

Zuverlässigkeit und Lebensdauer von LEDs

Application Note

Published by ams-OSRAM AG

Tobelbader Strasse 30,
8141 Premstaetten Austria

Phone +43 3136 500-0

ams-osram.com

© All rights reserved



Zuverlässigkeit und Lebensdauer von LEDs

Application Note No. AN000



Valid for:
Infrarot Emitter, LEDs

Abstract

Die vorliegende Applikationsschrift soll einen grundlegenden Einblick in die Thematik „Zuverlässigkeit und Lebensdauer“ geben. Es werden die Begriffe Lebensdauer und Zuverlässigkeit in Bezug auf Leuchtdioden (LED's) und deren Verständnis bei ams-OSRAM AG näher erläutert. Weiterhin werden wichtige Einflussfaktoren auf die Lebensdauer und die Zuverlässigkeit von LEDs beschrieben. Im Anhang werden die mathematischen Grundlagen beschrieben, wie sie für den Gebrauch in der Praxis erforderlich sind.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Verständnis der Zuverlässigkeit bei ams-OSRAM AG	4
3	Zuverlässigkeit von LEDs	4
	3.1 Extrinsische Zuverlässigkeitsphase	5
	3.2 Intrinsische Zuverlässigkeitsphase	6
4	Absicherung und Bestätigung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer	12
5	Kundenunterstützung hinsichtlich Zuverlässigkeit und Lebensdauer	14
6	Anhang	14
	6.1 Grundlagen - Begriffsdefinitionen	14
	6.2 Ausfallrate	15
	6.3 Verteilung für die Zuverlässigkeitsanalyse	17

1 Einleitung

Mit zunehmender Komplexität technischer Geräte, Module oder gar einzelner Bauelemente rücken die Aspekte der Zuverlässigkeit, der Lebensdauer und damit die Kosten für Austausch und Revisionsarbeiten immer stärker in den Fokus der Kunden. Dabei muss auch auf eine Optimierung zwischen den Anforderungen, den Funktionen und den Kosten über die Produktlebensdauer geachtet werden. Die alleinige Anforderung nach Ausfallfreiheit ist bei modernen und leistungsfähigen Bauteilen oder Geräten nicht mehr ausreichend. Es wird vielmehr zusätzlich erwartet, dass sie ihre geforderte Funktion fehlerfrei ausführen.

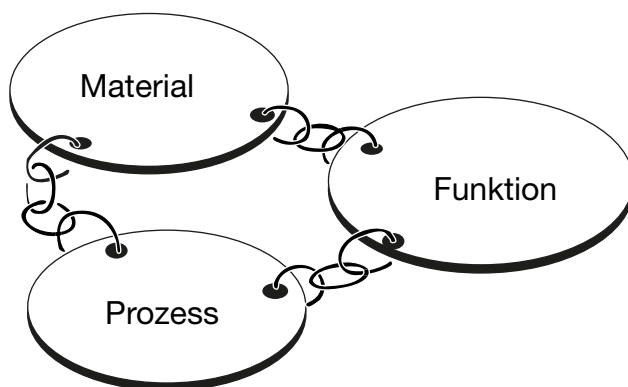
Es ist jedoch nur möglich eine Prognose (Wahrscheinlichkeit), gestützt auf Statistiken und Versuche, zu treffen, inwieweit eine derartige Forderung erfüllt wird. Eine direkte Antwort bzw. Aussage, ob ein einzelnes Gerät oder Bauteil für eine bestimmte Zeit fehlerfrei arbeitet, kann nicht gegeben werden. Zur Untersuchung und Verifizierung derartiger Fragestellungen kommen heutzutage die modernen Methoden des Qualitätsmanagements und der Zuverlässigkeitsmodellierung zum Einsatz.

2 Verständnis der Zuverlässigkeit bei ams-OSRAM AG

Zero Tolerance to Defects (ZTTD) ist ein fester Bestandteil der Unternehmenskultur bei ams-OSRAM AG. Nur so können wir erreichen, dass auch unsere Kunden Null Fehler in ihrer Produktion und Applikation erzielen. Mit dem Begriff Zuverlässigkeit verbindet ams-OSRAM AG die Erfüllung der Kundenerwartungen über die zu erwartende Lebensdauer. Die LED fällt während der Lebensdauer unter den gegebenen Umgebungs- und Funktionsbedingungen nicht aus.

Die Zuverlässigkeit der Produkte basiert dabei auf der Verkettung von Material, Herstellprozess und Bauteilfunktion (Bild 1). Darüber hinaus muss auch die spätere Anwendung berücksichtigt werden. Eine hohe Zuverlässigkeit kann nur erreicht werden, wenn die Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der einzelnen Bestandteile untereinander schon während der Entwicklungsphase berücksichtigt werden. Ein Vernachlässigen oder eine Fokussierung auf ein oder zwei Elemente führt zu einer Verringerung der Qualität des Produktes und somit zu einer Abnahme der Zuverlässigkeit.

Figure 1: Basis der Zuverlässigkeit von LEDs



3 Zuverlässigkeit von LEDs

Die Zuverlässigkeit eines Halbleiterbauelements ist die Eigenschaft, die angibt, wie verlässlich eine dem Produkt zugewiesene Funktion in einem Zeitintervall erfüllt wird. Sie unterliegt einem stochastischen Prozess und wird durch die Überlebenswahrscheinlichkeit $R(t)$ beschrieben.

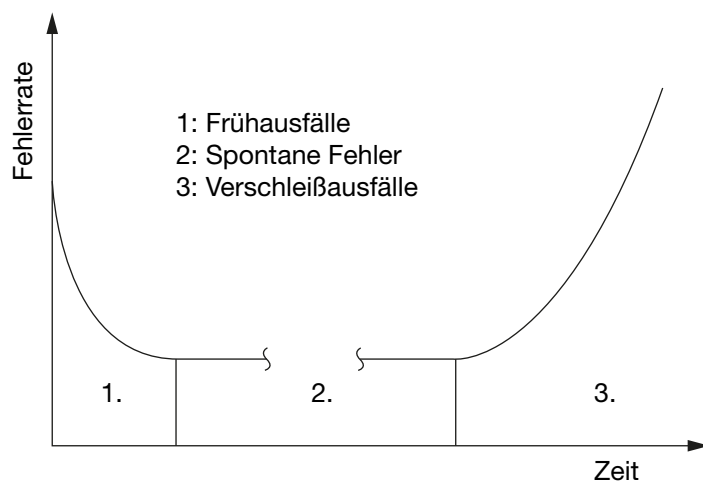
Als Fehler oder Ausfall wird bezeichnet, wenn das Bauelement die ihm zugeschriebene Funktionalität nicht mehr erfüllt.

Ausfälle und Ausfallraten werden zeitlich in 3 Phasen unterteilt:

1. Frühausfälle
2. zufällige oder spontane Fehler
3. Verschleißausfälle (engl. „wearout“)

Da die Ausfallrate zu Beginn und am Ende des Produktzyklus besonders hoch ist, wird die Ausfallrate über die Zeit auch als Badewannenkurve bezeichnet (Bild 2). Jeder einzelne Fehlermechanismus folgt aber letztlich seinem eigenen zeitlichen Verlauf und zeigt somit eine individuelle Badewannenkurve. Für jede dieser Phasen werden in der Literatur verschiedenste Arten von Zuverlässigkeitsdefinitionen, -analysemethoden und Zuverlässigkeitsmathematik verwendet. Die wichtigsten Definitionen und Methoden, die bei LEDs Anwendung finden, sind in diesem Kapitel und im Anhang beschrieben.

