

Stand der heutigen LED-Innenraumleuchten aus lichttechnischer und planerischer Sicht

Dipl.-Ing. Marvin Böll, Dipl.-Ing. Friedricke Gessner, Dipl.-Ing. W.Pepler, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh, Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, Hochschulstr. 4a, 64289 Darmstadt

Die Bedeutung der Büroarbeit hat in den letzten Jahren zugenommen. Dies beruht auf dem Umstand, dass sich die Wertschöpfungsprozesse vom landwirtschaftlichen und industriellen Sektor hin zum Dienstleistungssektor verlagern [1]. Generell unterscheidet man zwischen Büros für einzelne oder wenige Personen und Großraumbüros.

Ein wichtiger Bestandteil für die Qualität eines Arbeitsplatzes ist die Beleuchtung. Bereits 1935 erschien die DIN 5035 welche den Stellenwert der Beleuchtungsqualität am Arbeitsplatz hervorhob: *„Nur gute Beleuchtung schafft günstige Sehbedingungen, vermindert die Ermüdung der Augen, fördert und erhält das physische und psychische Wohlbefinden und damit Lebensfreude und Lebenskraft des Menschen“* (aus den Leitsätzen von DIN 5035) [2], [3].

Die DIN 5035 und später die DIN 12464 dienen bis heute als Leitfaden für die Lichtplanung und waren ursprünglich für Temperaturstrahler und Entladungslampen ausgelegt. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, ob die aktuellen Fassungen dieser Normen auch ausreichen, um die noch junge LED-Technologie zu bewerten, welche sich in der Herstellung und Handhabung wesentlich von den etablierten Technologien unterscheidet.

Gütekriterien, Lichtplanung und Beleuchtungskonzepte [4]

Die Gütekriterien von Beleuchtungsanlagen, welche in der DIN 12464 aufgeführt sind, finden unabhängig vom Typ der verwendeten Lichtquelle ihre Anwendung. Somit gelten sie grundsätzlich auch für LED-Leuchten. So wird beispielsweise das Tageslicht bei der Planung mitberücksichtigt und es muss auf eine gute Licht- und Farbqualität geachtet werden. Abhängig von der jeweiligen Tätigkeit sind Gütekriterien, wie z.B. die Beleuchtungsstärke oder der UGR-Wert, mit einem Zahlenwert belegt. Andere Kriterien, wie z.B. ein angenehmes Lichtklima, werden nur verbal beschrieben, so dass dem Lichtplaner bei der Auslegung der Beleuchtungsanlage ein gewisser Freiraum gelassen wird. So hat z.B. die Farbtemperatur einen starken Einfluss auf den Sehkomfort. Sie ist aber eher von gestalterischem Charakter, da sie die Sehleistung nicht beeinflusst. Für die Farbwiedergabe dagegen sind für die jeweiligen Tätigkeiten feste Werte vorgegeben. Sie ist für zahlreiche Sehaufgaben wichtig. In der Medizin (z.B. Operationsbeleuchtung) ist es beispielsweise entscheidend, dass die Farbe und die Farbinformationen richtig wiedergegeben werden.

Zu den Hauptaufgaben einer Leuchte gehört es das Licht in den Raum zu verteilen. Bei der Planung von Beleuchtungskonzepten muss darauf geachtet werden woran sich die Beleuchtung orientiert: Ist sie raumbezogen, d.h. ist die Sehaufgabe über den gesamten

Raum verteilt, wie z.B. in einer Fertigungshalle oder Schule? Oder ist sie funktionsbezogen, wie es in einem Büro der Fall ist? Die Norm legt eine Reihe von Beleuchtungsstärkewerten fest, die an die verschiedenen Sehaufgaben angepasst sind. Wenn der Bereich, in dem die Sehaufgabe durchgeführt wird, nicht genau festgelegt werden kann, so müssen die Anforderungen an die Beleuchtungsstärke im gesamten Bereich eingehalten werden.

