-Hintergrundbeleuchtung etc.
 Signaltechnik: Ampelanlagen, Positionslichter etc.

Philips Licht und Lumileds stellen dem LED-Anwender und -Leuchtenbauer verschiedene Standardkomponenten zur Verfügung. Die Produktpalette beginnt bei LED-Prints, die in fünf verschiedenen Lichtfarben und vier verschiedenen Bestückungsmodi angeboten werden.

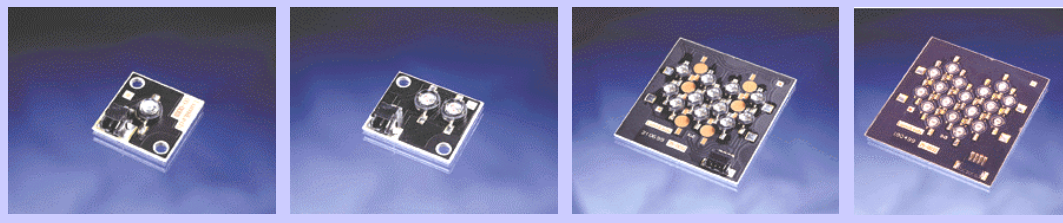


Abb. 14 Die LED-Prints werden in den Farben Rot, Bernstein, Blau, Grün und Weiß produziert. Die Bestückung besteht aus 1, 2, 12 oder 18 High-flux LEDs. (Lumileds)

Darüber hinaus sind stabförmige und kreisförmige LED-Prints mit integrierter Sekundäroptik verfügbar.

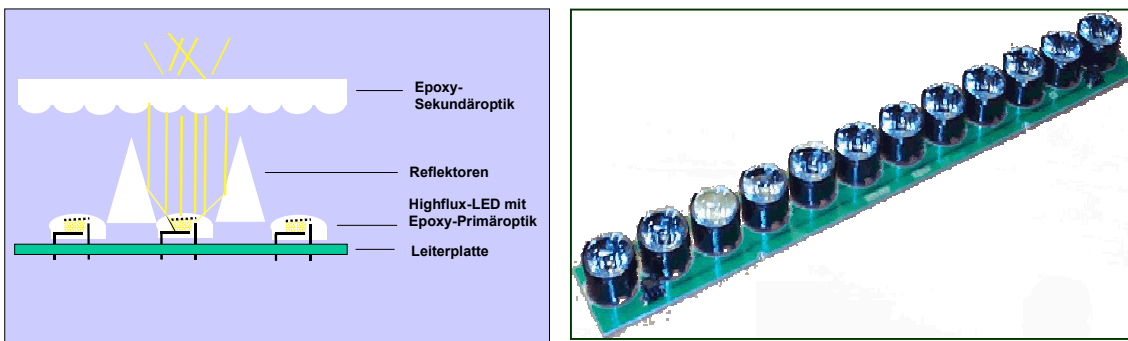


Abb. 15 Schematische Darstellung und Produktphoto eine LED-Line mit 12 High-flux-LEDs und integrierter Sekundäroptik.

Für die Anwendung in der Kontur- und Hintergrundbeleuchtung eignen sich vor allem LED-Bausteine, die einen modularen Aufbau zulassen. So stellen die Systemlösungen Chip-Strip und LED-Rail marktgerechte LED-Lösungen dar, die bereits heute in verschiedenen Projekten zum Einsatz gekommen sind. Das Chip-Strip-System besteht aus farbigen mit LEDs bestückten Polycarbonat-Röhren, die eine zuverlässige, hochwertige Konturbeleuchtung für Innen- und Außenanwendungen zulassen.

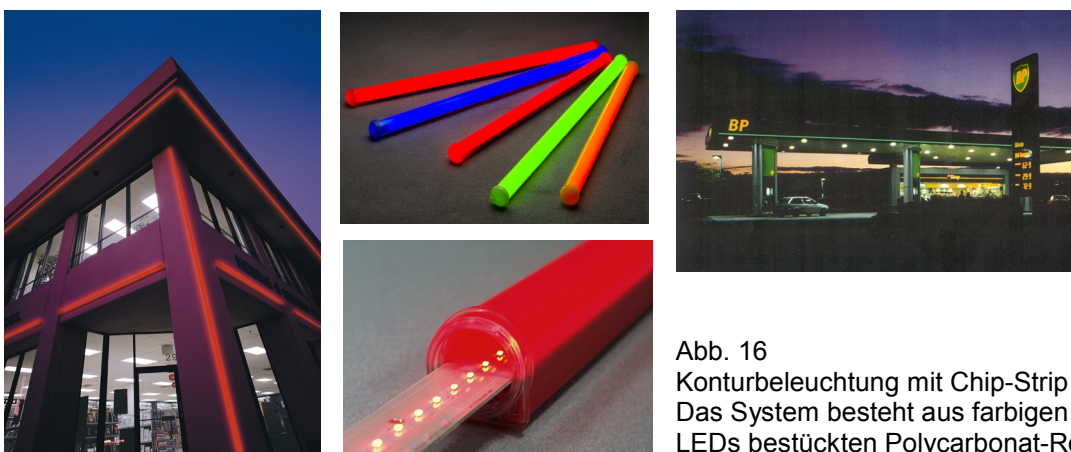


Abb. 16 Konturbeleuchtung mit Chip-Strip
Das System besteht aus farbigen mit LEDs bestückten Polycarbonat-Röhren

Das LED-Rail-System kommt hingegen vor allem in der Hintergrundbeleuchtung von Schildern und Tafeln zum Einsatz. Das flexible mit Einzel-LEDs bestückte Kunststoffband eignet sich aber auch für die Konturbeleuchtung.

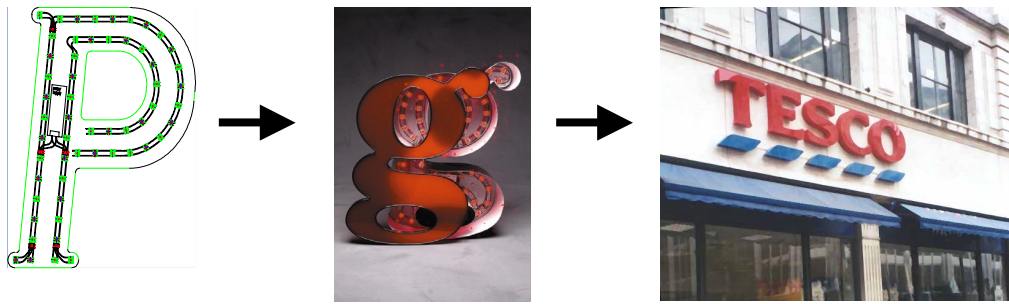


Abb. 17 Buchstabenhinterleuchtung mit LED-Rail
Das flexible LED-Band eignet sich optimal für variable Hintergrundbeleuchtung

7. Ausblick

In den nächsten Jahren wird die LED-Technik durch die weitere Steigerung der Lichtausbeuten verstärkt auch in den Bereich der direkten Beleuchtung vordringen. Schon heute sind im Labormaßstab weiße LEDs mit Lichtausbeuten oberhalb von 30 lm/Watt und einer Farbwiedergabe von $R_a > 80$ bei einer Farbtemperatur von 4000 K realisiert worden. Dem Lichtplaner eröffnen sich dadurch in den nächsten Jahren viele interessante neue Gestaltungsmöglichkeiten.

Bibliographie

Bücher

- [1] Nonclassical light from Semiconductor Laser and LED, Kim, J. / Somani, S. / Yamamoto, Y *Springer Verlag* Berlin, 2001.
- [2] Grundlagen der optoelektronischen Halbleiterbauelemente, H.-G. Wagemann/A. Schmidt *Teubner Verlag* Heidelberg, 1998.
- [3] Laser – Grundlagen, Systeme, Anwendungen, J. Eichler, H.-J. Eichler, *Springer Verlag* Berlin 1991.
- [4] Halbleiter-Optoelektronik, M. Bleicher, *Hüthig Verlag* Heidelberg 1986.
- [5] Optoelektronische Halbleiterbauelemente, R. Paul, *Teubner Verlag* Heidelberg 1985.

Sonstige Literatur

- [6] www.lumileds.com, application notes.
- [7] Leuchtdioden – eine neue Dimension in der Leuchtentechnologie, *Elektrowirtschaft*, 8, 2000, S. 38-45.
- [8] Another Semiconductor Revolution: This time it's lighting, *Compound Semiconductors* 6(2), 2000, S. 34-37.
- [9] LEDs and displays Data Book 1996, Temic Semiconductors.

Keine halben Sachen Einsatz von LED's als Leuchtmittel in Rettungszeichenleuchten

Dr.-Ing. Achim Willing
Dr. Ing. Willing GmbH
Schonathstr. 4
96110 Schesslitz

Gebäudetechnik und Gebäudeausstattung unterliegt einem stetigen Wandel. Bauingenieuren und Architekten werden ständig neue Elemente an die Hand gegeben, mit denen moderne Bauwerke geschaffen und innovativ gestaltet werden können.

Da dies heutzutage mehr denn je unter dem Aspekt nicht ausufernder Kosten geschehen muss, treten hier zu weil Probleme auf. Es werden neue Entwicklungen und Produkte eingesetzt, die zum Teil nicht die nötige Marktreife haben und für den späteren Nutzer sogar Gefahren in sich bergen können.

Anhand der Rettungszeichenleuchten, Bestandteil der Sicherheitsbeleuchtung in Gebäuden, lässt sich gut aufzeigen, wie eine zu schnelle Markteinführung von unausgereiften Produkten zu Zuständen führt, die nicht dem Stand der heutigen Sicherheitstechnik entsprechen. Dass, obwohl eigentlich davon ausgegangen werden sollte, dass „learning by doing“ hier nicht der richtige Weg ist.

Rettungszeichenleuchten – die prinzipiell aus einem grün/weißen Bildzeichen und einer Lichtquelle bestehen – findet man in den meisten öffentlichen Gebäuden und Versammlungsstätten. Für viele Gebäude, wie z.B. Krankenhäuser oder große Veranstaltungsstätten, sind sie durch Richtlinien und Verordnungen /1/ vorgeschrieben.

Qualitätsunterschiede gab es bei diesen Leuchten schon immer - Qualität bezogen auf das Innenleben der Leuchten, die Elektronik sowie das Leuchtmittel, bezogen auf die Lichttechnik, bezogen auf das Design und die Fertigungsgüte.

Für alle Leuchten gelten allerdings die gleichen Vorschriften, wobei die lichttechnischen Anforderungen nach DIN EN 1838, ehemals DIN 5035-5, und DIN 4844 /2/ darüber entscheiden, ob eine Leuchte ihren Zweck erfüllt, Personen in Gefahrensituationen sicher aus den betroffenen Bereichen herauszuleiten. Rettungszeichenleuchten müssen diese Anforderungen erfüllen, wenn sie entsprechend der Arbeitsstätten-Richtlinie, den Landesbauordnungen oder den Vorschriften der Berufsgenossenschaften etc. in Deutschland zum Einsatz kommen sollen.

Lichttechnische Anforderungen an Rettungszeichenleuchten

geforderte Helligkeit	geforderter Kontrast
<ul style="list-style-type: none">• mittlere Leuchtdichte $\geq 200 \text{ cd/m}^2$ bei Netzbetrieb – dadurch ist die Auffälligkeit des Rettungszeichens in heller Umgebung gesichert• mittlere Leuchtdichte der Sicherheitsfarbe $\geq 2 \text{ cd/m}^2$ bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung – die dunkle Umgebung lässt diese verminderte Zeichenhelligkeit zu	<ul style="list-style-type: none">• von 1:5 bis 1:15 zwischen der grünen Sicherheitsfarbe und der weißen Kontrastfarbe

Neben den lichttechnischen Aspekten sind natürlich die elektrotechnischen Aspekte sowie das eingesetzte Leuchtmittel von großer Relevanz. Bei der Wahl des Leuchtmittels sind bedingt durch die hohen Betriebszeiten einer Sicherheitsbeleuchtungsanlage (ein Jahr entspricht 8.760 Stunden bei 24 h Betrieb) folgende Punkte von großer Bedeutung:

- a) der Stromverbrauch,
- b) die Leistungsaufnahme des Leuchtmittels während des Notbetriebs in bezug auf die richtige Dimensionierung des Batteriepaketes (insbesondere bei Einzelbatterieleuchten)
- c) die Lebensdauer, die die Häufigkeit des Austauschs des Leuchtmittels bestimmt.

Auf der Suche nach Alternativen bieten sich mit dem Vorteil der sehr geringen Bauteilgröße Leuchtdioden (LED) an. Lichtströme von bis zu 40 lm/W für weiße LED werden in den nächsten Jahren erwartet, wobei heute ca. 15 lm/W gängig sind. Durch die relativ hohe Lebensdauer der LED kann das personalintensive und damit kostspielige Austauschen der Leuchtmittel stark reduziert werden kann.

Einsatz typischer Leuchtmittel in der Notbeleuchtung im Vergleich zu LED

	Lichtausbeute in lm/W	Lebensdauer in h
1 Glühlampe à 40 W	10	ca. 1.000
1 Leuchtstofflampe à 8 W	50	ca. 7.500
ca. 40 LED à 0,1 W	15 ¹⁾	50.000 bis zu 100.000 ²⁾
¹⁾ Stand heute, erwartet 40 lm/W /3/ ²⁾ nur bei Beachtung aller Betriebsparameter		

Diese Aussagen zu den erzielbaren Lichtströmen und zu den hohen Lebensdauern der LED gelten aber nur dann, wenn die Betriebsparameter streng beachtet werden.

Hier sieht die Praxis leider anders aus. Es werden Leuchten angeboten, die mit der Innovation und allen Vorteilen der LED als Leuchtmittel beworben werden, die aber bei weitem nicht die lichttechnischen Anforderungen erreichen. So liegt die mittlere Leuchtdichte für das Rettungszeichen bei Netzbetrieb meist weit unter dem geforderten Wert von 200 cd/m², weiterhin werden die Gleichmäßigkeiten der Piktogrammflächen meist nicht erreicht sowie der erforderliche Kontrast der grünen zur weißen Fläche wird selten erfüllt. D.h., die notwendige Auffälligkeit des Rettungszeichens und die damit verbundene schnelle Orientierung ist nicht gewährleistet – die Information des Rettungszeichens kann innerhalb der eigentlichen Erkennungsweite nicht wahrgenommen werden.

Auch die zu erwartende hohe Lebensdauer der LED wird nicht erreicht. Durch hohe LED-Betriebsströme, um die Lichtleistung der LED zu steigern, und die daraus resultierende hohe Betriebstemperatur ist davon auszugehen, dass die Lebensdauer der LED dramatisch sinkt. Nur durch gezielte Maßnahmen können sehr hohe Lebensdauerwerte erreicht werden.



