

# CHEMISCHE UNVERTRÄGLICHKEITEN

## AUSWIRKUNGEN AUF LEDs



### ■ UNSACHGEMÄSSE VERWENDUNG UND SCHÄDEN AN LED-MODULEN AUFGRUND CHEMISCHER UNVERTRÄGLICHKEIT VERHINDERN

Dieser Anwendungshinweis bietet Ihnen einen Überblick über die Auswirkungen von Chemikalien und anderen Substanzen, die bei der Montage, Konstruktion und Installation von LED-Beleuchtungssystemen involviert sind.

#### Einführung

Zum Schutz des LED-Chips und zur Maximierung des ausgekoppelten Lichts verfügen nahezu alle LEDs über eine Verkapselung, z. B. eine Silikonbeschichtung bei COB-LED-Modulen oder Silikonlinsen bei SMD-LED-Modulen. Es muss darauf geachtet werden, dass diese Silikonverbindungen nicht direkt oder indirekt mit inkompatiblen Chemikalien oder Substanzen reagieren. Die chemische Struktur der ausgehärteten Silikone, die im LED-Herstellungsprozess verwendet werden, ist geprägt von schwachen Bindungen und Hohlräumen im Feststoff (Porosität), was die Silikone sehr anfällig für die Diffusion von Gasmolekülen macht. Ausgehärtete Silikone sind daher höchst durchlässig für Gase wie Sauerstoff, Halogene, Schwefelverbindungen und insbesondere flüchtige organische Verbindungen (VOCs), die leicht in das Material diffundieren können und folglich darin eingeschlossen werden, was zur Verfärbung und Degradation der LED-Leuchten führt.

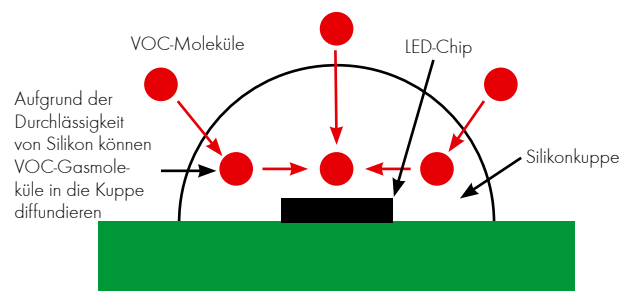


Abbildung 1: Gasdurchlässigkeit der LED-Vergussmasse aufgrund der hohen Porosität ausgehärteter Silikone



Die oben beschriebene chemische Unverträglichkeit betrifft alle Arten von LED-Modulen, z. B. LUGA COB sowie alle Module mit hochleistungsfähigen SMD-LEDs. Der Empfindlichkeitsgrad einzelner Module gegenüber verschiedenen Chemikalien und VOCs ist derzeit nicht bekannt!

Inkompatible Chemikalien können aus einer Reihe von Materialien austreten (ausgasen), wie Klebstoffe, Flussmittel, Dichtungen, Schutzlacke oder Vergussmaterialien, die im Endprodukt verwendet werden (Leuchte). Während einige dieser Chemikalien das Silikon erheblich beschädigen können (unumkehrbare Erosion, Risse oder Oberflächenschäden), reagieren andere (insbesondere viele VOCs) nicht direkt mit den Silikonmaterialien. Sie diffundieren vielmehr in das Silikon und oxidieren teilweise, wenn sie erst einmal im Material eingeschlossen sind, wodurch eine deutliche Verfärbung des ausgehärteten Silikons entstehen kann. Unter normalen LED-Betriebsbedingungen (hohe Temperaturen, Lichtstrahlung) kann dieser Effekt eine erkennbare Veränderung der Chromatizität und eine schnelle Abnahme des Lichtstroms verursachen. In Abbildung 3 werden beide möglichen Effekte deutlich dargestellt:

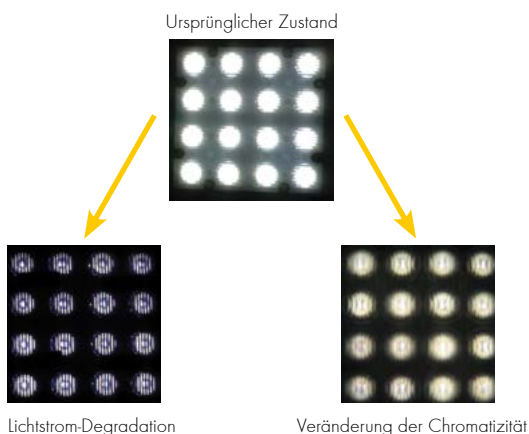


Abbildung 3: Verfärbung des LED-Moduls (WU-M-425) aufgrund starker VOC-Kontamination

