

In the Heat of the Light: Brennpunkt Temperaturbeständigkeit Wie LED-Leuchten Extrembedingungen dauerhaft standhalten

Mit LEDs bestückte Leuchten sind nicht nur besonders energieeffizient und langlebig, sondern gestatten auch ausgesprochen kompakte und robuste Bauformen. Deshalb bieten sich LED-Leuchten fast uneingeschränkt für den weltweiten Einsatz in sämtlichen Industrieumgebungen an. Besondere Anforderungen an die Leuchtenkonstruktion müssen allerdings für den Betrieb unter extremen Temperaturen erfüllt werden, weil die Lebensdauer der Geräte bei großer Hitze oder frostigen Minusgraden sonst stark sinken kann. Worauf es für die Temperaturbeständigkeit ankommt, erläutert Rico Schulz, Produktmanager Beleuchtungstechnik beim Explosionsschutz-Spezialisten R. STAHL.



Bild 1: Moderne LED-Technik zur Ausleuchtung von Industrieanlagen muss effizient und temperaturbeständig sein

Herr Schulz, gemeinhin gilt, dass hohe Temperaturen LED-Leuchten besonders zusetzen. Ab wann wird es den Geräten denn zu heiß?

Als Halbleiterbauelemente haben LEDs verschiedene temperaturabhängige Parameter wie Flussspannung, Wellenlänge und Lichtausbeute. Unter Hitze leidet weniger die Lebensdauer der Leuchtdioden selbst als vielmehr die der integrierten Steuerungselektronik. Weil es sich bei den LED-Chips und der Vorschaltel Elektronik um thermosensible Komponenten handelt, spielt das Temperaturmanagement beim Leuchtendesign eine wichtige Rolle. Hochwertige



THE STRONGEST LINK.

LED-Leuchten verkraften heute problemlos Temperaturen bis +60 °C. Kritisch wird es jedoch, wenn Werte von +70 °C und mehr zu verzeichnen sind.

Was treibt die Temperatur in die Höhe?

Für den Großteil an Verlustleistung innerhalb der Leuchte zeichnen die LEDs verantwortlich. Entscheidend ist dabei die Temperaturentwicklung am p-n-Übergang der verwendeten Chips: die sogenannte Sperrschichttemperatur oder Tjunction (T_j). Da während der Lichterzeugung ca. 70 bis 80 % der Energie in Wärme umgewandelt werden, kann sich der Chip im laufenden Betrieb schnell auf Temperaturen von über +100 °C aufheizen, was auf längere Sicht die Lebensdauer und Lichtausbeute der Leuchte massiv beeinträchtigt. Laut Faustregel führt bereits ein Temperaturanstieg, der das zulässige Maximum um 10 °C überschreitet, zur Halbierung der Lebensdauer. Hinzu kommt, dass die LED-Technik den Bau immer kleinerer und kompakterer Leuchten begünstigt, wodurch sich der thermische Pfad zur Elektronik verkürzt. Dank optimierter Steuerungselektronik erreichen Spitzenprodukte wie unsere LED-Rohrleuchte 6036 allerdings eine weit bessere Temperaturbeständigkeit.



Bild 2: LED-Rohrleuchten der Baureihe 6036 von R. STAHL verkraften schadlos Temperaturen von -55 °C bis +60 °C

Welchen Einfluss hat die Umgebungstemperatur?

Je nach Einsatzort sind LED-Leuchten eventuell erheblichen Temperaturen ausgesetzt – etwa im Geräte- und Anlagenbau sowie im Maschinenbau, wo sie beispielsweise in der Nähe von Generatoren installiert werden. Solche Leuchten müssen besonders hitzebeständig konstruiert sein und Betriebstemperaturen von mehr als +70 °C standhalten. Aber auch extreme geografische Bedingungen, wie sie z.B. bei verfahrenstechnische Anlagen in den Wüstenregionen des nahen und mittleren Ostens vorherrschen, können den Leuchten stark zusetzen, wenn sich die Gehäuse durch Sonneneinstrahlung auf über +60 °C erhitzen. Für solche Einsatzorte müssen die Gehäusematerialien



THE STRONGEST LINK.

und Dichtungen daher so beschaffen sein, dass sie große Hitze und starke Temperaturschwankungen dauerhaft verkraften. Dies gilt auch für andere umweltbedingte Belastungen durch beispielsweise hohe Luftfeuchte oder UV-Licht.

Welche Rolle spielen die thermischen Faktoren für die Gehäusekonstruktion?

In mit herkömmlichen Leuchtstofflampen betriebenen Geräten fungiert Luft als thermischer Isolator. Deshalb werden Leuchtstoffröhren zur Begrenzung der Oberflächentemperatur am besten in Gehäuse mit großem Luftvolumen eingebaut. Bei LED-Leuchten verhält es sich umgekehrt. Weil hier die Wärme möglichst schnell nach außen abtransportiert werden muss, Luft aber ein schlechter Wärmeleiter ist, sollten die Gehäuse zur Minimierung des Luftvolumens möglichst kompakt konstruiert sein. Dies hat uns zur Entwicklung der LED-Rohrleuchten geführt.

Worauf ist beim Thermomanagement zu achten?

