

Lebensdauer der LED und deren Eigenschaften in extremen Verhältnissen

M. Sc. Sandra Tabišová, Anton Rusnák

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, sandra.tabisova@stuba.sk

Abstrakt

Heutzutage haben neue Herstelltechnologien dazu geführt, dass die Lichtstärke der LED angestiegen ist. Diese „hochleistungs-Dioden“ werden anstatt der konventionell verwendeten Lichtquellen immer häufiger eingesetzt. Der Beitrag handelt mit der Problematik der neuen Lichtquellen, halbleiter LED- Dioden (Light Emitting Diode), vor allem handelt er mit den lichttechnischen Eigenschaften dieser Lichtquellen, bei unterschiedlichen Bedingungen der Umgebung.

1. Einleitung

Immer öfter werden die LED- elektroluminiszenzdioden in unterschiedlichen Bereichen der Lichttechnik angewendet, wobei mehr als dreissig Jahren wurden sie meistens in der Signaltechnik verwendet. Der Grund für das enge Einsatzgebiet der Anwendung war die niedrige Lichtausbeute und deren Farbausführung. In den letzten Jahren zeichnet sich diese Lichtquelle durch Verbesserung der lichttechnischen Parameter, wie höhere Leuchtdichte, niedriger Stromverbrauch und grössere Lichtausbeute.

2. Eigenschaften der LED

Nebenbei der Lichterzeugung durch Wärmestrahlung (Glühlampen) oder durch die Entladung (Leuchtstofflampen oder Hochdruckentladungslampen) bieten die Halbleitermaterialien weitere Möglichkeit der Lichterzeugung. In diesem Fall ist die Lichterzeugung nicht auf der Erhitzung der Fäden angelegt, so wie es bei den Temperaturstrahlern ist, das Licht entsteht auch nicht im gasgefülltem Brenner.

Es werden LEDs mit unterschiedlicher Baukonstruktion hergestellt, die aber diese gemeinsame Eigenschaften haben: geringe Abmessungen (LED sind als Lichtpunkte einsetzbar), extrem lange Lebensdauer („labor LED“ bis zu 100 000 Stunden), niedriger Stromverbrauch, niedrige Wärmeproduktion, Standfestigkeit gegen Vibrationen, unterschiedliche Farbauswahl, Ausstrahlungswinkel liegt zwischen 15° ~ 120° , Betriebstemperatur liegt zwischen -40°C bis $+100^{\circ}\text{C}$ usw. Bei LED ist wichtig auch einen strombegrenzenden Widerstand für den Betrieb zu verwenden (Bild 1). Typische Betriebswerte für Einzel-LED sind Spannungsbereich von 2 bis 4 V und Strombereich von 20 bis 250 mA. [1]

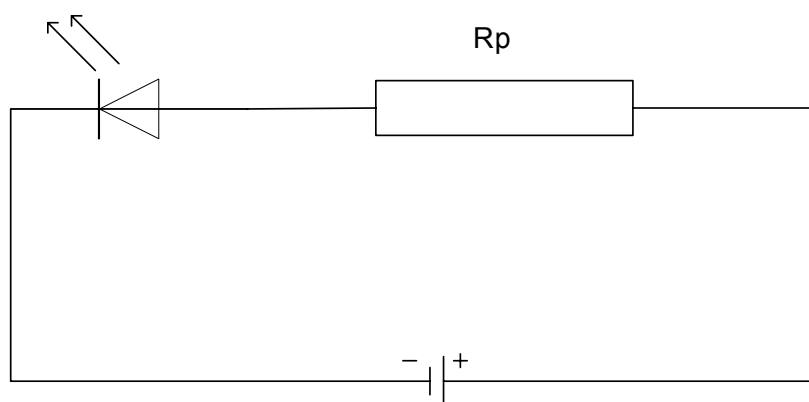


Bild1: Schaltkreis mit LED und Vorschaltwiderstand R_p

3. Die Lebensdauer der LED

Es gibt eine Reihe von Faktoren, die die Zuverlässigkeit und damit die Lebensdauer der LED beeinflussen. Wichtig ist, dass die von den Herstellern angegebenen Werte unter allen Umständen eingehalten werden.