## Unter Luftabschluss

Die Verfärbung wird besonders in physikalisch geschlossenen Systemen, also Räumen ohne Luftbewegung, begünstigt. In Betrieb befindliche LEDs in solch einem luftdichten System führen zu steigenden Temperaturen, wodurch inkompatible Chemikalien wiederum schneller verdunsten und in das gesamte geschlossene System diffundieren. Dadurch kann eine Verfärbung des LED-Moduls entstehen. Inkompatible Chemikalien können aus fast allen Komponenten und Materialien, aus denen das LED-Modul besteht, austreten (ausgasen). Mögliche Ursachen dafür sind das Leiterplattenmaterial oder die Beschichtung, Sekundäroptiken, eingebettete Materialien (z. B. Dichtungen), Dichtungsmittel (z. B. Kleber) und sogar einige LED-Materialien.

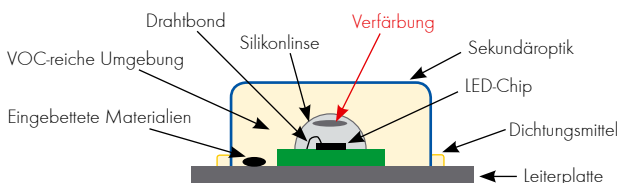


Abbildung 4: Auftreten von Verfärbungen unter Luftabschluss



Die einzig mögliche Gegenmaßnahme: ausreichend Luftzirkulation!

Je mehr Luftbewegung, desto geringer das Verfärbungsrisiko, da sämtliche inkompatiblen Chemikalien, die entstehen, das LED-Modul nicht dauerhaft kontaminieren können.

## WARUM UND WIE VERFÄRBUNGEN VON LED-MODULEN AUFTRETEN

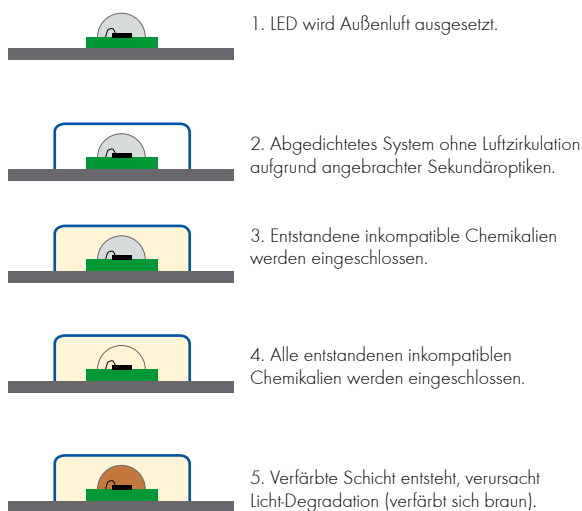


Abbildung 5: Darstellung der Verfärbung eines LED-Moduls, verursacht durch inkompatible Chemikalien unter Luftabschluss

## Beispiel für die Degradation der Lichtleistung

Abbildung 6 und 7 zeigen eine Straßenleuchte mit vier WU-M-425-Modulen, betrieben in einer hermetisch abgedichteten Anlage. Abbildung 6 zeigt die Lichtleistung bei erstmaliger Inbetriebnahme der Leuchte und Abbildung 7 die Lichtleistung derselben Leuchte nach weniger als 100 h Betriebszeit. Es ist eine deutliche Abnahme der Lichtleistung der LED-Module sowie eine gleichzeitige Veränderung der Chromatizität erkennbar.