Figure 2: Zeitlicher Verlauf der Ausfallrate („Badewannenkurve“)



Der Einfachheit halber werden im folgendem die beiden ersten Phasen zu einer sogenannten extrinsischen Zuverlässigkeitsphase (engl. „extrinsic reliability period“) zusammengefasst. Die dritte Phase, der Verschleiß (engl. „wearout“), wird dementsprechend als intrinsische Zuverlässigkeitsphase (engl. „intrinsic reliability period“) bezeichnet.

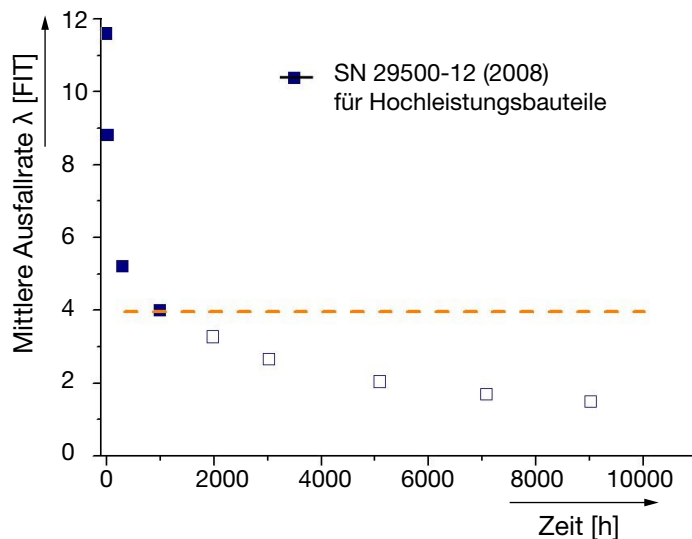
3.1 Extrinsische Zuverlässigkeitsphase

Sogenannte extrinsische Fehler (Frühausfälle + Spontanausfälle) werden durch fehlerhafte Materialien, Abweichungen im Herstellungsprozess oder durch falsche Handhabung und Betrieb beim Kunden generiert. Weit mehr als 99% dieser extrinsischen Ausfälle können beim Verbau der Teile in die Applikation (z.B. Auflöten) bzw. in den ersten Betriebsstunden festgestellt werden. Dagegen liegt die Spontanausfallrate zwischen Frühausfallphase und Verschleiß bei LEDs auf einem extrem niedrigen Niveau.

Diese Ausfallphase wird in der Zuverlässigkeitsmathematik durch die Exponentialverteilung beschrieben. Der Exponentialverteilung liegt eine konstante Ausfallrate über der Zeit zugrunde.

Die gemittelte Ausfallrate wird in FIT (Failure unit) angegeben. Eine experimentelle Ermittlung der mittleren Ausfallrate ist in der Regel äußerst schwierig. Deshalb nutzt OSRAM OS die Norm SN 29500 der Siemens AG, in die auch typische Ausfallraten für LEDs durch Erfahrungen mit Feldausfällen eingearbeitet sind (Bild 3). Dabei werden einzelne Ausfallursachen nicht unterschieden.

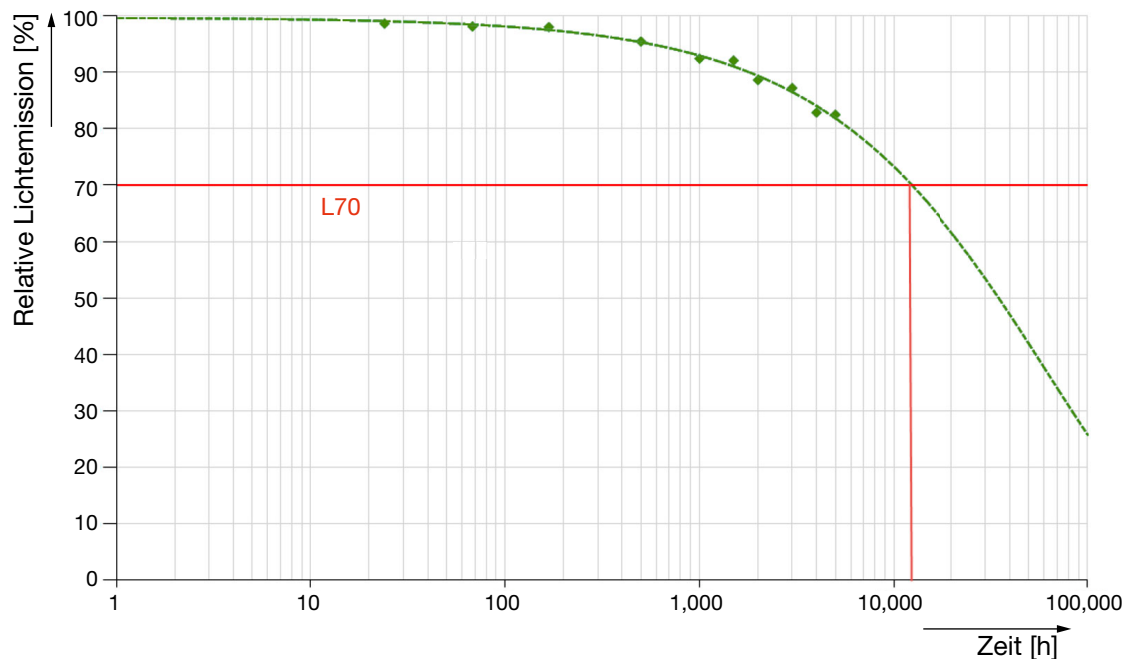
Figure 3: LED-Fehlerrate in der extrinsischen Periode nach Siemensnorm SN29500



