**LED Straßenleuchten – Stressfaktor Tag**

**Die LED als Lichtquelle hat sich mittlerweile auch in der öffentlichen Außenbeleuchtung zum Standard entwickelt. Vor allem ihre Effizienz, lange Lebensdauer und der geringere Wartungsaufwand überzeugen die Vertreter von Städten und Gemeinden. Doch dabei wir der „Stressfaktor Tageslicht“ nicht berücksichtigt, sondern lediglich von einem Leuchtenbetrieb in der Nacht ausgegangen. Doch wie alterungsbeständig sind die verwendeten Materialen wie z.B. Optiken und Abdeckungen eigentlich?**

Stand der Technik ist, dass die heutige Qualitäts-LED einen stabile Beleuchtung über 100.000 Betriebsstunden aufweist. Jedoch darf in der Gesamtbetrachtung des komplexen System Leuchte nicht nur die LED als Lichtquelle betrachtet werden und hiervon die Nutzlebensdauer abgeleitet werden. LED Straßenleuchten als System (nicht nur der einzelne LED Chip!) sind im Betrieb ganz unterschiedlichen Bedingungen ausgesetzt, die eine erhebliche Auswirkung auf die Nutzlebensdauer haben. Sogar am Tag, wenn die Leuchten nicht in Betrieb sind, kann es je nach verwendetem Material zu erheblichen Leistungseinbußen der Beleuchtungsqualität kommen und somit die genannte Lebensdauer in Frage gestellt werden.

LED-Straßenleuchten prägen heute vielerorts das Straßenbild. Mit der Einführung der neuen Technologie wird als höchster Nutzwert der LED, neben der Energieeffizienz, die lange Lebensdauer mit aufgeführt. Mit der Einführung war die Erwartungshaltung, dass die LED eine Nutzlebensdauer von > 50.000 Betriebsstunden erreicht. Stand heute, im Jahre 2017, werden Werte von über 100.000 Stunden genannt und gelten im Allgemeinen auch als gesichert. Dies gilt allerdings nur für die LED als Leuchtmittel. Betrachtet man die Angaben der Leuchtenhersteller für die Nutzlebensdauer von LED-Straßenleuchten, so werden hier ebenfalls aktuell 100.000 Stunden ausgewiesen. Solche Werte sind möglich, da sich auch auf der Seite der Elektronik deutliche Qualitätssteigerungen bei den eingesetzten Treibern und Komponenten mit der Zeit der Entwicklung ergeben haben. Sicher ist aber auch, dass solche Angaben immer eine entsprechende Anzahl an Ausfällen mitberücksichtigen, dass gilt bei der LED sowohl im Lichtstromrückgang, als auch in den Ausfallraten der LED und der Elektronikbauteile. Als gesichert gilt, dass die Leuchten im System bei den ausgewiesenen Umgebungstemperaturen diese hohen Nutzlebensdauern erreichen, allerdings im Betrieb, was in den Dunkelstunden bedeutet, also in der Nacht. Nur wenige Hersteller testen auch die Auswirkungen der Leuchten im Tagbetrieb.

Doch wie wirken sich die Einflüsse des Tages auf die eingesetzten Materialien und Produkte aus? Dieser Frage muss heute eine deutliche höhere Bedeutung zugemessen werden. Im Gegensatz zur konventionellen Technik, bei der wir feste Wartungsintervalle hatten, da die Lampe ausgetauscht werden musste, werden LED-Straßenleuchten auch mit dem Argument beworben, dass diese über die Nutzlebensdauer fast wartungsfrei sind (ohne Betrachtung der Prüfungen nach DGUV Vorschrift 3). Somit entfällt die Sichtprüfung der Leuchten und nur der visuelle Eindruck im Betrieb ist für uns Beurteilungsgrad der Qualität der Beleuchtung. Welcher Nutzer wird nach 25 Jahren oder mehr die Beleuchtungsanlagen kontrollieren und Messungen vornehmen ob das Beleuchtungsniveau den Zusagen bzw. den Mindestanforderungen der DIN entspricht? Was aber, wenn sich auch optisch die Leuchten verändern, so dass die Mängel sichtbar werden? Können wir davon ausgehen, dass die heutigen Produkte den Anforderungen über eine solche lange Zeitspanne entsprechen?