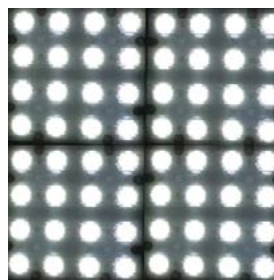


Abbildung 6: Lichtleistung bei erstmaliger Inbetriebnahme einer Leuchte mit LED-Modulen in einem luftdichten System

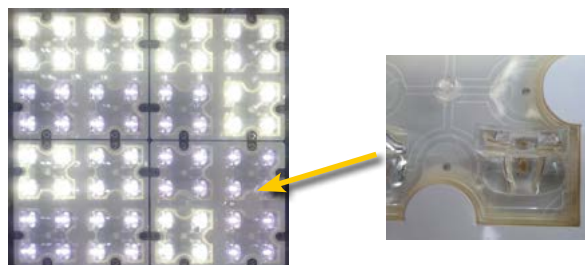


Abbildung 7: Lichtleistung der LED-Leuchte in einem luftdichten System nach 96 Stunden

## Wie kann die Verfärbung bei VS-Modulen mit einer Dichtigkeit von IP 66/67 verhindert werden?

Um dem Verfärbungseffekt entgegenzuwirken, hat VS eine patentierte Lösung entwickelt: Ein mit einem "Periskop" ausgestattetes optisches Linsensystem, bei dem ausreichend Luftaustausch gewährleistet und die IP-Schutzklasse nicht beeinträchtigt wird. Dennoch sollten diese VS-Module mit IP 66/67 nicht in einer luftdichten Anlage installiert werden, da zusätzliche Dichtungsmittel der Anlage die Luftzirkulation über dem Periskop verhindern würden.

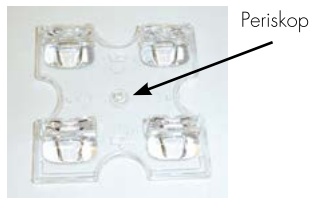


Abbildung 8 (unten) zeigt die Verfärbung einer LED aufgrund der Diffusion inkompatibler Chemikalien.



Abbildung 8: Beispiel einer normalen (links) und einer chemisch kontaminierten LED (rechts)

Die Verfärbung tritt am stärksten am Punkt mit der höchsten Temperatur auf, der sich unter normalen Betriebsbedingungen an der Oberfläche des LED-Chips befindet.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens und der Grad der Verfärbung hängt von der Art der Chemikalie, ihrer Konzentration, der Temperatur sowie der Dauer der chemischen Belastung ab. Die Durchlässigkeit von Silikon steigt mit zunehmenden Temperaturen, wodurch der (meist umkehrbare) chemische Austausch begünstigt wird. Folglich verdunsten mehr inkompatible Chemikalien aus dem bzw. diffundieren in das Silikon-Vergussmaterial.

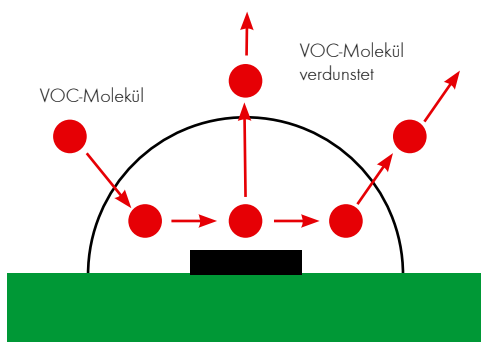


Abbildung 9: Ausgasen inkompatibler Chemikalien in einem offenen System mit normaler Luftzirkulation

## ■ UMKEHRBARKEIT

Die Verfärbung von LEDs aufgrund der Diffusion inkompatibler Chemikalien ist ein umkehrbarer physikalischer Prozess. Durch den Wechsel von einem geschlossenen zu einem offenen System kann der ursprüngliche Zustand der LED wiederhergestellt werden. Beim Betrieb in einer Außenluftumgebung können oxidierte chemische Moleküle aus dem Silikon diffundieren, wodurch die ursprünglichen optischen Eigenschaften der LED-Komponente wiederhergestellt und die Verfärbung rückgängig gemacht werden kann.

Wenn mit keinem Teil der LED eine chemische Reaktion stattgefunden hat (keine Kontamination), können inkompatible Chemikalien sogar vollständig aus dem Inneren des Silikon-Vergussmaterials ausgasen.