Das Ziel des Thermomanagements besteht in einer möglichst effektiven Wärmeabfuhr auf den Wegen der Wärmeleitung und Konvektion. Eine optimale Wärmeleitung ergibt sich durch möglichst direkten physischen Kontakt der Bauteile, um die Verlustwärme von der Sperrschicht durch das LED-Gehäuse zum Leuchten- oder Kühlkörper abzuführen. Für eine ungehinderte Wärmeleitung dürfen im Wärmeleitpfad keine Luftspalte oder -einschlüsse vorhanden sein. Durch Konvektion wird die Wärme dann über die Gehäuseoberfläche an die umgebende Atmosphäre abgegeben, weshalb große Oberflächen und eine möglichst freie Luftzirkulation die Wärmeabfuhr durch Konvektion begünstigen.

Wie lässt sich die Temperaturbelastung durch intelligente Leistungselektronik reduzieren?

Entscheidend ist eine gute Abstimmung der LED-Lichtquellen mit der Elektronik, um die optimale Balance zwischen Leistung, Lebensdauer und Temperaturbelastung zu finden. Auch durch intelligenteste Elektronik lässt sich Verlustleistung nicht komplett vermeiden. Mittels angebundener Sensoren kann die Elektronik jedoch auf die Systemtemperatur reagieren und die Leistungsaufnahme dahingehend reduzieren, dass die Lebensdauer des Systems gewährleistet bleibt. Moderne Leistungselektroniken sind zudem hocheffizient und konsumieren weniger 6 % der Gesamtleistung als Verlustleistung. Ein gutes Beispiel dafür sind unsere neuen LED-Scheinwerfer der Baureihen 6125 und 6525, die bei 210 W Leistungsaufnahme eine



THE STRONGEST LINK.

maximale Lichtstärke von bis zu 82.000 cd bieten. Im Vergleich zu herkömmlichen, mit Gasentladungslampen betriebenen Scheinwerfern, die 400 W Leistung in etwa 30.000 cd maximaler Lichtstärke umwandeln, sind die neuen Geräte deutlich effizienter und damit zugleich wartungsärmer und langlebiger.



Bild 3: Die neuen, hocheffizienten LED-Scheinwerfer von R. STAHL für den vielseitigen Einsatz als Punkt- und Flächenstrahler sowie als Hängeleuchte

Wie kann zusätzlich für Abkühlung gesorgt werden?

Bei Leuchten mit großen Leistungsklassen, also Leistungen jenseits der 150 W, und starker Wärmebildung lässt sich die Außenfläche zur Entwärmung beispielsweise durch Kühlrippen vergrößern. Das kann allerdings in rauen Industrieumgebungen, wo ein hohes Staub- oder Schmutzaufkommen herrscht, zu Problemen führen. Wenn sich verstärkt Schmutz zwischen den Rippen ablagert, leidet die Wärmeabfuhr und erhöht sich der Reinigungsaufwand. Zur aktiven Kühlung können Ventilatoren in die Leuchten integriert werden, was jedoch vor allem in explosionsgeschützten Bereichen wegen der erforderlichen Redundanz aufwändig und teuer ist.

Apropos Kühlung: Bekommen LED-Leuchten auch mal „kalte Füße“?

Im Grundsatz gilt zwar: Die LED mag es kalt – jedoch nicht uneingeschränkt. Bei Tiefsttemperaturen unter -50 oder -55 °C, wie sie in arktischen Gefilden anzutreffen sind, wird die Leuchte aufgrund ihrer Eigenerwärmung einem hohen mechanischen Stress ausgesetzt. Darunter leiden frostsensible Komponenten und der EMV-Schutz. Deshalb müssen Leuchten für solche Einsatzbereiche besonders ertüchtigt sein, indem der Temperaturkontrast z.B. durch eine intelligente Schaltung abgemildert wird.



THE STRONGEST LINK.



Bild 4: Für Tiefsttemperaturen besonders ertüchtigte Geräte reduzieren frostbedingte Stressfaktoren durch intelligente Leuchtenelektronik

Wie wird die Temperaturbeständigkeit geprüft?

Neben Berechnungen zur Temperaturbeständigkeit führen wir im Verbund mit unseren Partnerfirmen diverse Belastungstests durch. Um schon während der Produktentwicklung Schwachstellen und Belastungsgrenzen zu ermitteln, unterziehen wir unsere Geräte unter anderem testweise einem beschleunigten Alterungsprozess gemäß HALT (Highly Accelerated Lifetime Test). Bei diesem Verfahren werden die Leuchten in Klimaprüfkammern unterschiedlichsten Temperaturen, schnellen Temperaturwechseln und Vibrationen ausgesetzt, um die Ausfallraten der kritischen Elemente zu ermitteln und die daraus für den zulässigen Temperaturbereich erwartbare Lebensdauer zu definieren. Weil LEDs im Unterschied zu anderen Leuchtmitteln nicht schlagartig ausfallen, sondern mit der Zeit immer weniger Licht emittieren, bemisst sich das Ende ihrer Lebensdauer an der Degradation der Leuchtkraft auf 70 % ihres Anfangswertes.

Welchen Ausblick können Sie uns auf die weitere Entwicklung geben?

Die LED-Technik selbst ist mittlerweile ausgereift. Das größte Entwicklungspotenzial liegt in der weiteren Optimierung der intelligenten Steuerungselektronik, um die Geräte noch effizienter, sparsamer und ausfallsicherer zu machen. In mittlerer Zukunft dürften die organischen LEDs oder OLEDs auch für industrielle Beleuchtungsaufgaben infrage kommen. Mit ihrer blendfreien Abstrahlung eignen sich diese Lichtquellen besonders für die Innenbeleuchtung, die Beleuchtung im Umfeld von Monitoren und Displays, sowie in Bereichen mit niedrigen Einbauhöhen der Leuchten.

Vielen Dank Herr Schulz für dieses Gespräch.