**Mechanischer Aufbau und die Tageinwirkung**

Konkret geht es um die verwendeten Kunststoffe, die insbesondere bei der Wahl von Linsenoptiken gang und gäbe sind.

Grundsätzlich werden alle Leuchten im Labor nach mehr oder weniger gleichen Standards vermessen, um Ergebnisse über die Leistungsfähigkeit ableiten zu können. Dabei sind die Umgebungsbedingungen konstant und wenige äußere Faktoren beeinflussen die Produkte. Doch was ist mit der Alterung der Produkte und der eingesetzten Materialien? Wann wird das Material am meisten beansprucht?

Mit Einführung der LED Technologie wurde im Wesentlichen die Chiptemperatur im Übergangspunkt Tj in Abhängigkeit mit der Bestromung der LED als kritischstes Element gesehen. Die Branche sprach über das Thermomanagement als wichtigste Herausforderung um die Lebensdauer der LED zu sichern. Heute wissen wir, dass die Alterung der Materialien einen viel höheren Einfluss haben wird, als die LED, die in ihrer Qualität als so stabil gilt, dass es nur zu wenigen Ausfällen kommt. Auch kann mit Sicherheit beurteilt werden, dass alle namhaften Hersteller heute LED-Straßenleuchten anbieten, die in der Nacht nicht „gestresst“ werden und die Systeme abseits der kritischen Werte arbeiten. Die Technische Universität Darmstadt hat bereits vor einigen Jahren eine Alterung von LED und Optiken vorgenommen und dabei einige kritische Punkte aufgezeigt. Neben konstruktiver Mängel wurde u.a. auch die Einwirkung der Sonne am Tage auf das Leuchtengehäuse betrachtet. Dieser Ansatz muss verfolgt werden, um zu verstehen, was mit LED-Straßenleuchten am Tage geschieht.

Die Stadt Abu Dhabi hatte in einer Testinstallation bereits nach 2 Monaten deutliche Veränderungen von LED-Leuchten feststellen müssen. Obwohl die Stadt die technischen Rahmenbedingungen für den Betrieb eingrenzte, wie z.B. eine maximale Bestromung der LED von 350mA, sind die Veränderungen (siehe Bild 1) erstaunlich.