Das Lebensdauerende von LED wird erreicht, wenn der Lichtstrom auf 50% seines Anfangswertes abgesunken ist. Zu den Faktoren, die die Lebensdauer beeinflussen, gehört die Umgebungstemperatur. Mit steigender Umgebungstemperatur sinkt die Lichtausbeute. Wichtig ist auch die Stromdichte, da im Laufe der Lebensdauer natürliche Zunahme von Fehlern im Kristallgitter zu einer graduellen Abnahme des Lichtstroms führt. Die Geschwindigkeit, mit der diese Defekte entstehen, hängt von der Höhe des elektrischen Stroms ab. LEDs sollten also nicht auf maximale Strombelastung ausgelegt werden, damit die maximale Lebensdauer erzielt werden kann. Weitere Einflüsse auf die Lebensdauer sind zum Beispiel mechanische Einflüsse wie Druck- oder Zugkräfte, die die

Spannungen in der Leuchtdiode erhöhen. Ultraviolette Strahlung hat meist die Eintrübung von transparenten Harzen zur Folge. Ähnliches gilt auch für den Kontakt von LED mit chemischen Gasen. Infrarote Strahlung bedeutet zusätzliches Aufheizen und ein früheres Überschreiten der Temperaturgrenze ist möglich. In der Tabelle Nummer eins sind Beispiele für Lebensdauer der LED bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen angeführt.

Tab. 1: Beispiele der Lebensdauer von LED

Betriebsbedingungen	Lebensdauer (Std.)
Betrieb bei der maximalen Temperatur der Umgebung mit maximal durchlässigem el. Strom in der Vorwärtsrichtung	3000
Betrieb in den Fahrzeugen	7000
Betrieb bei normaler Temperatur der Umgebung mit 80% des maximal durchlässigen el. Strom in der Vorwärtsrichtung	10 000
Betrieb bei normaler Temperatur der Umgebung mit 50% des maximal durchlässigen el. Strom in der Vorwärtsrichtung	100 000

3. Messung

Mittels 30 verschiedenfärbiger parallel geschalteter LEDs haben wir bei der Umgebungstemperatur, die zwischen 21-25 °C lag, die Lichtstromveränderung durch die ganze Lebensdauer gemessen. Bei der Messung haben wir jeweils 10 weisse, rote und blaue LEDs verwendet. Jede Leuchtdiode wurde in einem Schaltkreis mit Vorwiderstand geschaltet. Verwendete LEDs haben diese durch den Hersteller gegebene Kennwerte:

- Betriebstemperatur zwischen -30 °C bis +80°C,

-verwendete Materialien des LED Chips bei roten Dioden AlGaInP, bei blauen und weissen Dioden: InGaN,

-Lichtstärke bei roten und blauen LEDs: 3000-4000 mcd, Lichtstärke der weissen LED 11 500-16 500 mcd,

- bei weissen und blauen LEDs Leistung von 100 mW und bei roten LED 10 mW.

Schaltkreis ist von 30 Leuchtdioden und 30 Vorwiderständen bestanden und wurde durch das stabilisierte Speisegerät betrieben. So eingeschaltete Leuchtdioden haben die ganze Zeit geleuchtet. Die LEDs wurden nur bei der Messung, die jeweils etwa eine Stunde gedauert hat, ausgeschaltet. Die Messungen wurden in unterschiedlichen Zeitintervallen mit Hilfe des Spectrophotometer USB 2000, Notebooks und Multimeter durchgeführt. Die LED wurde bei der Messung in den Integrator, die an den Spectrophotometer angeschlossen war, platziert. Es wurde auch die Umgebungstemperatur notiert, diese lag zwischen 21,5°C bis 25°C. Die Schaltung bei der Messung ist auf dem Bild zwei abgebildet.

