

LED-Röhren – das Gelbe vom Ei?

Alle Welt spricht von LED als die neuen Lichtquellen. LED sind so anders als alle zuvor bekannten Leuchtmittel, dass sie teilweise ein weitreichendes Umdenken erfordern. LED im Plastikrohr als Ersatz für konventionelle Leuchtstofflampen sind hingegen nur in speziellen Fällen eine gute Idee.

Stefan Fassbinder

Als Grund zum Umstieg auf LED-Leuchtmittel wird meistens die Energieeffizienz – der bessere Wirkungsgrad – angeführt. Theoretisch kann eine

heute mit weissen LED auch praktisch deutlich über 100 lm/W. Keine real existierende Lampe verfügt über ein kontinuierlich gerades Spektrum, auch die Glühlampe nicht. Die Lichtausbeute lässt sich also «hochschrauben»,



LED-Röhren am Markt gibt es in verschiedenen Längen von zahlreichen Herstellern.

Lichtausbeute von 683 Lumen je Watt [lm/W] bei monochromatischem grünem Licht von 555 nm Wellenlänge erzielt werden. Die «grünste» anzunehmende Lampe ist also tatsächlich grün. Für «weisses» Licht, wenn man alle Farben von 380 nm bis 780 nm Wellenlänge zu gleichen Teilen mischt, liegt der theoretische Wert bei 182 lm/W. Damit das Licht «ordentlich weiss» erscheint, genügen aber gewisse Anteile im Spektrum, deshalb erreicht man

wenn eine Lichtquelle viel Licht im grünen Bereich enthält.

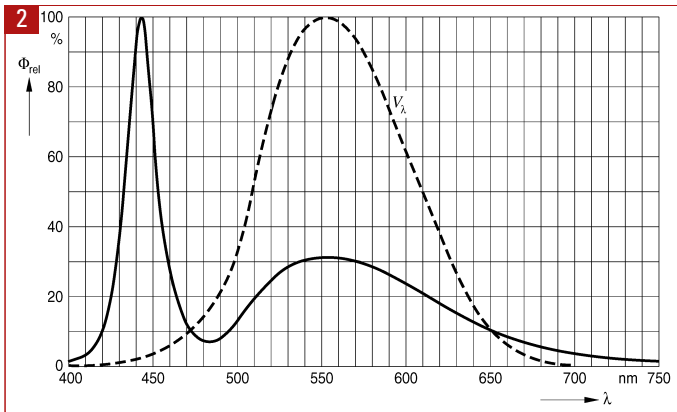
LED «schöngerechnet»

Das typische Spektrum einer «weissen» LED zeigt Bild 2 mit der ausgezogenen Kurve; die strichlierte Linie ist die Augenempfindlichkeitskurve. Ergebnis: Hätte diese LED einen energetischen Wirkungsgrad von 100 Prozent, würde also alle elektrische Energie zu 100 Prozent in Licht umsetzen, so käme sie

auf 303 lm/W anstatt auf nur 182 lm/W. Grund: Sie erzeugt mehr grünes Licht in dem besonders empfindlichen Bereich des Menschen.

LED geniessen gegenüber Leuchtstofflampen bei der Erzeugung weissen Lichts den Vorteil, dass sie aus blauem Licht, das schon im sichtbaren Bereich des menschlichen Auges liegt, die restlichen Farben Grün, Gelb bis Rot erzeugen müssen. Das funktioniert mit besserem Wirkungsgrad als bei Leuchtstofflampen, die aus UV-Strahlung sichtbares Licht erzeugen müssen. Für jedermann verständlich wird, dass bei einer LED, die Tageslichtweiss erzeugt, die Lichtausbeute höher ist als bei Warmweiss, denn im Tageslichtweiss ist viel mehr Blauanteil, den die LED direkt erzeugt.