3.2 Intrinsische Zuverlässigkeitsphase

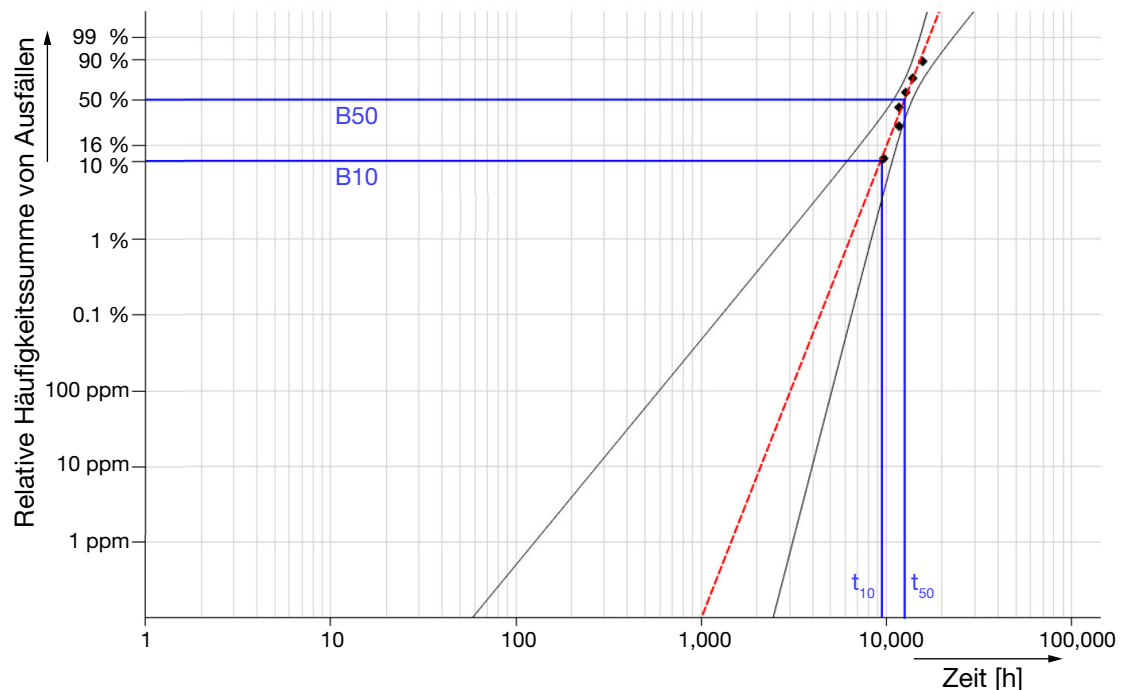
Die intrinsische Zuverlässigkeitsphase beschreibt die sogenannte Verschleißphase der Bauteile am Ende des Produktzyklus. Ihr zugrunde liegen ein zunehmender Materialverschleiß und Alterung. Diese kontinuierliche Veränderung über die Zeit ist im Allgemeinen messbar und wird als Degradation bezeichnet. Wichtigste Degradationsparameter bei der LED sind die Änderung der Helligkeit bzw. des Farbortes. Andere Parameter wie Vorwärtsspannung spielen im Allgemeinen eine eher untergeordnete Rolle. Während des Betriebes kommt es bei LEDs zu einer allmählichen Abnahme des Lichtstromes, gemessen in Lumen. Diese wird in der Regel durch Betriebsstrom und Betriebstemperatur der LED beschleunigt und tritt auch auf, wenn die LED innerhalb der Spezifikation betrieben wird (Bild 4). Im Zusammenhang mit der Lichtdegradation von LEDs wird der Begriff „Lumen Maintenance“ (L) verwendet. Darunter versteht man den verbliebenen Lichtstrom über die Zeit bezogen auf den ursprünglichen Lichtstrom der LED. Aufgrund der kontinuierlichen Degradation muss zur konkreten Bewertung des LED-Ausfalls ein Ausfallkriterium festgelegt werden. Der Zeitpunkt, bei dem der Lichtstrom der LED das Ausfallkriterium erreicht, wird dann als Ausfallzeitpunkt bzw. als Lebensdauer bezeichnet. Das Ausfallkriterium ist in der Regel durch die Applikation festgelegt. Typische Werte sind z.B. 50% (L50) oder 70% (L70, in Anlehnung an die Allgemeinbeleuchtung).

Figure 4: Degradationskurve



Da die Alterung auf einer Veränderung der Materialeigenschaften basiert und dadurch statistischen Prozessen unterworfen ist, unterliegen auch die Lebensdauerwerte einer statistischen Verteilung. Der Anteil der ausgefallenen Bauteile wird mit dem Begriff „mortality“ (B) beschrieben. Der Wert B50 bezeichnet somit den Zeitpunkt, bei dem 50% der Bauteile ausgefallen sind. Dieser wird üblicherweise bei LEDs als typische mittlere Lebensdauer, t_{50} oder t_{ml} , angegeben. Neben dem Medianwert (B50), kann zusätzlich angegeben werden, wann 10% der Bauteile ausgefallen sind (B10-Wert). Damit ist ein Rückschluss auf die Breite der Lebensdauerverteilung möglich (Bild 5).

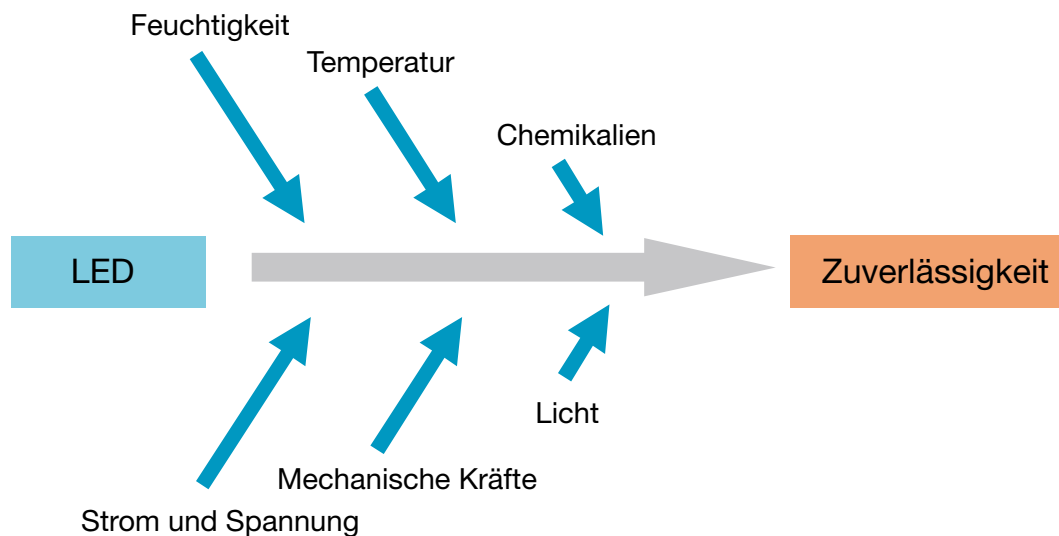
Figure 5: Verteilung der Ausfallwahrscheinlichkeit über die Lebensdauer



Bei thermomechanischer Belastung eines Bauteils (z.B. Temperaturzyklen) sind die kontinuierlichen Alterungsvorgänge in der Regel nicht messbar. Das bedeutet, der zum Ausfall führende stetige Alterungsvorgang kann nicht mit Hilfe eines charakteristischen Messparameters, wie Lichtdegradation bei elektrischem Betrieb, beschrieben werden. Eine Extrapolation der Degradationskurve bis zu einem definierten Ausfallkriterium, wie in Bild 4 bei der Degradation dargestellt, ist in diesem Fall nicht möglich. Um Aussagen über Ausfallzeitpunkt bzw. Ausfallverteilung machen zu können, muss in diesem Fall getestet werden, bis der dann meist abrupte Fehler auftritt. Ein Beispiel hierfür ist die Ermüdung von Klebe- oder Bondverbindungen. Einflussfaktoren hinsichtlich Zuverlässigkeit und Lebensdauer

Ähnlich den konventionellen Leuchtmitteln ist auch bei den LED-Lichtquellen die Zuverlässigkeit und Lebensdauer von vielen, unterschiedlichen Faktoren abhängig bzw. kann durch diese beeinflusst werden. Zu den wichtigsten physikalischen Einflussfaktoren gehören unter anderem Feuchtigkeit, Temperatur, Strom und Spannung, mechanische Kräfte, Chemikalien und einwirkende Strahlung (Bild 6).