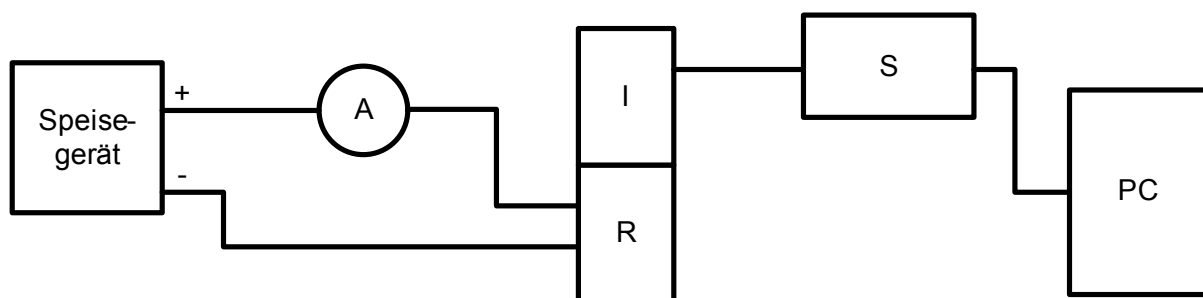


Bild 2: Schaltung bei der Messung

Aus dem Schema der Schaltung kommt heraus, dass S ein Spectrophotometer, A ein Multimeter, I ein Integrator ist und R ist ein seriell geschalteter Widerstand ($R=300\ \Omega$). PC bezeichnet in dem Schema auf dem Bild zwei sowohl auf dem Bild drei das Notebook. Gemessene Werte und prozentuelle Senkung des Lichtstromes sind in der Tabelle zwei, drei und vier eingetragen. In den Tabellen unter dem Begriff: Senkung(%), ist prozentuelle Senkung des Ausgangs-Lichtstromes, der am Anfang der Messungen gemessen wurde, zu verstehen. Es wurden zehn Messungen auf jeder Leuchtdiode durchgeführt, insgesamt wurden 300 gemacht. Erste Messungen wurden innerhalb eines kurzen Zeitabstands gemacht, da es nötig war zu setzen, wie schnell es zum Lichtstromsenkung kommt. Aus den Tabellen 2-4 kann man festlegen, dass bei jeder Diode es zu einer Senkung des Lichtstromes gekommen ist. Keine von den gemessenen Leuchtdioden hatte einen konstanten Lichtstrom. Die grösste Senkung wurde an den weissen LEDs gemessen. Lichtstrom bei diesen Dioden ist unter dem Wert von 60% gesunken, sogar bei der LED mit der Bezeichnung B7 wurde dieser Abfall Nahe zu 80 Prozent, was manche Hersteller

als Ende der Lebensdauer bezeichnen. Bei der Hälfte der Leuchtdioden ist die Senkung grösser als 70%.

Tab. 2: Gemessene Werte des Lichtstromes der weissen LED

Zeit der Messung (Std.)	Lichtstrom der weissen LED $\Phi \cdot 10^{-5}$ (lm)									
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
0,00	2,30	2,47	2,35	2,33	2,47	1,76	2,24	1,99	2,37	2,34
Senkung(%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	2,14	2,37	2,29	2,03	2,38	1,57	1,92	1,91	2,37	2,42
Senkung(%)	7,05	3,89	2,56	12,76	3,57	10,72	14,18	3,82	0,13	-3,55
178,00	2,09	2,25	1,99	1,82	2,06	1,57	1,76	1,75	2,20	2,29
Senkung(%)	8,84	8,84	15,04	21,74	16,41	11,12	21,48	12,26	7,09	2,18
343,50	1,90	2,00	1,72	1,63	1,73	1,45	1,49	1,46	1,86	2,08
Senkung(%)	17,28	18,82	26,54	30,08	29,98	17,75	33,47	26,83	21,76	10,99
510,05	1,60	1,53	1,48	1,34	1,34	1,22	1,14	1,14	1,43	1,17
Senkung(%)	30,30	37,77	36,98	42,24	45,91	30,63	48,90	42,76	39,87	49,86
676,75	1,36	1,26	1,23	1,18	1,12	1,11	0,95	0,93	1,24	1,45
Senkung(%)	40,97	48,84	47,55	49,33	54,78	37,27	57,71	53,34	47,79	37,94
820,05	1,22	1,11	1,14	1,08	1,03	1,06	0,84	0,87	1,05	1,33
Senkung(%)	46,89	54,97	51,60	53,80	58,47	40,16	62,32	56,50	55,59	43,33
1000,8	1,00	0,82	0,89	0,90	0,80	0,89	0,66	0,68	0,83	1,03
Senkung(%)	56,27	66,68	61,88	61,45	67,39	49,68	70,51	65,92	64,98	55,82
1168,80	0,87	0,72	0,85	0,84	0,74	0,86	0,61	0,65	0,67	0,97
Senkung(%)	62,05	70,94	63,70	63,79	70,17	50,96	72,59	67,59	71,75	58,68
1336,80	0,76	0,62	0,76	0,73	0,66	0,82	0,52	0,55	0,65	0,86
Senkung(%)	67,00	75,05	67,66	68,50	73,30	53,77	76,55	72,46	72,59	63,30