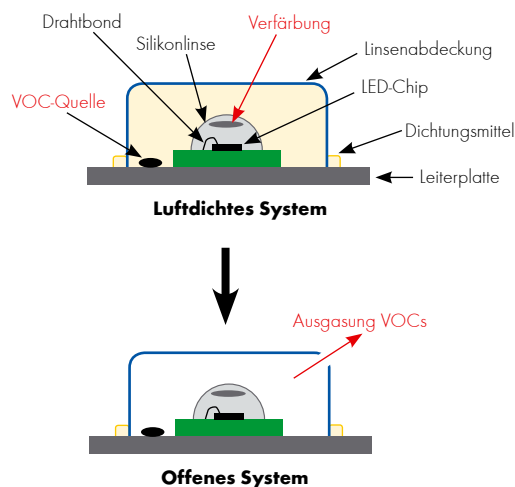


Abbildung 10: Durch Luftbewegung im System können inkompatible Chemikalien aus der LED entweichen

Je nach Beschaffenheit der eingeschlossenen Chemikalie, z. B. Größe der Moleküle oder deren Empfindlichkeit gegenüber Hitze, kann eine Verfärbung innerhalb weniger Stunden oder nach einigen Wochen auftreten. Dasselbe gilt für den Reinigungs- bzw. Ausgasungsprozess.



Einige inkompatible Chemikalien können die LED jedoch zerstören. Oftmals führen sie zum Aufquellen und Reißen des Vergussmaterials und folglich zu ungenügender Lichtleistung.

## Experiment zur Umkehrbarkeit des Prozesses

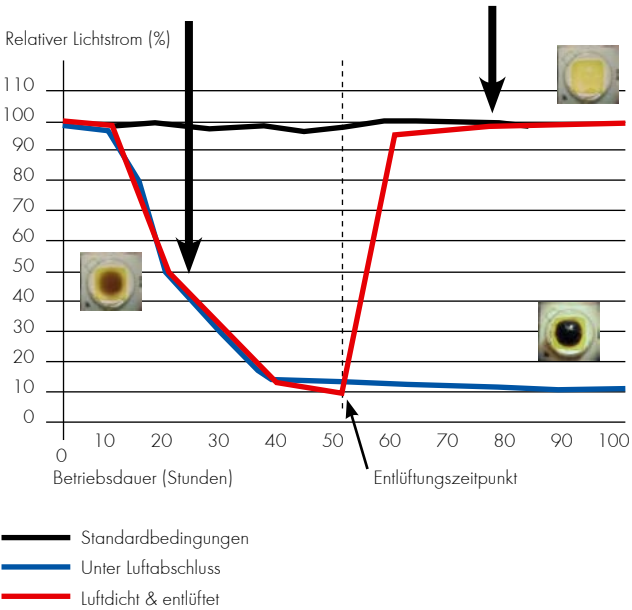
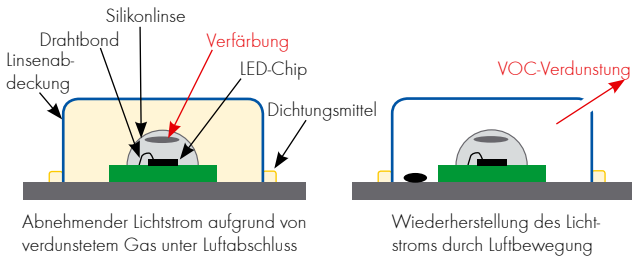


Abbildung 11: Typisches Verhalten von VOC-kontaminierten LEDs und LED-Modulen

Grundlegendes zu den dargestellten Verhaltenskurven: Drei identische LED-Module wurden zunächst mit einer bekannten inkompatiblen chemischen Substanz für einen bestimmten Zeitraum kontaminiert. Anschließend wurde der Lichtstrom dieser drei Module, die in unterschiedlichen Umgebungen eingesetzt wurden, getestet. Ein LED-Modul wurde in einer Außenluftumgebung, die anderen zwei Module in einem luftdichten System getestet (verschlossen mit Sekundäroptiken oder einer Glasplatte). Eines der versiegelten LED-Module wurde nach 50 Stunden entlüftet, das andere blieb während des gesamten Experiments versiegelt. Das LED-Modul in der Außenluftumgebung wies trotz der hohen chemischen Kontamination im Vergleich zum ursprünglichen Wert keine Abnahme des Lichtstroms auf, während der Lichtstrom der versiegelten LED-Module im Vergleich zu den ursprünglichen Werten aufgrund der Verfärbung um fast 90 % gesunken war. Nachdem das dritte LED-Modul jedoch entlüftet wurde und die eingeschlossenen inkompatiblen Chemikalien ausgasen konnten, stieg der Wert des Lichtstroms fast wieder auf den ursprünglichen Wert.

Abbildung 12 zeigt die einzelnen Schritte der Prozessumkehrung. Auf Bild 1 ist eine stark, durch VOCs verfärbte LED zu sehen, die in einer VOC-reichen Umgebung betrieben wurde. Auf den Bildern 2 bis 6 hingegen ist der VOC-Ausgasungsprozess bis zur völligen Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands in einer Umgebung mit Luftzirkulation dargestellt.