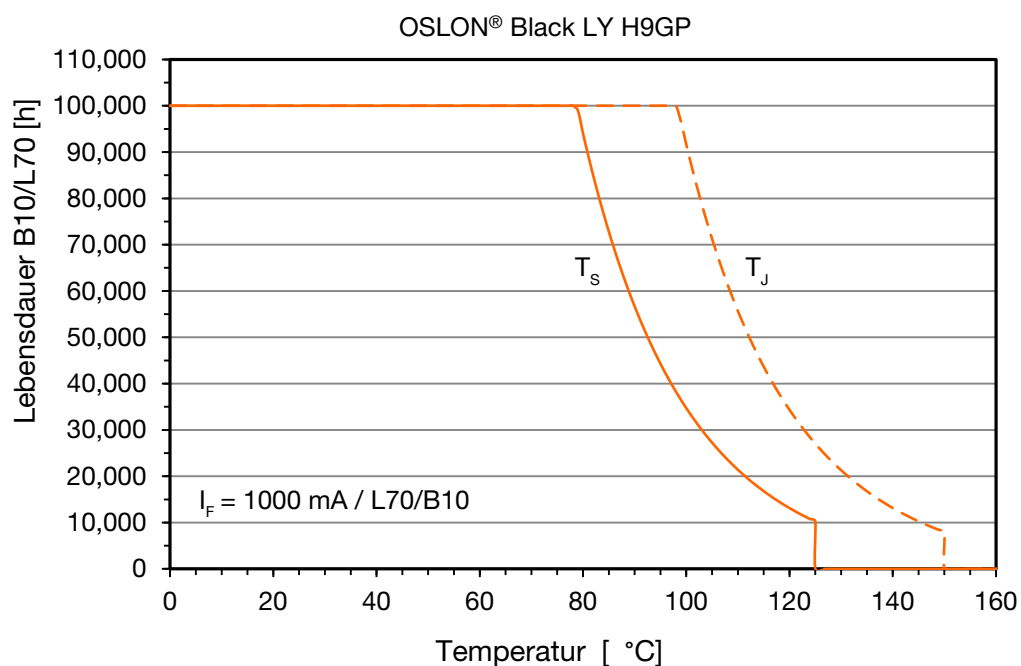
Figure 6: Einflussfaktoren auf Zuverlässigkeit und Lebensdauer



Diese können dabei direkt zu einem Totalausfall führen oder langfristig das Alterungsverhalten (z.B. Helligkeit) beeinflussen und damit eine Änderung der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer hervorrufen.

Solche direkten Einflussfaktoren sind beispielsweise die Temperatur bzw. die resultierende Sperrschichttemperatur $T_{j(\text{unction})}$ in der LED, aber auch die Höhe des Stroms, mit dem die LED betrieben wird. Bei sonst gleichen Betriebsbedingungen bewirken sowohl eine Erhöhung der Umgebungstemperatur als auch des Stromes eine Zunahme der Sperrschichttemperatur. Eine erhöhte Sperrschichttemperatur bedingt aber im Allgemeinen eine Abnahme der Lebensdauer (Bild 7).

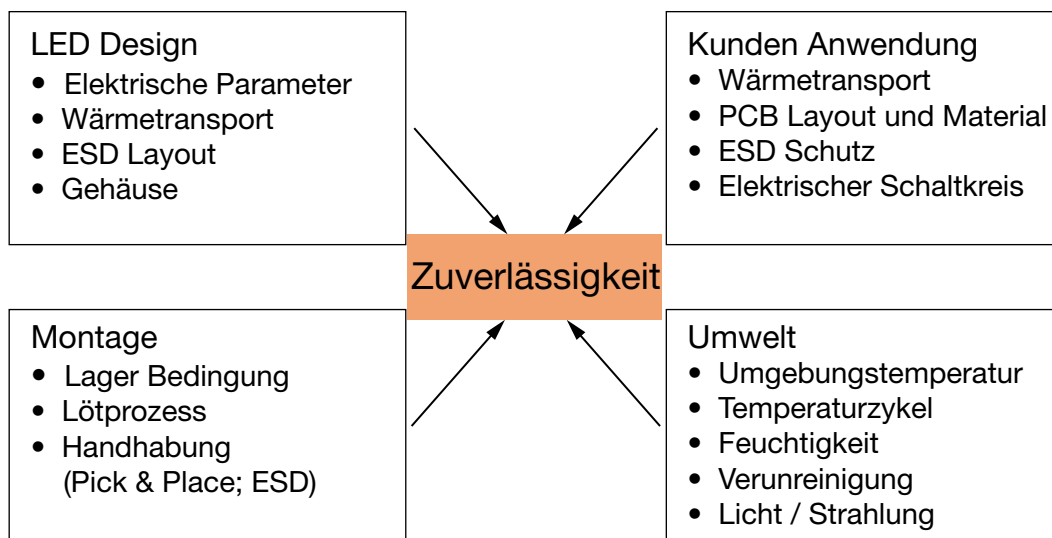
Figure 7: Abhängigkeit der Lebensdauer von der Sperrschicht- und Solderpointtemperatur



Ein weiterer direkter Einflussfaktor sind mechanische Kräfte. Wirken zum Beispiel große mechanische Kräfte auf die LED, führt dies in der Regel zu einer Beschädigung. Diese Beschädigung kann bis hin zum Totalausfall der LED führen. Die Ursprünge der einzelnen Faktoren sind in unterschiedlichen Bereichen, wie dem LED-Design, der LED-Verarbeitung, der Kundenanwendung und der Umwelt zu finden und lassen sich dort auf verschiedene Aspekte bzw. Parameter zurückführen (Bild 8). Betrachtet man diese vier Bereiche eingehender, so stellt man fest, dass sich drei davon sowohl durch den LED-Hersteller als auch durch den Anwender direkt beeinflussen lassen. Der vierte Bereich, die Umwelt, ist letztlich unveränderbar, und muss als gegeben in der Applikation berücksichtigt werden.

Zum Beispiel kann der Ursprung des Einflussfaktors Temperatur den zwei Bereichen LED-Design und Kundenanwendung zugeordnet werden. Im Bereich LED-Design liegt der Ursprung des Temperatureinflusses zum einen bei den elektrischen Parametern und zum anderen beim Wärmetransport.

Figure 8: Ursprünge der Beeinflussungsfaktoren



In Abhängigkeit vom eingepprägten Strom (I_F) und der dazugehörigen Spannung (U_F) wird eine Verlustleistung erzeugt, die größtenteils in Wärme umgesetzt wird. Dies führt zu einer Temperaturerhöhung in der Sperrschicht der LED. Die Höhe der Verlustleistung ist proportional zur Änderung der Sperrschichttemperatur.

Der Proportionalitätsfaktor ist der Wärme-widerstand des Gehäuses ($R_{th, \text{Junction-Solderpoint}}$) der LED. Dieser spiegelt die physikalischen Wärmeleiteigenschaften der LED wider.