Eine wichtige Größe ist die Blendung. Man unterscheidet zwischen direkter und indirekter Blendung. Blendung kann entweder physiologisch hervorgerufen werden, was zu einer Herabsetzung des Sehvermögens führt, oder sie ist psychologischer Natur, was sich in einem subjektiven Störimpfinden äußert. Die direkte Blendung kann bei Blick in die Leuchte auftreten, während die indirekte Blendung durch hohe Wand- und Deckenleuchtdichten sowie Reflexionen an Objekten wie Bildschirmen verursacht werden.

Da der Lichtstrom aufgrund verschiedener Effekte wie der Alterung des Leuchtmittels und Verschmutzung der Leuchte im Verlauf der Zeit abnimmt, muss dies bei der Auslegung der Beleuchtungsanlage mit Hilfe des Wartungsfaktors berücksichtigt werden. Der Wartungsfaktor beschreibt den Zusammenhang zwischen Neuwert einer Beleuchtungsanlage und einem vorgeschriebenen Wartungswert: $\text{Wartungswert} = \text{Wartungsfaktor} \cdot \text{Neuwert}$.

Aufbau einer Leuchte [4]

Der Aufbau einer Leuchte lässt sich in vier Teile unterteilen: der mechanische Aufbau, das Betriebsgerät, das Leuchtmittel und die Lichtlenkung/Optik.

Der mechanische Aufbau einer Leuchte muss eine Reihe von Aufgaben erfüllen. Er dient als Halterung für die Leuchtmittel, die Elektronik und die lichtlenkende Teile wie Reflektoren. Zudem dient er auch als Schutz der sensibleren Bauteile vor äußeren Einflüssen wie Feuchtigkeit, Schmutz und mechanischen Beschädigungen. Das Betriebsgerät passt die Netzspannung an die Anforderungen der Leuchtmittel an. Um das Licht der Leuchtmittel in eine gewünschte Richtung zu lenken werden lichtlenkende Systeme verwendet. Konventionelle Leuchten verwenden Reflektoren um das Licht in den Raum zu verteilen, während für die neuen LED-Bauelemente häufig Linsen benutzt werden.

Bei der Lichterzeugung unterscheidet man drei physikalische Prinzipien:

- Temperaturstrahler: Bei diesem Prinzip wird ein stromdurchflossener Draht so stark aufgeheizt, dass er Strahlung emittiert. Der bekannteste Vertreter ist hier die Glühlampe bzw. die Halogenleuchte.
- Gasentladung: Durch Gasentladung in einem Glasrohr oder Kolben werden Atome und Moleküle angeregt. Typische Vertreter sind hier Leuchtstoffröhren und Kompaktleuchtstofflampen.
- Elektrolumineszenz: Bei diesem Prinzip wird ein Festkörper durch Anlegen einer elektrischen Spannung dazu angeregt, Licht zu emittieren. Der bekannteste Vertreter dieser Technologie ist die LED.

Die LED als Lichtquelle in der Innenraumbeleuchtung

In der Innenraumbeleuchtung finden Hochleistungs-LEDs vermehrt Einsatz als Alternative zu den bereits etablierten Leuchtstofflampen. Bisherige LED-Leuchten für den Innenraum unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Bauweise von konventionellen Leuchten dahingehend, dass für die Lichtlenkung bislang fast ausschließlich Linsen anstelle von Reflektoren verwendet werden. Außerdem spielt das thermische Management eine weitausgrößere Rolle, da die Temperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Leistung und die Lebensdauer der Leuchte und ihrer Komponenten hat.

Aus lichttechnischer Sicht bietet die LED als Bauteil diverse Vorteile wie eine kürzere Ansprechzeit, mehr Flexibilität bei der Generierung eines gewünschten Spektrums und die Möglichkeit für eine bessere Licht- und Farbqualität. Allerdings werden diese Vorteile bei aktuellen LED-Leuchten noch nicht voll ausgenutzt. Erste Labormessungen am Fachgebiet Lichttechnik der TU Darmstadt haben ergeben, dass aktuelle LED-Leuchten für den Innenraumbereich, in Bezug auf ihre Lichtausbeute und ihren Lichtstrom vergleichbar zu gängigen Leuchten mit T5-Lampen sind. Das ist aber bislang nicht die Regel. Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass von sieben vermessen LED-Innenraumleuchten vom Stand der Technik nur eine einzige die Performance der konventionellen T5-Referenzleuchte erreicht.