Zur farblichen Qualifizierung des Lichts dient der Farbwiedergabe-Index Ra (Englisch: CRI). Wenn ein Leuchtmittel über einen Farbwiedergabe-Index Ra = 100 (Halogenglühlampe) verfügt, kommt dies einer idealen Farbwiedergabe gleich. Der Farbwiedergabeindex ist eine relative Grösse, er bezieht sich immer auf die jeweilige Farbtemperatur des Leuchtmittels. Dabei ist Tageslicht nicht gleich Sonnenlicht und hat auch kein kontinuierliches Spektrum. Die Sonne ist ein Strahler mit knapp 6000 K Oberflächentemperatur. Dies entspricht der Farbtemperatur des Tageslichts bei leicht bewölktem Himmel. Nur deshalb lassen sich beliebige Lichtquellen anhand ihrer «Farbtemperatur» vergleichen. Beträgt sie etwa 6000 K, so nennt sich dies «Tageslichtweiss». In der Atmosphäre allerdings werden verschiedene Farben verschieden gebrochen, gestreut und absorbiert. So kommt an der Erdoberfläche denn doch wieder ein diskontinuierliches Spektrum an, das noch dazu tageszeitlich stark schwankt. Man muss also wieder ein bestimmtes, typisches Tageslichtspektrum normativ festlegen.



Spektrale Verteilung einer LED und genormte Empfindlichkeit des menschlichen Auges mit strichlierter Linie.

Eine Lichtquelle, die dieses Spektrum genau nachahmen kann, erreicht rechnerisch die beste Farbwiedergabe.

Zweifelhafte Energieeinsparung

LED-Röhren werden mit dem Argument verkauft, dass sie über gerichtetes Licht verfügen. Es heisst: Sie strahlen Licht nur dorthin, wo es gebraucht wird. Dieses Argument überzeugt bei der Strassenbeleuchtung, hingegen eher weniger bei der Flächenbeleuchtung in Lagerhallen, Büroräumen, Schulzimmern und anderen Räumen. Hier soll das Licht breit gestreut sein, weil es überall gebraucht wird. Ein ganz praktischer Versuch zeigt den Einsatz von LED-Röhren in der Werkstatt des Verfassers (*Bild 3*). Beide Messungen erfolgten unter absolut identischen Voraussetzungen, also auch gleiche Belichtungszeit und gleiche Blende. Die LED-Röhre verfügt über Tageslichtweiss mit höchster Lichtausbeute, was am kalten Farbton sichtbar ist. Bei Warmweiss würde nochmals weniger Licht entstehen.

Die Werkstattbeleuchtung mit LED-Röhren zeigt deutlich, dass bestehende Anlagen nur dann mit LED-Röhren bestückt werden dürfen, wenn bis anhin mehr als genug Licht vorhanden ist. Die Probe aufs Exempel war also notwendig, und so wurden drei verschiedene LED-»Ersatzröhren« (*Bild 4*) im Lichtlabor gemessen (*Tabelle*). Bei der konventionellen Leuchtstofflampe kommt ein Vorschaltgerät VVG mit gutem Wirkungsgrad zum Einsatz. Es handelt sich um 1,5 m lange Röhren. Dabei bestätigten sich hinsichtlich Leistung und Lichtausbeute alle gemachten Feststellungen:



Links konventionelle Leuchtstofflampe, rechts LED-Röhren mit 50 % elektrischer Leistung aber auch nur 50 % Licht.

- Die Effizienz der «LED-Röhren» ist fast so gut wie die der hierdurch ersetzten Leuchtstofflampen.
- Die LED-Röhre liefert bei halber elektrischer Leistung knapp halb so viel Licht wie eine entsprechende Leuchtstofflampe gleicher Länge.

So funktioniert die Amortisation

Bis jetzt ist die LED-Röhre nicht effizienter als eine konventionelle Leucht-



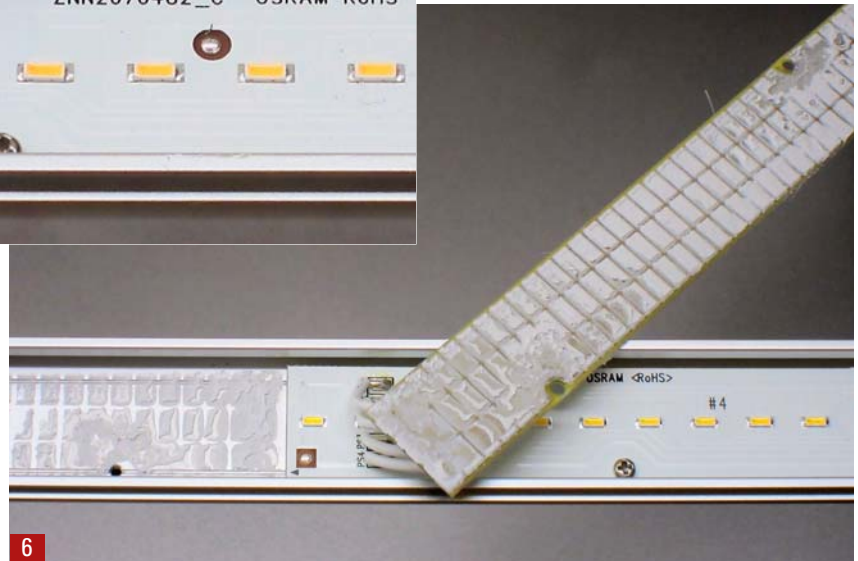
Links drei Messmuster fürs Lichtlabor, rechts das Innenleben einer LED-Röhre.