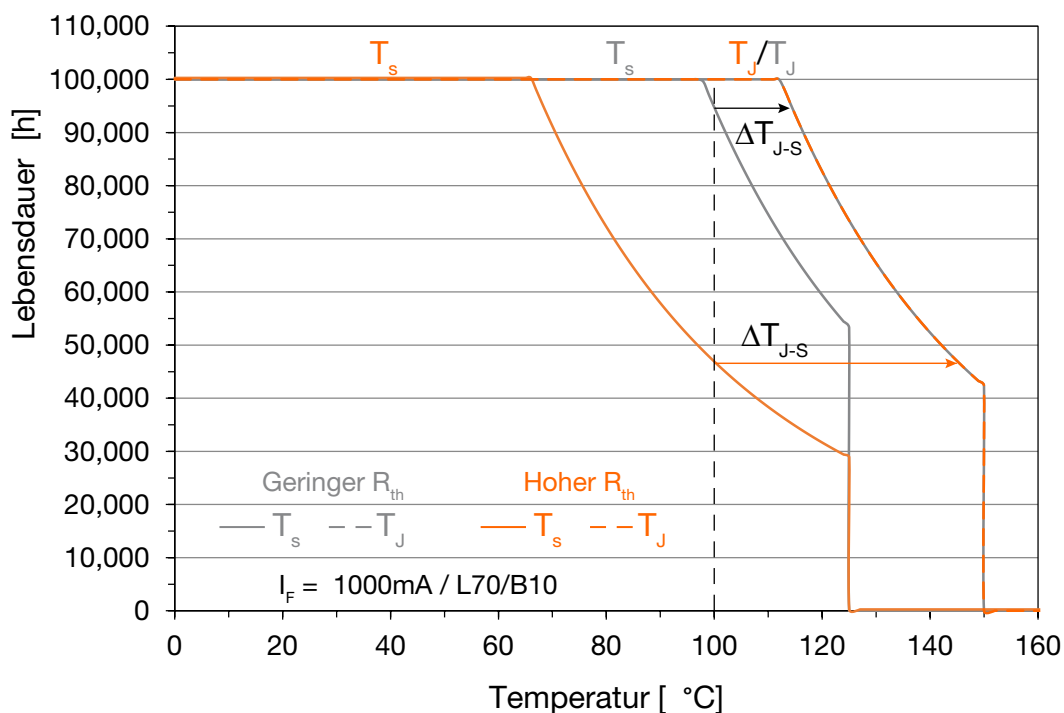
Je geringer der Wärmewiderstand der LED ist, desto besser sind die Wärmeleiteigenschaften der LED. Durch einen effizienten Wärmeabtransport steigt die Sperrschichttemperatur nicht so stark an. Als Beispiel sollen zwei Bauteile mit unterschiedlichem R_{th} (2.5 und 8 K/W) bei gleicher Solderpointtemperatur $T_S = 100^\circ\text{C}$ und gleichen Betriebsbedingungen (Strom) betrachtet werden (Bild 9).

Aufgrund des geringeren Wärmewiderstandes erhöht sich die Sperrschichttemperatur des Bauteils mit niedrigerem Wärmewiderstand nur auf $\sim 115^\circ\text{C}$. Das Bauteil mit dem höheren Wärmewiderstand weist dagegen eine Sperrschichttemperatur von $> 144^\circ\text{C}$ auf. Wie bereits erwähnt, nimmt die Lebensdauer von LED mit steigender Sperrschichttemperatur ab. Bei

gleicher Solderpointtemperatur erreicht somit ein Bauteil mit geringem R_{th} eine höhere Lebensdauer als eines mit hohem R_{th} .

Neben der erhöhten Lebensdauer hat ein geringerer Wärmewiderstand einen weiteren Vorteil. So erzielt, wiederum bei gleicher Solderpointtemperatur, ein Bauteil mit geringem R_{th} eine höhere Lichtausbeute. Grund hierfür ist die Abnahme der Effizienz einer LED mit zunehmender Sperrschichttemperatur. Für den Hersteller der LED ergibt sich damit die Möglichkeit, schon während der Entwicklung die Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die für die Lebensdauer und Zuverlässigkeit einer LED von entscheidender Bedeutung sind.

Figure 9: Einfluss unterschiedlicher R_{th} -Werte auf die Abhängigkeit der Lebensdauer von der Temperatur



Die Auswirkungen dieser Faktoren können durch folgende Maßnahmen reduziert werden:

- robustes Design
- optimales thermisches Management
- stabile und optimierte Produktionsprozesse um das Risiko von Spontanausfällen zu minimieren
- Kundenunterstützung beim Eindesignen der LED in die Kundenanwendung

Im Bereich Kundenanwendung lässt sich der Einflussfaktor Temperatur auf die Wärmeableitung zurückführen. Hierbei spielen das Layout und das Material der Leiterplatte (PCB) eine große Rolle.

Zusammengefasst unter dem Begriff Thermisches Management, welches unter anderem die Auswahl eines geeigneten Leiterplattenmaterials (z.B. FR4, IMS), die LED-Anordnung, die Bauteil-Dichte, zusätzliche Kühlmaßnahmen etc. beinhaltet, hat somit auch der Anwender

Möglichkeiten, seine Applikation gezielt auf die Einflussfaktoren abzustimmen. Als mögliche Maßnahmen wären hier zu nennen:

- optimales thermisches Boardmanagement
- optimiertes Design zur effizienten Nutzung der LED
- Handhabung der LED nach Vorschrift
- Berücksichtigung der Stärken & Schwächen der LED

Ein unzureichendes thermisches Management führt unweigerlich zu einer Abnahme der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer. Für weitere Informationen und eine genaue Beschreibung, wie der thermische Widerstand für die einzelnen LEDs bei ams-OSRAM AG ermittelt wird, ist in der Applikationsschrift "[Package-related thermal resistance of LEDs](#)" beschrieben.

Generell lässt sich jedoch feststellen, dass trotz der sehr hohen Zuverlässigkeit von OSRAM OS LED nur durch die Berücksichtigung aller Bereiche, aller Wechselwirkungen und Abhängigkeiten eine hohe Gesamt- oder Systemzuverlässigkeit erreicht werden kann

4 Absicherung und Bestätigung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer

Alle LED Gehäuse- und Chipfamilien von OSRAM OS werden zur Absicherung und Bestätigung ihrer Zuverlässigkeit und Lebensdauer einer Anzahl von Tests unterzogen. Die Auswahl der Tests, Testbedingungen und -dauer erfolgt anhand einer internen OSRAM OS Qualifikationsvorschrift, die auf JEDEC-, MIL- und IEC-Standards basiert. Zusätzlich wird auch das Anforderungsprofil der Bauteile einbezogen.

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Liste der typischerweise durchgeführten Tests. Zusätzlich sind die unterschiedlichen Testbedingungen, die Versuchsdauer sowie die betroffenen Belastungsfaktoren angegeben. Basierend auf der internen OSRAM OS Qualifikationsvorschrift und dem Anforderungsprofil können die Testauswahl und -bedingungen, aber auch die Testdauer angepasst werden. Die mechanische Stabilität einer LED wird mittels Lötthitzewiderstandstests, sowie bestromten und unbestromten Temperaturzykeltests überprüft. Als Maß der Stabilität dienen dabei die Zykelzahl und die Temperaturdifferenz. Derartige Tests werden auch zur Beurteilung der Ausfallrate herangezogen.

Zum Nachweis der Zuverlässigkeit werden die LEDs bei einzelnen Tests einer Versuchsdauer von bis zu 1000 h unterzogen. Sind die Eigenschaften und das Zusammenwirken der einzelnen Bestandteile der LED bekannt, so kann von bereits getesteten Produkten auf andere LED-Typen mit gleichen Materialcharakteristiken geschlossen werden. Infolgedessen verringert sich der allgemeine Testumfang, da weniger Produkte getestet werden müssen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, die Testdauer einzelner Produkte auf einen längeren Zeitraum auszudehnen.