Tabelle 1: Messergebnisse diverser LED Leuchten im Vergleich zu einer Referenz T5-Leuchte

Typ	Lichtausbeute lm/W	Farbtemperatur K	Farbwiedergabe
P1	64,4	3930	75
P2	55,7	3930	78
P3	79,9	4023	82
N2	42,1	3200	78-80
SL1	54	7629	75
SL2	50,1	3250	64
T4	48	6600	68
Konventionelle T5 Leuchte	80	4000	>80

Diese Ergebnisse wurden im Rahmen eines vom Fachgebiet Lichttechnik betreuten Projektes zur Untersuchung von LED-Innenraumleuchten in der praktischen Anwendung bestätigt. Hierzu wurden eine Reihe von Innenräumen hinsichtlich ihrer Lichtverteilung, Gleichmäßigkeit sowie Helligkeit zuerst mit ihrer ursprünglichen Beleuchtungslösung mit Leuchtstoffröhren vermessen und ein weiteres Mal nach einer Umrüstung auf LED-Leuchten.

Abbildung 1 zeigt den Urzustand eines mit T8-Leuchten ausgestatteten Klassenzimmers. Das Zimmer war primär in der Mitte des Raumes ausgeleuchtet. Ebenso weist die Fensterseite hohe Beleuchtungsstärkewerte auf, während die Tafelseite vergleichsweise niedrig beleuchtet war. Die Eingangsseite ist am geringsten ausgeleuchtet.

HINTERE WAND										
Eingang - WAND	261	420,5	610,5	724,2	-	-	806,3	738	651,3	499
	374,2	567,3	777,8	885,4	935,3	961,3	919,9	860,8	781,9	625,6
	438	648,6	852,3	937,7	943,3	945,5	922,4	901,8	860,2	707,6
	437	649,3	849,3	913,5	931,7	947,4	926,3	899,4	864,5	717,8
	410,4	602,3	799,5	907,4	956,7	983,8	951,5	881,6	796,9	669,6
	347,2	527	713,4	843,6	933,5	1012	977,6	910,4	831,6	682
	240,8	364,2	480,8	548,9	626,2	714,7	760,9	775	737,5	630,3
	196,1	285,8	367,5	438,3	506,5	616,5	642,3	647,5	673,5	570,3
TAFEL										
FENSTER										

Abbildung 1: Ausleuchtung eines Klassenzimmers mit T8-Leuchten

Dieses Beleuchtungskonzept bietet diverse Vor- und Nachteile. Tätigkeiten auf der horizontalen Ebene sind für die Raummitte und die Fensterpartie mit Werten von 700 bis 1000 lx heller beleuchtet, als es die Norm erfordert. In Tafelnähe und in der Eingangsebene wird vergleichsweise niedrig beleuchtet. Im Bereich der Tafel wird der in der Norm vorgegebene minimale Beleuchtungsstärkewert von 500 lx im Mittelwert erreicht. Bei Degradation der Leuchtmittel fällt die mittlere Beleuchtungsstärke an der Tafel jedoch unter diesen Wert.

Bei dem in Abbildung 2 umgesetzten LED-Beleuchtungskonzept wurde auf eine gleichmäßige Ausleuchtung des gesamten Raums und einer helleren Beleuchtung der Tafel Wert gelegt.

HINTERE WAND										
Eingang - WAND	275	390	438	499	530	516	478	443	418	354
	392	489	595	677	655	615	566	541	471	325
	450	515	550	568	544	537	505	490	521	441
	427	524	559	579	567	556	535	529	506	439
	404	500	518	511	530	541	530	520	497	421
	408	471	500	498	467	437	386	413	477	470
	383	461	483	460	414	398	407	455	476	448
		483	698	884	1016	1003	999			
TAFEL										
FENSTER										

Abbildung 2: Ausleuchtung eines Klassenzimmers mit LED-Leuchten

Vorteil bei diesem Konzept ist die verbesserte Erkennbarkeit von Sehaufgaben in Tafelnähe (Beleuchtungsstärkewerte von 1000 lx). Der restliche Raum ist mit Werten von ca. 500 lx normgerecht ausgeleuchtet. Um die Degradation der Leuchtmittel zu kompensieren

werden die Leuchten dieser Beleuchtungsanlage in ihrem Lichtstrom nachgeregelt, so dass immer eine konstante Beleuchtungsstärke erzielt wird.