Ausschnitt aus einer modernen LED-Röhre mit SMD-LED ohne Abdeckung.

stofflampe mit gutem Vorschaltgerät. Über geringere Stromkosten lässt sich also keine Amortisierung erreichen, wenn gleich viel Licht benötigt wird. Die LED-Röhre kann in Ausnahmefällen punkten:

- In Gefrierräumen, da tun sich konventionelle Leuchtstofflampen schwer, ihr Wirkungsgrad sinkt; bei LED-Röhren steigt er.
- Wenn gerichtetes Licht der LED-Röhren erwünscht ist. Dies ist z. B. der Fall, wenn konventionelle Leuchtstofflampen in alten Leuchten montiert sind, die nicht über wirkungsvolle Reflektoren verfügen, liefert die LED-Röhre mindestens so viel Licht.



Die LED-Module sind unter Verwendung von Wärmeleitpaste auf den Aluminiumkörper geschraubt.

In Verkaufsläden, Hallen usw. lohnt sich der Einsatz von LED-Röhren hingegen kaum, es sei denn, die bisherige Helligkeit ist zu hoch und man kommt mit der halben Helligkeit aus. Dies kann vielfach vor allem im Haushalt der Fall sein, wo man die Leuchtstofflampe eingesetzt hat, die verfügbar war, weil es eben keine schwächere gab. Wenn

das einmal so ist, muss man auch keine Mühe in den Reflektor investieren und kann stattdessen Zugeständnisse an die Schönheit der Leuchte machen. Dort spart man beim Ersatz konventioneller Leuchtstofflampen durch LED-Röhren etwa die halbe elektrische Leistung. Aber eigentlich ist der Einsatz der genialen LED in einer «Röhre» total am falschen Ort. LED sind zu wertvolle Elemente, als dass sie die effizienten Leuchtstofflampen ersetzen. Dies gilt mindestens solange, als die Lichtausbeute nicht deutlich besser ist als bei der konventionellen Leuchtstofflampe-technik.

Argument Lebensdauer

Eine Leuchtstofflampe gilt als ausgefallen, wenn sie defekt ist oder wenn der Lichtstrom auf 90 Prozent oder 94 Prozent des Nennwertes gefallen ist, je nach Norm. Damit erreicht eine handelsübliche Dreibandlampe etwa 15 000 Stunden Brenndauer. Bei der LED-Röhre gibt es noch keine norma-

Mit VVG Typ	Preis			Messwerte DIAL					S
				U	P	I	Φ	η	
ABB 58-150/235F-50-B4	min.	119.90 €	Nennwerte	230.0V	25.00W		1900lm	72lm/W	
	max.	119.95 €	Messwerte	230.0V	26.30W	119mA	1828lm	70lm/W	27.5VA
	min.	77.52 €	Nennwerte	230.0V	25.50W	110mA	1650lm	65lm/W	25.3VA
	max.	99.00 €	Messwerte	230.0V	26.68W	118mA	1899lm	71lm/W	27.1VA
	min.	94.90 €	Nennwerte	230.0V	30.00W		2700lm		
	max.	94.90 €	Messwerte	230.0V	29.20W	131mA	2432lm	83lm/W	30.0VA
VS LN58.512	min.	2.37 €	Nennwerte	230.0V	58.00W	670mA	5200lm	90lm/W	154.1VA
	max.	5.00 €	Messwerte	230.0V	61.42W	596mA	4952lm	81lm/W	137.1VA

Mess- und Nennwerte der Leistungsaufnahmen und der Lichtströme verschiedener, mit einer 58-W-Leuchtstofflampe «kompatibler» LED-Röhren (bei der Leuchtstofflampe verstehen sich die Nennwerte ohne VVG, die Messwerte einschliesslich der VVG-Verluste).

tiven Vorgaben; üblicherweise nimmt man etwa 70 % Restlichtstrom an für die Definition des Lebensendes. So gelangt man auf Werte bis zu 60000 Stunden. Das schaffen spezielle «Longlife»-Leuchtstofflampen auch. Aber es lohnt sich in jedem Fall, eine Lampe auszuwechseln, wenn ihr Lichtstrom unter 70 Prozent des Anfangswertes gefallen ist, wenn sie bis dahin noch nicht defekt ist.