Tab. 3: Gemessene Werte des Lichtstromes der roten LED

Zeit der Messung (Std.)	Lichtstrom der roten LED $\Phi \cdot 10^{-6}$ (lm)									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
0,00	7,15	6,81	6,90	7,31	6,10	6,38	6,42	7,05	6,54	7,28
Senkung(%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	7,08	6,53	6,58	6,94	5,92	5,74	6,21	6,60	5,60	6,48
Senkung(%)	0,91	4,13	4,60	4,94	2,89	10,09	3,29	6,40	14,37	10,98
178,00	6,85	6,61	6,58	7,04	5,91	6,06	6,28	6,77	5,52	6,39
Senkung(%)	4,13	2,94	4,60	3,60	3,03	5,03	2,21	3,99	15,59	12,21
343,50	6,78	6,35	6,53	6,82	5,90	5,82	6,05	6,49	5,85	6,33
Senkung(%)	5,16	6,83	5,32	6,58	3,22	8,83	5,79	8,00	10,50	12,99
510,05	6,42	6,33	5,83	6,20	5,80	5,47	5,82	6,35	5,17	5,90
Senkung(%)	10,22	7,05	15,44	15,15	4,84	14,30	9,34	10,01	20,94	18,94
676,75	6,17	6,19	5,98	6,50	5,51	5,22	5,88	6,12	5,07	6,13
Senkung(%)	13,72	9,07	13,31	10,97	9,61	18,28	8,39	13,27	22,46	15,77
820,05	6,33	6,28	6,19	6,38	5,33	5,72	6,07	6,52	5,50	6,25
Senkung(%)	11,39	7,78	10,34	12,65	12,63	10,46	5,40	7,52	15,90	14,12
1000,8	5,93	5,71	5,75	6,15	5,24	5,16	5,29	5,83	4,87	5,54
Senkung(%)	16,98	16,15	16,63	15,85	14,11	19,24	17,60	17,36	25,62	23,87
1168,80	6,63	5,97	5,91	6,30	5,56	5,28	5,65	5,92	5,17	5,99
Senkung(%)	7,26	12,29	14,32	13,74	8,86	17,23	12,05	16,10	21,02	17,69
1336,80	6,26	5,88	5,86	6,25	5,44	5,25	5,62	6,05	5,08	5,47
Senkung(%)	12,41	13,67	14,99	14,43	10,73	17,72	12,46	14,18	22,38	24,86

Aus der Tabelle Nummer drei können wir festlegen, dass die grösste Senkung bei den roten LEDs bei der LED mit der Bezeichnung C10, 25% gegenüber dem Ausgangslichtstrom war. Genau so gleich, wie bei den roten war auch bei den blauen ein relativ niedriger Abfall des Lichtstromes, wo der grösste Abfall bei 38% lag. Aus der Tabelle Nummer vier ist zu sehen, dass eine Leuchtdiode, bezeichnet M5 bei der letzten

Messung die Lebensdauer nach 1336,8 Stunden beendet hat. Aus den Tabellen drei und vier kann man lesen, dass die perzentuelle Senkung des Lichtstromes der blauen und roten LED nicht so gross gegenüber den weissen LED war.