Willing LED-Leuchte

Die Dr. Ing. Willing GmbH hat entsprechend der Firmenphilosophie „keine halben Sachen“ anzubieten eine LED-Leuchtenfamilie entwickelt, die alle Vorteile der neuen Leuchtmittel – eine hohe Lebensdauer sowie die kompakte Bauweise – umsetzt, aber dabei nicht das eigentliche Ziel, die Sicherheit der Gebäudenutzer, aus den Augen verliert. Bestehende lichttechnischen Anforderungen einschlägiger Normen und Vorschriften werden erfüllt. Auf der Intel in Mailand und ELTEC in Nürnberg konnte diese Leuchtenfamilie vorgestellt werden. Mit diesen Leuchten werden dem Architekten Rettungszeichenleuchten an die Hand gegeben, die sich durch klares Design in jede Umgebung einbinden lassen und gleichzeitig ihren Beitrag zum kostenbewusstem Gebäudemanagement leisten.

/1/ ASR, VBG, Landesbauordnungen

/2/ DIN EN 1838, DIN 4844

/3/ Lumileds - Vortrag Licht 2000

Metamorphosen des Lichts in der Meß- und Simulationspraxis

Wladimir Jordanow, ILEXA GbR, Langewiesener Str. 16, 98693 Ilmenau, www.ilexa.de

1 Einleitung

Die Strahlung ist eine der Erscheinungsformen der Energie und befindet sich in ständiger Wechselwirkung mit der Materie. Dabei unterliegen alle ihren Parameter einer ständigen Veränderung. Diese kann auch die Umwandlung in anderen Energieformen beinhalten. Umgekehrt, im Ergebnis eines solchen Energieumwandlungsprozesses, gibt die Materie überall Strahlung frei. Obwohl für uns nicht immer offensichtlich, bestimmen diese Metamorphosen unsere Evolution und einige wichtige Lebensbereiche. Ihre Auswirkung, sowie die Notwendigkeit einer adäquaten Berücksichtigung bei der Gestaltung von Technologie und Technik wird nachfolgend diskutiert.

Ogleich wir immer von Strahlungsenergie umgeben sind, nehmen wir sie kaum wahr, da unser Körper nur in der Lage ist, Strahlung aus einem Teil des Spektrums bewußt zu empfinden. Die Strahlung aus anderen Bereichen muß mittels Instrumenten nachgewiesen werden. Unsere Augen sind lichtempfindliche Empfänger, die zwar die Umwelt auf die Netzhaut abbilden, die aber relativ unempfindlich gegenüber Temperaturstrahlung (Infrarot-Strahlung) sind. Unsere Haut ist ein Empfänger für Temperaturstrahlung, aber kein guter. Die Haut kann keine Bilder von warmen oder kalten Oberflächen aufnehmen, es sei denn, die Wärmestrahlung ist sehr groß. Im kurzwelligigen UV-Strahlungsbereich merkt man erst mit einer Erythemwirkung, daß die Haut auch für diese Strahlung aufnahmefähig ist. Es ist daher verständlich, wenn unsere Vorstellung von der Strahlung intuitiv auf das sichtbare Licht reduziert wird.

2 Problemstellung

Die wesentlichen Informationen aus der Umwelt nimmt man überwiegend über optische Reize auf. Die Reduzierung der umgebenden Strahlung auf ihre wahrnehmbare Anteile ist zunächst eine ausreichende Betrachtungsweise. Schwierigkeiten erfährt man erst dann, wenn auf solch simple Art die Problematik der Licht- und der optischen Strahlungsanwendung für industrielle, technische Zwecke behandelt wird. Besonders bei technischen High-End-Anwendungen, wo die Technologiepro-

zesse immer komplizierter und tiefgreifender werden, kommt man mit einer unvollständigen Deutung der stattfindenden physikalischen Erscheinungen nicht weiter. Neben vielen meist unproblematischen Fällen alltäglicher Beleuchtungspraxis, die die Lichttechniker intuitiv betrachten dürfen, gibt es oft technische Situationen aus der industriellen Strahlungsanwendung, die erst nach einer einheitlichen gesamtstrahlungstechnischen, bzw. gesamtphysikalischen Betrachtung zu bewältigen sind.

3 Beispiele

Der Umgang mit komplizierten, High-End-Anlagen, bei denen optische Strahlung angewendet wird, hat zwei wesentliche Aspekte:

- *Konzipierung, Entwurf und technische Dimensionierung der Anlagen*
- *Betrieb und (wenn erforderlich) Darstellung/“Visualisierung“ der Ergebnisse*

Der zweite Aspekt ist schnell erläutert. Die Medien und die Tagespresse überhäufen uns ständig mit faszinierenden Bildern aus Forschung, Wissenschaft und Industrie. Nicht zuletzt weil sie alle visueller Art sind, bekommt man schnell konkrete Vorstellung von sonst ungeahnten Erscheinungen und Prozessen (Abb.1).



Abb. 1: Unterschiedliche Techniken der wissenschaftlichen Photographie

In der Reihenfolge von o.l. nach u. r.:

- Mikrographie von Vitamin C-Kristallen mit polarisiertem Licht, zwei Kirlian-Photographien aus der Biologie, endoskopische Aufnahme einer Arterie, (scannende) Elektronenmikroskopische Aufnahme der Epithelschicht, Gamma-Scann-Bild von der menschlichen Hand, Infrarot-Bild eines Schriftstückes, UV-Bild der Sonne, IR-Thermographie einer Katze, IR-Photo einer Naturlandschaft

Diese Beispiele liefern jeweils bildliche Eindrücke aus der Natur, Biologie, Physik, und von Wechselwirkungserscheinungen zwischen verschiedener Strahlung und Materie. Sie sind mit Hilfe von Geräten erzeugt worden, die nach bestimmten Regeln und Verfahren den detektierten Messsignalen/Messbildern aus unterschiedlichsten Spektralbereichen der elektromagnetischen und der optischen Strahlung eine Art „fotographische“ (visuelle) Bilder zuordnen. Diese Bilder liefern primäre Information über die stattfindenden Prozesse. Deshalb sind ihre Qualität und ihre Eindeutigkeit entscheidend für das Maß des Informationsgehaltes, den sie uns übermitteln. Es gibt zusätzliche Bildverarbeitungs-/Bildanalyseverfahren, die ein Maximum an Informationsgehalt aus solchen Bildern gewinnen können. Dies kann allerdings zum Thema einer weiteren Diskussion werden.

Der erste der o.g. Aspekte - die Frage der Konzipierung, Dimensionierung und des Entwurfs technischer Bestrahlungs- und anderer Anlagen, die optische Strahlung verwenden, ist an dieser Stelle viel interessanter. Obwohl man sich nach wie vor auf die Intuition verlassen kann, dürfen hier die entscheidenden Dimensionierungsschritte nicht nach subjektiv-visuellen Beurteilungen, sondern ausschließlich anhand objektiver messtechnischer Daten vorgenommen werden. Dabei müssen alle Spektralbereiche der auftretenden Strahlung unbedingt mitberücksichtigt werden. Verschiedene Anwendungsbeispiele verdeutlichen die Problematik.

Die Einheit von Strahlung und Wärme ist ein Problem, das man nur durch ein tiefes Verständnis der physikalischen Zusammenhänge und mit Hilfe fortgeschrittener Technologien und technischer Tricks bekämpfen oder umgehen kann. Man versucht immer die Technologien maximal auszureizen, bis an die Grenzen des physikalisch Machbaren vorzudringen, und erzielt trotzdem oft nur Teilerfolge:

- Zelluloid-Filme ertragen die Temperaturbelastung nur, wenn sie bewegt werden
- auf Grund zu hoher thermischer Belastung besitzen dichroitische Schichten an Kaltlichtspiegeln oft eine kürzere Lebensdauer als die Lampen selbst
- Angaben zur Lebensdauer von Speziallampen oder von LED-Prototypen beinhalten kaum Aussagen über die Zeitkonstanz der lichttechnischen Parameter

Bei einer konkreten Betrachtung der Dimensionierungsschritte für eine Bewitterungssimulationsanlage für die Kfz-Industrie und für eine mit LEDs bestückten Kfz-Signalleuchte, kann man die angesprochenen Probleme noch besser verstehen. Zunächst machen die völlig unterschiedliche Nutzungsspezifika und die Anforderungen an den jeweiligen Betrieb diese Beispiele scheinbar unvergleichbar. Dagegen trifft das Problem einer starken Temperaturabhängigkeit der lichttechnischen Parameter einzelner Anlagenkomponenten für beide Fälle gleichermaßen zu. Nicht aus-

reichend berücksichtigte, negative thermische Auswirkungen und Rückkopplungserscheinungen können den Betrieb der Anlage stören oder verhindern. In beiden o.g. Fällen können Situationen entstehen, in denen die Anlagenkomponenten thermisch extrem belastet werden.

Aus verschiedenen, nicht zuletzt aus Kostengründen, werden in großen Bewitterungssimulationsanlagen Standardprodukte wie z.B. die marktüblichen Metall-dampf-Gasentladungslampen verwendet. Zu ihren technischen Parametern liegen Herstellerangaben vor, die aber nur für Labor- oder vergleichbare Betriebsbedingungen zutreffen. Um eine Materialbewitterung zu erreichen, werden der Anlagenspezifik entsprechend, lichttechnische Leistungspakete eingebaut, die klimatechnisch Wüstenbedingungen im Prüfraum erzeugen. Eine ganze Reihe zulässiger Grenzwerte der Betriebsbedingungen werden deutlich überschritten. Ein normaler Betrieb der verwendeten Einzelkomponenten ist damit nicht gegeben. Die enorme Rückkopplung, die zwischen dem Innenraum und dem Rest der Anlage entsteht, beeinflusst entscheidend den Betrieb aller Anlagenbauteile, d.h. auch der eingebauten Lampen und Leuchten. Sie werden ständig unter Bedingungen betrieben, für die sie nicht konzipiert worden sind, die sogar auch für begrenzte Zeit als Härte-test für die Prüflinge gelten. Die gesamte Anlage selbst unterliegt damit einem Dauerprüf-test.

Wie dimensioniert man solche Anlagen? Was sollte unbedingt schon in der Konzeptphase berücksichtigt werden? Einige wichtige Gesichtspunkte sind:

1. Die verfügbaren lichttechnischen, radiometrischen, spektralradiometrischen Parameter der Lampen und Leuchten beruhen auf Messungen einzelner Bauteile, die unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Die realen Betriebsbedingungen später sind mit diesen nicht vergleichbar. Die Funktionstüchtigkeit aller lichttechnischer Komponenten soll unter den realen Bedingungen erneut überprüft werden, gegebenenfalls sollen die dann relevanten lichttechnischen Parameter neu gemessen, oder rechnerisch ermittelt werden.
2. Die betriebsbedingte (Material-)Alterung aller Prüfraumbestandteile, sowie der Lampen und Leuchten liegt oft deutlich höher als angenommen. Wegen Materialermüdung ändern wichtige, an der Energieverteilung teilhabende Teile, ihre Eigenschaften (wie z.B. die spektralen Reflexionseigenschaften) extrem. Man sollte gegenläufige Änderungstendenzen gegeneinander ausspielen um die Gesamtverluste für die Anlage minimal zu halten.
3. Bei einer installierten Leistung von mehreren 10kW und einer vergleichbaren Verlustleistung entstehen Temperaturen, die zu einer enorm gesteigerten Strahlungsemission im gesamten Prüfraum führen. Seine Innenfläche soll deswegen

schon zur Entwurfsphase als ein zusätzlicher Graustrahler betrachtet werden. Durch die Eigenemission kann die örtliche Strahlungsenergieverteilung in der Prüfkammer und insbesondere ihre spektrale Zusammensetzung entscheidend verändert werden.

4. Die thermische Rückkopplung des Prüfraumes und die gegenseitige Beeinflussung belastet die Lampen bis an ihre physikalischen Grenzen. Die Rückkopplung erfolgt hier hauptsächlich durch Rückstrahlung. Oft versucht man aus mehreren Gründen den Lampenbetrieb elektronisch zu dimmen. In der Realität wird dadurch die spektrale Zusammensetzung und damit auch die Energie der Strahlung zusätzlich verändert. Insbesondere werden dadurch wesentliche UV-Strahlungsanteile vernichtet. Bei einer zu groben spektralen Veränderung der Strahlung wird die vorschriftsmäßige Durchführung der Bewitterungstests unmöglich. Die Frage der tatsächlichen Lampenlebensdauer bleibt oft unbeantwortet.

5. Eine aktive Raumklimatisierung/Belüftung kann hilfreich sein, verteuert aber die Anlage und schafft zusätzliche Probleme. Nicht zu vernachlässigen ist die Gefahr einer Kondensbildung, besonders, wenn auch die Leuchten davon betroffen sind. In dieser Hinsicht versprechen Spezialbeschichtungen eine Abhilfe.

6. Die Dimensionierung einzelner, stationärer Betriebszustände ist nicht immer ausreichend. Die Berücksichtigung der spezifischen Anlagendynamik und die Prozeßrückkopplung muß oft einbezogen werden.

Wendet man sich nun dem Dimensionierungsfall einer mit LED-bestückten Kfz-Signallichtanlage (Blink- o. Bremslicht) zu, findet man sich neben den vollkommen abweichenden lichttechnischen Problemen und Anforderungen, sehr bald bei einer ähnlichen thermischen Problematik wie vorhin wieder. Obwohl nach modernster und präzisester Technologie entwickelt und gebaut, sind LED's in vieler Hinsicht immer noch sehr empfindlich, besonders gegen Beeinflussungen thermischer Art. Der wichtigste Unterschied zum vorhergehenden Beispiel ist, daß hier eine thermische Rückkopplung mehr über Wärmeleitung im Material und nicht so sehr über Rückstrahlung erfolgt. Da die LED-Strukturen zu kleine Abmessungen besitzen, benötigen sie oft beträchtlich größere Kühlkörper um überhaupt stabil funktionieren zu können. Dies betrifft insbesondere Leistungs-LED's, die immer öfter verwendet werden.

Mit einem Hinweis auf die dazugehörige Posterpräsentation möchte man an dieser Stelle aus Platzgründen auf eine ausführliche Erläuterung der Dimensionierungsfrage von Kfz-Signalleuchten verzichten. Einen wichtigsten Hinweis darf man aber trotzdem den Lesern nicht vorenthalten. Ein wesentlicher Vorteil der LED's ist ihre einfache dynamische Steuerbarkeit. Auch deswegen sind alle Herstellerangaben zu

technischen Parametern in Form von Diagrammen gegeben. Dort werden die Parameterwerte in ziemlich weiten Variationsgrenzen dargestellt (Abb. 2), was nicht gerade die einfache Handhabung unterstützt. Oft entscheidet die geeignete LED-Wahl, ob die Anlage für die konkrete Anwendung überhaupt damit "dimensionierbar" ist.