So werden bei ams-OSRAM AG beispielsweise Versuchsreihen mit bis zu 10.000 h Testdauer durchgeführt, um generelle Effekte zu erforschen. Einzelne Technologieplattformen wurden sogar schon bis zu einer Betriebsdauer von mehr als 35.000 h evaluiert. Derartige punktuelle,

extreme Langzeituntersuchungen liefern eine gesicherte Basis für die Berechnung der Lebensdauer. .

Table 1: Exemplarische Zuverlässigkeitstestmatrix für ams-OSRAM AG LEDs

Test	Bedingungen	Dauer	Belastungsfaktor
Resistance to Solder Heat (RSH) JESD22-A113	Konvektionslöten 260 °C / 10 sec	3 Durchläufe	Temperatur, Chemikalien, mechanische Kräfte
Resistance to Solder Heat, Through the Wave (RSH-TTW) JESD22-B106	Wellenlöten 260 °C / sec	3 Durchläufe	Temperatur, Chemikalien, mechanische Kräfte
Wet High Temperature Operating Life (WHTOL) JESD22-A101	T = 85 °C R.H. = 85 % I _F = 5 mA / 10 mA	1000 h	Temperatur, Feuchtigkeit
Temperature Cycle (TC) JESD22-A104	- 40 °C / + 125 °C 15 min bei Extremtemperatur	1000 Zykel	mechanische Kräfte
Power Temp. Cycling (PTC) JESD22-A105	- 40 / + 85 °C I _F = [max. Derating] t _{on/off} = 5 min	1000 h	Temperatur, Strom, mechanische Kräfte
High Temperature Operating Life (HTOL) JESD22-A108	T = 25 °C I _F = [max. Derating]	1000 h	Temperatur, Strom
High Temperature Operating Life (HTOL) JESD22-A108	T = 85 °C I _F = [max. Derating]	1000 h	Temperatur, Strom
Pulsed life test (PLT) JESD22-A108	T = 25 °C I _F = [max. Derating]	1000 h	Temperatur, Strom
ESD-HBM ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2010 lt. AEC Q102	Human body model 2000 V	1 Puls pro Polaritätsrichtung	Spannung

Nach Auffassung von ams-OSRAM AG dürfen jedoch bei der Bestimmung der mittleren Lebensdauer die bestehenden und erhaltenen Testdaten nicht „blind“ extrapoliert werden. Vielmehr sollen diese Daten ein Verständnis ermöglichen, warum sich die verschiedenen verwendeten Materialien so verhalten. Dies ermöglicht eine höchst zuverlässige Extrapolation bzw. Vorhersage der Produktleistungsmerkmale, welche sich in einer geringen Abweichung von den Solldaten bestätigt. Aussagen über Lebensdauern ohne Testdaten und ohne Hintergrundwissen, die auf rein rechnerischen Ergebnissen fundieren, sind generell mit Vorsicht zu betrachten.

5 Kundenunterstützung hinsichtlich Zuverlässigkeit und Lebensdauer

ams-OSRAM AG unterstützt seine Kunden weltweit. Dies beginnt bereits in der Vorverkaufsphase. ams-OSRAM AG steht seinen Kunden bei der Auswahl der geeigneten LED Lichtquelle hilfreich zur Seite und berät diese auch bei der Realisierung einer optimal ausgeführten Anwendung. Darüber hinaus unterstützen wir Sie mit unserer fachmännischen Erfahrung in Bezug auf Qualität und Zuverlässigkeit.

Für weitergehende Informationen und Fragen im Hinblick auf Lebensdauer und Zuverlässigkeit von bestimmten LED-Produkten stehen unsere jeweiligen Sales Repräsentanten und/oder unsere örtlichen Niederlassungen zu Verfügung.

6 Anhang

6.1 Grundlagen - Begriffsdefinitionen

Im Folgenden werden die wichtigsten, relevanten Begriffe und Definitionen aus dem Bereich des Qualitätsmanagement und der Statistik vorgestellt, sowie ein Beispiel für eine Zuverlässigkeitsverteilung gegeben.

Zuverlässigkeit und Ausfallwahrscheinlichkeit

Die Zuverlässigkeit $R(t)$ (engl. reliability) gibt die Wahrscheinlichkeit P (engl. probability) an, dass ein System oder auch ein Einzelbauteil in einer Zeitspanne t unter normalen Arbeits- und Umgebungsbedingungen funktionstüchtig bleibt.

Komplementär dazu spricht man von einer Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ bzw. Unzuverlässigkeit. Wenn also n Bauteile unter den gleichen Bedingungen betrieben werden und die Anzahl der Fehler $r(t)$ bis zur Zeit t ist, so gilt:

$$F(t) = \frac{r(t)}{n} = 1 - R(t)$$

Zu Beginn sind alle Bauteile per Definition in Ordnung (Zeitpunkt $t=0$) und irgendwann alle defekt. Damit gilt:

$$R(t=0) = 1 \text{ und } R(t \rightarrow \infty) = 0$$

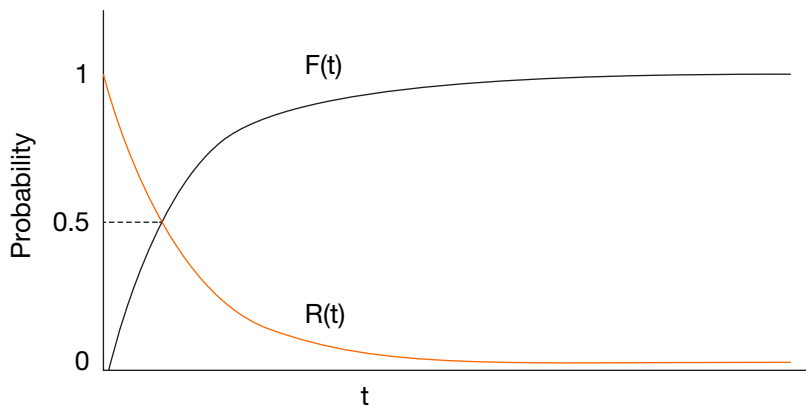
Dies bedeutet, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit ($F(t)$) eines Bauteils von 0 (0%) über die Zeit im umgekehrten Verhältnis zur Zuverlässigkeit zunimmt bis auf 1 (100%).

Ausfallwahrscheinlichkeitsdichte oder Ausfalldichte

Die Ausfalldichte $f(t)$ gibt die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls zu einer Zeit t an, bezogen auf ein Zeitintervall dt . Mathematisch entspricht sie der Ableitung der Ausfallwahrscheinlichkeit.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{P(T \leq t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Figure 10: Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit R(t) und Ausfallwahrscheinlichkeit F(t)



6.2 Ausfallrate

Die Ausfallrate $\lambda(t)$ ist eine wesentliche Kenngröße für die Zuverlässigkeit bzw. Lebensdauer eines Objektes. Sie beschreibt die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls in einem Zeitintervall dt , bezogen auf die zum Zeitpunkt t funktionsfähigen Bauteile.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

Die Ausfallrate gibt an, wie viele Einheiten durchschnittlich in einer Zeiteinheit ausfallen. Üblicherweise werden Ausfallraten in der Einheit [1/Zeiteinheit], wie z.B. 1 Ausfall pro Stunde (=1/h) angegeben.