Tab. 4: Gemessene Werte des Lichtstromes der blauen LED

Zeit der Messung (Std.)	Lichtstrom der blauen LED $\Phi \cdot 10^{-6}$ (lm)									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
0,00	1,43	1,73	2,44	1,86	1,79	1,78	1,86	1,67	2,08	1,55
Senkung(%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,00	1,70	1,49	2,16	1,73	1,53	1,28	1,69	1,35	1,65	1,28
Senkung(%)	-18,9	13,61	11,39	7,10	14,63	28,20	9,04	18,86	20,71	17,67
178,00	1,79	1,50	1,95	1,68	1,55	1,27	1,69	1,33	1,64	1,22
Senkung(%)	-25,0	12,91	19,95	9,84	13,34	28,64	9,36	20,42	20,86	21,47
343,50	1,52	1,36	1,90	1,64	1,47	1,16	1,65	1,28	1,62	1,16
Senkung(%)	-6,42	21,13	22,37	12,04	17,76	34,87	11,40	23,36	21,92	25,08
510,05	1,48	1,37	1,77	1,62	1,40	1,16	1,58	1,21	1,53	1,32
Senkung(%)	-3,28	20,56	27,32	12,69	22,06	34,92	14,95	27,33	26,25	14,70
676,75	1,45	1,31	1,70	1,61	1,37	1,11	1,49	1,17	1,49	1,24
Senkung(%)	-1,54	24,15	30,56	13,33	23,46	37,78	19,63	29,61	28,13	20,37
820,05	1,82	1,61	1,96	1,88	1,63	1,40	1,72	1,38	1,66	1,44
Senkung(%)	-26,7	6,60	19,83	-0,97	9,04	21,80	7,37	17,00	20,13	7,48
1000,8	1,46	1,20	1,53	1,42	1,25	1,02	1,38	1,12	1,38	1,14
Senkung(%)	-2,03	30,52	37,24	23,82	30,27	42,60	25,61	32,49	33,56	26,43
1168,80	1,35	1,21	1,59	1,51	1,37	1,16	1,55	1,23	1,53	1,29
Senkung(%)	6,08	30,11	35,03	18,60	23,51	35,03	16,68	26,43	26,25	17,02
1336,80	1,31	1,17	1,44	1,48	-	1,10	1,47	1,19	1,43	1,18
Senkung(%)	8,45	32,19	41,05	20,22	0,00	38,62	20,82	28,29	31,07	23,66

Ausserhalb der Messung der Lebensdauer der LED wurde auch eine Messung der Eigenschaften der LED in klimatisierter Kammer mittels Luxmeter durchgeführt (Bild drei).

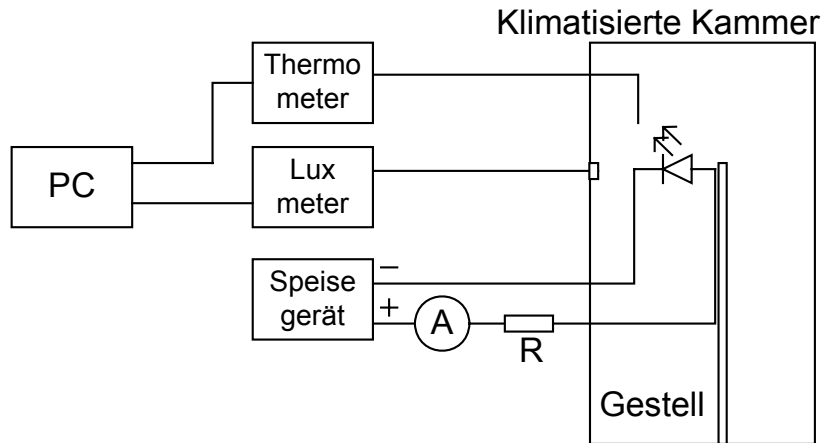


Bild 3: Messung in klimatisierter Kammer

Für die Messung in der klimatisierten Kammer haben wir drei gebrauchte LEDs (aus der Messung der Lebensdauer) so wie auch drei neue LEDs, die noch nie geleuchtet haben verwendet. Die Temperatur wurde automatisch reguliert und die Werte über einen Notebook, der im Bild als PC bezeichnet ist gespeichert. Die Messung wurde in dem Temperaturbereich von 25°C bis 80°C durchgeführt. Die prozentuelle Senkung der Beleuchtungsstärke ist für jede der gemessenen Dioden in der Tabelle Nummer fünf aufgeführt. Wie man aus der Tabelle Nummer fünf sehen kann, ist der Abfall der Beleuchtungsstärke bei den roten LED am grössten. Die beste Qualität aus der Sicht der Beleuchtungsstärke-Senkung hatten die blauen LEDs.

Tab. 5: Zusammenfassung der gemessenen Werte der Beleuchtungsstärke und des Lichtstromes

LED	Senkung der Beleuchtungsstärke E(%) in der klimatisierten Kammer	Senkung des Lichtstromes Φ_x (%) bei der Messung der Lebensdauer	Material	Preis (SKK/Stück)
Rot neu	48,85	-	AlGaInP	6
Rot alt	42,48	9,36		
Weiss neu	6,66	-	InGaN	13,50
Weiss alt	18,48	72,55		
Blau neu	7,04	-	InGaN	11
Blau alt	3,55	13,06		

Interessant ist auch die Tatsache, dass die weissen und blauen Leuchtdioden aus gleichem Material hergestellt sind, wobei die weissen gegenüber den blauen LEDs weniger Stabil waren, was die Senkung der Beleuchtungsstärke, sowohl auch die Lebensdauer angeht. Den Messungen nach, können wir behaupten, dass nicht nur aus dem lichttechnischem Standpunkt, sondern auch aus dem Standpunkt Preis-Leistungsverhältnis die blaue LED die bessere Lösung wäre. Der Durchschnitt des Lichtstromabfalls bei allen zehn blauen Leuchtdioden lag bei 24% und die Senkung der Beleuchtungsstärke in der klimatisierten Kammer bei 3,55%.