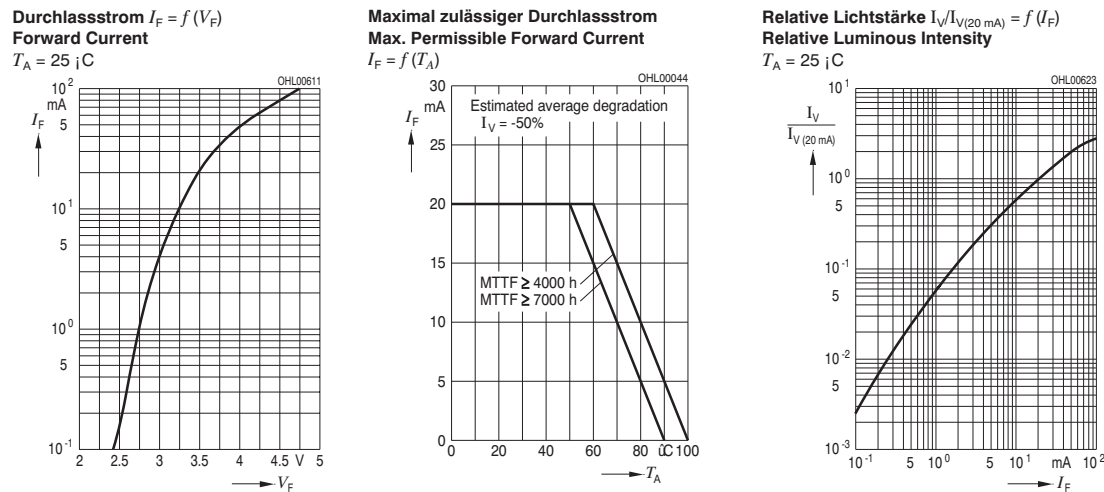


Abb. 2: Parameterdiagramme einer LED
(starke Temperaturabhängigkeit der Werte)

Die Wahl von geeigneten Startparametern für eine Dimensionierungsberechnung hängt stark von der Erfahrung des Bearbeiters ab und orientiert sich logischerweise stark an empfohlenen Standardwerten. Auch nach einer abgeschlossenen Dimensionierungs-/Entwurfsphase darf auf die meßtechnische Überprüfung des Prototyps nicht verzichtet werden. Alle wesentlichen Parameter müssen daraufhin geprüft werden (die Temperaturparameter an erster Stelle!), ob und wie gut sie im realen Betriebszustand der Anlage mit den zur Dimensionierung verwendeten Parameterwerten übereinstimmen. Wenn dies nicht der Fall ist, können auf Dauer die lichttechnische Anforderungen nicht zufriedenstellend erfüllt werden. Oft scheitern sonst lichttechnisch gut dimensionierte Kfz-Leuchten an den harten Qualitäts-, Bewitterungs- und sonstige Belastungstests der Automobilindustrie. Eine Abhilfe zur sinnvollen Dimensionierung kann eine iterative Dimensionierungsstrategie in einer abwechselnden Folge von Meß- und Simulationsschritten /4/ schaffen. Die Verfügbarkeit der notwendigen Meßtechnik (Abb. 3) ist natürlich eine Grundvoraussetzung. In Ilmenau sind eine solche Technik und das dazugehörige Know-How vorhanden.

Meßtechnische Ausstattung an der TU Ilmenau



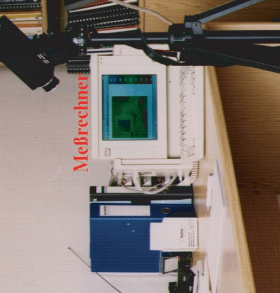
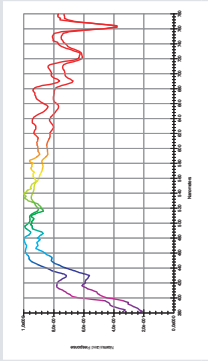
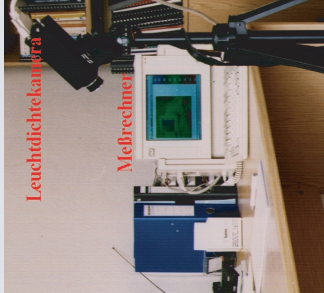
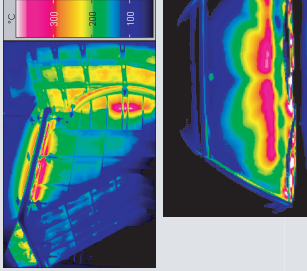

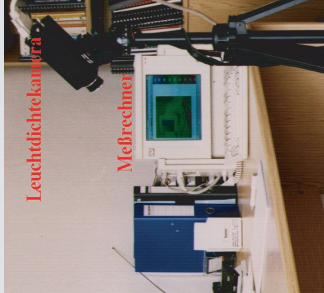
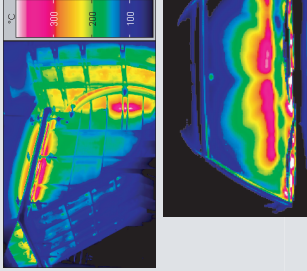
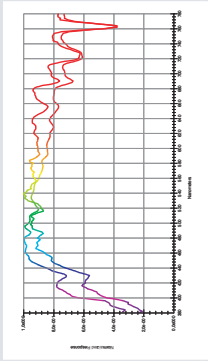
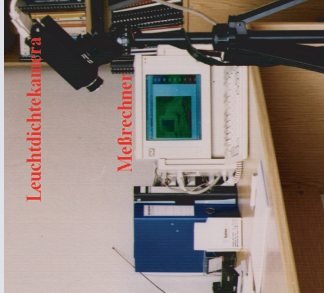
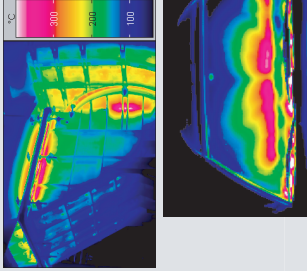
<p>Spektrometer Spectrascan 750 (PhotoResearch)</p>	<p>Leuchtdichtekamera LMK 2000 (TechnoTeam)</p> <p>Leuchtdichteanalysator (TU Ilmenau)</p>	<p>IR-Thermografiesystem VarioScan (InfraTec)</p>
		
		
		
		

Abb. 3: Das lichttechnische Labor der TU Ilmenau ist mit modernster Meßtechnik ausgestattet

4 Zusammenfassung

Es gibt keine pauschale Lösung zur Dimensionierung von technischen Bestrahlungsanlagen, sondern vielmehr geeignete Werkzeuge und die dazugehörige Praxiserfahrung. Ein Werkzeug im klassischen Sinne ist ein Hilfsmittel, das es ermöglicht oder erleichtert, gewisse Routinearbeiten zu verrichten. Entscheidend ist es, daß bei der Bedienung des Werkzeugs Geschicklichkeit und Erfahrung eine wichtige Rolle spielen.

In Bezug auf die Simulationstechnik sind Computerprogramme die Werkzeuge, die Routinearbeiten im Prozeß der Modellierung und der Simulation abnehmen, wenn sie sachgerecht bedient werden. In der Regel wird dieser Prozeß nicht durch ein Programm allein, sondern durch eine Kombination von Werkzeugen und Abläufen unterstützt.

Bei der Modellvalidierung besteht noch ein großes Defizit, weshalb die meisten Simulationen nur ansatzweise validiert werden. Sehr wichtig ist das Problem des Modellabgleichs mit Meßdaten des realen Systems. Hierzu gibt es viele Forschungsergebnisse, aber kaum fertige Lösungen mit Werkzeugcharakter.

Literatur

- /1/ Siegel, R.; Howell, J. H.; Lohrengel, J.:
Wärmeübertragung durch Strahlung. Teil 1, Teil 2, Springer-Verlag Berlin, 1988
- /2/ Modes, M. F.:
Radiative Heat Transfer. McGraw-Hill Series In Mechanical Engineering,
McGraw-Hill, Inc., 1993
- /3/ Jordanow, W.; Jordanowa, S.:
Problemanalyse und Lösungsansätze für spezielle technische Beleuchtungsaufgaben. 4. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs,
24. bis 26. 9. 1999, Dörfeld/Ilm
- /4/ Jordanow, W.:
Dimensionierung und Qualitätsüberprüfung technischer Bestrahlungsanlagen.
14. Gemeinschaftstagung der lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands,
der Niederlande, Österreichs und der Schweiz, 20.-22. September 2000,
Goslar
- /5/ Jordanow, W.:
Dimensionierung und Qualitätsüberprüfung technischer Bestrahlungsanlagen.
6. Symposium der DAfP. 14.-15. Mai 2001, Stuttgart

Variability ellipses for memory colour matching

Peter Bodrogi and Tünde Tarczali

Laboratory of Colorimetry and Multimedia, University of Veszprem, 10 Egyetem St, H-8200 Veszprem
Bodrogi@almos.vein.hu

Abstract. In this paper, memory colour matching was studied in a psycho-physical experiment on a computer-controlled monitor. Observers had to memorise an original colour, and then, after several seconds, mix it again by using their memory. The resulting colour often differed from the originals. Results suggest that observers use colour prototypes to remember the original colour. These colour prototypes are already existing ones or they are being built during the current experimental session. The size of the memory matching ellipses was an order of magnitude greater than the size for simultaneous matching.

1. Introduction

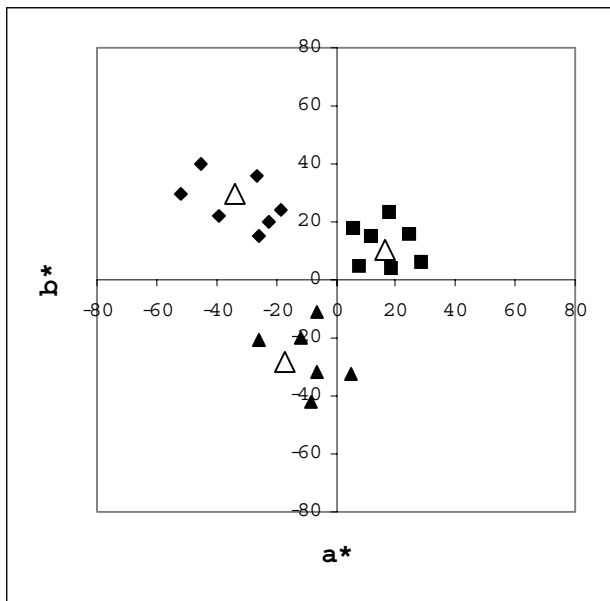
MacAdam's ellipses[1] characterise the precision of simultaneous colour matching. Often, observers do not see the variable colour together with the constant colour that has to be matched. Instead, they have a memory matching task i. e. they have to memorise the constant colour (i. e. the so-called *original colour*[2-3]). Then, after a given time interval (usually several seconds), they have to vary a colour patch to represent their memory colour. In a previous study[3], variability ellipses that characterise memory colour matching have been obtained. In that study, three types of original colour were investigated: sky, Caucasian skin, and plant colours in *randomly chosen* different shades. As one observer saw one original colour only once, that ellipses depicted inter-observer variability characterizing the agreement of the different observers. The observers' mean memory colour findings were usually different from the original colour. So-called *memory shifts* occurred toward a colour interval containing a colour prototype or, in other words, a prototypical colour[4] of a given type (sky, Caucasian skin, or plant). The aim of the present work was the investigation of three types of *systematically chosen* original colours: blue sky, Caucasian skin, and green grass (in the following: sky, skin, and grass) without image context[2], i. e. by observing standalone colour patches in a memory matching task. Involving observers who repeated each memory matching several times we obtained intra-observer variability ellipses for memory colour matching in an a^*-b^* plane of the CIELAB space. The position of the centre, the size, and the elongation of these ellipses characterise memory shifts and memory accuracy. The dependence of these parameters on the original colour is expected to yield further details on how human colour memory functions.

2. Method

In the present work, original colours (i. e. the ones that have to be memorised by the observer, see above) were *no more randomly chosen*. But, for sky and skin, Bartleson's[5] long-term memory colours, and for grass, a median colour from the authors' previous study[3] have been picked out as a "primary" original colour. "Primary" original colours were intended to represent a colour prototype for a given type (sky, skin, or grass). In addition, six (for sky) or seven (for grass and for skin) other original colours have been selected around the primary original at *regular* distances from it in the a^*, b^* diagram. The original colour was the only coloured patch on a grey background on the monitor. Observers had to memorise the original colour. Then, after 4s, they had to mix-up their memory colour on the same colour patch by using three slides of the standard windows user interface. Mixing-up was done on the same grey background. Thus, by observing and by mixing, the viewing situation was the same. Therefore, we can expect that a significant difference between the original colour and the colour found by the observer will be due to "cognitive" effects like the influence of prototypical colours[3]. The reference white ($x=0.334$; $y=0.319$, $Y=87$ cd/m²) was always present in the image as a thick border. The colour patch was a 2cm x 1cm rectangle, seen by the observer from 60cm. The uniform colour patch was separated from its grey background by a black frame. The luminance of the grey background was always the

same as that of the colour patch. Each of the 5 observers watched each original colour 6 times. So there were $5 \times 6 \times 23 = 690$ memorisations with mixing-up altogether. The 6 repetitions for each original colour have been as far away from each other as possible. Following presentation sequence was used: grass-1 (first trial), skin-1 (first trial), sky-1 (first trial), grass-2 (first trial), skin-2 (first trial),,, sky-8 (6th trial). Figure 1 shows the 23 original colours projected to the CIELAB a^* - b^* plane.

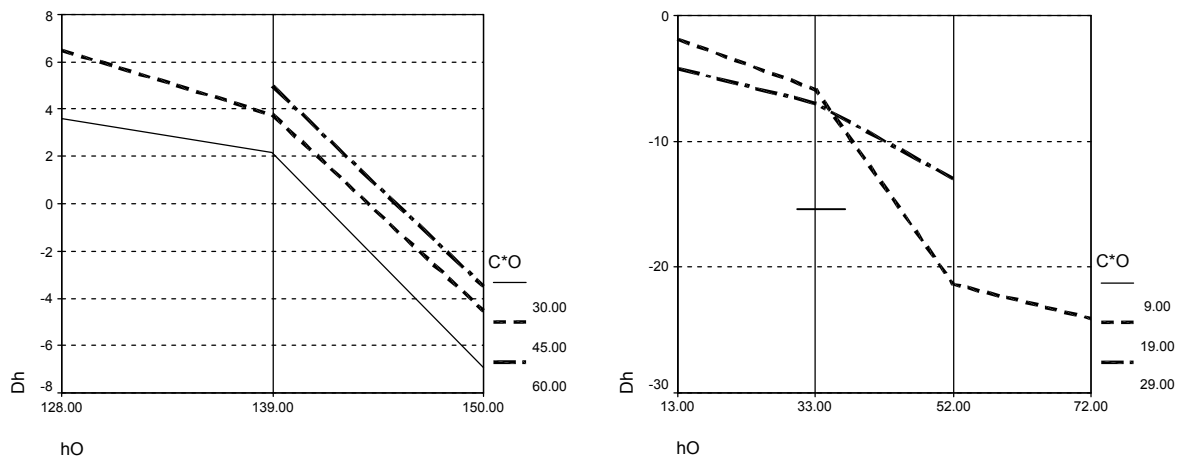
Figure 1. Original colours. 8 green grass (diamonds, for each one, $L^*=50$), 8 Caucasian skin (squares, for each one, $L^*=79.5$), and 7 blue sky (triangles, for each one, $L^*=54$) shades. Open triangles depict "primary" original colours.