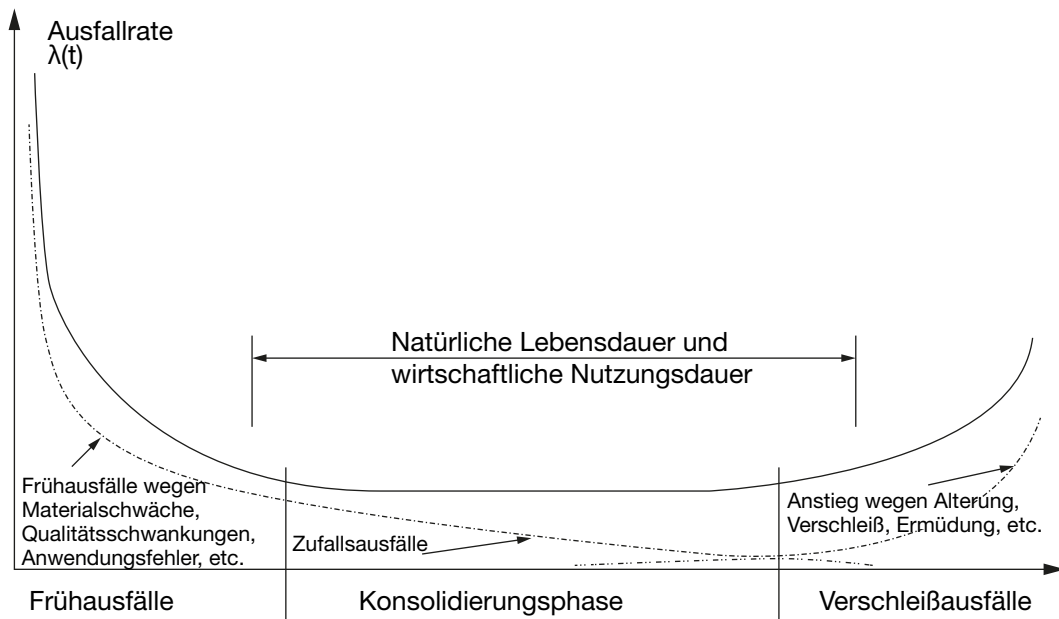
Aufgrund der niedrigen Ausfallraten elektronischer Bauelemente wird vielfach die Angabe in FIT benutzt, wobei gilt:

$$1 \text{ FIT} = \frac{1 \text{ Ausfall}}{10^9 \text{ Bauteilstunden}}$$

Bauteilstunden = Anzahl der Bauteile * Betriebsstunden

Die Ausfallrate ist im Allgemeinen über die Zeit nicht konstant. Über den gesamten Bauteillebenszyklus folgt die Ausfallrate vielmehr in vielen Fällen vollständig oder teilweise dem Verlauf einer so genannten „Badewannenkurve“ (Bild 11). Der zeitliche Verlauf setzt sich dabei aus drei charakteristischen Phasen zusammen.

Figure 11: Zeitlicher Verlauf der Ausfallrate



Phase I der Fröhausfälle

Zu Beginn der Produktlebensdauer kann eine höhere, mit der Zeit rasch abnehmende Ausfallrate beobachtet werden. Diese Phase lässt sich mit der Weibull-Verteilung beschreiben. Diese wird in der Regel durch Konstruktionsmängel, durch Materialschwächen, durch Qualitätsschwankungen in der Fertigung oder durch Anwendungsfehler (Dimensionierung, Handhabung, Prüfung, Bedienung usw.) oder unechte, nicht bestätigte Ausfälle verursacht.

Phase II mit konstanter Ausfallrate

Diese Phase entspricht der eigentlichen wirtschaftlichen Nutzungszeit, die Fröhf Fehler sind abgeklungen und die Abnutzungserscheinungen sind noch vernachlässigbar. In dieser Phase ist die Ausfallrate konstant und lässt sich daher mit der Exponential- oder Poissonverteilung beschreiben. Ausfälle treten hier meistens plötzlich und rein zufällig auf.

Phase III der Verschleißausfälle

In dieser Phase steigt die Ausfallrate aufgrund von Alterung, Abnutzung, Ermüdung usw. mit andauerndem Betrieb immer schneller an. Diese Phase lässt sich wiederum mit der Weibull-Verteilung beschreiben. Generell ist bei der Darstellung und Interpretation von Badewannekurven zu berücksichtigen, dass die Kurven in den meisten Fällen nur auf wenigen Versuchspunkten beruhen. Die mathematische Beschreibungsfunktion beinhaltet somit aufgrund von versuchsbedingten Streuungen und Abweichungen eine gewisse Unsicherheit. Eine zuverlässige Darstellung ist daher nur möglich, wenn eine statistisch hinreichend große Menge an Daten gewonnen wird.

Ebenso kann es in der Praxis vorkommen, dass der Zeitraum der einzelnen Phasen sehr stark variiert. Je nach Komplexität des Objektes und Reife der Herstellungsverfahren kann die Phase der Fröhausfälle praktisch gar nicht vorhanden sein, oder mit einer Dauer von bis zu einigen tausend Betriebsstunden ausgeprägt sein. Um die Ausfallrate zu minimieren werden bei amun-OSRAM AG bereits in der Entwicklungsphase als auch in der nachfolgenden Fertigungsphase

gezielt Präventivmaßnahmen, durchgeführt. Darüber hinaus wird die Ausfallrate stark durch die herrschenden Arbeitsbedingungen beeinflusst. So verdoppelt sich beispielsweise die Ausfallrate bei klassischen Halbleiterbauelementen bei einer Erhöhung der Sperrschichttemperatur um 10 °C bis 20 °C.

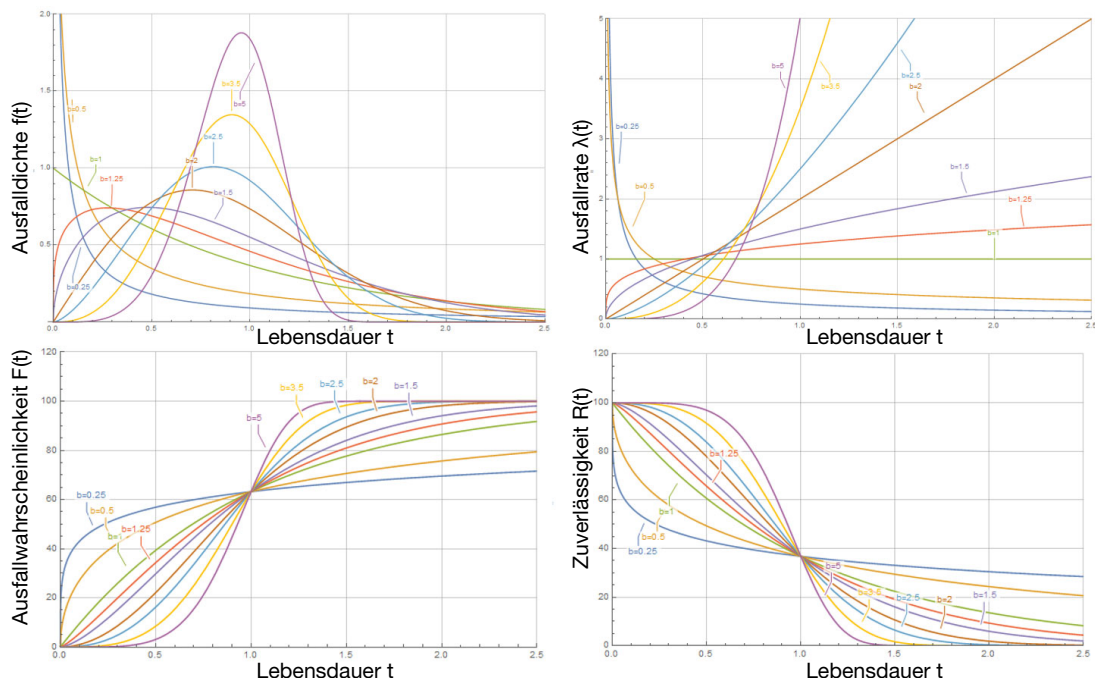
6.3 Verteilung für die Zuverlässigkeitsanalyse

Die Weibull- und Exponential-Verteilungsfunktionen die zur Beschreibung der Badewannenkurve herangezogen wurden, werden im Folgenden näher beschrieben.