Da die weissen LEDs am teuersten von allen gekauften Dioden waren, hat man erwartet, dass auch die Qualität bei diesen die beste ist, was sich aber in diesem Fall nicht bestätigt hat. Die Qualität dieser Lichtquelle entspricht nicht dem Preis. Es wäre angemessen solche LEDs nicht in Leuchten verwenden, oder an Plätzen, wo man konstanten Lichtstrom durch die ganze Lebensdauer erwartet, da der Abfall des Lichtstromes

durchschnittlich bei 69% lag. In der klimatisierten Kammer haben wir nicht so grosse Senkung der Beleuchtungsstärke gemessen

Bei AlGaInP- roten Dioden haben wir festgestellt, dass der durchschnittliche Abfall des Lichtstromes aller zehn Leuchtdioden bei 15,78% lag. Bei diesen LEDs war die grösste Senkung der Beleuchtungsstärke in der klimatisierten Kammer gemessen. Die Senkung der Beleuchtungsstärke lag bei den roten LEDs bei 42,48%. Aus dem Preisgrund könnte man untersuchte rote Leuchtdioden in solchen Leuchten oder an Plätzen verwenden, wo eine lange Lebensdauer mit konstantem Lichtstrom erforderlich ist. Wenn wir diese Leuchtdioden bei höheren Umgebungstemperaturen verwenden sollten, ist es notwendig für eine ausreichende Kühlung zu sorgen.

5. Schlussfolgerung

Aus den gemessenen Werten haben wir sichergestellt, dass bei weissen LEDs die Senkung des Lichtstromes durchschnittlich bei 69% lag. Bei ähnlichen, wie gemessenen LEDs geben die Hersteller eine Lebensdauer von 8000-10 000 Stunden an. Es ist aber jedoch fraglich, ob zum Kauf angebotene Leuchtdioden die Forderung der maximalen Senkung des Lichtstromes durch die gesamte Lebensdauer auf 20% wirklich einhalten. Den Messungen nach, war nach 1336 Stunden des Leuchtens der Abfall des Lichtstromes bei der Mehrheit der LED grösser als 20%. Eine Leuchtdiode (Leuchtdiode mit der Bezeichnung M5) würde in der Praxis überhaupt nicht mehr verwendbar sein. Falls man solche LED zum Beispiel auf einem Fahrrad als vordere Leuchte einsetzen wurde, könnte das plötzliche Ende der Lebensdauer gefährlich aus der Sicht der Sicherheit und Gesundheit sein.

Aus den gemessenen Werten der Beleuchtungsstärke können wir nach der Durchführung der jetzigen Messungen feststellen, dass wenn wir LEDs als Lichtquelle bei den Temperaturen, die höher als 25°C sind verwenden, es ist geeignet vor dem Kauf dieser Lichtquellen die lichttechnischen Eigenschaften durch Messungen auf einem Muster zu verifizieren.

Interessant werden sicherlich auch die Ergebnisse der Messungen bei Minustemperaturen sein.

6. Literatur

- [1] GEMMER, W.: *Light emitting diodes*. In: Handbuch für Beleuchtung. Horst Lange, 5. Auflage, 2005. I - 6.13.1 – I – 6.13.8. ISBN 3-609-75390-0.
- [2] HEJDUK, V.: *LED-nová generace v osvětlování*. In: Kurz osvětlovací techniky XXIV. Osvětlování v prostředí nově zaváděných norem a předpisů : Kouty nad Desnou. Česká Republika, 2004.s.71-75. ISBN 80-248-0935-4.
- [3] HLADKÝ, L.: *Principy vyžarování světla z LED zářiču P*. In: Kurz osvětlovací techniky XXIV. Osvětlování v prostředí nově zaváděných norem a předpisů : Kouty nad Desnou. Česká Republika, 2004.s.192-195. ISBN 80-248-0935-4.