3. Results and Discussion

The memory shifts have been characterised by the mean CIELAB ΔL^* , ΔC_{ab}^* and Δh_{ab} differences for each of the 23 original colours. All mean differences have been calculated by subtracting the observed value from the original colour. Means have been calculated by taking all 5 observers times 6 observations into account. Typical tendencies are shown in Figure 2 where the mean differences are depicted as functions of the CIELAB hue angle (h_{ab0}) of the original colour.

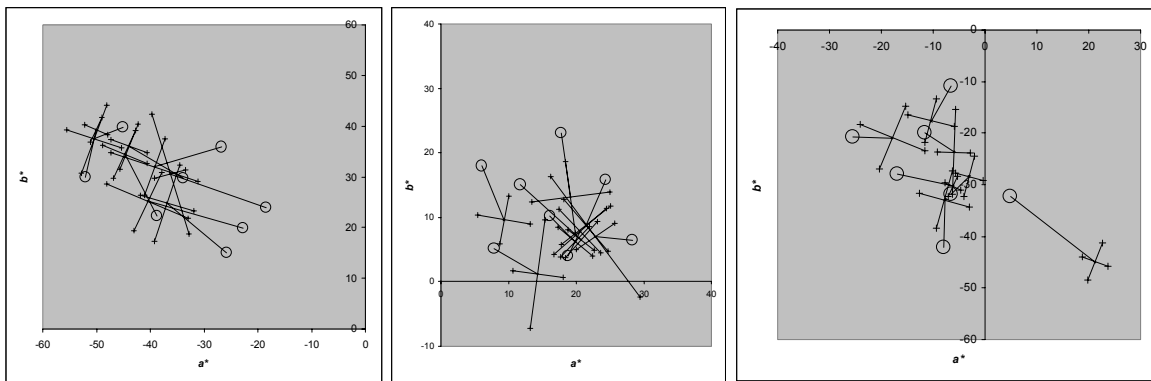
Figure 2. Mean memory shift in terms of the CIELAB Δh_{ab} difference. Two typical tendencies as examples. The CIELAB hue angle of the original colours is on the abscissa, given in degrees. Left: $\Delta h_{ab}(h_{ab0})$ with C_{ab0}^* as a parameter for the eight original colours of green grass; right: the same for Caucasian skin.



As can be seen from Figure 2 (left), the mean CIELAB hue angle difference Δh_{ab} is positive for the "green grass" original colours with $h_{abO}=128^\circ$ and with $h_{abO}=139^\circ$ and negative for $h_{abO}=150^\circ$. A positive Δh_{ab} value means a memory shift toward unique green and a negative Δh_{ab} value means a memory shift toward unique yellow. Thus, for the three original colours with more unique green ($h_{abO}=150^\circ$), observers tend to remember a hue containing more unique yellow. And, for the two original colours with more unique yellow ($h_{abO}=128^\circ$), observers tend to remember a hue containing more unique green. As can be seen from Figure 2 (right), the mean CIELAB hue angle difference Δh_{ab} is always negative for the "Caucasian skin" original colours. This means a memory shift toward unique red. This tendency was stronger for the original colours containing more unique yellow, e. g. $h_{abO}=72^\circ$. Above tendencies can be explained by the fact that memory shifts are directed toward prototypical colours[3].

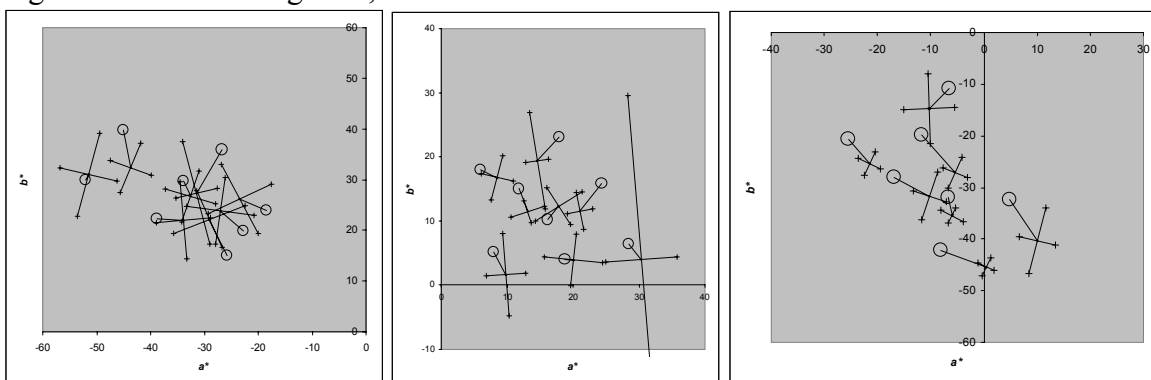
Intra-observer variability ellipses for memory colour matching have been constructed in a^* - b^* planes of the CIELAB space. The results of observer No. 4 are depicted in Figure 3.

Figure 3. Intra-observer variability ellipses (represented by their axes) for memory colour matching. Observer No. 4. Left: "green grass", middle: "Caucasian skin", right: "blue sky". Open circles: original colours, large crosses: major and minor axes of the ellipses, small crosses: axis endpoints. Memory shifts are indicated by the lines connecting the open circles and the middle of the large crosses.



As can be seen from Figure 3, memory shifts from the original colour are often significant. In addition, ellipses seem to congregate at certain colours on the a^* - b^* diagram. This is an experimental evidence for the development of a new colour prototype (i. e. a new long-term memory colour) during the observation session. Another observers' results are depicted in Figure 4.

Figure 4. Similar to Figure 3, but for observer No. 1.



Comparing Figure 4 with Figure 3, the trend is similar for "green grass" (left) except that the colour prototype i. e. the congestion point of the ellipses on Figure 4 is a less saturated green than for Figure 3. Prototype building is less explicit in the middle diagram of Figure 4. This means that different persons may have different processes. Comparing the right diagrams of Figures 3 and 4

("blue sky"), observer No. 1 seems to use a blue-purple "built-in" prototype as his memory shifts are directed to the right i. e. toward blue and purple. "Built-in" means a long-term memory colour that already existed before the session. Observer No. 1 (an informatics student) volunteered a written text as a remark about his method of solving his memory matching task: "I was able to mix those colours much easier than I could associate with certain objects, e. g. green colours with the packing paper of my favourite chocolate or with my green turtle, rose with "Barbie" puppet or with chewing gum, greenish-yellow with military equipment or clothes, blue with Windows 98 background or with the background of the old Commodore 64 computer. Based on this, I used a little more greyish and yellowish shades to mix the original colours memorised." Concerning the size of the memory matching ellipses, they are at least an order of magnitude greater than MacAdam ellipses. There are considerable ellipsis size differences among observers. This means that some subjects are able to reproduce the colours more regularly than others.

Conclusion

In this paper, memory colour matching was studied in a psycho-physical experiment on a computer-controlled monitor. Observers had to memorise an original colour, and then, after several seconds, mix it again by using their memory. The resulting colour often differed from the originals. Results suggest that observers use colour prototypes to remember the original colour. These colour prototypes are already existing ones or they are being built during the current experimental session. The size of the memory matching ellipses was an order of magnitude greater than their size for simultaneous matching.

Acknowledgement

One author (P. B.) would like to acknowledge the support of the Bolyai János Research Scholarship.

Literature

- [1] Wyszecki G, Stiles WS. *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and formulae*, Second Edition. New York: John Wiley and Sons; 1982, 950 p.
- [2] Bodrogi P. Berücksichtigung kognitiver Einflüsse bei den Farbtransformationen von Bildern. *Proc. Lux junior '99*, p. 183-188, Dörfeld/Ilm, 1999.
- [3] Bodrogi P, Tarczali T. Colour Memory for Various Sky, Skin, and Plant Colours: Effect of the Image Context. *Color Res. Appl.* 26/4, pp. 278-289, 2001.
- [4] Yendrikhovskij SN, Blommaert FJJ, de Ridder H. Color reproduction and the naturalness constraint. *Color Res. Appl.* 24, pp. 52-67, 1999.
- [5] Bartleson CJ. Memory colors of familiar objects. *JOSA* 50, pp. 73-77, 1960.

Mathematical Models for the Colorimetric Characterisation of AM LCD Flat Panel Monitors

Peter Bodrogi, Bálint Sinka, and Tamás Ondró

Laboratory of Colorimetry and Multimedia, University of Veszprem, 10 Egyetem St, H-8200

Veszprem

Bodrogi@almos.vein.hu

1. Introduction

The first active-matrix liquid crystal display[1,2] (AM-LCD) was produced in 1972. Today, they are generally used in many displays applications like projection devices and desktop monitors. Their widespread use raises the question of whether they are suitable for the colorimetrically accurate display of colour stimuli, and, if so, what kind of mathematical model can be used to characterise them. Characterisation means the prediction of the CIE X, Y, Z tristimulus values of the colour stimuli displayed on the monitor from their r, g, b digital colour counts (or DAC values) in the computer controlling the monitor. If the monitor is not suitable for accurate colour display or it is suitable but poorly characterised then colour distortions may occur that lead to incorrect decisions in systems where the correct identification of coloured images is essential, like in medical applications. Currently, two main problems of AM LCD colorimetry have been identified: 1. The RGB primaries of AM LCD monitors are not constant. They shift in the CIE x, y chromaticity diagram with increasing DAC values. This is called colour tracking[3-4]; and 2. The surface of AM LCD monitors is not a Lambertian radiator and it is unknown whether the directional colour uniformity of its colour stimuli is visually acceptable.

In this work, the spectra of 84 small colour patches representing a typical commercial desktop AM LCD monitor's colour gamut have been measured in the middle of the screen by the aid of a luminance type spectrometer. Tristimulus values have been predicted by using 5 different mathematical models for characterisation, including the use of different look-up-tables, and the "tanhyp" function. The colour differences between the measured and the predicted values have been analysed.

In addition, the spectra of 7 colours (peak white W; R, G, B peak primaries, and their combinations C, M, Y) have been measured in 17 different positions (including the middle point) of a large colour patch on the display. Colour differences between the middle point and the other positions have been analysed. This analysis shows what colour fidelity the user can expect by viewing the whole colour image.

The results will show 1. which characterisation model is the best and 2. whether the surface of the chosen typical AM LCD desktop monitor is suitable for accurate and directionally uniform colour display.

2. Method

First, the spectra of the single colour channels R, G, and B have been measured for each of the following DAC values: $r, g, b = 0, 5, \dots, 55, 60, 63$ (3x14 characterisation measurements). These measurements were the basis for the estimation of the characterisation model parameters. Then the spectra of 42 colours have been measured to control the accuracy of the colours predicted based on the characterisation measurements (42 control measurements). These control colours are listed in Table 1. The DAC value $x = 63$ corresponds to the maximal value of each colour channel.

Table 1. Control colours

DAC		
<i>r</i>	<i>g</i>	<i>b</i>
<i>x</i>	0	0
0	<i>x</i>	0
0	0	<i>x</i>
<i>x</i>	<i>x</i>	0
<i>x</i>	0	<i>x</i>
0	<i>x</i>	<i>x</i>
<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>

$x = 10, 20, 30, 40, 50, 63$

From each of the 42 measured control colour spectra, the tristimulus values X_m , Y_m , and Z_m have been calculated, and then, in turn, the CIELAB L_m^* , a_m^* , b_m^* values, and the u_m' , v_m' values on the CIE 1976 UCS diagram. The index m is associated with the control colours. These colour variables have also been calculated based on the 5 mathematical characterisation models, starting from the results of the characterisation measurements: X_c , Y_c , Z_c , L_c^* , a_c^* , b_c^* , u_c' , and v_c' . The index c is associated with these calculated prediction values. Then, for each of the 5 models, 42 chromaticity differences $\Delta u'v'$ and 42 colour differences ΔE_{ab}^* have been calculated between the 42 control colours and the colours predicted from their DAC values by a model. According to the standard[5], the colour display can be considered accurate if $\Delta u'v' < 0.02$. For ΔE_{ab}^* , this value was considered to be equal 5 by the authors. Following models were considered: 1. 3x3 LUT, 2. 1LUT, 3. 1LUT fitted, 3x3 LUT fitted, and, just for the sake of comparison, a widely used standard CRT model, sRGB[6].

1. *3x3 LUT model*. Here, the X, Y, Z tristimulus values of the single colour channels are measured at certain DAC values, in this paper at 0, 5, ..., 55, 60, and 63. Thus 3x3 so-called measured channel function LUTs are obtained: $X_R(r)$, $X_G(g)$, $X_B(b)$, $Y_R(r)$, $Y_G(g)$, $Y_B(b)$, $Z_R(r)$, $Z_G(g)$, and $Z_B(b)$. $X_c(r, g, b)$, $Y_c(r, g, b)$, and $Z_c(r, g, b)$ is then obtained by

$$\begin{aligned} X_c(r, g, b) &= X_R(r) + X_G(g) + X_B(b), \\ Y_c(r, g, b) &= Y_R(r) + Y_G(g) + Y_B(b), \text{ and} \\ Z_c(r, g, b) &= Z_R(r) + Z_G(g) + Z_B(b). \end{aligned}$$

with e. g. linear interpolation between the individual channel function LUT points, if necessary. Above calculation presumes channel independence[7]. This requirement is usually met for AM LCD monitors.

2. *1-LUT model*. Here, the size of the LUT is reduced by re-scaling each of the 3x3 LUTs with LUT=1 at DAC=63, and then calculating an average LUT value (called 1LUT) from these re-scaled 3x3 LUTs for each DAC value. Then, the LUT values have to be multiplied by a so-called "peak" matrix P , with the X, Y, Z values for DAC=63, for each colour channel R, G, B:

$$(X_c, Y_c, Z_c) = P (1LUT(r), 1LUT(g), 1LUT(b))$$

3. *1LUT fitted model*. A function is fitted to the 1LUT of the previous model by using the least-square estimate method. In this way, the characterisation procedure is further simplified. Following function was used which is a transformed "tanhyp" function:

$$f(x) = a * [th [b * (x-c)] + l] + d$$

Here x is a DAC value, and a , b , c , and d are constant parameters to estimate from the 1LUT. For the AM-LCD monitor measured in this paper, following values have been obtained: $a=0,5322$; $b=0,0494$; $c=51,877$; and $d=0,5179$. After applying the same function $f(x)$ to the three DAC values r , g , and b , the resulting triad have to be multiplied by the same peak matrix P as in the previous method.

4. *3x3 LUT fitted model*. Here, 3x3 functions of the type $f(x)$ are fitted to the 3x3 LUTs of the 1st method, with different a , b , c , and d parameters. Table 2 contains the numeric values of these parameters for the AM-LCD monitor measured in this paper.

Table 2. Estimated parameters of the fitted $f(x)$ functions of model 4.

	f_{Xr}	f_{Yr}	f_{Zr}	f_{Xg}	f_{Yg}	f_{Zg}	f_{Xb}	f_{Yb}	f_{Zb}
a	64.125	34.752	3.186	46.144	81.198	16.801	26.524	24.734	126.344
b	0.0591	0.0592	0.0657	0.0616	0.0618	0.0651	0.0349	0.0326	0.0352
c	49.0645	48.949	40.409	46.063	45.573	41.708	70.342	77.317	69.319
d	62.696	34.351	4.391	45.121	78.437	17.266	24.329	23.083	112.427

$X_c(r, g, b)$, $Y_c(r, g, b)$, and $Z_c(r, g, b)$ is then obtained in the same way as in the 1st model, by assuming channel independence.