**Was war passiert und wieso bereits nach so kurzer Zeit?**

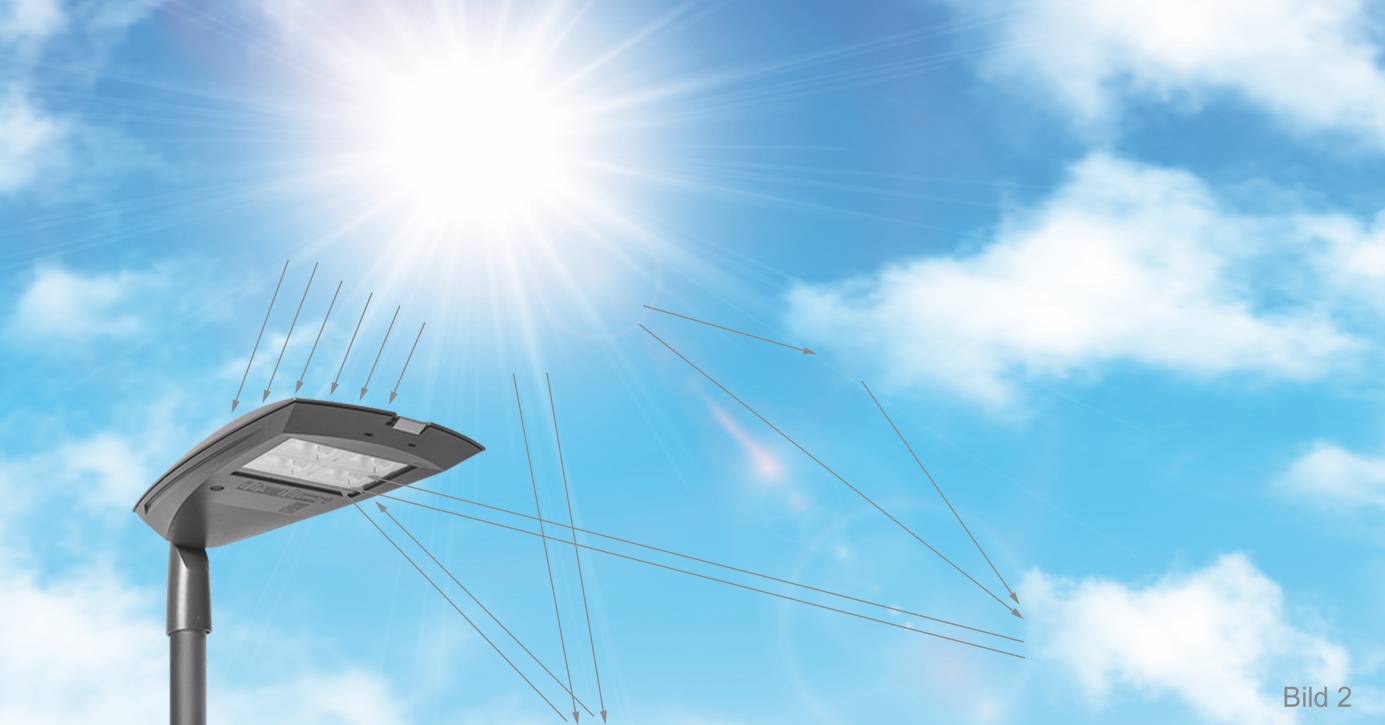
Die geografische Lage der Stadt sowie die Bestimmung der Testperiode auf die Sommermonate hat offensichtlich Einwirkungen, die zuvor niemand beachtet hat. Die Leuchten wurden nach Auftreten des augenscheinlichen Mangels in ein Labor zur Prüfung übergeben. Alle Werte der Leuchte schienen zu stimmen, auch das Thermomanagement zeigte keine negativen Abweichungen, auch die Bedingung, dass die Leuchten bei einer Umgebungstemperatur Ta bis zu 50°C einsetzbar sind, waren bei dem Test innerhalb der zulässigen Toleranzen, die zugesicherten Eigenschaften blieben erhalten.

Also müssen folgerichtig andere Faktoren die Eigenschaften negative beeinflusst haben!

Die Untersuchungen, auch von Seiten anderer Anbieter die am Wettbewerb teilgenommen haben, zeigen auf, dass die Ursachen durch die Einwirkungen der Einflüsse am Tage großen Anteil an den Veränderungen genommen haben.