Tabelle 2 zeigt in einer Übersicht die Messergebnisse des LED-Beleuchtungskonzeptes im direkten Vergleich zur vorher mit T8-Röhren installierten Beleuchtung.

Tabelle 2: Vergleich der Beleuchtungsparameter im Klassenzimmer mit LED-Leuchten und Leuchten mit T8-Leuchtstofflampen

Leuchte	LED	T8 Leuchtstofflampen
Mittl. Beleuchtungsstärke E	500 lx	1160 lx
---nach Abzug des Wartungsfaktors	500 lx	928 lx
Gleichmäßigkeit g_1	0,77	0,60
Gleichmäßigkeit g_2	0,57	0,51
Farbtemperatur CCT	3772 K	3424 K
Farbwiedergabe R_a	83	83
Blendung UGR	11	22
Leistung	658 W	1582 W
lx/Watt	0,75	0,58

Dadurch dass die LED-Leuchten in der Lage sind die Degradation der Leuchtmittel nachzuregeln, wird sich das Lichtniveau in dem Raum über die Zeit nicht verändern. Alle LED Leuchten werden bei einer geringeren Leistung betrieben und schneiden was ihren Wirkungsgrad (lx/W) betrifft deutlich besser ab, als das für die alte Beleuchtungsanlage mit den T8 Leuchtstofflampen der Fall ist. Allerdings muss damit gerechnet werden, dass sich die Lichtausbeute der LED-Leuchten aufgrund der Nachregelung mit der Zeit verschlechtert. Die LED-Leuchten besitzen eine bessere Gleichmäßigkeit als die alte Beleuchtungsanlage, wodurch die homogenere Ausleuchtung des Raumes möglich wird. Beide Leuchtentypen erfüllen die Mindestanforderung an die Farbwiedergabe. Im Vergleich zu der alten Beleuchtungsanlage wurde die Blendung bei der LED-Lösung stark reduziert.

Fazit

Die ersten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass es möglich ist, mit aktuellen LED-Leuchten in der Innenraumbeleuchtung normgerecht zu beleuchten. Messtechnisch wurde nachgewiesen, dass LED-Leuchten aus lichttechnischer Sicht das Potential besitzen die konventionellen Leuchtenkonzepte auf der Basis von Leuchtstofflampen zu ersetzen. Die Messungen haben aber auch gezeigt dass dieses Potential noch nicht vollständig genutzt wird.

Da die Projekte zur Untersuchung der LED Innenraumbeleuchtung erst 2010 begonnen haben, kann zu den Punkten Lebensdauer und Langzeitstabilität unter realen Bedingungen noch keine Aussage getroffen werden. In einem Projekt von BMWi und ZVEI unter der Federführung der TU Darmstadt werden in den nächsten 3 Jahren Innenraumleuchten von einigen deutschen Leuchtenfirmen gealtert und gemessen, woraus die Ursachen für eine mögliche starke Degradation eingehend analysiert werden können.

Weitere Untersuchungen am Fachgebiet Lichttechnik der TU Darmstadt sollen Klarheit darüber schaffen, ob die bisherigen Gütemerkmale ausreichen, um die im Vergleich zu den konventionellen Leuchtenkonzepten doch sehr viel flexiblere LED-Technologie zu bewerten.

- [1] Klug T., Henn R., Schmiede R.: *Büroarbeit im Wandel*, http://www.ifs.tu-darmstadt.de/fileadmin/soziologie/Schmiede_Publikationen/C64-K11-050824.pdf
- [2] Cakir G.: *Licht und Gesundheit*
- [3] DIN 5035: *Beleuchtung mit künstlichem Licht*
- [4] Sejkora G.: *Innenraumbeleuchtung*, Skript Lichttechnik, TU Darmstadt
- [5] DIN EN 12464: *Beleuchtung von Arbeitsstätten*