5. *sRGB model*. This model[6] was included just for the sake of comparison for the case of a user attempting to predict the monitor colours by this widely available standard designed for CRT monitors.

3. Results and Discussion

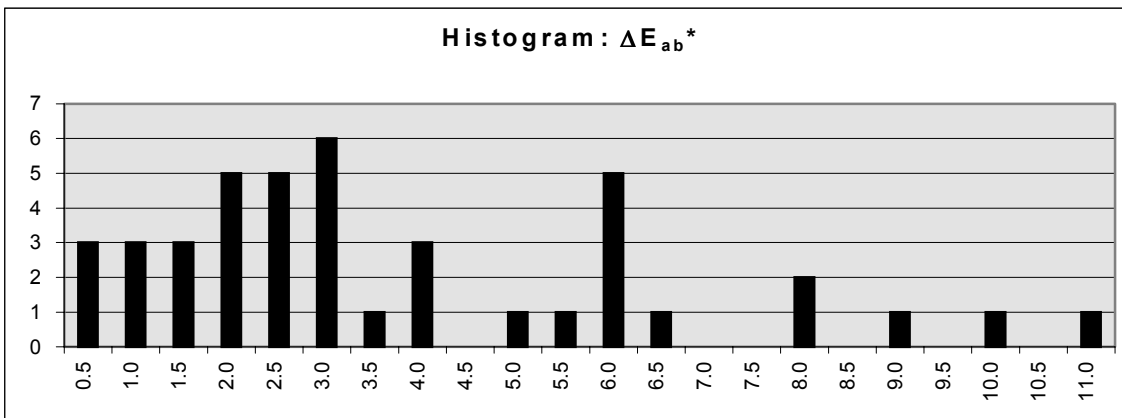
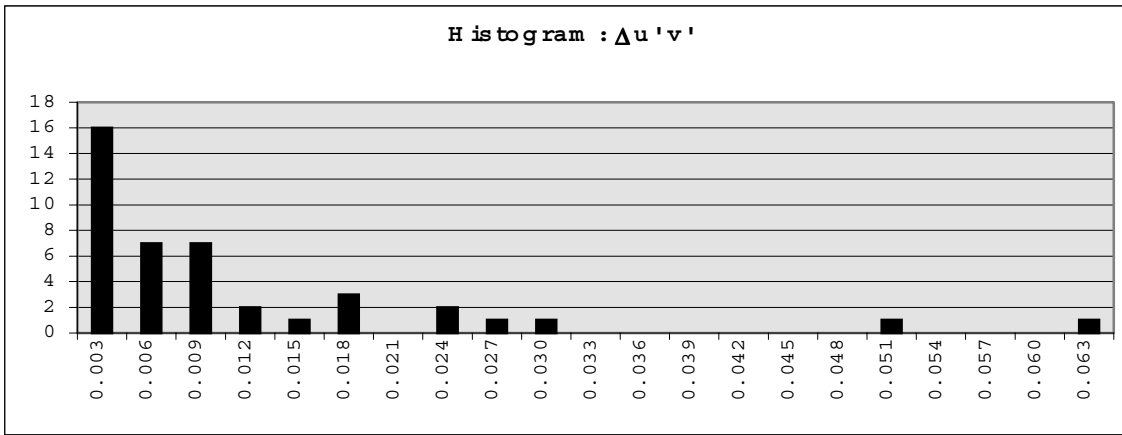
Table 3 lists the means and standard deviations (STDs) of the 42 chromaticity differences $\Delta u'v'$ and 42 colour differences ΔE_{ab}^* that were calculated between the 42 control colours and the colours predicted from their DAC values by using a model.

Table 3. Means and STDs of the 5 models' chromaticity differences and colour differences. Histograms are depicted in Figure 1.

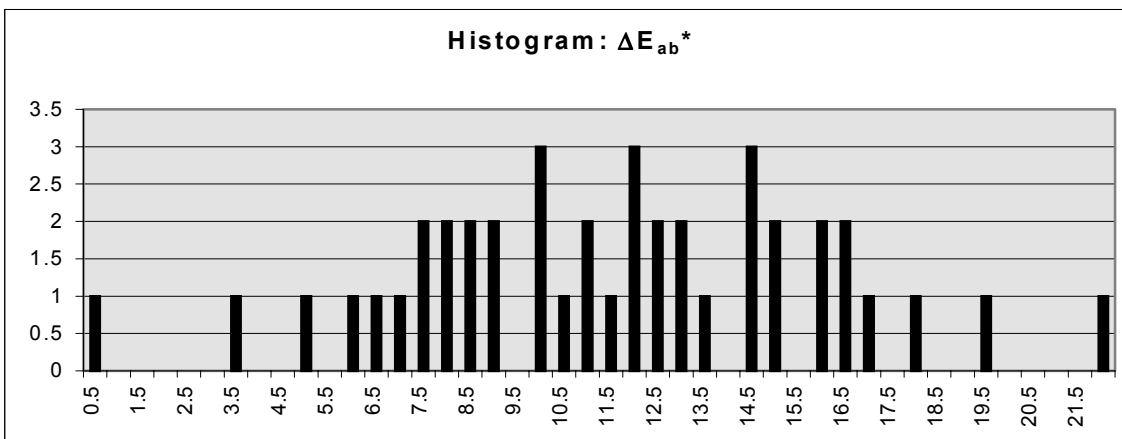
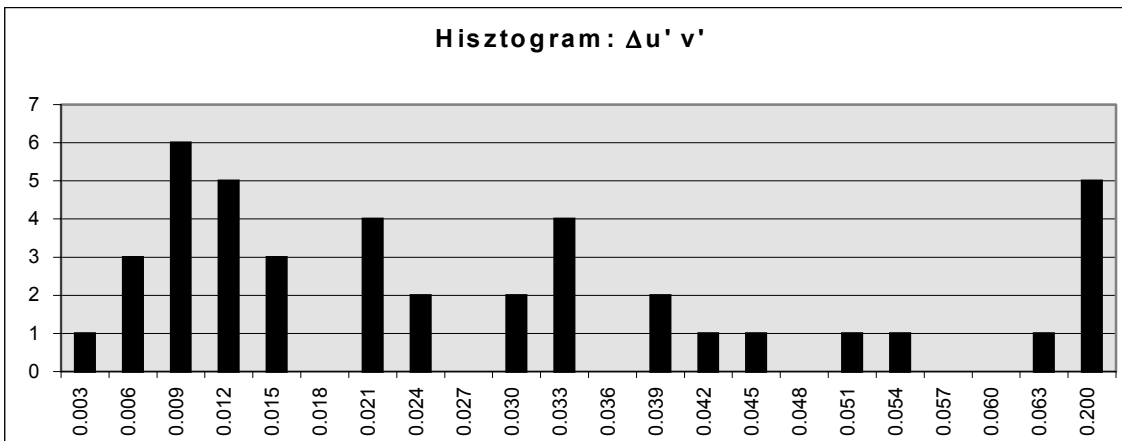
Model No.	$\Delta u'v'$		ΔE_{ab}^*	
	Mean	STD	Mean	Std. deviation
1: 3x3LUT	0.0094	0.0127	3.5	2.6
2: 1-LUT	0.0296	0.0288	11.3	4.4
3: 1-LUTf	0.0263	0.0250	10.2	3.8
4: 3x3LUTf	0.0107	0.0142	3.3	2.3
5: sRGB	0.0454	0.0361	21.8	11.7

$\Delta u'v'$ and ΔE_{ab}^* histograms corresponding to the mean and STD values of Table 3 are shown in Figure 1. The number of cases in a difference interval is on the ordinate and the difference intervals are on the abscissa. The length of the $\Delta u'v'$ intervals is usually 0.003, and the length of the ΔE_{ab}^* intervals is usually 0.5, except sRGB (5th model) where their length is 0.005 and 1, respectively.

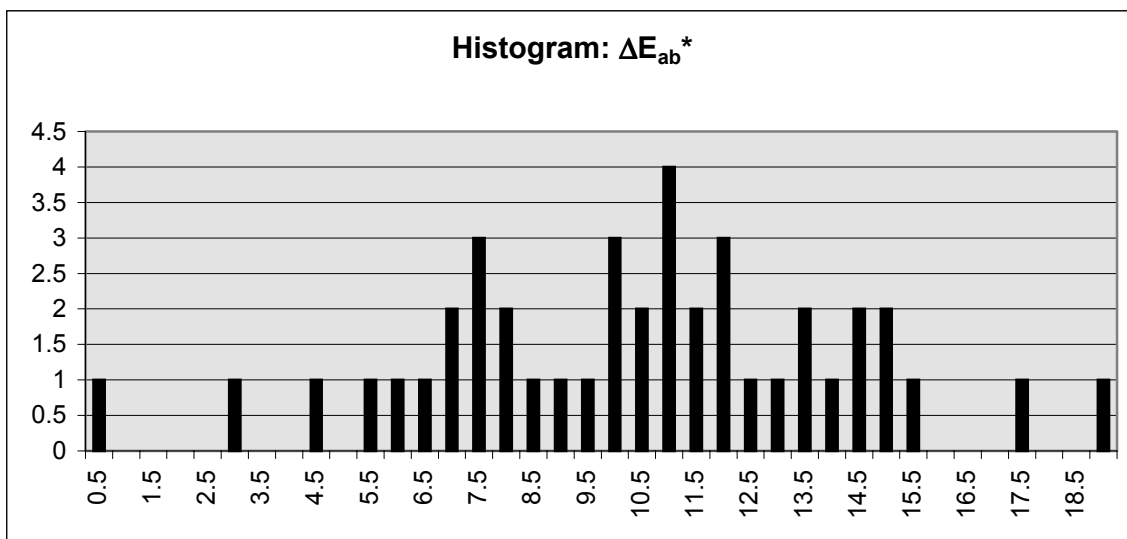
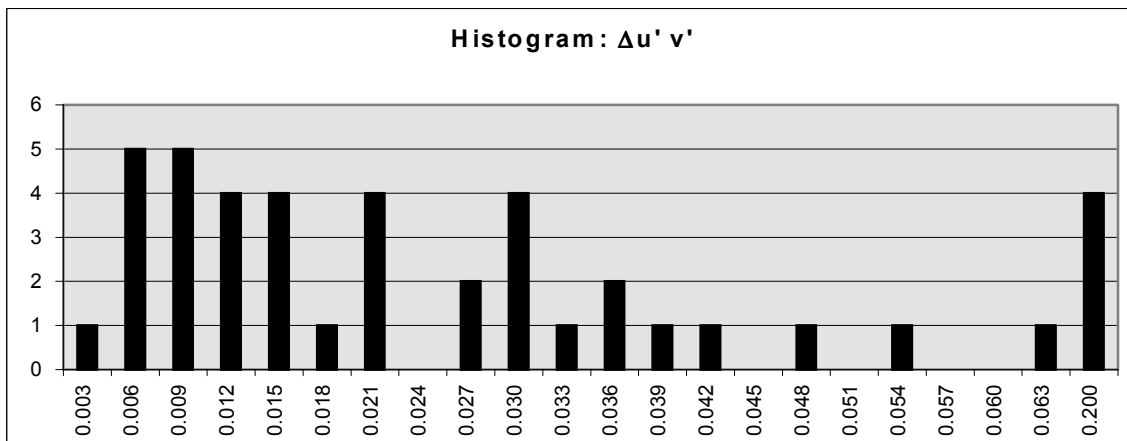
Figure 1. $\Delta u'v'$ and ΔE_{ab}^* histograms corresponding to the mean and STD values of Table 3.
1st model - 3x3 LUT