Die Innentemperatur im Gehäuse erhitzt sich bei direkter Sonneneinstrahlung auf über 85°C, dies gilt im Übrigen auch für unsere klimatischen Sommerzeiten, wenn wir am Tage Temperaturen von >30°C haben. Im Extremfall wurden sogar am Tage über 100°C in den Leuchten gemessen. Diese hohe Temperatur im Inneren führt zu einer mechanischen Veränderung der eingesetzten Kunststoffoptiken. Die Optiken veränderten Form und Beschaffenheit und die sichtbare Vergilbung ist Resultat der UV-Einstrahlung. Diese Temperaturen, die im Nachtbetrieb in einer Leuchte nicht erreicht werden, stressen die LED-Leuchten selbst im ausgeschalteten Zustand. Die LED als Lichtquelle wird aber nicht negativ beeinflusst, da die Temperatur Tj hier keinen Einfluss nimmt auf Eigenschaften der LED, denn die LED ist nicht im Betrieb und der Tj liegt immer weit unterhalb der zulässigen maximal Temperatur. Nur zum Zeitpunkt des Einschaltens der Leuchte kann es kurzzeitig zu kritischen Momenten kommen, bei denen der Tj über den Maximalwert steigt. Demnach sind Faktoren, wie der LED Strom gar nicht relevant, da die Leuchten nicht im Betrieb waren. Untersuchungen in diesem Zusammenhang des Planungsbüro Dr. Petry in Offenbach, in Zusammenarbeit mit der Energieversorgung Offenbach zeigen, dass besonders im Sommer diese kritischen Momente beim Einschalten der Leuchten erreicht werden können. Diese Ergebnisse sind auch ein Indiz, dass im Inneren der Leuchtengehäuse hohe Temperaturen herrschen müssen, denn das Material auf der LED-Platine muss sich entsprechend erwärmen. Ableiten lässt sich hieraus auch, dass das Thermomanagement, welches immer als ein sehr wichtiges Qualitätsmerkmal langlebiger LED-Leuchten hervorgehoben wurde, nicht nur im Betrieb in der Nacht regulieren muss, sondern auch besonders am Tag die Leuchten entstressen müsste. Eine Alternative ist, dass im Inneren der Leuchte Materialien verwendet werden, die Resistenz gegen hohe Temperaturen sowie auch hitzebeständig sind.

Durch hohen Temperaturen im Inneren der Leuchten werden z.B. eingesetzte Kunststoffe je nach Materialbeschaffenheit verändert. Wir beobachten Trübungen, Vergilbungen und auch mechanische Veränderungen (Ausdehnungen, Risse, etc.) bei Kunststoffbauteilen und in den optischen Systemen. Hinzu kommt, dass die Materialien zusätzlich durch die am Tage vorhandene UV-Strahlung (Bild 2) gestresst werden. Alterungstests eines Herstellers für Glaslinsen zeigen, dass die indirekte UV-Strahlung zu solchen Erscheinungen führen und wesentlich zur Alterung des Material beitragen. Im Allgemeinen wird immer behauptet, dass LED-Leuchten durch die Lichtquelle LED selbst keiner UV-Belastung ausgesetzt sind, da die Lichtquelle frei von UV-Strahlen ist. Dies stimmt aber nur solange, wie keine externe UV-Strahlung auf das System einwirkt und dies ist am Tage immer gegeben. Die UV-Strahlen treffen in der Regel bei modernen LED-Leuchten nicht mehr direkt auf, aber durch Reflexionen über Wolken oder der Oberfläche ist eine ständige, indirekte UV-Strahlung vorhanden.



Nun sind diese äußeren Einflussfaktoren in geografischen Gebieten wie den Emiraten sicher um einiges höher als in der gemäßigten Zone Mitteleuropas, doch müssen wir uns ins Gedächtnis rufen, dass wir von einer Nutzlebensdauer von > 100.000 Betriebsstunden ausgehen, also ca. 25 Jahre bei 4.000 Betriebsstunden im Jahr bei einer Straßenleuchte. Bei uns in Mitteleuropa sind die Prozesse der Alterung sicher nicht in so kurzer Zeitspanne so extrem bemerkbar und sichtbar wie in Abu Dhabi, doch wird der Alterungsprozess mit dem ersten Tage der Installation beginnen. Und ob nach 100.000 Betriebsstunden die Mängel so offensichtlich sind, wie Bild 1 zeigt, wird sich in der Praxis zeigen. Und was ist mit den Optiken nach dem Multilayerprinzip mit vorgesetzten Kunststoffoptiken, wenn sich jede optische Einheit mechanisch im Laufe der Zeit unterschiedlich verändert? Durch die unterschiedliche Wärmeausbreitung im Inneren der Leuchten, und somit auch auf der Platine, verhalten sich die Kunststoffe in Abhängigkeit zu den unterschiedlichen Temperaturen auch unterschiedlich in der mechanischen Veränderung. Dieser Beanspruchung der Materialien muss die Leuchtenindustrie bei der Entwicklung der Leuchten entgegenwirken. Die Materialauswahl hat so zu erfolgen, dass die Eigenschaften stabil bleiben, idealerweise auch bei maximalen Temperaturen von bis zu 150°C.