Nach 100 Stunden Betriebszeit in einer VOC-freien Umgebung hat die LED 100 % des ursprünglichen Lichtstroms wiedererlangt.

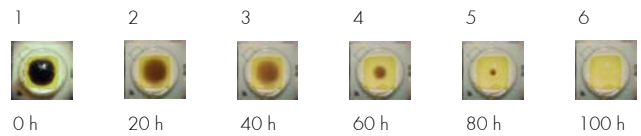


Abbildung 12: Ausgasungsfortschritt der VOC-degradierten LED über eine Betriebszeit von 100 Stunden

## Weiteres Beispiel der Prozessumkehrung bei einem WU-M-425-Modul

Nachdem das Modul zunächst in einem luftdichten System installiert wurde (abgedichtete Anlage), wurde ausreichend Luftzirkulation innerhalb der Anlage sichergestellt.

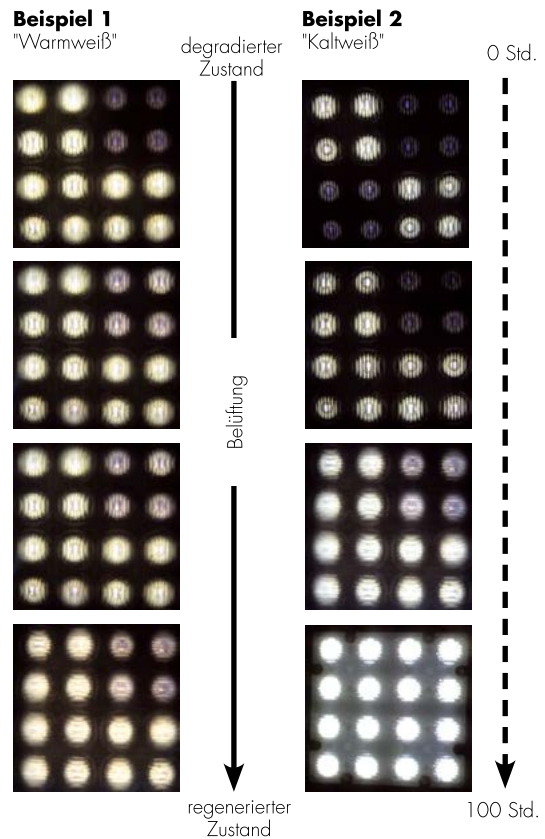


Abbildung 13: Ausgasungsfortschritt eines VOC-degradierten WU-M-425-Moduls über eine Betriebszeit von 100 Stunden

Auf unserer Website [www.vossloh-schwabe.com](http://www.vossloh-schwabe.com) finden Sie ein Video zum Regenerierungsprozess eines WU-M-425-Moduls.

Abbildung 14 stellt eine weitere Art des typischen Degradationsverhaltens eines LED-Moduls mit mehreren einzelnen LEDs dar, wobei der Degradationsprozess selbst zufällig verläuft. Auf dem ersten Bild ist ein Abschnitt einer versiegelten Leuchte zu sehen, von der sich nur einige LED-Module verfärbt haben (nicht alle – Zufallseffekt). Nachdem die Anlage entlüftet und der ursprüngliche Lichtstrom jeder LED wiederhergestellt wurde (24 Stunden später), wurde sie erneut versiegelt und ein zweites Mal in einem luftdichten System betrieben. Nach einiger Zeit verfärbten sich die Module erneut (letztes Bild), wobei einige der zuvor verfärbten LEDs nun ihren ursprünglichen Zustand wiedererlangt hatten und einige LEDs, die beim ersten Durchgang nicht betroffen waren, eine Verfärbung aufwiesen. Früher oder später tritt jedoch bei allen LEDs eine Degradation auf, sofern sie weiterhin in einer luftdichten und mit inkompatiblen Chemikalien angereicherten Umgebung betrieben werden.