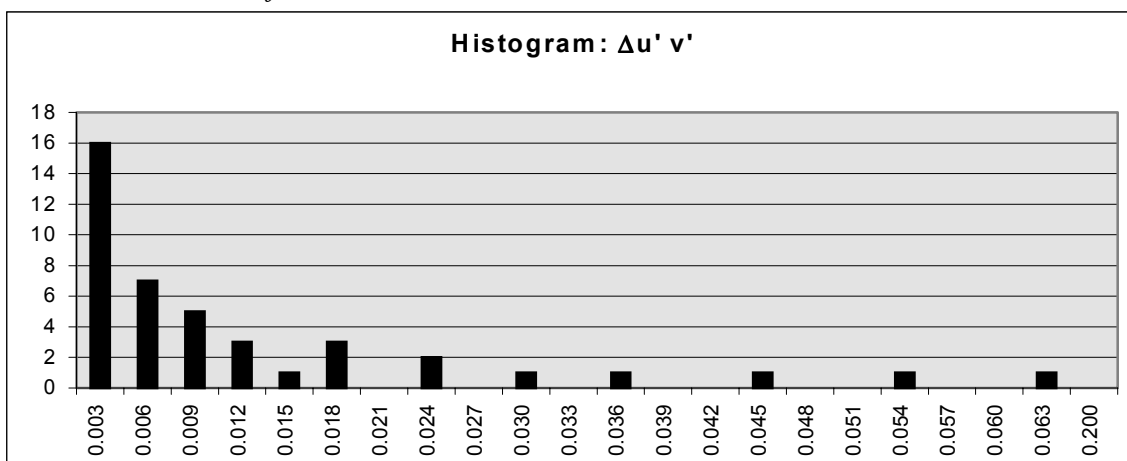
2nd model - 1-LUT

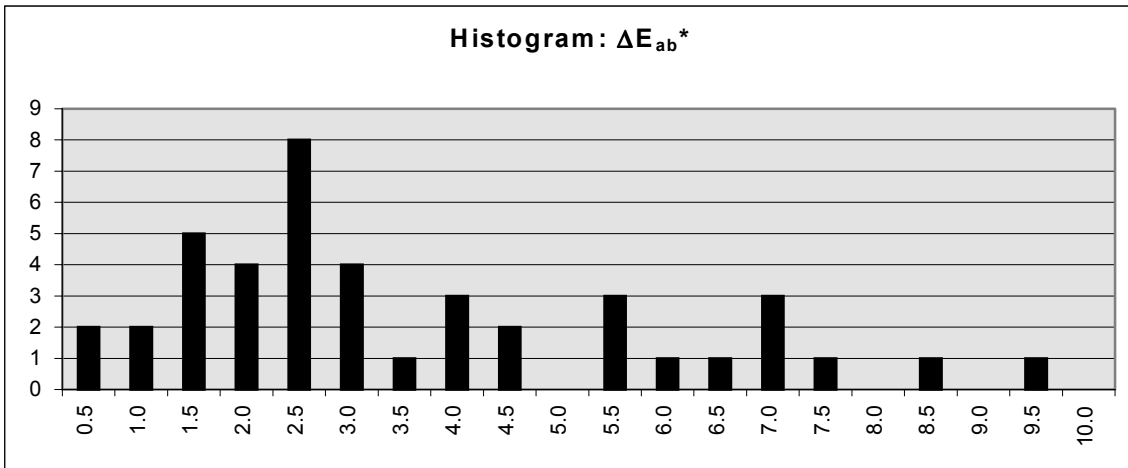


3rd model - 1LUT fitted

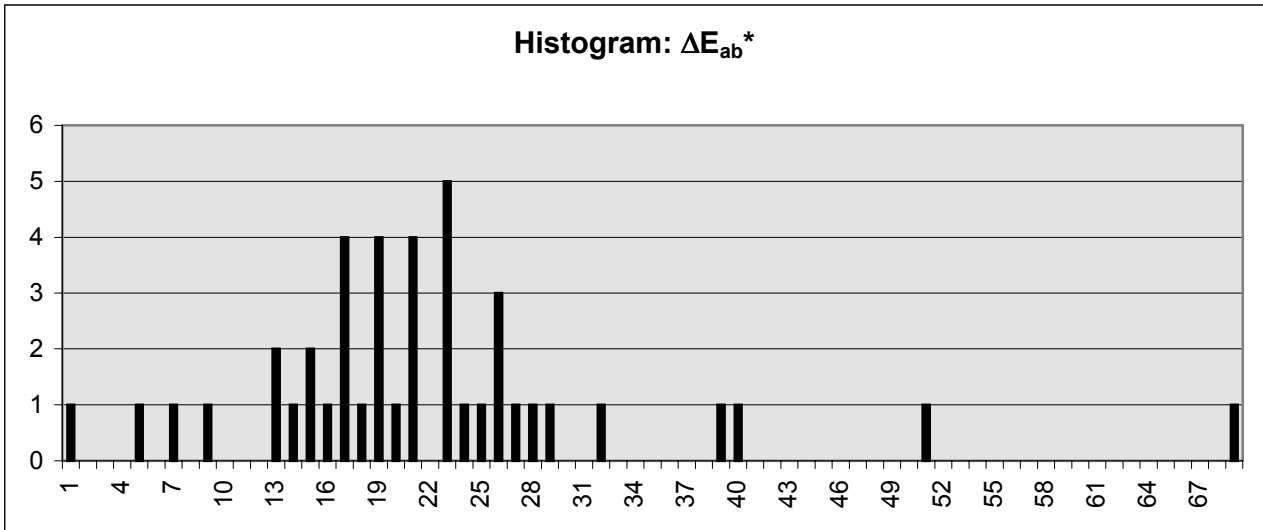
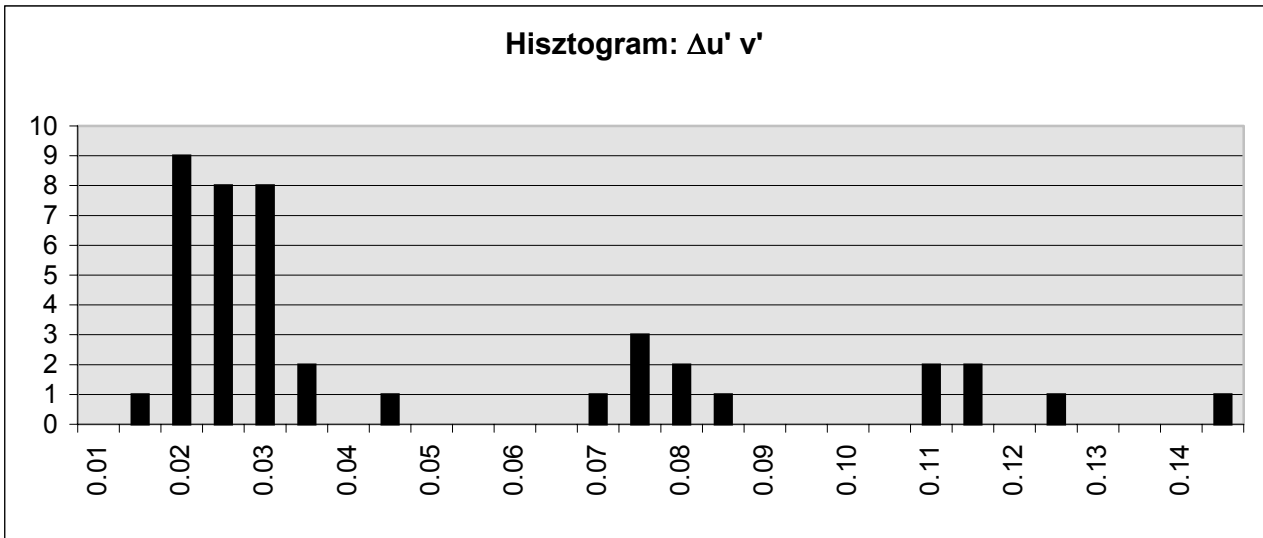


4th model - 3x3 LUT fitted





5th model - sRGB



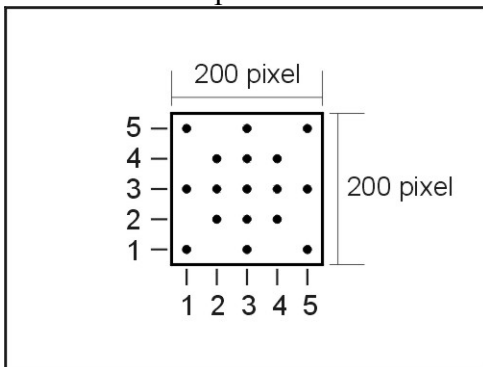
Following can be seen from Table 3 and from Figure 1: Models 1 (3x3LUT) and 4 (3x3 LUT fitted) performed best. For the models 2, 3, and 5, $\Delta u'v'$ and ΔE_{ab}^* values are larger than required. This means that it is worth measuring and using 3x3 LUTs i. e. separate channel functions for each tristimulus value and for each colour channel. The reason is the so-called colour tracking i. e. the chromaticity instability of the RGB primaries by changing their DAC value. For small DAC values, primaries are de-saturated. Fitting 3x3 "tanhyp" functions to the 3x3 measured channel functions in

model 4, does not reduce accuracy. So the use of model 4 is recommended, with 36 parameters to approximate the channel functions (see Table 2). As expected, model 5 (sRGB) performed worst as its channel function was designed for CRT monitors and not for the "s"-shaped LCD transmission-voltage curve[1]. A pilot study indicated that a 3x9 matrix method similar to the one described [3] provides promising colorimetric accuracy. This is now being investigated.

4. Angle-of-view dependence

Even viewing perpendicularly and from the same point, by sitting in front of the LCD monitor, the same colour stimulus may be variously perceived in different parts of the screen because the AM LCD monitor is not a Lambertian surface. These colour differences are probably small but if they are not, then the monitor will not be suitable for colorimetrically accurate colour display. Therefore, on the same AM-LCD monitor, the magnitude of the chromaticity differences has been measured between different parts and the middle of the screen. The entry lens of the spectrometer was always at the same position and the direction of its optical axis was changed to image the actual part of the large colour patch. This was intended to reproduce a typical visual observing task. The 17 measuring points can be seen in Figure 2. This figure shows the 640x480 pixel screen and the 200x200 pixel colour image in the middle of the screen. In Figure 2, the centre of the image has the co-ordinates (3,3).

Figure 2. Test for the angle-of-view dependence of the displayed colours. The colours were measured in the points indicated in the Figure.



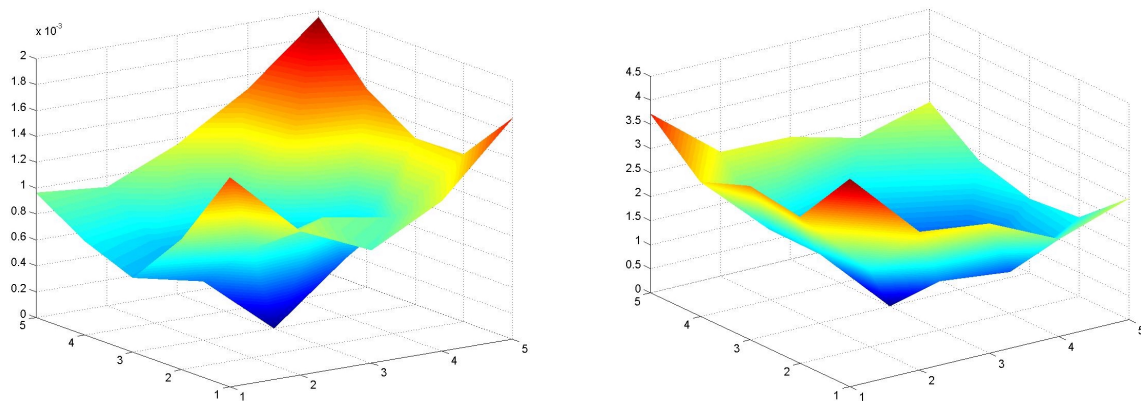
7 colours were measured in each point: peak white W; the R, G, B peak primaries, and their combinations C, M, Y. $\Delta u'v'$ and ΔE_{ab}^* values between the centre and each point have been calculated. Mean results for each colour can be seen in Table 4. Even the maximum value is below the required value (0.02 and 5).

Table 4. Mean colour differences for angle-of-view dependence.

Mean	R	G	B	C	M	Y	W
$\Delta u' v'$	0.0012	0.0005	0.0024	0.0012	0.0012	0.0009	0.0010
ΔE_{ab}^*	1.8	1.8	2.4	1.8	2.1	2.1	2.0

Chromaticity and colour differences of the white colour (W) are plotted against the position on the screen in Figure 3a and 3b.

Figure 3. Chromaticity and colour differences of the white colour (W) plotted against the position on the screen.



Acknowledgement

One author (P. B.) would like to acknowledge the support of the Bolyai János Research Scholarship.

References

- [1] Vladimir G. Chigrinov, Liquid Crystal Devices: Physics and Applications, Artech House, Boston, London, 1999.
- [2] Stanford Resources, Inc., Flat Panel Display Handbook - Technology Trends and Fundamentals, 1999.
- [3] Tsai Ch-Y, Liaw M-J, Shieh H-P D. Color Reproduction of Twist Nematic LCD by Polynomial Regression Applied in Primary-Invariance Model. SID, 1999.
- [4] International Electrotechnical Commission, IEC 61966-4, Equipment using liquid crystal display panels, 1998.
- [5] International Organization for Standardization TC 159/SC4/WG2, Visual display terminals (VDTs) used for office tasks - Ergonomic requirements. Part 8: Requirements for display colours, ISO 9241-8.
- [6] International Electrotechnical Commission, IEC 61966-2.1, Default RGB colour space - sRGB, 1998.
- [7] P. Bodrogi, J. Schanda, Testing a calibration method for colour CRT monitors. A method to characterize the extent of spatial interdependence and channel interdependence, Displays 16/3, pp. 123-133, 1995.

Einsatz genauer CCD-Kameras für die Erfassung von Ausstrahlcharakteristiken und Farbabweichungen an Scheinwerfersystemen

F. Schmidt, U. Krüger

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Ehrenbergstraße 11, D-98693 Ilmenau
Email: franz.schmidt@technoteam.de, udo.krueger@technoteam.de

Abstrakt:

Es wird ein Messsystem vorgestellt, mit dessen Hilfe die Ausstrahlcharakteristik von Scheinwerfern mit einer orts aufgelösten Leuchtdichte- und einer Mehrkanalspektralmes- sung bestimmt werden kann. Ausgehend von diesem Messsystem werden die Möglichkei- ten der Erfassung von Farbabweichungen und anderen charakteristischen Merkmalen von Scheinwerfersystemen dargestellt. Im Besonderen wird dabei auf die Erfassung und Aus- wertung der Daten eingegangen.

1 Einleitung

Die Größe der Farbabweichungen von einem definierten Weißpunkt über die ausgeleuch- tete Fläche ist bei der Herstellung, Endkontrolle und Anwendung von Scheinwerfersyste- men u.a. für die Bühnen- und Studiobeleuchtung, aber auch für Fahrzeugscheinwerfer insbesondere mit abbildenden Systemen ein wesentliches Qualitätskriterium. In diesem Beitrag werden Messverfahren vorgestellt, mit denen es möglich ist, mit Hilfe der orts auf- gelösten Leuchtdichtemesstechnik, verschiedene Ausstrahlcharakteristiken von Schein- werfern relativ schnell zu erfassen und zu bewerten.

2 Vermessung der Ausstrahlcharakteristiken von Scheinwerfern

2.1 Zielstellung

Mit dem vorgestellten Messsystem soll es ohne großen Aufwand möglich sein, lichttechni- sche Basiskenngrößen von Scheinwerfern schnell zu vermessen und zu bewerten. Dabei kommt es nicht in jedem Fall darauf an, die Daten vollständig zu erfassen, sondern es soll- te auch möglich sein, einen schnellen Überblick über die Daten erhalten zu können.

Die Vermessung von Scheinwerfern in Nahfeldgoniometern [4] bzw. in Strahlengoniome- tern [5] erfordert teilweise einen hohen apparativen und zeitlichen Aufwand und ist bei Scheinwerfern sehr hoher Leistung mit thermischen Problemen für die Kamera verbunden. Die Ausstrahlcharakteristiken der Scheinwerfer sind von Typ zu Typ bzw. von Einsatzfall zu Einsatzfall¹ sehr unterschiedlich und variieren von sehr eng strahlenden Typen, die bei der Erfassung eine sehr hohe Winkelauflösung erfordern, bis hin zu sehr breit strahlenden Scheinwerfern mit einem sehr großen Erfassungsbereich für die Messwerte, was z.B. bei der Bestimmung von Lichtstärkeverteilungskörpern (LVK) entsprechend aufwendige und angepasste Verfahrensregimes zur Folge hat, die mit großen Messzeiten verbunden sind.

Die Anwendung einer LVK kann ohne große Fehler nur außerhalb der fotometrischen Grenzentfernung erfolgen. Scheinwerfer haben aber eine sehr große fotometrische Grenzentfernung, die in den meisten Anwendungsfällen unterschritten wird. Die vorgestell- ten Verfahren arbeiten auf der Basis des quadratischen Entfernungsgesetzes und bewerte- ten die Beleuchtungsstärkeverteilung auf einer Wand, die meist wie auch die Anwendung des Scheinwerfers innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung liegt. Bei der Anwen- dung dieser Daten in anderen Wandabständen als dem Messabstand kann es zu Fehlern

¹ Z.B. Unterscheidung der Ausstrahlcharakteristik bei KfZ-Scheinwerfern für die Betriebsfälle Fernlicht und Abblendlicht

kommen. Diese Fehler sind um so größer je weiter die Wandabstände auseinanderliegen und je weiter unterhalb der fotometrischen Grenzentfernung gemessen wird. Abschätzungen zu entsprechenden Entfernungen sind in [7] zu finden. Das vorgestellte Verfahren unterliegt diesen Restriktionen, liefert aber Informationen, die für eine Bewertung von Scheinwerfern ausreichend sind.