**Einfluss auf die Lichtplanung – der Wartungsfaktor**

Nehmen wir diese Erkenntnisse mit in unsere Lichtplanung, so müssten wir die Definition des Wartungsfaktors überdenken. Ein neuer Faktor für die Bestimmung des Wartungsfaktors muss aufgenommen werden, um die Alterung der optischen Systeme mit zu berücksichtigen und dies im Besonderen für die Außenbeleuchtung. Nach CIE 154 setzt sich der Wartungsfaktor durch den Lichtstromrückgang der Lichtquelle, den Lampenlebensdauerfaktor und dem Leuchtenwartungsfaktor (Verschmutzung) zusammen. Die optischen Systeme finden aktuell keinen Einfluss auf den Wartungsfaktor, auch nicht die Alterung der Systeme. Mögliche wäre die Integration dieser Einflussfaktoren auf den Lampenlebensdauerfaktor anzuwenden, doch muss zuvor eine Definition der Parameter erfolgen. Nehmen wir an, dass die Untersuchungen recht behalten, so ist die Alterung der entscheidender Faktor der zu berücksichtigen ist. Dem Planer müssen also neben den bekannten Parametern auch die Werte der Alterung mitgeteilt werden. Betrachten wir das vorgenannte Beispiel der Stadt Abu Dhabi, so können wir sicher davon ausgehen, dass die Effizienz um >20% nachgelassen hat. Der Wartungsfaktor in der Lichtplanung bei L90B10 bei einer Nutzlebensdauer von 100.000 Betriebsstunden müsste somit – wie folgt – bestimmt werden:

WF = LaWF (0,90) \* Verschmutzung gering nach CIE 154, Leuchte IP 66 (0,90) \* Alterung (Beispiel 0,80)

Es ergibt sich nach dieser Formel ein Wartungsfaktor von 0,65.

Die Alterung der Materialien hat einen großen Einfluss auf die Qualität der Beleuchtungsanlage in der Zukunft. Dies gilt für die optischen Systeme, aber auch für weitere Bauteile der Leuchte, die das Licht in seiner Wirkung beeinflussen. Die Universität von Antwerpen (Belgien) hat in einer Tunnelanlage Tunnelleuchten unterschiedlichster Art in verschiedenen Abschnitten installiert und begutachtet, ohne diese jedoch in Betrieb zu nehmen (der Verkehr jedoch lief weiterhin durch den Tunnel). Dabei waren zwei Leuchtensysteme im Einsatz, eine Leuchte konstruktiv über eine Glasscheibe geschlossen und die zweite Leuchte mit einer Abdeckung aus Kunststoff PMMA geschlossen. Die Neuwerte wurden dabei durch Messungen bestätigt und auf 100% gesetzt. Nach 3 Monaten sind die Messungen wiederholt worden, mit dem Ergebnis, dass die Leuchten mit den Abdeckungen aus Glas ca. 7% an Effizienz verloren hatten und die Leuchten mit der Kunststoffabdeckung mehr als 15%. Die Leuchten wurden abschließend gereinigt und nochmals vermessen. Auch hier zeigte sich, dass bei der Kunststoffabdeckung bereits die Alterung eingesetzt hat. Die Effizienz der Leuchten mit Glasabdeckung wurde mit 100% wie im Neuzustand bestätigt, die Leuchten mit der Kunststoffabdeckung hatte bereits 2,5% an Effizienz verloren. Erstaunlich bei dieser Untersuchung ist, dass die Alterung bereits nach 3 Monaten eingesetzt hat und dass die Leuchten nicht in Betrieb waren. Auch dies ist wiederum ein eindeutiges Indiz dafür, dass der Tagbetrieb, und somit der Zustand der Leuchten ausgeschaltet, einen hohen Einfluss auf die Qualität des Produktes über eine Nutzlebensdauer von 25 Jahren haben wird.