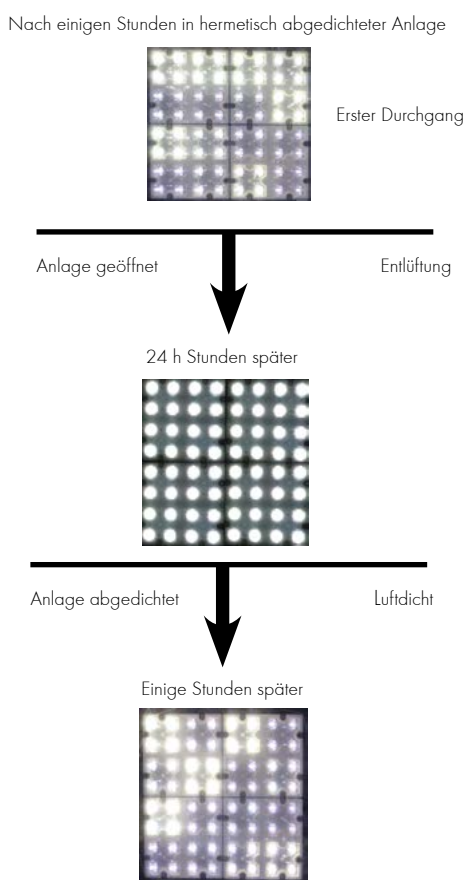


Abbildung 14: Zufällige Verfärbung

## Wie kann dieser Effekt vermieden werden?



Eine vorübergehende Verfärbung wird hauptsächlich durch inkompatible Chemikalien verursacht, die aus den umliegenden Materialien austreten. Bei den meisten Materialien, die bei LED-Leuchten eingesetzt werden, kommt es während des Aushärtens zu Ausgasung – unabhängig vom verwendeten Material (Klebstoffe, Schutzlacke, Vergussmasse etc.). Dieser Effekt wird in abgedichteten Systemen (mit darin eingeschlossenen inkompatiblen Chemikalien) bei erhöhter Temperatur erheblich beschleunigt. Um die negativen Auswirkungen dieser chemischen Unverträglichkeit zu minimieren, müssen die Materialien im Voraus mit Bedacht gewählt

werden. Außerdem sollte die Notwendigkeit einer hermetisch abgedichteten Anlage zum Schutz der LEDs vor den Umgebungsbedingungen geprüft werden.

## VS empfiehlt Folgendes in Bezug auf das Leuchten-Design:

- Beim Leuchten-Design sollte darauf geachtet werden, welche potenziell ausgasenden Materialien bei der Leuchte verarbeitet werden und in welcher Umgebung das LED-Modul während seiner Lebensdauer betrieben wird.
- Vermeiden Sie die Verwendung von Klebstoffen (insbesondere Epoxidharzklebstoffe), Vergussmassen, Beschichtungen und unterhärteten Materialien. Falls möglich, vermeiden Sie die Verwendung von Dichtungen oder Dichtungsmitteln, da inkompatible Chemikalien daraus ausgasen könnten. Falls die Verwendung von Dichtungsmitteln oder Dichtungen unvermeidbar ist, ist es ratsam, nur minimale Mengen silikonkompatibler Klebstoffe einzusetzen oder umfangreiche Verträglichkeitsprüfungen durchzuführen.
- Vermeiden Sie die Verwendung unpolarer Flüssigkeiten und Lösungsmittel, die üblicherweise während des Leuchtenherstellungsprozesses eingesetzt werden, wie bei der Reinigung, Bohrungen unter Einsatz von Öl oder anderen Prozessen, bei denen die LED-Einheit mit diesen Flüssigkeiten oder Lösungsmitteln in Kontakt kommen könnte.
- Verwenden Sie nur mechanische Mittel zur Befestigung weiterer Komponenten wie Linsen, Abdeckungsplatten, Leiterplatten etc.
- Dichten Sie die Beleuchtungsanlage nicht hermetisch ab. Ist eine Versiegelung des Systems unvermeidbar (z. B. zur Sicherstellung einer bestimmten IP-Schutzklasse), sollte Folgendes beachtet werden:
- Stellen Sie sicher, dass sich direkt über den LED-Komponenten eine ausreichend große Lücke befindet, damit heiße Luft ungehindert austreten (ausgasen) kann und nicht unmittelbar um die LED-Module eingeschlossen wird.
- Stellen Sie ausreichend Luftaustausch in der Leuchte sicher, z. B. durch die Verwendung von Dichtungen, die aus atmungsaktiven Materialien bestehen, oder durch den Einsatz einer oder mehrerer Klappen. Es sind verschiedene geeignete Lösungen auf dem Markt erhältlich. Ein Leuchten-Design mit dem höchsten Transfervolumen ist in jedem Fall die beste Wahl.