Bei der Planung wird üblicherweise ein Wartungsfaktor von 1,25...2,0 berücksichtigt. Mit dimmbaren EVG wird der Lichtstromabfall nachgeregelt, sodass am Ende der Lebensdauer nach wie vor z. B. 500 Lux auf dem Tisch gemessen werden. Der Prozessor addiert die Zeit und erhöht sukzessive den elektrischen Strom in der Röhre, um die abfallende Lichtausbeute zu kompensieren. Bei der LED-Technik lässt sich dies natürlich auch anwenden und ist bei LED-Strassenleuchten Stand der Technik.

Anatomie einer LED-Röhre

Vorschaltgeräte für LED-Leuchten sind einfacher in der Technik als solche für Leuchtstofflampen, denn LED müssen weder vorgeglüht noch gezündet werden, es wird im besten Fall einfach ein konstanter Gleichstrom durch die in Serie geschalteten LED geschickt. Bei gepulstem Gleichstrom sinkt der Wirkungsgrad der LED.

Doch was eine neue Technik leistet und ob der Markt sie aufnimmt, zeigt letztlich nur die Praxis. Die LED-Röhren taten für einige Monate in der eigenen Werkstatt ihren Dienst. Befriedigen taten sie allerdings nicht.

Vom Platzbedarf her würden viel mehr SMD-LED in die Röhre passen (*Bild 5*). Man sieht weiter in *Bild 6*, dass die Module mit Wärmeleitpaste auf die hintere, aus Aluminium gefertigte Hälfte des Rohres geschraubt sind. Der Engpass ist einerseits die Abfuhr der Verlustwärme aus den winzigen LED und natürlich der Preis der Röhre, der mit einer Verdoppelung der Anzahl LED weiter ansteigen würde.

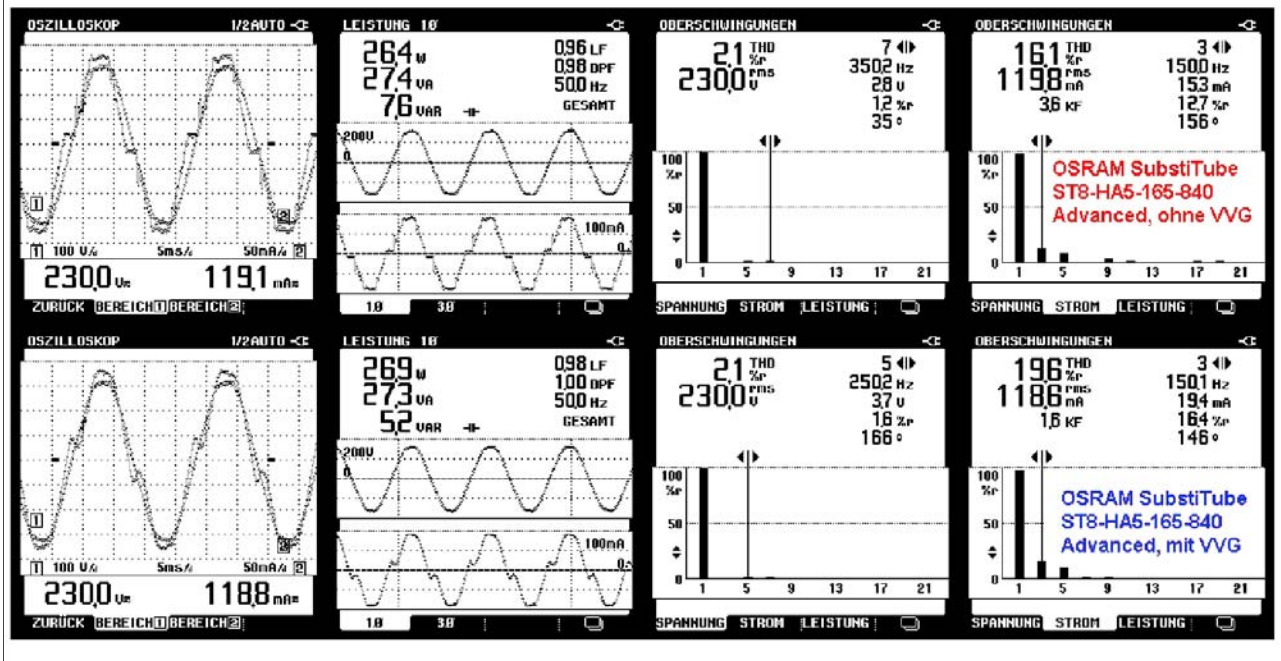
Wie stehts mit der EMV?