Dieser Ansatz zeigt, wie wichtig die Auswahl des richtigen Materials im Bereich Optik und weiterer Komponenten ist. Wird bei der Auswahl der richtigen LED-Straßenleuchte nicht auf diese Kriterien gesetzt, läuft der Nutzer die Gefahr, dass am Ende der Nutzlebensdauer, oder bereits schon nach der Hälfte der zugesicherten Betriebsdauer, die Beleuchtungsanlage die Mindestanforderungen an die Beleuchtungsaufgabe nicht mehr sicherstellt. Wir sehen aktuell am Markt Wartungsfaktoren von 0,90 oder höher in der Planung und sind der Auffassung, dass diese Werte keine realistischen, dauerhaften Werte dem Nutzer aus der Planung zusichern. Es werden Leistungen zugesichert, die nicht haltbar sind, dass die Alterung überhaupt keine Berücksichtigung bei solchen Wartungsfaktoren findet.

Sollen wir bei der Lichtplanung also Alterungsfaktoren einführen? Heute liegen leider nur wenige Untersuchungen vor, die eine Aussage über die Verluste in Prozent ausdrücken. In jedem Fall ist aber klar, dass die Materialien einer Alterung unterworfen sind und dass die Art des Materials über die Qualität der Beleuchtung in der Zukunft entscheidet.

**Die Elektronik im Stress?**

Neben den Einflussfaktoren auf die LED und die optischen Systeme, werden auch die elektronischen Bauteile durch die enormen Temperaturen beansprucht. Treiber und Zusatzkomponenten sind am Tage allerdings nicht im Einsatz, und die Grenzwert im Temperaturbereich des Messpunktes Tc, die entscheidend für den sicheren Betrieb der Elektronik sind, werden nicht erreicht. Wir gehen heute davon aus, dass der Tagbetrieb, trotz hoher Temperaturen im Inneren der Gehäuse, keine wesentlichen negativen Veränderungen in der Nutzlebensdauer hat. Aber Achtung, dies gilt nur für Leuchtensysteme, die über einen Druckausgleich verfügen. Sind Leuchten ohne Druckausgleich im Betrieb, so werden durch die Innendrucksituationen auch die elektronischen Bauteile in der Leuchte gestresst und mechanische Schäden sind zu erwarten. Auch müssen die eingesetzten Kunststoffe den hohen Temperaturen standhalten, allerdings spielt durch die Anordnung der Bauteile im Inneren der Gehäuse die UV-Einstrahlung hier keine Rolle.

**Fazit**

Die Leuchtenhersteller stehen bei der LED Technologie mit allen Vorteilen auch heute noch unbekannten Faktoren gegenüber, die in der Vergangenheit keine Beachtung gefunden haben. Die Herausforderungen, die sich durch die Vorteile der Technologie ergeben und die zugesichert werden, müssen auch nachweislich sichergestellt sein. Umso wichtiger ist es, dass bei der Auswahl der richtigen LED-Straßenleuchte keine Entscheidungen getroffen werden, wenn die Eigenschaften der eingesetzten Materialien nicht bekannt sind. Dabei sind nicht nur die Leuchten selbst, sondern auch die verwendeten Komponenten und Bauteile gemeint. Der Nutzer wird in Zukunft immer mehr Wert auf alterungsbeständige System legen müssen, nur diese sichern die zugesagten Eigenschaften und die enorm langen Nutzlebensdauern auch zu. Es gilt mit dem System LED-Straßenleuchte die Erhaltung der Eigenschaften im Neuzustand so lange wie möglich zu erhalten und zu sichern.