Eine Leuchte kann beispielsweise mithilfe einer GORE-Membran entlüftet werden, die den IP-Schutzklassen-Anforderungen entspricht und die Luftbewegung verbessert. Weitere Details finden Sie auf [www.gore.com](http://www.gore.com).



Abbildung 15: GORE-Membranen



Alle verwendeten Materialien müssen sich vor Inverkehrbringen eines Produkts als vollständig geeignet erweisen.

## WEITERE SCHÄDLICHE UMGEBUNGEN

Zusätzlich zur chemischen Kontamination durch prozessbedingte Ausgasung muss die Umgebung berücksichtigt werden, in der das Endprodukt installiert und betrieben werden soll. Daher müssen beim Design der LED-Leuchte (Anlage) sämtliche möglichen Umgebungsbedingungen in Betracht gezogen werden. Die unten erläuterten aggressiven Umgebungsbedingungen können das LED-Modul-Verhalten und die Lebensdauer negativ beeinflussen.

- Korrosive Atmosphäre (hoher Schwefeldioxidgehalt der Luft: schwere Industrieanwendungen)
- Küstenklima (salzhaltige Luft und hohe Luftfeuchtigkeit)
- Chemische Industrie
- Umgebungen mit mittlerer bis hoher Kohlenwasserstoffkonzentration (z. B. Tankstellen)
- Säurehaltige Umgebungsluft (z. B. mittlere bis hohe Ammoniakkonzentration, für gewöhnlich in Tierhaltungsbetrieben)
- Umgebungen mit mittlerer bis hoher Chlorkonzentration (z. B. Schwimmbäder)
- Radioaktive und explosionsgefährdete Atmosphären



Abbildung 16: Beispiel eines LED-Moduls (WU-M-425), das in einer Umgebung mit hohem Salzgehalt betrieben wird

## LISTE INKOMPATIBLER CHEMIKALIEN

VS-LED-Module sollten nicht mit den in der unten stehenden Tabelle aufgelisteten Chemikalien in Kontakt kommen, auch nicht in kleinen Mengen, da diese die Lichtleistung und die Chromatizität der LED-Einheit beeinträchtigen können.

Tabelle 1: Mit LEDs inkompatible Chemikalien und Materialien

| Chemische Bezeichnung  | Klassifikation            | Oftmals enthalten in...                                |
|--|---------------------------|--|
| Salzsäure<br>Schwefelsäure<br>Salpetersäure<br>Phosphorsäure   | Säuren                    | Reiniger, Kühlschmiermittel                            |
| Essigsäure   | Organische Säure          | RTV-Silikone, Kühlschmiermittel, Fettlöser, Klebstoffe |
| Natronlauge<br>Kaliumhydroxid<br>Amine   | Alkali (Basen)            | Waschmittel, Reiniger                                  |
| Ether, z. B. Glykolether<br>Ketone, z. B. Methyläthylketon, Methylisobutylketon<br>Aldehyde, z. B. Formaldehyd | Organische Lösungsmittel  | Reiniger, Testbenzine, Erdöl, Farbe, Benzin            |
| Xylol<br>Toluol<br>Benzol  | Aromatische Lösungsmittel | Reiniger, Extraktions- oder Beizmittel                 |

| Chemische Bezeichnung                                    | Klassifikation                                | Oftmals enthalten in...  |
|--|---|--|
| Acetate<br>Acrylate<br>Aldehyde<br>Diethylentriamin      | Niedermolekulare organische Substanzen (VOCs) | Sekundenkleber, Loctite-Klebstoffe, Gewindekleber und Aktivatoren, gängige Klebstoffe, Schutzlacke, Nagellackentferner |
| Kohlenwasserstoffe                                       | Erdöle  | Maschinenöl, Schmiermittel   |
| Siloxane, Fettsäuren                                     | Öle nicht auf Erdölbasis                      | Silikonöl, Lardöl, Leinöl, Rizinusöl   |
| Schwefelverbindungen                                     | Oxidations-/Reduktionsmittel                  | Dichtungen, Farben, Dichtungsmittel, Erdölnebenprodukte  |
| Cl, F, Br mit organischen und anorganischen Verbindungen | Halogenierte Kohlenwasserstoffe               | Flussmittel/Lotpaste, Flammschutzmittel  |

Während Chemikalien in allen drei Aggregatzuständen (flüssig, gasförmig oder fest) schädlich für VS-LED-Module sind, können insbesondere gasförmige Chemikalien (z. B. VOCs) in silikonbasierte Materialien diffundieren und Fehlfunktionen von LED-Einheiten verursachen. Häufig ist jedoch nicht ersichtlich, dass VOCs vorhanden sind. Sie können unbemerkt Bestandteil von Teilkomponenten der Anlage sein oder in einem frühen Fertigungsstadium verwendet worden sein, wodurch Spuren der Chemikalien in verschiedenen Teilkomponenten des Endprodukts hinterlassen wurden.