Weibull-Verteilung

Die Weibull-Verteilung eignet sich aufgrund ihrer Flexibilität gut zur statistischen Beschreibung unterschiedlicher Arten von Ausfallverhalten (Bereiche I bis III der Badewannenkurve). Wesentlicher Vorteil dieser Funktion ist, dass ihr Kurvenverlauf über den Formparameter b (engl. „shape parameter“) angepasst werden kann. Auf diese Weise kann eine große Anzahl der bekannten Festformverteilungen (wie. z.B. Normal-, Log-, Exponentialverteilung, etc.) realisiert werden (Bild 12).

Figure 12: Weibull-Verteilung für verschiedene Formparameter b , und mit einer charakteristischen Lebensdauer $T = 1$



Mit einem Formparameter $b < 1$ wird eine ab-nehmende Ausfallrate (Bereich I), für $b = 1$ eine konstante (Bereich II – Exponential-Verteilung) und für $b > 1$ eine zunehmende Ausfallrate (Bereich III) beschrieben.

In der zweiparametrischen Form der Weibull-Verteilung lautet die Ausfallwahrscheinlichkeit $F(t)$ und komplementär dazu ihre Zuverlässigkeit $R(t)$:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}, \quad b > 0$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}, \quad b > 0$$

Ihre Dichtefunktion $f(t)$ und Ausfallrate $\lambda(t)$ ergibt sich zu:

$$f(t) = \frac{b}{T} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}, \quad b > 0$$

$$\lambda(t) = \frac{b}{T} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{b-1}, \quad b > 0$$

, mit b = Formfaktor und T = charakteristische Lebensdauer Exponential-Verteilung

Die Exponential-Verteilung repräsentiert speziell die Lebensverteilung in Phase II der Badewannenkurve, dem Bereich der zu-fälligen Fehler. Die Ausfallrate wird als konstant über die Zeit angenommen. Bei der Exponentialverteilung gilt:

Ausfallwahrscheinlichkeit::

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (t \geq 0) \text{ and } \lambda > 0$$

Zuverlässigkeit:

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad (t \geq 0) \text{ and } \lambda > 0$$

Ausfallrate:

$$\lambda(t) = \lambda = \frac{1}{T} = \frac{1}{MTTF}$$

In diesem Bereich und im Zusammenhang mit nicht reparierbaren Systemen wird auch der Begriff MTTF (engl. „Mean Time To Failure“) verwendet. MTTF bedeutet dabei die mittlere Zeit bis zum Ausfall, und wird auch als mittlere Lebensdauer bezeichnet. Für eine Lebensdauerverteilung mit konstanter Ausfallrate bedeutet dies, dass bis zur MTTF im Mittel etwa 2/3 aller Bauteile ausgefallen sind, bzw. die Ausfallwahrscheinlichkeit ca. 63% beträgt.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad \text{where } t = MTTF \quad \text{and } \lambda = \frac{1}{MTTF}$$

$$F(MTTF) = 1 - e^{-\left(\frac{1}{MTTF} \cdot MTTF\right)}$$

$$F(MTTF) = 1 - e^{-1} = 1 - \frac{1}{e}$$

$$F(MTTF) = 63.2 \%$$

ABOUT ams OSRAM Group (SIX: AMS)

The ams OSRAM Group (SIX: AMS) is a global leader in optical solutions. By adding intelligence to light and passion to innovation, we enrich people's lives. This is what we mean by Sensing is Life. With over 110 years of combined history, our core is defined by imagination, deep engineering expertise and the ability to provide global industrial capacity in sensor and light technologies. Our around 24,000 employees worldwide focus on innovation across sensing, illumination and visualization to make journeys safer, medical diagnosis more accurate and daily moments in communication a richer experience. Headquartered in Premstaetten/Graz (Austria) with a co-headquarters in Munich (Germany), the group achieved over EUR 5 billion revenues in 2021. Find out more about us on <https://ams-osram.com>

DISCLAIMER

PLEASE CAREFULLY READ THE BELOW TERMS AND CONDITIONS BEFORE USING THE INFORMATION SHOWN HEREIN. IF YOU DO NOT AGREE WITH ANY OF THESE TERMS AND CONDITIONS, DO NOT USE THE INFORMATION.

The information provided in this general information document was formulated using the utmost care; however, it is provided by ams-OSRAM AG or its Affiliates* on an "as is" basis. Thus, ams-OSRAM AG or its Affiliates* does not expressly or implicitly assume any warranty or liability whatsoever in relation to this information, including – but not limited to – warranties for correctness, completeness, marketability, fitness for any specific purpose, title, or non-infringement of rights. In no event shall ams-OSRAM AG or its Affiliates* be liable – regardless of the legal theory – for any direct, indirect, special, incidental, exemplary, consequential, or punitive damages arising from the use of this information. This limitation shall apply even if ams-OSRAM AG or its Affiliates* has been advised of possible damages. As some jurisdictions do not allow the exclusion of certain warranties or limitations of liabilities, the above limitations and exclusions might not apply. In such cases, the liability of ams-OSRAM AG or its Affiliates* is limited to the greatest extent permitted in law.

ams-OSRAM AG or its Affiliates* may change the provided information at any time without giving notice to users and is not obliged to provide any maintenance or support related to the provided information. The provided information is based on special conditions, which means that the possibility of changes cannot be precluded.

Any rights not expressly granted herein are reserved. Other than the right to use the information provided in this document, no other rights are granted nor shall any obligations requiring the granting of further rights be inferred. Any and all rights and licenses regarding patents and patent applications are expressly excluded.

It is prohibited to reproduce, transfer, distribute, or store all or part of the content of this document in any form without the prior written permission of ams-OSRAM AG or its Affiliates* unless required to do so in accordance with applicable law..

* ("Affiliate" means any existing or future entity: (i) directly or indirectly controlling a Party; (ii) under the same direct, indirect or joint ownership or control as a Party; or (iii) directly, indirectly or jointly owned or controlled by a Party. As used herein, the term "control" (including any variations thereof) means the power or authority, directly or indirectly, to direct or cause the direction of the management and policies of such Party or entity, whether through ownership of voting securities or other interests, by contract or otherwise.)



For further information on our products please see the Product Selector and scan this QR Code.

Published by ams-OSRAM AG
Tobelbader Strasse 30, 8141 Premstaetten, Austria
ams-osram.com © All Rights Reserved.

Published by ams-OSRAM AG

Tobelbader Strasse 30,
8141 Premstaetten Austria

Phone +43 3136 500-0

ams-osram.com

© All rights reserved