2.2 Messaufbau mit Bewegungseinheit

Auf der Basis dieser Überlegungen wurde der in Bild 1 dargestellte Messaufbau entwickelt. Der Scheinwerfer wird auf einer Bewegungseinheit montiert² und die Kamera wird in einer zur Projektionswand festen Position angebracht. Mit der Bewegungseinheit kann der Scheinwerfer in der Höhe (h) positioniert werden, damit die optische Achse des Scheinwerfers mit dem Mittelpunkt der Projektionswand in Übereinstimmung gebracht werden kann. Die so für den Scheinwerfer eingestellte Höhe wird mit h_0 bezeichnet. Weiterhin hat die Bewegungseinheit ein oder zwei Drehachsen, mit denen der Scheinwerfer um seine j bzw. seine J -Achse im Bereich -90 bis $+90^\circ$ gedreht werden kann. Der resultierende Winkel zwischen der optischen Achse und einem betrachteten Strahl wird im Folgenden mit ξ bezeichnet.

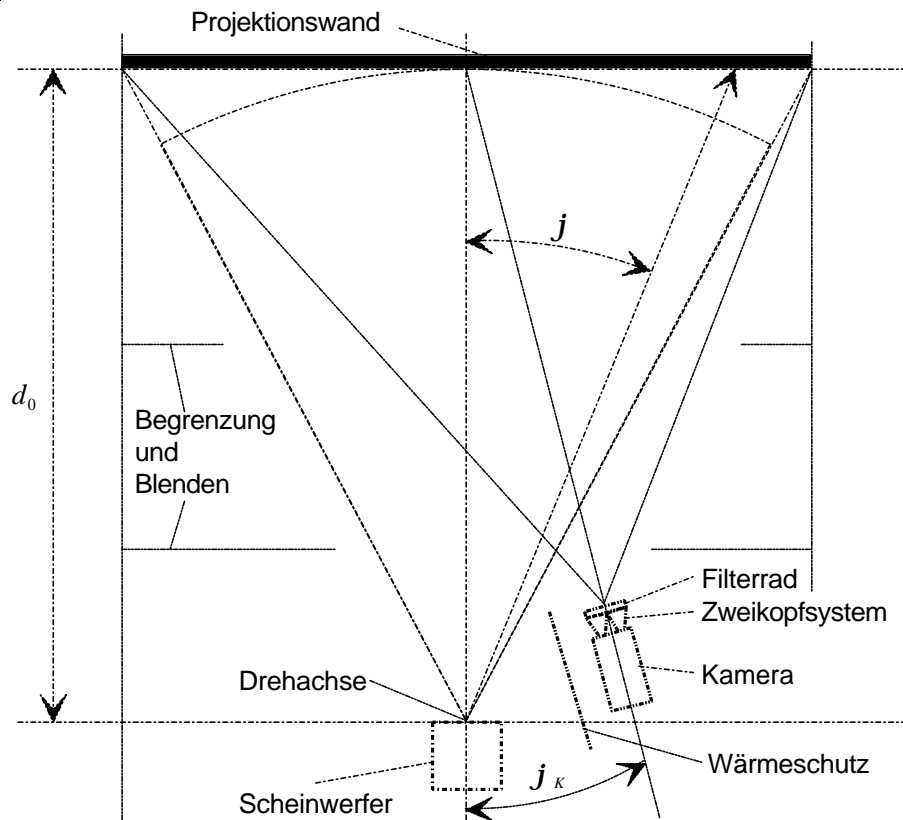


Bild 1: Prinzipskizze (Draufsicht) des Messaufbaus für eine Goniometer- und Bewegungseinheit

Der Scheinwerfer strahlt in einen schwarz ausgekleideten Tunnel, der zusätzlich mit verschiedenen Blenden versehen werden kann. Die Projektionswand der Größe $2a \cdot 2b$ befindet sich in einem Abstand d_0 von der Drehachse des Scheinwerfers³ am Ende des

² Das hat natürlich die vom Leuchtenwender her bekannten Nachteile des Einflusses der Bewegung der Lampe auf ihre Betriebsbedingungen während der Messung. Im Gegensatz dazu bleibt die Lampe bei Nahfeldgoniometern meist in Ruhe, da sich nur die Kamera bewegt.

³ Die Drehachse sollte in der Lichtaustrittsfläche des Scheinwerfers liegen, was aus mechanischen Gründen allerdings nicht ganz realisierbar ist. Die Drehachse wird daher etwas in Richtung des Scheinwerfermittelpunktes verlagert und die Daten werden dann in die geforderte Drehachse umgerechnet.

Tunnels. Die Leuchtdichte bzw. die bewerteten Strahldichten der Projektionswand werden in verschiedenen Goniometerpositionen von beiden Sensoren der Zweikopfkamera erfasst und ergeben ein Wertefeld $S_{i,k}$ mit $k = 0 \dots 3$, wobei $k = 0$ das Leuchtdichtebild kennzeichnet und die Bilder mit den Indizes $k = 1, 2, 3$ die Kanäle r, g, b der Farbkamera darstellen.

2.3 Kamerasystem

Für die Erfassung der lichttechnischen Daten wird eine fest montierte Zweikopfkamera vom Typ LMK96 oder 98 verwendet. Durch dieses Kamerasystem besteht einerseits die Möglichkeit die Leuchtdichten auf der Projektionswand mit einem spektral gut angepassten Sensor ($f_1' \approx 3.5\%$) orts aufgelöst zu erfassen und andererseits auch die Farbverteilung auf der Projektionswand mit Hilfe des 1Chip-RGB Messkopfes zu bestimmen. Um zusätzlich zu den Möglichkeiten der Integrationszeitvariation⁴ eine weitere Möglichkeit zur Anpassung des Dynamikbereiches der Kamera an die Szene zu erhalten, werden Neutralgraufilter verwendet, die in einem Filterrad automatisch gehandhabt werden können.

Die Kamera bzw. das Objektiv wird so eingerichtet, dass die Projektionswand im größten möglichen Abstand d_0 vollständig erfasst wird.

Der verwendete 1Chip-RGB Messkopf mit RGB-Primärvalenz-Matrix erfasst drei spektrale Bereiche. Die Farbfilter sind bei der verwendeten Matrix mit der Filterstruktur nach Bayer ([1], Matrix Sony ICX084AK [8]) angeordnet. Diese Kamera wird im Weiteren kurz Farbkamera genannt.

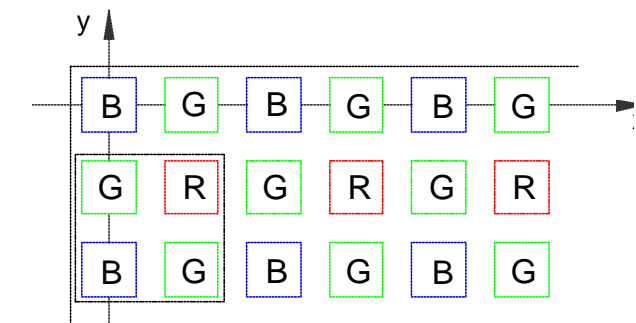
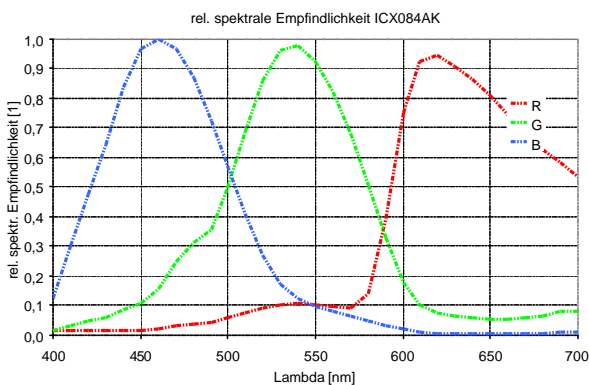


Bild 3: Anordnung der RGB-Primärfilter nach Bayer (Bayer-Struktur, [1])

Bild 2: Relative spektrale Empfindlichkeit der einzelnen Pixelklassen (ICX084AK)

2.4 Grundgleichungen

Die Darstellung in Bild 5 zeigt, wie die Bilddaten erfasst werden und veranschaulicht die Grundlagen für das Zusammensetzen der Bilddaten zu einem Ergebnisdatenfeld. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde die Projektionswand an die Stelle verschoben, an der die Erfassung bei unbewegtem Scheinwerfer erfolgen müsste. Die angefahrenen Scheinwerferpositionen, die zu diesen Projektionswandpositionen gehören, wurden im Bild unten rechts zusätzlich dargestellt.

⁴ Die Möglichkeiten der Integrationszeitvariation der Kamera können bei der Scheinwerfervermessung nicht voll ausgenutzt werden, da die Integrationszeiten nach unten durch die Einflüsse der Lichtmodulation und nach oben durch die zulässige Gesamtmesszeit begrenzt werden. Eine Anpassung des Messbereiches der Kamera durch Neutralgraufilter bietet sich daher an.

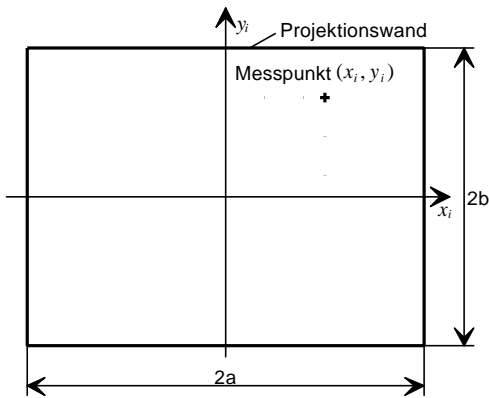


Bild 4: Koordinatensystem auf der realen Projektionswand

Entsprechend der Darstellung in Bild 4 werden auch die Koordinaten (x, y) der virtuellen Projektionswand beschrieben.

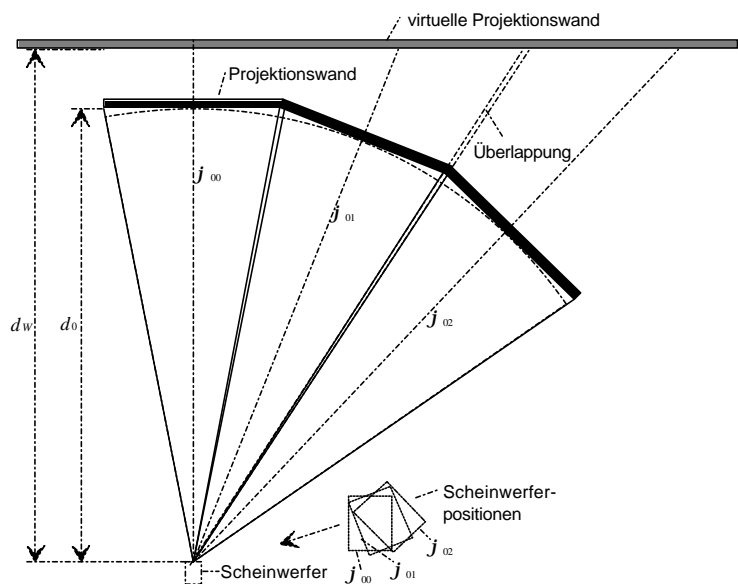


Bild 5: Darstellung verschiedener Positionen (Draufsicht)

2.4.1 Koordinatensysteme

Die Kalibrierung der Kamera enthält eine Transformation des Pixelkoordinatensystems in das Koordinatensystem der Projektionswand. Der Abstand eines Punktes auf der Projektionswand von der Oberfläche des zu vermessenden Scheinwerfers in der Richtung \underline{g} wird mit d_g bezeichnet.

$$d_g = d_w / \cos \underline{g} \quad \text{und} \quad d_{g_i} = d_0 / \cos \underline{g}_i \quad (1)$$

Der Winkel eines Lichtstrahls bezogen auf die ausstrahlende Flächennormale (Lichtaustrittsfläche des Scheinwerfers) wird mit \underline{g} und bezogen auf die Flächennormale der Projektionswand mit \underline{g}_i bezeichnet. Für die virtuelle Projektionswand gilt dabei $\underline{g} = \underline{g}_i$. Für die Teilprojektionswand i werden die entsprechenden Winkel mit \underline{g}_i und \underline{g}_i bezeichnet. Die Beziehungen zwischen den Größen können mit einfachen geometrischen Beziehungen ermittelt werden.

2.4.2 Lichttechnische Umrechnungen

Die erfassten Leuchtdichten bzw. die bewerteten Strahldichten werden sektionsweise erfasst (Bild 5) und müssen für die weitere Verwendung in Beleuchtungsstärken auf der virtuellen Projektionswand (z.B. für Auswertungen nach [2]) bzw. in eine Lichtstärkeverteilung umgerechnet werden.

2.4.2.1 Umrechnung in die Beleuchtungsstärke auf einer virtuellen Wand

Für die Projektionswand kann, bei entsprechend sorgfältiger Auswahl der Materialien im betrachteten Winkelbereich, in guter Näherung Lambertcharakteristik angenommen werden, sodass für die Beleuchtungsstärke auf der Projektionswand gilt:

$$E_i = \frac{\mathbf{p} \cdot \Omega_0}{r} L_i = k_E \cdot L_i = S_{i,0} \quad (2)$$

Die Projektionswand sollte auf der gesamten Fläche den gleichen Reflexionsfaktor r aufweisen, damit man die Gleichung (2) auf das gesamte Bild anwenden kann. Den Kalibrierfaktor k_E für die Beleuchtungsstärke auf der Wand kann man dann mit Hilfe einer Beleuchtungsstärke- und einer Leuchtdichtemessung in der Mitte der Projektionswand ermitteln. Alternativ dazu könnte die Ungleichförmigkeit der Wand auch im Shading des Objektivs untergebracht werden, allerdings ist hier die Bestimmung der Ungleichförmigkeit nicht

ganz trivial, sodass besonderes Augenmerk auf die Auswahl und die Wartung der Projektionswand gelegt werden sollte.

Für die virtuelle Projektionswand erhält man mit dem quadratischen Entfernungsgesetz und den Gleichungen (1) und (2) die Gleichung (4):

$$E_i = \frac{I(\mathbf{g}_i)}{d_{gi}^2} \cos \mathbf{g}_i \Omega_0 \quad \text{und} \quad E = \frac{I(\mathbf{g})}{d_g^2} \cos \mathbf{g} \Omega_0 \quad (3)$$

$$E = k_E \cdot L_i \frac{d_0^2}{d_w^2} \frac{\cos^3 \mathbf{g}_2}{\cos^3 \mathbf{g}_i} = k_E \cdot L_i \cdot k_{dg} \quad (4)$$

In Bild 6 werden die Zusammenhänge aus Gleichung (4) dargestellt.