Die bereitgestellte Liste ist nicht erschöpfend und dient nur zu Informationszwecken. VS garantiert weder die Vollständigkeit noch die Richtigkeit der Liste. Die Liste dient nur zu Referenzzwecken!

Eine umfangreichere und detaillierte Liste mit häufig verwendeten Chemikalien bei der Produktion von Beleuchtungsanlagen finden Sie im CREE-Anwendungshinweis zum Verfärbungseffekt auf [www.cree.com](http://www.cree.com).

Weitere Informationen zur Unverträglichkeit von LED-Modulen mit bestimmten Chemikalien finden Sie außerdem auf den Websites von Bridgelux, Philips, Osram, Samsung, Xicato, Citizen oder der Lighting Industry Association (LIA).

## ZUSAMMENFASSUNG



### Hinweis:

Die Verwendung inkompatibler Chemikalien kann unabhängig vom LED-Hersteller zum plötzlichen und vollständigen Ausfall von LED-Modulen führen.

- Es muss berücksichtigt werden, welche Materialien und Chemikalien bei der Verarbeitung von VS-LED-Modulen verwendet und welche Materialien in die Leuchte eingebettet werden. Außerdem muss berücksichtigt werden, ob es sich um eine IP-zertifizierte (versiegelte) Beleuchtungsanlage mit einer hermetisch abgedichteten Umgebung um die LED-Module handelt. Bei Umgebungen mit guter Luftbewegung ist das Austreten von inkompatiblen Chemikalien, die aus dem Herstellungsprozess stammen, oder Gasen, die aus dem Material der Beleuchtungsanlage diffundieren, möglich, während bei abgedichteten Systemen keine Ausgasung stattfinden kann und inkompatible Chemikalien somit eingeschlossen sind.

# Chemische Unverträglichkeiten – Auswirkungen auf LEDs

Dadurch sind die LEDs ständig Schadstoffen ausgesetzt, wodurch eine ausgeprägte und schnelle Verfärbung der Module auftritt.

- Außerdem müssen die Bedingungen der Umgebung berücksichtigt werden, in der das Endprodukt installiert und betrieben wird. Einige Umgebungen haben besonders schädliche Auswirkungen auf LED-Module und ihre Leistung. Dies kann zur Abnahme der Lichtleistung, einer kürzeren Lebensdauer und in einigen Fällen sogar zum vollständigen Ausfall der Module führen. In solchen Fällen sind spezielle Schutzmaßnahmen erforderlich, um den Kontakt zwischen LED-Modulen und sämtlichen inkompatiblen Chemikalien zu verhindern.

VS rät generell von der Verwendung sämtlicher Chemikalien oder Materialien ab, die nachweislich oder vermutlich negative Auswirkungen auf die Leistung oder Zuverlässigkeit von LED-Geräten haben.

## Aber...

Was können Sie tun, wenn die Verwendung der aufgelisteten Chemikalien zusammen mit VS-LED-Modulen oder das Betreiben eines Produkts in einer schädlichen Umgebung unvermeidbar ist?



Zur Sicherstellung der Verträglichkeit empfiehlt VS, alle Chemikalien und Materialien der gesamten Anlage unter HTOL-Bedingungen (*High Temperature Operation Life*), also bei hohen Temperaturen, in der jeweiligen beabsichtigten Anwendung und Umgebung zu testen.



Die Endverbraucher der LED-Module sind dafür verantwortlich, dass im Inneren der Beleuchtungsanlage ausreichend Luftzirkulation möglich ist. Außerdem tragen sie die Verantwortung, dass keine Kontamination der LED-Einheiten aufgrund inkompatibler Substanzen oder schädlicher Umgebungsbedingungen auftreten, wodurch Fehlfunktionen oder Schäden der LED-Module verursacht werden können.