Bei den ersten LED-Röhren stellte sich bei der Messung der elektromagnetischen Verträglichkeit oftmals Schauriges heraus. Allerdings bewirkt die Drossel im Röhrenstromkreis eine Reduzierung der Netzurückwirkungen mit Oberschwingungen. Übrigens, die Verluste in der Drossel sind gering, weil die LED-Röhren nur etwa die halbe Wirkleistung und erst recht sehr viel weniger Blindleistung aufnehmen und der Strom daher weniger als ein Drittel der konventionellen FL-Röhre beträgt. Grund: Konventionelle Leuchtstofflampen sind sehr stark induktiv. Die thermischen Verluste in der Drossel sind quadratisch zum Strom und deshalb beim Einsatz der LED-Röhre fast nicht mehr vorhanden. Es versteht sich von selbst, dass der LED-Ersatz nicht funktioniert, wenn in der Leuchte ein EVG vorhanden ist; dieses muss entfernt werden. Gemäss Vorgaben der Hersteller müsste meistens sogar noch ein VVG an dessen Stelle eingesetzt werden – aber wer tut denn das? LED-Röhren sind für solche Einsatzfälle, wo ein EVG vorhanden ist, nicht gedacht.

Bei höherklassigen LED-Röhren der renommierten Anbieter ist die Stromverzerrung gering, wie *Bild 7* zeigt. Aus der Praxis sind noch keine ungewöhnlichen Störungen bekannt, abgesehen davon, dass die LED-Röhren in bestimmten Anlagen reihenweise ausfallen. Vermutlich sind dafür hohe Überspannungspulse im Netz verantwortlich.

Ausblick

Die LED-Technik ist daran, den Beleuchtungsmarkt umzukrempeln. Konventionelle Leuchtstofflampen durch LED-Röhren zu ersetzen, ist nur in den wenigsten Fällen sinnvoll. Im Extremfall bringt dies die LED-Technik eher in Verruf, weil von grosser



Dank elektronischer Leistungsfaktorkorrektur (PFC) ist die Blindleistung fast verschwunden.

Energieeinsparung gesprochen und nicht gleichzeitig betont wird, dass auch nur halb so viel Licht entsteht. Dies verleitet zur Bilanz: LED-Leuchtmittel sind teuer und schwach, ihr Licht ist kalt, und ihre Energieeffizienz ist auch nicht besser als die der Leuchtstofflampen. Hier stehen zu bleiben, wäre gänzlich falsch. Der LED-Wirkungsgrad überrundet denjenigen der Glühlampen um ein Mehrfaches. LED-Ersatzleuchtmittel für Glühlampen sind heute besser als Kompaktleuchtstofflampen. Ihre Existenzberechtigung haben LED-Lampen durch ganz andere Eigenschaf-

ten längst erworben. So sind sie die einzigen, die sich wirklich guten Gewissens «Kompakt-Leuchtstofflampen» nennen dürften, denn jene, die man so nennt, erweisen sich in mancher Leuchte als so «herausragend», dass «kompakt» die letzte Eigenschaft wäre, die man ihnen zuordnen könnte. LED-Leuchtmittel dagegen, die originär als solche konstruiert und nicht als Imitat anderer Lampen in ein Rohr gestopft wurden, sind sehr kompakt und arbeiten stets mithilfe eines Leuchtstoffs.

Auch ist es zu kurz gesprungen, alles auf die Lichtausbeute zu reduzieren.

Wenn diese ähnlich wie bei Leuchtstofflampen ist, reicht dies aus, um die anderen Vorteile der LED zu nutzen. Es lassen sich Leuchtenkonzepte erzielen, die bisher einfach nicht möglich waren. So ist z. B. der Aufbau gerichteter Lichtquellen mit Kompaktleuchtstofflampen schlechterdings unmöglich. Mit LED ist das ein Kinderspiel. Mit modernen LED herkömmliche Lampen imitieren zu wollen, ist bestenfalls eine Notlösung, zukünftig ein Unsinn. ■