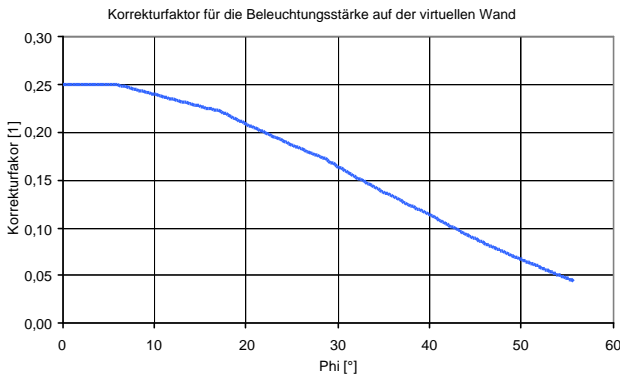


Bild 6: Korrekturfaktor k_{dg} für die Beleuchtungsstärkeumrechnung auf die virtuelle Wand

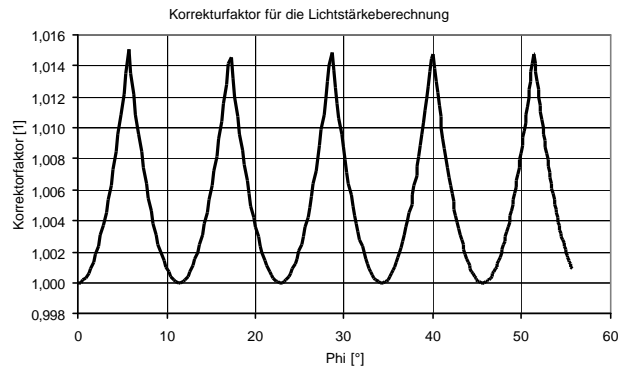


Bild 7: Korrekturfaktoren für die Lichtstärkeumrechnung $k_I(\mathbf{g})$ in Abhängigkeit des Winkels $\mathbf{g} = \mathbf{j}$

2.4.2.2 Berechnung von Lichtstärken

Die Berechnung der Lichtstärkedaten kann mit Hilfe der Gleichungen (1) und (3) erfolgen:

$$I(\mathbf{g}) = \frac{k_E \cdot L_i \cdot d_0^2}{\cos^3 \mathbf{g}_i \Omega_0} = \frac{k_E \cdot L_i \cdot d_0^2 \cdot k_I(\mathbf{g})}{\Omega_0} \quad (5)$$

Die aus Gleichung (5) resultierenden Korrekturfaktoren $k_I(\mathbf{g})$ sind in Bild 7 dargestellt, wobei für das Beispiel $\mathbf{g} = \mathbf{j}$ gilt. Die Abweichungen von einer Konstanten sind für die geometrischen Verhältnisse des Beispiels sehr gering, sodass man hier ggf. auf eine Korrektur verzichten kann.

2.4.2.3 Berechnung von Farbwertanteilen

Aus den direkt ausgelesenen und korrigierten Signalwerten der 1Chip-CCD-Matrix werden durch einfache Makropixelbildung oder durch entsprechende Interpolationsalgorithmen [3] die Signalwerte der Bildaufnahmen in den Kanälen $k=1,2$ und 3 (r,g,b) für das Datenfeld $S_{i,k}$ ermittelt. Im Anschluss daran werden die relativen Farbanteile berechnet:

$$s_{i,k} = \frac{S_{i,k}}{S_{i,1} + S_{i,2} + S_{i,3}} \quad (6)$$

Diese Farbwertanteile liegen in dem durch die relativen spektralen Empfindlichkeiten der Kamera gebildeten Farbraum vor und können im Allgemeinen nicht in Farbkoordinaten von Standardfarbräumen umgerechnet werden. Grundlagen und Applikationen für diese Umrechnungen wurden von den Autoren in [6] beschrieben.

In der hier beschriebenen Anwendung kommt es aber nicht darauf an, normgerechte Farbkoordinaten zu ermitteln. Es sind Farbabweichungen gefordert, die auch im Farbraum der Kamera bestimmt werden können.

Die Daten aus Gleichung (6) können per Koordinatentransformation auf eine virtuelle Wand projiziert werden, wobei die Farbwertanteile nicht umgerechnet werden müssen. Es

erfolgt nur eine andere Anordnung der Werte. Hierbei eignet sich dann die Darstellung mit Abstandsfaktoren nach der ESTA-Norm besonders.

2.4.2.4 Abstandsfaktoren nach ESTA-Norm

Die in der ESTA-Norm [2] geforderten Darstellungen werden nicht über Winkel oder Abstände sondern über sogenannte Abstandsfaktoren (Throw Distance Multipliers, TDM) aufgetragen. Diese berechnen sich aus den hier verwendeten Koordinaten in folgender Weise:

$$TDM(x) = \frac{x}{d_w} \quad \text{und} \quad TDM(y) = \frac{y}{d_w} \quad (7)$$

Werden die Achsen der Darstellung, wie in der ESTA-Norm gefordert, mit TDM bezeichnet und skaliert man die Bilddaten für die Beleuchtungsstärke auf einen Bereich von 0 bis 100% mit einer zusätzlichen Angabe für das Beleuchtungsstärkemaximum, dann entfällt auch die Umrechnung bei verschiedenen virtuellen Wandabständen. Für Projektionswände verschiedener Abstände (von d_1 nach d_2) muss dann nur die maximale Beleuchtungsstärke umgerechnet werden, wobei man aus Gleichung (4) $E_2 = E_1 \cdot d_1^2 / d_2^2$ erhält. Zur Zulässigkeit der Umrechnung von d_1 nach d_2 innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung siehe Abschnitt 2.1.

3 Beispielmessungen

In Bild 8 ist die relative Beleuchtungsstärkeverteilung auf der Projektionswand in Pseudofarben eines Standardscheinwerfers dargestellt. Dabei wurden die Daten logarithmisch skaliert, wobei ein Bereich von 3 Dekaden verwendet wurde. In die Darstellung wurde ein Rechteck und eine Linie eingezeichnet, die zur Orientierung dienen. Der Bereich des Rechtecks ist in Bild 9 und Bild 10 nochmals dargestellt. Dabei wurde in Bild 9 die nach ESTA-Norm [2] geforderte ISO-Darstellung verwendet. In Bild 10 ist der Bereich des Rechtecks in Pseudofarben dargestellt, wobei eine lineare Skalierung verwendet wurde. Man kann gut erkennen, dass die Ausstrahlcharakteristik des Scheinwerfers von der Rotationssymmetrie abweicht. Allgemein erhält man mit diesen Darstellungsmöglichkeiten einen guten Überblick über die Einsatzmöglichkeiten des Scheinwerfers.

In Bild 11 sind für die in Bild 8 eingezeichnete Linie die relative Beleuchtungsstärke und die relativen Kamerafarbkoordinaten r und g über die Linienlänge dargestellt. Die Farbwertanteile der Kamera ändern sich über die Scheinwerferfläche erheblich, was in diesem Fall den Farbeindruck verschlechtert und korrigiert werden muss. Ob die Farbwertunterschiede im Kamerafarbraum vom Auge detektiert werden können, muss im Einzelfall auf der Basis spezieller Farbraumtransformationen ermittelt werden.

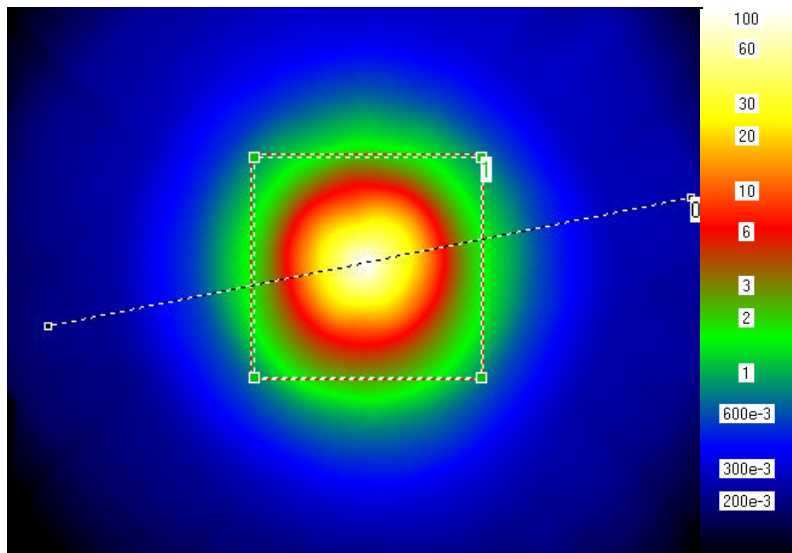


Bild 8: Relative Beleuchtungsstärkeverteilung eines Scheinwerfers auf einer Projektionswand (Pseudofarben, Skalierung in %, 3 Dekaden logarithmisch)

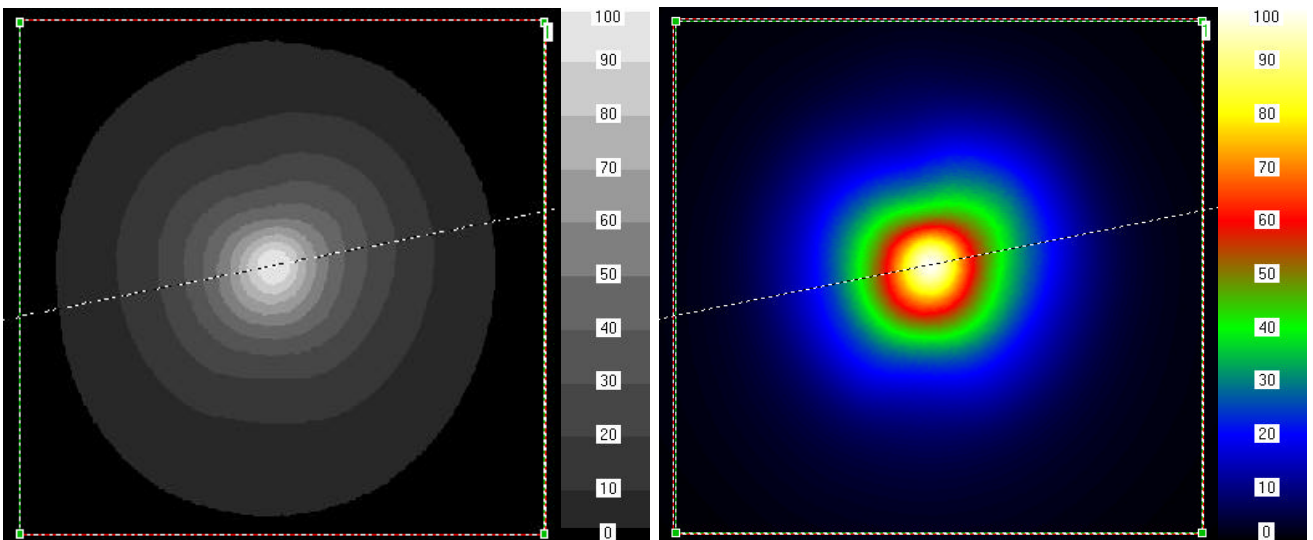


Bild 9: Isofarbendarstellung der relativen Beleuchtungsstärke (100,90,...,10,3%)

Bild 10: Pseudofarbendarstellung der relativen Beleuchtungsstärke (lineare Skalierung)

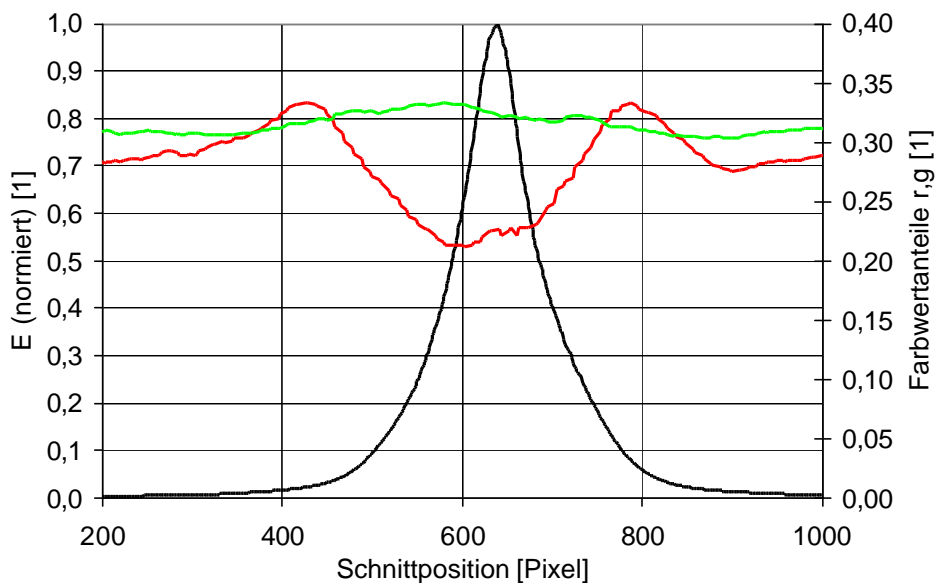


Bild 11: Schnittdarstellung für die relative Beleuchtungsstärke und die Farbwertanteile r,g

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass mit kalibrierten digitalen CCD-Kameras in Verbindung mit applikationsspezifischen Messanordnungen, Scheinwerfer effektiv vermessen werden können. Dabei ging es bei den Anwendungen, die in diesem Artikel betrachtet wurden, im Wesentlichen um Scheinwerfer sehr hoher Leistung und um schnelle Messzeiten, die auch einen Einsatz in der Produktionskontrolle ermöglichen.

Mit dem vorgestellten Messsystem können Leuchtdichte-, Beleuchtungsstärke- und Lichtstärkeverteilungen erfasst werden. Weiterhin können Farbabweichungen bestimmt werden, die zur Beurteilung der Farbkonstanz über die beleuchtete Fläche eines Scheinwerfers eingesetzt werden.

Literatur:

- [1] Bayer, B.E.: Color Imaging Array. US Patent No.3971065, PD:20.07.1976
- [2] ESTA: Draft Entertainment Lighting Luminaries – Presentation of Photometric Performance Data. Entertainment Service and Technology Association,1/22/2000
- [3] Gupta, M.R.; Chen, T.: Vector Color Filter Array Demosaicing. Information Systems Laboratory, Department of Electrical Engineering, Stanford University, In Proceedings of the SPIE Electronic Imaging '2001 conference, Vol. 4306, San Jose, CA, January 2001
- [4] Riemann, M.; Schmidt, F.; Poschmann, R.: Verfahren und Anordnung zur Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten und Lampen. DE4110574A1, AD: 30.03.1991
- [5] Schmidt, F.; Fischbach, I.; Poschmann, R.: Rigo 801 – Nahfeldgoniometer. über www.technoteam.de
- [6] Schmidt, F.; Krüger, U.: Eigenschaften von digitalen 1Chip-CCD-Kameras bei der Anwendung zur Farbbeurteilung und Farbdarstellung. Tagung der Deutschen Farbwissenschaftlichen Gesellschaft, 10.-11.09.1999, Ilmenau, 1999, auszugsweise veröffentlicht in: Schmidt, F., Krüger, U.: Titel, 47. Jahrbuch für Optik und Feinmechanik 2000, S. 114-140, 2000
- [7] Schmidt, U.: Bestimmung der räumlichen Beleuchtungsstärkeverteilung von Scheinwerfern mittels Leuchtdichtekamera - Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens. Diplomarbeit, Technische Universität Ilmenau, 2001
- [8] Sony: Datenblätter CCD-Komponenten. ICX085AK; über www.sony.com
- [9] TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH. Leuchtdichtemesskamera LMK96-2; über www.technoteam.de